



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

“APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS
EN EL PROCESO DE LIJADO DE TIJERAS
FORJADAS DE ACERO AL CARBÓN
EN TIJERAS BARRILITO S.A. DE C.V.”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
GALICIA GALICIA JOSÉ NOEL

ASESOR: ING. GALICIA RANGEL SERGIO



MEXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dios

*Agradezco la vida
y la conciencia que me da para
amarla, cuidarla y protegerla;
La fe que me mantiene firme
en el camino de la vida..*

A toda mi familia

*Por el amor y el apoyo incondicional
y por el pan que siempre se quitaron
de la boca para dar a mi y a mis hermanas*

Madre

*Gracias por la fortaleza que
proyectas y por todos los sacrificios
que haces por mi, desde mi llegada
a este mundo hasta el día de hoy
Que dios siempre te guarde..*

Padre

*Te agradezco la fuerza y temple
que siempre demuestras, y el consejo
siempre sabio y acertado que es la
guía de esta familia.*

Abuelos

*Gracias por los sabios consejos
y el cariño que siempre estará
presente.*

A mis tíos y primos

*Gracias por su invaluable apoyo
y que dios siempre les de la
fortaleza para seguir adelante*

A mis amigos

*Gracias por estar siempre a mi lado
y escucharme en los momentos mas
dificiles de mi vida.*

Al Ing. Sergio Galicia Rangel

*Gracias por su disposición, asesoría y
consejo. Y por hacer que este trabajo
llegue a su fin.*

A los profesores de la Universidad

*Gracias profesores por su valiosa enseñanza
que a través de los años se hace parte de este
trabajo, y gracias a la UNAM por abrirme las
puertas al conocimiento.*

APLICACION DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL PROCESO DE LIJADO DE TIJERAS FORJADAS DE ACERO AL CARBON EN TIJERAS BARRILITO S.A DE C.V.

OBJETIVO

Reduccion de costos en el proceso de lijado en la fabricacion de tijeras forjadas.

JUSTIFICACIÓN

Obtener solidos argumentos matematicos que nos permitiran tomar la decision correcta en relacion al uso de la lija que dara mayor rendimiento a un menor costo en el proceso de lijado en la fabricacion de tijeras forjadas.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I GENERALIDADES

- Las tijeras
- Productos ferricos
- Propiedades de los metales

CAPITULO II PROCESOS PARA LA FABRICACION DE TIJERAS

- Forja
- Troquelado
- Maquinados
- Rectificado
- Tratamientos termicos
- Acabado con abrasivos

Vibrado
Recubrimiento de superficies

CAPITULO III

LAS HERRAMIENTAS DE LA ESTADISTICA APLICADA

La estadística
Distribución normal
El diseño de experimentos
Bondad de ajuste
ANOVA de dos factores
Generalidades sobre SPSS

CAPITULO IV

APLICACION DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL PROCESO DE PULIDO GENERAL

Selección del objeto de estudio
Definición del proceso clave para el estudio de reducción de costos
Diseño del experimento
Desarrollo experimental

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Marco contextual: Importancia de reducir costos para mantenerse competitivo en el mercado globalizado.

Un mundo en constante y rápidos cambios requiere de empresas e instituciones que se acomoden a los mismos, no sólo reaccionando ante los hechos consumados de la manera más rápida y flexible posible, sino además anticipándose proactivamente a ellos, si de verdad quieren triunfar mediante una mayor participación en el mercado, aumento en los niveles de rentabilidad sobre la inversión, mayor valor agregado por empleado y mejores respuesta de satisfacción por parte de los clientes. Lograr ello implica trabajar sobre tres ejes fundamentales que están interrelacionados entre sí, ellos son: costos - calidad - entrega (CQD).

No sólo basta para ello alcanzar un determinado nivel, que puede llegar a ser considerado satisfactorio para un momento, sino mejorar continuamente el desempeño para lograr nuevos y mejores niveles, ya que lo que ha sido bueno o excelente hasta ayer ya no lo es hoy, y menos aún lo será mañana. No se trata solamente de crear o mejorar los servicios o productos ofrecidos, sino además hacerlo de la manera más rápida posible, al menor costo, con la mayor calidad ajustándose a los gustos y preferencias de los usuarios del producto o servicio elegido, y con los mejores sistemas de entrega para responder en cantidad y tiempo a la demanda de los clientes.

Ya sea que la empresa este recibiendo el impacto de la globalización, se vea sometida a una baja rentabilidad o muestre pérdidas al final de su cuadro de resultados, este perdiendo participación en el mercado debido a los altos costos, carezca de capacidad de maniobra, desee dar guerra en el mercado, o se vea ante una falta de liquidez, recurre invariablemente a la reducción de costos. Una reducción de costos aplicada generalmente sin proyección estratégica, carente de método y sistema, que muchas veces no produce los resultados esperados en el corto plazo, y nunca logra objetivos ni en el mediano ni en el largo plazo.

Tijeras Barrilito S.A. de C.V.: Breve reseña y productos que fabrica.

En Tijeras Barrilito son fabricantes y herederos de la excelente calidad de las tijeras producidas por los viejos artesanos de Solingen, Alemania llevando su prestigio y calidad a todo el mundo.

Todo empezó hace 41 años cuando Tijeras Barrilito fue fundada por Ramiro Gómez Bernal, empresario jalisciense quien se asocio con una empresa alemana fabricante de tijeras de acero forjado conocida en el mundo como Tijeras Barrilito. Posteriormente se compran las acciones a los alemanes para hacer de Tijeras Barrilito una empresa 100% mexicana.

Tijeras Barrilito fue forjada con una filosofía muy clara, la satisfacción de nuestros clientes, ofreciéndoles productos de calidad. Nuestros productos están respaldados por la experiencia de su personal y la calidad de sus procesos.

Desde hace algunos años Tijeras Barrilito forma parte de un grupo de empresas conocidas como grupo R.G., al que también pertenecen empresas conocidas como SEG, empresa administradora del capital humano del grupo y GOBA Internacional quien es distribuidora exclusiva de Tijeras Barrilito. GOBA Internacional cuenta con una red de distribución a lo largo de la república mexicana lo que los coloca como líderes en el ramo.

Tijeras Barrilito ofrece una extensa línea de productos para cualquier necesidad de corte, productos para la escuela, oficina, industriales, modista, costura, belleza, hojalateras, para corte de frutas, entre muchos más. Además también se elaboran artículos de oficina como perforadoras, engrapadoras, sellos bajo la marca ACME y últimamente se creó la división de espumados plásticos (foamy) Barrilito.

Problemática de la empresa Tijeras Barrilito S.A. de C.V

Hoy tijeras barrilito es la firma mexicana más antigua y única en la producción de tijeras forjadas, posee el equipo más viejo y también mantiene a gente experimentada, sin embargo, ésta no se caracterizaba por presentar proyectos de mejora que dieran rápidos resultados, disminución de costos y productos de mayor calidad para los clientes.

