

# **UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**

**Facultad: DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**Tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PRENSA INCLUIDORA DE  
MUESTRAS Y PULIDORA METALOGRAFICA (TOMO 1)**

**Autor: EDISON OSWALDO LASTRA VÉLEZ  
2005**

# **UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**

**Facultad: DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**Tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PRENSA INCLUIDORA DE  
MUESTRAS Y PULIDORA METALGRÁFICA (TOMO 1)**  
**Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos  
Para obtener el título de Ingeniero de Producción**

**Profesor Guía: ING. JULIO CÓNDOR SALAZAR**

**Autor: EDISON OSWALDO LASTRA VÉLEZ  
2005**

### **DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA**

Declaro que el trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PRENSA INCLUIDORA DE MUESTRAS Y PULIDORA METALOGRAFICA" fue realizado por el señor Edison Oswaldo Lastra Vélez, alumno de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la Carrera de Ingeniería de la Producción, mención Manufactura, quien estuvo bajo mi orientación y guía.

Es todo cuanto puedo decir en honor a la verdad.

**ING. JULIO CÓNDROR SALAZAR**  
**PROFESOR GUÍA**

### **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a mi Familia porque siempre me han dado la fuerza suficiente para nunca flaquear y tener la paciencia, constancia, dedicación y corazón para salir adelante en mi vida y en este trabajo de titulación. Agradezco también a mi profesor guía Ing. Julio Cóndor Salazar, al Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Director de la Carrera de Ingeniería de la Producción Ing. Jaime Naranjo Sánchez.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a los dos seres maravillosos que son mi padre Jaime y mi madre Mercedes, quienes con su amor, cariño, esfuerzo, dedicación y trabajo nos dieron la vida y sacaron adelante a mí a mis hermanos Jaime, Daniel y Estefanía con quienes crecí y tendré siempre en mi mente y mi corazón.

## RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente trabajo ha sido realizado pensando en la necesidad que tienen los estudiantes de Ingeniería de Producción, los mismos que en ocasiones necesitan una guía rápida acerca de cómo debe enfrentarse un caso puntual de diseño y todas las variables que este involucra, no solo en la parte constructiva y de diseño, sino en todos los aspectos, es decir: el estudio de las condiciones a las cuáles va a estar sometido el equipo: tema del diseño; así como también el fundamento teórico de su aplicación.

Por ello es conveniente que el presente proyecto de investigación abarque los tópicos suficientes, tanto de información general así como de análisis del caso particular de diseño:

- Tratar la importancia del diseño en la ingeniería, tomando en cuenta que es la principal consecuencia de la necesidad, que el hombre tiene por satisfacer sus propias necesidades.
- Analizar las propiedades físicas y metalúrgicas del acero y otros materiales utilizados en ingeniería, como fundamento teórico de la realización de cualquier diseño de ingeniería.
- Estudiar el fundamento teórico de las pruebas metalográficas, haciendo énfasis en la preparación de la muestra metalográfica. Siendo esta la aplicación de la ***prensa incluidora de muestras y pulidora metalográfica.***
- Estudio del caso puntual de diseño, en el cuál se desarrollan los tópicos a medida que se van estudiando todas y cada una de las partes (componentes) de la ***prensa incluidora de muestras y pulidora metalográfica.***
- Explorar los diferentes procesos industriales de fabricación, utilizados para la realización de un diseño prototipo en la práctica.

# INDICE GENERAL

<b>CAPITULO 1</b>	
<b>EL DISEÑO Y LA INGENIERÍA</b> .....	3
1.1. EL DIAGRAMA DE FLUJO EN EL DISEÑO.....	4
1.2. ANÁLISIS DEL DISEÑO.....	9
1.3. MECANISMOS .....	9
1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS .....	10
1.5. FACTOR DE SEGURIDAD.....	11
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>ANÁLISIS GENERAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y METALÚRGICAS DEL ACERO Y MATERIALES SELECTOS UTILIZADOS EN INGENIERÍA</b> .....	13
2.1. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	13
2.2. DUREZA.....	31
2.3. PROPIEDADES METALÚRGICAS.....	37
2.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HIERRO.....	42
2.5. ACERO .....	44
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>HERRAMIENTAS DEL METALURGISTA</b> .....	61
3.1. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.....	61
3.2. METALOGRAFÍA.....	62
3.3. PRUEBAS PARA PROPIEDADES MECÁNICAS.....	71
3.4. ENSAYOS O PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	71
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>DISEÑO DE HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS DEL METALÚRGISTA: PRENSA PARA INCLUSIONES DE MUESTRA Y PULIDORA METALOGRAFICA</b> .....	77
4.1. PRENSA PARA INCLUSIONES DE MUESTRA.....	78
4.2. PULIDORA METALOGRAFICA.....	106
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>MÉTODOS DE FABRICACIÓN</b> .....	128
5.1. MAQUINADO.....	128
5.2. PROCESO DE UNIÓN Y CORTE.....	138
5.3. PROCESOS DE CONFORMADO DE LÁMINA.....	143
5.4. TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DE HULE.....	144
5.5. TABLA RESUMEN DE MÉTODOS DE MANUFACTURA UTILIZADOS EN CADA PIEZA DISEÑADA .....	148
<b>CONCLUSIONES</b> .....	151
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	153
<b>ANEXO 1</b>	
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	155
<b>ANEXO 2</b>	
<b>GRÁFICOS Y TABLAS</b> .....	177
<b>ANEXO 3</b>	
<b>COSTOS DEL PROYECTO</b> .....	214
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	229
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	233

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de la ingeniería es solucionar los problemas de la sociedad, por lo cual se preocupa de interpretar los fenómenos científicos, para luego del análisis respectivo aplicarlos y obtener como resultado una solución técnica de ingeniería.

Por esta razón se dice que el diseño se encarga de la creación de dispositivos y sistemas, que sirven para la transmisión de energía, al tiempo que crea un patrón específico de movimientos, ya que tales sistemas están compuestos de varios elementos mecánicos.

Por lo tanto, uno de los problemas fundamentales del diseñador, es el construir un equipo que responda enteramente a las necesidades, que provea de un alto índice de fiabilidad en el funcionamiento respectivo, y que presente parámetros suficientemente buenos, ya sea en los aspectos técnico – económico y en los de explotación, tomando en cuenta índices de productividad, rendimiento económico, fiabilidad, peso mínimo, volumen metálico, dimensiones exteriores, capacidad energética, precio de costo de los trabajos de reparación, costos de mano de obra, suficiente longevidad, cortos periodos entre reparaciones, grado de automatización, sencillez y seguridad de servicio, comodidad de manejo (mando), de desmontaje y montaje, mantenimientos preventivo y correctivo, etc.

En la construcción de máquinas, es necesario tomar en cuenta la estética como un requerimiento industrial, ya que el aspecto exterior de las mismas debe ser agradable, con un acabado fino y hasta clásico, considerando que el peso de cada uno de los factores antes citados, dependen del modelo final de la máquina.



# CAPITULO 1

## EL DISEÑO Y LA INGENIERÍA

La ingeniería ha sido concebida para interpretar los fenómenos existentes en la naturaleza, aprovecharlos y explotarlos de la manera más creativa y eficaz, para así tratar de solucionar los problemas del hombre; es el vínculo de unión y conversión de los regalos de la naturaleza, en beneficio del hombre.

El diseño es, pues, la herramienta mediante la cual una necesidad es convertida en un plan funcional y de significado. En otras palabras, el diseño formula planes, esquemas y métodos para trasladar una necesidad a un dispositivo que, operando de forma satisfactoria, cumpla con los requerimientos de la necesidad propuesta, y que siga los requerimientos de la industria a la cual pertenece. En sí, todas las funciones técnicas de la máquina van a depender de la forma en la cual fue ejecutado el diseño.

De hecho, todas las disciplinas de la ingeniería convergen hacia una raíz común que es el diseño, ya que en algún momento el ingeniero de cualquier área se ve en la necesidad de plasmar en algo, la idea creativa que nació a partir de los conocimientos obtenidos, ya sea a partir del aprendizaje de la respectiva disciplina, como de la experiencia adquirida en el ejercicio profesional.

## 1.1. EL DIAGRAMA DE FLUJO EN EL DISEÑO.<sup>1</sup>



### 1.1.1. Reconocimiento de una Necesidad.

Se fundamenta en cualquiera de las causas que llevan a las personas u organizaciones, a proponer el desarrollo de un diseño en particular, propuesta que habiendo llegado a la oficina de proyectos, es transmitida al diseñador que se encarga de planificar los métodos más convenientes para llevar a cabo; estos métodos incluyen: el trabajo de investigación científica, el prototipo experimental, la sugerencia de invención, el modelo de máquina que se debe copiar o reproducir con modificaciones, etc.

### 1.1.2. Especificaciones y Requisitos.

Una vez conocida la necesidad, se evalúan las condiciones en las cuales se desarrollará el trabajo; en ocasiones ésta puede ser la etapa en la cuál el diseño enfrenta las mayores dificultades, puesto que no siempre se cuenta con la información suficiente, al haber partido únicamente de iniciativas de las áreas de ventas y mercadeo, para ponerlo como ejemplo. En otros casos, en cambio, se puede tener toda la información referente a la máquina cuándo el diseño es propuesto por entidades especiales, como por ejemplo, la Comisión de Energía Atómica.

En esta etapa del diseño es conveniente hacer uso de la experiencia obtenida de diseños y propuestas constructivas

precedentes, ya que casi toda la maquinaria moderna es el fruto de soluciones probadas de anteriores diseñadores.

<sup>1</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Deutschman, Mikels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap.1, pag. 15

### **1.1.3. Estudio de Posibilidades.**

Siguiendo con el diagrama de flujo, se procede al estudio de las posibilidades de diseño y fabricación, acompañado de un estudio del efecto económico de realización del proyecto. Se analizan cuestiones tales como: ¿es realizable?, ¿será rentable?, ¿están a disposición los materiales?, entre otras. El estudio de posibilidades en ocasiones puede malinterpretarse como una herramienta para desechar proyectos.

El estudio de posibilidades deberá ser realizado por ingenieros expertos en diseño, con conocimientos suficientes de la ciencia de la ingeniería, uso de materiales, métodos de producción, efecto del área de ventas en diseño, etc.

### **1.1.4. Síntesis de Diseño Creativo.**

En esta etapa el diseñador hace uso de toda su experiencia anterior para plasmar sus ideas de la mejor forma posible, siempre considerando las etapas anteriores en las cuales se definió los métodos y técnicas de diseño y producción, restándole únicamente hacer uso de la creatividad para sacar adelante el proyecto. En esta etapa el diseñador actúa tanto como ingeniero, así como inventor y artista.

### **1.1.5. Diseño Preliminar y Desarrollo.**

Consiste en llevar a cabo los primeros bosquejos, en los que se puede plantear una o varias opciones para la realización de una máquina, las mismas que, mediante el uso de técnicas de decisión y métodos estadísticos, son escrutadas y, finalmente, de entre ellas se escoge la mejor opción.

Se puede observar en la figura 1.1 de la siguiente página, un ejemplo de opciones constructivas, para un moto-reductor de engranes:

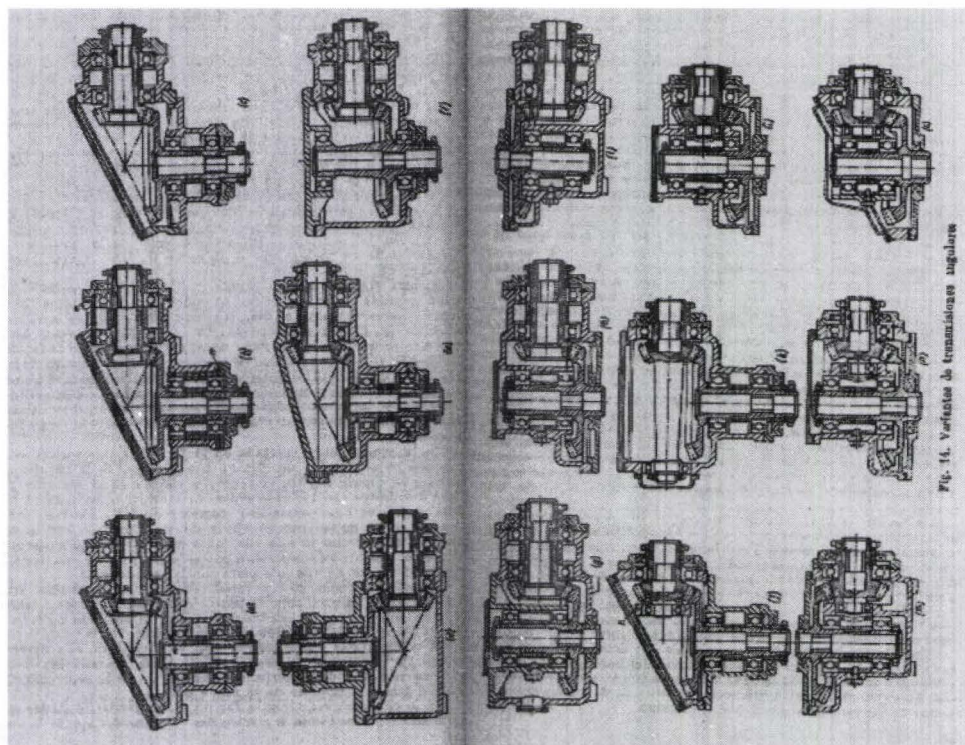


Figura 1.1. Variantes de Transmisiones Angulares<sup>2</sup>

Estas opciones deberán incluir: vistas en corte y auxiliares, despieces, ilustraciones completas de cómo interactuará el subsistema (tema de diseño) con el resto de partes del sistema global al cual pertenece, etc.

Dichos bosquejos deberán contener un detalle completo de las dimensiones y notaciones importantes que ayuden a describir completamente el diseño propuesto, como se ilustra a continuación, en la figura 1.2 de la siguiente página:

<sup>2</sup> Ingeniería de Diseño, Orlov P., editorial Mir (segunda edición), Rusia 1985, Tomo 1, Cap. 2, pag. 92

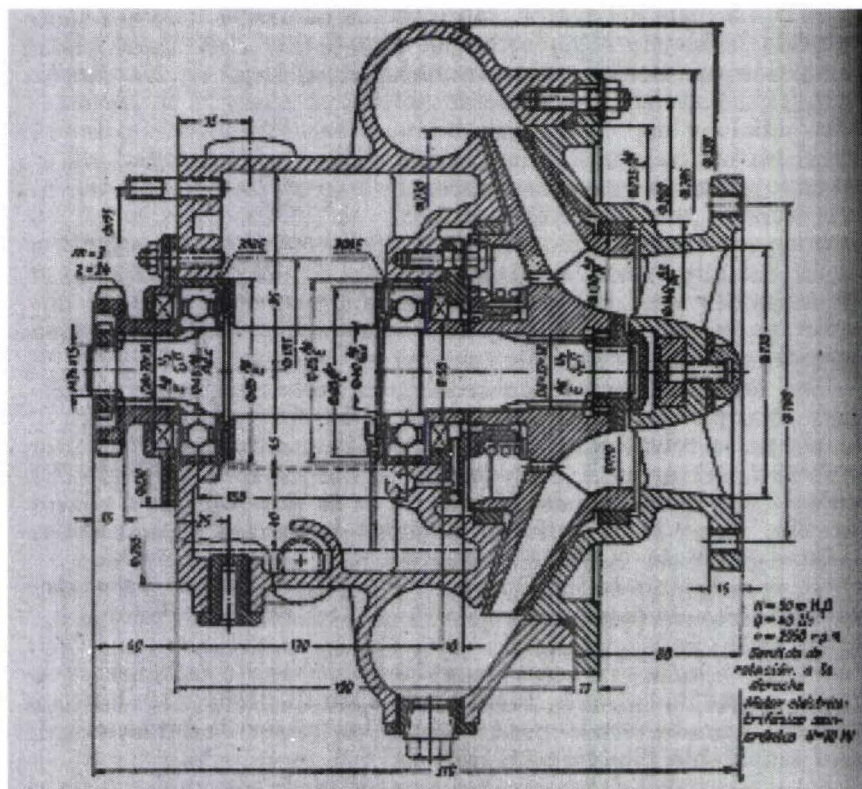


Figura 1.2. Vista General de una Bomba (composición de trabajo)<sup>3</sup>

#### 1.1.6. Diseño Detallado.<sup>4</sup>

El diseño detallado se refiere al aparejo actual y al dimensionamiento de todos los componentes individuales, tanto de los fabricados como de los que se van a comprar, y que constituyen el producto total, dispositivo o sistema. Se elaboran por separado dibujos detallados de cada uno de los componentes, mostrando todas las listas necesarias y todas las dimensiones y tolerancias, así como el material, tratamiento térmico, cantidades de cada uno de los componentes por ensamble, nombre de los componentes, número de dibujo donde va a usarse la parte por ensamble, etc. (Ver figura 1.3)

<sup>3</sup> Ingeniería de Diseño, Orlov P., editorial Mir (segunda edición), Rusia 1985, Tomo 1, Cap. 2 pag. 130

<sup>4</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 1, pag. 18

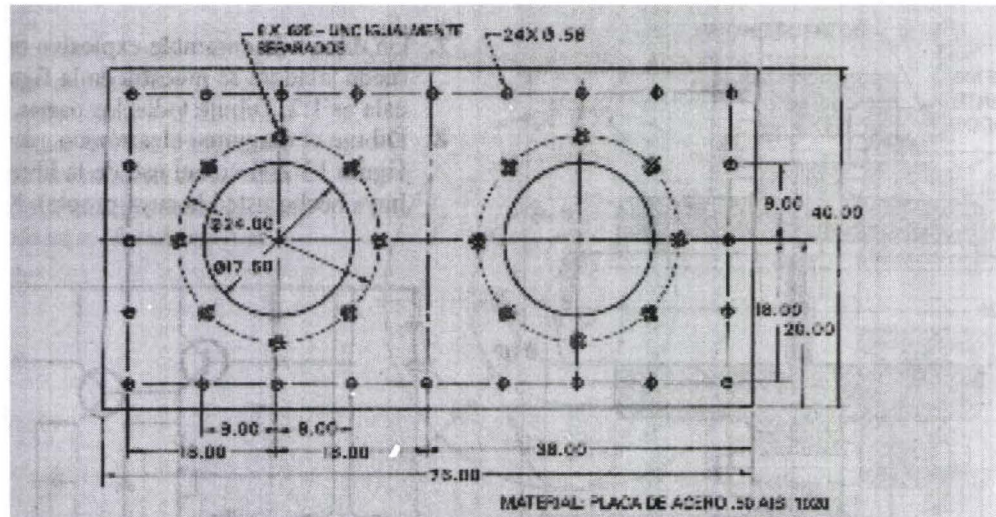


Figura 1.3. Diseño en Detalle de una placa sujetadora

### **1.1.7. Construcción del Prototipo y Pruebas.**

Una vez concretados todos los detalles, se envían al taller los dibujos de armado, (subensambles y ensambles), incluyendo la lista de partes y materiales, para la fabricación del modelo o prototipo.

Se deberá, según lo programado, comprar o fabricar las partes necesarias, para que el ensamble quede listo para su posterior evaluación y prueba. Una vez terminado el periodo de prueba, se podrán definir los cambios necesarios al diseño original, o de una de sus partes en especial.

Una vez que se han realizado las modificaciones en el diseño, se continua con el periodo de prueba, hasta tener la plena certeza de que el sistema esté cumpliendo con todo lo estipulado en las especificaciones.

El siguiente paso es enviar todos los dibujos con las respectivas observaciones de modificación, si fuera del caso, al departamento de ingeniería de producción, para que se formalicen los cambios planteados, y hacer efectiva la producción del prototipo.

### **1.1.8. Diseño de Producción.**

Analizando los cambios en el diseño, se definen los proceso mediante los cuales será producida la máquina; en ocasiones se realizan cambios en el diseño, por facilidad constructiva, es decir si una parte del ensamble con ligeras

modificaciones puede ser producida por medio de un estampado, en vez de fundición, dicho cambio es evaluado y si cumple con las requerimientos de resistencia y forma requeridos, se lo lleva a cabo.

#### **1.1.9. Producto Desechable.**

Debido a que en ocasiones es absolutamente necesaria la construcción de un prototipo, para comprobar el buen funcionamiento de las partes y piezas que componen un sistema, y estos a su vez a medida que va evolucionando el diseño en ocasiones son modificados parcialmente o en su totalidad, el prototipo pasa a ser un producto de desecho, al no cubrir las expectativas de producción, y es devuelto para su análisis y modificaciones al departamento de diseño.

### **1.2. ANÁLISIS DEL DISEÑO<sup>5</sup>**

Es necesario tomar en cuenta que el modelo escogido y los cálculos que lo sostienen, son realmente variables idealizadas en forma aproximada, ya que los cálculos en ingeniería fueron concebidos considerando la homogeneidad y linealidad en la composición y comportamiento de los materiales. En sí, los cálculos realizados dan una idea de los requerimientos aceptables que deberá contener un diseño.

### **1.3. MECANISMOS<sup>6</sup>**

Mecanismo es aquella parte de una máquina que contiene dos o más piezas dispuestas de tal manera que el movimiento de una de ellas obliga a moverse a las otras, según una ley definida que depende de la naturaleza de la combinación.

---

<sup>5</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 1, pag. 20

<sup>6</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (sexta edición), Tomo 1, Sec. 8-3

## **1.4. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS<sup>7</sup>**

*Se llama máquina a un aparato o instrumento, creado por el hombre, que efectúa movimientos mecánicos para transformar energía, materiales e información, con el fin de sustituir o facilitar el trabajo físico e intelectual humano, y aumentar su rendimiento.*

Se entiende por "materiales", aquellos objetos que se mecanizan, las cargas que se transportan, etc.

Una máquina en la cual toda la transformación de la energía, materiales e información se efectúa sin la intervención directa del hombre, se llama *automática*.

Toda máquina se caracteriza por lo siguiente: porque transforma la energía en trabajo mecánico, o el trabajo mecánico en otra forma de energía, ya que dado el movimiento de una de sus partes, todas las demás realizan un movimiento determinado, debido a que su procedencia es artificial, y es el resultado del trabajo de algún ser humano.

La gran diversidad de máquinas que existen se pueden dividir, por el carácter del proceso que realizan, en las siguientes clases: *máquinas motores* o máquinas energéticas, destinadas a transformar cualquier tipo de energía (eléctrica, calorífica, u otra) en energía mecánica (de un cuerpo sólido); *máquinas transformadoras* o máquinas energéticas que sirven para transformar la energía mecánica en energía de cualquier otro tipo (generadores eléctricos, bombas neumáticas e hidráulicas, etc.); *máquinas de transporte*, que transforman la energía mecánica de un motor en energía de translación de masas, y sirven para transportar pasajeros y cargas; *máquinas tecnológicas*, destinadas a transformar el objeto sobre el que trabajan, es decir, a cambiar sus dimensiones, forma, propiedades o estado; y *máquinas de información*, dedicadas a obtener y transformar informaciones.

Un conjunto de máquinas automáticas unidas entre sí por dispositivos automáticos de transporte, y destinadas a efectuar un proceso tecnológico determinado, recibe el nombre de *cadena o línea automática*.

---

<sup>7</sup> Fundamentos de Mecánica Técnica, Movnin, Izraelit, Rubashkin, editorial Mlr (primera edición), Rusia 1985, Cap. 16, pag. 187



En una máquina se pueden destacar las siguientes partes fundamentales: el *órgano receptor*, que recibe directamente la acción de las fuerzas exteriores que ponen en movimiento la máquina (por ejemplo, el émbolo de un motor); los *mecanismos ejecutores*, que realizan el trabajo que para cuya obtención sirve la máquina (por ejemplo, el husillo de una máquina herramienta); y los *mecanismos transmisores* o *de accionamiento*, que sirven para transmitir y transformar el movimiento, desde el órgano receptor al mecanismo ejecutor (por ejemplo, el mecanismo de manivela, el reductor, y otros). Además de las partes principales indicadas, la máquina tiene órganos de mando y regulación del movimiento, y una parte fija (bancada, cimiento, bastidor, etc.), que sirve de apoyo a los órganos móviles de la máquina.

### **1.5. FACTOR DE SEGURIDAD.<sup>8</sup>**

El factor de seguridad o de diseño es una medida de seguridad relativa de funcionamiento, para un componente que soporta una carga, denotado generalmente por la letra N. El diseñador es quien debe determinar el valor razonable de este factor, para cualquier situación específica, relacionando siempre la realidad con las consideraciones de diseño.

El factor de seguridad, se puede escoger en base a los siguientes criterios básicos:

1. *Casos normales para estructuras o elementos de máquinas.* Material dúctil bajo condiciones de incertidumbre moderada en relación a propiedades del material, naturaleza de la carga, o grado en el que es adecuado el análisis de tensión. Utilice  $N = 3$ .
2. *Estructuras estáticas.* Materiales dúctiles con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material, magnitud de las cargas y grado en que resulta adecuado el análisis de tensión. Utilice  $N = 2$ .
3. *Estructuras estáticas.* Materiales quebradizos con alto grado de confianza en el conocimiento de las condiciones de operación. Utilice  $N = 3$ .

---

<sup>8</sup> Diseño de elementos de máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 5, pag. 154

4. ***Elementos de máquinas.*** Materiales quebradizos con incertidumbre moderada acerca de las propiedades, cargas o análisis de tensión del material. Utilice  $N = 4$  o mayor.
5. ***Elementos de máquinas.*** Materiales dúctiles con incertidumbre en relación a alguna combinación de propiedades, cargas, o análisis de tensión del material, en particular bajo condiciones de choque o carga por impacto. Utilice  $N = 4$  o mayor.

## CAPITULO 2

# ANÁLISIS GENERAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y METALÚRGICAS DEL ACERO Y MATERIALES SELECTOS UTILIZADOS EN INGENIERÍA

### 2.1. PROPIEDADES MECÁNICAS.<sup>9</sup>

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan su comportamiento ante esfuerzos de tipo mecánico. Propiedades tales como: módulo de elasticidad, ductilidad, dureza y varias medidas de resistencia, son de vital importancia tanto en el diseño como en la manufactura.

Al diseñar se deben evaluar bien las propiedades mecánicas de un material (principalmente el módulo de elasticidad y la resistencia a la fluencia), ya que el objetivo general es el de minimizar el cambio de la geometría de un cuerpo en presencia de una carga.

Por el contrario, en la manufactura lo que se busca es cambiar la geometría de un cuerpo para así obtener un producto con un valor adicional, mediante la aplicación de esfuerzos que excedan el límite de fluencia del material, a fin de alterar de manera definitiva su forma (deformación plástica), ejemplo: el conformado y el maquinado.

El compromiso entre diseño y manufactura es el de diseñar un producto que posea buenas propiedades (módulo de elasticidad, resistencia a la fluencia), pero considerando a la vez que valores excesivamente altos de estas propiedades van a dificultar la manufactura.

#### 2.1.1. Relaciones Esfuerzo – Deformación

Los materiales pueden ser sometidos a tres tipos de esfuerzos estáticos: tensión, compresión y corte, que tienden a alargar, comprimir y a deslizar porciones adyacentes de material una sobre otra, correspondientemente.

---

<sup>9</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), Cap. 3, pag. 43

*Curva de Esfuerzo Deformación*<sup>10</sup>.- Ésta se obtiene por la acción de una carga estática sobre una probeta estándar, por medio de la aplicación lenta de la misma, para lograr el equilibrio de todas las partes de la probeta en cada instante. La curva (figuras 2.1 y 2.2) se obtiene, por lo general, gobernando la rapidez de la carga en la máquina de tracción. La norma ASTM E8 especifica una rapidez de carga que no exceda de  $70 \text{ kg/mm}^2/\text{min}$  ( $100000 \text{ lb/pulg}^2/\text{min}$ ).

Otro método para obtener la curva es especificar la rapidez de deformación como la variable independiente, en cuyo caso la rapidez de carga se ajusta en forma continua para mantener la rapidez de deformación requerida (comúnmente  $0.05 \text{ pulg/pulg/min}$ ), medida con un extensómetro acoplado al tramo de medición de la probeta.

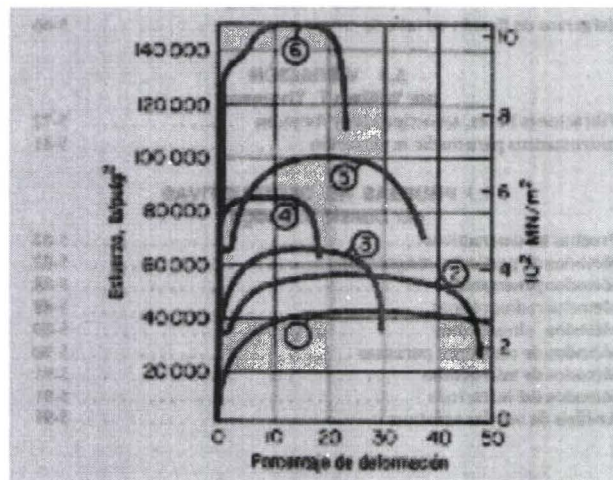


Figura 2.1. Diagramas comparativos de esfuerzo-deformación.

- 1) Latón blando; 2) acero de bajo carbono; 3) bronce - duro; 4) acero laminado en frío; 5) acero de contenido medio de carbono, recocido; 6) acero de contenido medio de carbono, tratado térmicamente<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 5-2

<sup>11</sup> Ibidem

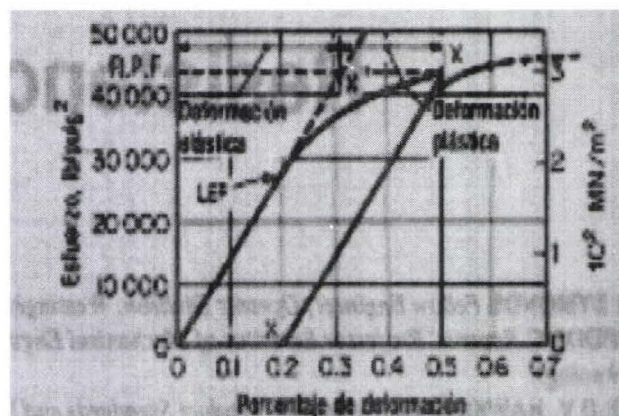


Figura 2.2. Diagrama general de esfuerzo – deformación<sup>12</sup>

En la mayor parte de los materiales en ingeniería, la curva tendrá una región elástica de carácter lineal al inicio, en donde la deformación es reversible dependiente del tiempo. La pendiente en esta región es el denominado **módulo de Young, E**.

El **límite elástico proporcional (LEP)** es el punto en donde la curva empieza a desviarse de la línea recta.

El **límite elástico** (con frecuencia no distinguible del LEP) es el punto sobre la curva más allá del cuál está presente la deformación plástica, aún después que deja de actuar la carga. Al aumentar el esfuerzo, la curva esfuerzo deformación se aleja cada vez más de la línea recta; al quitar la carga de la probeta en el punto X, la porción XX' es lineal y prácticamente paralela a la línea original OX"

La **deformación permanente** corresponde a la distancia OX', y es igual al esfuerzo en X; esta es la base para encontrar la resistencia en el punto de fluencia.

La **resistencia en el punto de fluencia**, que se obtiene trazando la línea XX' paralela a la línea elástica OX", pero desplazada de ella un valor arbitrario de deformación permanente; el valor de deformación permanente es el de 0.2 % tomado desde el tramo de medición original; la intersección de la línea antes mencionada (XX') con la curva determina el valor del esfuerzo denominado

<sup>12</sup> Ibidem

resistencia en el punto de fluencia, valor especificado con la deformación permanente.

La **resistencia a la tracción (tensión) última** (RTU) es la carga máxima que puede soportar la probeta dividida entre el área de sección transversal original de probeta

El **porcentaje de alargamiento en la falla** es la extensión plástica de la probeta en la falla, expresada como el cambio de la longitud original multiplicada por cien y dividida entre la longitud de medición original. Esta extensión es la suma de los alargamientos *uniformes* y *no uniformes*. El alargamiento uniforme es el que ocurre antes de la RTU. Tiene una importancia inequívoca, que se asocia con el esfuerzo uniaxial, mientras que el alargamiento no uniforme que ocurre durante la extensión localizada (estrechamiento) esta asociada con el esfuerzo triaxial. El alargamiento no uniforme dependerá de la geometría, particularmente de la relación entre la longitud de medición de la probeta,  $L_0$  y el diámetro  $D$ , o la raíz cuadrada del área de la sección transversal  $A$ . La norma ASTM E8 especifica la geometría de la probeta de prueba para varios tamaños de probetas. La relación  $L_0 / \sqrt{A}$  se mantiene en 4.5 para las probetas de secciones transversales planas y redondas; siempre debe especificarse la longitud de medición original al dar los valores del alargamiento.

El **porcentaje de reducción de área** (RA) de la probeta es la contracción del área de la sección transversal en el instante de fractura, expresada en porcentaje respecto al área original: se obtiene midiendo la sección transversal en la fractura de la probeta rota.

La **ductilidad** de un material se determina a partir de la cantidad de deformación que soporta un material hasta la fractura, se puede determinar la ductilidad de un material a partir de dos mediciones: elongación y reducción de área.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sidney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 54

Las fallas de separación por lo general ocurren en los materiales quebradizos, como ciertas fundiciones del hierro. Las fallas combinadas de corte y separación

<b>Propiedades mecánicas típicas a temperatura ambiente</b> (Basadas en los valores ordinarios de esfuerzo – deformación)					
<b>Metal</b>	<b>Resistencia a la tracción klb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia en el punto de fluencia klb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>Alargamiento máximo, %</b>	<b>Reducción de área, %</b>	<b>Número Brinell</b>
Fundición de hierro	18-60	8-40	0	0	100-300
Hierro forjado	45-55	25-35	35-25	55-30	100
Hierro comercialmente puro, recocido	42	19	48	85	70
Hierro laminado en caliente	48	30	30	75	90
Hierro laminado en frío	100	95			200
Acero estructural ordinario	50-65	30-40	40-30		120
Acero estructural: baja aleación – alta aleación	65-90	40-80	30-15	70-40	150
Acero SAE 1300, recocido	70	40	26	70	150
Acero SAE 1300, templado, estirado a 1300°F	100	80	24	65	200
Acero SAE 1300, templado, estirado a 1000°F	130	110	20	60	260
Acero SAE 1300, templado, estirado a 700°F	200	180	14	45	400
Acero SAE 1300, templado, estirado a 400°F	240	210	10	30	480
Acero SAE 4340, recocido	80	45	25	70	170
Acero SAE 4340 Templado, estirado a 1300°F	130	110	20	60	270
Acero SAE 4340 Estirado a 1000°F	190	170	14	50	395
Acero SAE 4340 Estirado a 700°F	240	215	12	48	480
Acero SAE 4340 Estirado a 400°F	290	260	10	44	580
Acero laminado en frío, SAE 1112	84	76	18	45	160

Propiedades mecánicas típicas a temperatura ambiente (Basadas en los valores ordinarios de esfuerzo – deformación)					
Metal	Resistencia a la tracción klb/pulg <sup>2</sup>	Resistencia en el punto de fluencia klb/pulg <sup>2</sup>	Alargamiento máximo, %	Reducción de área, %	Número Brinell
Acero inoxidable 18-S	85-95	30-35	60-55	75-65	145-160
Fundiciones de acero, trat. Térmicamente	60-125	30-90	33-14	65-20	120-250
Aluminio puro, Laminado	13-24	5-21	35-5		23-44
Fundiciones de Aluminio – Cobre	19-23	12-16	4-0		50-80
Forjas tratadas térmicamente	30-60	10-50	33-15		50-120
Aluminio de fundición a presión	30		2		
Aleación de aluminio 17ST	56	34	26	39	100
Aleación de aluminio 51ST	48	40	20	35	105
Cobre recocido	32	5	58	73	45
Cobre estirado en frío	68	60	4	55	100
Latones varios	40-120	8-80	60-3		50-170
Bronce fosforado	40-130		55-5		50-200
Bronce Tobin, laminado	63	41	40	52	120
Diversas aleaciones de Magnesio	21-45	11-30	17-0.5		47-78
Monel 400, aleación Ni – Cu	79	30	48	75	125
Molibdeno, laminado	100	75	30		250
Plata, fundición, recocido	18	8	54		27
Titanio, aleación 6-4, recocido	130	120	10	25	352
Hierro dúctil, grado 80-55-06	80	55	6		225-255

Tabla 2.1<sup>14</sup>

son comunes en las probetas redondas de material dúctil. Lo más común es que la falla en el material se produzca en el eje de una región estrecha produciendo un área relativamente plana creciente hasta llegar al punto en el cual el material se corta formando un cono en el exterior de la probeta (fractura de copa y cono, figura 2.3).

Las fracturas más frecuentes en las probetas redondas son las de doble copa y cono, y de tipo roseta

<sup>14</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 5-3



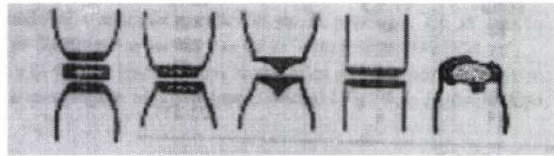


Figura 2.3. Fracturas a la tracción (tensión) típicas de metales<sup>15</sup>

Los aceros recocidos o laminados en caliente, exhiben un **punto de fluencia** en curva como la que se muestra en la figura 2.4.

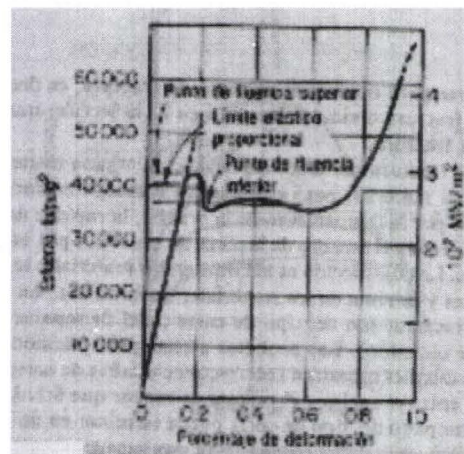


Figura 2.4. Fluencia del acero recocido<sup>16</sup>

La forma exacta de la curva esfuerzo – deformación para este tipo de prueba puede verse afectada por la temperatura de la prueba y por las características de la máquina de tracción utilizada.

La reacción plástica en una prueba de tracción uniaxial puede ilustrarse como la *verdadera curva esfuerzo – deformación*.

El **esfuerzo verdadero**,  $\sigma$  se basa en la sección transversal instantánea  $A$  de manera que  $\sigma = Carga / A$ . El incremento instantáneo de *deformación verdadera* es  $-dA / A$ , o  $dL / L$  antes del estrechamiento. La deformación verdadera total  $\epsilon$  es

<sup>15</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 5-4

<sup>16</sup> Ibidem

$$\int_{A_0}^A \frac{dA}{A} = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (2.1)$$

O  $\ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$  antes del estrechamiento. La verdadera curva esfuerzo – deformación

es la que se muestra a continuación (figura 2.5):

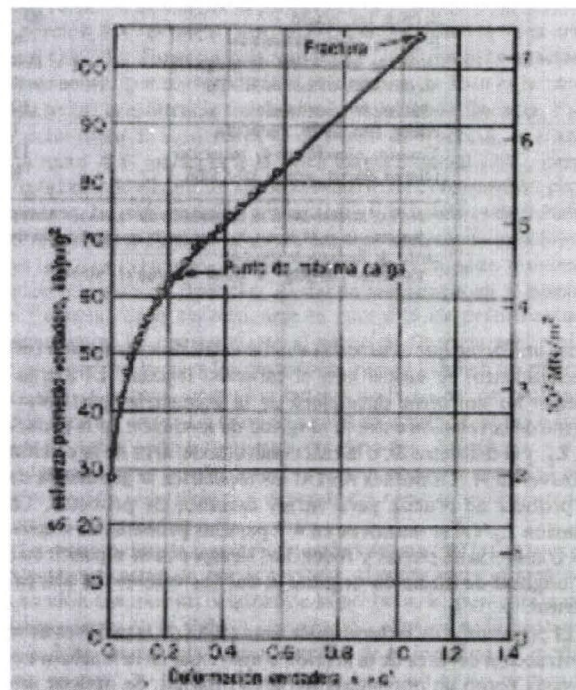


Figura 2.5. Curva verdadera de esfuerzo-deformación para acero dulce recocido a 20°C<sup>17</sup>

En la prueba: en el punto que sigue al de máxima carga (RTU), en el estrechamiento la verdadera deformación importante es la que ocurre en un tramo infinitesimal de la región de mínima sección transversal. Sirve para expresar la deformación verdadera en estos casos la relación  $\ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$ , en donde  $A$  es la mínima sección transversal.

En el intervalo entre la fluencia inicial y la región del punto de máxima carga, la relación entre deformación plástica  $\varepsilon_p$  y el esfuerzo verdadero con frecuencia se aproxima a:

<sup>17</sup> Ibidem

$$\sigma = K\varepsilon_p^n \quad (2.2)$$

En dónde  $k$  es el *coeficiente de resistencia* y  $n$  es el *exponente de endurecimiento por trabajo* (Ver Tabla 2.2)

Constante de flujo plástico a temperatura ambiente para varios metales			
Material	Condición	$K$ , Klb/pulg <sup>2</sup> (MN/m <sup>2</sup> )	$n$
Acero de 0.4 % C	Templado y revenido a 400°F (478°k)	416 (2860)	0.088
Acero de 0.5 % C	Recocido y con revenido por laminación en frío	72 (49.6)	0.235
Aluminio 2024	Endurecido por precipitación	100 (689)	0.16
Aluminio 2024	Recocido	49 (338)	0.21
Cobre	Recocido	46.4 (319)	0.54
Latón 70-30	Recocido	130 (895)	0.49

Tabla 2.2<sup>18</sup>

Para materiales que exhiban un punto de fluencia la relación se aplica sólo en la parte ascendente de la curva, más allá del punto de fluencia inferior. En el punto de máxima carga la pendiente de la curva verdadera esfuerzo – deformación, es igual que el esfuerzo verdadero, de dónde se concluye que para un material que sigue la relación exponencial antes mencionada entre  $\varepsilon_p$  y  $n$ ,  $n = \varepsilon_p$  en el punto en dónde la carga es máxima. El exponente influye fuertemente en el intervalo resistencia en el punto de fluencia y la RTU sobre la curva esfuerzo – deformación de ingeniería.

<sup>19</sup>La curva esfuerzo contra deformación verdadera proporciona una gran cantidad de información sobre el comportamiento plástico. La ley de Hooke ( $\sigma = E\varepsilon$ ) gobierna el comportamiento de los metales en la región elástica y la curva de fluencia ( $\sigma = K\varepsilon_p^n$ ) determina el comportamiento en la región plástica.

Existen tres formas básicas de determinar el comportamiento de casi todos los tipos de materiales sólidos en la curva esfuerzo – deformación (figura 2.6), y son:

a) *Perfectamente elástica*. Se define el comportamiento de este tipo de materiales por su rigidez, medida por medio del módulo de elasticidad  $E$ ; el material tiende más a fracturarse que a ceder a la fluencia plástica.

<sup>18</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 5-3

<sup>19</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 51

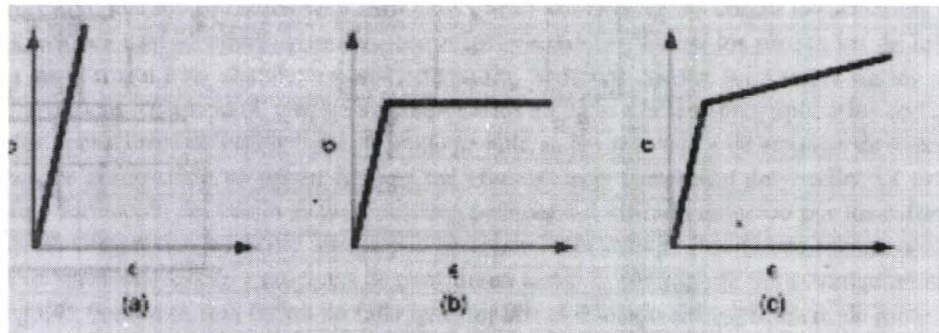


Figura 2.6. Tres categorías de relaciones esfuerzo contra deformación: (a) perfectamente elástica; (b) elástica y perfectamente plástica; (c) elástica y endurecimiento por deformación.<sup>20</sup>

b) *Elástica y perfectamente plástica.* La rigidez de este tipo de materiales está definida por el índice  $E$ . En el punto de fluencia el material se deforma plásticamente, de la misma forma en la cuál aumenta el esfuerzo. La curva de fluencia está dada por una relación *límite de fluencia* =  $K$  y  $n = 0$ . Los metales tienen este comportamiento cuándo son sometidos a altas temperaturas (de recristalización), y en menor medida por el endurecimiento producido por trabajos de deformación. El metal en el cual es posible comprobar con facilidad esta condición es el plomo, ya que su temperatura de recristalización es inferior a la temperatura ambiente.

c) *Elástica y endurecible por deformación.* Son materiales que obedecen a la ley de Hooke en la región elástica y ceden a partir del punto de fluencia, con deformación continua a esfuerzos crecientes, en una curva esfuerzo deformación en dónde el índice  $K$  es mayor que el límite de fluencia, y  $n > 0$ . La mayoría de metales dúctiles se comportan de esta manera.

Un punto sobre la curva de flujo identifica el *esfuerzo de flujo* que corresponde a cierta deformación, es decir, el esfuerzo requerido para lograr la cantidad de deformación plástica correspondiente a dicho esfuerzo.

La forma más adecuada de describir con exactitud grandes cantidades de deformación plástica es por medio del uso de la deformación verdadera.

<sup>20</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 51

La deformación unitaria lineal  $(L - L_0)/L_0$  es ineficaz al realizar la corrección necesaria debido a que la longitud cambia constantemente, provocando errores a medida que avanza la deformación.

Durante la prueba de tracción de una probeta, el cambio de área de la sección transversal de la probeta está relacionado con la elongación por la *relación de Poisson*  $\mu$ , que es la relación entre las deformaciones en los sentidos transversal y longitudinal. En la tabla se indica algunos valores para  $\mu$  en la región elástica.

Para la región plástica  $\mu$  es de aproximadamente 0.5.

Constantes elásticas de los metales				
Metal	E Módulo de elasticidad (módulo de Young). 1000000 lb/pulg <sup>2</sup>	G Módulo de rigidez (módulo al corte). 1000000 lb/pulg <sup>2</sup>	K Módulo volumétrico 1000000 lb/pulg <sup>2</sup>	$\mu$ Relación de Poisson
Acero de fundición	28.5	11.3	20.2	0.265
Acero laminado en frío	29.5	11.5	23.1	0.287
Acero inoxidable 18-8	27.6	10.6	23.6	0.305
Los demás aceros incluso los de alto carbono, trat. térmicamente	28.6-30	11.0-11.9	22.6-24	0.283-0.292
Fundición de hierro	13.5-21	5.2-8.2	8.4-15.5	0.211-0.299
Hierro maleable	23.6	9.3	17.2	0.271
Cobre	15.6	5.8	17.9	0.355
Latón 70-30	15.9	6.0	15.7	0.331
Fundición de Latón	14.5	5.3	16.8	0.357
Bronce Tobin	13.8	5.1	16.3	0.359
Bronce fosforado	15.9	5.9	17.8	0.350
Diversas aleaciones de aluminio	9.9-10.3	3.7-3.9	9.9-10.2	0.330-0.334
Metal Monel	25.0	9.5	22.5	0.315
Inconel	31	11		0.27-0.38
Níquel Z	30	11		
Cobre al berilio	17	7		
Elektrón (aleación de magnesio)	6.3	2.5	4.8	0.281
Titanio (99.0 Ti), barra recocida	15-16	6.5		0.34
Zirconio, barra cristalina	11-14			
Molibdeno, fundición de arco	48-52			

Tabla 2.3<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 5-3

Al aumentar la rapidez de deformación y disminuir la temperatura de la prueba, se aumenta también la resistencia a la deformación plástica, elevando así la curva de flujo.

Los efectos de la rapidez de deformación se expresan por medio del índice *sensibilidad a la rapidez de deformación*,  $m$ . Este valor puede medirse en la prueba de tracción, con un pequeño incremento de forma repentina de la rapidez de deformación durante la extensión plástica, saltando el esfuerzo de flujo a un valor superior. La sensibilidad a la rapidez de deformación es la relación entre los cambios incrementales de  $\log \sigma$  y  $\log \dot{\epsilon}$ :

$$m = \left( \frac{\Delta \log \sigma}{\Delta \log \dot{\epsilon}} \right)_{\epsilon} \quad (2.3)$$

Para casi todos los materiales utilizados en ingeniería, el valor de esta relación a la temperatura ambiente es de 0.01. El efecto se vuelve significativo a temperaturas elevadas, con valores que van desde 0.2 y en ocasiones más altos.

**Pruebas de compresión.** La curva de esfuerzo deformación a la compresión (figura 2.7) es muy similar a la misma curva, pero en el caso de tensión, hasta la resistencia en el punto de fluencia, ya que la sección transversal de la probeta a medida que va avanzando la prueba tiende a ensancharse (abarrilamiento), dando así a la curva su forma característica (Figura 2.8).

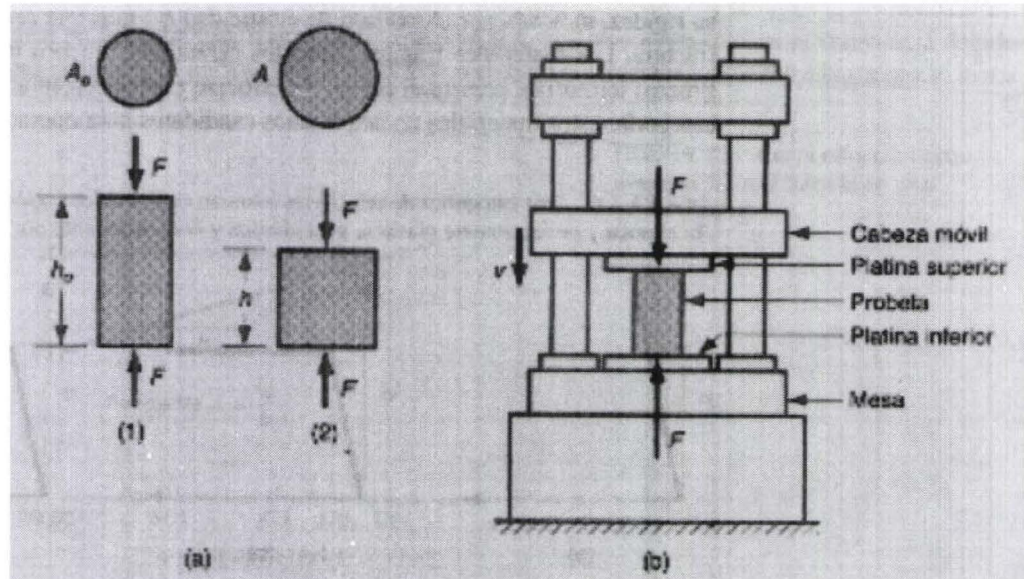


Figura 2.7. Ensayo a la compresión aplicada a la pieza de prueba en (1) y (2) resultando un cambio de altura; (b) instalación para la prueba, con el tamaño del espécimen de prueba exagerado<sup>22</sup>

Los valores de  $K$  y  $n$  de la curva de fluencia pueden ser tomados de las tablas para los ensayos de tracción, ya que son aplicados con igual validez para ambos casos.

Se deben ignorar los efectos de la formación del cuello (figura 2.9), cuándo se toman los efectos de tracción como iguales a los de compresión

<sup>22</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 52

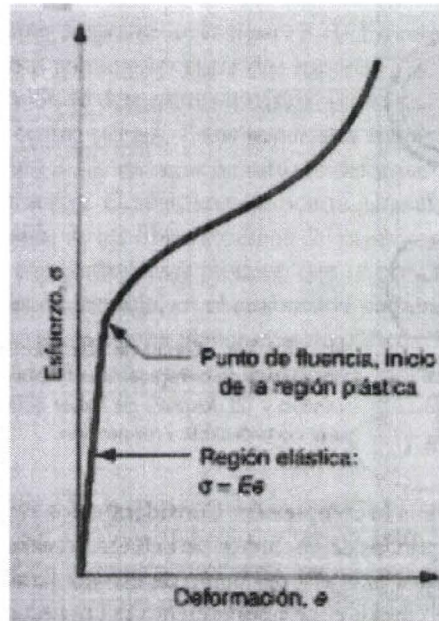


Figura 2.8. Curva típica esfuerzo contra deformación ingenieril para un ensayo de compresión.<sup>23</sup>

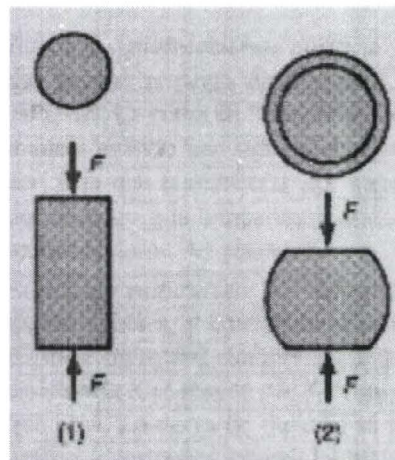


Figura 2.9. Efecto de abarillamiento en un ensayo de compresión: (1) inicio del ensayo y (2) después de haber ocurrido una considerable compresión.<sup>24</sup>

### 2.1.2. Doblado y Ensayo de Materiales Frággiles.<sup>25</sup>

El proceso de doblar o flexionar un material, somete al material a esfuerzos de tensión (deformación), en la mitad externa de la sección doblada, y a esfuerzos de compresión (deformación) en la mitad interna. El material sufre un cambio de forma permanente (doblado) o se romperá con el esfuerzo.

<sup>23</sup> Ibidem

<sup>24</sup> Ibidem

<sup>25</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 54



Materiales como los cerámicos (duros y frágiles), poseen elasticidad pero casi o ninguna plasticidad; suelen ensayarse por métodos que someten a la probeta a cargas flexionantes [estos materiales no responden bien a la prueba tradicional de tracción, debido a problemas en la preparación del material (espécimen) y a desajustes en las mordazas de la máquina]. En la figura 2.10 se ilustra un bosquejo de la prueba.

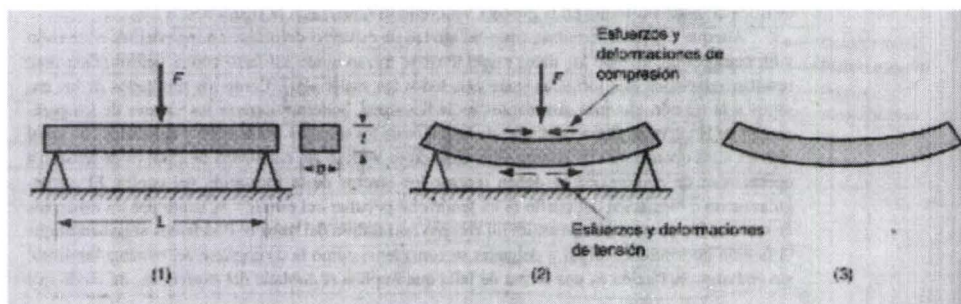


Figura 2.10. El doblado de una sección transversal rectangular tiene por resultado un esfuerzo de tensión y uno de compresión en el material: (1) carga inicial, (2) espécimen altamente deformado y esforzado y (3) pieza doblada.<sup>26</sup>

La flexión de los materiales no es tan exagerada como se muestra, su deformación elástica llega únicamente hasta un punto anterior a la fractura y esta se produce generalmente la resistencia última a la tensión en las fibras externas del espécimen, presentándose *el clivaje* que es el nombre adoptado para ruptura en materiales metálicos y cerámicos que se trabajan a bajas temperaturas de servicio; ocurriendo a lo largo de ciertos planos cristalográficos una separación antes que un deslizamiento en dichos planos.

El valor de la *resistencia a la ruptura transversal*, para esta prueba se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$TRS = \frac{1.5FL}{bt^2} \quad (2.4)$$

donde:

$F$  = Carga aplicada en la fractura, en N (lb.).

$L$  = Longitud del espécimen en mm. (pulg.).

$b$  y  $t$  son las dimensiones de la sección transversal en mm. (pulg.).

<sup>26</sup> Ibidem

La **resistencia a la ruptura transversal** no es determinable en materiales no frágiles como los polímeros termoplásticos, ya que el material es posible que se deforme en lugar de fracturarse, en su lugar pueden usarse dos medidas: 1) registro de la carga a un nivel dado de deflexión, o 2) la deflexión observada a una carga dada.

### 2.1.3. Propiedades por Cortante

El corte en un material se produce al aplicar esfuerzos en dirección opuesta, sobre cualquier lado de un espécimen delgado para deflectorlo, como en la figura 2.11:

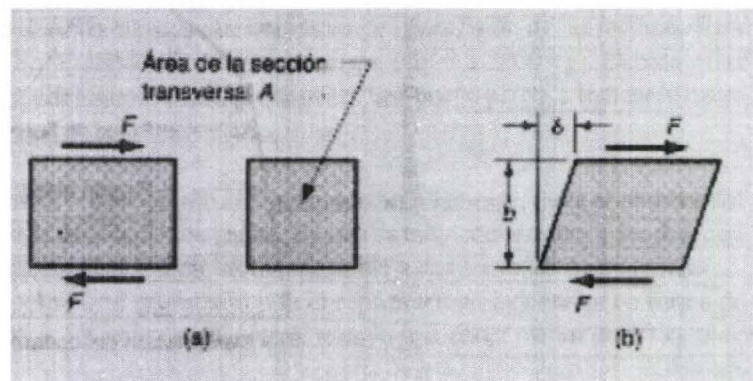


Figura 2.11. (a) Esfuerzo cortante; (b) deformación por cortante.<sup>27</sup>

El esfuerzo cortante se define como:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

donde:

$\tau$  = Esfuerzo, en MPa (lb./pulg<sup>2</sup>).

$F$  = Carga aplicada en la fractura, en N (lb.).

$A$  = Área de aplicación de la fuerza, en mm<sup>2</sup> (pulg<sup>2</sup>).

<sup>27</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 55

La deformación de corte puede definirse como:

$$\gamma = \frac{\delta}{b} \quad (2.6)$$

donde:

$\gamma$  = Deformación por cortante, en pulg/pulg (mm/mm)

$\delta$  = Deflexión del elemento, en pulg (mm)

$b$  = Distancia ortogonal sobre la cual ocurre la deflexión, en pulg (mm)

El esfuerzo cortante y la deformación, por lo general, se estiman mediante el sometimiento de un espécimen tubular de pared delgada al momento torsional (figura 2.12).

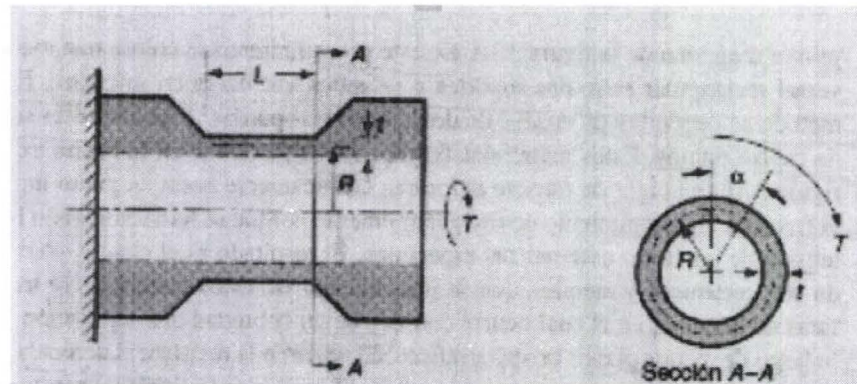


Figura 2.12. Instalación del ensayo de torsión.<sup>28</sup>

Conforme este momento aumenta, el tubo se deflecta torciéndose, lo que para este tipo de geometría significa una deformación por cortante.