Recuerdo que un problema muy recurrente en las instalaciones tenía que ver con el departamento de pulido general, alto consumo de lija, mal acabado de las hojas de tijera después de el proceso de pulido que no cumplían con los estándares de calidad”.

El resultado hablaba por sí mismo: reprocesos, elevados costos de producción, clientes insatisfechos y mala calidad, pero también se presentó la oportunidad ideal en tiempo y espacio, de aplicar las herramientas de la estadística, específicamente el diseño de experimentos, para poder establecer claramente cuales eran las variables importantes de este proceso, las más críticas y las que se debían someter a control.

Tijeras Barrilito desea establecer un estudio para reducir sus costos de fabricación en el proceso de lijado de tijeras forjadas para establecer planes de acción que le permitan ser más competitiva.

Las herramientas de la estadística tienen una aplicación muy amplia en la industria y en la investigación para que al analizar datos obtenidos experimentalmente se puedan hacer inferencias sobre el comportamiento de la población, al aplicar el

diseño y análisis de experimentos podemos establecer pruebas para aceptar o rechazar hipótesis dadas ciertas condiciones y así dar argumentos de valor para la toma de decisiones.

Es así que para este trabajo de tesis se hará uso de la correcta aplicación y selección de las herramientas estadísticas para resolver la problemática de reducción de costos a la que se enfrenta la empresa de Tijeras Barrilito S.A. de C.V.

De esta manera en el capítulo I se presenta un panorama general de la evolución de los procesos de corte, el proceso de fabricación, clasificación y tipos de tijeras; también se presenta el acero, materia prima fundamental en la fabricación de tijeras forjadas, sus elementos, aleaciones, estructura cristalina y la forma de cómo podemos obtener propiedades mecánicas específicas para favorecer nuestros procesos de manufactura, razón por la cual es uno de los metales por excelencia en gran cantidad de aplicaciones industriales; también se muestran las propiedades físicas y mecánicas de los aceros.

En el capítulo II se detallan los procesos para la fabricación de tijeras forjadas, se presentan en cada uno aspectos fundamentales que determinan la calidad de las piezas procesadas y garantizan el flujo en el proceso de producción, ya que conocer la forma en que interviene cada elemento en el proceso nos da la capacidad para establecer las mejores condiciones de operación.

En el capítulo III se presenta un panorama de la aplicación de la estadística, así como las herramientas estadísticas necesarias para analizar los datos obtenidos en cualquier investigación, se presenta la distribución normal, considerada la piedra angular de la estadística debido a que, muchas variables asociadas a fenómenos naturales y cotidianos, presentan esta distribución. Así mismo se presentan los diversos tipos de diseño de experimentos y las pruebas de bondad de ajuste que nos proporcionaran el criterio suficiente para la toma de decisiones, también se presenta el ANOVA de dos factores para realizar comparaciones lo más homogéneas posibles que nos permitirán detectar cambios en el proceso de interés e identificar factores influyentes, y por último se presenta el procedimiento general para realizar un análisis de tipo estadístico con el software SPSS.

Finalmente, en el capítulo IV se aplican los métodos del diseño de experimentos en el proceso de lijado de tijeras forjadas, lo cual arroja información con fundamento matemático de gran importancia que nos permite detectar la influencia en la variación de los factores (tipo de lija, trabajador y la interacción de ambos), que intervienen en el proceso, y al mismo tiempo tomar una decisión para determinar la mejor combinación de ambos factores para obtener un máximo rendimiento.

Así, con el presente trabajo se pretende además de dar una aproximación al sector con la descripción de cada uno sus procesos y los diferentes tipos y usos de tijeras, también se presenta una visión de la aplicación de la estadística y el

potencial que ofrece cada una de sus herramientas en la solución de problemas tan comunes en la industria y en el mundo en general, potencial que podemos aprovechar al analizar la variabilidad en los procesos de manufactura.

CAPITULO I “GENERALIDADES”

I.I LAS TIJERAS.

- I.I.I Evolución de los procesos de corte.**
- I.I.II Proceso de fabricación y cualidades de las tijeras.**
- I.I.III Clasificación de tijeras por el método de fabricación.**
- I.I.IV Tipos de tijeras por su uso.**
- I.I.V Las tijeras y sus filos.**

I.II PRODUCTOS FÉRRICOS.

- I.II.I Elementos del acero al carbón.**
- I.II.II Constitución de los aceros y fundiciones.**
- I.II.III Constitución y propiedades de aceros y fundiciones que se encuentran en estado normal.**
- I.II.IV Constituyentes de los aceros a alta temperatura: Austenita.**
- I.II.V Transformaciones que se producen en los constituyentes de los aceros calentando o enfriando lentamente.**
- I.II.VI Estructura de los aceros.**
- I.II.VII Clasificación y nomenclatura de los aceros.**

I.III PROPIEDADES DE LOS METALES

- I.III.I Propiedades físicas de los metales**
- I.III.II Propiedades mecánicas de los metales.**

I.I LAS TIJERAS.

I.I.I Evolución de los procesos de corte.

En la historia de la metalurgia el trabajo de la chapa ocupa sin duda un lugar de relieve. Desde la prehistoria, el hombre se ha esforzado en desarrollar herramientas, utensilios y máquinas cada vez más sofisticados para dar forma a los metales. A medida que el avance de la civilización imponía necesidades nuevas en el ámbito de la calderería, la tecnología iba ofreciendo nuevas posibilidades. Cuando, en el siglo XIX, el desarrollo de los nuevos sistemas de transporte terrestre y marítimo plantearon exigencias imprevistas en el conformado de chapa, la tecnología dio un vuelco radical permitiendo mecanizar eficazmente procesos hasta entonces enteramente manuales.

La cizalla

Para el corte, la tijera o cizalla ha sido el instrumento básico durante siglos. Como instrumento manual, el uso de la tijera se remonta a la edad del bronce. En sus inicios era una hoja de metal doblada en forma de U y sólo a partir del siglo XIV aparecen las tijeras de pivote, con las dos hojas móviles alrededor de un eje. La llamada cizalla o tijera de palanca, manejada manualmente, permitía cortar espesores de hasta 5 mm y también podía ser accionada a pedal.

La tecnología asociada al corte no dio un vuelco hasta mediados del siglo XIX, cuando se diseñó y construyó la primera cizalla accionada a vapor, mediante un sistema de biela manivela y volante, para cortar palastro grueso. En las décadas siguientes se construyeron cizallas cada vez más potentes y sofisticadas, equipadas con varias cuchillas o combinadas con punzonadoras.

I.I.II Proceso de fabricación y cualidades de las tijeras.

Cualidades de las tijeras.

Hay grandes diferencias de calidad de unas tijeras a otras. Esto comienza con el material, o sea, con la calidad del acero. Es muy importante el modo en que se procesa el material, ya que el método de fabricación determina las propiedades del producto acabado.