La *deformación por cortante* se determina por medio de la fórmula:

$$\tau = \frac{T}{2\pi R^2 t} \quad (2.7)$$

donde:

$T$  = Momento de torsión aplicado, en lb-pulg (N-mm).

$R$  = Radio del tubo medido hasta el eje neutral de la pared, en pulg (mm).

$t$  = Espesor de la pared, en pulg (mm).

<sup>28</sup> Ibidem

La deflexión por cortante, por lo general se estima por medio de la deflexión angular del tubo, que equivale a una distancia deflectada, y dividida por la longitud de calibración  $L$  y simplificada se tiene:

$$\gamma = \frac{R\alpha}{L} \quad (2.8)$$

donde:

$\alpha$  = Deflexión angular, en radianes.

La curva esfuerzo deformación por cortante típica en la región elástica, está definida por la relación

$$\tau = G\gamma \quad (2.9)$$

donde:

$G$  = Módulo de corte, que para casi todos los materiales puede aproximarse mediante la expresión  $G = 0.4E$ .

En la región plástica de la curva esfuerzo – deformación, el material sufre un endurecimiento por deformación, lo que provoca un aumento en el momento torsional, hasta cuándo ocurre la fractura (figura 2.13).

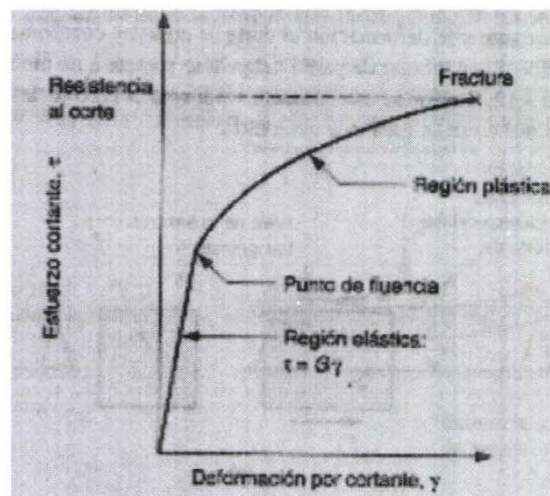


Figura 2.13. Curva típica esfuerzo contra deformación al corte en un ensayo de torsión.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 56

El esfuerzo a la fractura (resistencia al corte  $S$ ) puede calcularse con los datos de resistencia a la tensión del material mediante la aproximación  $S = 0.7RTU$ .

El área de la sección transversal del espécimen no cambia, como sucede en los ensayos de tracción y compresión, por lo tanto la curva esfuerzo – deformación en ensayo de torsión será la misma para los dos análisis: real y de ingeniería.

## 2.2. DUREZA.<sup>30</sup>

La dureza se define como la resistencia de un material a la indentación permanente. Un buen índice de dureza equivale a un material resistente al desgaste y rayado, lo que es importante en una gran variedad de aplicaciones en ingeniería: fabricación de engranes y baleros para rodamientos, etc.

### 2.2.1. Ensayos de Dureza.<sup>31</sup>

Un ensayo de dureza es utilizado para valorar las propiedades de un material; estos ensayos son convenientes y rápidos. Existen diferentes tipos, debido a la variedad de materiales existentes (originando diferencias de durezas). Los más conocidos son los ensayos Brinell y Rockwell (figura 2.14).

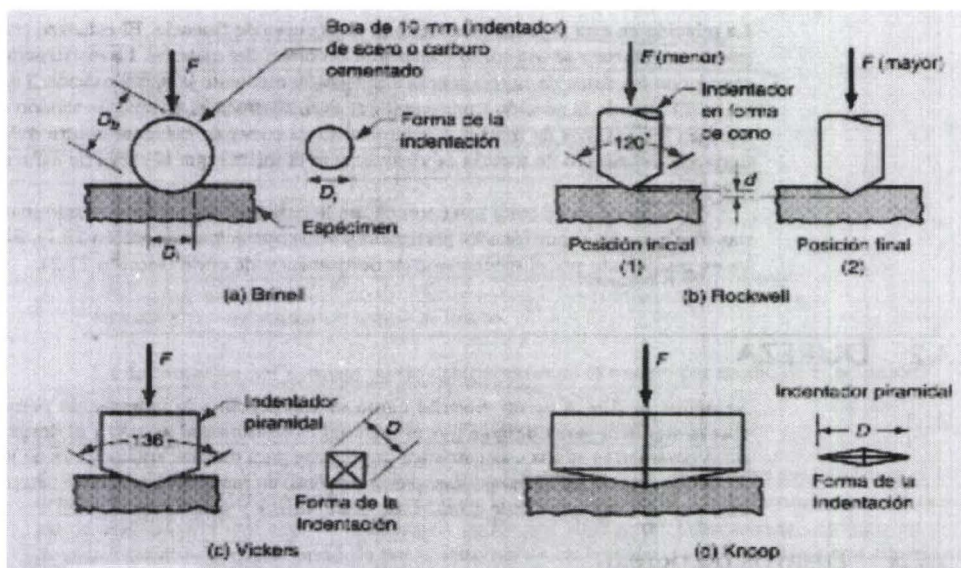


Figura 2.14. Métodos de ensayo de la dureza: (a) Brinell; (b) Rockwell: (1) carga menor inicial y (2) carga mayor; (c) Vickers; y (d) Knoop.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 57

<sup>31</sup> Ibidem

<sup>32</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 58

El ensayo *Brinell* es utilizado ampliamente para probar metales y no metales de dureza baja y media. El ensayo consiste en presionar una bola de acero endurecido (o carburo cementado) de 10 mm, contra el espécimen con una carga de 500, 1500 o 3000 kg. Luego se divide la carga entre el área de indentación para la obtención del número de dureza Brinell (HB), que en términos matemáticos significa:

$$HB = \frac{2F}{(\pi D_b) \left( D_b - \sqrt{D_b^2 - D_i^2} \right)} \quad (2.10)$$

donde

$F$  = Carga de indentación, en kg.

$D_b$  = Diámetro de la bola, en mm.

$D_i$  = Diámetro de la indentación sobre la superficie, en mm.

Las unidades del número Brinell son  $\text{kg/mm}^2$ , usualmente omitidas

El uso de una bola de indentación fabricada de carburo cementado se utiliza para ensayos en materiales duros (arriba de 500 HB), debido a que las de acero tienden a deformarse elásticamente, mermando la precisión de las lecturas.

La carga debe ser mayor para materiales más duros (1500 a 3000 kg). En reportes de dureza es una buena práctica, el indicar la carga usada en el ensayo.

Dependiendo del indentador y de la carga aplicada, se pueden obtener diferentes tipos de lecturas de dureza (durezas Rockwell A, B, C, Tabla 2.4).

Escala comunes de dureza Rockwell				
Escala Rockwell	Símbolo de dureza	Indentador	Carga (kg)	Materiales típicos
A	HRA	Cone	60	Carburos, cerámicos
B	HRB	Bola de 1/6 de pulgada	100	Metales no ferrosos
c	HRC	Cone	150	Metales ferrosos, aceros de herramienta

Tabla 2.4<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 58

El ensayo *Vickers* de dureza usa un indentador en forma de pirámide, hecho de diamante. El fundamento del ensayo se basa en que las impresiones del indentador tienen similares geometrías sin importar la carga aplicada, por lo que es posible aplicar varias cargas dependiendo del material y de la dureza del mismo. La dureza *Vickers* se determina por medio de la fórmula:

$$HV = \frac{1.854F}{D^2} \quad (2.11)$$

donde:

$F$  = Fuerza aplicada, en kg.

$D$  = La diagonal de la impresión realizada por el indentador, en mm.

En el ensayo *Vickers* puede utilizarse en todos los metales, ya que cuenta con una amplia gama de escalas de dureza.

El ensayo *Knoop* de dureza se lo realiza por medio de un indentador de diamante en forma de pirámide cuya relación largo – ancho es de 7 a 1; las cargas aplicadas son por lo general más ligeras que las utilizadas en el ensayo *Vickers*.

La dureza *Knoop* es un ensayo de micro dureza, muy utilizado para evaluar especímenes pequeños y delgados, así como materiales duros que podrían fracturarse si se aplican cargas elevadas. La forma del indentador hace que las lecturas de la huella dejada sean fáciles, a causa de las cargas más ligeras utilizadas en este ensayo. Debido a la pequeña indentación dejada por esta prueba, se debe preparar adecuadamente la superficie a medir.

El ensayo *Knoop* se evalúa a partir de la fuerza aplicada (kg) y de la diagonal de la indentación  $D$  (mm), por medio de la siguiente fórmula:

$$HK = \frac{14.2F}{D^2} \quad (2.12)$$

El uso del *escleroscopio* (figura 2.15) se centra en la evaluación de piezas de acero de gran magnitud y otras aleaciones ferrosas.

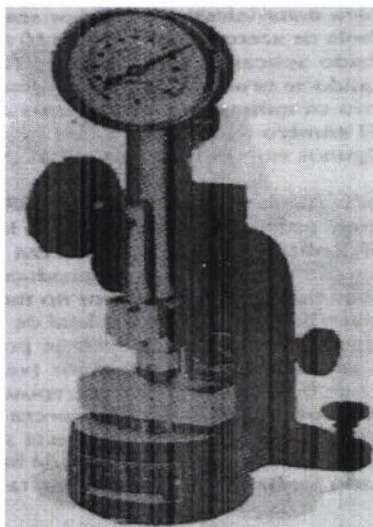


Figura 2.15. Escleroscopio, máquina para prueba de dureza.<sup>34</sup>

El *durómetro* (figura 2.16), es otro instrumento utilizado para la evaluación de la dureza de un material. Todos los ensayos descritos se basan en la deformación plástica permanente (indentación), en cambio que el durómetro evalúa la deformación elástica del hule y materiales similares, al presionar un indentador en la superficie del objeto.

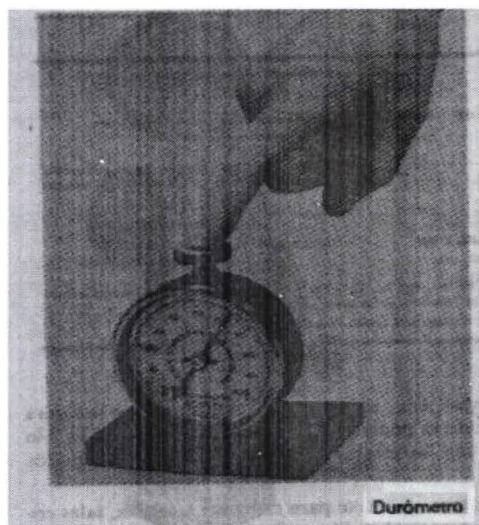


Figura 2.16. Durómetros para pruebas de dureza.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 3, pag. 110

<sup>35</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 3, pag. 112



### 2.2.2. Dureza de varios Materiales.<sup>36</sup>

Los materiales más utilizados en la ingeniería, puntualmente en temas de diseño y manufactura son: metales, polímeros, cerámicos, los cuáles deberán ser evaluados de acuerdo a diferentes escalas de dureza.

Un caso especial es la dureza Brinell, la cuál posee una estrecha correlación con la resistencia última (RTU) del acero; dicha relación responde a la ecuación:

$$RTU = K_h(HB) \quad (2.13)$$

donde:

$K_h$  = Una constante de proporcionalidad depende de las unidades en las cuáles esté expresada la resistencia última ya sean: lb./pulg<sup>2</sup> o MPa tendrá un valor de 500 o de 3.45 respectivamente.

Dureza típica de metales seleccionados		
Metal	Dureza Brinell, HB	Dureza Rockwell, HR
Aluminio recocido	20	
Aluminio trabajado en frío	35	
Aleaciones de aluminio recocidas	40	
Aleaciones de aluminio endurecidas	90	52B
Aleaciones de aluminio, fundición	80	44B
Hierro, colado gris, como fundición	175	10C
Cobre recocido	45	
Cobre aleado: bronce, recocido	100	60B
Plomo	4	
Aleaciones de magnesio endurecidas	70	35B
Níquel recocido	75	40B
Acero bajo C, laminado en caliente	100	60B
Acero alto C, laminado en caliente	200	95B, 15C
Acero aleado, recocido	175	90B, 10C
Acero aleado, tratado térmicamente	300	33C
Acero	150	85B
Titanio de alta pureza	200	95B
Zinc	30	

Tabla 2.5<sup>37</sup>

Por otro lado, los *cerámicos* exhiben una dureza mayor al material utilizado por la bola de indentación, por lo cuál el ensayo Brinell no es adecuado; se deberán utilizar los ensayos Vickers y Knoop para evaluar este tipo de materiales duros.

<sup>36</sup> Ibidem

<sup>37</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 3, pag. 60

<b>Dureza de materiales cerámicos seleccionados y otros materiales duros, dispuestos en orden ascendente de dureza</b>		
<b>Material</b>	<b>Dureza Vickers, HV</b>	<b>Dureza Knoop, HK</b>
Acero de herramienta endurecido	800	850
Carburo cementado (cementante WC-Co)	2000	1400
Alúmina Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2200	1500
Carburo de tungsteno, WC	2600	1900
Carburo de Silicio, SiC	2600	1900
Nitruro de titanio, TiN	3000	2300
Carburo de titanio, TiC	3200	2500
Nitruro de boro cúbico, BN	6000	4000
Diamante policristalino sinterizado	7000	5000
Diamante, natural	10000	8000

Tabla 2.6<sup>38</sup>

Los polímeros poseen la dureza más baja de los tres tipos de materiales utilizados en ingeniería; la dureza Brinell (método menos adecuado) suele utilizarse para evaluar a estos materiales, y sirve para comparar la dureza de los polímeros con la de los metales.

<b>Dureza de polímeros seleccionados</b>	
<b>Polímero</b>	<b>Dureza Brinell, HB</b>
Nylon	12
Fenol Formaldehído	50
Polietileno baja densidad	2
Polietileno alta densidad	4
Polipropileno	7
Poliestireno	20
Cloruro de polivinil	10

Tabla 2.7<sup>39</sup><sup>38</sup> Ibidem<sup>39</sup> Ibidem

## **2.3. PROPIEDADES METALÚRGICAS.**

### **2.3.1. Clasificación del Hierro y del Acero.<sup>40</sup>**

El hierro (Fe) en el ámbito comercial, es un metal que siempre estará combinado con otros elementos químicos, los mismos que tendrán una gran influencia en las propiedades físicas y mecánicas. El contenido de elementos complementarios en el hierro dependerá de los métodos de fabricación.

Las formas comerciales más difundidas del hierro son las siguientes:

- *Arrabio o lingote de primera fusión:* producto resultante de la primera reducción del mineral de hierro.
- *Fundición:* aleación de hierro de un alto contenido de carbono, no posee una maleabilidad apreciable al moldearse, a ninguna temperatura.
- *Fundición gris:* fundición de hierro que al moldearse no presenta carbono combinado (cementita  $Fe_3C$ ) más allá de un porcentaje eutectoide (balance de carbono, en forma de escamas de grafito). El término de fundición gris se deriva de la fractura gris característica de este metal.
- *Fundición blanca:* contienen carbono en forma combinada; la presencia de cementita (carburo de hierro  $Fe_3C$ ), hace que este metal sea duro y frágil, la ausencia de grafito da a la fractura un color blanco.
- *Fundición Maleable:* aleación en la que todo el carbono combinado de una fundición blanca especial se ha transformado en carbono libre o de temple por un tratamiento térmico adecuado.
- *Fundición nodular (dúctil):* producida mediante la adición de aleaciones de magnesio o de cerio al hierro fundido, haciendo que el grafito forme pequeños nódulos, resultando un hierro de mayor resistencia mecánica
- *Hierro en lingotes:* se lo obtiene por medio de hornos de hogar abierto, de muy bajo contenido de carbono, manganeso y otras impurezas.

---

<sup>40</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 6-12

- *Hierro forjado o dulce*: material ferroso, obtenido a partir de masas en solidificación de partículas pastosas de hierro metálico altamente refinado, a la cual se le adiciona cantidades de escoria sin fusión subsecuente, minuciosa y uniformemente distribuida.
- *Acero*: aleación maleable de hierro y carbono, con cantidades apreciables de manganeso.
- *Acero al carbono*: es aquel que debe sus propiedades distintivas principalmente al contenido de carbono que posee.
- *Acero de aleación*: acero que de manera preponderante debe sus propiedades características a algún elemento o elementos diferentes al carbono, o en conjunto con el carbono. Algunos de los aceros de aleación contienen, por necesidad, un porcentaje importante de carbono, en ocasiones de hasta 1.25%.
- *Acero básico al oxígeno, acero de hogar abierto, acero de horno eléctrico*: son aceros obtenidos a partir de procesos derivados del horno básico de oxígeno, de hogar abierto y eléctrico respectivamente, sin importar el contenido de carbono.

El *arrabio*, que es un material obtenido a partir de la reducción del hierro en un *alto horno* es la materia prima principal para prácticamente todos los productos de hierro y acero.

### **2.3.2. Alto Horno.**

Hoy en día son hornos que poseen chimeneas de 9.1 metros o más de diámetro y de una altura de 30 metros. Interiormente contiene una columna descendiente de mineral de hierro, coque, piedra caliza y un gran volumen de gas caliente ascendente. El gas es producido por la combustión de coque en el hogar del horno con un contenido del 32% de monóxido de carbono, que reduce el mineral de hierro a hierro metálico, que fundido capta grandes cantidades de carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio.

La *ganga* (en su mayoría sílice), del mineral de hierro y la ceniza del coque al combinarse con la piedra caliza forma la escoria del alto horno. El arrabio y la escoria se sangran a intervalos por el orificio para el hierro (piquera) y por el orificio para la escoria (bigotera) respectivamente.

Algunos altos horno son capaces de producir hasta 4000 toneladas diarias de arrabio. El alto horno produce hierro para tres aplicaciones básicas:

1. Arrabio para conversión: utilizado para producir muchas variedades de acero.
2. Arrabio para hacer piezas de fundición.
3. Ferroaleaciones (ferromanganeso y ferrosilicio): con un porcentaje considerable de otro elemento metálico, utilizado como agente de adición en la fabricación de acero.

Tipo de arrabio para producir acero y usos en fundición				
Designación	Composición química, %			Uso Principal
	Si	P	Mn	
Arrabio Bessemer	1.00-2.25	0.04-0.135	0.50- 1.00	Acero Bessemer ácido
Arrabio básico, del norte	1.50 máx	0.400 máx	1.01-2.00	Acero básico al oxígeno y básico de hogar abierto
En pasos de:	0.25		0.50	
Fundición, del norte	3.50 máx	0.301-0.700	0.50-1.25	Una gran variedad de piezas de fundición
En pasos de:	0.25		0.25	
Fundición, del sur	3.50 máx	0.700-0.900	0.40-0.75	Tubo de hierro
En pasos de:	0.25		0.255	
Ferromanganeso (3 grados)	1.2 máx	0.35 máx	74-82	Adición de manganeso al acero o hierro fundido
Ferrosilicio (arrabio plateado)	5.00-7.00	0.300 máx	1.00-2.00	Adición de silicio al acero o hierro fundido

Tabla 2.8<sup>41</sup>

<sup>41</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-13

### **2.3.3. Hierro Comercialmente Puro.<sup>42</sup>**

El *hierro electrolítico*: producido desde 1904; la mayoría de procesos de este se han utilizado poco por razones económicas.

El hierro electrolítico se puede pulverizar con facilidad para producir un polvo de hierro de alta pureza, debido a que es quebradizo al depositarse. Los polvos de hierro comercialmente puro son producidos comúnmente por medio de procesos de reducción directa.

Composiciones típicas del hierro forjado, hierro en lingotes, hierro electrolítico y acero (en porcentajes)						
Material	C	Mn	P	S	Si	Escoria en peso
Hierro forjado (pudelado a mano)	0.06	0.05	0.068	0.009	0.10	2.0
Hierro forjado (Byers)	0.08	0.02	0.062	0.010	0.16	1.20
Hierro en lingotes (Armco)	0.015	0.020	0.005	0.025	Huellas	
Hierro electrolítico	0.006		0.005	0.005	0.005	
Acero de bajo contenido de carbono	0.06	0.40	0.012	0.030	0.009	

Tabla 2.9<sup>43</sup>

### **2.3.4. Hierro Forjado.<sup>44</sup>**

El hombre desde la antigüedad ha producido el hierro forjado: contiene una gran cantidad de escoria lo que lo hace fibroso (característica principal). Este tipo de acero ya no es producido a escalas comerciales. Era fácil de trabajar y soldar a temperaturas próximas a las de fusión. Podía obtenerse en forma de planchas, láminas, perfiles estructurales, barras, varillas, tubos estándar y especiales.

El hierro forjado es utilizado en la actualidad en fabricación de tubería, para condiciones de corrosión moderada (servicio).

<sup>42</sup> Ibidem

<sup>43</sup> Ibidem

<sup>44</sup> Ibidem

<b>Propiedades mecánicas del hierro forjado (barras redondas, cuadradas y hexagonales)</b>			
	Menos de 41.3 mm (1 5/8 pulg) de espesor o diámetro	41.3 mm (1 5/8) a 63.5 mm (2 1/2 pulg) de diámetro o espesor sin incluir las de 63.5 mm	63.5 mm (2 1/2 pulg) en delante de diámetro o espesor y todas las barras planas
<b>Grado A, refinación doble</b>			
Resistencia a la tracción, 1000 lb/pulg <sup>2</sup>	48-54	47-54	46-54
Resistencia a la tracción, MPa	331-372	324-372	317-372
Punto de fluencia, mín	0.60 R.T.	0.55 R.T.	0.50 R.T.
Alargamiento en 200 mm (8 pulg), mín, %	28	25	22
Reducción en el área, mín, %	45	40	35
<b>Grado B, refinación sencilla</b>			
Resistencia a la tracción, 1000 lb/pulg <sup>2</sup>	48	47	46
Resistencia a la tracción, MPa	331	324	317
Punto de fluencia, mín	0.60 R.T.	0.55 R.T.	0.50 R.T.
Alargamiento en 200 mm (8 pulg), mín, %	25	22	20
Reducción en el área, mín, %	40	35	30

Tabla 2.10<sup>45</sup>

### **2.3.5. Hierro en Lingotes.**<sup>46</sup>

El hierro en lingotes denominado comercialmente como *hierro Armco*, es de relativa pureza, producido de forma similar a como se produce el acero normal al carbono en cantidades comerciales, en hornos básicos de hogar abierto.

La refinación es llevada hasta un nivel muy avanzado, añadiéndose cantidades de mineral de hierro muy puro, que oxida las impurezas hasta llevarlas a un porcentaje muy bajo, para lo que se requiere una alta temperatura del horno debido al alto punto de fusión del hierro puro.

### **2.3.6. Constantes Físicas.**

- *Densidad relativa (gravedad específica):* 7.866.
- *Punto de Fusión:* 1539°C (2802°F).
- *Calor específico a 25°C (77°F):* 0.108.
- *Calor de Fusión:* 272 kJ/kg (117 Btu/lb).
- *Conductividad Térmica a 100°C (212°F):* 66.9 w/m°C (465 Btu/h pie<sup>2</sup> pulg °F).

<sup>45</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-14

<sup>46</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-13

- *Coefficiente Térmico de Expansión a 100°C (212°F):* 13 millonésimas por °C (7 millonésimas por °F).
- *Resistividad eléctrica a 0°C (32°F):* 9.50μΩ cm.
- *Coefficiente de temperatura de la resistencia eléctrica entre 0°C y 100°C (32 y 212°F):* 0.0056 por °C (0.0031 °F).

*Nota.-* Muchas de las constantes pueden ser afectadas por cambios en la composición, tamaño de grano, tratamiento mecánico.

## **2.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HIERRO.**

Propiedades mecánicas del hierro en lingotes							
	Varillas o placas laminadas en caliente	Muy blando	Trabajado en frío (máx aprox.)	Acabado en frío	Acabado en caliente	Acabado en caliente, recocido	Acabado en caliente, enfriado en agua desde 940°C (1725°F)
Resistencia a la tracción MPa (1000 lb/pulg <sup>2</sup> )	179-221 (26-32)	131 (19)		186 (27)	131 (19)	124 (18)	207 (30)
Resistencia a la fluencia MPa (1000 lb/pulg <sup>2</sup> )	290-331 (42-48)	262 (38)	689 (100)	303 (44)	290 (42)	283 (41)	324 (47)
Alargamiento, %	22-28	43-48		42	45	47	36
Longitud calibrada, pulg	8	2		2	2	2	2
Reducción del área, %	65-78	70-77	65-70	76	77	71	70
Dureza BHN	82-100	67	220	101	90	82	110

Tabla 2.11<sup>47</sup>

- *Módulo de Young para el hierro en lingotes:* 202 GPa (29300 klb/pulg<sup>2</sup>), tanto a la tracción como a la compresión.
- *Módulo de Esfuerzo Cortante:* 81 GPa (11800 klb/pulg<sup>2</sup>).
- *Razón de Poisson:* 0.28.

El efecto del laminado en frío sobre la resistencia a la tracción, resistencia en el punto de fluencia, alargamiento y la forma de la curva esfuerzo – deformación, se presentan en la siguiente figura 2.17:

<sup>47</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-14



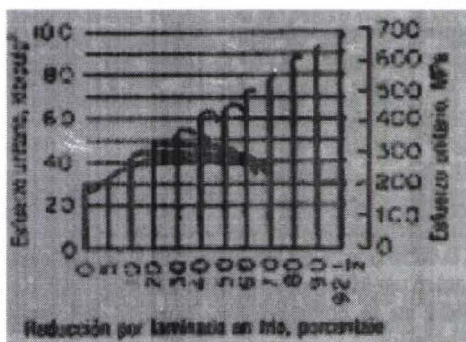


Figura 2.17. Efecto del laminado en frío sobre las relaciones deformación – esfuerzo del hierro en lingotes Armco (Kenyon y Burns).<sup>48</sup>

El hierro en lingotes es un material que se suelda fácil y uniformemente, retiene bien la pintura, tiene buenas propiedades para esmaltado; posee una alta permeabilidad magnética con inducciones elevadas y baja retentividad.

#### **Usos**

Se emplea con frecuencia en láminas galvanizadas para alcantarillas, canalones, tejados y chapas para paredes; en plancha para: tanques de petróleo y agua, calderas, gasómetros y tubos grandes; en la forma esmaltada para: estufas, refrigeradoras, mesas, muebles de cocina, artefactos de alumbrado y artículos similares.

Debido a la pureza del hierro en lingotes, es muy utilizado y valioso como materia prima en la fabricación de acero para herramientas de alto grado.

<sup>48</sup> Ibidem

## **2.5. ACERO<sup>49</sup>**

### **2.5.1. Fabricación del Acero.**

El acero es producido a partir del arrabio, por medio de un horno básico de oxígeno, eléctrico o de hogar abierto, para eliminar las impurezas.

El *acero básico al oxígeno*, se produce soplando oxígeno puro a alta presión (1.2 MPa, o 175 lb/pulg<sup>2</sup>) con un 99 % de pureza en sentido vertical, en la superficie del arrabio fundido. El proceso es autógeno, sin requerimiento de suministro de calor externo.

El horno utilizado guarda una gran similitud con los antiguos convertidores Bessemer, pero con una capacidad variable de hasta 300 toneladas netas o más.

El horno tiene forma de barril, cerrado en el fondo y abierto en la parte superior, con capacidad de giro de descarga y carga de material terminado y a material a procesar.

La carga en peso del horno está compuesta de un 30 % de chatarra; sobre la chatarra se cuela arrabio fundido, luego se hace bajar una lanza de oxígeno dentro del horno y se inicia el sople del mismo, a los pocos segundos parte del hierro en la carga se transforma en óxido ferroso que reacciona rápidamente con las impurezas de la carga, eliminándolas del metal. Al iniciar la reacción debe agregarse rápidamente cal como fundente. El sople de oxígeno se lo realiza hasta lograr el grado deseado de pureza. Todas las reacciones ocurren a gran rapidez, ya que el sople de una hornada concluye en 20 minutos, en una cuba (horno) de 200 toneladas netas.

El horno básico con oxígeno, por todas las implicaciones de carácter económico que encierra (inversión, operación, etc.), es el proceso más utilizado para la obtención de acero.

El *acero básico de hogar abierto*, es un horno de una capacidad de hasta 550 toneladas métricas (600 toneladas netas) o mayor. El hogar del horno tiene un

---

<sup>49</sup> Ibidem

recubrimiento de magnesia y dolomita, con una cubierta de ladrillo. El método generalizado de fabricación de aceros estructurales consiste en cargar piedra caliza, mineral de hierro, chatarra, para luego fundir la chatarra con una llama oxidante. Cuando la fusión avanza, se agrega arrabio fundido, ocurriendo una reacción entre el oxido y las impurezas del arrabio. La velocidad de reacción y de fusión es controlable mediante el suministro de oxígeno por medio de lanzas en la parte superior del horno. La extracción de escoria ácida que se forma por la oxidación del silicio y el manganeso, se logra por medio de calentamientos adicionales, que hacen que la cal (fundente) suba, produciendo una ebullición violenta, formándose una escoria básica con la que se elimina un gran porcentaje de fósforo. Una vez que se han reducido los porcentajes de impurezas a los niveles deseados, se hace sangrar por la parte posterior del horno la colada.

Se realizan adiciones de acero antes sangrarlo o después, para desoxidarlo y obtener la concentración requerida.

La rapidez del proceso depende del suministro de oxígeno y puede durar de 6 a 12 horas, con una capacidad por hora de unas 22.5 a 54.5 toneladas métricas.

En cambio, los *aceros ácidos de hogar abierto* se producen en horno de hogar abierto pero que poseen un recubrimiento de sílice (ácido). El proceso es similar al básico, pero se utiliza una escoria ácida por lo que no es posible eliminar el fósforo del acero; por este motivo, será necesario agregar grandes cantidades de chatarra y arrabio de bajo contenido de fósforo.

*El acero Bessemer.* este tipo de acero se produce a partir de arrabio que se carga en un convertidor en forma de pera, en el que se sopla aire a presión a través del líquido, oxidando las impurezas (silicio, manganeso y carbono); esta reacción libera calor. Con la eliminación casi completa del carbono, se recarburiza el acero con aleaciones que contengan carbono, manganeso y silicio. En el convertidor es

posible producir de 7.5 a 25 toneladas métricas de acero por jornada, de 10 a 20 minutos.

El acero ácido Bessemer, se produce en un horno de recubrimiento interno silíceo y acero básico Bessemer (que se produce hasta la fecha). Se fabrica en un convertidor de recubrimiento de magnesita, agregándose piedra caliza durante el proceso para producir una escoria básica, que elimina una gran parte del fósforo presente en el arrabio (que para este proceso es muy rico en fósforo).

El proceso básico puede utilizar arrabio que contenga fósforo pero en cantidades elevadas.

Los *aceros de tipo eléctrico*, son producidos mediante un horno de arco eléctrico trifásico, que posee un recubrimiento básico, cargado por lo general de chatarra fría de acero. Cuando se ha fundido la chatarra, se eliminan las impurezas de ésta por medio de la adición de oxígeno o de óxido de hierro, para luego extraer la escoria resultante y formar una nueva escoria con cal, arena y espato. La escoria nueva puede hacerse por medio de carburos, resultantes de la adición de coque en polvo, lo que reduce el contenido de oxígeno del acero a un nivel bajo; luego se agregan los contenidos de aleación para obtener la composición especificada.

*Tratamiento al Vacío.* En ocasiones, la presencia de hidrógeno, incluso en pequeñas cantidades de 5 ppm, puede ocasionar escamas internas en las secciones grandes de acero. Al colar el acero líquido en una cámara de vacío, es posible reducir el hidrógeno hasta un aproximado de 1 ppm. La colada al vacío se utiliza mucho en piezas de forja de gran tamaño como rotores eléctricos.

Operaciones como la desoxidación al carbono también se la realiza al vacío, pero se la utiliza para reducir el contenido de oxígeno del acero a menos de 0.001 %.

El oxígeno se elimina en la forma de monóxido de carbono.

El método de vacío elimina las inclusiones no metálicas en el acero, y es provechoso en procesos de fabricación de aceros para cojinetes y aceros de alta calidad.

El *acero en lingotes*: una vez que se ha refinado el acero por alguno de los métodos anteriores, este se lo cuela hacia lingoteras. Si la colada de acero y la lingotera no se las efectúa de manera adecuada, pueden ocurrir muchos defectos en los productos de acero laminado.

Cada vez se utilizan métodos que permitan la colada continua, a fin de convertir directamente el acero líquido en formas sólidas semiacabadas como tochos, planchas o lingotes.

Los aceros en los cuales no ocurre desprendimiento de gases se los llama *aceros muertos*. Un acero al solidificarse en un molde presenta una contracción llamada *rechupe*, al quedar una cavidad en la parte superior del lingote; para minimizar esto se suelen utilizar lingoteras y dependiendo de la complejidad de figura, mazarotas en las que se producirá el rechupe. Esto minimiza la cantidad de material que deberá ser eliminada por la formación de cavidades, aunque la parte superior o mazarota aun corresponde al 15 o 20 % del peso total del lingote.

Otros defectos que pueden aparecer en el proceso son: segregaciones (concentración de impurezas), presentes en todos los aceros al solidificarse, las mismas que puede ser minimizadas diseñando de forma adecuada el molde y con temperaturas bajas de colado.

### **2.5.2. Tratamiento Mecánico del Acero.<sup>50</sup>**

Casi toda la producción de acero a nivel mundial se cuela en moldes y se la somete posteriormente a alguna clase de tratamiento mecánico.

El proceso consiste en calentar el lingote macizo hasta una temperatura comprendida entre 1095 y 1425 °C (2000 a 2600 °F), dependiendo de la composición del acero, y luego se lo trabaja en caliente por laminación, presión o martillado.

El *trabajo en caliente*, se refiere a todo trabajo que se realiza a una temperatura por encima de 0.5 Tm (50 % de la temperatura de fusión de un metal), pero tampoco muy superior a ésta, dependiendo del tipo de acero y elementos de aleación que este posea.

Por el trabajo en caliente se obtiene un mejoramiento considerable de las propiedades mecánicas, aumenta la resistencia a la fluencia y a la tracción, beneficia especialmente a la ductilidad del acero.

El *laminado*, alarga las inclusiones en la dirección de laminación, dando al acero excelentes propiedades en muestras tomadas en dicha dirección, y muestras tomadas en regiones transversales a esta no darán propiedades mecánicas tan altas.

La *forja con martillo*, es mucho más efectivo que el laminado ya que el trabajo puede realizarse en más de una dirección, evitando así las propiedades direccionales que se obtienen de la operación de laminado.

El laminado, es el proceso de costo más bajo y de mayor rapidez frente a otros procesos de conformado. Los procesos de laminado se llevan a cabo en trenes de laminación o laminadores. Por medio de los cuáles es posible obtener: perfiles estructurales, rieles, palanquillas, ruedas y plancha para tubos.

El *trabajo en frío*, se refiere a todo tipo de trabajo realizado en el acero por debajo de 0.5 Tm (50% de la temperatura de fusión), llegando a ser incluso la temperatura ambiente. Debido a este tipo de trabajado, aumenta mucho la

---

<sup>50</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-16

resistencia a la fluencia (más que cualquier otra propiedad) y a la tracción (figura 2.18), y se reduce la ductilidad.

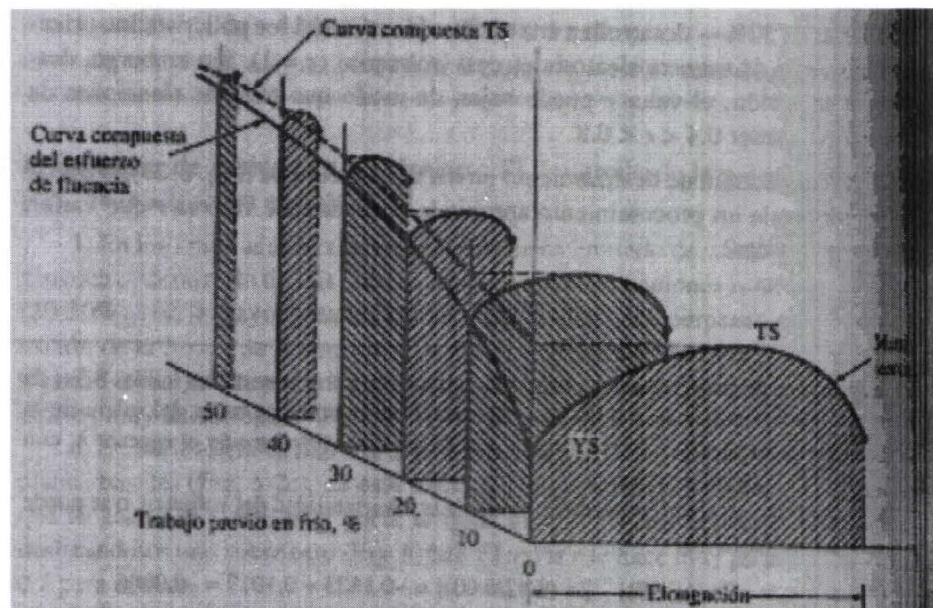


Figura 2.18. Los ensayos de tensión realizados en un material previamente trabajado demuestran que el trabajo en frío incrementa la resistencia y reduce la ductilidad.<sup>51</sup>

Las principales operaciones de este tipo son: laminado en frío, prensado en frío, torcido y estirado de alambre (trefilado). Grandes cantidades de chapa metálica se laminan en frío, para obtener un aumento en la resistencia, y un buen acabado superficial.

### **2.5.3. Constitución y Estructura del Acero.**<sup>52</sup>

Debido a los diferentes métodos de fabricación del acero, se encuentran presentes en el mismo materiales como: carbono, manganeso, fósforo, azufre, silicio y trazas de oxígeno. Con frecuencia son agregados elementos de aleación; entre ellos el vanadio, níquel, cromo, molibdeno, cobre. Siendo el de mayor importancia el carbono y el efecto de este en la estructura interna del acero.

El diagrama de hierro – carbono<sup>53</sup> es la representación más importante de un sistema de aleación. Proporciona un cuadro completo de las relaciones fase y temperatura para el conocimiento del tratamiento térmico del acero.

<sup>51</sup> Procesos de Manufactura, Schey John A., editorial Mc Graw Hill (tercera edición), México 2002, Cap. 8, pag. 272

<sup>52</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-18

Indica claramente la división entre acero y hierro vaciado, de acuerdo al contenido de carbono.

El nombre más acertado que debe dársele al diagrama hierro – carbono es de: diagrama hierro – carburo de hierro (figura 2.19), ya que el carbón en equilibrio no aparece como carbón libre, sino en la forma de carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) conocido como cementita.

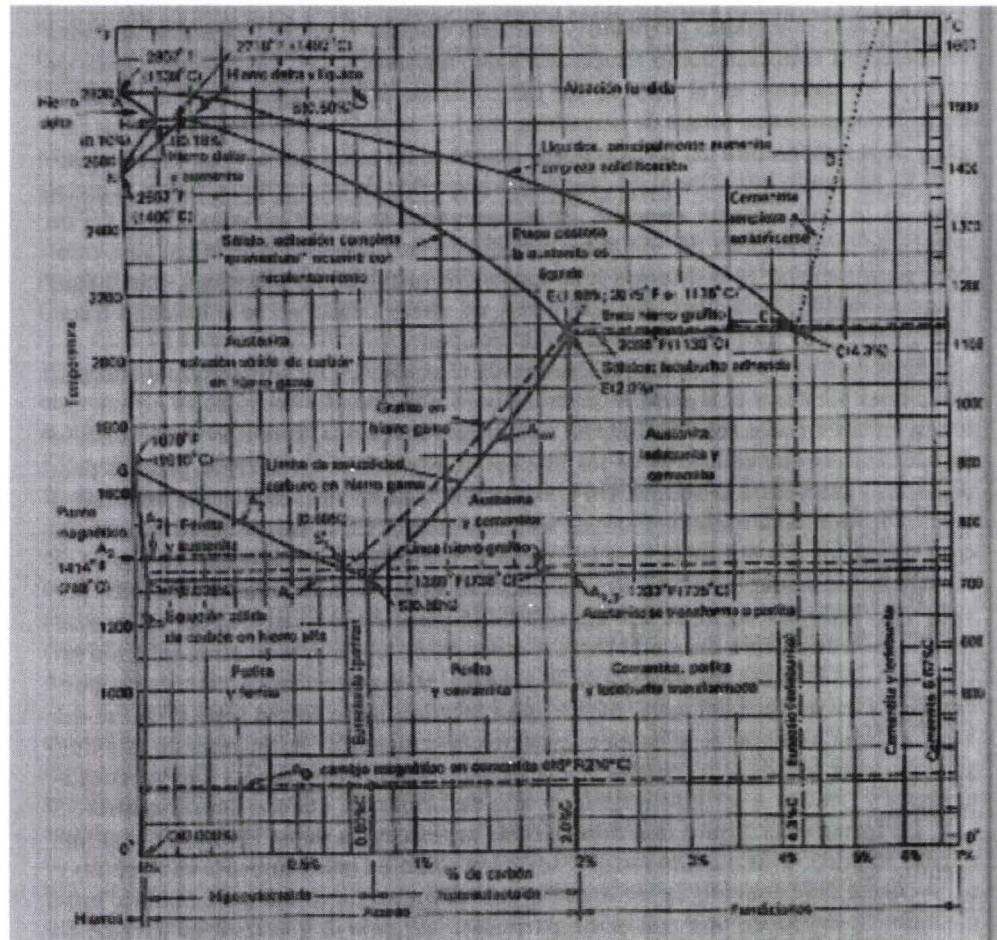


Figura 2.19. El diagrama de equilibrio hierro – carbono.<sup>54</sup>

El hierro puro es importante, porque cada forma posee capacidades diferentes de mantener el carbón en soluciones sólidas, que corresponden a las fases para el tratamiento térmico.

Como se observa en el diagrama, el carbón es soluble en el hierro alfa hasta un máximo de 0.025% a 1333 °F (725 °C), en el punto P y sólo 0.008 % a la

<sup>53</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 2, pag. 31

<sup>54</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 2, pag. 32



temperatura ambiente. El resultado es una solución sólida intersticial con carbón disuelto. El hierro alfa es comúnmente llamado *ferrita*, que es el material más suave de todos los materiales del diagrama.

En condiciones de equilibrio el carbono está en la forma de carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), llamado cementita, que contiene 6.67 % de carbón y determina el límite del diagrama de equilibrio en la parte derecha.

La cementita es un material frágil, débil a tensión, resistente a compresión, y posee la mayor dureza de todos los materiales en el diagrama de equilibrio.

El punto C, es un *punto eutéctico* (constituye un punto en el diagrama, en el que dos metales constituyentes se solidifican simultáneamente a la misma temperatura, también es el punto en el cuál la aleación tiene la temperatura más baja de congelación (fusión) de cualquier otra combinación aleada). En este, la concentración de carbono es del 4.3 %, y consiste de una mezcla de austenita y cementita, conocida como *ledeburita*, la que no es observable, debido a la inestabilidad de la austenita a la temperatura ambiente (excepto para ciertas condiciones especiales), y continua cambiando con el enfriamiento.

Al punto S (más significativo del diagrama), en el cuál el hierro tiene un 0.8 % de carbón a 1333 °F (725 °C), se lo llama también *eutectoide* (se produce una reacción isotérmica reversible, en la que una solución sólida es convertida por enfriamiento en dos o más sólidos mezclados íntimamente: el número de sólidos a formarse es igual al número de componentes del sistema)<sup>55</sup>. Es el punto más bajo en el diagrama; la austenita desaparece al ser enfriada lentamente. El material formado en este punto es llamado *perlita*.

La *perlita* (nombre que se le da debido a que la microestructura se asemeja a la perla), es una mezcla mecánica de ferrita y cementita. En un microscopio la mezcla se observa como capas laminares de cementita dentro de un campo de ferrita blanca.

---

<sup>55</sup> Ibidem

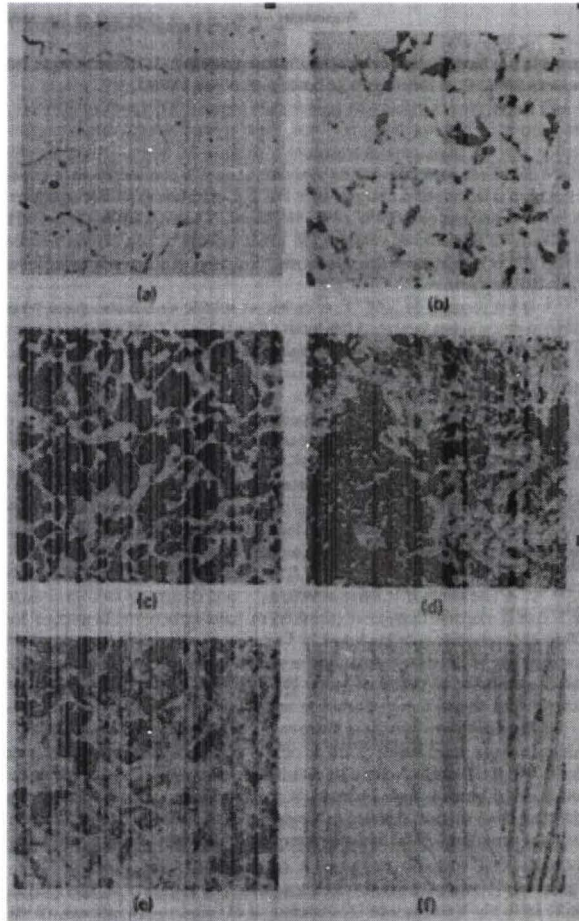


Figura 2.20. Cambio en la microestructura del acero con el cambio en el contenido de carbón. (a) Prácticamente hierro libre de carbón x 100. (b) Acero con 0.25 % de carbón. Ferrita (blanca) y perlita (negra) x 100. (c) Acero con 0.45 % de carbón. Ferrita (blanca) y perlita (negra) x 100. (d) Acero con 0.85 % de carbón. Todo es perlita, x 100. (e) Acero con 1.10 % de carbón. Perlita (oscuro) y cementita (blanca), x 100. (f) Perlita muy aumentada, mostrando estructura laminada. Ferrita (blanca) y cementita (negra), x 2500.<sup>56</sup>

#### 2.5.4. Tratamientos Térmicos.<sup>57</sup>

**Tratamiento Térmico.** Se refiere a la operación o combinación de operaciones que comprenden el calentamiento y enfriamiento de un metal, o de una aleación en el estado sólido, con el fin de obtener ciertas condiciones o propiedades convenientes.

**Enfriado brusco o por inmersión.** Enfriado rápido o por inmersión en líquidos o gases o por contacto con un metal.

**Templado.** Calentamiento y enfriado brusco de ciertas aleaciones a base de hierro, desde temperaturas dentro del intervalo crítico o superior a él ( $0.5 T_m$ ), con

<sup>56</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 2, pag. 34

<sup>57</sup> Manual de Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumister, Sec. 6-19

el objetivo de obtener una dureza superior a la obtenida cuando la aleación no se enfría bruscamente. Como consecuencia, se obtiene la formación de martensita.

*Recocido.* Comprende la operación de calentamiento y enfriamiento relativamente lento. El objetivo puede ser:

1. Hacer desaparecer tensiones o esfuerzos internos.
2. Producir suavidad
3. Modificar: ductilidad, tenacidad, propiedades eléctricas, magnéticas, físicas.
4. Refinar la estructura cristalina.
5. Eliminación de gases
6. Obtener microestructura definida.

La temperatura de la operación y la rapidez del enfriamiento dependen del material a recibir el tratamiento térmico y de lo que se desee obtener.

*Recocido de proceso o fabricación.* Consiste en calentar las aleaciones a base de hierro hasta una temperatura inferior o cercana a  $0.5 T_m$ , seguido de cualquier clase de enfriamiento.

Acero AISI Nº	Temperatura para tratamientos térmicos de aceros al carbono					
	Normalizar		Recocer		Templar	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
1010	900-955	1650-1750	540-730	1000-1350	900-925	1650-1700
1020	900-955	1650-1750	540-730	1000-1350	870-910	1600-1675
1030	870-915	1600-1675	675-745	1250-1375	855-900	1575-1650
1035	855-900	1575-1650	855-900	1575-1650	830-870	1525-1600
1040	855-900	1575-1650	845-885	1550-1625	815-855	1500-1575
1045	845-900	1550-1650	830-870	1525-1600	800-845	1475-1550
1050	845-900	1550-1650	830-870	1525-1600	800-845	1475-1550
1060	830-885	1525-1625	815-855	1500-1575	790-845	1450-1550
1070	830-885	1525-1625	815-855	1500-1575	790-845	1450-1550
1080	830-885	1525-1625	815-855	1500-1575	790-845	1450-1550
1095	830-885	1525-1625	815-855	1500-1575	790-845	1450-1550

Tabla 2.12<sup>58</sup>

*Patentizado o recocido especial para estirado en frío.* Calentamiento de aleaciones a base de hierro por encima de  $0.5 T_m$ , seguido de un enfriamiento por debajo de la temperatura antes mencionada, ya sea: en aire, plomo fundido, o en mezclas fundida de nitratos o nitritos mantenidos a una temperatura variable entre  $425\text{ °C}$  y  $565\text{ °C}$  ( $800\text{ °F}$  a  $1050\text{ °F}$ ), dependiendo del contenido de carbono del acero y de las propiedades deseadas en el producto terminado.

<sup>58</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-23

**Esferoidización.** Es todo tipo de tratamiento que produzca una forma redondeada o globular del carburo. Los métodos son los siguientes:

1. Calentamiento prolongado a una temperatura justo por debajo de  $0.5 T_m$ , seguido de un enfriamiento relativamente lento.
2. Para objetos pequeños de acero con un alto contenido de carbono, se puede alcanzar con mayor rapidez la esferoidización, por medio de calentamientos prolongados y de forma alternada a temperaturas cerca y por debajo de  $0.5 T_m$ .
3. Los aceros para herramientas se esferoidizan, calentándolos a temperaturas de  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $805\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $1380\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $1480\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), en aceros al carbono, y a mayor temperatura en aceros de aleación para herramientas. Manteniendo al objeto al calor durante 1 a 4 horas, seguido de un enfriamiento lento en el horno.

**Revenido.** Se refiere al recalentamiento de una pieza que ha sido templada, hasta cierta temperatura debajo de  $0.5 T_m$ , seguido de cualquier velocidad deseada de enfriamiento.

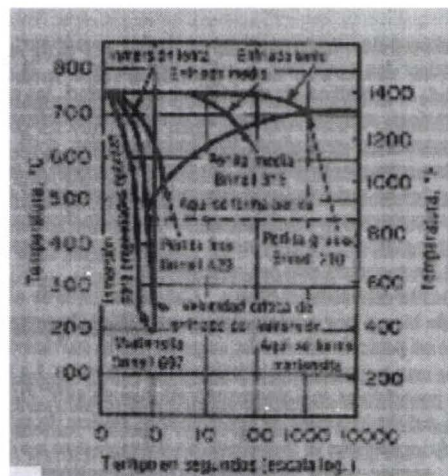


Figura 2.21. Influencia de la velocidad de enfriamiento sobre el producto de transformación en un acero eutectoide al carbono<sup>59</sup>

En la figura se observa un resumen de las velocidades de descomposición de un acero eutectoide al carbono sobre cierto rango de temperaturas. Se representan en el diagrama varias velocidades de enfriamiento: cuanto más rápido sea el

<sup>59</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-23

enfriamiento, más baja será la temperatura de transformación y más duro el producto que se forma.

### **2.5.5. Efecto de los Elementos de Aleación sobre las Propiedades del Acero.<sup>60</sup>**

Al agregarse al acero cantidades relativamente grandes de elementos de aleación, se destruye el comportamiento relativo de los aceros al carbono. La mayor parte del acero de aleación es de contenido medio o alto de carbono, al que se le han agregado elementos para cambiar sus propiedades en un grado apreciable, pero todavía debe sus propiedades características al carbono que contiene. El porcentaje de un elemento de aleación para un fin dado, varía desde unas cuantas centésimas hasta el 5%.

Listos para el servicio estos aceros contienen solo dos elementos constitutivos: ferrita y carburo. La única forma en la cuál un elemento de aleación puede cambiar las propiedades del acero es modificando la dispersión del carburo en la ferrita, variando las propiedades de esta o cambiando las propiedades del carburo. El efecto sobre la distribución del carburo es el más importante, ya que en pruebas de control de la estructura se ha determinado que el acero al carbono es sólo un poco inferior al acero de aleación.

En secciones grandes en las que los aceros al carbono no se templen en toda la extensión de la sección, con enfriado brusco en agua, se puede aumentar la templabilidad del acero con la adición de cualquier elemento de aleación. Al aumentarse la templabilidad, se abre la posibilidad de templear piezas de gran tamaño, principalmente en aceros de aleación, que en aceros al carbono. El enfriado brusco por inmersión en lo posible no debe ser muy violento, para así evitar la diferencia de temperaturas entre la superficie y el centro, impidiendo también la formación de grietas y el alabeo, que resultan de gradientes extendidos de enfriamiento durante el temple. Los elementos más efectivos para incrementar la capacidad de temple en el acero son el silicio, manganeso y cromo.

---

<sup>60</sup> Ibidem

Elementos como el molibdeno, tungsteno y vanadio, aumentan la templabilidad eficazmente, cuando se encuentran disueltos en austenita, pero comúnmente se encuentran en la austenita en forma de carburos y estos evitan aglomeraciones de carburos en la martensita revenida.

La operación de revenido desaparece los esfuerzos internos en el acero templado, y causa esferoidización de las partículas de carburo con una pérdida consiguiente en la dureza y la resistencia mecánica.

La presencia de elementos estables formadores de carburo, permite el empleo de temperaturas de revenido más elevadas, sin sacrificar la resistencia, lo que permite a los aceros de aleación tener una ductilidad mayor a una resistencia dada, o lo contrario mayor resistencia para una ductilidad dada que cualquier acero simple al carbono.

Otro de los factores que contribuyen a la resistencia de un acero de aleación, es la presencia del elemento de aleación en la ferrita; cualquier elemento que se encuentre en solución sólida en un metal aumentará la resistencia del mismo.

Los elementos más eficaces para aumentar la resistencia de la ferrita son: fósforo, silicio, manganeso, níquel, molibdeno, tungsteno y cromo.

Tendencias de la influencia de los elementos de aleación					
Elemento	Disuelto en ferrita, resistencia	Disuelto en austenita, templabilidad	En forma de carburo no disuelto en austenita, grano fino, tenacidad	En forma de carburo dispersado durante el revenido, resistencia a alta temperatura y tenacidad	En forma de dispersión no metálica fina, grano fino, tenacidad
Al	Moderado	Suave	Ninguna	Ninguna	Muy fuerte
Cr	Suave	Fuerte	Fuerte	Moderada	Ligera
Co	Fuerte	Negativa	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Cd	Poca	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Ninguna
Cu	Fuerte	Moderada	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Mn	Fuerte	Moderada	Suave	Suave	Ligera
Mo	Moderada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Ninguna
Ni	Suave	Suave	Ninguna	Ninguna	Ninguna
P	Fuerte	Suave	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Si	Moderada	Moderada	Ninguna	Ninguna	Moderada
Ta	Moderada?	Fuerte?	Fuerte	Fuerte	Ninguna
Ti	Fuerte	Fuerte	Muy fuerte	Poca?	Moderada
W	Moderada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Ninguna
V	Suave	Muy fuerte	Muy fuerte	Muy fuerte	Moderada?

Tabla 2.13<sup>61</sup>

<sup>61</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Sec. 6-22

Un efecto significativo de los materiales de aleación es su influencia en el tamaño de grano de la austenita. La martensita formada a partir de una austenita de grano fino, posee una resistencia al impacto considerablemente mayor que cuando se forma a partir de una austenita de grano grueso. Los aceros formados por la desoxidación del acero por diferentes elementos impiden aparentemente el crecimiento de los granos arriba de  $0.5 T_m$ , sobre un intervalo considerable de temperaturas. El aluminio es el elemento más efectivo para formar inhibidores del crecimiento de los granos.

La presencia de carburos finamente esparcidos por la austenita, al parecer tiene un efecto sobre el tamaño de grano de la misma, de tal suerte que los elementos que forman carburos estables, contribuirán también a la formación de austenita de grano fino.<sup>62</sup>

El acero es posiblemente el material más utilizado en los elementos de maquinaria, debido a las propiedades de alta resistencia, extrema rigidez, durabilidad y relativa facilidad de fabricación.

El término acero, hace mención a la aleación hierro, carbón, manganeso y más de un elemento de aleación significativo. El carbón tiene un efecto considerable en la resistencia, dureza, ductilidad, de cualquier acero de aleación. Otros elementos tienen efectos en la capacidad de endurecimiento, dureza, resistencia a la corrosión, maquinabilidad, conservación de la resistencia a altas temperaturas. Los principales elementos de aleación presentes en el acero son: azufre, fósforo, silicio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.<sup>63</sup>

---

<sup>62</sup> Ibidem

<sup>63</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 2002, Cap. 2, pag. 30

### 2.5.6. Sistemas de Designación del Acero.<sup>64</sup>

Existen tres asociaciones:

- AISI (Instituto Estadounidense del Hierro y el Acero).
- SAE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Automotrices).
- ASTM (Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales).

Las que han adoptado sistemas similares de designación para los aceros estructurales y de maquinaria.

Los aceros se clasifican de manera general, dependiendo del contenido de carbono, en los siguientes:

- *Aceros al bajo carbono (menos del 0.30% de carbono)*: utilizados generalmente en elementos de maquinaria en los que el desgaste no sea un problema potencial (en caso contrario es posible carburizarlos).
- *Aceros al medio carbono (contenido de 0.30% a 0.50% de carbono)*: para elementos de maquinaria que requieran especificaciones de resistencia entre alta y moderada, dureza moderada, ductilidad satisfactoria.
- *Aceros al alto carbono (contenido de 0.50 % a 0.95%)*: para elementos de máquinas en los que es importante la resistencia al desgaste (cuchillos, navajas, formones, buriles, partes de maquinaria agrícola).

Los aceros utilizados en la fabricación de cojinetes contienen el 1% de carbono.

Los grados para esta aplicación por lo general son: 50100, 51100, 52100 (los tres últimos dígitos indican el 1% de contenido de carbono).

---

<sup>64</sup> Ibidem



Uso de algunos aceros	
Número AISI	Aplicaciones
1015	Partes de metal laminado; partes maquinadas (pueden ser carburizadas).
1030	Partes en forma de barra para uso general, palancas o manijas, eslabones o uniones, cuñas de unión.
1045	Flechas o ejes, engranes.
1080	Piezas para equipo agrícola (rejas, discos, dientes, rastrillos, dientes de podadoras de césped) que someten a fricción; resortes.
1112	Piezas de tornillos para máquinas.
4140	Engranes, flechas o ejes, piezas forjadas.
4340	Engranes o ejes, piezas que requieren de un buen endurecimiento directo.
4640	Engranes, flechas o ejes, levas.
5150	Flechas o ejes para trabajo pesado, resortes, engranes.
52100	Pistas de rodamiento, bolas y baleros (acero para cojinetes)
6150	Engranes, piezas forjadas, flecha o ejes, resortes.
8650	Engranes, flechas o ejes.
9260	Resortes.

Tabla 2.14<sup>65</sup>

*Aceros Inoxidables.* Caracterizados por tener una alta resistencia a la corrosión, para lo que debe tener al menos un 10% de Cromo (en su mayoría 12% a 18%). Son designados por la AISI con los números 200, 300 y 400.

Existen básicamente tres tipos de aceros inoxidables:

- *Aceros inoxidable austeníticos.* Son los de las series AISI 200 y 300, no son susceptibles en su mayoría al tratamiento térmico, las propiedades finales dependen del grado en el que se trabajen, temple resultante (se indica cómo: ¼ de dureza, ½ dureza, totalmente duro). Son aleaciones del tipo amagnéticas, empleadas en equipos para procesar alimentos.
- *Aceros inoxidables ferrosos.* Pertenecen a las series 400 de la AISI (405, 409, 430, 446 y demás). Tienen buenas propiedades magnéticas, de buen rendimiento a temperaturas elevadas (entre 700 °C y 1400 °C). No son susceptibles al tratamiento térmico, pero se los puede trabajar en frío para mejorar las propiedades. Las aplicaciones son: tubería para intercambio de calor, equipo de refinación petrolera, acabado automotriz, hornos, equipo químico,
- *Aceros inoxidables martensíticos.* Pertenecen a las series 400 de la AISI (403, 410, 414, 416, 420, 431, 440). Son magnéticos, susceptibles de tratamiento térmico, y son de mayor resistencia que los de la serie 200 y 300 (conservan una gran fortaleza). Las aplicaciones son: motores de turbina, cuchillería, tijeras,

<sup>65</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 2, pag. 33

instrumentos quirúrgicos, piezas de válvulas, acabados para aviones, equipo marino.

*Aceros Estructurales.* Se los designa medio de los números de la ASTM, y son los que se muestran en la tabla.

Propiedades de los aceros estructurales				
Número de designación del material (número ASTM)	Grado o espesor	Resistencia a la tracción Ksi (MPa)	Resistencia a punto cedente Ksi (MPa)	Ductilidad (elongación porcentual en 8 pulg.)
A36	$t \leq 8"$	58 (400)	36 (248)	20
A242	$t \leq 3/4"$	70 (485)	50 (345)	18
A242	$t \leq 1 \frac{1}{2}"$	67 (460)	46 (315)	-
A242	$t \leq 4"$	63 (435)	42 (290)	-
A441	$t \leq 4"$	63 (435)	42 (290)	18
A514	Inmerso y templado, $t \leq 2 \frac{1}{2}"$	115 (800)	100 (700)	18
A572	42, $t \leq 6"$	60 (414)	42 (290)	-
A572	50, $t \leq 4"$	65 (448)	50 (345)	-
A572	60, $t \leq 1 \frac{1}{4}"$	75 (517)	60 (414)	-
A572	65, $t \leq 1 \frac{1}{4}"$	80 (552)	65 (448)	-
A588	$t \leq 4"$	70 (485)	50 (345)	18

Tabla 2.15<sup>66</sup>

Son utilizados en la construcción, aplicaciones vehiculares y de maquinaria.

<sup>66</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 2, pag. 33

## CAPITULO 3

### HERRAMIENTAS DEL METALURGISTA

En metalurgia es necesario realizar ciertas pruebas de importancia a los materiales, para garantizar el desempeño correcto de los productos terminados. Entre las principales están:

#### 3.1. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.<sup>67</sup>

Magnitud importante utilizada a fin de entender el efecto del tratamiento térmico en las propiedades de los materiales.

La *pirometría* se ocupa de la medición de las altas temperaturas generalmente superiores a los 510 °C (950 °F); los instrumentos utilizados para este propósito se conocen como pirómetros.

La *termometría* se ocupa de la medición de temperaturas por debajo de los 510 °C (950 °F) los instrumentos empleados para este propósito se llaman termómetros.

Medición de la Temperatura por el color. El uso del color para estimar la temperatura de un metal es el método más sencillo (debido a la relación trivial que existe entre el color y la temperatura de un metal), requiere de una persona experimentada en el tema para evitar errores, ya que de por sí es un método que depende mucho de la apreciación de la persona que lo realice y del material.

COLOR	TEMPERATURA (°C)
Rojo tenue	500
Rojo oscuro	620
Cereza oscuro	640
Rojo cereza	700
Cereza subido	800
Naranja oscuro	900
Naranja	950
Amarillo	980

Tabla 3.1<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Introducción a la Metalurgia Física , Avner Sydney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 5

<sup>68</sup> Introducción a la Metalurgia Física , Avner Sydney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 16

### **3.2. METALOGRAFÍA.**<sup>69</sup>

La Metalografía o Microscopía estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación.

La herramienta más importante en metalografía es el microscopio, como herramienta técnica y científica, ya que con el mismo se puede determinar: tamaño de grano, tamaño, forma y distribución de las varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. El análisis de microestructura revela el tratamiento térmico y mecánico del metal, y bajo condiciones dadas, es posible determinar el comportamiento del metal o aleación materia de estudio.

El éxito en la realización de un estudio microscópico, depende en gran parte de la minuciosidad con la cuál se prepare la muestra. El microscopio más costoso no es capaz de determinar las características de una muestra que haya sido preparada deficientemente.

El procedimiento a seguir para la preparación de una muestra es relativamente sencillo, pero requiere de práctica, ya que es necesario cuidar de los detalles del proceso.

El objetivo final es la obtención de una superficie plana, sin rayaduras, especular (semejante a un espejo), para lo cual se recomiendan las siguientes etapas:

1. Muestreo.- La selección de una muestra para un estudio microscópico de la misma es de suma importancia; por ejemplo, si se va a estudiar una falla, se debe escoger la muestra más próxima al área de la falla y compararla con otra muestra obtenida de una sección normal o sana. El corte de la muestra depende mucho del material, ya que si se trata de un material suave, como metales o aleaciones no ferrosas y aceros no tratados térmicamente, la sección puede obtenerse por corte manual por medio de una sierra. Al contrario, si se trata de un material duro, la sección puede ser obtenida mediante un disco giratorio de corte abrasivo, a altas velocidades, con el uso de refrigerante para mantener el proceso en frío.

---

<sup>69</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sydney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 26

2. Esmerilado burdo o tosco.- La muestra deberá elaborarse en un tamaño fácil de manipular (10 mm de largo). En el caso de muestras de materiales blandos, se recomienda el uso de lima de diente fino, para retirar las asperezas del corte y darle un primer acabado a la superficie a evaluar, o en su defecto, para muestras blandas y duras, es posible esmerilarlas sobre bandas rotatorias, manteniendo la muestra fría sumergiéndola frecuentemente sobre agua (de preferencia destilada) durante esta actividad. En las operaciones de esmerilado y de pulido, la muestra deberá moverse en sentido perpendicular a las rayaduras existentes, para así denotar el momento en el que las rayaduras más profundas se sustituyan por las de menor profundidad (característica del abrasivo más fino). El proceso se realiza de forma continua hasta obtener una superficie plana y libre de mellas, rebabas, etc.

3. Montaje.- Por lo general se manejan muestras pequeñas y difíciles de manipular como: alambres, varillas pequeñas, muestras de hoja metálica, secciones delgadas, etc. La solución es el montaje de la muestra sobre una base que facilite los pulidos tanto intermedio como final (figura 3.1). Existen materiales plásticos sintéticos en dimensiones convenientes (2.5, 3 o 4 cm de diámetro), que se acoplan al cuerpo a estudiar por medio de una **prensa incluidora de muestras**. La resistencias de estos materiales se refleja en las operaciones de pulido y de ataque, siempre que el proceso haya sido ejecutado de forma correcta. Se emplea con mucha más frecuencia una resina termofijadora (fenólica), conocida como baquelita. El proceso de montaje se reduce a la colocación de la cantidad correcta de polvo en un molde o una preforma de baquelita; se colocan en el cilindro (molde) de la **prensa incluidora de muestras**, la temperatura se aumenta gradualmente hasta 150°C y se aplica una presión de moldeo de 4000 psi simultáneamente. Una vez que la baquelita está adherida y curada, cuando se alcanza la temperatura indicada es posible extraer la muestra del cilindro mientras está caliente. De las resinas termoplásticas la más común es la lucita, completamente transparente cuando se la moldea de forma adecuada. La transparencia resulta útil, cuando es necesario observar la sección exacta que se pule, o cuándo por cualquier otra razón se desea

ver por completo la muestra en la base. Al contrario de las resinas termofijas, las resinas termoplásticas no sufren cura a la temperatura de moldeo, sino que adquieren estabilidad al enfriarse. La muestra y la cantidad de polvo adecuados son colocados en la **prensa incluidora de muestras** y se las someten a la misma presión y temperatura que la baquelita (150°C y 4000 psi). Al alcanzarse la temperatura se retira el calentador, y se colocan las aletas de enfriamiento en el cilindro, el cual enfriado durante unos 7 minutos, alcanzando una temperatura inferior a los 100°C, mientras se mantiene la presión de moldeo. De esta forma se evita que se opaque la lucita al ser sacada apresuradamente. Las muestras laminares delgadas pueden montarse de forma conveniente para prepararlas metalográficamente, por medio de dispositivos de sujeción hechos a la medida. Se colocarán, de ser necesario, hojas de relleno de la misma dureza de la muestra para facilitar la preparación, evitando siempre que los bordes de la muestra se redondeen durante el pulido.

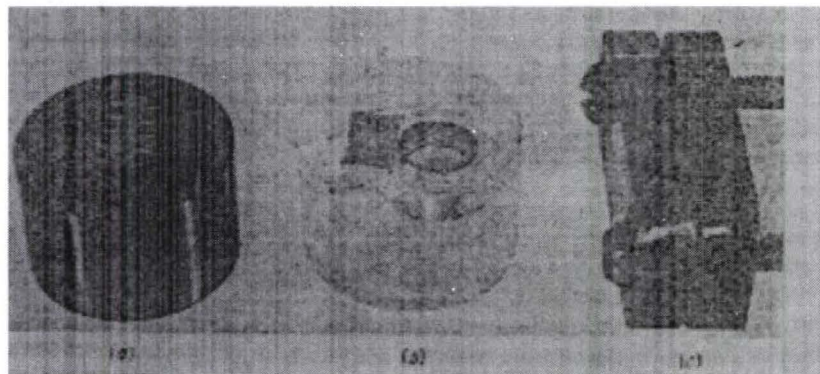


Figura 3.1. a) Muestra montada en baquelita, aumentada 2x. b) Muestra montada en lucita, aumentada 2x. c) Muestra sostenida en un dispositivo de sujeción de metal, aumentada 2x.<sup>70</sup>

**4. Pulido Intermedio.-** Después del montaje, la muestra se pule sobre bandas de esmeril o lija, en la **pulidora metalográfica**, dónde se someterá a la muestra a pulidos cada vez más finos sucesivamente. El primer papel de lija es por lo general el número 100 o 200 hasta llegar al número 400. Generalmente las operaciones de pulido intermedio se las realiza en seco, pero dependiendo del tipo de abrasivo (carburo de silicio) y material que se este preparando para el análisis, se puede

<sup>70</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sydney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 28

utilizar un lubricante (agua destilada), que impide el calentamiento de la muestra, minimiza el daño cuando los metales son blandos y también proporciona un acción de enjuague para limpiar los productos removidos de la superficie de la muestra; así, la lija no se ensucia.

5. Pulido fino.- El tiempo y el éxito del pulido fino depende mucho del cuidado que se haya tenido en las operaciones de pulido anteriores. La última operación tendiente a la obtención de una superficie plana libre de rayaduras, se realiza con el uso de un paño, en una rueda giratoria o en una banda giratoria, como parte de la **pulidora metalográfica**. El paño se carga con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño. Existe gran disponibilidad de abrasivos, para realizar el trabajo. El óxido de aluminio es el preferido para pulir materiales ferrosos, y los basados en cobre y en óxido de cerio para materiales como: aluminio, magnesio y sus aleaciones. Otros abrasivos empleados son: pasta de diamante, óxido de cromo y óxido de magnesio. La selección de un paño para pulir depende del material que vaya a pulirse y de los objetivos del estudio metalográfico. En el mercado se pueden encontrar paños de lanilla y pelillo variable, y los que no tienen pelillo como la seda, así como los que tienen pelillo intermedio tales como: paño ancho, paño de billar, lonilla y los de pelillo profundo como el terciopelo. También se pueden encontrar paños sintéticos para pulir como: gamal y micropaño. Las muestras pulidas de forma adecuada mostrarán únicamente inclusiones no metálicas y estará libre de rayaduras.

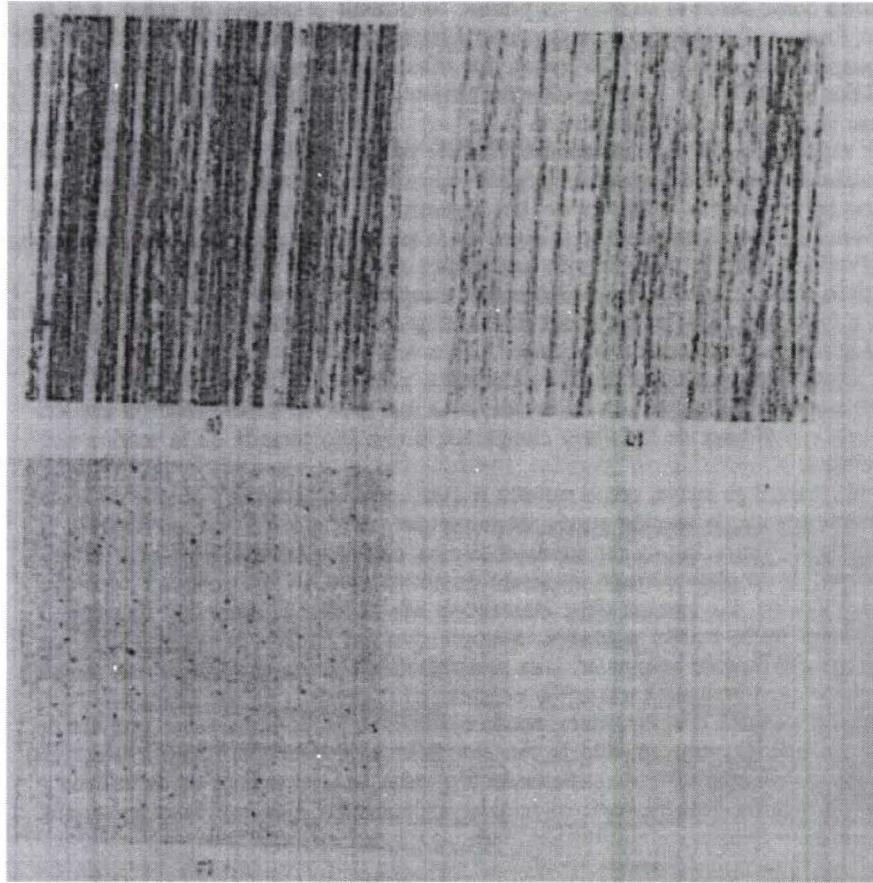


Figura 3.2. a) Superficie de la muestra después del esmerilado burdo, amplificación 100x. b) Superficie de la muestra después del pulido intermedio en lija 400, amplificación 100x. c) Superficie de la muestra sin rayaduras después del pulido final, amplificación 50x. Los puntos negros son impurezas de óxido.<sup>71</sup>

6. Ataque.- El ataque químico permite ver las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe permitir que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura; esto se logra mediante el uso del reactivo adecuado sobre la superficie pulida, produciendo una reacción química. En las aleaciones compuestas de dos o más fases, los componentes se revelan en la reacción química, al atacar el reactivo de forma preferencial a uno o más de los constituyentes de la aleación debido a la diferencia de composición química de las fases. En aleaciones uniformes de una sola fase o metales puros, se obtiene contraste y las fronteras de grano se hacen visibles debido a las diferencias de rapidez a las que los diferentes granos son atacados por el reactivo; la diferencia en la rapidez de ataque se asocia principalmente con el ángulo que guardan las diferentes secciones de grano con el plano de la superficie pulida. Al chocar la luz de microscopio en esta superficie, se

<sup>71</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sydney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 31



refleja fuera del microscopio, haciendo que las líneas de las fronteras de grano aparezcan como líneas oscuras. La selección del reactivo para realizar el ataque se determina por el metal, aleación y la estructura específica que se desea ver, como se menciona en la tabla 3.2:

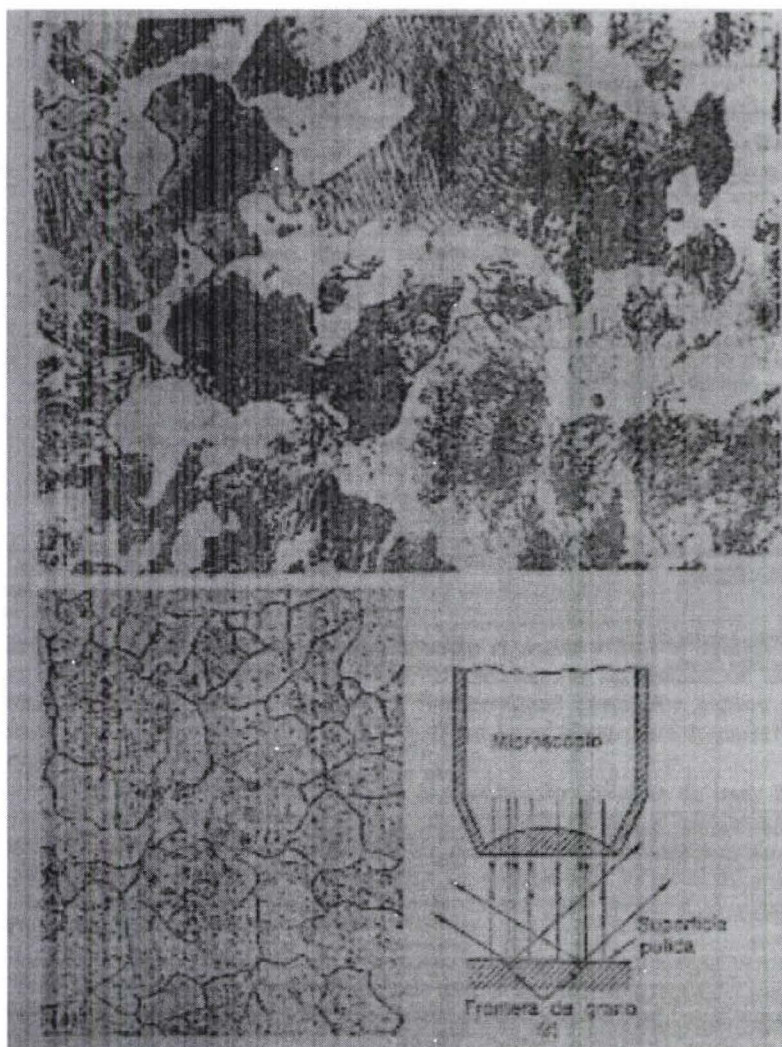


Figura 3.3. a) Fotomicrografía de la diferencia en composición química de las fases. b) Fotomicrografía del hierro puro. c) Ilustración del aspecto microscópico de las fronteras de grano que aparecen como líneas oscuras.<sup>72</sup>

<sup>72</sup> Ibidem

*Reactivos de ataque para examen microscópico.<sup>73</sup>*

<i>Reactivo de ataque</i>	<i>Composición</i>	<i>Usos</i>	<i>Observaciones</i>
Ácido nítrico (nital)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido nítrico: 1-5 ml.</li> <li>- Alcohol etílico o metílico (98% o absoluto). También Alcohol amílico: 100 ml</li> </ul>	En aceros al carbón: a) para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) para revelar fronteras de perlita, c) para diferenciar la ferrita de la martensita.	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye, si se incrementan la cantidad de ácido nítrico. El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior, en aspectos como: tiempo de ataque (pocos segundos o un minuto).
Ácido pícrico (picral)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido pícrico: 4g.</li> <li>- Etil o alcohol de metilo (95% o absoluto): 100 ml</li> </ul>	Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, normalizados, templados y revenidos, esferoidizados, austenizados, aceros de baja aleación	Ocasionalmente útiles para soluciones más diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan fácilmente como el nital. El tiempo de ataque es de unos segundos o de un minuto

<sup>73</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sydney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988, Cap. 1, pag. 34.

<i>Reactivo de ataque</i>	<i>Composición</i>	<i>Usos</i>	<i>Observaciones</i>
Cloruro férrico y ácido hidroclicrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cloruro férrico: 5 g.</li> <li>- Ácido hidroclicrico: 50 ml.</li> <li>- Agua: 100 ml.</li> </ul>	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables.	
Hidróxido de amonio y peróxido de hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidróxido de amonio: 5 partes.</li> <li>- Agua: 5 partes.</li> <li>- Peróxido de hidrogeno: 2 – 5 partes</li> </ul>	Generalmente empleado para el cobre y muchas de sus aleaciones.	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peróxido fresco para buenos resultados.
Persulfato de amonio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Persulfato de amonio: 10 g.</li> <li>- Agua: 90 ml.</li> </ul>	Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce alumínico.	Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión.
Reactivo de Palmerton	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Óxido crómico: 200 g.</li> <li>- Sulfato de Sodio: 15 g.</li> <li>- Agua 1000 ml.</li> </ul>	Reactivo general para zinc y sus aleaciones.	Inmersión con agitación moderada.

<i>Reactivo de ataque</i>	<i>Composición</i>	<i>Usos</i>	<i>Observaciones</i>
Molibdato de amonio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido molibdico (85%): 100 g.</li> <li>- Hidróxido de amonio: 140 ml.</li> <li>- Agua: 240 ml.</li> <li>- Filtrar y añadir ácido nítrico: 60 ml.</li> </ul>	Ataque rápido para plomo y sus aleaciones; muy apropiado para remover la capa gruesa de metal trabajado.	Frotar la muestra y lavar bajo chorro de agua alternado
Ácido hidrofúorico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ácido hidrofúorico: 0.5 ml.</li> <li>- Agua: 99.5 ml.</li> </ul>	Examen microscópico general para aluminio y sus aleaciones	Frotar con algodón suave por 15 segundos.

Tabla 3.2<sup>74</sup>


---

<sup>74</sup> Ibidem

### **3.3. PRUEBAS PARA PROPIEDADES MECÁNICAS.**

El análisis metalúrgico no estaría completo si no se realizarán las respectivas pruebas de:

- Dureza.
- Resistencia a la Tensión.

(Los detalles de la realización de estas pruebas, se explican en el capítulo 2 de este trabajo).

### **3.4. ENSAYOS O PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.** <sup>75</sup>

Una prueba no destructiva es el examen de un objeto, efectuado en cualquier forma que no impida su utilidad futura. A pesar de que en la mayoría de los casos las pruebas no destructivas no dan una medición directa de las propiedades mecánicas, son valiosas para localizar defectos en los materiales, defectos que podrían afectar el funcionamiento de una pieza de una máquina cuándo entra en servicio. Dicha prueba se utiliza: para detectar materiales defectuosos antes de que las partes componentes sean formadas o maquinadas, en la detección de componentes defectuosos antes de ensamblar, para medir el espesor de un material o de otros materiales, en la identificación y clasificación de materiales, para descubrir defectos que pudieran desarrollarse durante el uso o en el maquinado, en el examen de partes en servicio (lo que permite su remoción previa antes de que ocurra una falla).

Las pruebas no destructivas se utilizan para hacer productos más confiables, seguros y económicos, para aumentar la confiabilidad y mejorar la imagen pública del fabricante, lo que conduce a mayores ventas y ganancias, a mejorar y controlar los procesos de fabricación.

Existen cinco elementos básicos en una prueba no destructiva:

1. Fuente. - Una fuente que proporciona un medio de sondeo. Algo que pueda usarse con el fin de obtener información del artículo de prueba.
2. Modificación. - Este medio de sondeo debe cambiar o ser modificado como resultado del las variaciones o discontinuidades dentro de objeto sometido a prueba.

---

<sup>75</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sidney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), Cap. 1, pag. 58

3. Detección.- Un detector que puede determinar los cambios en el medio de sondeo.

4. Indicación.- Una forma de indicar o registrar las señales del detector.

5. Interpretación.- Un método de interpretar estas indicaciones.

Las pruebas no destructivas se dividen en los siguientes métodos básicos (tabla 3.3):

- Corrientes parásitas.
- Radiografía: Rayos X (Industrial).
- Gamma: Rayos X.
- Partículas Magnéticas.
- Tintas penetrantes.
- Eco – pulso ultrasónico.

Los métodos se describen en la tabla 3.3:

*Principales métodos de pruebas no destructivas.<sup>76</sup>*

<i>Método de Inspección</i>	<i>Cuándo usarlo</i>	<i>Dónde usarlo</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>
Corrientes parásitas	Para medir variaciones en espesor de paredes de metales o capas delgadas; para detectar costuras o vetas longitudinales o fisuras en tubos; para determinar tratamientos térmicos y composiciones metálicas para su clasificación.	Tubería y barras, partes de geometría uniforme, placas o materiales planos, o láminas y alambre.	Alta velocidad, ningún contacto, automático.	Falsas indicaciones como resultado de muchas variables; solo es útil para materiales conductores.

<sup>76</sup> Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sidney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), Cap. 1, pag. 70

<i>Método de Inspección</i>	<i>Cuándo usarlo</i>	<i>Dónde usarlo</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>
Radiografía: Rayos X (Industrial)	Para detectar imperfecciones y defectos internos; para encontrar fallas en soldadura, fisuras, vetas o costuras, porosidad, hoyos, inclusiones, falta de fusión; para medir variaciones en espesor.	Ensamblajes de partes electrónicas, piezas coladas, recipientes soldados; prueba de campo de soldaduras; inspecciones de corrosión; componentes de materiales no metálicos.	Proporciona un registro permanente en la película; funciona bien en secciones delgadas; alta sensibilidad; técnicas de fluoroscopia disponibles; nivel de energía ajustable.	Alto costo inicial; es necesaria una fuente de poder; riesgo por radiación; se necesitan técnicos entrenados.
Gamma: Rayos X	Para detectar imperfecciones y defectos internos, fisuras, vetas o costuras, hoyos, inclusiones, defectos de soldadura; para medir variaciones de espesor.	Forja, fundiciones, tubería, recipientes soldados; prueba de campo de tuberías soldadas; inspecciones de corrosión.	Detecta gran variedad de imperfecciones; da un registro permanente; portátil; bajo costo inicial; la fuente de suministro es pequeña (útil para tomas internas); hace exposiciones panorámicas.	Un nivel de energía por fuente; riesgo por radiación; se necesitan técnicos entrenados; la fuente pierde potencia continuamente.



<i>Método de Inspección</i>	<i>Cuándo usarlo</i>	<i>Dónde usarlo</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>
Partículas Magnéticas	Para detectar imperfecciones superficiales o subsuperficiales no profundas, fisuras, porosidad, inclusiones no metálicas y defectos de soldadura	Sólo para materiales ferromagnéticos; partes de cualquier tamaño, forma, composición o tratamiento térmico.	Económico, de principio sencillo, fácil de efectuar; portátil (para prueba de campo); rápido para prueba durante la producción industrial.	El material debe ser magnético; se requiere desmagnetización después de la prueba; fuente de potencia necesaria; las partes deben de limpiarse antes de terminar de fabricarse.
Tintas penetrantes	Para localizar fisuras superficiales, porosidad, traslapes, defectos por falta de calor, falsas uniones, fatiga y fisuras por esmerilado.	Todos los metales, vidrio y cerámicas, piezas coladas, forjas, partes maquinadas y herramientas de corte; inspecciones de campo.	Sencillo de aplicar, portátil, rápido, bajo costo; resultados fáciles de interpretar, no necesita preparativos complicados.	Limitado a defectos superficiales; las superficies deben estar limpias.

<i>Método de Inspección</i>	<i>Cuándo usarlo</i>	<i>Dónde usarlo</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>
Eco – pulso magnético	Para encontrar defectos internos, fisuras, falsas uniones, laminaciones, inclusiones, porosidad; para determinar la estructura de grano y espesores	Todos los metales y materiales no metálicos duros; láminas, tubos, varillas, forjas, piezas coladas; prueba de campo y producción; prueba de partes en servicio; uniones de enlace adhesivas y soldadas	Rápido, confiable, fácil de operar; facilita la automatización; los resultados de la prueba se conocen de inmediato; relativamente portátil, muy exacto, sensible.	Requiere contacto o inmersión de la parte y la interpretación de lecturas; necesita entrenamiento.

Tabla 3.3<sup>77</sup><sup>77</sup> Ibidem

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS DEL METALÚRGISTA: PRENSA PARA INCLUSIONES DE MUESTRA Y PULIDORA METALOGRÁFICA

Una vez que se han estudiado tanto la justificación teórica de los ensayos metalográficos, así como también el análisis de las propiedades físicas y metalúrgicas de los materiales - variables a tomar en cuenta en el diseño de máquinas - se plantea el estudio de un caso puntual: *diseño y construcción de una prensa incluidora de muestras y de una pulidora metalográfica*, (los métodos de construcción de las dos máquinas se analizan en el capítulo 5). A continuación se estudia el diseño de cada una de las máquinas tomando en cuenta las condiciones a las cuáles van a estar sometidas: esfuerzos, momentos, fuerzas, etc.

**Nota 1.-** Se debe siempre diseñar las partes que resulten estrictamente necesarias, considerando que es más fácil y económico comprar algo hecho, que fabricarlo individualmente (por las economías de escala); es mejor diseñar las partes que no se adquieren en el mercado (por ser hechas a medida) y utilizar, en lo posible, las partes estandarizadas en base a las necesidades; sin embargo, se debe tener el criterio suficiente para seleccionar de los catálogos de los fabricantes especializados, el modelo que más convenga a las necesidades (costo, dimensiones, etc.).

En el diseño de máquinas se debe considerar que habrá partes que no necesiten una comprobación dimensional mediante cálculos debido a la poca o ninguna presencia de carga, en cuyo caso las propiedades físicas (material) y geométricas (forma) del componente, otorgarán tanto resistencia como rigidez a las partes que caigan en este contexto.

#### **4.1. PRENSA PARA INCLUSIONES DE MUESTRA.**

La muestra metalográfica se logra mediante el uso de un proceso utilizado con los polímeros, llamado *moldeo por compresión*.

En el moldeo por compresión, una cantidad apropiada de material en la cavidad de un molde se comprime mediante un punzón. El polímero se calienta en la mayoría de los casos entre 120 y 260°C (250 y 500°F), se suaviza y fluye para llenar el espacio entre el punzón y el molde. El molde se mantiene cerrado durante suficiente tiempo para permitir que se endurezca la pieza formada. Esto se hace en una prensa capaz de ejercer de 15 a 55 MPa (2000 a 8000 psi) de presión.

El moldeo por compresión se utiliza, por lo general, para los polímeros termofraguados o termofijos que tienen que curarse por medio de calor en el molde.<sup>78</sup>

En la realización de los cálculos de diseño se han tomado en cuenta las siguientes especificaciones.

- La muestra deberá tener un diámetro de 1.25 pulgadas (31.75 mm) y una altura de 0.63 de pulgada (16 mm).
- El molde deberá tener la suficiente resistencia, para soportar la compresión.
- Se considerará una presión de trabajo de 4000 psi.

---

<sup>78</sup> Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, Doyle, Keyser, Leach, Schrader, Singer, editorial Prentice Hall (tercera edición), México 1988, Cap. 11, pag. 253

### Cálculos.

A partir de un primer bosquejo se desprende la siguiente lista de piezas.

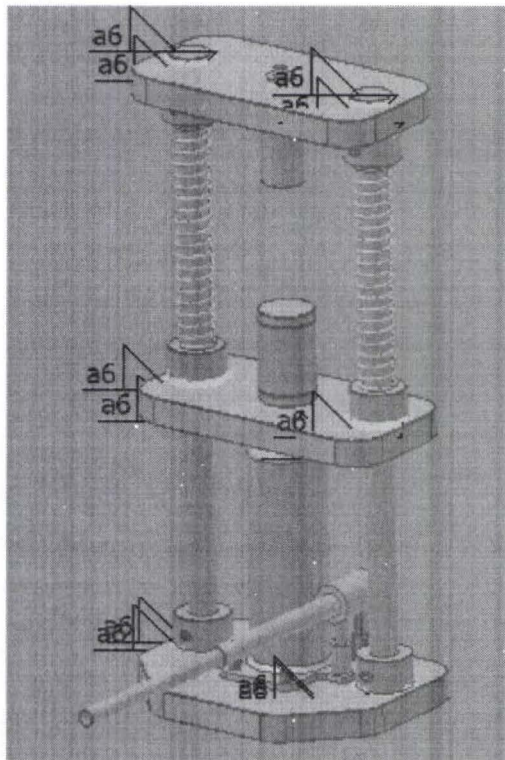


Figura 4.1. Prensa para Inclusiones de Muestra (Elaborado por el Autor)

### *Lista de Piezas.*

CANTIDAD	PARTE
1	Base
1	Tapa Superior
1	Molde de Muestra
1	Base Flotante
2	Columna
8	Perno
1	Punzón
1	Gata
1	Brazo de Gata
1	Perno de Punzón
2	Resorte
1	Rodela
1	Extensión de Brazo de Gata
3	Perno de Gata

Tabla 4.1 (Elaborado por el Autor)

Las partes a ser estimadas mediante cálculos son las siguientes:

**Gata.-** En base a la presión de compresión de 4000 psi (de trabajo) y del diámetro de la probeta que es de 1.25 pulgadas; se establece como diámetro interno del tabique y

como diámetro exterior, la dimensión de 2 pulgadas, así como también las dimensiones del cilindro, siendo ésta la mayor dimensión en contacto con Base 1 (conjunto de la Base) y es la parte más directamente enlazada con la gata, por el contacto entre las mismas.

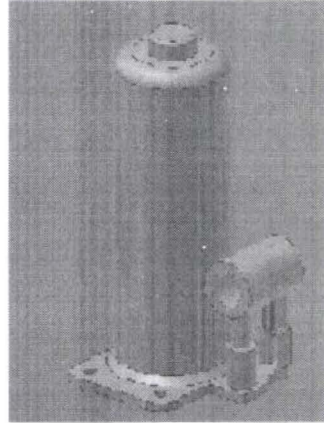


Figura 4.2. Gata (Elaborado por el Autor)

La fuerza necesaria para imprimir una presión de 4000 psi contra el molde armado se deduce a partir de la fórmula:

$$p = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

en dónde:

$P$  = Presión de compresión.

$F$  = Fuerza.

$A$  = Área de contacto (tomando el diámetro de 2 pulgadas).

Despejando la fuerza se obtiene:

$$F = pA \quad (4.2)$$

Siendo el área igual a:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(2)^2}{4} = 3.14 \text{ pulg}^2 \text{ (2025 mm}^2\text{)} \quad (4.3)$$

Por tanto:

$$F = (4000)(3.14) = 12560 \text{ lbf (5709 N)}$$

Transformando este resultado a toneladas que es la unidad estandarizada por los fabricantes de gatas hidráulicas, y considerando que una tonelada es igual a 2200 lbf,

$$F = \frac{12560}{2200} = 5.7 \text{ ton (5700 N)}$$

Se escoge una gata de 6 toneladas (13200 lbf).

La presión máxima que puede ser capaz de imprimir el sistema, debido a las especificaciones establecidas para la probeta (diámetro de 1.25 pulgadas), es la siguiente:

$$p = \frac{13200}{\frac{\pi(1.25)^2}{4}} = 10756.33 \text{ psi (74 Mpa)}$$

La presión estandarizada para el moldeo por compresión, se sobrepasa en un 34.5 % con respecto a la presión máxima que es de 8000 psi, lo cual asegura la realización del proceso. Adicionalmente se tiene que las presiones en los diferentes puntos de contacto son:

- Punzón contra el tabique:

$$p = \frac{F}{A} \tag{4.4}$$

Dónde:

A = Área de contacto entre el tabique del molde y el punzón cuyo diámetro es de 1.5 pulgadas.

Resolviendo:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{13200}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{13200}{1.77} = 7469.7 \text{ psi (51.5 Mpa)}$$

- El punzón de desarmado (en caso de quema de la muestra o atascamiento), con un diámetro de 1.25 pulgadas. La presión ejercida entre las partes es igual a:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{13200}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{13200}{1.23} = 10765.33 \text{ psi (74.2 MPa)}$$

**Perno.-** Se requieren ocho, los mismos que estarán sometidos al esfuerzo cortante producido por la fuerza en el instante de la compresión del polímero.

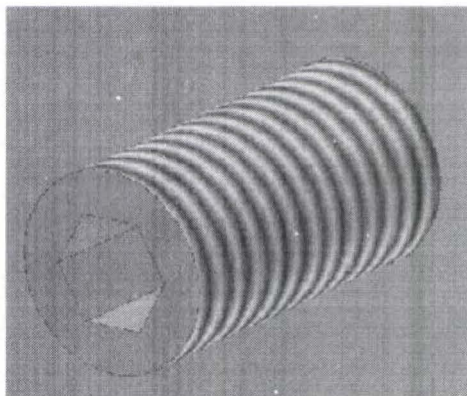


Figura 4.3. Perno (Elaborado por el Autor)

Por tanto, la fuerza dada por la gata (13200 lbf), se dividiría en partes iguales como sigue:

$$F_{\text{perno}} = \frac{13200}{8} = 1650 \text{ lbf (750 N)}$$

La fórmula utilizada para obtener el área y respectivamente el diámetro del perno es la siguiente:<sup>79</sup>

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4.5)$$

En dónde  $\tau$  se define directamente a partir del tipo de material por medio de la siguiente tabla.

Tensiones permisibles para pernos		
Grado ASTM	Tensión por esfuerzos de corte permisible	Tensión por esfuerzo de tracción permisible
A307	10 Kpsi (69 Mpa)	20 Kpsi (138 Mpa)
A325 y A449	17.5 Kpsi (121 Mpa)	44 Kpsi (303 Mpa)
A490	22 Kpsi (152 Mpa)	54 Kpsi (372 Mpa)

Tabla 4.2<sup>80</sup>

Se elige el acero ASTM A325, con lo que:

$$A = \frac{F}{\tau} = \frac{1650}{17500} = 0.0943 \text{ pulg}^2 (60.8 \text{ mm}^2)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.0943)}{\pi}} = 0.346 \text{ pulg (8.8 mm)}$$

<sup>79</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 19, pag. 766

<sup>80</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 19, pag. 762



El prisionero con rosca métrica M10, y con una longitud de 20 mm, es el más conveniente, por su abundancia en el mercado (se pudo haber elegido el M9, pero sus existencias son poco comunes).

**Columna.-** La cantidad requerida es igual a dos, que estarán sometidas a tensión: por lo que deberán ser calculadas con la fórmula siguiente:<sup>81</sup>

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4.6)$$

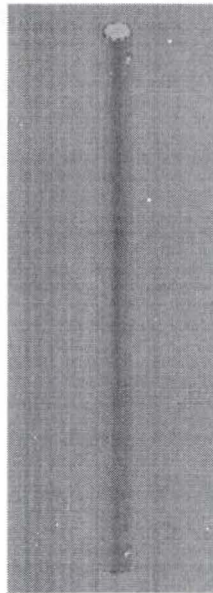


Figura 4.4. Columna (Elaborado por el Autor)

Dónde:

$F$  = Es igual a la fuerza de tensión que será igual a:

$$F = \frac{13200}{2} = 6600 \text{ lbf (3000 N)}$$

Es decir la capacidad de la gata distribuida entre las dos columnas.

$A$  = El área de la columna, corresponde al área de una circunferencia.

$\sigma$  = El esfuerzo que será igual a:<sup>82</sup>

$$\sigma = \frac{S_y}{N} \quad (4.7)$$

<sup>81</sup> Mecánica de Materiales, Riley, Sturges, Morris, editorial Limusa Wiley (primera edición), México 2001, Cap. 2, pag. 40

<sup>82</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 5, pag. 156

$S_y$  = Límite de fluencia del material utilizado en la columna, que corresponde al acero AISI 1018 y es igual a: 63700 psi.

$N$  = Es el factor de seguridad que será igual a 3, debido a que es número recomendado para estructuras o elementos de máquinas.

El esfuerzo queda definido cómo:

$$\sigma = \frac{S_y}{N} = \frac{63700}{3} = 21233.33 \text{ psi (146.4 MPa)}$$

El área circular de la sección de la columna:

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{6600}{21233.33} = 0.31 \text{ pulg}^2 \text{ (200 mm}^2\text{)}$$

Considerando que es un área circular, la variable a encontrar es el diámetro de la circunferencia:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.31)}{\pi}} = 0.63 \text{ pulg (16 mm)}$$

En cada columna se deberán practicar 4 agujeros en los que ingresarán prisioneros que sostendrán a la estructura, y que soportarán esfuerzos de corte debido a la dirección de la fuerza y a la orientación de los elementos; es necesario calcular cuánto material se deberá agregar a la columna para que pueda, además de soportar la tensión producida por el sistema, soportar también la fuerza de corte presente en los prisioneros, sin que se produzca una falla por aplastamiento o por corte en los extremos de las columnas, para lo cual se aplica el siguiente razonamiento:

- Si se tomase el área de un rectángulo (BH) cuya altura (H) fuese correspondiente a la distancia entre la orilla del prisionero y el extremo de la columna, que será igual a 0.59 pulgadas, quedaría por determinar la base (B); cuyo valor multiplicado por 2, corresponde al agregado de material que deberá tener la columna en diámetro para soportar tanto la tensión en los extremos, como los esfuerzos producidos por el agarre de las piezas con los prisioneros.

Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

Para aplastamiento:<sup>63</sup>

$$\sigma = \frac{F}{dt} \quad (4.8)$$

Dónde:

$F$  = Fuerza de aplastamiento, equivalente a 1650 lbf (fuerza a corte en cada prisionero).

$d$  = Diámetro del prisionero (0.39 pulgadas)

$t$  = Normalmente es el espesor de la placa metálica, pero en este caso representa la base (B) del rectángulo

$\sigma$  = Esfuerzo de tensión (21233.33 psi)

La fórmula para el caso puntual, quedaría como sigue:

$$\sigma = \frac{F}{dB} \quad (4.9)$$

Despejando B, tenemos:

$$B = \frac{F}{d\sigma} = \frac{1650}{(0.39)(21233.33)} = 0.2 \text{ pulg. (5 mm)}$$

El diámetro de la columna será igual a:

$$D = 0.63 + 2(0.2) = 1.03 \text{ pulg. (26.162 mm)}$$

Para corte:<sup>64</sup>

$$\tau = \frac{F}{2at} \quad (4.10)$$

Dónde:

$F$  = Fuerza de aplastamiento, equivalente a 1650 lbf (fuerza a corte en cada prisionero).

$a$  = Distancia entre la orilla del prisionero y el extremo de la columna que será (0.59 pulgadas)

<sup>63</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 16, pag. 813

<sup>64</sup> Ibidem

$t$  = Normalmente es el espesor de la placa metálica, pero en este caso representa la base (B) del rectángulo

La fórmula sería:

$$\tau = \frac{F}{2aB} \quad (4.11)$$

$\tau$  = Esfuerzo cortante para el acero utilizado en la columna (AISI 1018), que es equivalente a:<sup>85</sup>

$$\tau = \frac{0.5S_y}{N} = \frac{0.5(63700)}{3} = 10616.67 \text{ psi (73.2 MPa)} \quad (4.12)$$

Despajando el factor (B) se tendría:

$$B = \frac{F}{a\tau} = \frac{1650}{(0.59)(10616.67)} = 0.26 \text{ pulg. (6.6 mm)}$$

El diámetro de la columna será igual a:

$$D = 0.63 + 2(0.26) = 1.15 \text{ pulg. (29.21 mm)}$$

Al haberse realizado los dos análisis, se determina que por razones de ahorro de material (posible gracias al elevado factor de seguridad  $N = 3$ ), el diámetro de la columna deberá ser de 1 pulgada (25.4 mm), que se aproxima más al diámetro considerado para la falla por aplastamiento, debido a que si los extremos de la columna son capaces de soportar el aplastamiento (paso previo al corte), estos no fallarán por corte.

**Base 1, Base Principal, Tapa.-** Se necesita definir en las tres piezas el espesor ( $H$ ) de cada una de las mismas. Previamente se definieron las dimensiones tanto de base como de profundidad, restando definir la altura ( $H$ ).

<sup>85</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Perntice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 5, pag. 156

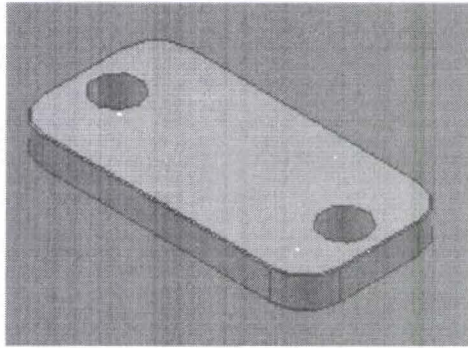


Figura 4.5. Base 1 (Elaborado por el Autor)

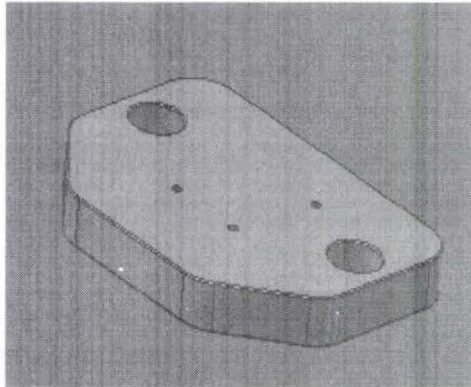


Figura 4.6. Base Principal (Elaborado por el Autor)

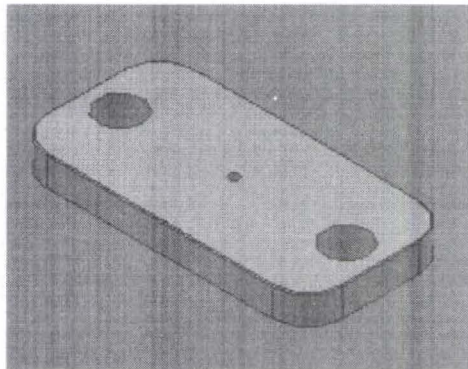


Figura 4.7. Tapa (Elaborado por el Autor)

La base tiene una dimensión de 10 pulgadas, de las que se debe restar 2.18 pulgadas a cada lado del rectángulo, ya que es el espacio ocupado por los bocines de cada una de las piezas (base 1, base principal, Tapa), Teniéndose una dimensión activa de base igual a:

$$B = 10 - 2(2.18) = 5.64 \text{ pulg (143.3 mm)}$$

La tapa, que es la parte que estará soportando la carga de la gata (13200 lbf). Se puede analizar como una barra totalmente fija en sus extremos, en donde las reacciones son:

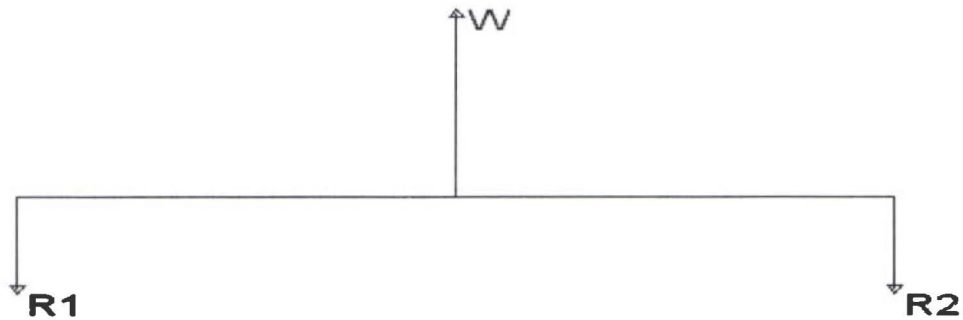


Figura 4.8. Fuerzas en el Sistema (Elaborado por el Autor)

$$R1 = R2 = \frac{W}{2} = \frac{13200}{2} = 6600 \text{ lbf (3000 N)}$$

Definiendo a  $W$  como la carga que imprime la gata en el sistema.

Los diagramas de fuerzas y de momentos se muestran a continuación:

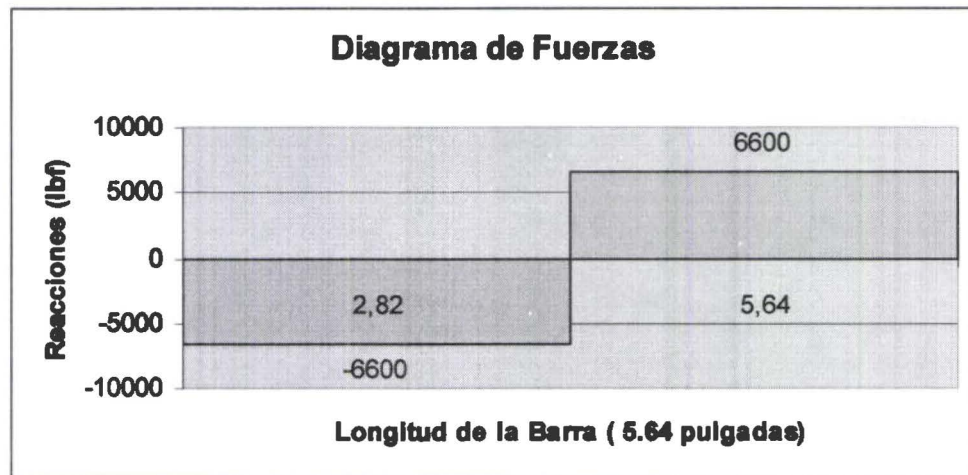


Figura 4.9 (Elaborado por el Autor)

Momentos

$$M_W - M_{R1} = -6600(2.82) = -18612 \text{ lbf-pulg (-2103.2 N-m)}$$

$$M_{R2} - M_W = 6600(2.82) = 18612 \text{ lbf-pulg (2103.2 N-m)}$$

El momento en los apoyos es igual a cero:

$$M_{R1} = 0$$

Remplazando:

$$M_W = -18612 \text{ lbf-pulg} \text{ (-2103.2 N-m)}$$

$$M_{R2} - (-18612) = 6600(2.82)$$

$$M_{R2} = 0$$

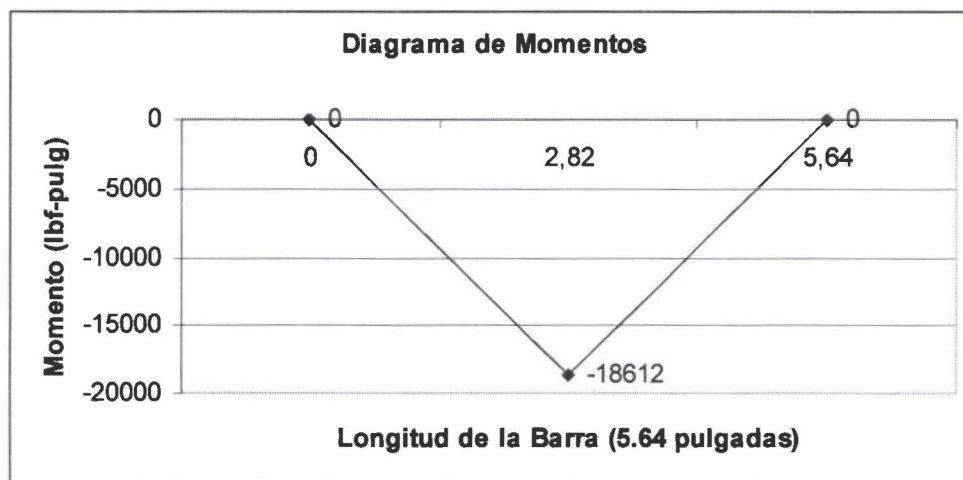


Figura 4.10 (Elaborado por el Autor)

Los valores correspondientes a los momentos y al esfuerzo, se deben estimar en base al momento estático de inercia. La altura ( $H$ ) requerida para terminar de resolver el problema se estima en base al momento antes mencionado y se lo representa con la letra  $Z$  y su valor tomando a la base ( $B$ ), como si fuese el eje  $x$  es de:<sup>86</sup>

$$Z_x = \frac{BH^2}{6} \quad (4.13)$$

Para barras sometidas a fuerzas y momentos, se tiene que la fórmula del esfuerzo es:<sup>87</sup>

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (4.14)$$

$M$  = Momento máximo producido en la barra (9306 lbf-pulg)

El esfuerzo  $\sigma$ , será igual a:

<sup>86</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Apéndice 1

<sup>87</sup> Mecánica de Materiales, Riley, Sturges, Morris, editorial Limusa Wiley (primera edición), México 2001, Cap. 7, pag. 462

$$\sigma = \frac{Sy}{N} \quad (4.15)$$

$Sy = 36000$  psi, debido a que el material utilizado es el acero ASTM A36.

$N = 2$ .

Por tanto el esfuerzo será igual a:

$$\sigma = \frac{S_y}{N} = \frac{36000}{2} = 18000 \text{ psi (124 MPa)}$$

La altura (H), quedaría definida cómo:

$$Z = \frac{M}{\sigma} = \frac{18612}{18000} = 1.03 \text{ pulg}^3 \text{ (16878.7 mm}^3\text{)}$$

Despajando (H) de la fórmula de Z:

$$H = \sqrt{\frac{6Z}{B}} = \sqrt{\frac{6(1.03)}{5.64}} = 1.04 \text{ pulg (26.6 mm)}$$

De acuerdo a los espesores de plancha, comercialmente disponibles en el mercado la altura (H) se fija a 1 pulgada.

Adoptándose esta medida para las tres piezas por uniformidad y estética.

**Tabiques: de Base, de Tapa y de Columna.**- Los tabiques de base, tapa y columna se sueldan a sus respectivas contrapartes (base 1, tapa, base principal), para formar tres piezas: Base, Base Flotante y Tapa Superior (colocándose 2 por cada pieza)

En los tabiques de base y de tapa, se atornillan los 8 prisioneros (4 en cada tapa), los mismos que trabajan a cortante.

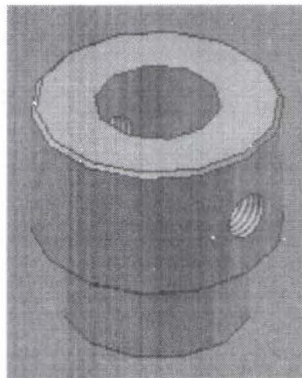


Figura 4.11. Tabique de Base (Elaborado por el Autor)



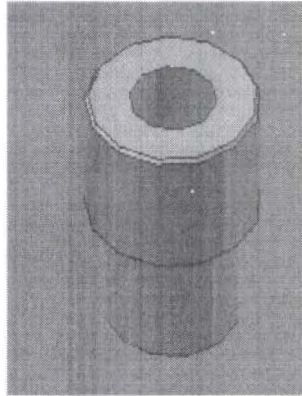


Figura 4.12. Tabique de Columnas (Elaborado por el Autor)

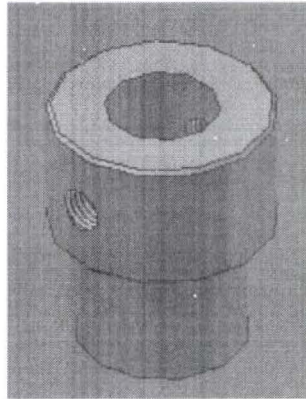


Figura 4.13. Tabique de Tapa (Elaborado por el Autor)

Las fuerzas que intervienen en el sistema son las mismas que en los prisioneros:

$$F_{perno} = \frac{13200}{8} = 1650 \text{ lbf (750 N)}$$

El material con el que están hechos los tabiques es el acero AISI 1045 estirado en frío, el mismo que posee un límite de fluencia  $S_y = 86700$  psi.

Para el diseño de estas piezas se deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El diámetro interior de cada uno de los tabiques es de 1 pulgada.
- Si se tomará el área de un rectángulo ( $BH$ ) cuya altura ( $H$ ) fuese correspondiente a la distancia entre el extremo visible del tabique y la orilla del prisionero, igual a 0.39 pulgadas, restando por identificar la base ( $B$ ): cuyo valor multiplicado por 2 corresponde al diámetro que deberá tener el tabique para soportar los esfuerzos

producidos por el agarre de las piezas con los prisioneros en condiciones: de corte y de aplastamiento.

El cálculo para la condición de corte se lo realiza con la fórmula (4.10):<sup>88</sup>

$$\tau = \frac{F}{2at}$$

Dónde:

$F$  = Fuerza de aplastamiento, equivalente a 1650 lbf (fuerza a corte en cada prisionero).

$a$  = Distancia entre la orilla del prisionero y el extremo visible del tabique (0.39 pulgadas)

$t$  = Normalmente es el espesor de una placa metálica, pero en este caso representa la base (B) del rectángulo.

Para el caso puntual de análisis, la fórmula quedaría como sigue:

$$\tau = \frac{F}{2BH} \quad (4.16)$$

El esfuerzo cortante será igual a:<sup>89</sup>

$$\tau = \frac{0.5S_y}{N} = \frac{0.5(86700)}{3} = 14450 \text{ psi (99.6 MPa)} \quad (4.17)$$

Por tanto la altura (B) queda definida como:

$$B = \frac{F}{2H\tau} = \frac{1650}{2(0.39)(14450)} = 0.15 \text{ pulg (3.81 mm)}$$

El diámetro exterior del tabique será igual a:

$$D = 1 + 2(0.15) = 1.30 \text{ pulg. (33.02 mm)}$$

La condición de aplastamiento se define con la fórmula:

<sup>88</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Mikels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 16, pag. 813

<sup>89</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 5, pag. 156

$$\sigma = \frac{F}{dt} \quad (4.18)$$

Dónde:

$F$  = Fuerza de aplastamiento, equivalente a 1650 lbf (fuerza a corte en cada prisionero).

$d$  = Diámetro del prisionero (0.39 pulgadas)

$t$  = Normalmente es el espesor de la placa metálica, pero en este caso representa la base (B) del rectángulo

$\sigma$  = Esfuerzo de tensión del material que para el acero AISI 1045 es de:

$$\sigma = \frac{Sy}{N} = \frac{86700}{3} = 28900 \text{ psi (199.3 MPa)}$$

La fórmula quedaría como sigue:

$$\sigma = \frac{F}{dB} \quad (4.19)$$

Despejando B, tenemos:

$$B = \frac{F}{d\sigma} = \frac{1650}{(0.39)(28900)} = 0.15 \text{ pulg. (3.81 mm)}$$

El diámetro exterior del tabique será igual a:

$$D = 1 + 2(0.15) = 1.30 \text{ pulg. (33 mm)}$$

Por razones tecnológicas se establece el diámetro exterior de los tabiques con la dimensión de 2 pulgadas, debido a que deben practicarse soldaduras y la profundidad de las mismas podría afectar las dimensiones de los tabiques, por efecto del calor de la soldadura.

Los tabiques de columna: se definen con iguales dimensiones, por fines estéticos y de uniformidad en la apariencia.