Existe una amplia gama de materiales que puede formar parte de una tijera, la propia evolución nos trae diversos materiales, por ejemplo, el acero con alto contenido de carbono (0,7-0,9 %). Su corte es muy bueno y su dureza extraordinaria, pero en contacto con el agua o con algunos elementos químicos utilizados en su uso, la tijera sufre una corrosión que es difícilmente evitable. Más tarde se lograron aceros con aleaciones y contenidos más altos de Níquel (Ni.) y Cromo (Cr.), además de algunos

otros elementos que impedían esta oxidación. A cambio, la herramienta en sí no conseguía la dureza adecuada a la que se estaba acostumbrado al tener que, forzosamente, disminuir la concentración de contenido de carbono (C) Por ello, al acero se le añadió a su composición química un elemento más duro, el Cobalto (Co.), que proporcionaba más dureza y, además, un acabado mucho más brillante.

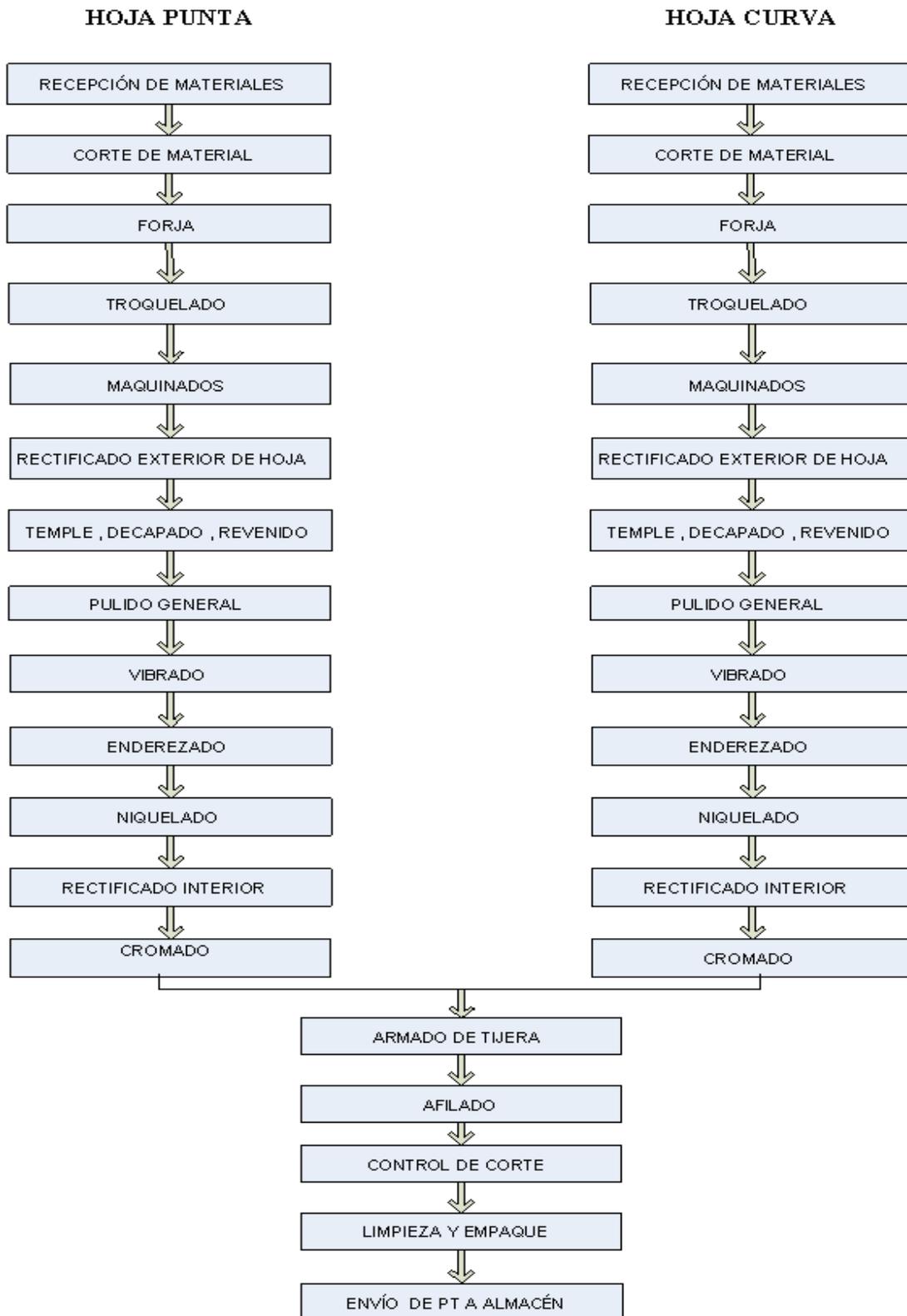
Después, seguirían los ensayos de alguno de los fabricantes de tijeras más atrevidos, el acero por la cerámica, que resultó ser poco interesante por su fragilidad y las propias dificultades para dar un servicio post-venta. Desde hace algunos años se sigue experimentando con diversas aleaciones de acero que, algunos de los grandes fabricantes personalizan y guardan celosamente. Otros, por el contrario, optan por otros sistemas como la microfusión que, además de poder personalizar el acero de la hoja, obtiene una perfección, añadiéndole después al resto de la tijera (anillas y soporte de las hojas) otros elementos más fáciles y cómodos de trabajar como es el caso del Titanio (Ti.) o el caso de las aleaciones de Aluminio (Al.)

Son diversos, como hemos visto, los sistemas para la fabricación de una tijera profesional. Aunque en la actualidad se siguen criterios bastante comunes en el sentido de utilizar un acero que permita una alta dureza y durabilidad en el corte, muchos de los fabricantes actuales han incorporado el Aisi-440 en sus diferentes opciones: Aisi-440-A-B-C, cada uno de ellos bastante similares, con la variedad de aumentar en algo la dureza hasta conseguir garantizados los 58^o H Rockwell, dureza que permite que la tijera pueda incluso afeitarse.

En la actualidad aún existe algún fabricante en Oriente que elabora él mismo la forja de forma manual en la propia fragua, en series muy limitadas o por encargo, pero el costo de esta pieza única, una vez finalizada, sólo puede ser apreciada por la persona que efectuó el encargo, o algún coleccionista que desea tener una verdadera obra de arte.

Por su parte, la tendencia en el futuro pasa por separar la hoja del mango de tijera, bien sea como hemos descrito antes, aplicando un mango/soporte que sea fácil de trabajar, o que apenas requiera unas operaciones simples que no precisen de oficiales especialistas, Oficiales especialistas que en la actualidad cada día van desapareciendo a través de jubilaciones, o bajas incentivadas, debido a los altos costes que supone el efectuar los trabajos de desbaste, pulido y abrillantado del mango/soporte de la tijera y que, en modo alguno, pueden repercutirse en el precio de la tijera. Otro inconveniente es también el hecho de que no existe un aprendizaje de este oficio: no se encuentra personal joven que desee especializarse en este oficio.

La tijera siempre está y estará presente ya que su presencia se requiere en mil y una de nuestras funciones diarias.

Diagrama de flujo del proceso general de fabricación de una tijera.