**Soldaduras.**- Para conseguir la unión entre piezas, para formar: Base, Base Flotante, Tapa Superior.

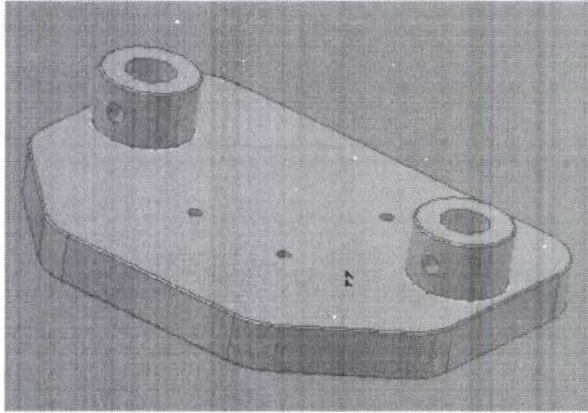


Figura 4.14. Base (Elaborado por el Autor)

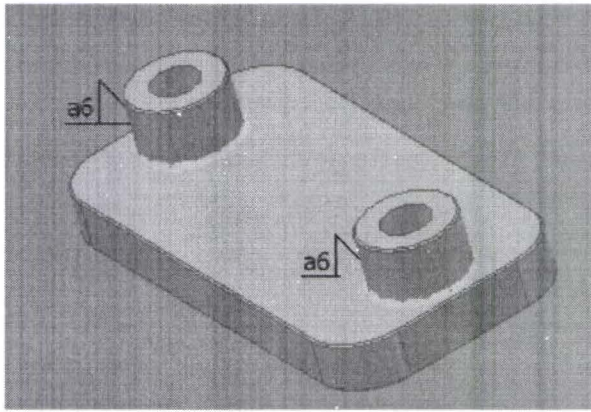


Figura 4.15. Base Flotante (Elaborado por el Autor)

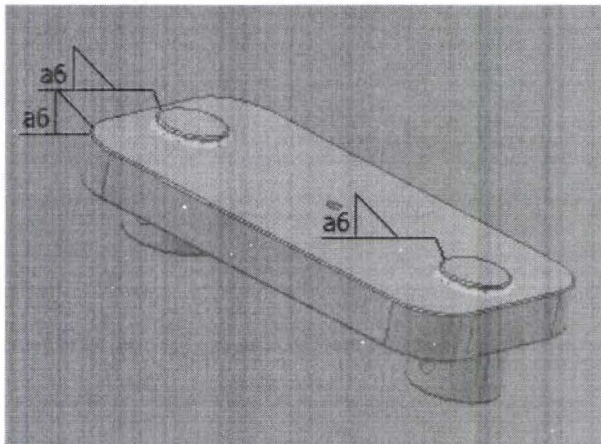


Figura 4.16. Tapa Superior (Elaborado por el Autor)

Es necesario ejecutar soldaduras entre los tabiques y las placas (tapa, base 1, base principal). Las soldaduras son del tipo *filete* y se las realiza con el electrodo 7014, el mismo que ofrece:

Resistencia a la tracción (psi)	72000
Resistencia en el punto de fluencia (psi)	60000

Tabla 4.3<sup>90</sup>

Las juntas soldadas trabajarán a corte.<sup>91</sup> Por tanto la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$P = \frac{0.707hLS_{sy}}{N} \quad (4.20)$$

Dónde:

P = Fuerza cortante cuyo valor equivale a:

$$P = \frac{F_{gata}}{8} = \frac{13200}{8} = 1650 \text{ lbf (750 N)}$$

Siendo 8 el número de filetes de soldaduras necesarios.

h = Altura del filete de soldadura, cuyo valor se define arbitrariamente de 0.2 pulgadas (debido a que se tendrán diferentes longitudes de soldadura, por la forma de los tabiques).

S<sub>sy</sub> = Límite de fluencia a corte de la cuerda de soldadura dejada por el electrodo de soldadura, que equivale al siguiente valor.<sup>92</sup>

$$S_{sy} = \frac{2}{3} S_y \quad (4.21)$$

Para electrodo 7014 este valor corresponde a:

$$S_{sy} = \frac{2}{3} S_y = \frac{2}{3} 60000 = 40000 \text{ psi (275.8 MPa)}$$

L = Longitud del filete de soldadura.

La longitud (L) el único valor que resta por calcular es de:

$$L = \frac{PN}{0.707hS_{sy}} = \frac{1650(3)}{0.707(0.2)(40000)} = 0.88 \text{ pulg (22.4 mm)}$$

La decisión tomada en este caso, es la de rellenar el total del contorno de las partes a soldar (tabiques contra placas: tapa, base 1, base principal).

<sup>90</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 2, Sec. 13-34

<sup>91</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Mikels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 17, pag. 871

<sup>92</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Mikels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 17, pag. 870

**Resorte.-** Se precisa de una cantidad igual a dos, los mismos que son seleccionados por el método diseño por medio de tablas.<sup>93</sup>

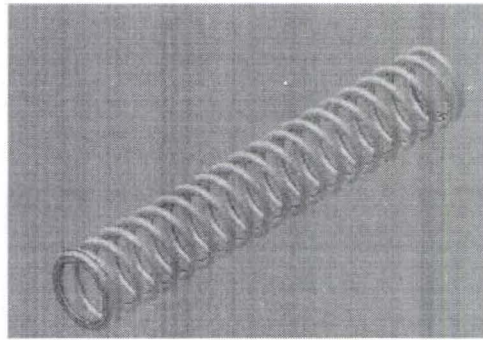


Figura 4.17. Resorte (Elaborado por el Autor)

Por medio de variables como: diámetro medio (diámetro de centro a centro del alambre), la carga de trabajo, diámetro del alambre, deflexión de una espira para la carga de seguridad, es posible escoger un resorte, cuyas dimensiones han sido estandarizadas.

Los resortes serán utilizados para armar un sistema, que permita el retorno de la base flotante y por ende el regreso de la gata hidráulica a su posición original, con lo que un resorte en cada una de las columnas, con una región de trabajo, entre la tapa y la base flotante.- logrará el efecto deseado: considerando que el diámetro de las columnas es de 1 pulgada: se debe escoger un resorte que posea un diámetro medio mayor a este. Consultando en las tablas, tenemos que el resorte que más se ajusta a esta necesidad, tiene las siguientes especificaciones:<sup>94</sup>

- Diámetro medio ( $D_m$ ) = 1.25 pulgadas (31.75 mm)
- Diámetro del alambre ( $D_w$ ) = 0.156 pulgadas (4 mm)
- Carga de trabajo ( $P$ ) = 167 lbf (76 N)
- Deflexión de una espira para la carga de seguridad ( $f$ ) = 0.350 pulgadas (8.9 mm)

Restando por definir el resto de variables que son:

- Longitud de operación ( $L_o$ ), igual a 9 pulgadas (228.6 mm)

<sup>93</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 8 - 81

<sup>94</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 8 - 83

- Longitud de instalación ( $L_i$ ), equivalente a 8 pulgadas (203 mm), que es el espacio entre tapa y base flotante
- Fuerza de operación ( $F_o$ ); su valor es el indicado en la tabla ( $P$ ): 167 lbf (76 N)
- Número total de espiras ( $N_a$ ) = 19
- Número de espiras activas. Su valor se define a continuación:

Los extremos del resorte han sido rectificadas, así que se deberá aumentar dos vueltas al resorte, con lo que el número de espiras activas ( $N_i$ ), queda definido cómo:<sup>95</sup>

$$N_i = N_a - 2 \quad (4.22)$$

$$N_i = 19 - 2 = 17 \text{ espiras}$$

- Longitud final ( $L_f$ ):<sup>96</sup>

$$L_f = D_w N_i \quad (4.23)$$

$$L_f = 0.156(19) = 2.96 \text{ pulg. (75.2 mm)}$$

- Razón del resorte ( $k$ )- que es la relación entre la fuerza ejercida por un resorte y su deflexión. Se obtiene de la fórmula:<sup>97</sup>

$$k = \frac{F_i}{L_i - L_f} \quad (4.24)$$

O

$$k = \frac{F_o - F_i}{L_i - L_o} \quad (4.25)$$

La variable ( $F_i$ ), que es la fuerza que ejerce el resorte una vez que se ha instalado, se determina igualando las dos ecuaciones como sigue:

$$\frac{F_i}{L_i - L_f} = \frac{F_o - F_i}{L_i - L_o} \quad (4.26)$$

Remplazando valores:

<sup>95</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 14, pag. 753

<sup>96</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpression), México 1999, Cap. 14, pag 755

<sup>97</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 7, pag. 212

$$\frac{F_i}{9 - 2.96} = \frac{167 - F_i}{9 - 8}$$

Fi igual es igual a:

$$0.165F_i = 167 - F_i$$

$$F_i = \frac{167}{1 + 0.165} = 143.27 \text{ lbf (65.1 N)}$$

La razón del resorte queda definida cómo:

$$k = \frac{F_o - F_i}{L_i - L_o} = \frac{167 - 143.27}{9 - 8} = 23.72 \text{ lbf/pulg. (0.42 N/mm)}$$

La precarga, a razón de la longitud de operación del resorte es de:

$$F = (L_i - L_o)k = (9 - 8)23.72 = 23.72 \text{ lbf (10.78 N)}$$

A su vez considerando que actúan dos resortes la precarga será igual a:

$$F_i = 2F = 2(23.72) = 47.44 \text{ lbf (21.56 N)}$$

**Tabique, Cilindro, Punzón, Punzón de Desarmado.-** Estas partes son miembros que están sometidos a compresión.

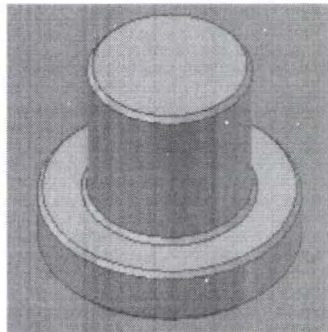


Figura 4.18. Tabique (Elaborado por el Autor)



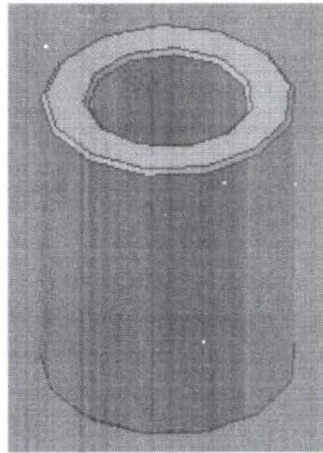


Figura 4.19. Cilindro (Elaborado por el Autor)

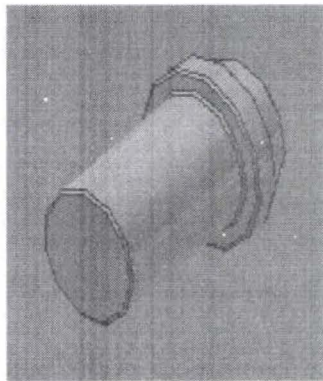


Figura 4.20. Punzón (Elaborado por el Autor)

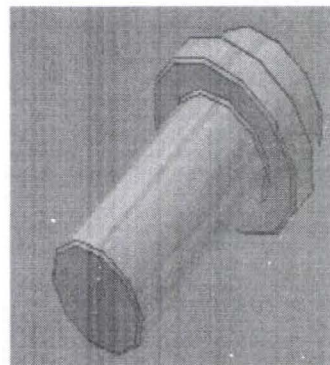


Figura 4.21. Punzón de desarmado (Elaborado por el Autor)

Los miembros sujetos a compresión directa pueden agruparse en tres clases. Los bloques de compresión (relación de esbeltez menor a 30), que son tan cortos que el pandeo del miembro es improbable. Las columnas largas en cambio: el pandeo es una variable primordial a tener en cuenta; en dónde la aplicación de la fórmula de

Euler es fundamental. Y por último, el punto intermedio: columnas cortas, dónde el uso de la fórmula de Johnson, es lo más acertado.<sup>98</sup>

Debido a las especificaciones de la probeta (diámetro de 1.25 pulgadas), tanto el tabique y el punzón de desarmado se fijan con esta dimensión, el cilindro que conjuntamente con los tabiques arman el molde posee un diámetro interior de 1.25 pulgadas; además, debe soportar la presión producida por el moldeo, por lo que es necesario establecer el espesor ( $t$ ) de la pared. El punzón, que es el que ejerce la fuerza sobre el molde se fija de forma arbitraria con un diámetro de 1.5 pulgadas.

Por todo lo antes expuesto, lo que resta por hacer es definir si las dimensiones antes expuestas, darán al conjunto la solidez suficiente para soportar las exigencias tecnológicas del moldeo por compresión y determinar el espesor ( $t$ ) del cilindro.

El acero utilizado en la fabricación de estas partes es el AISI 1045 cuyo límite de fluencia es igual a 63700 psi.

Para definir el espesor ( $t$ ): considerando que el cilindro es un recipiente a presión, se tiene la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{pr}{t} \quad (4.27)$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo de costilla, y está definido por la siguiente fórmula

$$\sigma = \frac{S_y}{N} = \frac{63700}{2} = 31850 \text{ psi (219.6 MPa)}$$

$N$  = Factor de seguridad

$P$  = Presión que es igual a: 10756.33 psi

$r$  = Radio del cilindro, igual a: 1 pulgada.

$t$  = Espesor de la pared, que despejando de la fórmula es igual a:

$$t = \frac{pr}{\sigma} = \frac{10756.33(1)}{31850} = 0.34 \text{ pulg (8.6 mm)}$$

<sup>98</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec 5-43

El espesor ( $t$ ), se fija en 0.375 pulgadas, debido a las dimensiones preestablecidas de las espaldas de los tabiques.

Se debe considerar la compresión a la cuál están sujetas las piezas. Debido a que las dimensiones dependerán de las especificaciones de la probeta a elaborar, resta por encontrar la relación de esbeltez de cada una de las piezas, mediante la siguiente fórmula:<sup>99</sup>

$$r.e. = \frac{KL}{r_{\min}} \quad (4.28)$$

Dónde:

$K$  = Factor dependiente de la condición de la columna, en este caso igual a: 0.65, por considerarse que ambos extremos se encuentran empotrados.<sup>100</sup>

$L$  = Longitud total de cada una de las columnas

$r_{\min}$  = Radio de giro mínimo de la sección.

En la tabla 4.4 se muestra el valor de todas las magnitudes, para cada una de las piezas.

---

<sup>99</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 6, pag. 179

<sup>100</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 6, pag. 178

Pieza	Figura	Diámetro (pulgadas)	Radio mínimo de giro (pulgadas) <sup>101</sup>	Longitud (pulgadas)	Relación de esbeltez $r.e. = \frac{KL}{r_{\min}}$
Tabique	Cilindro	1.25	$r = \frac{D}{4} = \frac{1.25}{4} = 0.31$	1.33	2.76
Punzón	Cilindro	1.5	$r = \frac{D}{4} = \frac{1.5}{4} = 0.38$	3.26	5.65
Punzón de Desarmado	Cilindro	1.25	$r = \frac{D}{4} = \frac{1.25}{4} = 0.31$	3.26	6.78
Cilindro	Tubo	$D_1 = 2$ $D_2 = 1.25$	$r = \frac{\sqrt{D_1^2 + D_2^2}}{4} = \frac{\sqrt{(2)^2 + (1.25)^2}}{4} = 0.59$	2.5	2.76

Tabla 4.4 (Elaborado por el Autor)

La conclusión obvia, es que todas y cada una de las piezas son bloques a compresión (r.e.<30).

<sup>101</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Apéndice 1

Por lo que es necesario determinar el área mínima de cada una de las piezas, para soportar el esfuerzo a compresión, por medio de la fórmula del esfuerzo normal.

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

Dónde:

$$\sigma = \text{Será igual a: } \sigma = \frac{Sy}{N} = \frac{63700}{3} = 21233.33 \text{ psi (146.4 MPa)}$$

$F$  = La fuerza presente en el sistema, igual a: 13200 lbf

$A$  = El área mínima de contacto.

Despejando de la fórmula se tiene que el área mínima ( $A$ ), es igual a:

$$A = \frac{F}{\frac{Sy}{N}} = \frac{13200}{\frac{63700}{3}} = 0.62 \text{ pulg}^2 \text{ (400 mm}^2\text{)}$$

Las piezas, son de forma cilíndrica, por lo cuál el área corresponde a la de una circunferencia, de diámetro igual a:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.62)}{\pi}} = 0.89 \text{ pulg. (22.6 mm)}$$

La magnitud del diámetro ( $d$ ), que representa, a la mínima cantidad de material que se deberá colocar en cada una de las piezas, está por debajo de las especificaciones, del proceso (moldeo por compresión) y de la aplicación del mismo (probeta metalográfica). Lo que hace que las dimensiones adoptadas inicialmente, de forma arbitraria para estas piezas; sean adecuadas, lo que se muestra en la tabla 4.5:

Pieza	Díámetro mínimo (pulgadas)	Área (pulgadas <sup>2</sup> )	Comparación respecto al área mínima (A)
Tabique	1.25	$A_T = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(1.25)^2}{4} = 1.23$	Mayor
Punzón	1.5	$A_P = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(1.5)^2}{4} = 1.77$	Mayor
Punzón de Desarmado	1.25	$A_{PD} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(1.25)^2}{4} = 1.23$	Mayor
Cilindro	$D_{\text{externo}} = 2$ $D_{\text{interno}} = 1.25$	$A_C = \frac{\pi(d_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2)}{4} = \frac{\pi(2^2 - 1.25^2)}{4} = 1.91$	Mayor

Tabla 4.5 (Elaborado por el Autor)

**Nota 2.-** Las dimensiones y detalles de cada una de las piezas (componentes), calculadas y no calculadas se detallan en el Tomo 2 del presente trabajo.

#### 4.2. PULIDORA METALGRÁFICA.

Una de las variables importantes, al realizar el análisis metalográfico, es el pulido de la muestra, que se realizará por medio de una máquina de uso múltiple, que cuenta con tres tipos de bandas de lija (220, 320, 400) y una banda de paño de billar, que utilizadas de forma secuencial, darán a la muestra un acabado especular, lista para el ataque químico.

La máquina en cuestión deberá ser capaz de dar un movimiento continuo a las bandas a pesar de la fuerza de rozamiento presente en las mismas, debido al uso de la máquina. La fuerza se estima en un valor máximo de 10 lbf. Por las siguientes consideraciones:

- El uso de una fuerza excesiva dañaría a las bandas de lija.
- Se debe permitir el movimiento continuo de las bandas, lográndose así el rozamiento entre la lija y la muestra.
- La velocidad de rotación de las bandas deberá ser lo suficientemente elevada y con el torque suficiente, garantizándose que el pulido en cada una de las etapas sea lo suficientemente efectivo, para conseguir el acabado especular.

##### Cálculos.

Un primer bosquejo, determina que se deberán estimar las dimensiones de las siguientes partes:

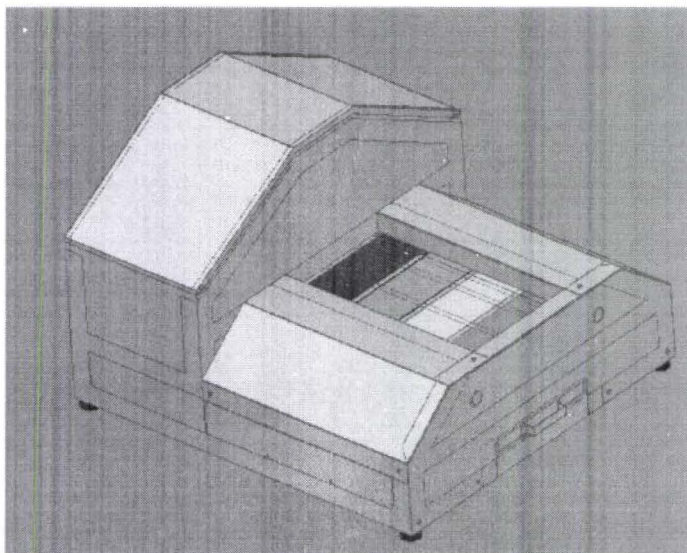


Figura 4.22. Pulidora Metalográfica (Elaborado por el Autor)



## Lista de Piezas:

CANTIDAD	PARTE
2	Bastidor
1	Base de Motor
8	Rodillo
2	Eje de Transmisión
4	Chumacera 1
1	Motor
1	Polea Conductora
2	Polea Conducida
2	Prisionero
9	Perno
9	Tuerca
18	Rodela
10	Perno de Base
9	Tuerca de Base
16	Rodela 2
1	Prisionero 2
1	Banda de Transmisión
1	Banda de Lija 220
1	Banda de Lija 320
1	Banda de Lija 400
1	Banda de Paño de Billar
1	Soporte de Lijas
1	Cajón
1	Tapa 4
1	Tapa 1
1	Tapa 2
1	Tapa 3
14	Cola de Pato
4	Pata
4	Tuerca de Pata

Tabla 4.6 (Elaborado por el Autor)

Las partes de esta máquina deben ser construidas para soportar el arrastre de las bandas de lija, producido por el contacto de la muestra a pulir con las bandas, esto produce una fuerza de rozamiento, que varía de acuerdo a la superficie contra la que se ejerza o de acuerdo al proceso utilizado.

Para el caso se considera un factor  $\mu = 0.94$ <sup>102</sup>, será utilizado para el rectificado húmedo.

<sup>102</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 3-30

La fuerza de rozamiento ( $f$ ), así como la fuerza normal ( $N$ ), variables importantes en un proceso como el anteriormente citado (pulido), están definidas por las siguientes fórmulas:

$$f = \mu(w + F) \quad (4.29)$$

$$N = w + F \quad (4.30)$$

$$f = \mu N \quad (4.31)$$

Para las tres fórmulas se tiene que:

$N$  = Fuerza Normal

$F$  = La fuerza ejercida contra la superficie, por el usuario de la máquina. Esta no deberá exceder el valor de 10 lbf

$w$  = El peso del cuerpo

$f$  = La fuerza de rozamiento

Para el cálculo de  $w$  se obtendrá el valor del volumen del cuerpo, para luego multiplicarlo por el peso específico. Como sigue:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} l \quad (4.32)$$

Dónde:

$D$  = Diámetro de la probeta (1.25 pulgadas).

$l$  = Longitud de la probeta (0.5 pulgadas).

Remplazando:

$$V = \frac{\pi(1.25^2)}{4} 0.5 = 0.61 \text{ pulgadas}^3 \text{ (9996.1 mm}^3\text{)}$$

El peso será igual a:

$$w = V\gamma \quad (4.33)$$

Dónde:

$\gamma$  = Peso Específico de la resina fenólica (baquelita) (0.047 lb/pulg<sup>3</sup>).<sup>103</sup>

$$w = 0.047(0.61) = 0.029 \text{ lbf (0.013 N)}$$

<sup>103</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 4, pag. 74

El valor de la fuerza normal (N), es igual a:

$$N = 0.029 + 10 = 10.029 \text{ lbf (4.6 N)}$$

La fuerza de rozamiento:

$$f = 0.94(10.029) = 9.43 \text{ lbf (4.3 N)}$$

**El motor.-** El motor se estima en base a las dimensiones estandarizadas de las poleas, con diámetro de 10 pulgadas; para los ejes de transmisión (2), y de 3.5 pulgadas (1), solidaria al motor. Los rodillos del eje de transmisión tienen un diámetro final es de 0.98 pulgadas (25 mm), en el conjunto armado.

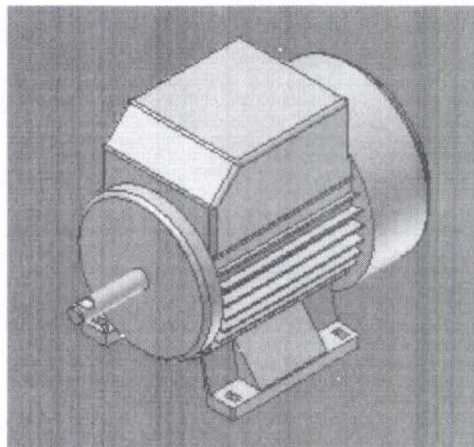


Figura 4.23. Motor (Elaborado por el Autor)

Los rodillos arrastran un conjunto de bandas de lija (estándar), de una longitud de 30 pulgadas (762 mm) y un ancho de 4 pulgadas (101.6 mm).

La fuerza con la cuál se debe producir el arrastre es de 10 lbf, que producen un torque en los rodillos igual a:

$$T_1 = 10 \left( \frac{0.98}{2} \right) = 4.9 \text{ lbf-pulg (0.55 N-m)}$$

El torque a su vez se divide en dos, ya que los rodillos que son solidarios a los ejes de transmisión (que giran a 1200 RPM), poseen torque e impulsan a las bandas de lija.

$$T_2 = \frac{4.9}{2} = 2.45 \text{ lbf-pulg. (0.28 N-m)}$$

La potencia del motor se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$T = \frac{63000P}{n} \quad (4.34)$$

Dónde:

$P$  = Potencia del motor en HP.

$n$  = Velocidad del motor, igual a 3600 RPM.

Despejando la potencia ( $P$ ), se tiene:

$$P = \frac{Tn}{63000}$$

$$P = \frac{4.9(3600)}{63000} = 0.28 \text{ HP (208.9 W)}$$

Se escoge un motor de 0.5 HP (373 W), para así tener un factor de seguridad igual a 1.8.

**Eje de transmisión.-** El cálculo del eje, se realiza considerando la fuerza de rozamiento ( $f$ ), como una fuerza que actúan en la totalidad de la longitud de trabajo del eje; por medio de la estática (sumatoria de fuerzas y momentos) se determinan las reacciones en las chumaceras.

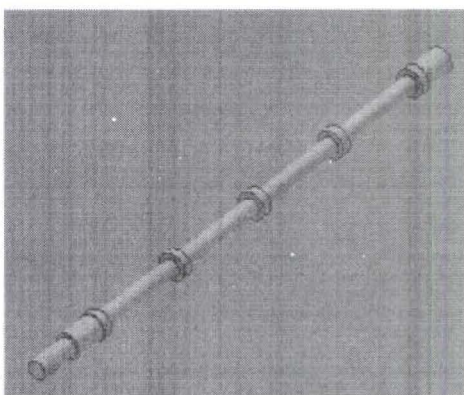


Figura 4.24. Eje de Transmisión (Elaborado por el Autor)

La triangulación de poleas, determina el ángulo en el cuál va a actuar la fuerza, así

como la relación de velocidades<sup>104</sup>  $r_v = \frac{n_2}{n_1}$ , necesaria para obtener el torque

deseado en el eje, cuyo valor es igual a  $1/3$  ( $r_v = 1200/3600 = 1/3$ ).

<sup>104</sup> Diseño de Máquinas, Deutschman, Mikels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999, Cap. 10, pag. 549

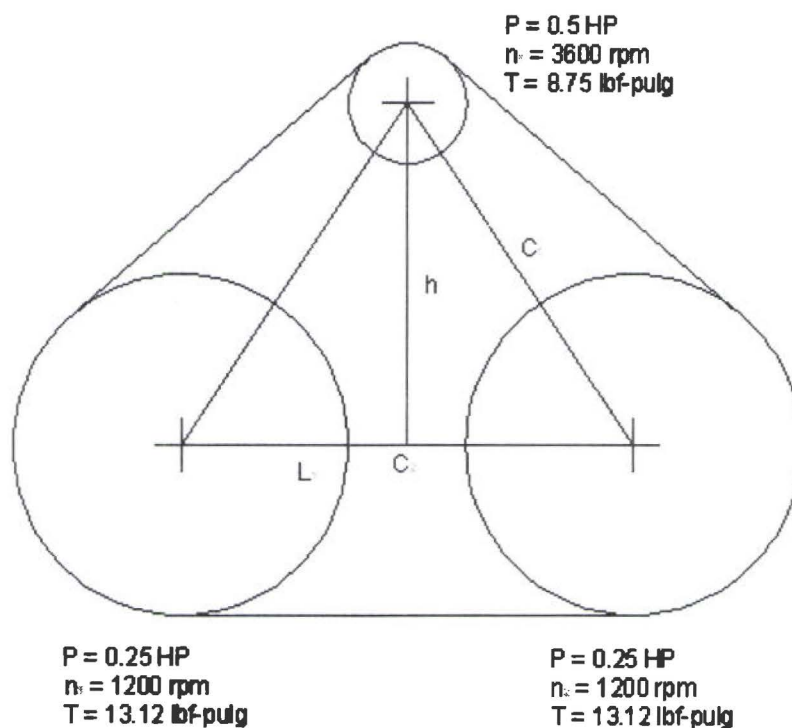


Figura 4.25. Triangulación de poleas (Elaborado por el Autor)

Tomando las distancias entre centros de cada uno de los ejes (de transmisión y de motor), que por una consideración de diseño (longitudes de banda existentes) se calcularon de la siguiente forma:

$$C_1 = 10.33 \text{ pulg (262.4 mm)}$$

$$C_2 = 13.47 \text{ pulg (342.2 mm)}$$

El valor de  $L_1$ , se determina como sigue:

$$L_1 = \frac{C_2}{2} = \frac{13.47}{2} = 6.73 \text{ pulg. (170.9 mm)} \quad (4.35)$$

La altura ( $h$ ):

$$h = \sqrt{C_1^2 - L_1^2} = \sqrt{(10.33)^2 - (6.73)^2} = 7.84 \text{ pulg. (199.1 mm)} \quad (4.36)$$

El coseno del ángulo ( $\alpha$ ), formado por la fuerza será igual a:

$$\cos \alpha = \frac{6.73}{10.33} = 0.65 \quad (4.37)$$

Valor que corresponde a una ángulo de 49.5 grados

El torque del motor y la forma en la cuál se va a transmitir se calculan de la siguiente forma:

$$T = \frac{63000P}{n} = \frac{63000(0.25)}{1200} = 13.125 \text{ lbf-pulg. (1.5 N-m)}$$

En cada uno de los ejes de transmisión.

Las fuerzas normales que actúan en cada una de las poleas en V son:

$$F_N = \frac{T}{D/2} \quad (4.38)$$

Dónde:

$F_N$  = La fuerza normal actuante en la polea y en el extremo de los ejes.

$D$  = Diámetro de la polea (10 pulgadas).

$T$  = Torque transmitido a la polea.

$$F_N = \frac{13.125}{10/2} = 2.63 \text{ lbf (1.2 N)}$$

La fuerza de flexión ( $F_A$ ), es equivalente a:

$$F_A = 1.5F_N = 1.5(2.63) = 3.94 \text{ lbf (1.8 N)} \quad (4.39)$$

Las componentes de la fuerza en los diferentes planos son:

$$F_{Ax} = F_A \cos(49.5) = 3.94 \cos(49.5) = 2.6 \text{ lbf (1.2 N)} \quad (4.40)$$

$$F_{Ay} = F_A \text{sen}(49.5) = 3.94 \text{sen}(49.5) = 3 \text{ lbf (1.4 N)} \quad (4.41)$$

Las componentes tanto en el eje (X) como en el eje (Y), sirven para hacer el análisis en los dos planos, tanto de fuerzas como de momentos, para después obtener el vector resultante de los mismos, por medio de la aplicación del teorema de Pitágoras.

Análisis en el eje (X).

Fuerzas:

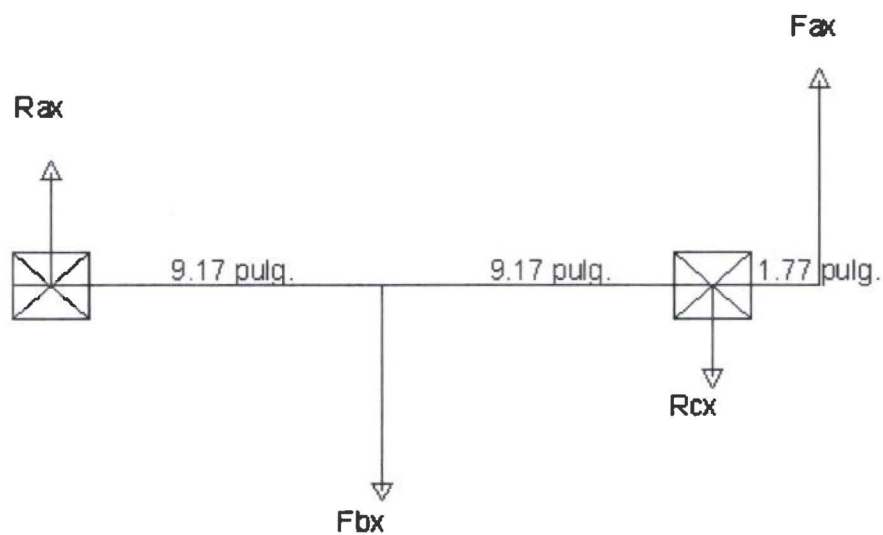


Figura 4.26. Fuerzas en el Eje x (Elaborado por el Autor)

$$\sum M_x = 0 \text{ con respecto al punto (A)}$$

$$0 = -5(9.175) + R_{cx}(18.35) + 2.6(20.12)$$

$$0 = -45.87 + 18.35R_{cx} + 52.31$$

$$R_{cx} = \frac{-6.44}{18.35} = -0.35 \text{ lbf } (-0.16 \text{ N})$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{ax} - 5 - 0.35 + 2.6 = 0$$

$$R_{ax} = 2.75 \text{ lbf } (1.25 \text{ N})$$

## Gráfica de Fuerzas.

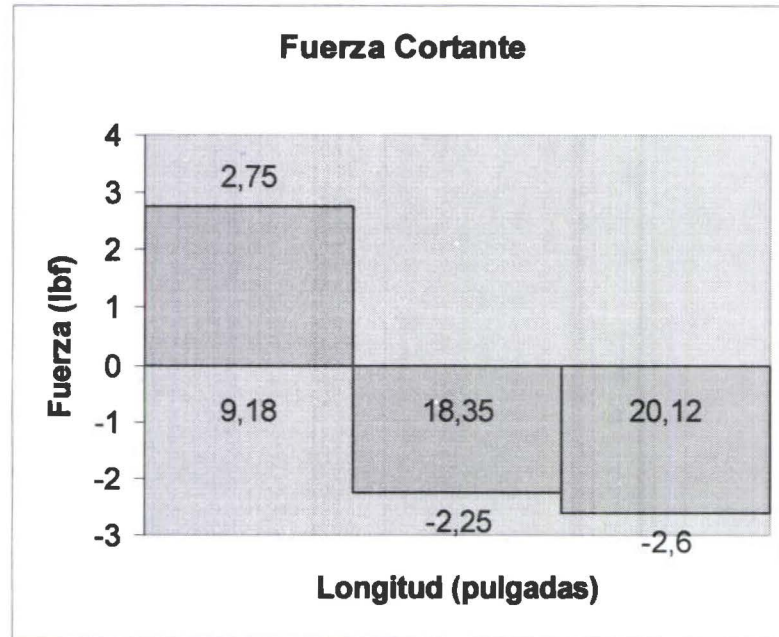


Figura 4.27 (Elaborado por el Autor)

## Momentos:

$$M_b - M_a = 2.75(9.175) = 25.23 \text{ lbf-pulg (2.85 N-m)}$$

$$M_c - M_b = -2.25(9.175) = -20.64 \text{ lbf-pulg (-2.33 N-m)}$$

$$M_d - M_c = -2.6(1.77) = -4.602 \text{ lbf-pulg (-0.52 N-m)}$$

$$M_a = 0$$

$$M_b = 25.23 \text{ lbf-pulg (2.85 N-m)}$$

$$M_c = -20.64 + 25.23 = 4.59 \text{ lbf-pulg (0.52 N-m)}$$

$$M_d = -4.6 + 4.6 = 0 \text{ lbf-pulg (0 N-m)}$$



*Gráfica de Momentos.*

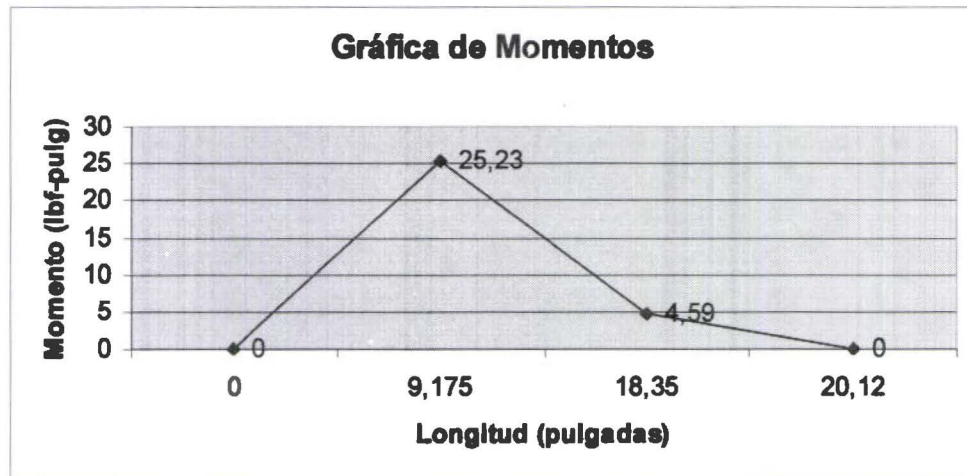


Figura 4.28 (Elaborado por el Autor)

Análisis en el eje (Y).

*Fuerzas:*

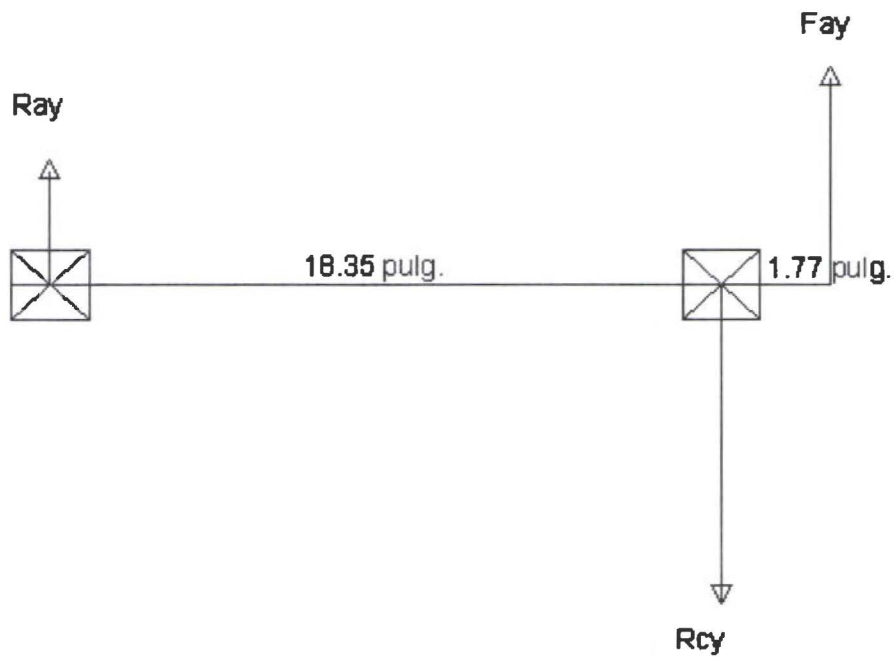


Figura 4.29 Fuerzas en el Eje Y (Elaborado por el Autor)

$$\sum Mx = 0 \text{ con respecto al punto (A)}$$

$$0 = 18.35Rby + 21.12(3)$$

$$0 = 18.35Rby + 60.36$$

$$Rby = \frac{-60.36}{18.35} = -3.29 \text{ lbf } (-1.5 \text{ N})$$

$$\sum Fx = 0$$

$$0 = Ray - 3.29 + 3$$

$$0 = Ray - 0.29$$

$$Ray = 0.29 \text{ lbf } (0.13 \text{ N})$$

Gráfica de Fuerzas.

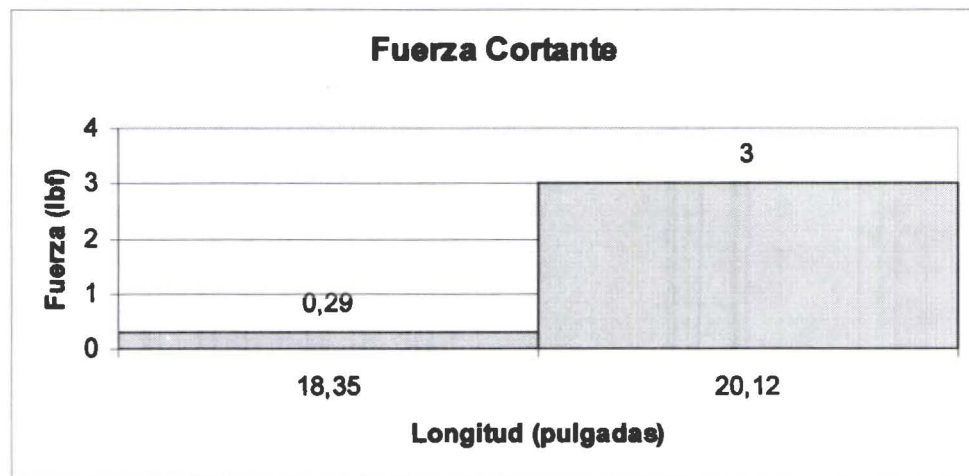


Figura 4.30 (Elaborado por el Autor)

Momentos

$$Mc - Ma = 0.29(18.35) = 5.32 \text{ lbf-pulg } (0.6 \text{ N-m})$$

$$Md - Mc = -3(1.77) = -5.31 \text{ lbf-pulg } (-0.6 \text{ N-m})$$

$$Ma = 0$$

$$M_c = 5.32 \text{ lbf-pulg (0.6 N-m)}$$

$$M_d = 5.32 - 5.32 = 0$$

Gráfica de Momentos.

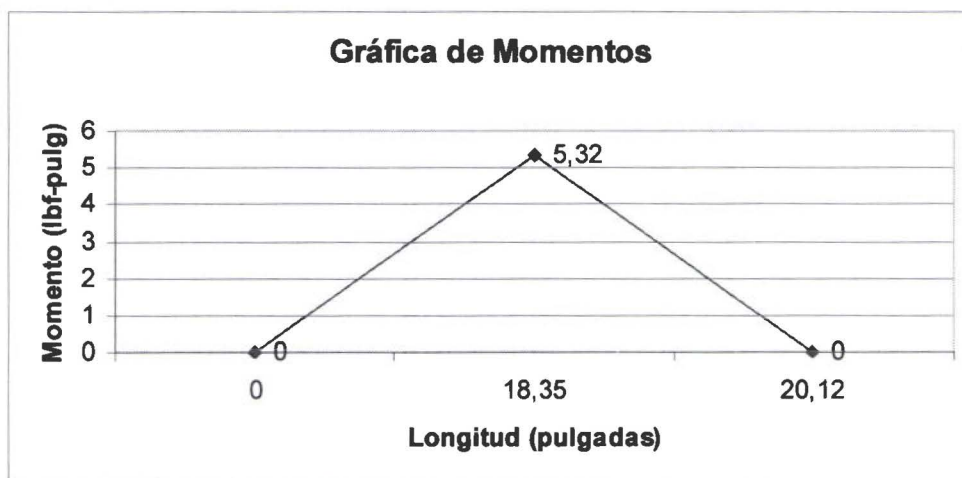


Figura 4.31 (Elaborado por el Autor)

Fuerza Total

$$R_a = \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2} = \sqrt{(2.75)^2 + (0.29)^2} = 2.77 \text{ lbf (1.3 N)} \quad (4.42)$$

$$F_b = 5 \text{ lbf (2.3 N)}$$

$$R_c = \sqrt{R_{cx}^2 + R_{cy}^2} = \sqrt{(-0.35)^2 + (-3.29)^2} = 3.3 \text{ lbf (1.5 N)} \quad (4.43)$$

$$F_d = \sqrt{F_{dx}^2 + F_{dy}^2} = \sqrt{(2.6)^2 + (3)^2} = 3.97 \text{ lbf (1.8 N-m)} \quad (4.44)$$

Momento Total

$$M_a = 0$$

$$M_b = \sqrt{M_{bx}^2 + M_{by}^2} = \sqrt{(25.23)^2 + (0)^2} = 25.23 \text{ lbf-pulg (2.85 N-m)} \quad (4.45)$$

$$M_c = \sqrt{M_{cx}^2 + M_{cy}^2} = \sqrt{(4.59)^2 + (5.32)^2} = 7.02 \text{ lbf-pulg (0.8 N-m)} \quad (4.46)$$

$$M_d = 0$$

Consideraciones para el cálculo del eje o flecha

El eje de transmisión tendrá básicamente 4 diámetros a estimar y el diseño se lo realiza en base a las siguientes consideraciones:

- Factor de seguridad igual a 3 ( $N = 3$ ).
- Factor de confiabilidad ( $C_R$ ) igual a 0.81 (confiabilidad de un 99%).<sup>105</sup>
- Factor de tamaño para diseño de ejes ( $C_S$ ), de un valor equivalente a:

$$C_s = \left( \frac{D}{0.3} \right)^{-0.068}, \text{ con la condición de que no se tendrán diámetros mayores a 2}$$

pulgadas. Así, este factor tendrá un valor de: 0.88.<sup>106</sup>

- El material utilizado para la fabricación del eje es el acero AISI 1018, el mismo que posee un límite de fluencia ( $S_y$ ) igual a: 63700 psi, bajo condiciones de estirado en frío y un esfuerzo por tracción de 75000 psi.<sup>107</sup>
- Una tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado ( $S_n$ ) de 29000 psi.
- El factor de concentración de esfuerzos ( $K_t$ ), para los diámetros A, B y C se considera de 2.5, por el contacto con las chumaceras (en A y C) y las bandas de lija; de 1.5 para el diámetro ( $D$ ), por encontrarse en este punto el elemento de transmisión de momento torsional (polea).
- La fórmula general para el cálculo de los diámetros de un eje es la siguiente:<sup>108</sup>

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_t M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4.47)$$

Dónde:

$D$  = Diámetro en el punto de análisis

$M, T$  = Momento y torque, en dicho punto

$S'_n$  = La resistencia por durabilidad modificada, que es igual a:<sup>109</sup>

$$S'_n = S_n C_s C_r \quad (4.48)$$

<sup>105</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 9, pag. 298

<sup>106</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 9, pag. 297

<sup>107</sup> Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomo 1, Sec. 6-38

<sup>108</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 9, pag. 300

<sup>109</sup> Ibidem

Cálculo del eje o flecha.

Diámetro en el punto A.

- En el punto A no existe Momento ni tampoco Torque, con lo que no es posible utilizar la fórmula general, pero se tiene la presencia de una fuerza cortante en el eje; la fórmula para ésta condición (eje circular) es la siguiente:<sup>110</sup>

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad (4.49)$$

Dónde:

V = Fuerza cortante en el punto, equivalente a: 2.77 lbf

A = Área de la circunferencia

$\tau$  = Tensión por esfuerzo cortante de diseño, que es igual a:

$$\tau = \frac{0.577S_y}{N} = \frac{0.577(63700)}{3} = 12251.63 \text{ psi (84.5 MPa)} \quad (4.50)$$

Reemplazando los factores y despejando el área de la circunferencia (A), se tiene:

$$A = \frac{4V}{3\tau} = \frac{4(2.77)}{3(12251.63)} = 0.0003 \text{ pulg}^2 (0.19 \text{ mm}^2)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.0003)}{\pi}} = 0.02 \text{ pulg (0.5 mm)}$$

Diámetro en el punto B.

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{KtM}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$S'_n = S_n C_s C_r = 29000(0.88)(0.81) = 20671.2 \text{ psi (142.5 MPa)}$$

Reemplazando en la fórmula los factores correspondientes a este punto, se obtiene:

$$D = \left[ \frac{32(3)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{2.5(2523)}{20671.2} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{13.125}{63700} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.45 \text{ pulg (11.4 mm)}$$

<sup>110</sup> Ibidem

Diámetro en el punto C.

- Torque es igual a cero en este punto.

Remplazando los valores en la fórmula:

$$D = \left[ \frac{32(3)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{2.5(7.026)}{206712} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{0}{63700} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.29 \text{ pulg (7.4 mm)}$$

Diámetro en el punto D.

- Momento es igual a cero
- Se utiliza la fórmula siguiente para estimar el diámetro del eje:

$$\tau = \frac{T}{Z_p} \quad (4.51)$$

Despejando el momento estático de inercia ( $Z_p$ ), se tiene:

$$Z_p = \frac{T}{\tau} = \frac{13.125}{12251.63} = 0.001 \text{ pulg}^3 \text{ (16.4 mm}^3\text{)}$$

Obteniéndose el diámetro de la fórmula de ( $Z_p$ ):

$$Z_p = \frac{\pi D^3}{16} \quad (4.52)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16Z_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16(0.001)}{\pi}} = 0.17 \text{ pulg (4.3 mm)}$$

Resumen.

Diámetros	Dimensión mínima en pulgadas (milímetros)	Dimensión especificada en pulgadas (milímetros)
A	0.02 (0.5)	1 (25.4)
B	0.45 (11.4)	0.67 (17)
C	0.29 (7.4)	1 (25.4)
D	0.17 (4.3)	0.75 (19.05)

Tabla 4.7. Tabla Resumen de Diámetros de Eje (Elaborado por el Autor)

Nota: Los diámetros en los puntos A y C, se especifican en el valor de una pulgada, debido a que esta dimensión es la más comúnmente encontrada en el mercado ecuatoriano en chumaceras.

El diámetro en el punto B, se fija en 0.67 pulgada por el proceso al que va a ser sometido el eje de transmisión: encauche de rodillos. Por este motivo, es necesario tener un diámetro mínimo para la colocación de los mismos.

En el punto D, la dimensión de 0.75 pulgadas se establece debido al orificio que se debe practicar para asegurar la polea conducida al eje, y por la facilidad de maquinado. Un análisis más completo se ilustra a continuación a partir de las siguientes condiciones a las cuales está sometido el eje en esta región.

- El momento es igual a cero.
- El torque en este punto es igual a: 13.13 lbf-pulg
- El orificio practicado para el prisionero: de un diámetro de 0.37 pulgadas. Es un concentrador de esfuerzos. Para el análisis de esta condición se hace uso de la siguiente fórmula:<sup>111</sup>

$$K_{ig} = \frac{\tau_{max}}{\tau_{bruto}} = \frac{\tau_{max}}{\frac{T}{Zp}} \quad (4.53)$$

Dónde:

$\tau_{max}$  = Tensión de esfuerzo cortante máximo.

$\tau_{bruto}$  = Tensión de esfuerzo cortante bruto.

Los valores de estos factores se obtienen de las fórmulas:<sup>112</sup>

$$* \tau_{max} = K_{tmeto} \tau_d \quad (4.54)$$

$$* \tau_{bruto} = K_{tbruto} \tau_d \quad (4.55)$$

\* Los valores de  $K_{tmeto}$  y de  $K_{tbruto}$  se obtienen a partir del uso de curvas (orificio en un flecha), mediante la relación d/D (0.37/0.75) para la condición de torque que se muestran en el Anexo 2 del presente trabajo.

<sup>111</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Apéndice 15-4

<sup>112</sup> Ibidem

Remplazando:

$$\tau_{\max} = 2.8(12251.63) = 34304.56 \text{ psi (236.5 MPa)}$$

$$\tau_{\text{bruto}} = 5.3(12251.63) = 64933.64 \text{ psi (447.7 MPa)}$$

La estimación de  $K_{tg}$ , queda como sigue a continuación:

$$K_{tg} = \frac{34304.56}{64933.64} = \frac{34304.56}{\frac{13.13}{Z_p}}$$

Despejando el valor de  $Z_p$  tenemos:

$$0.53 = 2612.69Z_p$$

$$Z_p = 0.0002 \text{ pulg}^3 (3.3 \text{ mm}^3)$$

El valor de  $Z_p$  corresponde al del diámetro del eje en el punto D. Despejando se tiene:

$$Z_p = \frac{\pi D^3}{16}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16Z_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16(0.0002)}{\pi}} = 0.1 \text{ pulg (2.5 mm)}$$

Comprobándose así que la dimensión adoptada en el punto D, es segura.

En el análisis del punto B (diámetro); se debe aclarar que en su longitud éste será dividido en cuatro zonas (una por cada banda de lija y paño), con espaldas de separación de 1.10 pulgadas de diametro, de un ancho de 0.39 de pulgada. (Como se puede ver en el Tomo 2 de este trabajo).

**Chumacera 1.-** Esta chumacera es del tipo de pie (o de piso), y se la escoge de acuerdo a las especificaciones enunciadas en el Anexo 2.



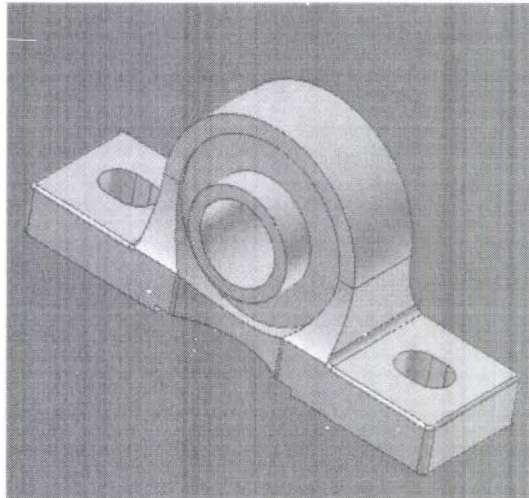


Figura 4.32. Chumacera (Elaborado por el Autor)

***Poleas conductora y conducida.***- Las poleas se escogen en base a las dimensiones estandarizadas existentes en el mercado de 3.5 y 10 pulgadas de diametro, lográndose: una reducción de velocidad de 0.35 muy cercana al valor de 0.33 (1/3); estimada inicialmente; y el aumento de torque necesarios para el proceso de pulido. El material de las mismas es el aluminio.

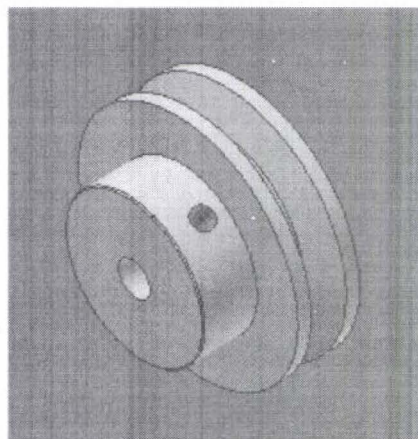


Figura 4.33. Polea conductora (Elaborado por el Autor)

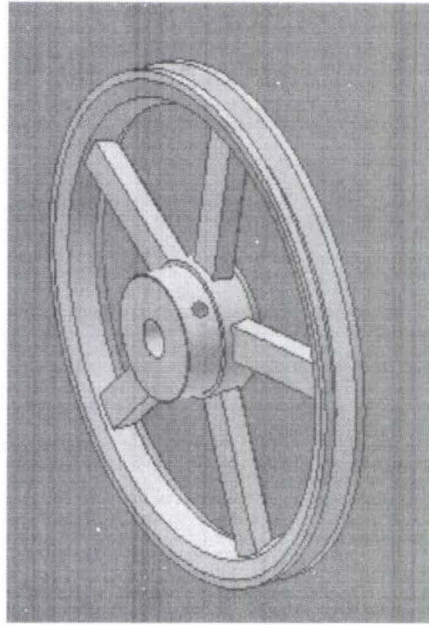


Figura 4.34. Polea conducida (Elaborado por el Autor)

**Banda de Transmisión.-** Es necesario estimar la longitud de la banda (perímetro), para así conectar los elementos y poder transmitir el momento torsional.

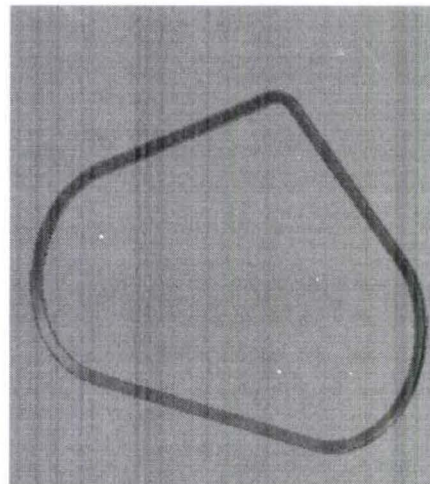


Figura 4.35. Banda de Transmisión (Elaborado por el Autor)

El cálculo de la longitud de la banda (triangulación), es un caso especial y no se puede resolver mediante el uso directo de tablas; es necesario, por geometría, determinar la fracción de longitud a agregar para así, en segundo paso; mediante tablas, seleccionar la banda que más se acerque al valor calculado, y que además

exista en el mercado, adaptando las consideraciones de diseño a las especificaciones de bandas existentes.

*Cálculo de la longitud de la banda:*

1. Se estima la longitud de la banda, únicamente entre la polea conductora y conducida.<sup>113</sup>

$$L_1 = 2C_1 + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C_1} \quad (4.56)$$

$$L_1 = 2(1033) + 1.57(10 + 3.5) + \frac{(10 - 3.5)^2}{4(1033)} = 4288 \text{ pulg (1009.1 mm)}$$

Valor que se aproxima a 43 pulgadas (1092.2 mm)

2. Se añade la longitud obtenida en el paso 1, la distancia entre centros de las dos poleas conducidas, distancia que es paralela a la cuerda que une a las dos circunferencias (poleas conducidas).

$$L_T = C_2 + L_1 \quad (4.57)$$

$$L_T = 13.47 + 43 = 56.47 \text{ pulg (1434.3 mm)}$$

Se eleva este valor a 59 pulgadas (1498.6 mm), debido a su disponibilidad en el mercado.

**Prisionero y prisionero 2.-** Los dos elementos actúan a manera de afianzadores (entre la polea conducida - eje de transmisión y entre motor - polea conductora); el primero (prisionero) soporta un torque de 13.13 lbf-pulg. ; el prisionero 2, en cambio, trabaja con un torque de 8.75 lbf-pulg.

<sup>113</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 13, pag. 535

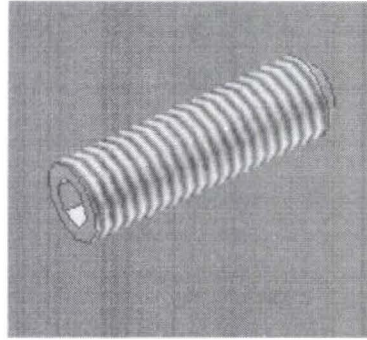


Figura 4.36. Prisionero 2 (Elaborado por el Autor)

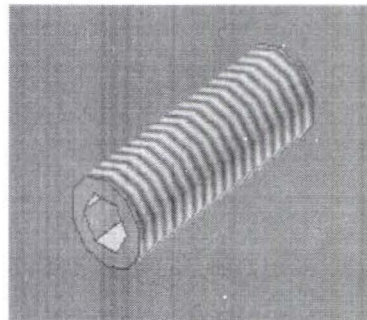


Figura 4.37. Prisionero (Elaborado por el Autor)

En la estimación del diámetro del perno para que soporte las condiciones de carga se emplea la siguiente fórmula:<sup>114</sup>

$$d = \sqrt{\frac{4T}{D(\pi)(\tau_d)}} \quad (4.58)$$

Dónde:

$T$  = Torque al que está sometido el perno: 13.13 lbf-pulg

$D$  = Diámetro de la eje o flecha (suponiendo penetración total).

$\tau_d$  = Tensión de esfuerzo cortante del material utilizado en la fabricación del perno.

La penetración del perno en el eje no es total (0.25 pulgadas en el eje transmisión y de 0.08 pulgadas en el eje del motor, de un diámetro de 0.5 pulgadas) con lo que se hará el análisis en cada caso con respecto a la fracción de penetración ( $n$ ).

El material con el que se fabrican los pernos es el acero ASTM A490 (por lo general), que posee una tensión por esfuerzo de corte permisible de 22000 psi, que corresponde al  $\tau_d$ .<sup>115</sup>

<sup>114</sup> Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995, Cap. 10, pag. 349

Para cada caso, se tiene el siguiente análisis:

Prisionero:

$$d = \sqrt{\frac{4T}{nD(\pi)(\tau_d)}} = \sqrt{\frac{4(13.13)}{\frac{0.25}{0.75}(0.75)(\pi)(22000)}} = 0.06 \text{ pulg (1.5 mm)}$$

Prisionero 2:

$$d = \sqrt{\frac{4T}{nD(\pi)(\tau_d)}} = \sqrt{\frac{4(8.75)}{\frac{0.08}{0.5}(0.5)(\pi)(22000)}} = 0.08 \text{ pulg (2 mm)}$$

Las dimensiones de estas partes se establecen en 0.39 pulgadas (9.9 mm) en cada caso, debido a la preparación previa de las poleas, para su uso (polea estandarizada).

La especificación estandarizada de dicho perno se detalla en el Anexo 2.

**Nota 3.-** Las dimensiones y detalles de cada una de las piezas (componentes), calculadas y no calculadas se detallan en el Tomo 2 del presente trabajo.

## CAPITULO 5

### MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Los métodos de fabricación son uno de los puntos más importantes en el proceso de diseño, ya que estos ayudarán a plasmar las ideas propuestas en las etapas anteriores, ya no sólo en el papel, sino como algo real y palpable.

Los procesos de manufactura abarcan un gran abanico de posibilidades tecnológicas, pero se analizarán puntualmente en este capítulo los procesos necesarios para lograr todas y cada una de las piezas que conforman **la prensa incluidora de muestras y la pulidora metalográfica**.

El análisis de los métodos de manufactura se dividirá en los siguientes puntos:

5.1. MAQUINADO.

5.2. PROCESOS DE UNIÓN Y CORTE

5.3. PROCESOS DE CONFORMADO DE LÁMINA

5.4. TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DE HULE

5.5. TABLA RESUMEN DE PROCESOS DE MANUFACTURA UTILIZADOS EN  
CADA PIEZA DISEÑADA

#### 5.1. MAQUINADO.<sup>116</sup>

El maquinado es un proceso de manufactura en el cual se utiliza una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo (figura 5.1), de tal manera que el material remanente sea la parte con la forma deseada. La acción predominante del corte implica la deformación cortante del material de trabajo para formar una viruta; al removerse la viruta, queda expuesta una nueva superficie. El maquinado se aplica más frecuentemente para formar metales.

---

<sup>116</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 23, pag. 544

El maquinado es uno de los procesos más importantes de manufactura. La importancia esta operación se debe a lo siguiente:

- El maquinado se puede aplicar a una amplia variedad de materiales de trabajo. Prácticamente todos los metales sólidos se pueden maquinar. Los plásticos y los compuestos plásticos se pueden también cortar por maquinado. Los materiales cerámicos presentan dificultad para el maquinado debido a su alta dureza y fragilidad; sin embargo, la mayoría se pueden cortar exitosamente mediante procesos abrasivos.
- El maquinado se puede utilizar para obtener cualquier forma geométrica regular, como superficies planas, agujeros redondos y cilindros. Combinando varias operaciones de maquinado en secuencia, se pueden producir formas de complejidad y variedad ilimitada.
- El maquinado puede producir dimensiones con tolerancias muy estrechas de menos de 0.0001 pulg (0.025 mm). Es más preciso que muchos otros procesos.
- El maquinado es capaz de crear acabados superficiales muy tersos que pueden llegar a ser mejores que 16  $\mu$ pulg (0.4 $\mu$ m). Algunos procesos abrasivos pueden lograr mejores acabados aún.

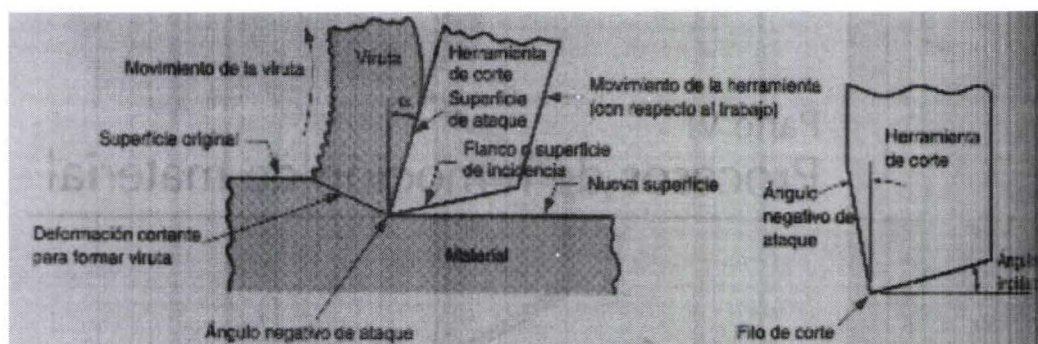


Figura 5.1. Proceso de Maquinado<sup>117</sup>

Debido a sus características, el maquinado se realiza generalmente después de otros procesos de manufactura como fundición o deformación volumétrica (por ejemplo,

<sup>117</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 23, pag. 544

forjado y estirado de barras). Otros procesos crean la forma general de la parte y el maquinado produce la geometría final, las dimensiones y el acabado.<sup>118</sup>

### TORNEADO.<sup>119</sup>

El torneado es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de punta sencilla remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación. El trabajo se lo realiza en una máquina herramienta llamada *torno*, la cual suministra la potencia para tornear, la velocidad de rotación, el avance de la herramienta y la profundidad de corte. Además del torneado, se pueden realizar una gran cantidad de operaciones de maquinado en un torno, como son:

*Careado o Refrentado.*- La alimentación de la herramienta, es radial y sobre el extremo de trabajo rotatorio, para así crear una superficie plana.

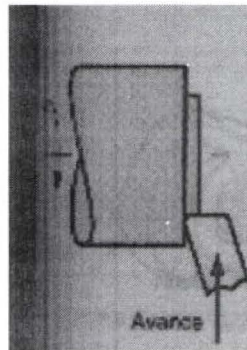


Figura 5.2. Careado o Refrentado<sup>120</sup>

*Torneado ahusado o cónico.*- En vez de que la herramienta avance paralelamente a la pieza de trabajo, ésta lo hace a un cierto ángulo, creando una forma cónica.

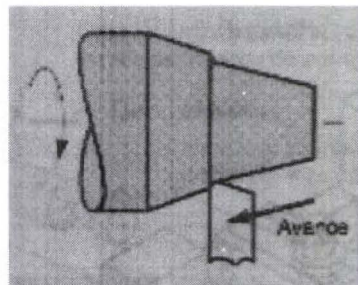


Figura 5.3. Torneado ahusado<sup>121</sup>

<sup>118</sup> Ibidem

<sup>119</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 25, pag. 597

<sup>120</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 25, pag. 599



*Torneado de contornos.*- La herramienta avanza siguiendo un contorno, el mismo que se reproduce en el material de trabajo.

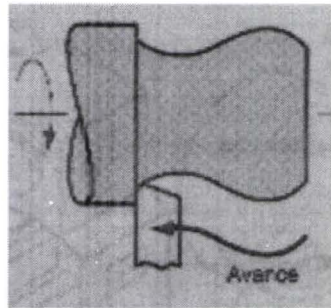


Figura 5.4. Torneado de contornos<sup>122</sup>

*Torneado de formas.*- La herramienta de trabajo, posee una forma específica, la misma que penetra en forma radial en la pieza torneada.

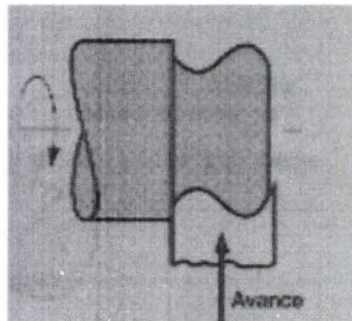


Figura 5.5. Formado en tomo<sup>123</sup>

*Achafianado.*- El borde cortante de la herramienta se usa para cortar un ángulo en la esquina del cilindro, y forma lo que se llama un chaflán.

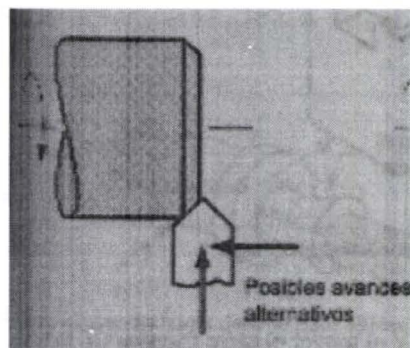


Figura 5.6. Achafianado<sup>124</sup>

121 ibidem  
122 ibidem  
123 ibidem  
124 ibidem

**Tronzado.-** La herramienta avanza en forma radial dentro del trabajo de rotación, en algún punto a lo largo de su longitud, para tronzar el extremo de la parte; a la operación se la llama en ocasiones partido

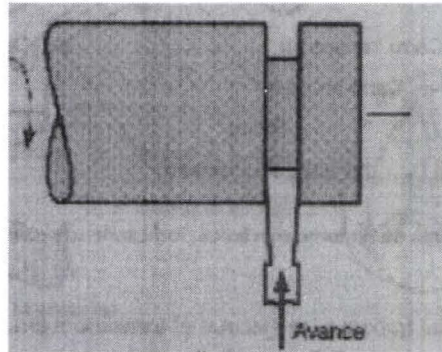


Figura 5.7. Tronzado<sup>125</sup>

**Roscado.-** Una herramienta puntiaguda avanza linealmente a través de la superficie externa de la parte de trabajo en rotación, y en dirección paralela al eje de rotación, a una velocidad suficiente para crear cuerdas roscadas en el cilindro.

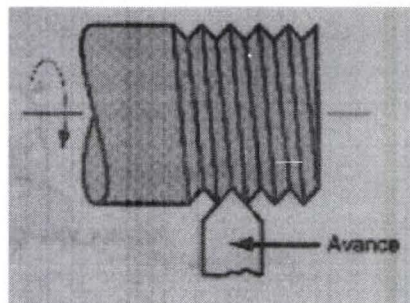


Figura 5.8. Roscado<sup>126</sup>

**Perforado.-** Una herramienta de punta sencilla avanza en línea paralela al eje de rotación sobre el diámetro interno de un agujero existente en la parte o pieza.

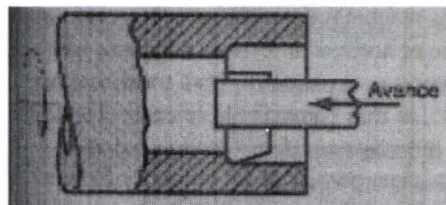


Figura 5.9. Perforado<sup>127</sup>

<sup>125</sup> Ibidem

<sup>126</sup> Ibidem

<sup>127</sup> Ibidem

*Taladrado.*- El taladrado se puede ejecutar en un torno, haciendo avanzar la broca dentro del trabajo rotatorio a lo largo de su eje. El escariado se puede realizar de forma similar.

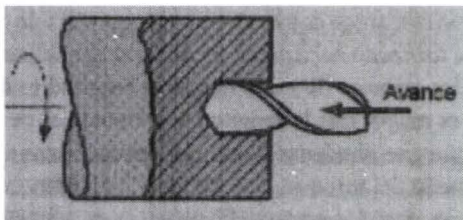


Figura 5.10. Taladrado<sup>128</sup>

*Moletado.*- Esta no es una operación de maquinado, ya que no involucra la remoción de material. Es una operación de formado de metal, que se utiliza para producir un rayado regular o un patrón en la superficie de trabajo.

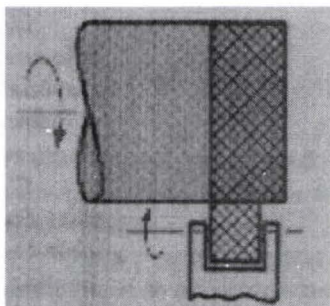


Figura 5.11. Moletado<sup>129</sup>

Las herramientas de punta sencilla, se usan en la mayoría de operaciones ejecutadas en tornos. Las herramientas de corte para el torneado, careado, ahusado, contorneado, chafinado y perforado son herramientas de punta sencilla.

La operación de roscado se ejecuta usando una herramienta de punta sencilla, diseñada con la forma de la cuerda a producir. Existen operaciones que requieren herramientas diferentes a las de punta sencilla. El torneado de formas se ejecuta con una herramienta de diseño especial llamada herramienta de forma, cuyo perfil establece la forma de la parte de trabajo (el tronzado se incluye en esta variedad).

El taladrado se lo realiza por medio del uso de una broca.

La operación de moletado se ejecuta con una herramienta formada por dos rodillos endurecidos y montados sobre sus centros. Los rodillos tienen el patrón de moletado

<sup>128</sup> Ibidem

<sup>129</sup> Ibidem

deseado en sus superficies. El moleteado se logra presionando la herramienta sobre la superficie, con la presión suficiente para imprimir el patrón sobre la superficie de trabajo.

#### TALADRADO.

El taladrado es una operación mediante la cual se realiza una abertura, agrandamiento, corte y acabado de agujeros, con diámetros que van desde una pequeña fracción de milímetro hasta cientos de milímetros de diámetro. Las herramientas y no las piezas de trabajo, se hacen girar y se alimentan dentro del material.<sup>130</sup>

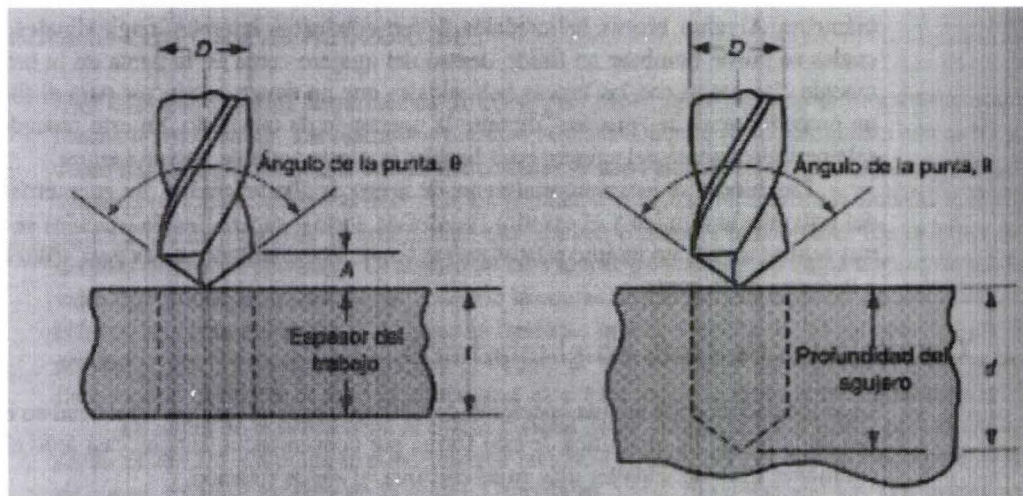


Figura 5.12. Taladrado de agujero: completo (izquierda) y ciego (derecha)<sup>131</sup>

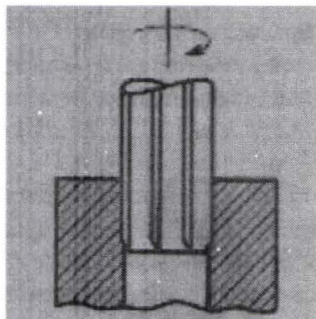
Varias operaciones se relacionan con el taladrado, muchas de las cuales se realizan posteriormente al taladrado, ya que primero debe hacerse el agujero con el taladro y después modificarse (operaciones como el centrado y punteado son la excepción); estas son:<sup>132</sup>

*Escariado.*- Se usa para agrandar ligeramente un agujero, suministrar una mejor tolerancia en su diámetro y mejorar su acabado superficial. La herramienta se llama: escariador, el cual tiene por lo general ranuras rectas.

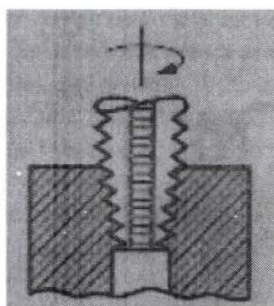
<sup>130</sup> Materiales y procesos de manufactura para ingenieros, Doyle, Keyser, Leach, Schrader, Singer, editorial Prentice Hall (tercera edición), México 1988, Cap 22, pag. 662

<sup>131</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 25, pag. 608

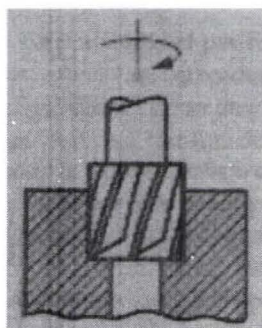
<sup>132</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 25, pag. 609

Figura 5.13. Escariado<sup>133</sup>

*Roscado interior.*- Esta operación se la realiza por medio de un machuelo, y se usa para cortar una rosca interior en un agujero existente.

Figura 5.14. Roscado interior<sup>134</sup>

*Abocardado.*- En el abocardado se produce un agujero escalonado en el cuál un diámetro más grande sigue a un diámetro más pequeño, parcialmente dentro del agujero. Se usa un agujero abocardado para asentar las cabezas de los pernos dentro de un agujero de manera que no sobresalga la superficie.

Figura 5.15. Abocardado<sup>135</sup>

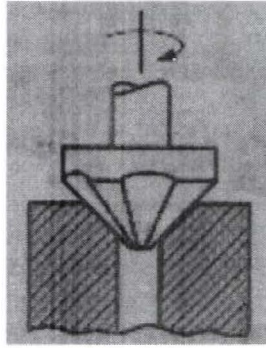
*Avellanado.*- Es una operación similar al abocardado salvo que el escalón en el agujero tiene forma de cono para tornillos y pernos de cabeza plana.

---

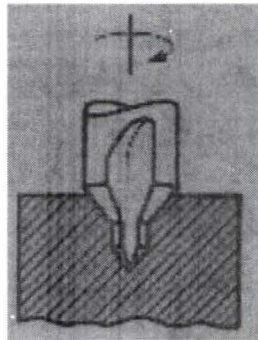
<sup>133</sup> Ibidem

<sup>134</sup> Ibidem

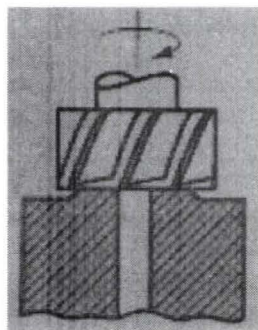
<sup>135</sup> Ibidem

Figura 5.16. Avellanado<sup>136</sup>

*Centrado.*- También llamado taladrado central, esta operación taladra un agujero inicial para establecer con precisión el lugar dónde se taladrará el siguiente agujero. La herramienta se llama mecha de centrado.

Figura 5.17. Centrado<sup>137</sup>

*Refrentado.*- Es una operación similar al fresado que se usa para suministrar una superficie maquinada plana en la parte de trabajo en un área localizada.

Figura 5.18. Refrentado<sup>138</sup>


---

<sup>136</sup> Ibidem  
<sup>137</sup> Ibidem  
<sup>138</sup> Ibidem

### ABRASIVO.<sup>139</sup>

El maquinado abrasivo implica la eliminación de material por la acción de partículas abrasivas duras que están por lo general pegadas a una rueda. El esmerilado es el proceso abrasivo más importante y el más común de los procesos de trabajo en metales. El rectificando, pulimentado, superacabado, pulido y abrillantado son otros procesos abrasivos. Los procesos abrasivos se los utiliza, por lo general, en procesos de acabado, aunque algunos son capaces de remover material a alta velocidad rivalizando así con los procesos de remoción de material convencionales. Las razones por las cuales los procesos abrasivos son importantes comercial y tecnológicamente, en la actualidad, son las siguientes:

- Se pueden usar en todos los tipos de materiales, desde metales suaves hasta aceros endurecidos, y en materiales no metálicos como cerámicos y silicio.
- Algunos de estos procesos se pueden usar para producir acabados superficiales extremadamente finos de hasta 1  $\mu$  pulg (0.025  $\mu$ m).
- Para ciertos procesos abrasivos, las dimensiones pueden mantener tolerancias extremadamente cerradas.

Algunos otros procesos de remoción de material se clasifican también dentro del maquinado abrasivo, debido a que realizan el corte por medios abrasivos, como el corte con chorro de agua abrasivo y el maquinado ultrasónico. Sin embargo, estos procesos son conocidos como procesos de remoción de material no tradicionales.

---

<sup>139</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 26, pag. 655

## **5.2. PROCESO DE UNIÓN Y CORTE.**

### **SOLDADURA.<sup>140</sup>**

La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos (o más) partes, mediante la aplicación conveniente de calor o presión. La integración de las partes que se unen por soldadura se denomina *ensamble soldado*.

Muchos de los procesos de soldadura se obtienen únicamente por calor, sin aplicación de presión, y otros por la aplicación de los dos factores (calor y presión), así cómo también existen procesos en los que se aplica solamente presión. En algunos casos se agrega material de aporte para facilitar la fusión. La importancia industrial y comercial de la soldadura se debe, principalmente, a lo siguiente:

- La soldadura se vuelve una unión permanente. Las partes soldadas conforman una sola unidad.
- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales, si se usa un metal de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los materiales originales, siempre que se utilicen las técnicas de soldadura adecuadas.
- En general, la soldadura es la forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación. Los métodos mecánicos alternativos de ensamble requieren alteraciones más complejas de las formas (por ejemplo taladrado de orificios) y adición de sujetadores (remaches o tuercas). El ensamble mecánico resultante por lo general es más pesado que la soldadura correspondiente.
- La soldadura no se limita al ambiente de fábrica. Puede realizarse en el campo.

La soldadura posee todas las ventajas antes indicadas, pero así mismo presenta las siguientes limitaciones:

---

<sup>140</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 28, pag. 712



- La mayoría de operaciones de soldadura se realizan de forma manual y son elevadas en términos de costo de la mano de obra. Muchas de las operaciones de soldadura se consideran especializadas y no muchas personas pueden realizarlas.
- Casi todas las operaciones de soldadura implican el uso de mucha energía e implican riesgos.
- Dado que la soldadura proporciona una unión permanente entre los componentes, es difícil desensamblar adecuadamente las partes. Si se requiere un desensamble ocasional, ya sea para reparación o mantenimiento, no debería usarse la soldadura como método de ensamble.
- La unión soldada puede padecer de ciertos defectos de calidad que son difíciles de detectar. Los defectos pueden reducir la resistencia de la unión, deformaciones por acción del calor, contracción de materiales, porosidades, grietas, etc.

Dentro de la variedad de procesos de soldadura existentes, se analizará a continuación uno de ellos, por su incidencia en el presente trabajo:

*Soldadura metálica con arco protegido (SMAP).<sup>141</sup>*

En este proceso de soldadura se utiliza un electrodo consumible que consiste en una varilla de metal de aporte, recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección. La varilla de soldadura tiene una longitud entre 9 y 18 pulgadas (de 230 a 460 mm) y un diámetro de 3/32 a 3/8 de pulgada (de 2.5 a 9.5 mm). El metal de aporte usado en la varilla debe ser compatible con el metal que se va a soldar y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento consiste de celulosa pulverizada (polvos de algodón y madera), mezclados con óxidos, carbonatos y otros ingredientes integrados mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos, para aumentar la cantidad de material de aporte y agregar elementos de aleación.

---

<sup>141</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover, editorial Prentice Hall, México 1997, Cap. 29, pag. 732

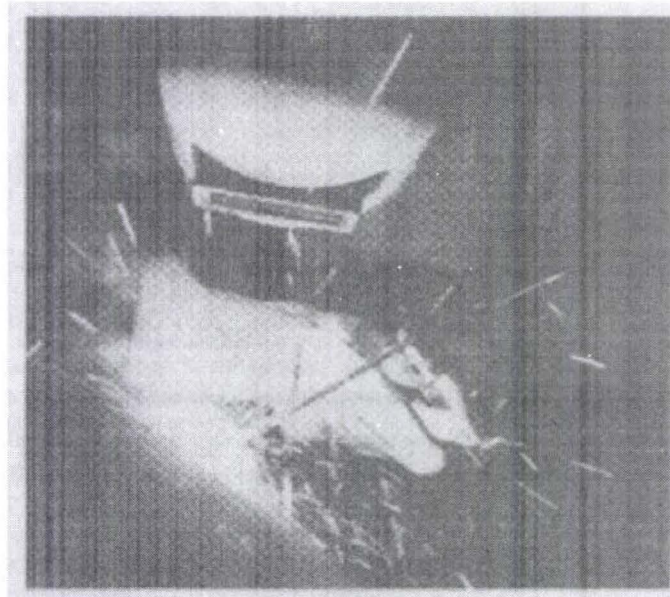


Figura 5.19. Soldadura metálica con arco protegido (soldadura de varilla) ejecutada por un soldador<sup>142</sup>

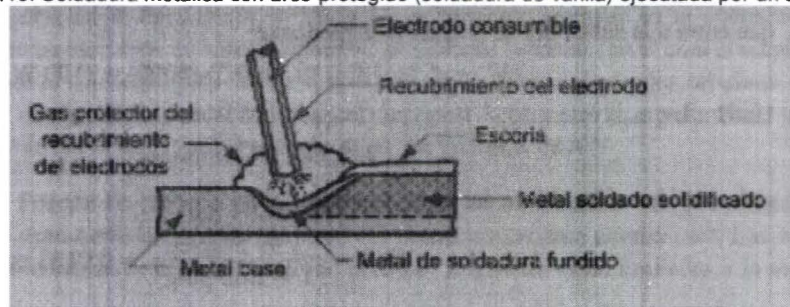


Figura 5.20. Soldadura metálica con arco protegido<sup>143</sup>

El calor involucrado en el proceso de soldadura, funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria para la operación de soldadura. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

Durante la operación, el extremo del metal descubierto de la varilla o electrodo (que está en la otra punta de la soldadura) se sujeta a un soporte de electrodos (porta electrodos) conectado a la fuente de energía. El soporte tiene una manija aislada para que lo tome y manipule el soldador. Las corrientes que se usan regularmente en la SMAP varían entre 30 y 300 amperios, con voltajes de 15 a 45 voltios. La selección de los parámetros de energía adecuados, depende de los metales que se van a soldar, del tipo y longitud del electrodo, así como de la profundidad de penetración de la soldadura requerida.

<sup>142</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 29, pag. 732

<sup>143</sup> Ibidem

Por lo general, la soldadura metálica con arco protegido se ejecuta en forma manual y sus aplicaciones comunes incluyen la construcción, instalación de tuberías, estructuras de maquinaria, construcción de embarcaciones, tiendas de manufactura y trabajos de reparación. La *SMAP*, es un proceso que se prefiere sobre la soldadura con oxígeno y gas combustible, para secciones más gruesas que 3/16 de pulgada (4.8 mm), debido a su mayor densidad de energía. El equipo es portátil y de bajo costo, lo que convierte a la *SMAP*, en el proceso más versátil y de mayor uso entre los procesos de soldadura con arco eléctrico. Los metales base incluyen los aceros, los aceros inoxidable, los hierros fundidos y ciertas aleaciones no ferrosas. No se usa, o se emplea rara vez, en aluminio y sus aleaciones, al igual que en las aleaciones de cobre y titanio.

La desventaja de la soldadura metálica con arco protegido como operación de producción proviene del uso de varillas de electrodos consumibles, porque éstos deben cambiarse en forma periódica a causa del desgaste, lo que reduce el tiempo disponible de arco eléctrico en este proceso de soldadura. Otra limitación es el nivel de corriente que puede usarse, porque la longitud del electrodo varía durante la operación y ésta afecta el calentamiento de la resistencia del electrodo; los niveles de corriente deben mantenerse dentro de un rango seguro, o el recubrimiento se sobrecalentará y fundirá prematuramente cuando se empiece a usar una nueva varilla de soldadura.

### CORTE.<sup>144</sup>

Una aplicación muy importante de los proceso de soldadura, logra el efecto exactamente opuesto, para eliminar cabezales, mazarotas y rababas de las fundiciones, forjas o molduras. Pueden además, cortarse piezas de trabajo de lámina, placa e incluso de secciones pesadas de forma diversa. Entre las principales aplicaciones se tiene:

- Corte de aceros precalentados a 850 °C, debido a que se queman si se les sopla oxígeno. *El corte con oxígeno*, es muy difundido en molinos de acero para limpiar superficies (empalmes) y cortar palanquillas mientras que el acero aún está caliente.
- En las aplicaciones generales de corte, primero se precalienta el acero con una flama de oxígeno y gas combustible, para luego dirigir una corriente de oxígeno a alta presión hacia la zona calentada. La oxidación genera más calor, fundiendo el acero. La fusión es desalojada por la flama y el oxígeno (*corte con flama o corte con oxígeno y gas combustible, OFC*). Se cortan placas de 5 a 1500 mm de espesor. Al agregarse polvo de hierro a la corriente de gas (*corte con polvo y oxígeno y combustible o corte con polvo de metal, POC*), la oxidación del polvo proporciona el calor requerido para fundir materiales resistentes a la oxidación.
- En general, se producen cortes de mejor calidad superficial, por medio de variantes de procesos de soldadura, como es el caso del *corte con arco de plasma (PAC)*, de uso importante en todos los metales, en espesores incluso de más de 25 milímetros. La calidad del borde cortado es mejor que el de corte por flama.

---

<sup>144</sup> Procesos de manufactura, Schey John A., editorial Mc Graw Hill (tercera edición), México 2002, Cap. 18, pag. 810

### **5.3. PROCESOS DE CONFORMADO DE LÁMINA.**

#### **DOBLADO.<sup>145</sup>**

En el trabajo de láminas metálicas, el doblado se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto. Durante la operación de doblado, el metal dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira. El metal se deforma plásticamente, así que el metal toma una forma permanente una vez que se han retirado los esfuerzos que lo causaron. El doblado produce poco o ningún cambio en el espesor de la lámina metálica.

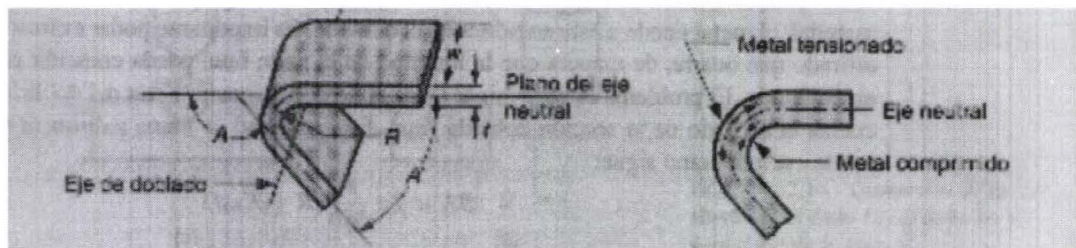


Figura 5.21. Doblar de lámina metálica (izquierda); en el doblado ocurre elongación a la tensión y a la compresión (derecha)<sup>146</sup>

El metal cuyo grosor es  $t$ , se dobla a través de un ángulo, llamado ángulo de doblado  $A$ . El resultado es una lámina de metal con un ángulo  $A'$ , tal que  $A + A' = 180^\circ$ . El radio de doblado  $R$  se especifica normalmente sobre la parte interna, en lugar de sobre el eje neutral. Este radio del ángulo se determina por el radio de la herramienta que se utiliza para ejecutar la operación. El doblado se hace sobre el ancho de la pieza de trabajo  $w$ .

<sup>145</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 22, pag. 508

<sup>146</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 22, pag. 509

## **5.4 TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DE HULE.<sup>147</sup>**

La producción de artículos de hule puede dividirse en dos pasos: 1) producción del hule y 2) procesamiento del hule para fabricar productos finales. La producción de hule es diferente si el hule es natural o sintético. La diferencia se debe a la fuente de materia prima: para el caso del hule natural, es una cosecha agrícola; mientras que el hule sintético se deriva del petróleo.

El paso posterior a la producción de hule es el procesamiento de éste en productos finales, y consiste en:

1. *Composición.*- El hule siempre se compone de aditivos que sirven para: obtener un tipo de hule especificado (por ejemplo: hule nitrilo), que satisface la aplicación dada, en términos de propiedades, costo y procesamiento. En la composición se añaden sustancias químicas para la vulcanización como el azufre; otros aditivos actúan como relleno o rellenos que pueden ser de refuerzo (mejora de propiedades) entre los principales: negro de humo, caolines y silicatos de aluminio, y no reforzantes (para bajar costos) como: carbonatos de calcio, sílice, cloruro de polivinilo, fenólicos y hules reciclados. Se usan, además, aditivos para componer el hule, los cuales incluyen antioxidantes (retardadores del envejecimiento por oxidación), químicos protectores contra la fatiga y el ozono, pigmentos colorantes, plastificantes y aceites suavizantes, antiadherentes, etc.

2. *Mezclado.*- Los aditivos deben mezclarse perfectamente con el hule para lograr una dispersión uniforme de los ingredientes. El trabajo mecánico ejercido en el hule puede aumentar su temperatura hasta 300 °F (150 °C). El mezclado debe hacerse sin la presencia de los agentes vulcanizantes, para facilitar la manipulación de la misma en procesos posteriores. En una primera etapa de mezclado, debe agregarse el negro y otros elementos no vulcanizantes. Después del mezclado y enfriamiento, se deben adicionar los agentes vulcanizantes. Por lo general, el mezclado se lo realiza por medio de molinos de rodillos o con mezcladores tipo Banbury.

---

<sup>147</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 16, pag. 361

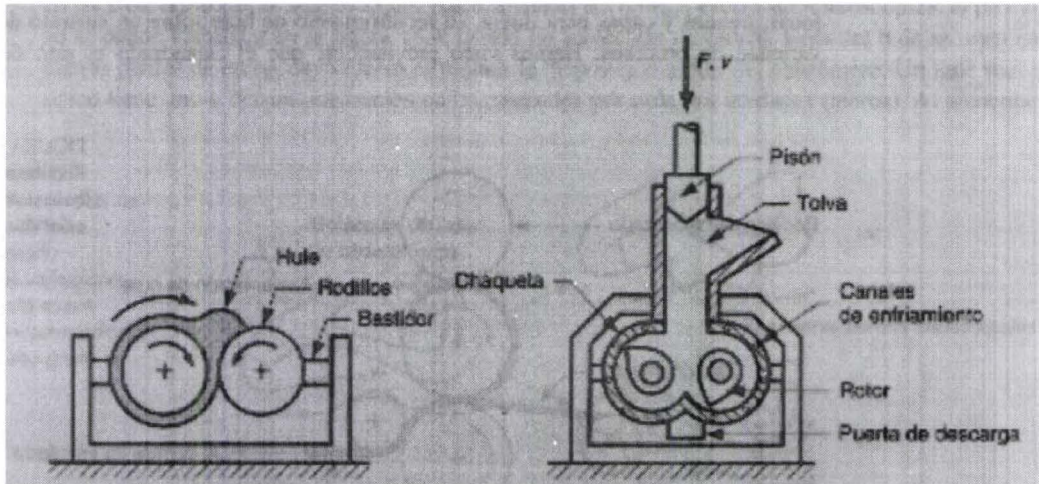


Figura 5.22. Mezcladores usados en el procesamiento de hule: Molino de dos rodillos (izquierda); Mezclador interno tipo Banbury.<sup>148</sup>

3. *Formado*.- Los procesos de formado para el hule se pueden dividir en cuatro categorías básicas:

a) *Extrusión*.- Utilizándose para el hule generalmente los extrusores de tornillo.

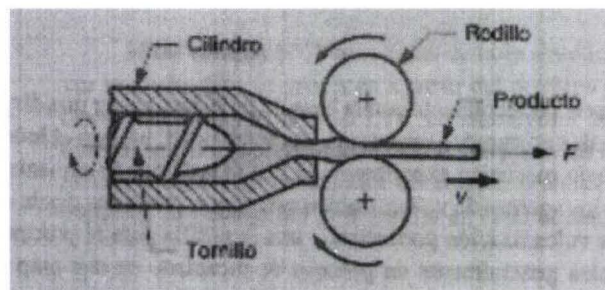


Figura 5.23. Proceso del dado laminador; extrusión de hule seguida de laminado<sup>149</sup>

b) *Calandrado*.- Este proceso consiste en pasar el material de hule a través de una serie de espacios de tamaño decreciente en una serie de rodillos rotatorios.

<sup>148</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 16, pag. 363

<sup>149</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 16, pag. 364

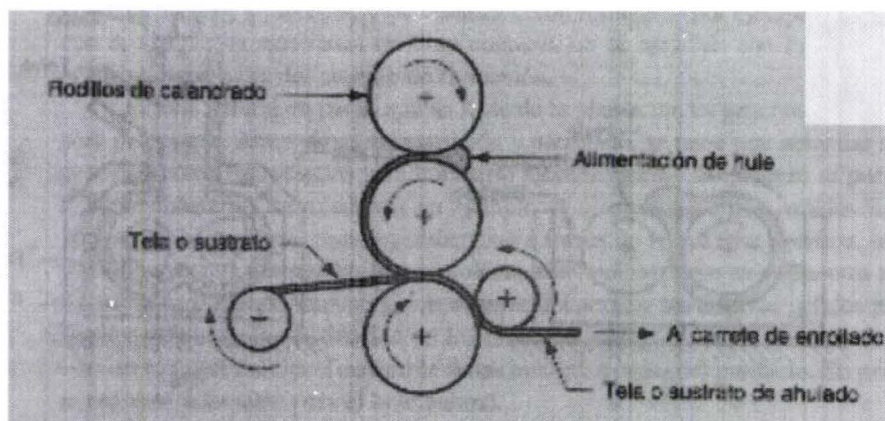


Figura 5.24. Recubrimiento de tela con hule usando un proceso de calandrado<sup>150</sup>

c) *Recubrimiento*.- Consiste en la utilización de recubrimientos o impregnaciones de telas y sustratos con hule; su uso más común se da en la fabricación de llantas.

d) *Moldeo y fusión*.- Los artículos moldados incluyen suelas de zapatos, tacones, empaques, sellos, etc. La fusión sumergida (fundición), se utiliza en la fabricación de guantes, botas de hule. El proceso consiste en sumergir un molde en positivo de la parte en el polímero líquido, durante un cierto tiempo para lograr el espesor deseado. Al desarmar la forma del molde en condiciones adecuadas (presión y temperatura), se obtiene la forma deseada.

4. *Vulcanización*.- La vulcanización es el tratamiento que realiza el encadenamiento transversal de las moléculas del elastómero, mediante el cuál el hule se vuelve más rígido y resistente, reteniendo su extensibilidad. Es el paso más crítico en el procesamiento de hule.

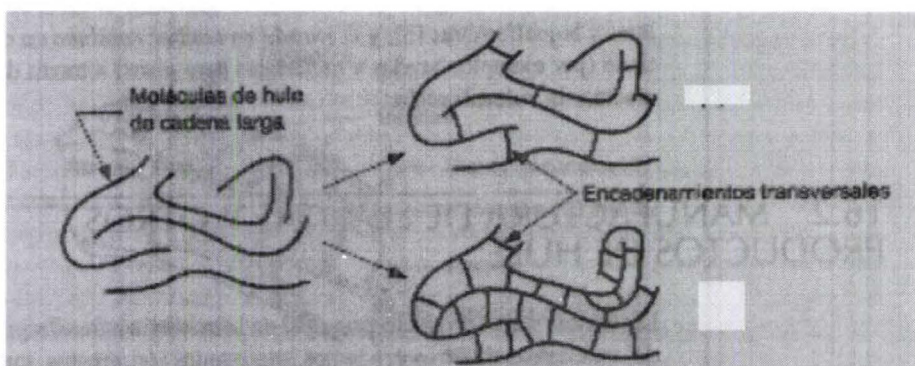


Figura 5.25. Efecto de la vulcanización en las moléculas de hule: Hule crudo (izquierda); Hule vulcanizado (derecha)<sup>151</sup>

<sup>150</sup> Ibidem



El proceso de encadenamiento consiste en el enlace de cadenas largas de hule en ciertos puntos de cruce, cuyo efecto es reducir la disposición a fluir del elastómero [un hule suave posee de uno a dos encadenamientos cada mil unidades (meros)]. Dependiendo del número de encadenamientos transversales, el polímero se volverá más rígido y tenderá a comportarse como un polímero termofijo (hule duro).

El proceso de vulcanización, tal y como fue desarrollado por Goodyear, utiliza ocho partes de azufre por cada cien partes de hule natural (en peso) a una temperatura de 280 °F (140 °C) durante cinco horas. Hoy en día, además del azufre se agrega óxido de zinc, ácido esteárico, en combinación con dosis pequeñas de azufre, con lo que es posible disminuir el tiempo de curado a apenas quince o veinte minutos.

Un tiempo excesivo de vulcanización puede ocasionar un efecto contrario al deseado, es decir, una disminución del encadenamiento, con la consiguiente pérdida de las propiedades mecánicas.

Las técnicas utilizadas para el hule sintético y el hule natural son prácticamente las mismas; la diferencia estriba en los productos químicos para realizar la vulcanización (encadenamiento transversal).

En la fabricación y procesamiento de hule entran diferentes industrias. La producción del hule natural debe clasificarse como una industria agrícola porque el látex, el ingrediente inicial del hule natural, se cultiva en grandes plantaciones en climas tropicales. Por el contrario, los hules sintéticos son productos de la industria petroquímica.

El procesamiento de los materiales para transformarlos en llantas, suelas de zapato, rodillos, se lleva a cabo en las fábricas de procesamiento de hule.<sup>152</sup>

---

<sup>151</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 16, pag. 365

<sup>152</sup> Ibidem

**5.5. TABLA RESUMEN DE MÉTODOS DE MANUFACTURA UTILIZADOS EN CADA PIEZA DISEÑADA**

Máquina	Pieza	Método de Manufactura						
		Maquinado			Procesos de Unión y Corte		Procesos de conformado de lámina	Tecnología de Procesamiento de hule
		Operaciones de Torneado	Taladrado y operaciones afines	Operaciones Abrasivas	Soldadura	Corte	Doblado	
Pulidora Metalográfica	Bastidor				X		X	
	Base de Motor			X	X			
	Rodillo							X
	Eje de Transmisión	X	X					
	Tapa 1		X				X	
	Tapa 2		X				X	
	Tapa3		X				X	
	Tapa 4							

Máquina	Pieza	Método de Manufactura						
		Maquinado			Procesos de Unión y Corte		Procesos de conformado de lámina	Tecnología de procesamiento de la hule
		Operaciones de Torneado	Taladrado y operaciones afines	Operaciones Abrasivos	Soldadura	Corte	Doblado	
Pulidora Metalográfica	Soporte de Lijas		X	X	X		X	
	Cajón			X	X		X	
Prensa Includora de Muestras	Base 1	X	X	X		X		
	Tabique de columnas	X						
	Base principal	X	X	X	X			
	Tabique de base	X	X					

Máquina	Pieza	Método de Manufactura						Tecnología de Procesamiento de hule
		Maquinado			Procesos de Unión y Corte		Procesos de conformado de lámina	
		Operaciones de Torneado	Taladrado y operaciones afines	Operaciones Abrasivas	Soldadura	Corte	Doblado	
Prensa Incluidora de Muestras	Tapa	X		X		X		
	Tabique de Tapa	X	X					
	Columna	X	X					
	Punzón	X						
	Cilindro	X						
	Tabique	X						

Tabla 5.1. (Elaborado por el Autor)

## CONCLUSIONES

1. El diseño es la máxima expresión del saber de un ingeniero, que pone todo su conocimiento y saber, además de la experiencia adquirida, para crear una máquina o un objeto que cumplirá un papel en las necesidades del ser humano.
2. La idea básica para la creación de una máquina que diseña un ingeniero, requiere de la utilización de materiales viables, maleables, resistentes y prácticos, que harán posible la construcción del objeto básico y de la generalidad de la máquina.
3. La utilidad básica de la máquina, tiene su importancia porque satisface necesidades, ya que se trata de un instrumento que se utiliza para la transformación, creación y formación de un producto que sirve para solucionar los problemas del ser humano.
4. Así como el artista plasma mediante signos, mediante expresiones, y deja para el futuro señalado la creación de su obra, de la misma manera el ingeniero diseñador de una maquinaria, elabora los cálculos, bosquejos y los expresa en un plano, para que pueda ser estudiado, observado y comprobado por un estudiante u otro profesional de la ingeniería de diseño, lo cual le servirá como base para crear nuevas maquinarias basadas en esa o en esas, que están probadas y justificadas mediante los cálculos respectivos.
5. Como toda creación, el ingeniero (autor): diseña, planifica y prepara las etapas, los pasos y el camino que servirá para diseñar una máquina, la misma que en forma preelaborada, tomando en cuenta el tiempo, el espacio, el presupuesto y el diseño, darán como único resultado la culminación de la misma.
6. Para la creación, el ingeniero en primer lugar en su mente elabora la idea de cómo debe ser su máquina, tomando en cuenta la planificación, el diseño, los cálculos respectivos, el empleo de los materiales de la mejor calidad, con el único fin de crear el producto real de todo lo que el pensó, realizó y plasmó como único fin de lograr un objeto denominado máquina, que desempeñará un papel fundamental para resolver un problema, cubrir una necesidad o satisfacer hasta la inquietud

humana sobre alguna área de la técnica, del progreso o de la utilidad que debe implícitamente tener una máquina.

7. Se debe marcar la diferencia entre lo que es un proceso de taller y un proceso de producción en serie, en el que es necesario optimizar tiempos y movimientos, para volver a la producción competitiva. En caso de aplicarse este principio a las máquinas (***prensa incluidora de muestras y pulidora metalográfica***), objeto de este trabajo de titulación, se deberá realizar el estudio de los respectivos tiempos de producción para cada pieza (componente) de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Introducción a la Metalurgia Física, Avner Sidney, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 1988.
- Diseño de Elementos de Máquinas, Mott Robert L., editorial Prentice Hall (segunda edición), México 1995.
- Diseño de Máquinas, Deutschman, Michels, Wilson, editorial CECSA (novena reimpresión), México 1999.
- Dibujo y Diseño en Ingeniería, Jensen, Helsel, Short, editorial Mc Graw Hill (sexta edición), México 2004.
- Manual del Ingeniero Mecánico, Avallone, Baumeister III, editorial Mc Graw Hill (novena edición), México 2002, Tomos 1 y 2.
- Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, Doyle, Keyser, Leach, Schrader, Singer, editorial Prentice Hall (tercera edición), México 1988.
- Procesos de Manufactura, Schey John A., editorial Mc Graw Hill (tercera edición), México 2002.
- Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997.
- Ingeniería de Diseño, Orlov P., editorial Mir (segunda edición), Rusia 1985, Tomo 1.
- Fundamentos de Mecánica Técnica, Movnin, Izraelit, Rubashkin, editorial Mir (primera edición), Rusia 1985.
- Mecánica de Materiales, Riley, Sturges, Morris, editorial Limusa Wiley (primera edición), México 2001.
- Mecánica de Materiales, Beer, Johnston, editorial Mc Graw Hill (segunda edición), México 2001.
- Resistencia de Materiales, Feodosiev V. I., editorial Mir (tercera edición), Rusia 1985.
- Metrología, González, Zeleny, editorial Mc Graw Hill (primera edición), México 1995.
- [www.skf.com](http://www.skf.com)

- [www.unmsm.edu.pe](http://www.unmsm.edu.pe)
- [www.gl-group.com/glp](http://www.gl-group.com/glp)
- [www.aga.com](http://www.aga.com)
- [www.buehler.com](http://www.buehler.com)



## ANEXO 1

### INFORMACIÓN GENERAL

En el siguiente acápite se incluyen artículos sobre:

- La metalografía cuantitativa en la investigación de aleaciones ferrosas y no ferrosas ([www.unmsm.edu.pe](http://www.unmsm.edu.pe)).
- Pruebas de materiales y análisis de fallas ([www.gl-group.com/qlp](http://www.gl-group.com/qlp)).

## LA METALOGRAFÍA CUANTITATIVA EN LA INVESTIGACIÓN DE ALEACIONES FERROSAS Y NO FERROSAS

\* Ing. Eusebio Dionicio Padilla, Ing. Víctor Vega Guillén, Ing. Edgardo Tabuchi Matsumoto,  
Ing. Gustavo Vela Prado, Ing. Oswaldo Gonzales Reynoso.

### Resumen

El estudio "La metalografía cuantitativa en la investigación de aleaciones ferrosas y no ferrosas", ha determinado la medida promedio de tamaño de grano incluyendo un procedimiento planimétrico de Jeffries en los materiales: acero al carbono SAE 1010 y acero inoxidable AISI 316. Asimismo la cámara digital incorporada al microscopio metalográfico ha posibilitado la aplicación del análisis por imágenes para el estudio de la microestructura de los materiales.

Palabras clave: Metalografía cuantitativa, análisis de imagen, tamaño de grano

### Abstract

The study «Quantitative metallography in the research on ferrous and non-ferrous alloys», has determined the average measure of grain size, including a planimetric procedure of Jeffries, in the materials: carbon steel SAE1010 and stainless steel AISI 316. Also, the acquisition of a digital camera and the incorporation of the metallographic microscope has facilitated the application of image analysis to the study of materials microstructure.

Key words: Quantitative metallography, image analysis, grain size.

### I. Introducción

Se sabe que existe cierta relación entre la tenacidad de los aceros y el tamaño de grano.

Siempre se han preferido los aceros de grano fino, porque las herramientas y piezas fabricados con esos aceros, tiene mayor tenacidad que los fabricados con acero de grano grueso.

Los trabajos de REALIMUR, la empresa sueca Lidholnes AKTIEBOLAGET, RAGNAR ARPI, Mc QUOID y EHN.B.E SHEPHERD de la INGER-SOLL RAND Company ayudaron a explicar el comportamiento de determinadas aleaciones de aceros y la decisiva influencia del tamaño del grano en la calidad de las piezas o herramientas de acero.

J. Ruiz Fernández y R. Nananso Olmedo de CENIM investigaron un método de comparación de evaluación cuantitativa de constituyentes microscópicos con una escala de patrones.

A. R. Marmai, O. J. Gallo y P. Bravino de Mármol de CONICET estudiaron una metodología de con-

trol de calidad de soldaduras de fundición nodular mediante el análisis micrográfico cuantitativo estereológico.

J. M. García de Miguel de CENIM estudia y da a conocer la tecnología del análisis de imágenes en las estructuras sólidas.

## **II. Justificación**

- Investigar nuevos conocimientos en la metalografía cuántica.
- La aplicación de la tecnología de análisis de imágenes mediante analizadores automáticos en las mediciones de fases y tamaño de grano.
- Repotenciar los microscopios metalográficos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica aplicando nuevos conocimientos y aplicaciones específicas.
- La implementación de patrones, accesorios, instrumentos, etc., que hagan viable el análisis por imágenes de la estructura en materiales en general.

## **III. Objetivos**

- Disponer de la información básica que haga posible la implementación del análisis por imágenes en los microscópicos metalográficos.
- Adquisición de un software y hardware que haga posible el análisis por imágenes para el estudio de las microestructuras de los materiales.
- La divulgación del conocimiento y aplicaciones específicas mediante la implementación de cursos de metalografía cuántica en el mercado.

## **IV. Material, equipos y métodos**

### **Material**

Para el presente estudio de investigación se ha empleado acero al carbono, y acero inoxidable, en los que, por su naturaleza, los granos son definidos a fin de aplicar la metodología existente.

### **Equipos**

El equipo empleado para la investigación ha sido el microscopio metalográfico marca ZEISS, con cámara fotográfica incorporada para obtener la microestructura hasta mil aumentos.

### **Métodos**

En metalografía a menudo es necesario establecer cuantitativamente valores diferentes tales como:

1. El número de partículas o poros por unidad de volumen (las partículas se usan aquí en el sentido de partículas sueltas o unidades separadas de un constituyente en la matriz; granos y tamaños de grano se refieren a los cristales de la matriz y su tamaño).
2. El tamaño de las figuras presentes en la probeta.

3. El tamaño del grano del material.

4. La fracción de volumen de las fases presentes en una probeta.

Generalmente, los cálculos de la fracción de volumen a partir de las mediciones cuantitativas sobre una superficie de un material opaco solamente puede, proporcionar valores aproximados. No obstante, este método es empleado casi sin excepción.

#### FRACCIÓN DE VOLUMEN

Una de las más simples y más útiles mediciones es el conteo de puntos (descrito en ASTM E562) usado para estimar las fracciones, volumen de los constituyentes micro estructurales. Aun cuando se puede emplear otros procedimientos, el conteo de puntos es el más eficiente, es decir da la mejor seguridad con el mínimo esfuerzo. Para efectuar esta prueba se emplea una rejilla transparente de plástico con un número de puntos sistemáticamente (usualmente se emplean cruzados, donde el "punto" es la intersección de los brazos) espaciados, típicamente de 9, 16, 25, 49, 64 y 100, que se coloca sobre una micrografía y en una pantalla de proyección o insertada como una retícula en el ocular. Se cuenta el número de puntos que yacen a lo largo de la fase o constituyente de interés y se divide por el número total de puntos de la rejilla. El número de puntos que yacen sobre una frontera, límite o contorno se cuenta como medio punto. Este procedimiento se repite sin predisposición en un número de campos seleccionados, es decir, sin mirar la pantalla.

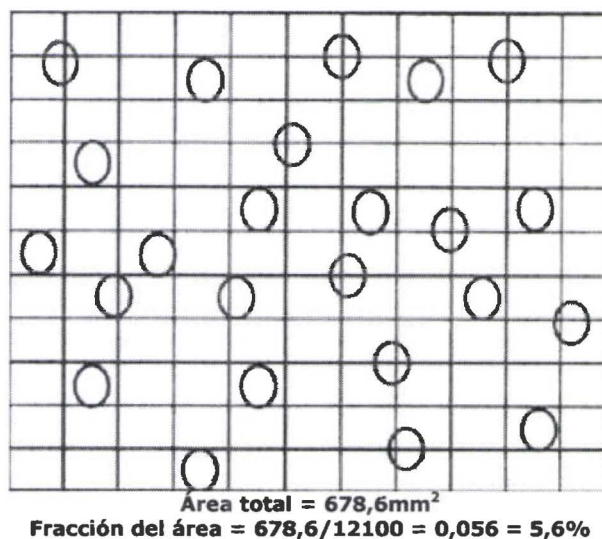
La fracción punto PP está dada por:

$$PP = Pa / PT \dots\dots (1)$$

donde Pa es el número de puntos de la rejilla que yacen o descansan dentro de la partícula, figura o forma de interés, más la mitad del número de puntos de la rejilla que descansan en los límites, bordes o frontera de la partícula y PT es el número total de puntos de la rejilla. Los estudios han mostrado que la fracción punto es igual a la fracción área AA y a la fracción volumen VV de las partículas de la segunda fase.

$$PP = AA = VV \dots\dots (2)$$

Veamos un ejemplo:



Se extiende un modelo de rejilla cuadrado con 100 intersecciones sobre este campo; cuatro intersecciones están dentro de las partículas y 4 en la interfase.

$$\text{Número de topes} = 4 + 1/2 (4) = 6$$

$$\text{Fracción del área} = 6/100 = 0,06 = 6\%$$

En el área de medición hay 24 partículas de 6 mm, como el área es 12100 mm<sup>2</sup>

$$\text{Número de partículas por unidad de área} = NA = 24/12100 = 0,00198$$

Área promedio de la partícula:

$$A = \text{Fracción volumen (Vv)} / NA$$

$$A = 0,06/0,00198 = 30,25\text{mm}^2$$

Que está muy cerca al área de la partícula que es de 28,27 mm<sup>2</sup>

#### MÉTODOS DE COMPARACIÓN

Como una regla, el método más rápido para investigaciones de rutina es comparar la superficie de la probeta o micrografías de ella con series de cartas estándar.

Para establecer el tamaño del grano (su sección 5.41) las cartas estándares han sido publicadas por ASTM (American Society for Testing and Materials); ISO (International Organization for Standardization) y la Swedish Standards Institution (SIS Standars). Para la determinación de inclusiones, los estándares han sido publicados por la Swedish Ironmaster's Association (Subsección 5.31). También, cartas estándares de la ASTM están disponibles para la determinación de porosidad en carburos sinterizados y para la clasificación de estructuras de grafito en hierro fundido gris.

Usando la comparación de métodos se ha mos-trado que es importante que la comparación sea

hecha rápidamente y que cada sección sea estudiada en el mismo intervalo de tiempo.

Contando con un número de microscopios se deben dar facilidades para insertar estándares adecuados que sean reproducidas simultáneamente con el objeto, de una rápida y fácil comparación.

## TAMAÑO DE GRANO

Una de las mediciones micro estructurales cuantitativas más comunes es aquella del tamaño de grano de metales y aleaciones. Numerosos procedimientos han sido desarrollados para estimar el tamaño de grano, estos procedimientos están sintetizados en detalle en ASTM E112

Algunos tipos de tamaño de grano son medidos, tamaño de grano de la ferrita, tamaño de grano de la austenita y tamaño de grano de la austenita previa. Cada tipo presenta problemas particulares asociados con la revelación de estos bordes de manera que puede obtenerse un rango exacto.

## MÉTODOS

### MÉTODOS PLANIMÉTRICOS

El más antiguo procedimiento para medir el tamaño de grano de los metales es el método planimétrico. Un círculo de tamaño conocido (generalmente 19.8 mm f, 5000 mm<sup>2</sup> de área ) es extendido sobre una microfotografía o usado como un patrón sobre una pantalla de proyección. Se cuenta el número de granos que están completamente dentro del círculo  $n_1$  y el número de granos que interceptan el círculo  $n_2$ . para un conteo exacto los granos deben ser marcados cuando son contados lo que hace lento este método. La Fig. 1 ilustra el método planimétrico.

### MÉTODOS DE INTERCEPCIÓN

El método de intercepción es más rápido que el método planimétrico debido a que la microfotografía o patrón no requiere marcas para obtener un conteo exacto. La ASTM E112 recomienda el uso de un patrón consistente en 3 círculos concéntricos con una longitud total de la línea de 500 mm (patrón disponible de la ASTM).

La Fig. 2 ilustra el método de intercepción para una aleación de una sola fase.

#### Ver Figuras

## ESTRUCTURA DE GRANO DE 2 FASES

El tamaño de grano de una fase particular en una estructura de 2 fases requiere la determinación de la fracción volumen de la fase de interés, es decir por el conteo de puntos. La fase menor (segunda fase) es de puntos contados y la fracción volumen de la fase mayor (fase matriz) se determina por diferencia.

A continuación se aplica sin predisposición una rejilla de prueba circular a la micro estructura, se cuenta el número de granos de la fase de interés interceptada por la línea de prueba  $N_a$ . La longitud de intercepción media lineal de los granos alfa  $L_{-3\alpha}$  se determina por:

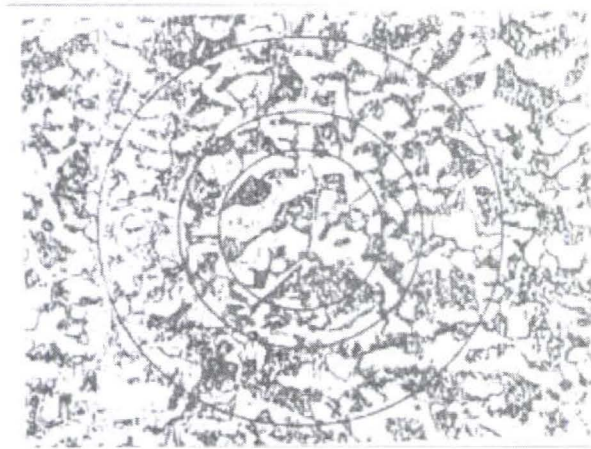
$$L_{-3\alpha} = (VV) (L/M) / N_a \dots\dots\dots (3)$$

Donde L es la longitud de la línea y M es la amplificación. El tamaño de grano ASTM puede ser determinado de las tablas en ASTM E o por el uso de la ecuación (17) de la norma ASTM.