Proceso de fabricación.**Puntos esenciales de una tijera.**

- Materia prima, acero especial para herramientas de corte, que permita un buen templado.
- Rectificado exterior, sobre de la tijera, deber ser elaborado con precisión.
- Entregirado (torsión), las hojas deben estar ligeramente entregiradas para facilitar el roce a lo largo de las mismas. Punto extremadamente importante para que finalmente la tijera se desplace con la máxima suavidad desde el principio hasta el final de las hojas, con la finalidad de que solamente una mínima superficie de las hojas sea la que efectúe un corte totalmente limpio.
- Tornillo de fijación, en este apartado, que parece simple, debemos poner una atención especial, ya que el tornillo que fija las dos hojas, además, es el encargado de dar la presión de las hojas adecuada a cada tijera, para que ésta trabaje correctamente. De otro modo perderíamos rápidamente el filo si la presión de la herramienta fuera demasiado dura, o bien, no obtendríamos una precisión de corte como es debido si por el contrario la presión del tornillo fuera demasiado floja.

- Acabados, los acabados de una tijera pueden ser muy variados. Aunque no debemos considerarlos un punto importante, sí que debemos tenerlo en cuenta los fabricantes por el atractivo que supone para el profesional el tener una herramienta que tenga buenas prestaciones y además sea agradable de tener entre las manos. Lo mismo podríamos decir de la ergonomía de la tijera, que debe ajustarse a los dedos y apoyarse en la mano del estilista con la máxima naturalidad y con un peso adecuado.
- Zurdos, todo lo dicho anteriormente es válido para las tijeras para zurdos, sólo añadir que debido al escaso mercado y la dificultad de obtener forja de cada modelo y medida en pequeñas cantidades, se hace muy complicado disponer de una gama de tijeras para zurdos y mantener un stock que puede eternizarse en el tiempo.

I.I.III Clasificación de tijeras según el método de fabricación.

La calidad de la tijera está determinada en gran medida por la calidad del acero. Es un factor fundamental para la funcionalidad óptima, una larga vida útil de la tijera, y a su vez los mejores rendimientos de corte.

Según el método de fabricación las tijeras se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a. Acero inoxidable para tijeras troqueladas de uso doméstico.
- b. Acero al carbón para tijeras forjadas.

a) Tijeras de acero inoxidable

Es especialmente recomendable para tijeras que deberán estar en contacto con humedad puesto que este acero no se oxida expuesto a aire húmedo.

b) Acero al carbono (acero normal)

El acero al carbono es el tipo más antiguo de acero, puede endurecerse hasta 53 grados Rockwell.

Dado que el acero al carbono puede oxidarse y mancharse, las tijeras producidas con este acero se galvanizan para proteger su superficie (recubrimiento de níquel). También para las tijeras tiene validez la regla empírica: cuanto mayor sea el contenido de carbono, mayor será la dureza que se puede conseguir y de la que depende especialmente la consistencia de corte de los filos.

I.I.IV Tipos de tijeras por su uso.

Hay tijeras con las más diversas formas y para las más diversas funciones. Ofrecer para cada uso una tijera adecuada y que funcione bien es uno de los constantes desafíos para un fabricante de instrumentos cortantes. La tabla siguiente muestra diferentes tipos de tijeras y sus usos:



TIJERA COSTURA/ OFICINA FORJADA 6 PULGADAS

Modelo 8642-6
Marca BARRILITO



TIJERA ESCOLAR FORJADA PUNTA ROMA

Modelo 8346-4.5
Marca BARRILITO



TIJERA ESTILISTA CON GANCHO

Modelo 8419-5.5
Marca BARRILITO



ALICATE PEDICURE

Modelo 8327-5
Marca BARRILITO



TIJERA HOJALATERA 10"

Modelo 800-10
Marca BARRILITO



TIJERA COSTURA/ OFICINA FORJADA 6 PULGADOS OJO GRANDE

Modelo 8341-6
Marca BARRILITO



TIJERA INDUSTRIAL 10"

Modelo 8098-10
Marca BARRILITO



TIJERA MANICURE PROFESIONAL

Modelo 8833-3.5
Marca BARRILITO



TIJERA MODISTA 7

Modelo 8096-7
Marca BARRILITO



TIJERA DE TRASQUILAR

Modelo 801-11
Marca BARRILITO



gingher
Exportación

Modelo 8095-10
Marca gingher
Fabricante: BARRILITO

I.I.V Las tijeras y sus filos

Hoy, las tijeras se fabrican teniendo en cuenta normas que las hacen sumamente precisas y de alta calidad. Los distintos filos tienen funciones diferentes.

Los modelos de tijeras son cada vez más variados y específicos para facilitar la tarea del profesional. Son ejemplos de ello innovaciones como el anillo pulgar móvil, la rodaja giratoria que proporciona un relajamiento total, las hojas curvadas para cortes uniformes, el recubrimiento de nitrato de titanio que garantiza gran longevidad y protege contra la alergia al níquel. También, el microdentado para cortes de precisión; las tijeras exfoliadoras con dientes microdentados que reparten el cabello de manera uniforme por todo el ancho del diente, obteniendo así un corte más suave y liso, y aceros mejorados que le dan a las tijeras gran duración.

Largos y aceros.

Los largos de las tijeras pueden ser de 4 1/2, 5, 5/12, 6, 6 1/2 y 7. Muchos profesionales aconsejan la tijera número 5 para los peluqueros de dama, y la número 7 para los peluqueros de caballeros que usan tijera sobre peine, y en general son de filo dulce.

En cuanto a los distintos aceros, éstos pueden ser cromados, satinados, de titanium y de cobalto, todos muy buenos y que garantizan una duración larga de la herramienta.

Filosas y eficientes

Es importante saber elegir bien qué filos usar para así conseguir el correcto resultado del corte. En general, los filos se clasifican en:

- **Filo dulce:** es el filo común.
- **Filo navaja:** Posee un afilado como de navaja de afeitar.
- **Filo microdentado:** a este tipo de tijera también se le llama de “de batalla”, porque se usa para cortar y cortar. Tiene dientes de un lado y filo del otro. Es una tijera que apenas se desafila.
- **Filo doble microdentado:** posee dientes de ambos lados; Es un filo con mucho “agarre”.

I.II PRODUCTOS FÉRRICOS

Los productos férricos son todos aquellos en los que el hierro constituye la parte más importante, siendo considerados como elementos de aleación los restantes que le acompañan. Los productos férricos son importantísimos en el mundo tecnológico actual y su utilización es mayor a la de todos los demás metales juntos.

El hierro químicamente puro es difícil de conseguir y tiene poca aplicación: su utilización es en forma de aleaciones, que se obtienen combinándolo con diversos elementos. De estas aleaciones las más importantes son las que se logran a base de hierro y carbono, estas son:

ACEROS contienen entre 0.03 y 1.76% de carbono.

FUNDICIONES contienen entre 1.76 a 6.67% de carbono.

De estas, los aceros de menos de 0.1% de carbono suelen denominarse hierros dulces y las fundiciones de mas del 5% de carbono tienen escaso interés industrial por su gran fragilidad. Sus propiedades, su comportamiento exterior, la mayor o menor dificultad para ser trabajados depende como en cualquier aleación, de:

- ✚ Su composición química.
- ✚ Su constitución.
- ✚ Su estructura.

I.II.I Elementos del acero al carbón

El hierro.

Es el elemento de número atómico 26 y de peso atómico 56, sus propiedades son:

- ✚ Color: blanco azulado.
- ✚ Peso específico: 7.87.
- ✚ Temperatura de fusión: 1,539 °C.
- ✚ Es dúctil y maleable.
- ✚ Propiedades mecánicas bajas.
- ✚ Es buen conductor de la electricidad.
- ✚ Con menos de 0.008% de C suele considerarse técnicamente puro.

Estructura cristalina.

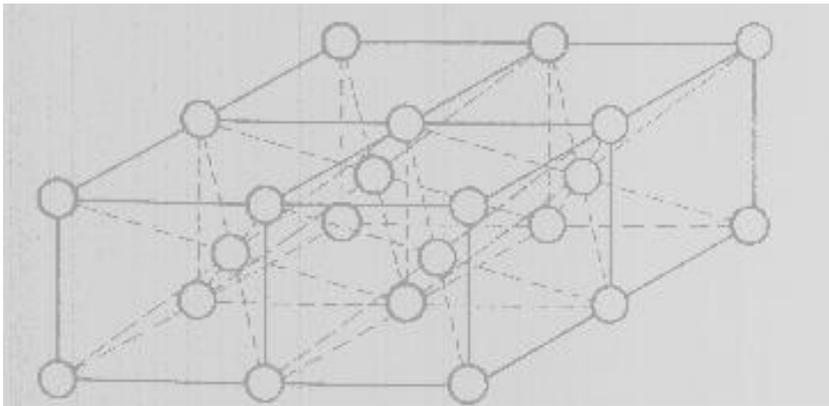
Igual que los demás metales en estado sólido presenta estructura cristalina:

Sus átomos se colocan unos junto a otros de forma organizada ocupando los vértices de una red que cambia a determinadas temperaturas dando lugar a varias formas *alotrópicas*:

Hierro α

Cuando el hierro se encuentra a temperatura ambiente, los átomos forman una *red cúbica centrada*. La celdilla elemental es como la de la siguiente figura y un gran número de ellas constituyen el edificio cristalino que da lugar a cada grano.

Figura de estructura cristalina.



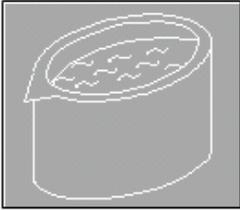
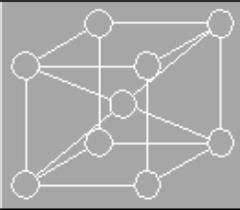
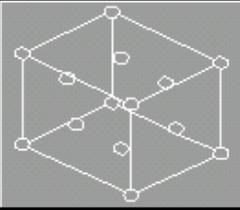
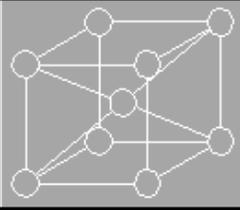
Hierro γ

Si se eleva la temperatura, al llegar a 910 °C, aproximadamente, los átomos adquieren una cierta movilidad, y se rompen los cristales de **Hierro α** , se forman otros nuevos y distintos en los que la celdilla elemental pasa a ser *centrada en las caras*, este hierro se denomina **Hierro γ** . Este estado del hierro tiene un papel muy importante en los procesos de fabricación en los que el material se calienta como es el caso de la forja.

Hierro δ

Si se continúa el calentamiento, a los 1,400 °C vuelve a ocurrir un cambio, esta vez inverso, destruyéndose la red cúbica centrada en las caras para pasar de nuevo a otra cúbica centrada que constituye el **Hierro δ** y que tiene muy poca importancia. De este hierro se pasa al estado líquido a 1,539 °C si se continúa el calentamiento.

Figura de temperatura y red cúbica

1539°C			LIQUIDO	
1400°C			HIERRO δ	ESTADO SOLIDO. Cambios Alotrópicos del Hierro.
910°C			HIERRO γ	
			HIERRO α	

Si partimos del hierro líquido y enfriamos se producen los mismos cambios aunque en sentido contrario, es decir, primero se forma el **Hierro δ** que al enfriarse va transformándose en γ y α hasta la temperatura ambiente.

El carbono.

Es un *metaloide* de número atómico 6 y peso atómico 12; se presenta en dos formas *alotrópicas* muy conocidas: *diamante* y *grafito*, cuyas propiedades son muy distintas.

El diamante, como es sabido, es *la sustancia mas dura que se conoce*. Presenta una forma cristalina transparente de gran belleza que le hace muy codiciado en joyería. Desde el punto de vista industrial cada día tiene mayor importancia para determinadas herramientas que deben rayar o arrancar trozos de otros materiales.

El grafito, por el contrario, es *muy blando*. Presenta una estructura cristalina formando una especie de escamas que resbalan fácilmente unas respecto a las otras separándose si otros cuerpos las arrastran, un uso muy conocido del grafito es en minas de lápiz.

El carbono se combina muy bien con el oxígeno ardiendo y desprendiendo gran cantidad de calor por lo que se utiliza como combustible formando distintos tipos de carbones.

Con el hierro también se combina formando un compuesto químico de fórmula Fe_3C denominado *carburo*, *carburo de hierro* o *cementita*.

La proporción de cada uno de estos elementos en el carburo de hierro es:

+	Hierro	92.23%
+	Carbono	6.67%

Por tanto, si mezclamos hierro y carbono en esta proporción, toda la masa resultante será Fe_3C .

I.II.II Constitución de los aceros y fundiciones.

Las propiedades de una aleación dependen, en parte, de sus constituyentes, es decir, de la naturaleza de sus granos. Los aceros presentan granos distintos según su composición (depende de que contengan más o menos carbono) y también según como haya sido tratado el material. Los más importantes son:

Ferrita

La ferrita es prácticamente hierro puro: a temperatura ambiente contiene una pequeñísima cantidad de carbono (0.008%) que se encuentra disuelto en la red cristalina del **Hierro α** , es decir, los átomos de carbono ocupan los huecos que dejan los de hierro en la red cúbica centrada..

Las propiedades más destacadas de la ferrita son las siguientes:

- Es el constituyente más blando de los aceros (sólo 90 HB).
- Es el constituyente más dúctil de los aceros (puede alargarse hasta un 35 o 40% de su longitud sin romperse.)
- Su resistencia a la rotura es baja (28 Kg/mm²).

Como consecuencia de lo anterior se comprenderá que resiste mal los esfuerzos pero, en cambio, es muy fácil de trabajar mediante deformación por golpes, por estirado, etc.

Cementita.

Como ya se dijo, la cementita es un compuesto químico de fórmula Fe_3C denominado carburo de hierro que contiene el 6.67% de C. Sus propiedades son casi radicalmente opuestas a las de la ferrita, es decir:

- Es el constituyente mas duro de los aceros (700 HB o 68 HRc).
- Es muy frágil. Se rompe sin deformación.