El método se ilustra en la figura 3.

### ANÁLISIS DE IMAGEN

Las mediciones descritas en esta breve revisión y otras mediciones no discutidas pueden ser hechas con el uso de analizadores automáticos de imagen. Estos artefactos confían principalmente en el nivel gris de la imagen presentada en el monitor de la televisión para detectar las características deseadas. En algunos casos, la condición de complejas imágenes pueden ser utilizadas para ayudar a la separación. Sin embargo, algunas estructuras no pueden ser separadas completamente y para estas estructuras los dispositivos de trazado digital semiautomático pueden ser utilizados para mejorar la velocidad de medición.



**FIGURA 3. Ejemplo de la determinación de tamaño de grano en una aleación de 2 fases usando el conteo de puntos y el de intercepciones.**

## V. Resultados

Para el cálculo del tamaño de grano de los materiales que se investigan, se ha empleado el método planimétrico del Jeffries, cuyo recuento se presenta en la fig. 4.

ver figuras

CÁLCULOS:

ACERO SAE 1010 (100x)

$$NA = f (N_{\text{interior}} + N_{\text{interceptado}} / 2 )$$

$f = \text{factor multiplicador de Jeffries} = 2$

$$NA = 2(272 + 63/2) = 607$$

$$G = 3,321918 \cdot \log NA - 2.954$$

$$G = 6,29$$

Redondeando a 6.3 ó 6.5 se obtiene el tamaño de grano 6.5

ACERO INOXIDABLE AISI 316 (100x)

$$NA = f (N_{\text{interior}} + N_{\text{interceptado}} / 2)$$

$$NA = 2(212 + 65/2) = 489$$

$$G = 3,321918 \cdot \log NA - 2.954$$

$$G = 5.98$$

Redondeando a 6.00

Tamaño de grano 6.00

## VI. Discusión

1.El método planimétrico de Jeffries se emplea preferentemente para granos equiaxiales, como es el caso de las microestructuras completamente recocidas, pero puede utilizarse cuando los granos no son equiaxiales sobre el vidrio deslustrado del microscopio o sobre una micrografía. Se limita preferentemente por una circunferencia de 79,8 mm de diámetro, un área de 5000 mm<sup>2</sup> admitiéndose también, un contorno cuadrado de 70,7 mm.

2.La medición del tamaño de grano relaciona, en el material, el número de granos por unidad de área, el diámetro promedio y la intercepción promedio.

3.El conteo de los granos es manual, siendo tedioso; un sistema cerrado mediante el uso de una cámara digital incorporada al microscopio metalográfico y un software de aplicación posibilitaría un método rápido y confiable para la medición.

## VII. Conclusiones

1.El estudio de investigación sobre los materiales: acero al carbono SAE 1010 y acero inoxidable AISI 316 ha demostrado que es factible la determinación del tamaño de grano mediante el microscopio metalográfico.

2.La aplicación del método planimétrico de Jeffries es un método confiable, y para el presente estudio su aplicación ha sido manual.

3.La investigación ha demostrado que, a nivel de conocimiento, existen sistemas que incorporados al microscopio metalográfico hacen factible no sólo determinar el tamaño de grano sino la determinación de fases, el estudio de decarburización, espesor del recubrimiento y medición del tamaño y distribución de nódulos en fierro fundido nodular.



4. En la presente investigación se ha implementado la primera parte de un proyecto integral:

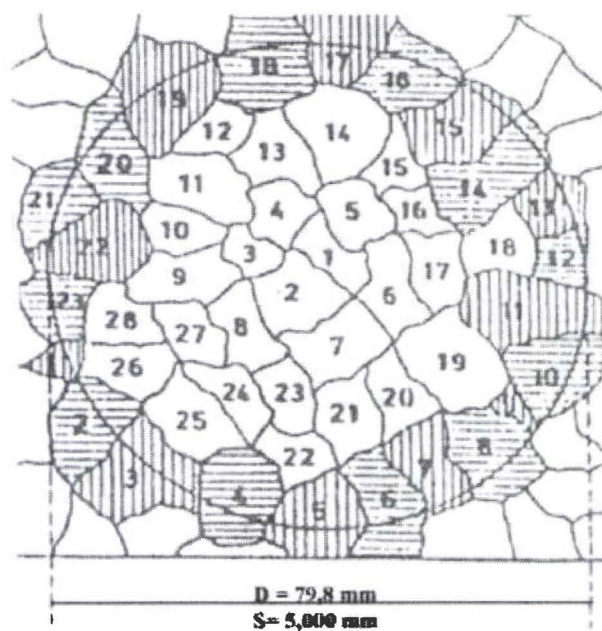
La adquisición de una cámara digital y accesorios para ser incorporada al microscopio metalográfico. Su empleo en vídeo, servirá para la enseñanza y para dar cursos en metalografía y ciencias de los materiales. En una segunda parte se deberá adquirir los softwares aplicados con el hardware respectivo.

### Bibliografía

---

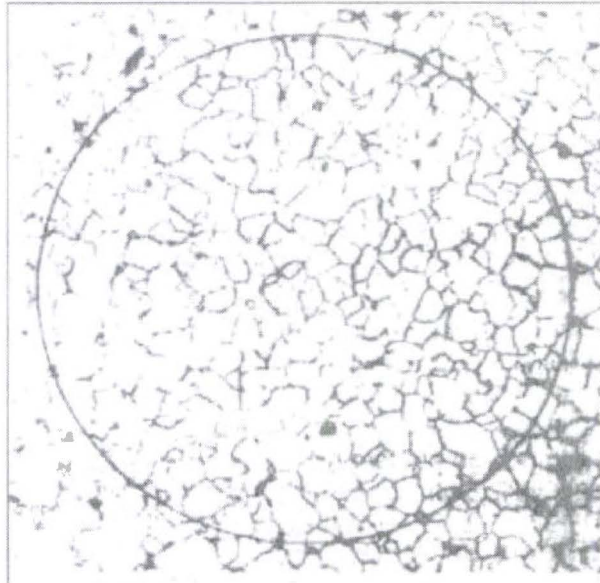
**REVISTA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD  
DE GEOLOGIA, MINAS, METALURGIA Y CIENCIAS GEOGRAFICAS**  
Vol. 4 N°07 Lima - Perú Enero - Junio 2001

---

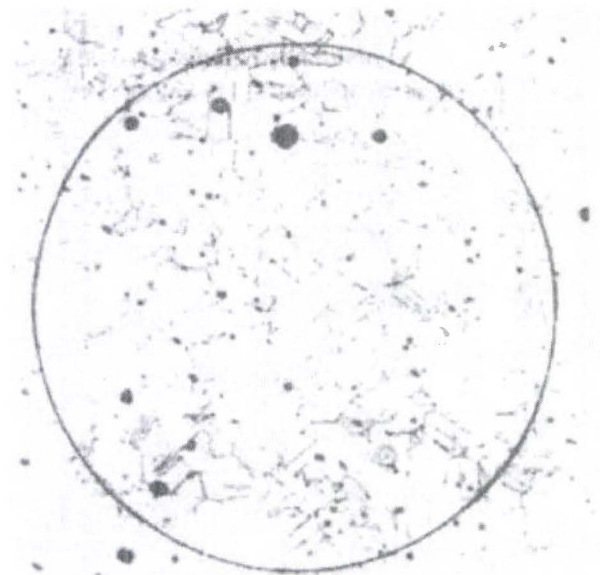


**FIGURA 4. Recuento convencional del número de granos observados**

Los materiales que se ensayan aparecen en las fig. 5 y 6.



**FIGURA 5. Acero SAE 1010 (100X)**



**FIGURA 6. Acero Inoxidable AISI 316 (100 X)**

**Anterior**

---



*Pruebas de materiales y análisis de fallas*  
*La diferencia material*  
*en calidad*

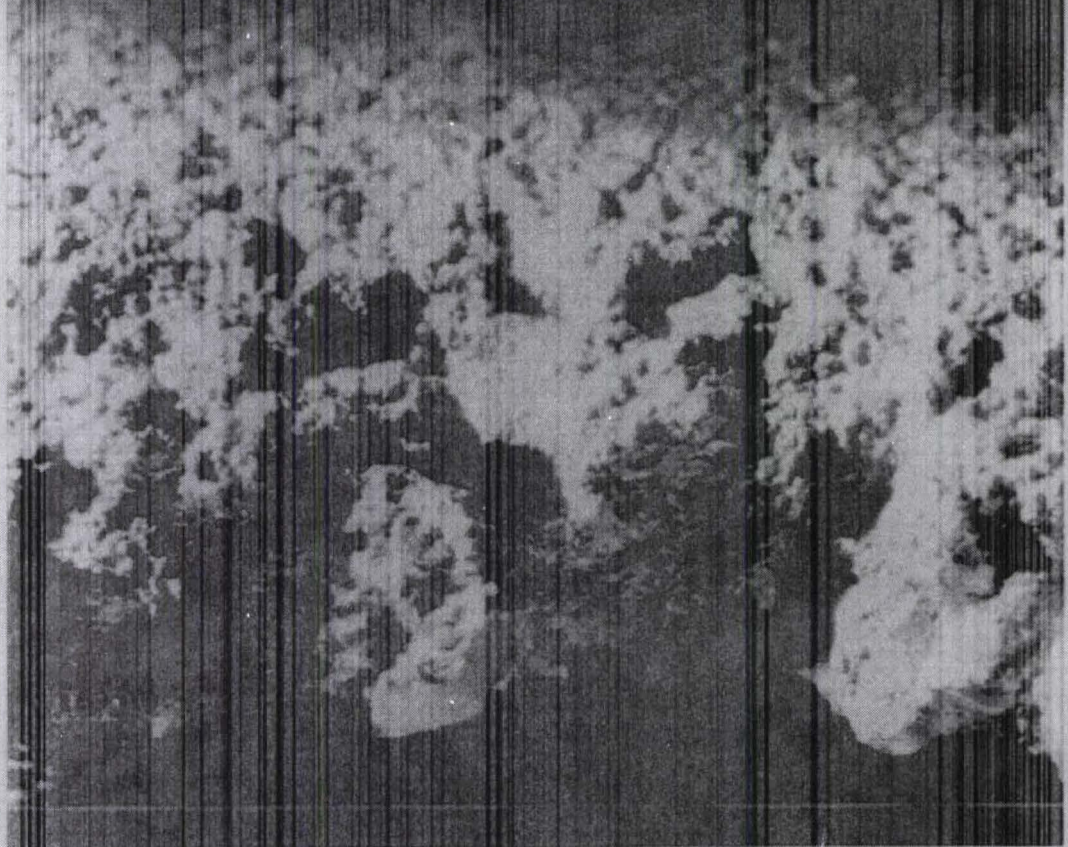


Germanischer Lloyd  
Prüflabor

## *Porque aplicar pruebas a materiales sí importa*

Si usted es un ingeniero, un diseñador o un fabricante de materiales, sabe que la prueba de materiales es una parte esencial de su negocio. Pero ¿cómo puede asegurarse de que sus materiales cumplen con los requisitos de los clientes y los estándares de la industria? La respuesta es simple: aplicando pruebas de materiales. Las pruebas de materiales le permiten verificar que sus materiales cumplen con los requisitos de los clientes y los estándares de la industria. Sin pruebas de materiales, no puede estar seguro de que sus materiales son adecuados para su aplicación.

Las pruebas de materiales le permiten verificar que sus materiales cumplen con los requisitos de los clientes y los estándares de la industria. Sin pruebas de materiales, no puede estar seguro de que sus materiales son adecuados para su aplicación. Las pruebas de materiales le permiten verificar que sus materiales cumplen con los requisitos de los clientes y los estándares de la industria. Sin pruebas de materiales, no puede estar seguro de que sus materiales son adecuados para su aplicación.

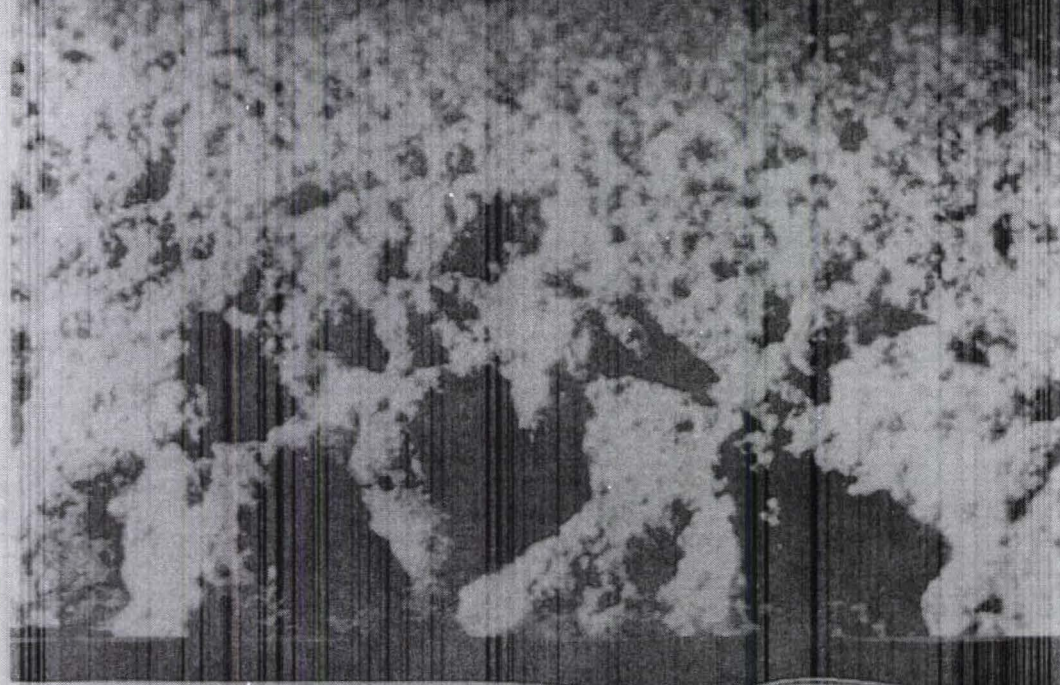


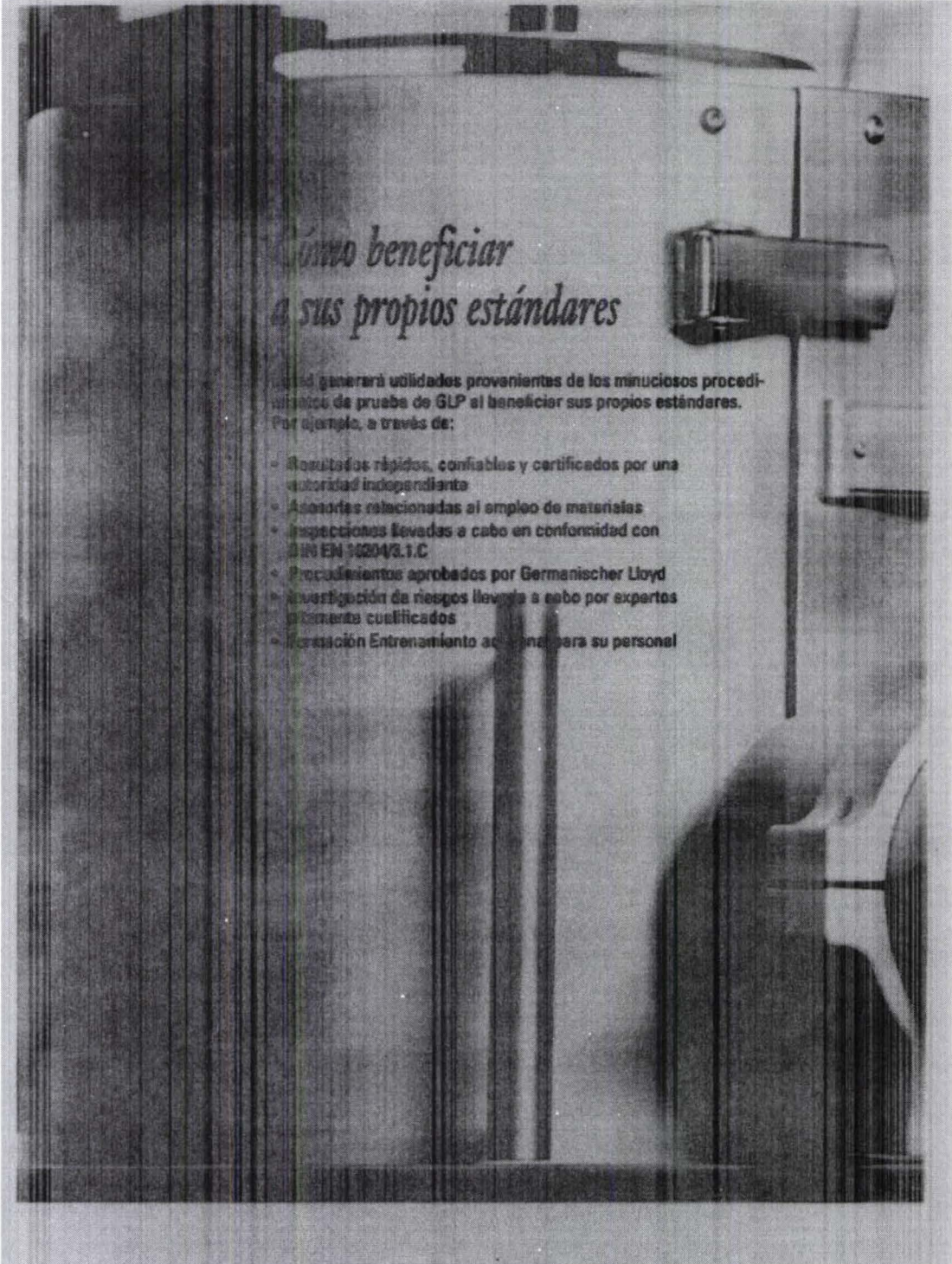
## Cómo GLP ofrece fortaleza en profundidad

Germanías de Le... en... materiales que opera... GLP es una subsidiaria... GLP cuenta con... actividades

En este área operativa... GLP... productos... experiencia... conforma...

GLP... servicio... también... problemas... internacional...



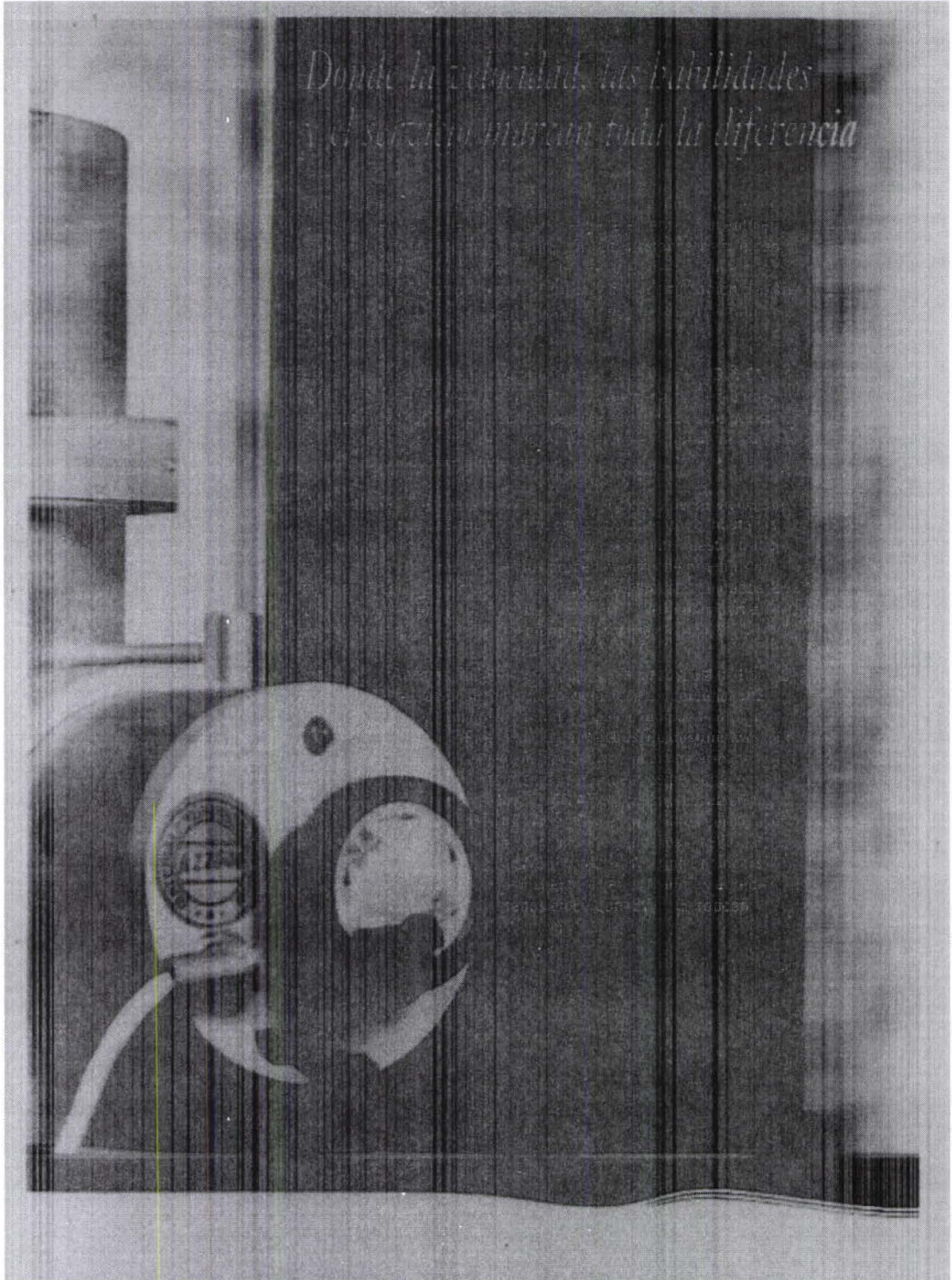


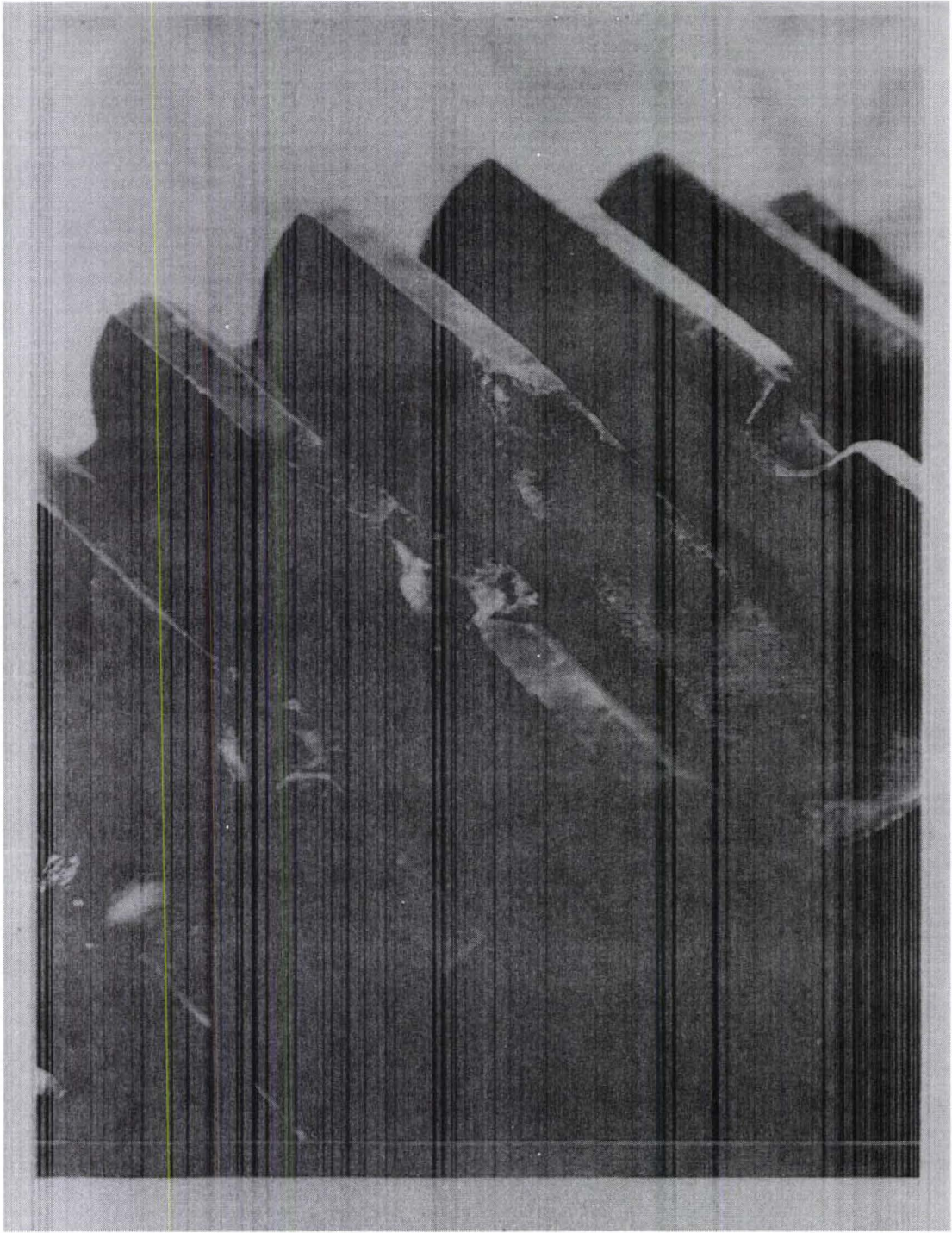
## *Cómo beneficiar a sus propios estándares*

... que generará utilidades provenientes de los minuciosos procedimientos de prueba de GLP al beneficiar sus propios estándares. Por ejemplo, a través de:

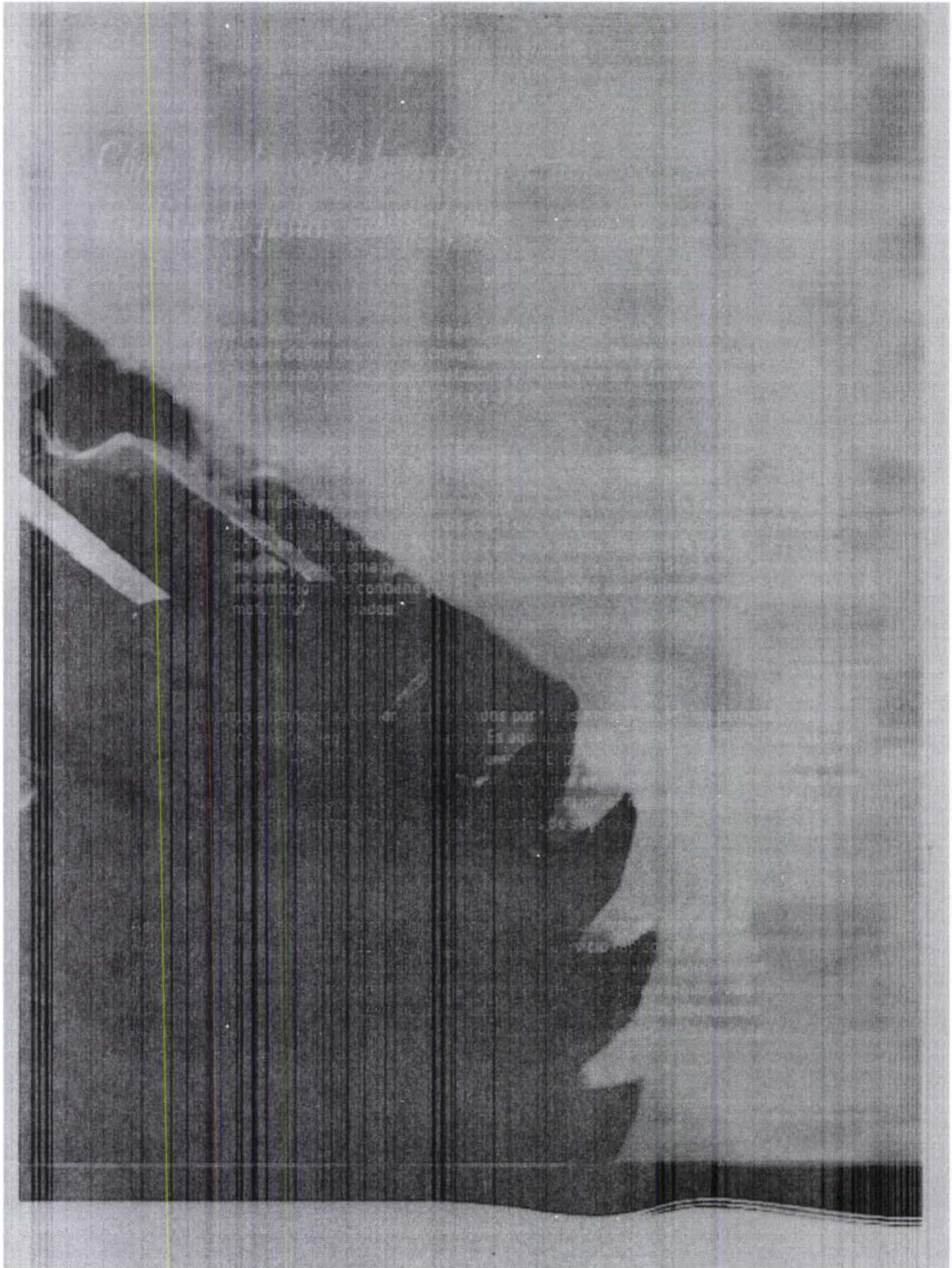
- Resultados rápidos, confiables y certificados por una autoridad independiente
- Asesorías relacionadas al empleo de materiales
- Inspecciones llevadas a cabo en conformidad con DIN EN 10204/3.1.C
- Procedimientos aprobados por Germanischer Lloyd
- Investigación de riesgos llevada a cabo por expertos altamente cualificados
- Formación y Entrenamiento a medida para su personal

*Donde la velocidad, las habilidades  
y el servicio marcan toda la diferencia*

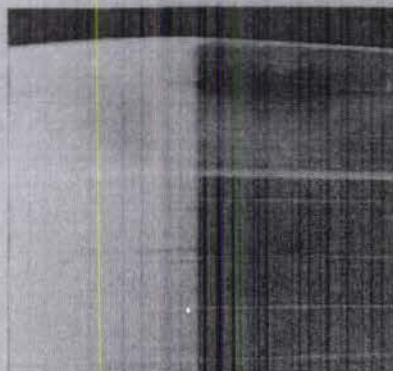








## *Dónde trabajan nuestros servicios*



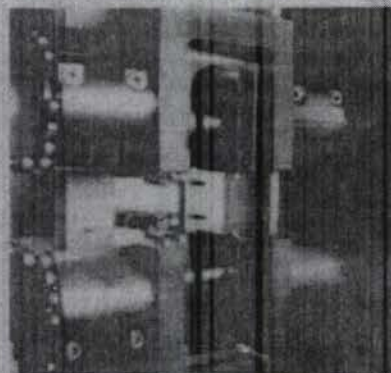
### *Pruebas no destructivas de materiales*

- Pruebas ultrasónicas de productos rolados, colados y forjados, así como uniones soldadas por el método eco-magnético
- Inspecciones de partículas magnéticas
- Pruebas con líquidos penetrantes
- Pruebas de espesor por inducción magnética para paredes y espesores
- Verificación superficial y dimensional
- Metalografías, pruebas de dureza y espectrometrías en sitio.

### *Pruebas destructivas de materiales*

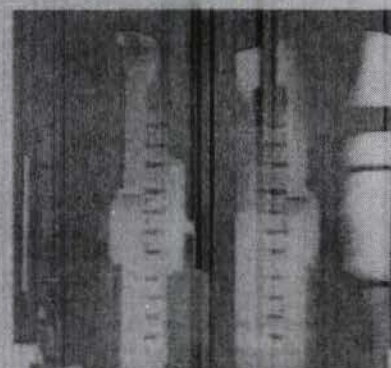
#### **Propiedades Tecnológicas**

- Pruebas de doblaz
- Pruebas de aplastamiento de anillo
- Pruebas de abocamiento de anillo
- Pruebas de expansión de anillo
- Pruebas de tensión de anillo
- Pruebas de doblaz en cordón de soldadura
- Pruebas de Erichsen o de "cuping"



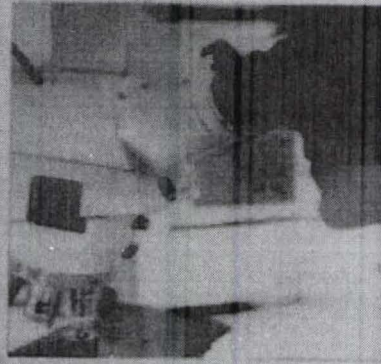
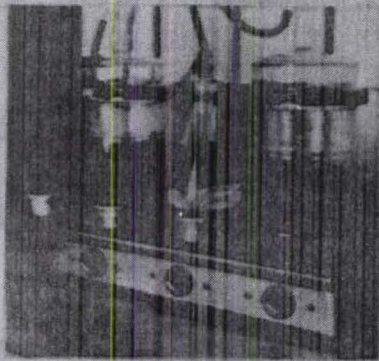
#### **Propiedades de los materiales**

- Pruebas de tensión con y sin mediciones de micro esfuerzo
- Pruebas de tensión en caliente a hasta 1.000 °C
- Pruebas de impacto en muesca entallada inferiores a los 196 °C
- Pruebas de macro dureza de acuerdo a Vickers, Brinell y Rockwell en materiales de juntas soldadas.
- Mediciones de dureza de baja carga



### Metadografía

- Estructura del grano y condición de tratamiento térmico
- Grado de pureza y tamaño de grano
- Características de la superficie y del revestimiento
- Geometría de juntas soldadas
- Imperfecciones de soldadura



### Pruebas de corrosión

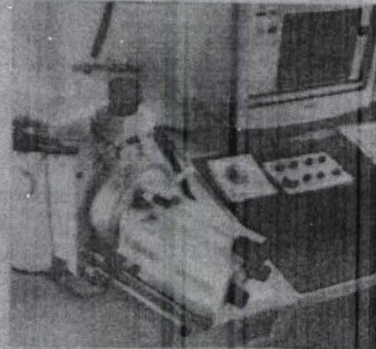
- Prueba de Ácido Sulfúrico/Sulfato férrico
- Prueba de Strauss
- Prueba de Huey
- Prueba Streicher
- Pruebas para Grietas Inducida por Hidrógeno

### Análisis Químico

- Espectrómetros de emisión de vacío óptico para análisis precisos de múltiples elementos simultáneos en materiales con base de: hierro, níquel, cobre, aluminio o cobalto.

### Microscopía de Electrónes

- Imágenes secundarias y dispersión de respládo
- Vacío de bajo nivel
- Microanálisis de rayos X por dispersión de energía (EDX)
- Imágenes por distribución de elementos





## *Cómo la transferencia del know-how asegura su calidad*

El objetivo de C. I. I. es el de transferir a los clientes el know-how que nos ha permitido alcanzar el primer lugar en el mundo en el sector de la construcción de plantas de energía y de agua. Nuestra experiencia y nuestro know-how se transfieren a los clientes a través de la formación y el asesoramiento.

- Cursos de formación para el personal de las empresas de energía y de agua.
- Dedicación de un equipo de expertos en el sector de la energía y del agua.
- Asesoramiento en la selección de materiales y métodos para aplicaciones específicas.

El conocimiento de los métodos y las técnicas y prácticas de los expertos de C. I. I. se transfieren a nuestro personal en proyectos de construcción de tecnología de punta o construcciones de energía y agua. Asociación de Ingenieros Alemanes y la Asociación de Protección contra la Corrosión.

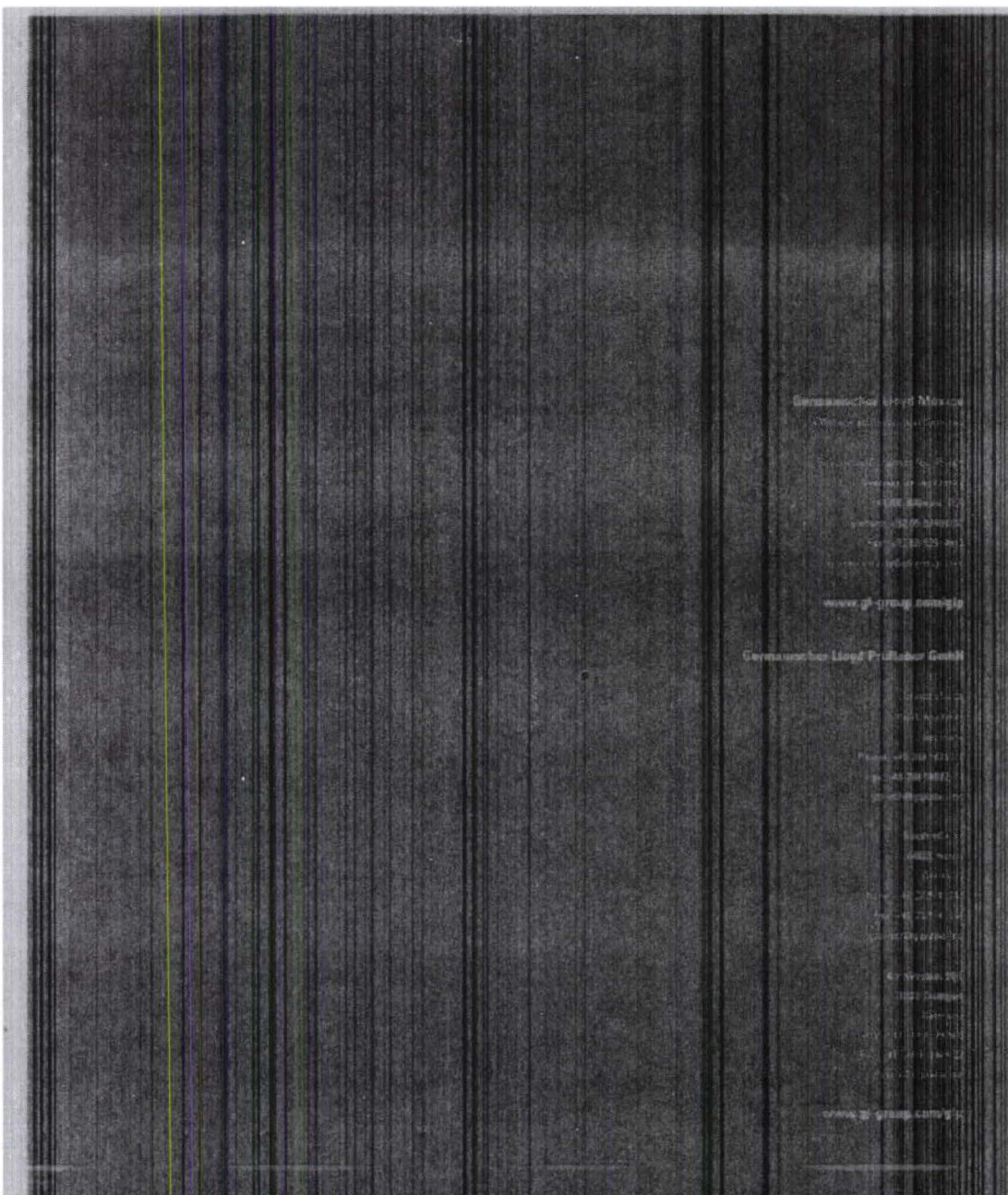
# Donde la especialidad ha marcado la diferencia: Referencias de GLP

• Los laboratorios de GLP están acreditados por el Sistema de Acreditación Alemana para Pruebas (DAK) con respecto a la Norma DIN EN ISO 9002.

• GLP está reconocido por el Estado Alemán de Hannover como un organismo de supervisión de construcción y puede realizar comprobaciones de construcción de metales con el campo de aplicación Directivas para las Compañías de Ingeniería.

• GLP realiza inspecciones y pruebas en las plantas de GLP autorizadas por nuestro país de acuerdo con las Directivas de Germanischer Lloyd. Además, GLP está autorizado para emitir certificados de ensayos de materiales. La autorización de GLP incluye a las otras sociedades de pruebas. GLP también puede reestampar los productos de la planta de pruebas.

• Germanischer Lloyd (GL) es un miembro activo de la Asociación de fabricantes de maquinaria en línea con la Directiva sobre el Ambiente de Trabajo (EG Pressur-Equipment-Directive). Además, GLP tiene experiencia avanzada en el campo de la prueba de materiales.



Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko GmbH

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

Deutscher Lloyd Mexiko

A GL Industrial Services company  
www.gl-group.com



05401 - 2024-27-01

## ANEXO 2

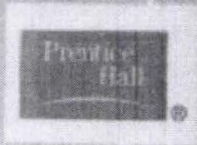
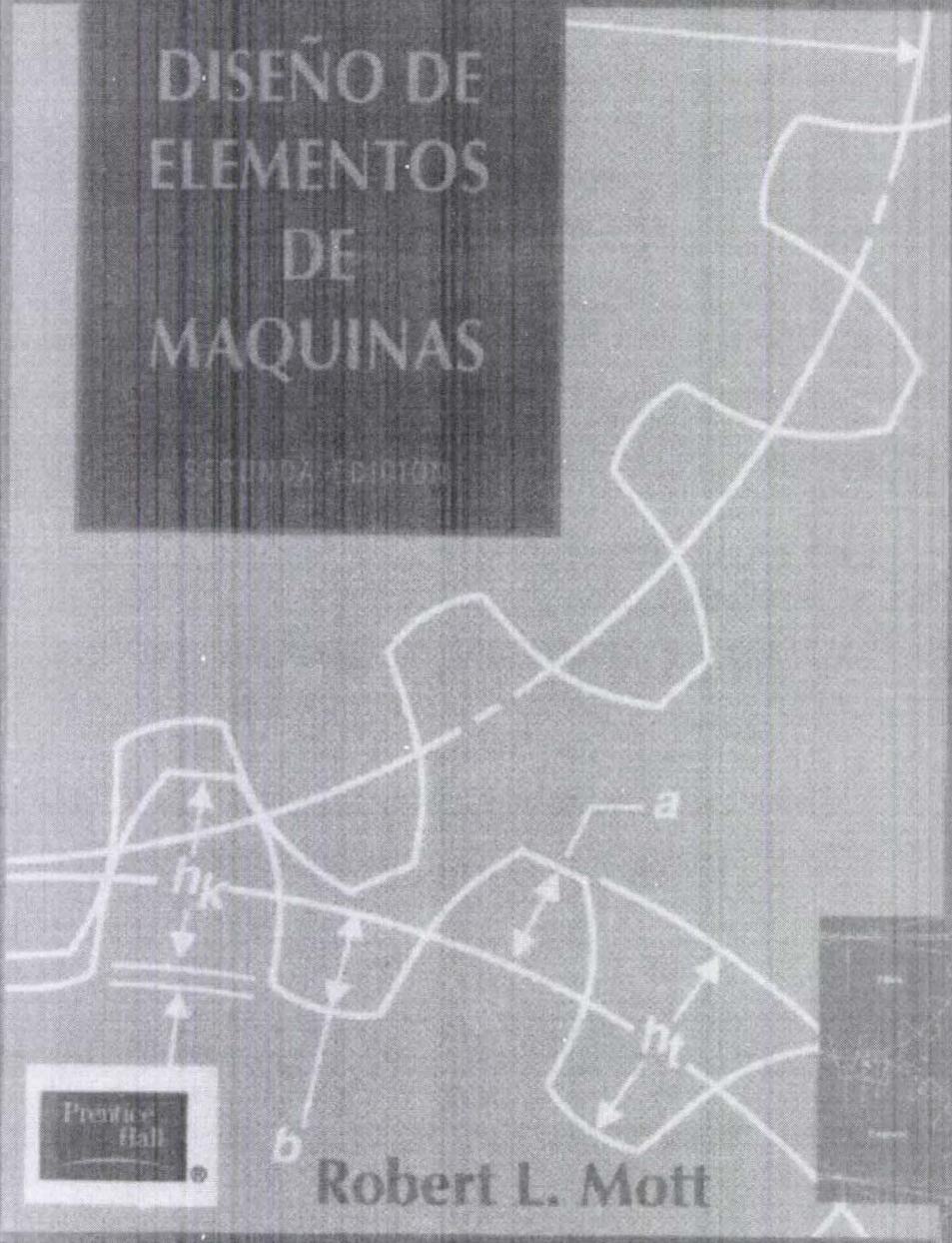
### GRÁFICOS Y TABLAS

En este anexo se incluyen gráficos y tablas, en su mayoría referenciados en el capítulo 4 de este trabajo en dónde se realizan los cálculos pertinentes para cada componente; se incluyen en este acápite aspectos relacionados como:

- Las tablas de partes estándar como: pernos, bandas, tuercas.
- Así como una tabla de tolerancias para agujeros y orificios (Metrología, González, Zeleny, editorial Mc Graw Hill (primera edición), México 1995, Cap. 15, pag. 388).
- Tablas con las características geométricas y de sección de ángulos con alas iguales (Resistencia de Materiales, Feodosiev V. I., editorial Mir (tercera edición), Rusia 1985, pag. 568)
- Características del hule nitrilo (Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover Mikell P., editorial Prentice Hall (primera edición), México 1997, Cap. 10, pag. 215).

# DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS

SEGUNDA EDICIÓN



Robert L. Mott



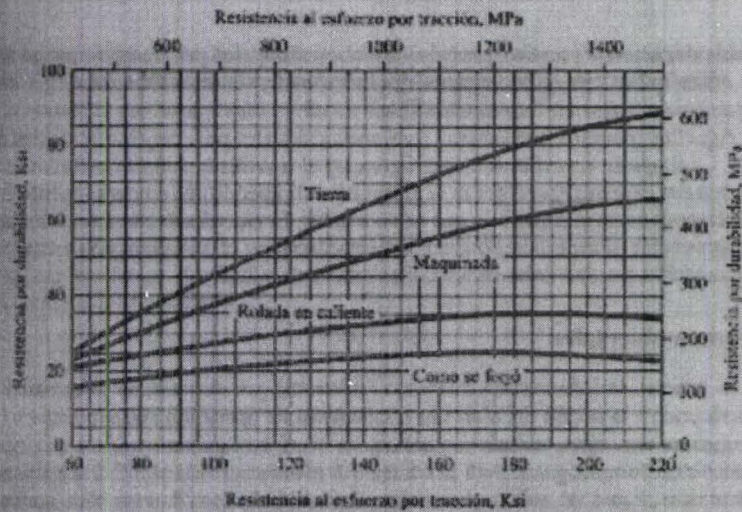


Figura 5-9 Tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado para varias condiciones superficiales

#### Propiedades no uniformes de los materiales

Muchos materiales tienen propiedades diferentes en distintos sentidos como resultado de la manera en que se procesó el material. Por lo regular los productos laminados rodados o en forma de barra son más resistentes porque se rolan en sentido transversal. Es probable que las pruebas de fatiga se efectúen en barras de prueba que se orientan en el sentido que la resistencia es mayor. Ejercer tensión en tales materiales en sentido transversal quizá resulte en un decremento de la resistencia por durabilidad.

Es probable, a su vez, que las propiedades no uniformes existan en las proximidades de áreas soldadas debido a la penetración incompleta de la soldadura, inclusiones de vacuidades y variaciones en la geometría de la pieza en el punto que se solda. Además, la soldadura de metales tratados térmicamente puede alterar la resistencia del material debido al recocido cerca del área soldada. Algunos procesos de soldadura son susceptibles de producir tensiones residuales por tracción que disminuyen la resistencia efectiva por durabilidad del material. A menudo se recurre a recocer o normalizar después de soldar para aliviar tensiones de este tipo, sin embargo, debe considerarse el efecto de tales tratamientos en la resistencia del material base.

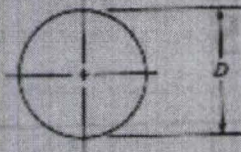
#### Tensiones residuales

Por lo regular, las fallas por fatiga se originan en lugares en los que la tensión por tracción es alta en alguna medida. Cualquier proceso de fabricación que tienda a generar tensión residual por tracción disminuirá la resistencia por durabilidad del componente. Ya se mencionó la soldadura como un proceso que puede dar origen a tensiones residuales por tracción. Lijar y maquinar (o fresar), en particular cuando se elimina una cantidad consi-

## A-2 APENDICES

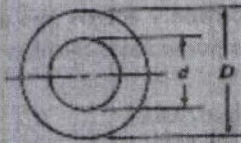
## APENDICE 1 PROPIEDADES DE AREA

Circular



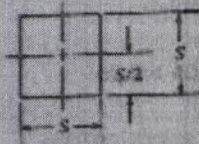
$$\begin{aligned}
 A &= \pi D^2/4 & r &= D/4 \\
 I &= \pi D^4/64 & J &= \pi D^4/32 \\
 Z &= \pi D^3/32 & Z_p &= \pi D^3/16
 \end{aligned}$$

Circular hueca (tubo)



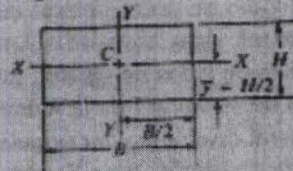
$$\begin{aligned}
 A &= \pi(D^2 - d^2)/4 & r &= \sqrt{D^2 + d^2}/4 \\
 I &= \pi(D^4 - d^4)/64 & J &= \pi(D^4 - d^4)/32 \\
 Z &= \pi(D^4 - d^4)/32D & Z_p &= \pi(D^4 - d^4)/16D
 \end{aligned}$$

Cuadrada



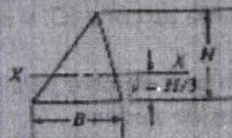
$$\begin{aligned}
 A &= S^2 & r &= S/\sqrt{12} \\
 I &= S^4/12 & & \\
 Z &= S^3/6 & &
 \end{aligned}$$

Rectangular



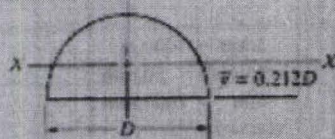
$$\begin{aligned}
 A &= BH & r_x &= H/\sqrt{12} \\
 I_x &= BH^3/12 & r_y &= B/\sqrt{12} \\
 Z_x &= BH^2/6 & &
 \end{aligned}$$

Triangular



$$\begin{aligned}
 A &= BH/2 & r &= H/\sqrt{18} \\
 I &= BH^3/36 & & \\
 Z &= BH^2/24 & &
 \end{aligned}$$

Semicírculo

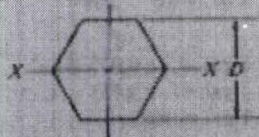


$$A = rD^2/8 \quad r = 0.132D$$

$$I = 0.009D^4$$

$$Z = 0.024D^3$$

Hexágono regular



$$A = 0.866D^2 \quad r = 0.264D$$

$$I = 0.06D^4$$

$$Z = 0.12D^3$$

$A$  = área

$I$  = momento de inercia

$Z$  = módulo de sección

$r$  = Radio de giro =  $\sqrt{I/A}$

$J$  = Momento polar de inercia

$Z_p$  = Módulo de sección polar

## APENDICE 2 FACTORES DE CONVERSION

Unidades de sistema británico a unidades de sistema SI  
(métrico decimal)

Cantidad	Unidad de sistema británico	Unidad SI	Símbolo	Unidades equivalentes
Longitud	1 pie (ft)	= 0.3048 metro	m	—
Masa	1 slug	= 14.59 kilogramo	kg	—
Tiempo	1 segundo	= 1.0 segundo	s	—
Fuerza	1 libra (lb)	= 4.448 newton	N	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
Presión	1 lb/pulg <sup>2</sup>	= 6.895 pascal	Pa	$\text{N}/\text{m}^2$ o $\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$
Energía	1 pie-lb	= 1.356 joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$ o $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$
Potencia	1 pie-lb/s	= 1.356 watt	W	J/s

## A-14 APENDICES

## APENDICE 5 PROPIEDADES DE LOS ACEROS CARBURIZADOS

Número de designación del material (número AISI)	Condición	Propiedades del núcleo						
		Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)	Dureza superficial (HRC)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa			
1015	SWQT 350	106	731	60	414	15	217	62
1020	SWQT 350	129	889	72	496	11	255	62
1022	SWQT 350	135	931	75	517	14	262	62
1117	SWQT 350	125	862	66	455	10	235	65
1118	SWQT 350	144	993	90	621	13	285	61
4118	SOQT 300	143	986	93	641	17	293	62
4118	DOQT 300	126	869	63	434	21	241	62
4118	SOQT 450	138	952	89	614	17	277	56
4118	DOQT 450	120	827	63	434	22	229	56
4320	SOQT 300	218	1500	138	1230	13	429	62
4320	DOQT 300	151	1040	97	669	19	302	62
4320	SOQT 450	211	1450	173	1190	12	415	59
4320	DOQT 450	145	1000	94	648	21	293	59
4620	SOQT 300	119	820	83	572	19	277	62
4620	DOQT 300	122	841	77	531	22	248	62
4620	SOQT 450	115	793	80	552	20	248	59
4620	DOQT 450	115	793	77	531	22	235	59
4820	SOQT 300	207	1430	167	1150	13	415	61
4820	DOQT 300	204	1405	165	1140	13	415	61
4820	SOQT 450	205	1410	184	1270	13	415	57
4820	DOQT 450	196	1350	171	1180	13	401	56
8620	SOQT 300	188	1300	149	1030	11	388	64
8620	DOQT 300	133	917	83	572	20	269	64
8620	SOQT 450	167	1150	120	827	14	341	61
8620	DOQT 450	130	896	77	531	22	262	61
E9310	SOQT 300	173	1190	135	931	15	363	62
E9310	DOQT 300	174	1200	139	958	15	363	60
E9310	SOQT 450	168	1160	137	945	15	341	59
E9310	DOQT 450	169	1170	138	952	15	352	58

Nota: Las propiedades que se indican son para un sólo conjunto de pruebas en barras redondas de 1/2"

SWQT: Inmerso una vez en agua y templado

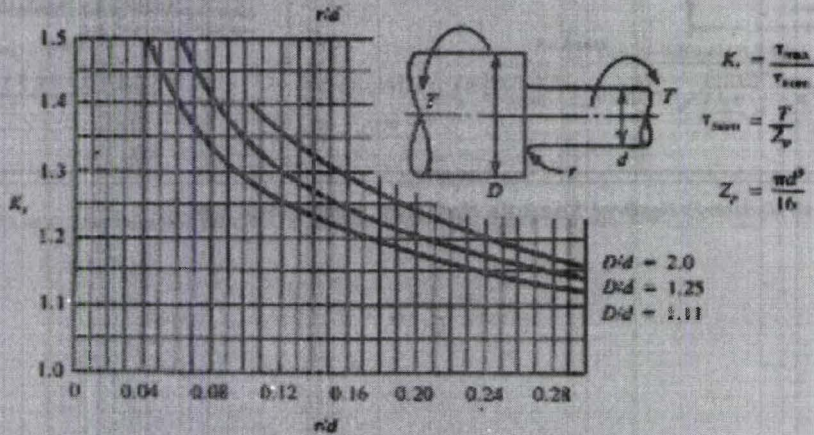
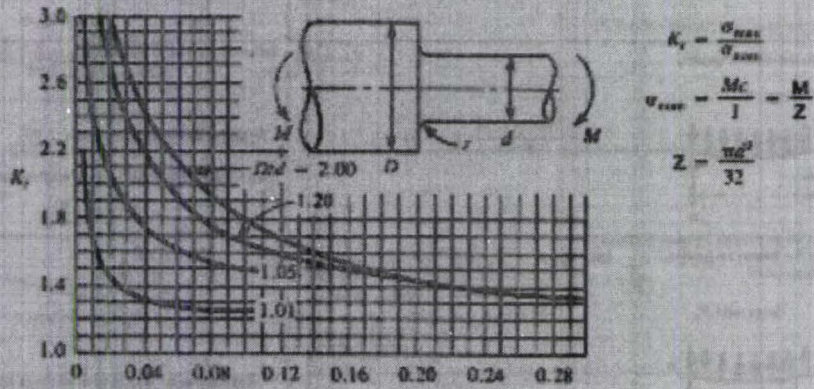
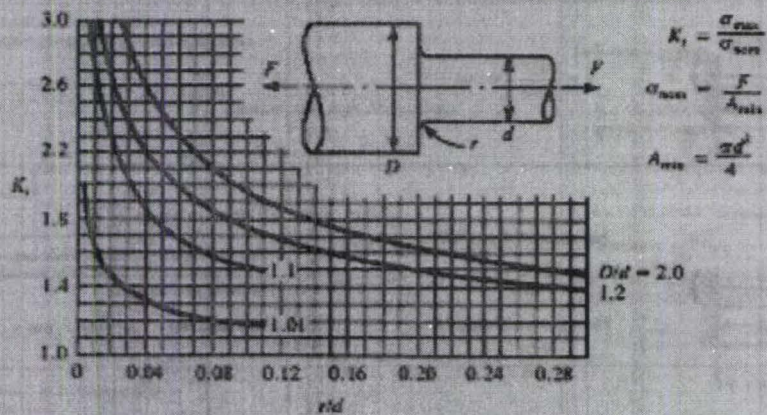
SOQT: Inmerso una vez en aceite y templado

DOQT: Inmerso dos veces en aceite y templado

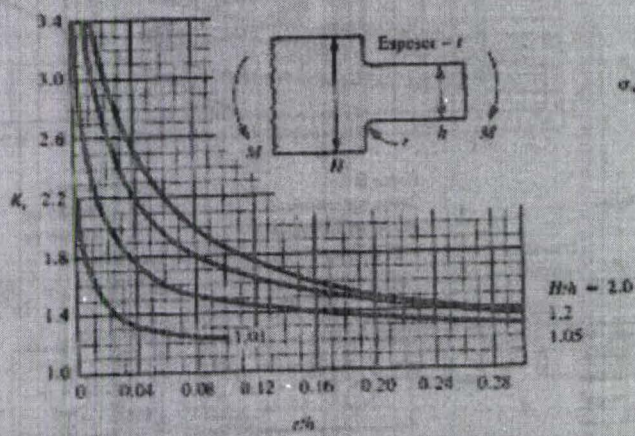
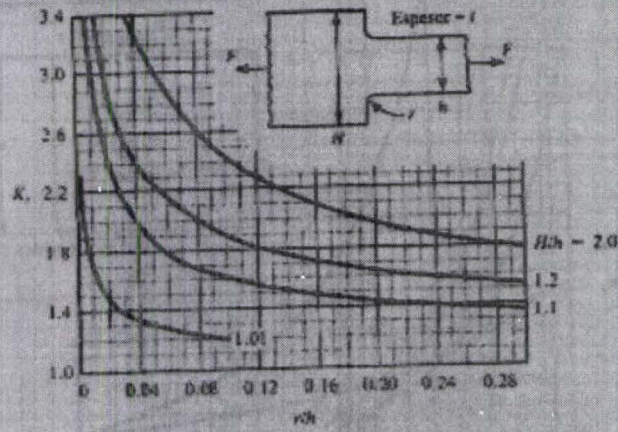
300 y 400 son las temperaturas de templado en °F. Carburado durante 8 horas. La profundidad de la superficie varía entre 0.045 y 0.075"