Estos dos constituyentes son la base de las aleaciones hierro-carbono cuando éstas se encuentran en estado normal; y según la cantidad de uno u otro que exista en un acero determinado, éste presentará sus propiedades mas parecidas a las de la ferrita o a las de la cementita.

Perlita

Es un constituyente compuesto por:

- 86.5% de ferrita
- 13.5% de cementita

Esta proporción corresponde a una composición del 0.89% de C y 99.11% de hierro.

Los granos de perlita generalmente se presentan formados por láminas muy finas de ferrita y de cementita. Se obtiene pura si se enfría lentamente un acero con el 0.89% de C. Las propiedades mas destacadas de la perlita, intermedias entre las de ferrita y cementita son:

- Dureza media (200 HB)
- Ductilidad media (15% de alargamiento)
- Resistencia a la rotura de 80 Kg/mm^2

Con estos tres constituyentes podemos conocer el estado de una aleación de hierro y carbono que no haya sufrido ningún tratamiento térmico, es decir, que se encuentre a temperatura ambiente y en estado normal habiéndose enfriado lentamente.

I.II.III Constitución y propiedades de aceros y fundiciones que se encuentran en estado normal.

A continuación se detallan los constituyentes y propiedades de las aleaciones que contienen de 0 a 6.67% de C. Con mayor porcentaje de este elemento no tiene interés.

1) Denominación:

- Las aleaciones de 0 a 1.76% de C se denominan aceros.
- Las aleaciones de 1.76 a 6.67% de C se denominan fundiciones.

2) Existen tres aleaciones que presentan un único constituyente, es decir, todos sus granos son iguales:

Aleación	Constituyente
Acero del 0.008% de C	Solo Ferrita
Acero del 0.89% de C	Solo Perlita
Fundición del 6.67% de C	Solo Cementita

3) Las aleaciones de composición intermedia están formadas por dos constituyentes, es decir, tienen granos de dos clases:

Aleación	Constituyentes
Acero de 0.008% a 0.89% de C	Ferrita + Perlita
Acero de 0.89 al 1.76% de C	Perlita + Cementita
Fundición (de 1.76 a 6.67% de C)	Perlita + Cementita

Las propiedades de estas aleaciones varían de la forma que se indica en el siguiente cuadro:

DENOMINACION	ACEROS			FUNDICIONES BLANCAS	
	0.008	0.89	/ 1.76	6.67	
CONSTITUYENTES	FERRITA	FERRITA PERLITA	PERLITA	PERLITA Y CEMENTITA	
PROPIEDADES	BLANDO DUCTIL	AUMENTA LA DUREZA CON EL % DE C → AUMENTA LA FRAGILIDAD CON EL % DE C → ← DUCTILIDAD			MUY DURO MUY FRAGIL

La dureza y la fragilidad aumentan con la cantidad de carbono, mientras que la ductilidad y en general la capacidad de deformación plástica disminuyen.

Teniendo presente lo anterior podemos saber lo suficiente de las propiedades de cualquier aleación con solo conocer el porcentaje de C que contiene.

I.II.IV Constituyentes de los aceros a alta temperatura: Austenita

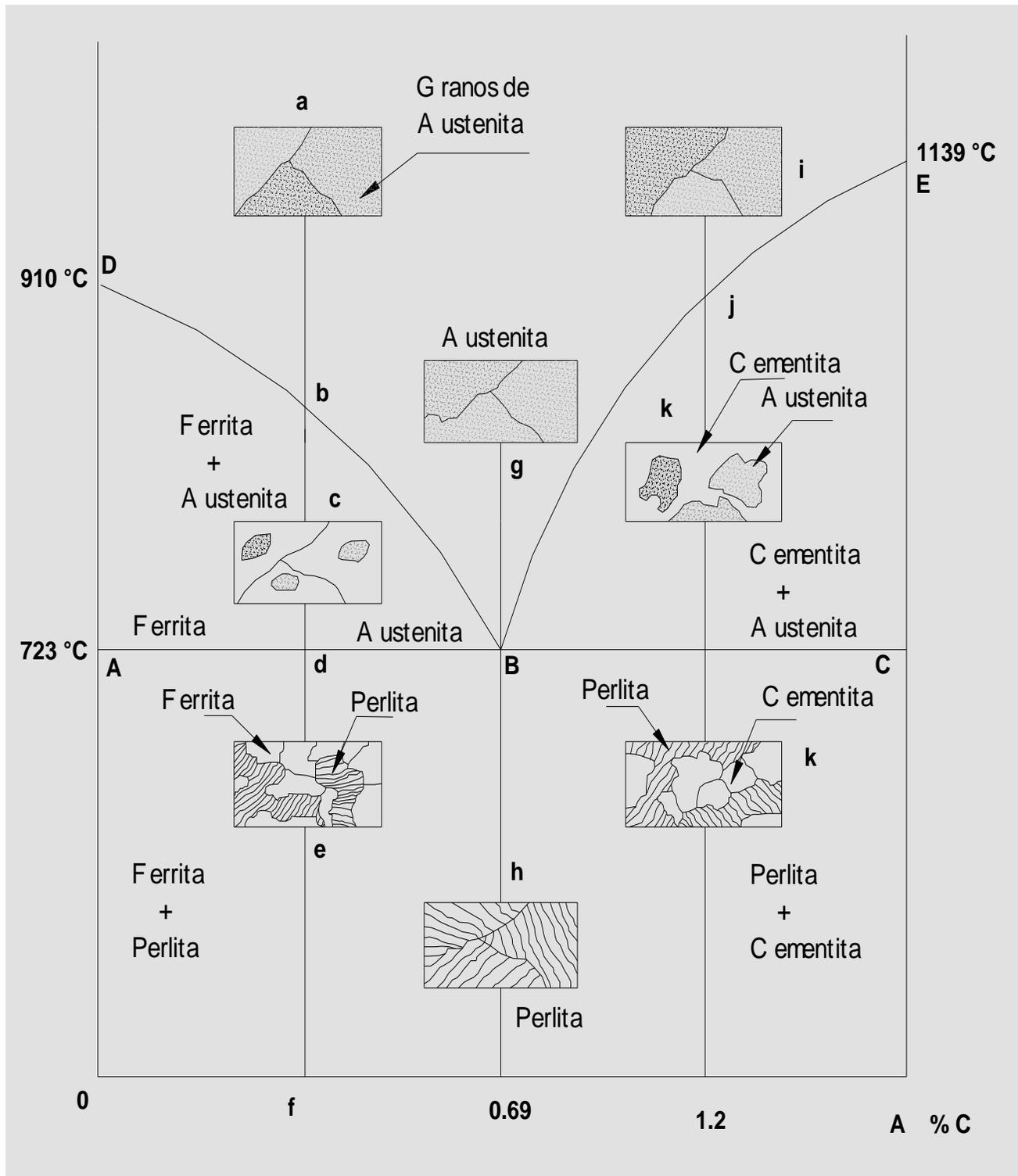
*La austenita se obtiene cuando se calienta un acero hasta que el **Hierro α** se transforma en **Hierro γ** . Es una solución sólida de carbono en **Hierro γ** en la que los átomos del primero ocupan los huecos que existen en la red cúbica centrada en las caras del segundo.*

La red cúbica centrada en las caras dispone de mayores huecos entre los átomos de C que la red cúbica centrada y ésta es la razón por la que la austenita, a diferencia de la ferrita, puede contener hasta un 1.76% de C disuelto en su red, lo que se logra a 1,130 °C.