APENDICE 15 FACTORES DE CONCENTRACION DE TENSION

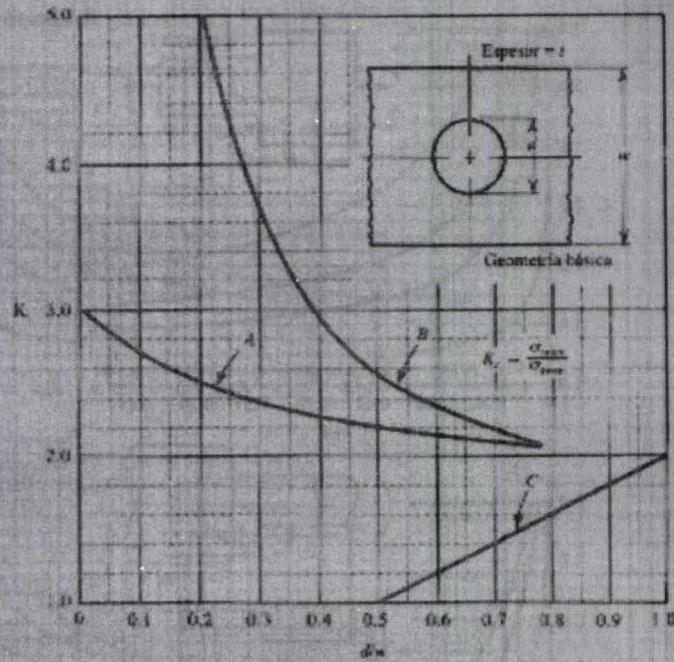
Apéndice 15-1 Flecha redonda de pasos



Apéndice 15-2 Placa plana de pasos con chaflanes

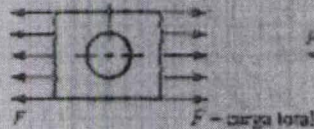


Apéndice 15-3 Placa plana con un orificio en el centro



Curva A  
Tensión directa  
en la placa

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{tw - dt}$$



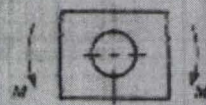
Curva B  
Carga por tensión  
que se aplica mediante  
un perno en el orificio

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{tw - dt}$$



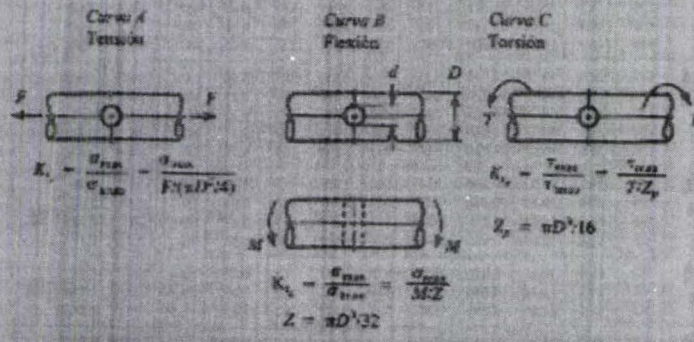
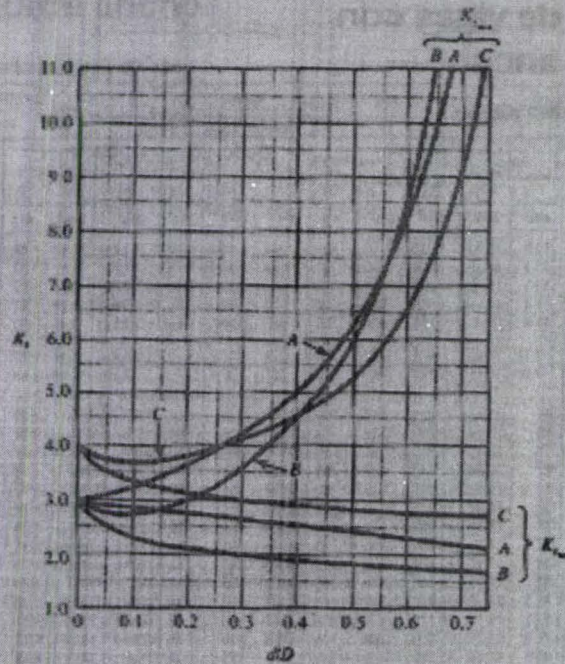
Curva C  
Flexión en  
el plano de  
la placa

$$\sigma_{nom} = \frac{Mc}{I_{net}} = \frac{6Mw}{(w^3 - d^3)t}$$

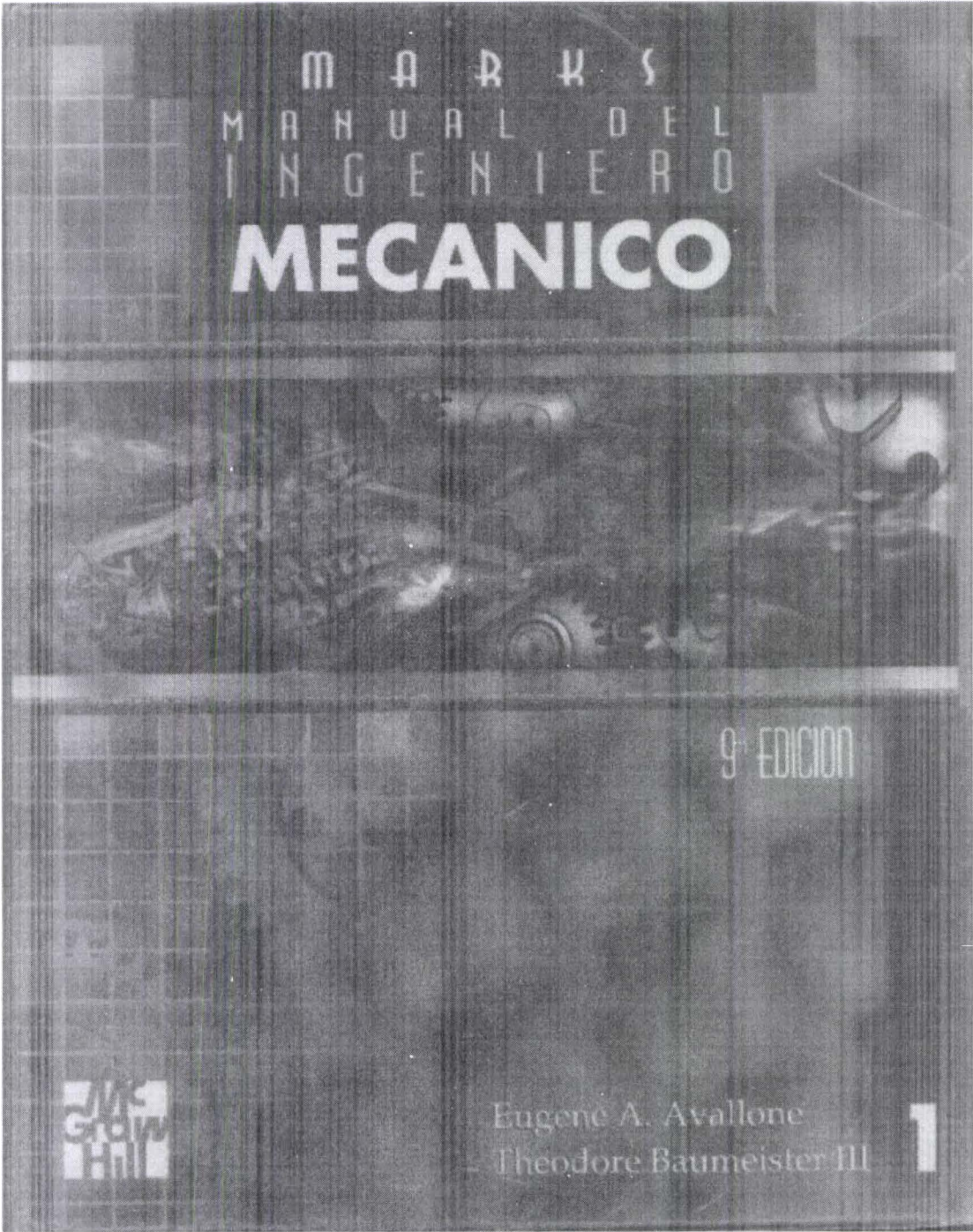


NOTA:  $K = 1.0$  para  $d/w < 0.5$

Apéndice 15-4 Orificio en una flecha







MARRS  
MANUAL DEL  
INGENIERO  
**MECANICO**



9ª EDICION



Eugene A. Avallone  
Theodore Baumeister III

**1**



Tabla 6.2.64 Cargas de trabajo de seguridad  $P$  y de fatiga  $F$  para resortes helicoidales cilíndricos de acero, de sección transversal circular (Continuación)

Esfuerzo aplicable, lb./pulg. <sup>2</sup>	Diam., pulg.	$D$	Diámetro de paso $D_s$ , pulg.														
			1	1.18	1.4	1.8	2.3	3	3.5	4.5	5						
140 000	0.156	$P$	489	618	710	770	834	208	185	167	152	130	126	119	111	104	92.7
		$F$	0.43	0.56	0.67	0.75	0.81	0.87	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	1.24
0.162	$F$	$P$	468	576	666	724	782	840	187	170	156	143	132	125	117	110	103
		$F$	0.54	0.68	0.81	0.91	0.99	1.06	1.12	1.18	1.24	1.29	1.34	1.39	1.44	1.49	1.54
0.177	$F$	$P$	608	747	856	915	974	1033	230	213	200	187	174	163	151	145	132
		$F$	0.69	0.87	1.05	1.18	1.29	1.39	1.48	1.57	1.66	1.74	1.82	1.90	1.98	2.06	2.14
125 000	0.187	$P$	642	792	901	960	1019	1078	233	217	203	190	178	168	158	148	138
		$F$	0.61	0.76	0.91	1.03	1.14	1.24	1.33	1.42	1.51	1.59	1.67	1.75	1.83	1.91	1.99
0.192	$F$	$P$	696	856	965	1024	1083	1142	254	238	224	211	200	190	180	170	160
		$F$	0.60	0.75	0.90	1.01	1.11	1.20	1.29	1.37	1.45	1.53	1.61	1.69	1.77	1.85	1.93
0.200	$F$	$P$	694	854	963	1022	1081	1140	253	237	223	210	200	190	180	170	160
		$F$	0.59	0.74	0.89	1.00	1.10	1.19	1.27	1.35	1.43	1.51	1.59	1.67	1.75	1.83	1.91
0.218	$F$	$P$	812	992	1101	1160	1219	1278	280	264	250	237	226	216	206	196	186
		$F$	0.53	0.68	0.82	0.93	1.03	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.52	1.60	1.68	1.76	1.84
0.225	$F$	$P$	895	1095	1204	1263	1322	1381	300	284	270	257	246	236	226	216	206
		$F$	0.54	0.69	0.83	0.94	1.04	1.13	1.21	1.29	1.37	1.45	1.53	1.61	1.69	1.77	1.85
0.244	$F$	$P$	1120	1320	1429	1488	1547	1606	340	324	310	297	286	276	266	256	246
		$F$	0.49	0.64	0.78	0.89	0.99	1.08	1.16	1.24	1.32	1.40	1.48	1.56	1.64	1.72	1.80
0.250	$F$	$P$	1027	1227	1336	1395	1454	1513	340	324	310	297	286	276	266	256	246
		$F$	0.70	0.85	1.00	1.11	1.21	1.30	1.38	1.46	1.54	1.62	1.70	1.78	1.86	1.94	2.02

123 000	0.263	P	1195	1125	895	795	717	652	598	551	501	438	448	400	359	326	298	256
		f	766	989	118	145	183	224	266	312	363	416	435	502	560	606	676	744
0.281	P	1850	1740	1097	969	867	794	728	665	629	590	540	543	483	437	395	362	310
	f	063	085	111	140	172	209	250	292	340	390	443	443	562	602	640	682	710
0.283	P	1564	1110	985	866	805	740	682	634	592	552	502	564	497	439	402	370	317
	f	064	111	139	166	207	246	289	334	386	440	499	440	559	600	643	690	735
0.312	P	1575	1336	1220	1100	1000	915	845	775	713	657	610	687	610	550	500	460	393
	f	070	092	116	144	178	207	242	283	322	368	407	368	467	507	547	589	629
0.331	P	1636	1455	1316	1227	1180	1090	1020	932	870	818	725	818	725	653	594	545	468
	f	083	109	135	163	194	227	264	304	343	386	437	386	437	481	524	568	610
0.341	P	1820	1620	1432	1325	1234	1150	1080	972	910	840	772	910	808	728	661	608	520
	f	092	105	123	156	186	218	256	293	330	373	413	330	413	452	475	515	532
0.362	P	2140	1910	1714	1560	1430	1315	1220	1147	1070	990	908	1070	950	858	774	710	612
	f	079	100	122	149	177	207	243	273	317	353	393	317	400	445	494	513	565
0.375	P	2110	1960	1780	1580	1458	1354	1265	1185	1128	1058	950	1185	1058	950	860	790	678
	f	078	117	144	172	201	234	263	308	342	378	418	308	382	428	479	508	538
0.393	P	2430	2180	1984	1820	1680	1560	1458	1365	1280	1200	1112	1365	1212	1092	990	910	760
	f	092	114	137	164	193	223	256	292	326	366	405	292	366	417	450	487	490
0.406	P	2420	2170	2000	1840	1710	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1400	1200	1080	1000	950	750
	f	108	134	159	183	217	248	284	314	351	384	425	314	384	434	464	494	513
0.430	P	2875	2610	2400	2310	2070	1918	1798	1598	1446	1308	1200	1798	1598	1446	1308	1200	1028
	f	104	136	150	175	204	234	264	307	338	378	418	307	378	418	450	480	515
0.437	P	3000	2730	2500	2310	2140	2000	1800	1665	1500	1365	1250	1800	1665	1500	1365	1250	1074
	f	100	124	148	173	201	231	264	327	357	390	429	264	327	372	401	431	463

Tabla 6.2.54 Cargas de trabajo de seguridad P y deflexiones f para resortes helicoidales cilíndricos de acero, de sección transversal cúbica (Continuación)

Esfuerzo unitario permisible, lb./pul. <sup>2</sup>	Diam. pul.	Diámetro de paso D, pul.															
		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18				
110 000	0.460	P	3065	2860	2580	2400	2220	2100	1865	1680	1530	1400	1290	1058	952	840	
		f	.112	.134	.157	.183	.209	.239	.303	.374	.447	.536	.629	.906	1.21	1.49	
	0.494	P	3285	2940	2725	2530	2310	1970	1770	1610	1472	1365	1210	1110	935	865	
		f	.111	.132	.154	.187	.204	.235	.293	.368	.444	.555	.620	.943	1.19	1.47	
	0.499	P	3475	3270	3115	2850	2710	2535	2245	2025	1840	1690	1445	1284	1155	1015	920
		f	.106	.126	.148	.172	.196	.225	.284	.351	.424	.504	.633	.900	1.11	1.40	1.70
	0.500	P	3610	3370	3170	2890	2710	2410	2160	1970	1810	1550	1355	1205	1082	985	
		f	.133	.145	.168	.197	.220	.278	.347	.415	.485	.572	.672	.880	1.11	1.37	1.65
	0.562	P	4700	4390	4090	3830	3420	3080	2790	2590	2365	2190	1917	1710	1525	1395	1260
		f	.128	.149	.175	.195	.268	.306	.372	.460	.556	.656	.782	.990	1.23	1.47	1.75
	0.625	P	6100	5690	5290	4960	4310	3825	338	297	255	200	160	120	100	850	750
		f	.134	.154	.176	.218	.275	.328	.397	.477	.554	.634	.705	.875	1.05	1.31	1.58
100 000	0.685	P	6275	5660	5090	4630	4250	3625	3195	2825	2560	2330	2125	1890	1690	1500	
		f	.145	.183	.228	.274	.327	.383	.443	.500	.560	.623	.688	.808	1.00	1.20	
	0.750	P	7490	6840	6030	5560	5240	4565	4150	3690	3335	3025	2770	2500	2290	2100	
		f	.178	.218	.252	.299	.352	.402	.452	.512	.571	.631	.691	.810	1.00	1.19	
	0.812	P	8420	7660	6660	6060	5600	4900	4500	4000	3600	3200	2800	2400	2100	1900	
		f	.192	.232	.262	.312	.362	.412	.462	.512	.562	.612	.662	.782	1.00	1.10	
	0.875	P	10830	9550	8250	7500	6900	6100	5500	4900	4400	4000	3600	3200	2800	2500	
		f	.179	.214	.244	.294	.344	.394	.444	.494	.544	.594	.644	.764	1.00	1.02	
	0.937	P	10600	9700	8400	7600	7000	6200	5600	5000	4500	4100	3700	3300	2900	2600	
		f	.179	.211	.241	.291	.341	.391	.441	.491	.541	.591	.641	.761	1.00	1.02	
	1.000	P	11780	10700	9300	8500	7800	7000	6400	5800	5300	4900	4500	4100	3700	3400	
		f	.206	.236	.266	.316	.366	.416	.466	.516	.566	.616	.666	.786	1.00	1.02	
	1.125	P	14400	12600	11200	10100	9200	8300	7500	6800	6300	5900	5500	5100	4700	4400	
		f	.244	.284	.324	.374	.424	.474	.524	.574	.624	.674	.724	.844	1.00	1.10	
	1.250	P	18200	16500	14500	13300	12400	11500	10600	9800	9000	8300	7700	7200	6800	6400	
		f	.260	.290	.320	.370	.420	.470	.520	.570	.620	.670	.720	.840	1.00	1.10	
800 000	1.375	P	20400	18100	16100	14800	13900	13000	12100	11200	10300	9400	8500	7600	6700	5800	
		f	.280	.294	.314	.364	.414	.464	.514	.564	.614	.664	.714	.834	1.00	1.10	

M A R K S  
M A N U A L D E L  
I N G E N I E R O  
**MECANICO**



9ª EDICION



Eugene A. Avallone  
Theodore Baumeister III

**2**

Tabla 12.3.2 Rangos típicos de corriente en amperes para electrodos de acero dulce

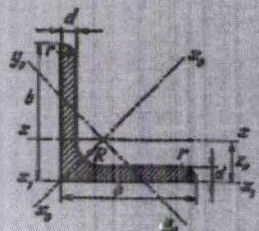
Dimensión del electrodo, pulg.	E6010 y E6011	E6012	E6013	E6015	E6027	E7014	E7015 y E7016	E7018	E7024 y E7026
3/8	.....	20 a 40	20 a 40	.....	.....	80 a 125	65 a 110	70 a 100	100 a 105
1/2	.....	25 a 40	25 a 40	.....	.....	110 a 160	100 a 150	115 a 165	140 a 190
5/8	40 a 60	35 a 65	45 a 90	.....	.....	150 a 210	140 a 200	150 a 220	180 a 240
1	75 a 125	60 a 140	85 a 150	100 a 150	125 a 185	200 a 275	180 a 235	200 a 275	230 a 305
1 1/4	110 a 150	110 a 190	105 a 180	130 a 190	160 a 240	300 a 375	280 a 355	300 a 375	350 a 430
1 3/4	140 a 215	140 a 240	150 a 230	175 a 250	210 a 300	400 a 500	380 a 475	400 a 500	450 a 530
2	170 a 250	200 a 320	210 a 300	285 a 310	250 a 340	500 a 600	480 a 575	500 a 600	550 a 630
2 1/2	210 a 320	250 a 400	230 a 350	325 a 375	300 a 415	600 a 700	580 a 675	600 a 700	650 a 730
3	275 a 425	300 a 500	320 a 430	360 a 430	375 a 475	700 a 800	675 a 775	700 a 800	750 a 830

..... valores en el sistema de clasificación E6010.

V.I. FEODOSIEV  
Resistencia  
de  
materiales



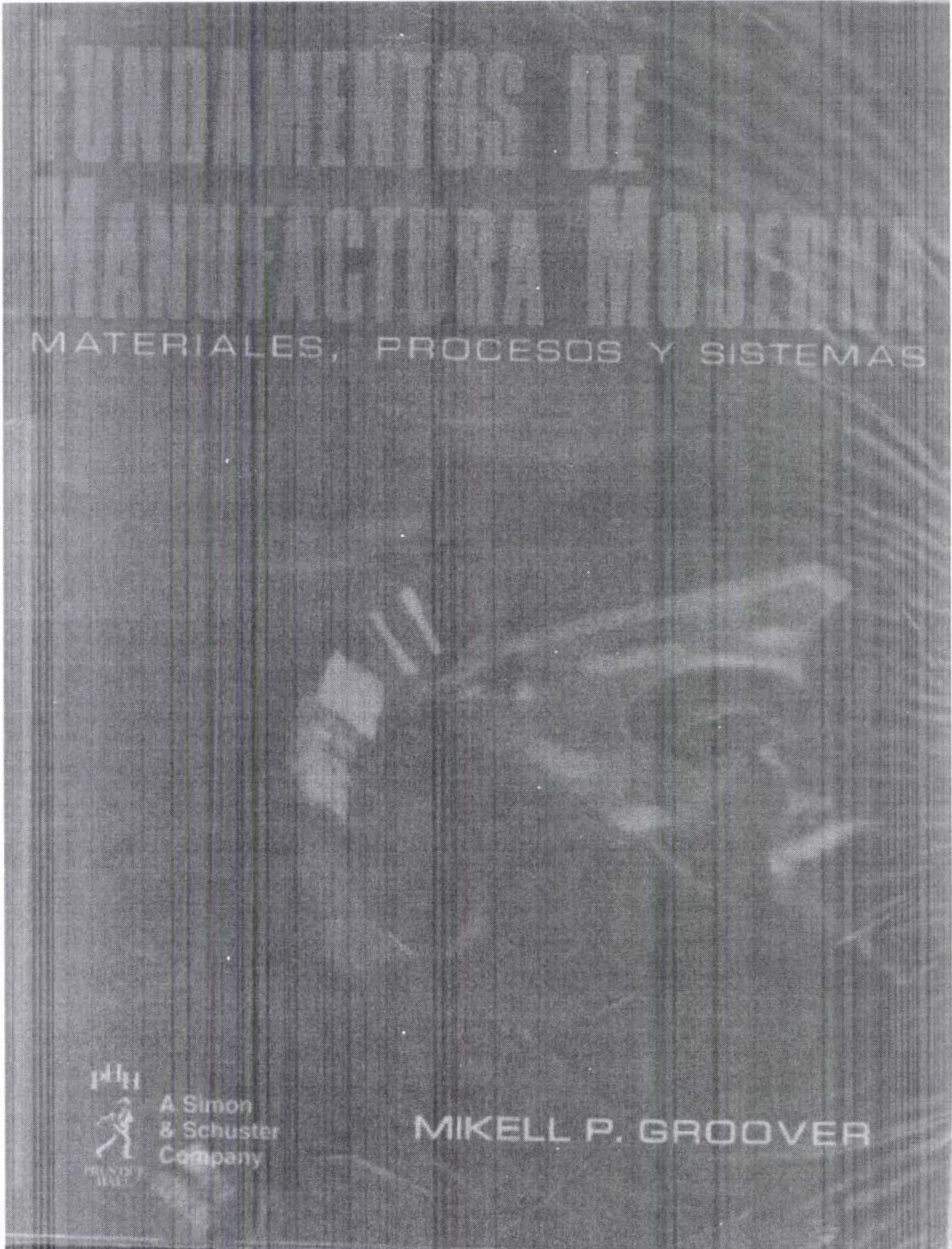




**Sartido de acero laminado**  
**Acero laminado angular**  
**de alas iguales**  
**GOST 8509-57**

Número del perfil	Tamaño en mm				Área del perfil en cm <sup>2</sup>	Peso por metro lineal en kgf	Datos respecto a los ejes								
	a	b	R	r			x - z		y <sub>0</sub> - z <sub>0</sub>		y <sub>0</sub> - F <sub>0</sub>		x <sub>1</sub> - z <sub>1</sub>		F <sub>0</sub> en cm
							I <sub>x</sub> en cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> en cm <sup>4</sup>	I <sub>xy</sub> max en cm <sup>4</sup>	I <sub>xy</sub> min en cm <sup>4</sup>	I <sub>yx</sub> min en cm <sup>4</sup>	I <sub>yx</sub> max en cm <sup>4</sup>	I <sub>xx</sub> en cm <sup>4</sup>		
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,80	0,40	0,50	0,53	0,75	0,17	0,39	0,81	0,60	
		4			1,46	1,15	0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	1,00	0,84	
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	1,12	0,81	0,73	1,20	0,85	0,16	0,49	1,37	0,73	
		4			1,88	1,46	1,03	0,74	1,62	0,83	0,44	0,46	2,11	0,76	
2,8	28	3	4	1,3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,35	2,20	0,80	
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,46	1,77	0,87	2,80	1,23	0,71	0,63	1,28	0,89	
		4			2,43	1,94	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	4,20	0,94	
3,6	36	3	4,5	1,5	2,10	1,80	2,36	1,10	4,08	1,39	1,06	0,71	1,64	0,99	
		4			2,75	2,18	3,29	1,00	5,21	1,38	1,36	0,70	6,24	1,04	

4	40	3	5	1,7	2,35	1,85	2,50	1,23	5,63	1,53	1,47	0,79	6,35	1,60
		4			3,06	2,42	4,38	1,32	7,26	1,53	1,90	0,78	8,53	1,13
4,5	45	3	5	1,7	2,65	2,03	3,13	1,39	6,13	1,75	2,12	0,89	9,04	1,21
		4			3,48	2,73	4,83	1,38	10,5	1,74	2,74	0,80	12,1	1,26
		5			4,28	3,37	6,00	1,37	12,7	1,72	3,33	0,88	15,3	1,30
5	50	3	5,0	1,8	2,86	2,32	2,14	1,53	11,3	1,93	2,35	1,00	12,4	1,33
		4			3,89	3,05	3,23	1,54	14,6	1,94	3,80	0,99	16,8	1,38
		5			4,80	3,77	4,12	1,53	17,8	1,92	4,63	0,96	20,9	1,42
5,0	56	3,5	6	2	3,80	3,03	11,6	1,73	18,4	2,18	4,80	1,12	20,3	1,50
		4			4,38	3,44	13,1	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	23,3	1,52
		5			5,44	4,25	16,0	1,72	25,1	2,16	6,59	1,10	29,2	1,57
6,3	63	4	7	2,3	4,86	3,80	15,8	1,95	29,0	2,43	7,81	1,25	35,1	1,69
		5			6,13	4,81	23,1	1,94	36,8	2,44	9,52	1,25	41,5	1,75
		6			7,28	5,72	27,1	1,93	42,9	2,43	11,2	1,24	50,0	1,78
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	4,87	29,0	2,18	46,0	2,72	12,0	1,39	51,0	1,88
		5			6,86	5,26	31,2	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	58,7	1,90
		6			8,15	6,38	37,6	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94
		7			9,42	7,39	43,0	2,14	68,2	2,69	17,8	1,37	89,1	1,99
7,5	75	5	9	3	10,7	8,37	48,2	2,13	76,4	2,68	20,0	1,37	11,5	2,02
		6			7,33	5,50	59,5	2,31	82,6	2,81	16,4	1,49	69,6	2,02
		7			8,76	6,89	66,6	2,30	73,9	2,90	19,3	1,48	83,5	2,06
		8			10,1	7,96	53,5	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	98,3	2,10
		9			11,5	9,02	59,8	2,28	94,9	2,87	24,8	1,47	113	2,15
					12,8	10,1	68,1	2,27	105	2,85	27,5	1,46	127	2,18



A Simon  
& Schuster  
Company

MIKELL P. GROOVER

En el presente capítulo, se analizan las propiedades físicas más importantes en la manufactura, que además encontraremos en los subsiguientes capítulos del libro. Las dividimos en grandes categorías como volumétricas, térmicas y eléctricas. También relacionamos estas propiedades con la manufactura, como lo hicimos en el capítulo 3 sobre las propiedades mecánicas.

#### 4.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y DE FUSIÓN

Estas propiedades se refieren al volumen de los sólidos y cómo son afectadas por la temperatura. Las propiedades incluyen la densidad, la expansión térmica y el punto de fusión. En la tabla 4.1 se presentan los valores típicos de estas propiedades para algunos materiales seleccionados de ingeniería.

TABLA 4.1 Propiedades volumétricas en unidades de uso común en Estados Unidos para algunos materiales de ingeniería seleccionados

Material	Densidad		Coeficiente de expansión térmica		Punto de fusión	
	lb/ptg <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°F <sup>-1</sup> × 10 <sup>-6</sup>	(°C <sup>-1</sup> ) × 10 <sup>-6</sup>	°F	°C
<b>Metales</b>						
Aluminio	0.098	2.70	13.1	(24)	1220	(660)
Cobre	0.324	8.97	9.4	(17)	1981	(1083)
Hierro	0.284	7.87	6.7	(12.1)	2802	(1539)
Picno	0.410	11.35	16	(29)	621	(327)
Magnético	0.053	1.74	9.4	(26)	1202	(650)
Níquel	0.322	8.93	7.4	(13.3)	2651	(1453)
Acero	0.284	7.87	6.7	(12)	*	*
Estaino	0.264	7.31	12.7	(23)	649	(322)
Tungsteno	0.697	19.30	2.2	(4.0)	6170	(3410)
Zinc	0.258	7.13	22.2	(40)	787	(420)
<b>Cerámicos</b>						
Vidrio	0.090	2.5	1.0-5.0	(1.8-9.0)	*	*
Alúmina	0.137	3.81	5.0	(9.0)	ND	ND
Concreto	0.097	2.4	7.2	(13)	ND	ND
Silice	0.096	2.66	ND	ND	ND	ND
<b>Plásticos</b>						
Resinas fenólicas	0.042	1.15	33	(60)	*	*
Nylon	0.042	1.161	55	(100)	*	*
Teflón	0.029	0.83	55	(100)	*	*
Plástico natural	0.043	1.29	45	(80)	*	*
Poliétileno						
Baja densidad	0.034	0.92	100	(180)	*	*
Alta densidad	0.035	0.96	66	(120)	*	*
Poliéster	0.038	1.05	33	(60)	*	*

Recopilada de [2], [4], [5], [6] y otras fuentes.

\* Las características de fusión de los aceros dependen de su composición.

\* Se ablanda a temperaturas elevadas y no tiene bien definido su punto de fusión.

\* Se degrada químicamente a altas temperaturas.

ND: No disponible; el valor de la propiedad para este material no se pudo obtener.

TABLA 10.6 (continuación). (f) Hule nitrilo.

Polímero:	Copolímero de butadieno ( $C_4H_6$ ) y acrilonitrilo ( $C_3H_3N$ )
Símbolo:	NBR (BBA)
Módulo de elasticidad:	1500 lb/in <sup>2</sup> (10 MPa) <sup>a</sup>
Resistencia a la tensión:	4000 lb/in <sup>2</sup> (30 MPa)
Elongación:	500% a la ruptura
Gravedad específica:	1.00 (sin refuerzo)
Límite de alta temperatura:	250 °F (120 °C)
Límite de baja temperatura:	-62 °F (-50 °C)
Participación aproximada en el mercado:	2%

<sup>a</sup>Elongación a 200%.

**Poliuretano** Los poliuretanos termofijos (sección 10.3.2) con un encañamiento transversal mínimo son elastómeros y la mayoría de ellos se producen comúnmente como espumas flexibles. [tabla 10.6(g)]. De esta forma se usan en una amplia gama como materiales para colchones, para muebles y asientos de automóviles. El poliuretano no expandido se puede moldear en productos que van desde suelas de zapatos hasta parachoques de automóviles, y ajustando el encañamiento transversal se pueden obtener propiedades deseables para estas aplicaciones. Sin encañamiento, el material es un elastómero termoplástico que se puede moldear por inyección. Como es un elastómero termofijo se pueden usar métodos de moldeado por inyección y reacción, así como otros métodos de conformado.

TABLA 10.6 (continuación). (g) Poliuretano.<sup>a</sup>

Polímero:	Poliuretano (la composición química varía)
Símbolo:	PUR (IPU)
Módulo de elasticidad:	1200 lb/in <sup>2</sup> (10 MPa) <sup>b</sup>
Resistencia a la tensión:	3000 lb/in <sup>2</sup> (20 MPa)
Elongación:	700% a la ruptura
Gravedad específica:	1.25
Límite de alta temperatura:	210 °F (100 °C)
Límite de baja temperatura:	-40 °F (-50 °C)

<sup>a</sup>La participación en el mercado aparece en los termofijos, tabla 10.4.

<sup>b</sup>A 300% de elongación.

**Silicones** Los silicones como los poliuretanos pueden ser elastómeros o termofijos, dependiendo del grado de encañamiento transversal. Los silicones elastómeros son notables por el amplio rango de temperaturas sobre el cual pueden usarse. Su resistencia a los aceites es pobre. Los silicones poseen varias composiciones químicas siendo la más común *polidimetilsiloxano*, tabla 10.6(h). Con objeto de obtener propiedades mecánicas aceptables, los elastómeros pueden reforzarse

TABLA 10.6 (continuación). (h) Hule de silicone.

Polímero:	Polidimetilsiloxano [ $Si(CH_3)_2O$ ] <sub>n</sub>
Símbolo:	VMQ (PMS)
Resistencia a la tensión:	500 lb/in <sup>2</sup> (10 MPa)
Elongación:	700% a la ruptura
Gravedad específica:	0.98
Límite de alta temperatura:	450 °F (230 °C)
Límite de baja temperatura:	-60 °F (-50 °C)
Participación aproximada en el mercado:	Menos del 1%

# ***Dibujo y diseño en ingeniería***

*6ª edición*

***Cecil Jensen  
Jay D. Helsel  
Dennis R. Short***

**Mc  
Graw  
Hill**



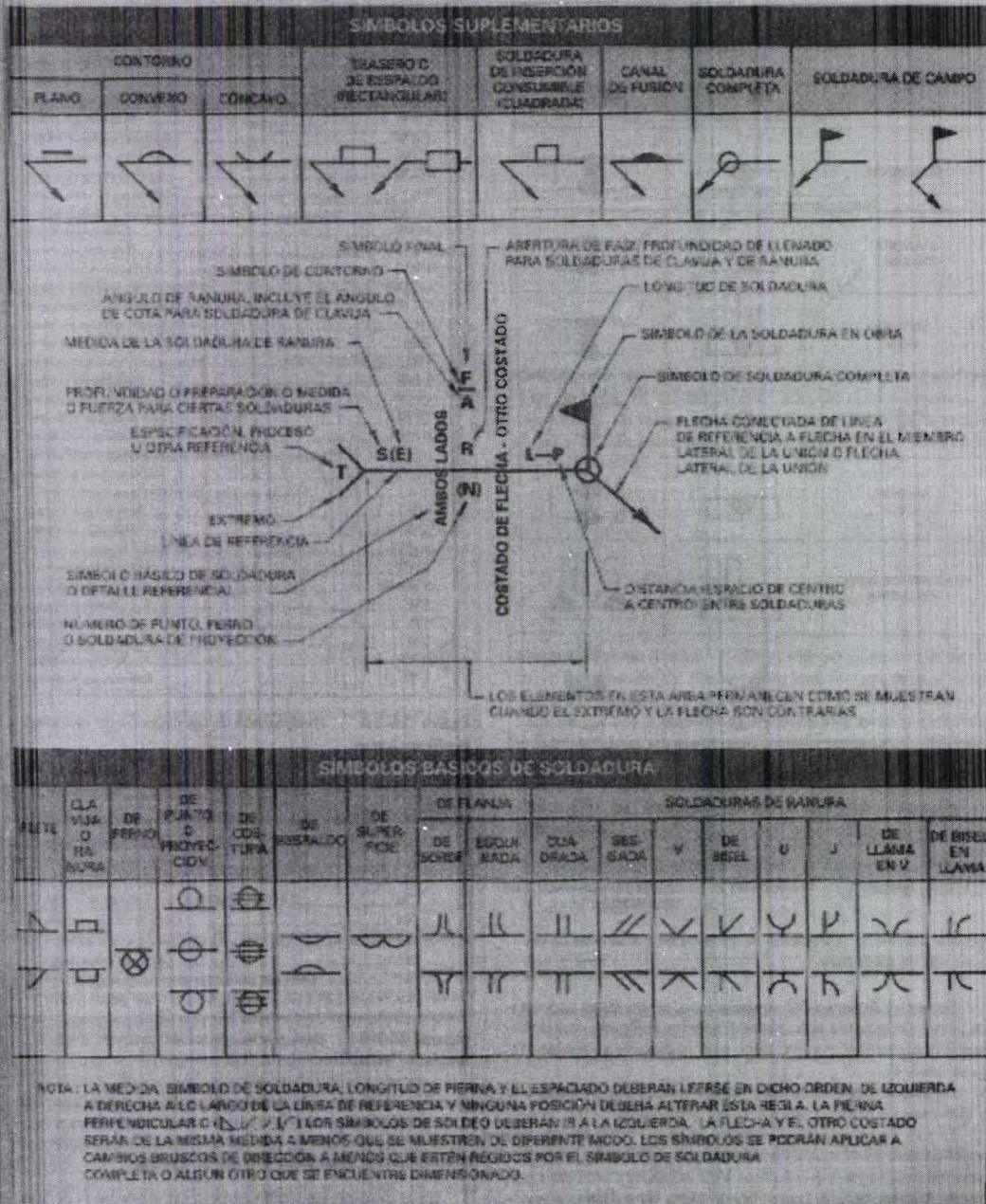


Figura 16-2-2 Símbolos de soldado.

PARTE 4 ■ Transmisiones de potencia

normal. Para trabajo liviano se multiplica el cabalaje para trabajo normal por 0.85. Para trabajo pesado se multiplica por el cabalaje normal por 1.2.

Tres pasos fáciles

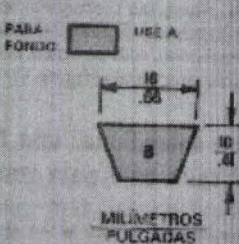
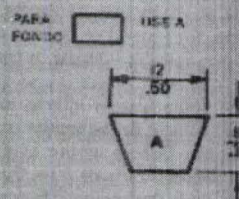
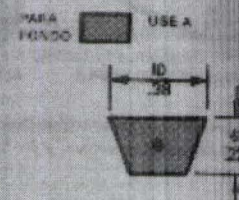
**Paso 1: Selección del diámetro y sección transversal de la polea en V motriz.** En primer lugar, se clasifica la apli-

cación y luego se aplica el factor de servicio apropiado como se explicó antes. Remítase a la figura 17-1-11 para el diámetro y sección transversal de la polea motriz.

**Paso 2: Selección del diámetro de la polea en V pasiva.** Remítase a la figura 17-1-12, para la velocidad del motor. Se localiza la velocidad impulsada deseada en la

**CAPACIDADES EN KILOWATTS (UNIDADES METRICAS)**

RPM de polea pequeña	Diámetro exterior de polea en V pequeña - milímetros														
	38	44	51	57	64	70	76	83	89	95	102	108	114	121	127
200										0.13	0.16	0.18	0.21	0.22	
400				0.06	0.09	0.11	0.13	0.14	0.19	0.23	0.25	0.31	0.34	0.39	0.42
600	0.03	0.04		0.09	0.13	0.16	0.20	0.24	0.27	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60
800	0.02	0.03		0.16	0.21	0.25	0.31	0.34	0.41	0.48	0.55	0.63	0.69	0.75	0.75
1 000	0.01	0.02		0.13	0.19	0.25	0.31	0.36	0.41	0.48	0.56	0.64	0.74	0.82	0.90
1 160	0.01	0.02		0.16	0.22	0.28	0.34	0.40	0.46	0.51	0.60	0.70	0.80	0.92	1.01
1 400	0.01	0.01		0.17	0.25	0.32	0.40	0.48	0.55	0.63	0.72	0.82	0.93	1.06	1.16
1 600	0.01	0.01		0.19	0.27	0.36	0.43	0.51	0.60	0.67	0.76	0.90	1.01	1.14	1.25
1 750	0.01	0.01		0.19	0.28	0.38	0.47	0.55	0.63	0.72	0.82	0.93	1.07	1.20	1.33
2 000	0.01	0.01		0.21	0.31	0.41	0.51	0.60	0.69	0.78	0.87	1.01	1.15	1.29	1.42
2 200	0.01	0.01		0.23	0.33	0.43	0.53	0.64	0.74	0.84	0.94	1.05	1.20	1.34	1.48
2 400	0.01	0.01		0.24	0.34	0.45	0.57	0.68	0.78	0.89	0.98	1.10	1.25	1.39	1.51
2 600	0.01	0.01		0.25	0.35	0.46	0.59	0.72	0.81	0.93	1.03	1.10	1.26	1.41	1.56
2 800	0.01	0.01		0.27	0.36	0.47	0.62	0.74	0.85	0.95	1.06	1.16	1.28	1.42	1.57
3 000	0.01	0.01		0.27	0.37	0.51	0.63	0.76	0.86	0.98	1.09	1.19	1.32	1.44	1.55
3 200	0.01	0.01		0.28	0.38	0.52	0.65	0.78	0.92	1.01	1.12	1.17	1.25	1.39	1.51
3 450	0.01	0.01		0.28	0.38	0.53	0.67	0.80	0.92	1.03	1.13	1.14	1.20	1.35	1.45
3 600	0.01	0.01		0.29	0.39	0.54	0.68	0.81	0.93	1.04	1.15	1.15	1.21	1.36	1.45
3 800	0.01	0.01		0.29	0.39	0.54	0.69	0.81	0.93	1.04	1.15	1.15	1.21	1.36	1.45
4 000	0.01	0.01		0.30	0.40	0.54	0.69	0.82	0.94	1.05	1.15	1.15	1.21	1.36	1.45



**CAPACIDADES DE POTENCIA (UNIDADES U. S.)**

RPM de polea pequeña	Diámetro exterior de polea en V pequeña - pulgadas														
	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
200											0.18	0.22	0.24	0.28	0.29
400				0.08	0.12	0.15	0.18	0.22	0.25	0.31	0.35	0.42	0.46	0.52	0.55
600	0.04	0.05		0.12	0.18	0.22	0.27	0.32	0.36	0.44	0.51	0.58	0.66	0.73	0.81
800	0.03	0.04		0.15	0.22	0.28	0.34	0.41	0.45	0.55	0.64	0.74	0.81	0.93	1.00
1 000	0.02	0.03		0.18	0.26	0.33	0.42	0.48	0.55	0.64	0.75	0.85	0.99	1.10	1.21
1 160	0.02	0.03		0.21	0.29	0.38	0.46	0.54	0.62	0.69	0.84	0.98	1.07	1.23	1.35
1 400	0.02	0.03		0.23	0.33	0.43	0.53	0.64	0.74	0.84	0.95	1.10	1.25	1.42	1.55
1 600	0.02	0.03		0.25	0.36	0.48	0.58	0.69	0.80	0.90	1.02	1.20	1.36	1.53	1.68
1 750	0.02	0.03		0.25	0.38	0.51	0.63	0.74	0.85	0.96	1.08	1.25	1.43	1.61	1.78
2 000	0.02	0.03		0.27	0.41	0.55	0.68	0.81	0.92	1.05	1.17	1.35	1.54	1.75	1.90
2 200	0.02	0.03		0.28	0.44	0.58	0.72	0.86	0.99	1.12	1.25	1.47	1.67	1.89	2.07
2 400	0.02	0.03		0.29	0.45	0.57	0.76	0.91	1.05	1.19	1.32	1.55	1.75	1.96	2.07
2 600	0.02	0.03		0.30	0.47	0.64	0.79	0.95	1.09	1.24	1.38	1.63	1.87	1.89	2.09
2 800	0.02	0.03		0.31	0.48	0.66	0.81	0.99	1.14	1.28	1.42	1.68	1.91	1.91	2.11
3 000	0.02	0.03		0.32	0.49	0.68	0.85	1.02	1.18	1.32	1.46	1.68	1.89	1.89	2.09
3 200	0.02	0.03		0.33	0.51	0.70	0.88	1.05	1.20	1.36	1.50	1.70	1.87	1.86	2.03
3 450	0.02	0.03		0.34	0.51	0.71	0.90	1.07	1.23	1.39	1.52	1.61	1.79	1.84	1.94
3 600	0.02	0.03		0.34	0.52	0.72	0.91	1.09	1.25	1.40	1.54	1.54	1.64	1.71	1.85
3 800	0.02	0.03		0.35	0.52	0.72	0.92	1.09	1.25	1.41	1.54	1.54	1.64	1.69	1.82
4 000	0.02	0.03		0.35	0.53	0.72	0.92	1.10	1.26	1.40	1.52	1.52	1.52	1.52	1.55

NOTA: ESTA TABLA INCORPORA UN FACTOR DE SERVICIO DE 1.0 PARA TRABAJO PESADO. MULTIPLICAR LA CAPACIDAD PARA TRABAJO NORMAL POR .85. PARA TRABAJO LIVIANO, MULTIPLICAR LA CAPACIDAD PARA TRABAJO NORMAL POR 1.20. LAS MEDIDAS MOSTRADAS ESTÁN EN PULGADAS Y SE CONVIRTIERON EN MILIMETROS.

Figura 17-1-11 Cálculo del diámetro de la polea del eje motriz y sección transversal de la banda. (T.B. Wood's Sons Co.)

CAPÍTULO 17 ■ Bandas, cadenas y engranes

VELOCIDADES IMPULSADAS CON MOTORES DE 1 160 R/MIN												
DE de pulg. en V revolts en in/min	DE de pulg. en V revolts/min											
	1.19	1.75	2.20	2.75	3.30	3.75	4.30	4.75	5.30	5.75	6.30	6.75
1.5- 38	160	1 292	1 625	1 858	2 085	2 325	2 550	2 785	3 015	3 250	3 480	3 715
2.0- 51	829	995	1 161	1 325	1 490	1 658	1 825	1 988	2 150	2 315	2 485	2 650
2.5- 64	645	779	907	1 037	1 160	1 290	1 418	1 546	1 675	1 805	1 933	2 032
3.0- 76	528	639	739	845	950	1 057	1 160	1 266	1 370	1 475	1 580	1 685
3.5- 89	447	536	625	715	804	894	987	1 071	1 160	1 249	1 340	1 428
4.0-102	387	465	542	620	698	775	851	929	1 008	1 082	1 160	1 238
4.5-114	341	409	477	545	614	682	750	819	885	955	1 022	1 091
5.0-127	305	366	427	488	549	610	671	732	793	854	915	976
5.5-140	277	332	387	442	497	550	608	663	718	774	829	884
6.0-152	253	302	353	404	454	505	555	605	655	706	756	806
7.0-178	215	258	301	344	388	430	474	516	560	602	648	686
8.0-203	187	224	262	297	337	378	411	445	486	526	561	599
10.0-254	149	179	208	238	268	298	328	357	387	417	446	477
12.0-305	123	148	173	197	222	247	272	296	321	346	370	395

VELOCIDADES IMPULSADAS CON MOTORES DE 1 750 R/MIN												
DE de pulg. en V revolts en in/min	DE de pulg. en V revolts/min											
	1.39	1.75	2.20	2.75	3.30	3.75	4.30	4.75	5.30	5.75	6.30	6.75
1.5- 38	1 750	2 100	2 450	2 800	3 150	3 500	3 850	4 200	4 550	4 900	5 250	5 600
2.0- 51	1 250	1 500	1 750	2 000	2 250	2 500	2 750	3 000	3 250	3 500	3 750	4 000
2.5- 64	974	1 167	1 360	1 553	1 750	1 945	2 140	2 330	2 530	2 728	2 915	3 110
3.0- 76	797	955	1 113	1 272	1 431	1 590	1 750	1 910	2 070	2 225	2 385	2 545
3.5- 89	674	808	942	1 077	1 210	1 346	1 480	1 615	1 750	1 885	2 020	2 155
4.0-102	581	700	817	935	1 050	1 168	1 283	1 400	1 518	1 634	1 750	1 865
4.5-114	513	618	723	828	926	1 020	1 121	1 225	1 329	1 430	1 532	1 630
5.0-127	452	554	646	737	830	922	1 013	1 105	1 198	1 290	1 382	1 475
5.5-140	417	500	589	687	780	874	967	1 060	1 152	1 245	1 338	1 432
6.0-152	381	456	533	610	685	762	837	913	990	1 068	1 146	1 222
6.5-165	356	420	490	560	630	700	771	840	910	980	1 050	1 120
7.0-178	324	389	454	520	584	648	713	778	843	907	972	1 036
8.0-203	287	339	391	451	507	564	620	676	734	789	845	902
9.0-229	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
10.0-254	224	270	315	360	405	450	495	540	585	630	675	720
11.0-279	200	244	285	326	366	407	448	489	530	570	610	652
12.0-305	180	220	261	298	335	373	410	446	485	522	560	598

VELOCIDADES IMPULSADAS CON MOTORES DE 1 750 R/MIN												
DE de pulg. en V revolts en in/min	DE de pulg. en V revolts/min											
	1.39	1.75	2.20	2.75	3.30	3.75	4.30	4.75	5.30	5.75	6.30	6.75
1.5- 38	1 750	4 200	4 900	5 600	6 300	7 000	7 700	8 400	9 100	9 800	10 500	11 200
2.0- 51	1 250	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000
2.5- 64	948	2 324	2 720	3 110	3 500	3 890	4 280	4 670	5 060	5 450	5 840	6 230
3.0- 76	799	1 950	2 236	2 544	2 862	3 180	3 500	3 820	4 140	4 460	4 770	5 090
3.5- 89	674	1 656	1 889	2 154	2 420	2 692	2 960	3 230	3 500	3 770	4 040	4 310
4.0-102	581	1 400	1 630	1 870	2 120	2 380	2 640	2 900	3 160	3 420	3 680	3 940
4.5-114	512	1 250	1 440	1 640	1 850	2 060	2 280	2 490	2 700	2 910	3 120	3 330
5.0-127	452	1 100	1 290	1 470	1 660	1 860	2 050	2 240	2 430	2 620	2 810	3 000
5.5-140	417	1 020	1 180	1 340	1 500	1 660	1 830	2 000	2 160	2 320	2 500	2 660
6.0-152	381	912	1 055	1 200	1 350	1 500	1 650	1 800	1 950	2 100	2 250	2 400
6.5-165	356	840	980	1 120	1 260	1 400	1 540	1 680	1 820	1 960	2 100	2 240
7.0-178	324	770	900	1 030	1 160	1 290	1 420	1 550	1 680	1 810	1 940	2 070
8.0-203	287	670	780	900	1 010	1 120	1 240	1 350	1 460	1 570	1 690	1 810
9.0-229	250	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600
10.0-254	224	540	630	720	810	900	990	1 080	1 170	1 260	1 350	1 440
11.0-279	200	480	570	650	730	810	890	970	1 060	1 140	1 220	1 300
12.0-305	180	440	520	590	670	750	830	910	990	1 070	1 150	1 230

a 17-3-12 Cálculo de revoluciones por minuto y diámetro de polea impulsada. (T. B. Wood's Sons Co.)



PARTE 4 ■ Transmisiones de potencia

**SUMA DE LOS DIÁMETROS DE BANDA EN V Y POLEA-DIMENSIONES EN PULGADAS**

Distancia entre centros de las poleas	Diámetro de la polea	Diámetro de la banda	Suma de los diámetros de banda en V																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	180	182	184	186	188	190	192	194	196	198	200	202	204	206	208	210	212	214	216	218	220	222	224	226	228	230	232	234	236	238	240	242	244	246	248	250	252	254	256	258	260	262	264	266	268	270	272	274	276	278	280	282	284	286	288	290	292	294	296	298	300	302	304	306	308	310	312	314	316	318	320	322	324	326	328	330	332	334	336	338	340	342	344	346	348	350	352	354	356	358	360	362	364	366	368	370	372	374	376	378	380	382	384	386	388	390	392	394	396	398	400	402	404	406	408	410	412	414	416	418	420	422	424	426	428	430	432	434	436	438	440	442	444	446	448	450	452	454	456	458	460	462	464	466	468	470	472	474	476	478	480	482	484	486	488	490	492	494	496	498	500	502	504	506	508	510	512	514	516	518	520	522	524	526	528	530	532	534	536	538	540	542	544	546	548	550	552	554	556	558	560	562	564	566	568	570	572	574	576	578	580	582	584	586	588	590	592	594	596	598	600	602	604	606	608	610	612	614	616	618	620	622	624	626	628	630	632	634	636	638	640	642	644	646	648	650	652	654	656	658	660	662	664	666	668	670	672	674	676	678	680	682	684	686	688	690	692	694	696	698	700	702	704	706	708	710	712	714	716	718	720	722	724	726	728	730	732	734	736	738	740	742	744	746	748	750	752	754	756	758	760	762	764	766	768	770	772	774	776	778	780	782	784	786	788	790	792	794	796	798	800	802	804	806	808	810	812	814	816	818	820	822	824	826	828	830	832	834	836	838	840	842	844	846	848	850	852	854	856	858	860	862	864	866	868	870	872	874	876	878	880	882	884	886	888	890	892	894	896	898	900	902	904	906	908	910	912	914	916	918	920	922	924	926	928	930	932	934	936	938	940	942	944	946	948	950	952	954	956	958	960	962	964	966	968	970	972	974	976	978	980	982	984	986	988	990	992	994

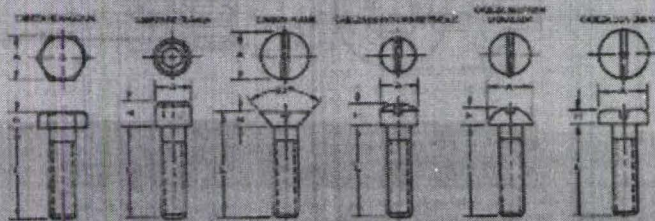
**SUMA DE LOS DIÁMETROS DE BANDA EN V Y POLEA-DIMENSIONES EN MILÍMETROS (MÉTRICAS)**

Distancia entre centros de las poleas	Diámetro de la polea	Diámetro de la banda	Suma de los diámetros de banda en V																																																																																																																																																																												
			125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655	660	665	670	675	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805	810	815	820	825	830	835	840	845	850	855	860	865	870	875	880	885	890	895	900	905	910	915	920	925	930	935	940	945	950	955	960	965	970	975	980	985

Figura 17-1-13 Determinación de la longitud de la banda en V con el diámetro de la polea y distancia entre centros. (T.R. Hoop's Sons Co.)

SERIE	SERIE 1		SERIE 2		SERIE 3		SERIE 4		SERIE 5		SERIE 6		SERIE 7		SERIE 8	
	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR	DIAM. EXTERIOR	DIAM. INTERIOR
1,6	0,35	1,25														
2	0,35	1,45														
2,5	0,4	1,6														
3	0,45	1,75														
4	0,45	2,05														
5	0,5	2,5														
6	0,6	2,9														
8	0,7	3,3														
10	0,75	3,7														
12	0,8	4,2														
14	1	5,0														
16	1,25	6,7	1	7,0												
18	1,5	8,5	1,25	8,7												
20	1,75	10,2	1,25	10,8												
22	2	12	1,5	12,5												
24	2	14	1,5	14,5												
26	2,5	15,5	1,5	16,5												
28	2,5	17,5	1,5	18,5												
30	2,5	19,5	1,5	20,5												
32	3	21	2	22												
34	3	24	2	25												
36	3,5	26,5	2	28												
38	3,5	29,5	2	31												
40	4	32	3	33												
42	4	35	3	36												
44	4,5	37,5	3	39	4	38	3	39	2	40	1,5	40,5				
46	4,5	39	3	42	4	41	3	42	2	43	1,5	43,5				
48	5	43	3	45	4	44	3	45	2	46	1,5	46,5				

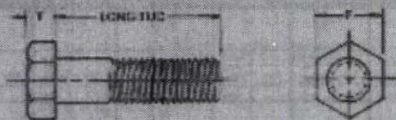
Tabla 9 Tornillos de rosca métrica.



Tamaño	Tamaño		Tamaño		Tamaño		Tamaño		Tamaño		Tamaño		Tamaño		Tamaño	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
750	34	17	40	18	50	24	60	28	70	32	80	36	90	40	100	44
117	30	12	40	18	50	24	60	28	70	32	80	36	90	40	100	44
176	30	12	40	18	50	24	60	28	70	32	80	36	90	40	100	44
215	47	19	54	24	65	31	75	35	85	39	95	43	105	47	115	49
300	73	34	75	36	85	41	95	45	105	49	115	53	125	57	135	59
627	94	47	94	47	112	53	120	57	130	61	140	65	150	69	160	71
750	142	70	142	70	170	85	180	90	190	95	200	100	210	105	220	107

Tabla 10 Magnetas convencional y cabezas de tornillos.

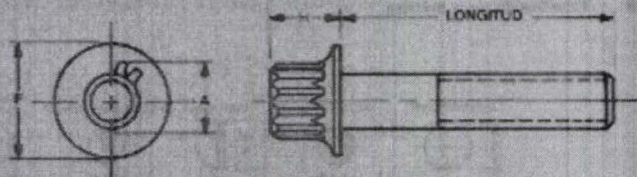
Apéndice



SISTEMA INCHES-PULGADAS			SISTEMA INCHES (MILIMETROS)		
Dimensión nominal del cuerpo	Dimensión nominal de la cabeza F	Espesor	Dimensión nominal del cuerpo	Dimensión nominal de la cabeza F	Espesor
.250	.438	.172	M5 x 0.8	8	3.9
.312	.500	.219	M6 x 1	10	4.7
.375	.562	.250	M8 x 1.25	13	5.7
.438	.625	.297			
.500	.750	.344	M10 x 1.5	15	6.8
.625	.938	.422	M12 x 1.75	18	8
.750	1.125	.500	M14 x 2	21	9.3
.875	1.312	.576	M16 x 2	24	10.5
1.000	1.500	.672	M20 x 2.5	30	13.1
1.125	1.688	.750	M24 x 3	36	15.6
1.250	1.875	.844	M30 x 3.5	46	19.5
1.375	2.062	.906	M36 x 4	55	23.4
1.500	2.250	1.000			

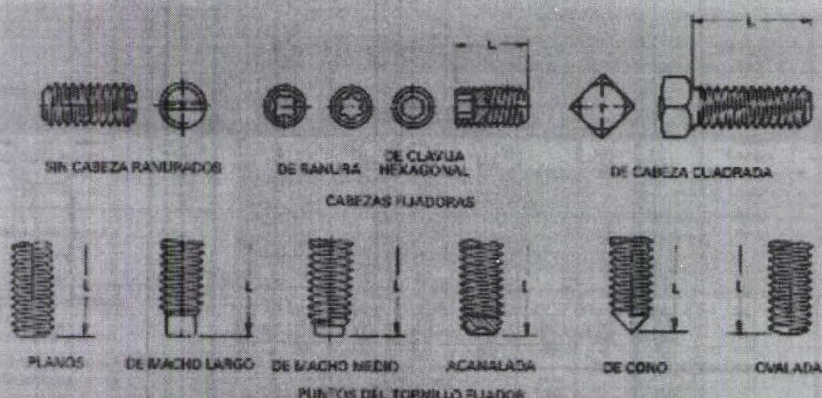
Tabla 11. Pernos con cabeza hexagonal y cabezas de tornillos.

Tabla 12. Tornillos de flange de 12 ranuras.



Dimensión nominal del cuerpo y peso nominal	Dimensión de las cabezas		
	A	B	C
M5 x 0.8	9.4	3.9	5
M6 x 1	11.8	7.4	6.3
M8 x 1.25	15	9.4	8
M10 x 1.5	18.6	11.7	10
M12 x 1.75	22.8	14	12
M14 x 2	26.4	16.3	14
M16 x 2	30.3	18.7	16
M20 x 2.5	37.4	23.4	20

Partes estandar y datos técnicos



PUNTOS DEL TORNILLO FIJADOR

SISTEMA INGLÉS (PULGADAS)		SISTEMA METRICO (MILIMETROS)	
Dimensiones nominales	Dimensiones reales	Dimensiones nominales	Dimensiones reales
175	.66	M7.6	0.7
188	.75	2	0.9
164	.38	3	1.5
190	.79	4	2
250	.12	3	2
317	.16	6	3
375	.19	8	4
300	.25	10	3
625	.3	12	6
750	.38	16	8

Tabla 13 Tornillos fijadores.