Propiedades

La que mas interés tiene es su plasticidad, es decir, es dúctil y maleable (alargamiento del 30%). Debido a esta característica *la austenita permite ser trabajada con gran facilidad*, y esa es la razón por la que el acero se calienta hasta el rojo para fabricar piezas por estampación, forja, etc. Lo que se consigue con el calentamiento es que todos los granos sean de austenita.

Diagrama simplificado: hierro carbono para aceros.



I.II.V Transformaciones que se producen en los constituyentes de los aceros calentando o enfriando lentamente.

El hierro puro se transforma de alfa en gamma a 910°C. Cuando contiene carbono, la transformación no se produce a una temperatura única y constante para todas las aleaciones sino que varía como se presenta en la figura anterior.

Si se calienta un acero, al alcanzar la temperatura de 723°C (línea ABC del diagrama) empieza a transformarse el hierro alfa en gamma, por tanto, a aparecer austenita. Si continúa el calentamiento, al rebasar la curva DBE, toda la masa queda transformada en austenita.

En el enfriamiento sucede el fenómeno contrario. Analicemos el comportamiento de tres aleaciones tomadas como ejemplo.

Aceros con menos de 0.89% de C.

Punto a: A unos 1,000°C, por ejemplo, todos los granos son de austenita.

Punto b: Se inicia la transformación de la austenita en ferrita, generalmente en los bordes de los granos

Punto c: Ya existe parte de la austenita transformada en ferrita.

Punto d: La austenita que ha llegado hasta esta temperatura sin transformarse en ferrita se transforma en perlita.

Punto e: Existe ferrita y perlita que ya no cambiara aunque se siga enfriando. Esta sera su constitución a temperatura ambiente.

Aceros con 0.89% de C.

Es una aleación muy especial por que la austenita y por tanto el hierro gamma no se transforma en hierro alfa hasta los 723°C y lo hace a temperatura constante, por eso, en el punto B coinciden las curvas DBE y ABC.

Una pieza de este acero que se encontrase a la temperatura que corresponde al punto g tendrá todos sus granos de austenita. Al descender la temperatura estos granos de austenita se transforman en otros de perlita; esta transformación sucede en el punto B (723°C) de modo que a temperatura inferior a la de B existirá perlita que no experimentara cambio al seguir enfriando.

Aceros con mas de 0.89% de C.

Al enfriar desde una temperatura como la que corresponde al punto i sucede el cambio de manera análoga a la de la aleación de menos del 0.89% de C; la diferencia estriba en que al iniciarse la transformación a una temperatura como la del punto J, en lugar de aparecer ferrita, aparece cementita y al descender de 723°C (punto I) en que termina la transformación los constituyentes que resultan son perlita y cementita.

Martensita.

Es un constituyente de los aceros que se consigue enfriando rápidamente la austenita. Para producirse las transformaciones señaladas en el punto anterior, es decir, de austenita en ferrita, perlita o cementita, es preciso realizar un enfriamiento lento que vaya permitiendo la correcta formación de los granos nuevos.

Si la austenita (hierro gamma con carbono) se enfría rápidamente, el hierro gamma se transforma en hierro alfa demasiado deprisa apareciendo una estructura un tanto desordenada que se denomina martensita y presenta forma de agujas.

Las propiedades mas destacadas de la martensita son:

- Gran dureza de 500 a 700 HB (50 a 68 HRC)
- Gran resistencia 175 a 200 Kg/mm²
- Poco dúctil y maleable: alargamiento del 0.5 al 2.5%

Este constituyente es el que contienen los aceros templados.

I.II.VI Estructura de los aceros.

La estructura de un metal o aleación depende de:

1. forma y tamaño de los granos.
2. organización de los granos.

El tamaño de grano tiene gran influencia en las propiedades. En general podemos decir que los granos pequeños mejoran las propiedades del metal.

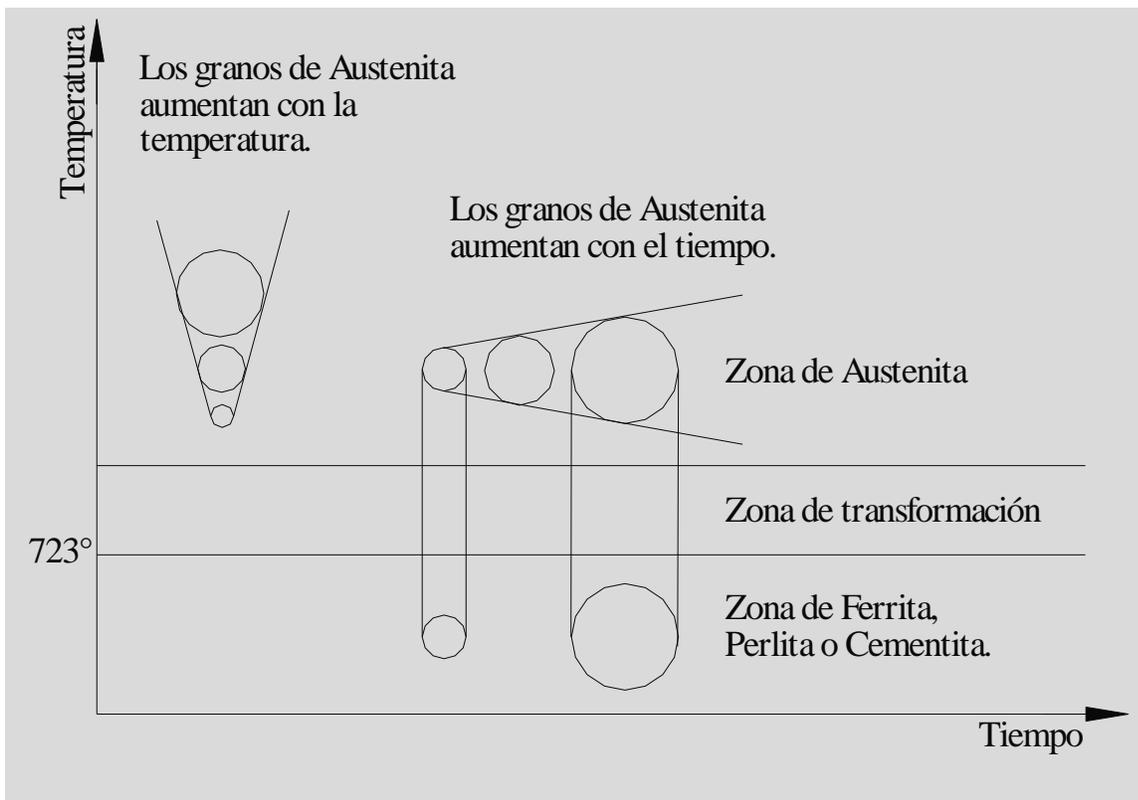
Cuando un acero se enfría desde el estado austenítico, el tamaño del grano al llegar a temperatura ambiente es igual al que tenían los granos de austenita. es decir, si la austenita presenta grano fino, también serán pequeños los de la ferrita o perlita o cementita.