SISTEMA INGLÉS (PULGADAS)				SISTEMA METRICO (MILIMETROS)			
Dimensiones nominales de la tuerca	Dimensiones reales			Dimensiones nominales de la tuerca	Dimensiones reales		
	Externa	Interna	Alto		Externa	Interna	Alto
360	430	230	391	M8 x 2.7	7	—	3.2
312	400	256	328	M5 x 3.8	5	4.5	5.3
375	382	308	306	M6 x 1	10	5.5	6.5
418	525	375	453	M6 x 1.25	11	6.6	7.8
508	720	418	382	M10 x 1.5	15	8	10.7
562	675	484	469	M12 x 1.75	18	10.7	12.8
625	635	547	719	M14 x 2	21	12.3	14.9
718	1,125	641	872	M16 x 2	24	14.3	17.4
875	1,111	730	96	M20 x 2.5	30	18.4	21.2
1,000	1,530	899	1,001	M24 x 3	36	21	25.4
1,175	1,680	960	1,156	M26 x 3.5	46	26.7	31
1,330	1,875	1,062	1,263	M30 x 4	55	32	37.6
1,175	2,062	1,177	1,375				
1,300	2,230	1,280	1,500				

Tabla 14 Tuercas de cabeza hexagonal.

**SISTEMA MÉTRICO (EN METROS)**

Dimensión de tuerca nominal y paso de rosas	Distancia entre corac F	Estilo 1				Estilo 2		
		H	J	K	M	H	J	
M6 x 1	10	8.8	3	1	14.2	5.7	3.7	
M8 x 1.25	13	6.6	3.7	1.3	17.1	6	4.5	
M10 x 1.5	15	9.1	5.5	1.5	21.5	11.2	6.7	
M12 x 1.75	18	11.6	6.7	2	25.6	13.5	8.2	
M14 x 2	21	13.8	7.8	2.3	29.6	15.7	9.6	
M16 x 2	24	15.8	9.5	2.5	34.3	18.4	11.7	
M20 x 2.5	30	19.2	11.1	2.8	42.3	22	13.6	

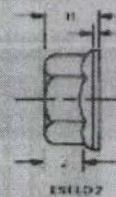
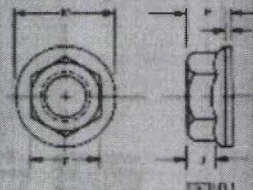
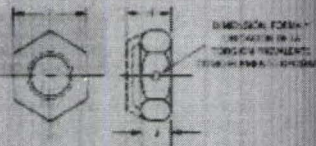


Tabla 15 Tuercas con borde bisagual.

Dimensión nominal de la tuerca y paso de rosas	Distancia entre corac F	TIPO DE BORDO BISEGUAL				TIPO DE BORDO BISEGUAL					
		ESTILO 1		ESTILO 2		ESTILO 1			ESTILO 2		
		H	J	K	M	H	J	K	M	H	J
M6 x 1	10	8.1	2.3	7.6	2.9	7.6	3	1	14.2	8.8	3.7
M8 x 1.25	13	7.6	3	8.8	3.7	9.1	3.7	1.3	17.6	10.3	4.5
M10 x 1.5	15	12	5.5	9	6.7	12	5.5	1.5	21.5	11	6.7
M12 x 1.75	18	14.2	6.7	10.8	8.2	14.8	6.7	2	23.6	16.8	9.2
M14 x 2	21	15.1	7.8	10.9	9.6	16.6	7.8	2.3	26.8	18.9	9.6
M16 x 2	24	16.2	9.5	11.7	10.7	19.9	9.5	2.5	34.2	21.6	11.7
M20 x 2.5	30	20.4	11.1	12.9	11.6	23.6	11.1	2.8	42.3	26.7	13.6
M24 x 3	36	26	13.3	14.4	13.1	30.7	14.4	3	50.3	33.6	15.6
M30 x 3.5	45	33.7	16.4	16	16.1	39.6	16.4	3.5	60.3	42.6	18.6
M36 x 4	55	42	20.1	17.6	22.6	49.6	20.1	4	75.3	51.6	22.6



BORDO BISEGUAL

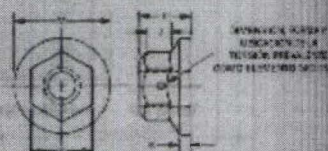


Tabla 16 Tuercas de inserción y de torsión prevalente.



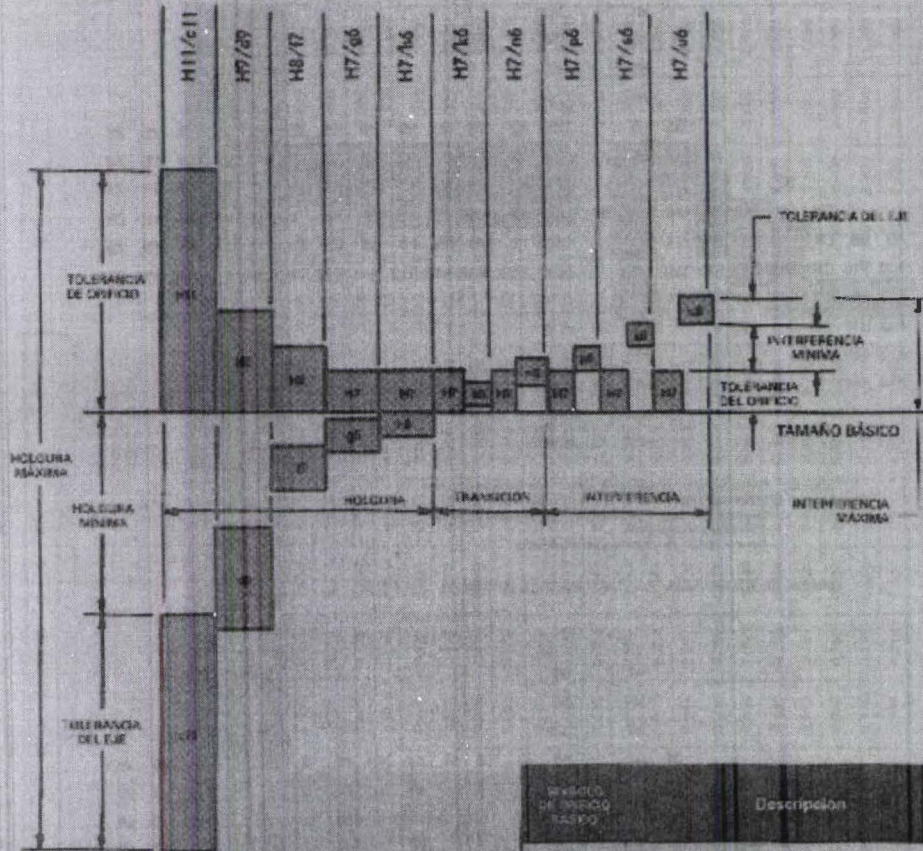
Dim. Nom.	CARGA PLANA										CARGA BISEGUAL									
	CARGA PLANA					CARGA BISEGUAL					CARGA PLANA					CARGA BISEGUAL				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
7	17	22	27	31	35	17	22	27	31	35	17	22	27	31	35	17	22	27	31	35
8	17.5	22.5	27.5	31.5	35.5	17.5	22.5	27.5	31.5	35.5	17.5	22.5	27.5	31.5	35.5	17.5	22.5	27.5	31.5	35.5
9	18	23	28	32	36	18	23	28	32	36	18	23	28	32	36	18	23	28	32	36
10	18.5	23.5	28.5	32.5	36.5	18.5	23.5	28.5	32.5	36.5	18.5	23.5	28.5	32.5	36.5	18.5	23.5	28.5	32.5	36.5
12	20	25	30	34	38	20	25	30	34	38	20	25	30	34	38	20	25	30	34	38
14	22	27	32	36	40	22	27	32	36	40	22	27	32	36	40	22	27	32	36	40
16	24	29	34	38	42	24	29	34	38	42	24	29	34	38	42	24	29	34	38	42
18	26	31	36	40	44	26	31	36	40	44	26	31	36	40	44	26	31	36	40	44
20	28	33	38	42	46	28	33	38	42	46	28	33	38	42	46	28	33	38	42	46
22	30	35	40	44	48	30	35	40	44	48	30	35	40	44	48	30	35	40	44	48
24	32	37	42	46	50	32	37	42	46	50	32	37	42	46	50	32	37	42	46	50
27	35	40	45	50	55	35	40	45	50	55	35	40	45	50	55	35	40	45	50	55
30	38	43	48	53	58	38	43	48	53	58	38	43	48	53	58	38	43	48	53	58
36	44	49	54	59	64	44	49	54	59	64	44	49	54	59	64	44	49	54	59	64
42	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70
48	56	61	66	71	76	56	61	66	71	76	56	61	66	71	76	56	61	66	71	76
54	62	67	72	77	82	62	67	72	77	82	62	67	72	77	82	62	67	72	77	82
60	68	73	78	83	88	68	73	78	83	88	68	73	78	83	88	68	73	78	83	88
66	74	79	84	89	94	74	79	84	89	94	74	79	84	89	94	74	79	84	89	94
72	80	85	90	95	100	80	85	90	95	100	80	85	90	95	100	80	85	90	95	100
78	86	91	96	101	106	86	91	96	101	106	86	91	96	101	106	86	91	96	101	106
84	92	97	102	107	112	92	97	102	107	112	92	97	102	107	112	92	97	102	107	112
90	98	103	108	113	118	98	103	108	113	118	98	103	108	113	118	98	103	108	113	118
96	104	109	114	119	124	104	109	114	119	124	104	109	114	119	124	104	109	114	119	124
102	110	115	120	125	130	110	115	120	125	130	110	115	120	125	130	110	115	120	125	130
108	116	121	126	131	136	116	121	126	131	136	116	121	126	131	136	116	121	126	131	136
114	122	127	132	137	142	122	127	132	137	142	122	127	132	137	142	122	127	132	137	142
120	128	133	138	143	148	128	133	138	143	148	128	133	138	143	148	128	133	138	143	148
126	134	139	144	149	154	134	139	144	149	154	134	139	144	149	154	134	139	144	149	154
132	140	145	150	155	160	140	145	150	155	160	140	145	150	155	160	140	145	150	155	160
138	146	151	156	161	166	146	151	156	161	166	146	151	156	161	166	146	151	156	161	166
144	152	157	162	167	172	152	157	162	167	172	152	157	162	167	172	152	157	162	167	172
150	158	163	168	173	178	158	163	168	173	178	158	163	168	173	178	158	163	168	173	178
156	164	169	174	179	184	164	169	174	179	184	164	169	174	179	184	164	169	174	179	184
162	170	175	180	185	190	170	175	180	185	190	170	175	180	185	190	170	175	180	185	190
168	176	181	186	191	196	176	181	186	191	196	176	181	186	191	196	176	181	186	191	196
174	182	187	192	197	202	182	187	192	197	202	182	187	192	197	202	182	187	192	197	202
180	188	193	198	203	208	188	193	198	203	208	188	193	198	203	208	188	193	198	203	208
186	194	199	204	209	214	194	199	204	209	214	194	199	204	209	214	194	199	204	209	214
192	200	205	210	215	220	200	205	210	215	220	200	205	210	215	220	200	205	210	215	220
198	206	211	216	221	226	206	211	216	221	226	206	211	216	221	226	206	211	216	221	226
204	212	217	222	227	232	212	217	222	227	232	212	217	222	227	232	212	217	222	227	232
210	218	223	228	233	238	218	223	228	233	238	218	223	228	233	238	218	223	228	233	238
216	224	229	234	239	244	224	229	234	239	244	224	229	234	239	244	224	229	234	239	244
222	230	235	240	245	250	230	235	240	245	250	230	235	240	245	250	230	235	240	245	250
228	236	241	246	251	256	236	241	246	251	256	236	241	246	251	256	236	241	246	251	256
234	242	247	252	257	262	242	247	252	257	262	242	247	252	257	262	242	247	252	257	262
240	248	253	258	263	268	248	253	258	263	268	248	253	258	263	268	248	253	258	263	268
246	254	259	264	269	274	254	259	264	269	274	254	259	264	269	274	254	259	264	269	274
252	260	265	270	275	280	260	265	270	275	280	260	265								

Partes estándares y datos técnicos

TIPO DE MATERIAL	FORMACIÓN DE LA CUERDA						CORTE DE LA ROSCA			AUTOLUBRIFICANTE			
	TIPO A	TIPO B	TIPO AB	CANAL EN LA FONAL	FORMA DE SILLAS	FORMA DE SILLAS	TIPO U	TIPO 21	TIPO F	TIPO L	TIPO B-F	DE TAL O DADO RÁPIDO	CON OROSCO
HOJA DE METAL #126 A 0400 H. de espesor 0.4 a 1.2 mm Acero, cobre, aluminio, titanio, etc.													
HOJA DE ACERO FUNDIBLE 0-15 A H. de espesor 0.4 a 1.2 mm													
HOJA DE METAL 30 A 21 H. de espesor 1.2 a 5 mm Acero, cobre, aluminio, etc.													
ACERO ESTRUCTURAL 20 a 50 H. de espesor 1.2 a 1 mm													
PIEZA FUNDIDA Aluminio, magnesio, zinc, cobre, titanio, etc.													
PIEZA FUNDIDA Hierro gris, hierro maleable, acero, etc.													
FUNDIDOS Acero, titanio, etc.													
PLYWOOD, resina impregnada Vidrio, caucho, etc. MADERAS NATURALES													
ADHESIVOS y otras composiciones Fibra, aluminio, caucho, etc.													
RESINA FORMALDEHÍDO Melamina, Securit, Duron, etc. Resinas Catalina, Marmolite, etc. Laminadas, Formica, etc.													
FORMALDEHÍDO DE UREA Weldbond, Plonite, etc. FORMALDEHÍDO DE SCLANINA Mecanite, etc.													
ACETATOS Y NITRATOS DE CELULOSA Acetato, Nitrat, etc. RESINAS DE ACRILATO Y ESTIRENO Lusta, Plexiglas, System, etc.													
PLÁSTICOS DE NYLON Nylon, Tynd													

Tabla 15 Guía para seleccionar tornillos con corte de rosca.

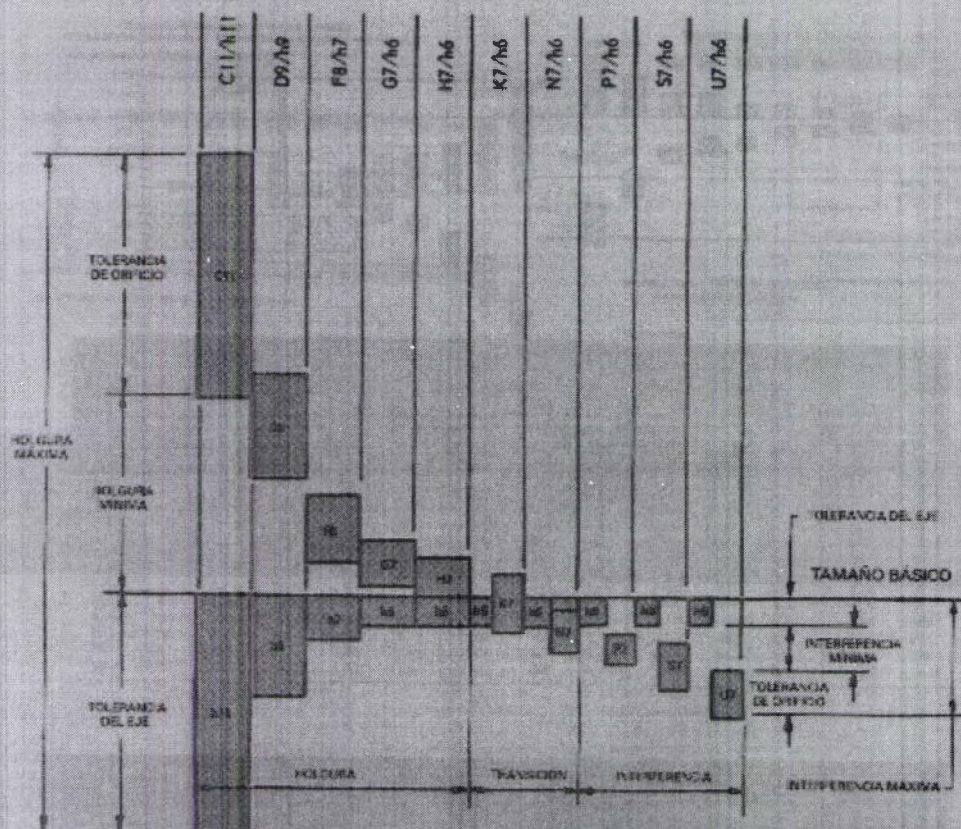
Apéndice



Tolerancia	Descripción
H11/c11	Ajuste de rotación libre holgado para tolerancias comerciales ordinarias o superiores en diámetros extremos
H9/d9	Ajuste de rotación libre apropiado donde la presión es esencial, pero sólo en lugares con grandes variaciones de temperatura, altas velocidades de rotación o presión de jornada diñe
H7/g6	Ajuste de rotación cerrada para rotación en exigencia de precisión y para la ubicación suelta con vibraciones y presiones de choque moderadas
H7/h6	Ajuste de deslizamiento no adecuado para rotación libre, sino para mover y girar con libertad, así como abisar con precisión

Intervalo de ajuste	Descripción
H7/h6	El ajuste con holgura de ubicación proporciona un ajuste exacto para ubicar partes estacionarias y puede ensamblarse y desensamblarse con facilidad
H7/k6	Ajuste de transición de ubicación para ubicación exacta, una relación entre holgura e interferencia
H7/n6	Ajuste de transición de ubicación para ubicación más exacta donde se permite mayor interferencia
H7/p6	Ajuste de interferencia de ubicación para partes que requieren rigidez y alineación con una importante precisión de ubicación, pero sin requisitos en brocas de precisión especiales
H7/s6	Ajuste de arrastre medio adecuado para partes ordinarias de acero o alúminio por asentamiento en secciones ligadas; ajuste con más fuerza, útil en hierro colado
H7/u6	Ajuste de presión adecuado para partes que pueden someterse a altas presiones o para ajustes de calentamiento donde las altas presiones requieren con poco prácticas

Tabla 4.1. Descripción de los ajustes con base en orificio preferente.



SÍMBOLO BÁSICO DEL EJE	DESCRIPCIÓN
C11/h11	Ajuste de rotación libre holgado para tolerancias comerciales venidas o tolerancias en miembros
D9/h9	Ajuste de rotación libre no apropiado donde la precisión es esencial, pero útil en ligeros con grandes variaciones de temperatura, altas velocidades de rotación o presión de jornada difícil
F8/h7	Ajuste de rotación cerrada para rotación en maquinaria de precisión y para la ubicación exacta con velocidades y presiones de jornada moderadas
G7/h6	Ajuste de deslizamiento no apropiado para rotación libre, sino para mover y girar con libertad, así como usar con pastillas
H7/h6	El ajuste con holgura de ubicación proporciona un ajuste exacto para utilizar partes intercambiables y puede ensamblarse y desensamblarse con facilidad

SÍMBOLO BÁSICO DEL EJE	DESCRIPCIÓN
K7/h6	Ajuste de transición de ubicación para ubicación exacta, una vez hecha entre holgura e interferencia
N7/h6	Ajuste de transición de ubicación para ubicación más exacta donde se permite mayor interferencia
P7/h6	Ajuste de interferencia de ubicación para partes que requieren rigidez y precisión con una importante precisión de ubicación, pero sin requisitos en brutas de presión especiales
S7/h6	Ajuste de presión moderado adecuado para partes ordinarias de acero o ajustes por calentamiento en secciones ligeras; ajuste con más fuerza útil con hierro colado
U7/h6	Ajuste de presión adecuado para partes que pueden someterse a altas presiones o para ajustes de calentamiento donde las altas presiones requieren un poco prácticas

Tabla 42 Descripción de ajustes con base en eje preferente.



Carlos González • Ramón Zeleng

# METROLOGÍA

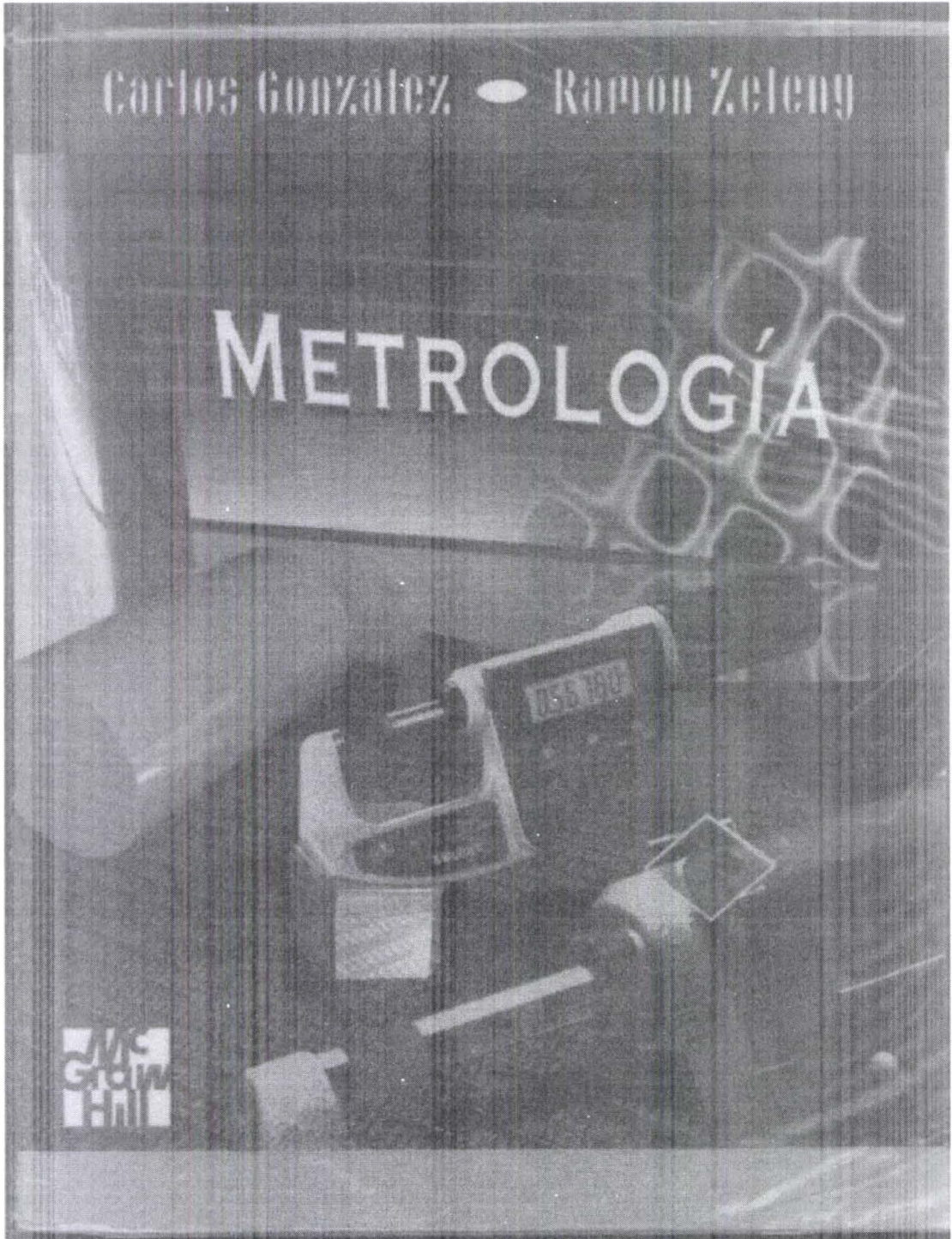




Tabla 15.7 (Continuación)

p6	+12	+20	+24	+29	+35	+42	+51	+59	+68	+79	+88	+98
	+6	+12	+15	+18	+22	+26	+32	+37	+43	+50	+56	+62
e7	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-125
	-24	-32	-40	-50	-61	-75	-90	-107	-125	-145	-162	-182
f7	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62
	-16	-22	-28	-34	-41	-50	-60	-71	-83	-96	-108	-119
h7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-57
e8	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-125
	-28	-38	-47	-59	-73	-89	-106	-126	-148	-172	-191	-214
f8	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62
	-20	-28	-35	-43	-53	-64	-76	-90	-106	-122	-137	-151
h8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-14	-18	-22	-27	-33	-39	-46	-54	-63	-72	-81	-89
d9	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-210
	-45	-60	-76	-93	-117	-142	-174	-207	-245	-285	-320	-350
e9	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85	-100	-110	-125
	-39	-50	-61	-75	-92	-112	-134	-159	-185	-215	-240	-265
d	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145	-170	-190	-210
	-80	-105	-130	-160	-195	-240	-290	-340	-395	-460	-510	-570
h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-60	-75	-90	-110	-130	-160	-190	-220	-250	-290	-320	-360
k	+30	+37	+45	+55	+65	+80	+95	+110	+125	+145	+160	+180
	-30	-37	-45	-55	-65	-80	-95	-110	-125	-145	-160	-180

## ANEXO 3

### COSTOS DEL PROYECTO

El método utilizado en la determinación de los costos del proyecto es el de *costos por orden de trabajo*. A continuación se detalla la hoja de costos de cada una de las máquinas y después la justificación de los gastos (facturas y recibos).

**Nota.-** Los costos de mano de obra directa en pulidora metalográfica, fueron realizados por el autor de este trabajo (160 HORAS DE SOLDADURA Y CERRAJERÍA), pero para propósitos de uso referencial de la hoja de costos se consideró este valor como un gasto.

HOJA DE COSTOS DE PRENSA INCLUIDORA DE MUESTRAS				
MPD		COSTO HORA		1,42
Fecha	Concepto	COSTO	IVA	CAJA
22/02/2005	Gata botella MINTCRAFT	16,21	1,95	18,16
23/02/2005	Acero Norma AISI/SAE 1045 V945 55MM	31,02	3,72	34,74
23/02/2005	Acero Norma AISI/SAE 1018 E920 60MM	17,71	2,13	19,84
24/02/2005	Oxicortes 25mm	29,9	3,59	33,49
17/03/2005	Prisionero 10 mm x 20 mm	2,86	0,34	3,2
13/04/2005	Prisionero 3.8" x 1 1/4"	0,99	0,12	1,11
21/05/2005	Resortes	8	0,96	8,96
07/07/2005	Lana Vidrio	3,3	0,4	3,7
<b>SUB TOTAL</b>		<b>109,99</b>	<b>13,21</b>	<b>123,2</b>
MOD				
Fecha	Concepto	COSTO	IVA	CAJA
19/03/2005	Construcción piezas según Planos	160	0	160
22/03/2005	Huecos roscados en pernos	6	0	6
09/04/2005	Cilindros	30	0	30
SIN FECHA	24 HORAS CALIBRADA Y ARMADA	34,04	0	0
<b>SUB TOTAL</b>		<b>230,04</b>	<b>0</b>	<b>196</b>
CIF				
MPI		COSTO	IVA	CAJA
24/03/2005	Anticorrosivo Negro	1,25	0,15	1,4
02/06/2005	Brocas, cepillos, gratas, puntas	6,74	0,81	7,55
21/05/2005	Masilla plástica	3,92	0,47	4,39
12/07/2005	Silicón formada rojo	2,23	0,27	2,5
12/07/2005	Broca de Titanium 3/16"	0,36	0,04	0,4
12/07/2005	Guantes cuero largo reforzados	3,57	0,43	4
24/03/2005	Lija hierro fandeli mediana 80	0,89	0,11	1
24/03/2005	Gratas C/V Fandeli	3,08	0,37	3,45
<b>SUB TOTAL</b>		<b>22,04</b>	<b>2,65</b>	<b>24,69</b>
<b>TOTAL</b>		<b>362,07</b>	<b>15,86</b>	<b>343,89</b>

<b>HOJA DE COSTOS DE PULIDORA METALGRÁFICA</b>				
<b>MPD</b>		<b>COSTO HORA</b>		<b>1,42</b>
<b>Fecha</b>	<b>Concepto</b>	<b>COSTO</b>	<b>IVA</b>	<b>CAJA</b>
07/02/2005	Paño D07	10,52	1,26	11,78
09/02/2005	Banda Fandelli 4 x 30 W98/220	6	0,72	6,72
09/02/2005	Banda Fandelli 4 x 30 W98/320	6	0,72	6,72
09/02/2005	Banda Fandelli 4 x 30 W98/400	6	0,72	6,72
09/04/2005	Chumaceras de Piso 1"	25,2	3,02	28,22
09/04/2005	Polea nacional aluminio simple 10	12,29	1,47	13,76
09/04/2005	Polea nacional aluminio simple 3	2,02	0,24	2,26
15/04/2005	Polea Ranura 3 1/2" Diamante	2,21	0,27	2,48
17/05/2005	Reencauche rodillos con canales	68	8,16	76,16
30/06/2005	Perno 1/4 x 2	6,48	0,78	7,26
30/06/2005	Perno 1/4 x 1	5,4	0,65	6,05
30/06/2005	Perno 1/8 x 3/4	0,36	0,04	0,4
30/06/2005	Cola de Pato 14 x 1	2,4	0,29	2,69
03/06/2005	Correa en V Industrial	5,63	0,68	6,31
<b>SUB TOTAL</b>		<b>158,51</b>	<b>19,02</b>	<b>177,53</b>
<b>MOD</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Concepto</b>	<b>COSTO</b>	<b>IVA</b>	<b>CAJA</b>
16/04/2005	Construcción 2 ejes	85	0	85
13/07/2005	Doblaje toles	30	0	30
SIN FECHA	160 HORAS SOLDADURA Y CERRAJERIA	226,94	0	226,94
<b>SUB TOTAL</b>		<b>341,94</b>	<b>0</b>	<b>341,94</b>
<b>CIF</b>				
<b>MPI</b>		<b>COSTO</b>	<b>IVA</b>	<b>CAJA</b>
24/03/2005	Anticorrosivo Negro	1,25	0,15	1,4
02/06/2005	Brocas, cepillos, gratas, puntas	6,74	0,81	7,55
04/06/2005	Electrodo	1,28	0,15	1,43
04/06/2005	Sierra	2,66	0,32	2,98
04/06/2005	Llave combinada	8,24	0,99	9,23
08/06/2005	Angulo 40mm x 4mm x 5.5 m	35,49	4,26	39,75
08/06/2005	Platina 1/2" x 1/8" Blanda (12x3)	2,8	0,34	3,14
08/06/2005	Disco corte Hierro 7" (7x1/8x7/8")	2,25	0,27	2,52
09/06/2005	Carbones M23	3,21	0,39	3,6
21/06/2005	Carbones M50	1,46	0,18	1,64
<b>SUB TOTAL</b>		<b>65,38</b>	<b>7,86</b>	<b>73,24</b>
<b>TOTAL</b>		<b>565,83</b>	<b>26,88</b>	<b>592,71</b>

Facturas y Recibos:



**IMPORTPERROS**

GINA FERRANDA GUERRA OYANEDA  
RUC: 1708617603

**FACTURA**  
No. 001-001-0016296  
AUT BR: 1102942112

Av. La Princesa 1645 y el Tejonado • Tel: 2297 191 • Telefax: 2430 656  
e-mail: importperros@bolivia.com

FECHA	17/06/2005	CATEGORIA	CONTADO	VENCER	17/06/2005
DIR (ES)	811868 LUSTRA	COD. CLIENTE	955557		
DIRECCION		NIPED No.			
Ciudad		DIC			
FAX		FORMA DE ENVI			
TELEFONO					
RUC	17104218-9				

DESCRIPCION	DE DEDUCCION	CANT.	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1304232	PRESTADORES DE SERVICIOS	0.00	0.3571	2.86 1
IMPORTE TOTAL				
SUBTOTAL	2.86	DEUCLORNO	0.00	0.00
IVA	0.12	IVA	0.12	0.12
TOTAL A PAGAR	3.00			

SERVIZ: UNO CON 13/100 BOLIVIANOS

IMPORTE TOTAL: 3.00

RECIBI CONFORME

Firma y Sello

RECIBI CONFORME

Firma y Sello

IMPORTE TOTAL: 3.00

Firma y Sello

**IMPORTPERROS**

GINA FERRANDA GUERRA OYANEDA  
RUC: 1708617603

**FACTURA**  
No. 001-001-0016676  
AUT BR: 1102942112

Av. La Princesa 1645 y el Tejonado • Tel: 2297 191 • Telefax: 2430 656  
e-mail: importperros@bolivia.com

FECHA	17/06/2005	CATEGORIA	CONTADO	VENCER	17/06/2005
DIR (ES)	811868 LUSTRA	COD. CLIENTE	955557		
DIRECCION		NIPED No.			
Ciudad		DIC			
FAX		FORMA DE ENVI			
TELEFONO					
RUC	17104218-9				

DESCRIPCION	DE DEDUCCION	CANT.	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1304232	PRESTADORES DE SERVICIOS	3.00	0.3556	2.59 1
IMPORTE TOTAL				
SUBTOTAL	2.59	DEUCLORNO	0.00	0.00
IVA	0.12	IVA	0.12	0.12
TOTAL A PAGAR	2.71			

SERVIZ: UNO CON 13/100 BOLIVIANOS

IMPORTE TOTAL: 2.71

RECIBI CONFORME

Firma y Sello

RECIBI CONFORME

Firma y Sello

IMPORTE TOTAL: 2.71

Firma y Sello







**I**

**NOTA DE VENTA**

Nº 0008705

AUT S R I 110260235

Fecha: 12/07/05

Código: 20705

**I MPI**

INFORMADORA EL ROSADO CIA. LTDA  
 AV. LA PARRA Y BABANILLA  
 MATRIZ 9 DE OCTUBRE 1929  
 MATRIZ 9 DE OCTUBRE 1929  
 BARRA - BAYASIL  
 RUC 207000417600

CONTO

CON HIPERMARCA LA PRENSA  
 SIEMPRE DE TIPO A MENOR PRECIO

ITEM	VALOR
1 BARBOTE MUELLA P/LA	3,00
2 BUDIN... S.	1,50
3 V. S. 12X 1	0,40
TOTAL	4,90
DOLARES	10,00
TIP. CAMBIO 4	0,40

2005/07/12 - 8:00 AM  
 R. 111 7. Cont: 20705 17:12:01  
 Mto. Tarifa 17 1,50  
 52544017835 MATRIZ 9 DE OCTUBRE  
 Factura: 014-005-0194067  
 Autorización SPI: 110260235  
 Válido/Aut. hasta: 2006/02/27  
 CONTRIBUYENTE EFECTIVO  
 NUMERO DE RESOLUCION: 06725  
 Consumidor Final  
 ORIGINAL CLIENTE  
 MUCHAS GRACIAS POR SU COMPRA  
 CAMBIO CON ESTA FACTURA  
 EN PROMOCION Y RIFA INTERIOR  
 AL MAY DEUOLACION

CONCEPTO	V. Unit.	V. TOTAL
1 Sif. con Forma da-nosa 30x Proseal	250	250
<b>TOTAL \$</b>		<b>250</b>

ENTREGADO

**REPRESENTACIONES ACAZA S.A.**  
 RUC: 179851156091  
 IMPORTADORES DE FENESTERA LINDAS PANDELI BROCAE  
 DISCOS ABRASADOS PREMIER LICK - TIGRO Y PLANOS AS YOLCAN  
 REPRESENTACIONES ACAZA ALFREDO CAZA S.A.

**NOTA DE VENTA**

001-001 050877

Día Mes Año

12 Julio 2005

Código	DESCRIPCION	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
810/1a	DISCA DE TITANIO 3/16"	1,00 UND	0,40	0,40
810/1a	GUANTES CUERO LARGOS REFORZADOS 1	1,00 PWR	4,00	4,00

**CANCELADO**

Ch. No. \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

ENTREGADO 11 JUL 2005

**TOTAL USD: \$ 4,40**

QUITO INTER: Av. América 933-90 y R. República - Telef: 256 0795/244 8775 / 2504162 - B.O. BOX 17-13236 - Quito Ecuador - E-mail: cacaza@quito.com.ec  
 QUITADUOL: Abajal ocaso: 1262 y A. de España - Telef: 226 7907 / 2267800 - Fax: 226 8108  
 4004582875



**REPRESENTACIONES ACAZA S.A.**

RUC: 1796551166001  
 IMPORTADORES DE FERRISTERIA - LLAVES FANDELI - BROCHAS  
 DISCOS ABRASIVOS PRE-MIXTOS - YESO Y PLANCHAS VOLCAN  
 REPRESENTACIONES ACAZA ALFREDO CAZA S.A.

AUT. SRI: 1096962334

**NOTA DE VENTA**

001-001 **048304**

Día Mes Año  
 24 Marzo 2005

Cliente: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_ RUC/CI: \_\_\_\_\_

Código	DESCRIPCION	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
ALFO0001H	LLAVE HIERRO FANDELI MEDIANA 20	2,00 UN	0,500	1,00
ALFO0001H	GRITAS C/V FANDELI 1/2" x 3/4"	1,00 UN	1,400	1,40

**CANCELADO**

Ch. No: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_

**TOTAL USD: \$**

QUITO MATRIZ: Av. Amalva 1896 y Rumbapamba - Teléfono: 245 0165 / 244 9775 / 2554782 - P.O. BOX 17-12238 - Quito-Ecuador - Email: saca@alfo.com.ec  
 GUAYAZUL: Avda. Jassano 1202 y Av. de Ejercito - Teléfono: 228 7870 / 2287800 - Fax: 228 8136

ADICIONALES



**REPRESENTACIONES ACAZA S.A.**

RUC: 1796551166001  
 IMPORTADORES DE FERRISTERIA - LLAVES FANDELI - BROCHAS  
 DISCOS ABRASIVOS PRE-MIXTOS - YESO Y PLANCHAS VOLCAN  
 REPRESENTACIONES ACAZA ALFREDO CAZA S.A.

AUT. SRI: 1102713361

**NOTA DE VENTA**

001-001 **049891**

Día Mes Año  
 23 Marzo 2005

Cliente: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_ RUC/CI: \_\_\_\_\_

Código	DESCRIPCION	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
PLATA-AL3	PUNTA-PORTAKEY HERRILL A 60 20X30MM	1,00 UN	2,500	2,50
ALFO0001H	GRITAS C/V FANDELI 20" x 1/4"	1,00 UN	5,300	5,30
ALFO0001H	ALISO CEPILLO CINDA 1/2" x 25" x 25"	1,00 UN	1,00	1,00
ALFO0001H	BROCHA DE TRINCHER 1/2"	2,00 UN	0,600	1,20
ALFO0001H	BROCHA DE TRINCHER 1/2"	2,00 UN	0,500	1,00
ALFO0001H	BROCHA DE TRINCHER 1/2"	1,00 UN	2,500	2,50
		?	50%	
		1	50%	

**CANCELADO**

**TOTAL USD: \$** 15,10

QUITO MATRIZ: Av. Amalva 1896 y Rumbapamba - Teléfono: 245 0165 / 244 9775 / 2554782 - P.O. BOX 17-12238 - Quito-Ecuador - Email: saca@alfo.com.ec  
 GUAYAZUL: Avda. Jassano 1202 y Av. de Ejercito - Teléfono: 228 7870 / 2287800 - Fax: 228 8136

ADICIONALES







**SUPERCAUCHOS WALDORU Cía. Ltda.**

ESTRATA EL VALLENTINO 001 - FARMICIA  
 Callejón De los Acacuchos 41, 43 y Av. El Dorado  
 Tel: 247 8869 - 247 1907  
 ESTABLECIMIENTO 002: ALMACÉN NOURTE  
 Av. de los Acacuchos 1 y 4to 1904 y Juan de Vaca 1804  
 245-4565 • Telefax: 240 5815  
 Quito - Ecuador



RUC: 1791082311001  
 FACTURA  
 Serie: 001-001  
 No 0008591  
 AUT. SRI: 1102735040  
 CUIDA DE RESERVA # 4154

FECHA: 17 May 05      Fecha de vencimiento: 17 May 05  
 EMPRESA: Ing. Edgardo Latorre  
 DIRECCION: De los Cedros 06:31:37 y Real Andorina, Fono: 2530-295  
 RUC: ACI 1711466411001      Vendedor: PIMATA

CANT.	REP.	DETALLE	VOLUMEN	VALOR
2		Reservante de rodillos con engrases 1 litro MA-20-25 Es. ACOMO REC 1665 \$ 40	36.00	68.00
Total en letras: TREINTA Y SEIS CON CINCO CENTAVOS			168.00	68.00
Deducción			12	8.16
TOTAL \$				76.16

Cancela: RUC: CH #      Fecha:      Ord. Trabajo No 3594

**IMPORTERROS**

GINA FERNANDA GUERRA ONTANEDA  
 RUC: 1704605490001

FACTURA

No: 001-001: 0019590  
 AUT SRI: 1102899280

FECHA: 30/06/05      PERIODO DE VENTA:      VENCIMIENTO:      COD. CLIENTE:      REPED. No:      DICI:      FORMA DE PAGO:      DIBO:      CODIGO:      VALOR CONTADO:      VALOR CONTADO:      VALOR CONTADO:

DE BENEFICION LATORRE  
 DIRECCION: De los Cedros y Real Andorina  
 CIUDAD: QUITO      TELEFONO: 2530295  
 FAX:      RUC: 1711466411001

ORD.	CANTIDAD	DESCRIPCION	UNID.	% DEDUCCION	VALOR CONTADO
	1/4	Peso 1/4 2 Comon	012	9	6.40
	1/4	Peso 1/4 1 Comon	12	0.45	5.40
	1/4	Peso 1/4 3/4	12	0.03	0.36
	1/4	COCC PAVOS M/L	60	0.04	2.40
TOTAL A PAGAR					14.56


RECIBI COMPORTE      REPORTE      IMPRESA AUTOMATICA Y SELLO


VALOR TOTAL A PAGAR:      IMPRESA AUTOMATICA Y SELLO


**FERRETERÍA AMERICANA CIA. LTDA.**  
**IMPORTADORES**  
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL Asociación No. 143


AV. AMÉRICA N° 411 ENTRE BOGOTÁ Y CARACAS  
 TELEFONO: 2608205 - 2608204 - 2608206 - 2608207  
 CELULAR: 091707387 - Fax: (593 2) 2608204  
 CABELLA: 19-01-2707 - e-mail: javier@ferreteria.net.ec  
 QUITO - ECUADOR  
 R.U.C. 170002324801


**FACTURA**  
 No. 001-001-0026394  
 AUTORIZACIÓN BRI No. 1000076000


  
 LUMINEX  
 TERCEROS DE  
 INTERRUPTORES  
 MADE IN COLOMBIA


  
 CAMPBELL  
 HAUSFELD  
 COMPRESORES  
 MADE IN USA

  
 THOMAS  
 SPRAY GUN

  
 GATO  
 CERRADURAS  
 MADE IN COLOMBIA

  
 CISA  
 CERRADURAS - CERRADOR  
 CERRADURAS ELÉCTRICAS  
 MADE IN ITALIA - ITALIA

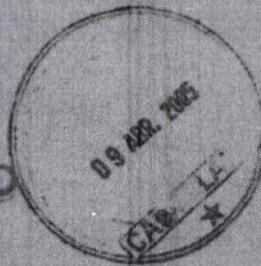
  
 WEG  
 MOTORES

  
 ERICSSON  
 NOKIA  
 CONNECTING PEOPLE

ESTADOS: CLIENTES WIRIOS  
 R.U.C.C.I.:  
 DIRECCIÓN:  
 TELEFONO:  
 CÓDIGO: 0000000    ORDEN: 0002634    HORA: 12:57:36

EMISIÓN: 09/04/2005    VENCIMIENTO: 09/04/2005  
 VENDEDOR: CLIENTES WILLIAMS  
 TRANSPORTISTA:  
 C.I.:  
 GUÍA DE REMISIÓN

CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	VALOR IVA
4.00	66.51.006	266.402.40	25.7040



**CONDICIONES DE PAGO:**  
 100% CASH

SUBTOTAL: USD 292.106.40  
 DESCTO: USD 0.00  
 TARIFA I.V.A. USD 3.00  
**USD 292.106.40**

\*Debo y pagaré incondicionalmente en el lugar que se me reconvenza a orden de FERRETERÍA AMERICANA CIA. LTDA., a 0 días fijos contados desde la fecha de esta factura-pagaré, la cantidad que aparece en el total de esta documentación, más el interés legal a partir de esta fecha, y en caso de mora, el adicional máximo permitido por la Ley, sin protesto.

PREPARADO POR

DIGITADOR

DESPECHADOR

CLIENTE

ACORDANTE



P

# ALMACÉN 'ING. JACOME' TODO PARA GAS

Reguladores Industriales, Servit - Industrias y Domésticos - Centrales - Válvulas  
Cocinas industriales - Fricción - Repuestos para cocinas a gas, Licuadoras y  
Ollas de presión - Químicos Otros - ASESORIA TÉCNICA EN GAS

JACOME GONZALEZ S.R.L. S.A. S. DE C.V.  
Av. 10 de Agosto No. 12 y San Gregorio  
(Frente al Ministerio de Finanzas)  
Tel.: 2 528-050 • Fax: 2 528-550  
Quito - Ecuador

RUC: 17020725001  
Ave. S.R.L.: 1102039076

NOTA DE VENTA 001-001  
Nº 032953

Fecha: 21 Jun 2005 AUC/CI: \_\_\_\_\_  
Señor: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
2 CARRONES M 60	0.81	1.64	
CANCELADO 21 JUN 2005			
TOTAL US. \$			1.64

Impreso: Reprovisión - Ecuador - Ecuavisa S.A. S. de C.V. / RUC: 110204071001 / Av. 10 de Agosto / Frente Impresión - Frente 10 de Agosto 2 528-050  
Impreso: Reprovisión - Ecuador - Ecuavisa S.A. S. de C.V. / RUC: 110204071001 / Av. 10 de Agosto / Frente Impresión - Frente 10 de Agosto 2 528-050  
Impreso: Reprovisión - Ecuador - Ecuavisa S.A. S. de C.V. / RUC: 110204071001 / Av. 10 de Agosto / Frente Impresión - Frente 10 de Agosto 2 528-050

P

# ALMACÉN 'ING. JACOME' TODO PARA GAS

Reguladores Industriales, Servit - Industrias y Domésticos - Centrales - Válvulas  
Cocinas industriales - Fricción - Repuestos para cocinas a gas, Licuadoras y  
Ollas de presión - Químicos Otros - ASESORIA TÉCNICA EN GAS

JACOME GONZALEZ S.R.L. S.A. S. DE C.V.  
Av. 10 de Agosto No. 12 y San Gregorio  
(Frente al Ministerio de Finanzas)  
Tel.: 2 528-050 • Fax: 2 528-550  
Quito - Ecuador

RUC: 17020725001  
Ave. S.R.L.: 1102039076

NOTA DE VENTA 001-001  
Nº 032490

Fecha: 09 Jun 2005 AUC/CI: \_\_\_\_\_  
Señor: \_\_\_\_\_  
Dirección: \_\_\_\_\_

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
2 CARRONES M 23	3.60		
CANCELADO 09 JUN 2005			
TOTAL US. \$			3.60

Impreso: Reprovisión - Ecuador - Ecuavisa S.A. S. de C.V. / RUC: 110204071001 / Av. 10 de Agosto / Frente Impresión - Frente 10 de Agosto 2 528-050  
Impreso: Reprovisión - Ecuador - Ecuavisa S.A. S. de C.V. / RUC: 110204071001 / Av. 10 de Agosto / Frente Impresión - Frente 10 de Agosto 2 528-050  
Impreso: Reprovisión - Ecuador - Ecuavisa S.A. S. de C.V. / RUC: 110204071001 / Av. 10 de Agosto / Frente Impresión - Frente 10 de Agosto 2 528-050



**NOTA DE VENTA**  
**004-001-0050806**  
 AUTORIZACION SIN 1102575177  
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL  
 RESOLUCION 2186 DEL 2 JUNIO 1995

SEÑORES: (blank)		PEDIDO No.	FECHA	PAG
R.U.C. (blank)			06/10	
DIRECCION			1985	
PAGO (blank)				

CODIGO ITEM	DESCRIPCION DEL ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
100	100	10.00	10.00	10.00
101	101	1.00	2.10	2.10
102	102	1.00	2.10	2.10

• Le mencionaría viaje por cuenta y riesgo del comprador  
 • Salida la Mercadería de nuestras almacenes no aceptamos reclamos  
 Rogamos no retornar el IVA

DON: (blank) **TOTAL \$:** 14.20

DIPAC SANTA CIA. LTDA. CLIENTE

Lea por favor las condiciones de venta en el orden de DIPAC SANTA CIA. LTDA. Lea atentamente a nombre de DIPAC SANTA CIA. LTDA.

**REQUISIENDO**

MPT

P

EXPEDIENTE EL MUDAN CIA. CIA  
 AV. LA PRENSA Y GABRIELLA  
 MATRIZ Y DE DISTRIBUCION  
 MATRIZ Y DE DISTRIBUCION  
 MATRIZ Y DE DISTRIBUCION  
 MATRIZ Y DE DISTRIBUCION

1. 100.00  
 2. 1.00  
 3. 1.00  
 4. 1.00  
 5. 1.00  
 6. 1.00  
 7. 1.00  
 8. 1.00  
 9. 1.00  
 10. 1.00  
 11. 1.00  
 12. 1.00  
 13. 1.00  
 14. 1.00  
 15. 1.00  
 16. 1.00  
 17. 1.00  
 18. 1.00  
 19. 1.00  
 20. 1.00

2005757001-5-05-01-01-01-01  
 Avda. T. 1000-172 1000-172  
 UPA. 1000-172  
 5-05-01-01-01-01-01  
 Factura: 014-005-01-01-01  
 Autorización SIN: 1102575177  
 Validez del ticket: 001/01/21  
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL  
 NUMERO DE RESOLUCION: 0652  
 CONSUMIDOR FINAL  
 ORIGINAL Y COPIA  
 DIPAC SANTA CIA. LTDA.  
 MATRIZ Y DE DISTRIBUCION  
 EN PRODUCCION Y SUPORTE INTERIOR  
 100 000 000

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.1. Variantes de transmisión angulares: pag. 6
- Fig. 1.2. Vista general e una bomba: pag. 7
- Fig. 1.3. Diseño en detalle de una placa sujetadora: pag. 8
- Fig. 2.1. Diagramas comparativos de esfuerzo – deformación: pag. 14
- Fig. 2.2. Diagrama general de esfuerzo – deformación: pag. 15
- Fig. 2.3. Fracturas a la tracción (tensión): pag. 19
- Fig. 2.4. Fluencia del acero recocido: pag. 19
- Fig. 2.5. Curva verdadera de esfuerzo – deformación para acero dulce recocido a 20 °C:  
pag. 20
- Fig. 2.6. Tres categorías de esfuerzo contra deformación: pag. 22
- Fig. 2.7. Ensayo a la compresión aplicada a la pieza de prueba: pag. 25
- Fig. 2.8. Curva típica de esfuerzo contra deformación ingenieril para un ensayo de compresión: pag. 26
- Fig. 2.9. Efecto de abarrilamiento en un ensayo de compresión: pag. 26
- Fig. 2.10. Doblado de una sección transversal, rectangular: pag. 27
- Fig. 2.11. (a) Esfuerzo cortante; (b) deformación por cortante: pag. 28
- Fig. 2.12. Instalación del ensayo de torsión: pag. 29
- Fig. 2.13. Curva típica de esfuerzo contra deformación al corte en un ensayo de torsión:  
pag. 30
- Fig. 2.14. Métodos de ensayo de la dureza: pag. 31
- Fig. 2.15. Escleroscopio: pag. 34
- Fig. 2.16. Durómetro para pruebas de dureza: pag. 34
- Fig. 2.17. Efecto de laminado en frío sobre las relaciones de deformación – esfuerzo del hierro en lingotes Armco: pag. 43
- Fig. 2.18. Los ensayos de tensión realizados en un material previamente trabajado demuestran que el trabajo en frío incrementa la resistencia y reduce la ductilidad: pag. 49
- Fig. 2.19. El diagrama de equilibrio hierro – carbono: pag. 50

Fig. 2.20. Cambio en la microestructura del acero con el cambio en el contenido de carbón:  
pag. 52

Fig. 2.21. Influencia de la velocidad de enfriamiento sobre el producto de transformación en un acero eutectoide al carbono: pag. 54

Fig. 3.1. a) Muestra montada en baquelita aumentada 2X; b) Muestra montada en lucita aumentada 2X; c) Muestra sostenida en un dispositivo de sujeción de metal aumentada 2X:  
pag. 64

Fig. 3.2. Superficies: a) Esmerilado burdo; b) Después del pulido intermedio en lijas 400; c) Superficie sin rayaduras después del pulido final: pag. 66

Fig. 3.3. Fotomicrografía química, hierro puro al microscopio: pag. 67

Fig. 4.1. Prensa para inclusiones de muestra: pag. 79

Fig. 4.2. Gata: pag. 80

Fig. 4.3. Perno: pag. 82

Fig. 4.4. Columna: pag. 83

Fig. 4.5. Base: pag. 87

Fig. 4.6. Base principal: pag. 87

Fig. 4.7. Tapa: pag. 87

Fig. 4.8. Fuerzas en el sistema: pag. 88

Fig. 4.9. Diagrama de fuerzas: pag. 88

Fig. 4.10. Diagrama de momentos: pag. 89

Fig. 4.11. Tabique de base: pag. 90

Fig. 4.12. Tabique de columnas: pag. 91

Fig. 4.13. Tabique de tapa: pag. 91

Fig. 4.14. Base: pag. 94

Fig. 4.15. Base flotante: pag. 94

Fig. 4.16. Tapa superior: pag. 94

Fig. 4.17. Resorte: pag. 96

Fig. 4.18. Tabique: pag. 98

Fig. 4.19. Cilindro: pag. 98

- Fig. 4.20. Punzón: pag. 99
- Fig. 4.21. Punzón de desarmado: pag. 99
- Fig. 4.22. Pulidora metalográfica: pag. 106
- Fig. 4.23. Motor: pag. 109
- Fig. 4.24. Eje de transmisión: pag. 110
- Fig. 4.25. Triangulación de poleas: pag. 111
- Fig. 4.26. Fuerzas en el eje X: pag. 113
- Fig. 4.27. Gráfica de fuerzas en X: pag. 114
- Fig. 4.28. Gráfica de momentos en X: pag. 115
- Fig. 4.29. Fuerzas en el eje Y: pag. 115
- Fig. 4.30. Gráfica de fuerzas en Y: pag. 116
- Fig. 4.31. Gráfica de Momentos en Y: pag. 117
- Fig. 4.32. Chumacera: pag. 123
- Fig. 4.33. Polea conductora: pag. 123
- Fig. 4.34. Polea conducida: pag. 124
- Fig. 4.35. Banda de transmisión: pag. 124
- Fig. 4.36. Prisionero 2: pag. 126
- Fig. 4.37. Prisionero: pag. 126
- Fig. 5.1. Proceso de maquinado: pag. 129
- Fig. 5.2. Careado o Refrentado: pag. 130
- Fig. 5.3. Torneado ahusado: pag. 130
- Fig. 5.4. Torneado de contornos: pag. 131
- Fig. 5.5. Formado en torno: pag. 131
- Fig. 5.6. Achaflanado: pag. 131
- Fig. 5.7. Tronzado: pag. 132
- Fig. 5.8. Roscado: pag. 132
- Fig. 5.9. Perforado: pag. 132
- Fig. 5.10. Taladrado: pag. 133
- Fig. 5.11. Moleteado: pag. 133

- Fig. 5.12. Taladrado de agujeros: pag. 134
- Fig. 5.13. Escariado: pag. 135
- Fig. 5.14. Roscado interior: pag. 135
- Fig. 5.15. Abocardado: pag. 135
- Fig. 5.16. Avellanado: pag. 136
- Fig. 5.17. Centrado: pag. 136
- Fig. 5.18. Refrentado: pag. 136
- Fig. 5.19. Soldadura metálica con arco protegido (de varilla): pag. 140
- Fig. 5.20. Soldadura metálica con arco protegido: pag. 140
- Fig. 5.21. Doblado de lámina metálica: pag. 143
- Fig. 5.22. Mezcladores usados en el procesamiento de hule. Molino de dos rodillos (izquierda); Mezclador interno tipo Banbury: pag. 145
- Fig. 5.23. Proceso del dado laminador; extrusión de hule seguida de laminado: pag. 145
- Fig. 5.24. Recubrimiento de tela con hule usando un proceso de calandrado: pag. 146
- Fig. 5.25. Efecto de la vulcanización en la moléculas de hule: Hule crudo (izquierda); Hule vulcanizado (derecha): pag. 146

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2.1. Propiedades mecánicas típicas a temperatura ambiente de materiales ferrosos: pag. 17
- Tabla 2.2. Constantes de flujo plástico a temperatura ambiente para varios metales: pag. 21
- Tabla 2.3. Constantes elásticas de los metales: pag. 23
- Tabla 2.4. Escalas comunes de dureza Rockwell: pag. 32
- Tabla 2.5. Dureza típica de metales seleccionados: pag. 35
- Tabla 2.6. Dureza de materiales cerámicos seleccionados y otros materiales duros, dispuestos en orden ascendente de dureza: pag. 36
- Tabla 2.7. Dureza de polímeros seleccionados: pag. 36
- Tabla 2.8. Tipo de arrabio para producir acero y usos en fundición: pag. 39
- Tabla 2.9. Composiciones típicas del hierro forjado, hierro en lingotes, hierro electrolítico y acero (en porcentajes): pag. 40
- Tabla 2.10. Propiedades mecánicas del hierro forjado (barras redondas, cuadradas y hexagonales): pag. 41
- Tabla 2.11. Propiedades mecánicas del hierro en lingotes: pag. 42
- Tabla 2.12. Temperatura para tratamientos térmicos de acero al carbono: pag. 53
- Tabla 2.13. Tendencias de la influencia de los elementos de aleación: pag. 56
- Tabla 2.14. Uso de algunos aceros: pag. 59
- Tabla 2.15. Propiedades de los aceros estructurales: pag. 60
- Tabla 3.1. Color – Temperatura °C: pag. 61
- Tabla 3.2. Reactivos de ataque para examen microscópico de metales: pag. 68
- Tabla 3.3. Principales métodos de pruebas no destructivas: pag. 73
- Tabla 4.1. Lista de piezas de Prensa para Inclusiones de Muestra: pag. 78
- Tabla 4.2. Tensiones permisibles para pernos: pag. 81
- Tabla 4.3. Factores de electrodo de soldadura 7014: pag. 95
- Tabla 4.4. Magnitudes de bloques a compresión: pag. 102

Tabla 4.5. Comprobación de áreas mínimas con dimensiones adoptadas por defecto: pag. 104

Tabla 4.6. Lista de piezas de Pulidora Metalográfica: pag. 107

Tabla 4.7. Tabla resumen de diámetros calculadas y su dimensión definitiva: pag. 120

Tabla 5.1. Tabla resumen de métodos de manufactura utilizados en cada pieza diseñada: pag. 148