Si la austenita presenta grano grueso, al enfriar se mantendrá ese tamaño.

El problema se centra, por tanto, en poder lograr en la austenita el tamaño de grano que deseamos. ¿De qué depende el tamaño de los granos de austenita? De dos factores:

1. **Temperatura:** cuanto mas elevamos la temperatura mas aumentan los granos de tamaño.
2. **Tiempo:** si mantenemos durante algún tiempo la austenita a una determinada temperatura, el tamaño de los granos también aumenta.

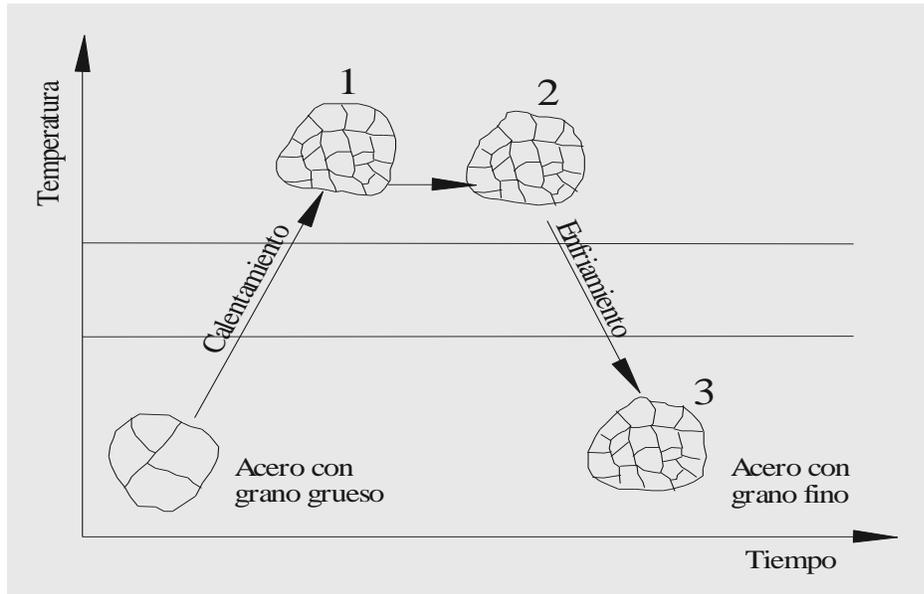
Grafico de aumento de tamaño de los granos.



Resumiendo podríamos decir que si nos interesa afinar el grano de un acero, el proceso a seguir es el siguiente:

- + Calcular hasta llegar a zona austenítica pero muy poco por encima de la temperatura a la que se logra que toda la masa sea austenítica.
- + Mantener esta temperatura durante muy poco tiempo.
- + Enfriar.

Grafico del proceso de afinado de grano:



I.II.VII Clasificación y nomenclatura de los aceros.

Los aceros se clasifican de muchas maneras diferentes, dependiendo de las características o propiedades que se quieran resaltar, se pueden mencionar por ejemplo las siguientes:

Aceros estructurales o comerciales.- estos aceros no se clasifican por su composición química, sino por sus propiedades mecánicas. La sociedad Americana de pruebas de materiales (ASTM), los clasifica en diversas normas para diferentes usos y establece propiedades mecánicas que tienen que cumplir, dejando libre la composición química. Generalmente se trata de aceros simples al carbono.

Aceros especiales.- lo integran los aceros grado maquinaria, grado herramienta e inoxidables. Todos estos aceros son clasificados tomando en cuenta su composición química

Aceros grado maquinaria.

Estos aceros son clasificados por el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI), mediante un sistema de cuatro dígitos. Los dos primeros indican la familia o subgrupo al que pertenecen; los dos últimos representan el contenido del carbono en centésimas de uno por ciento.

Para facilitar la discusión de los aceros es conveniente familiarizarse con su nomenclatura. Se utiliza un índice numérico, auspiciado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y por el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI), para identificar la composición química de los aceros grado maquinaria. En este sistema se utilizan series de cuatro números para designar los aceros al carbono y de baja aleación: se usan series de cinco números para designar ciertos tipos de aceros de baja aleación. Los primeros dos dígitos indican el tipo de acero; el segundo dígito da generalmente, pero no siempre, la cantidad aproximada del principal elemento aleante. Los últimos dos (o tres) dígitos indican aproximadamente el punto medio de contenido de carbono. Ejemplo de la designación de las series y tipos se resumen a continuación.

SERIES	TIPOS
10XX	Aceros al carbono no resulturados
11XX	Aceros al carbono resulturados (libre maquinado)
41XX	0.50 ó 0.95% de cromo y 0.12 ó 0.20% de molibdeno
43XX	1.80% de níquel, 0.50 ó 0.80% de cromo y 0.25% de molibdeno
52XX	1.00% de carbono y 1.45% de cromo
86XX	0.55% de níquel, 0.50% de cromo y 0.20% de molibdeno
98XX	1.00% de níquel, 0.80% de cromo y 0.25% de molibdeno

Aceros grado herramienta.

Estas aleaciones se definen como “Aceros de Alta Calidad”, fabricados por proceso de horno eléctrico, que se usan en la industria para la fabricación de herramientas que sirven para dar forma a diversos materiales.

GRUPO	SIMBOLO	TIPO
De temple al agua	W	
Resistentes al impacto	S	
	O	Temple al aceite
Para trabajo en frío	A	Temple al aire, media aleación
	D	Alto carbono – alto cromo
Para trabajo en caliente	H	(H1 a H19 incl.) base cromo: H20 a H39 incl. base tungsteno; H40 a H59 incl. base molibdeno.
Alta velocidad	T	Base tungsteno
	M	Base molibdeno
	L	Baja aleación
Usos misceláneos	F	Carbono – Tungsteno
Aceros para moldes	P	

Aceros inoxidables.

Todos los aceros se oxidan. No existe un solo acero que sea 100% inoxidable. Lo que sucede es que en los aceros inoxidables es mucho mas lenta que en los demás aceros. Por esta razón, en la literatura especializada de metalurgia, se prefieren los términos “aceros resistentes a la corrosión” y “aceros resistentes al calor” para referirse a los aceros inoxidables.

AISI clasifica a los aceros inoxidables con un sistema de tres dígitos, el primero de los cuales representa a las diferentes clases y los otros dos representan a cada acero en particular.

DESIGNACION DE SERIES	CLASES
2XX	Aceros al cromo-níquel-manganeso; no templables, austeníticos y no magnéticos
3XX	Aceros al cromo-níquel; no templables, austeníticos y no magnéticos.
4XX	Aceros al cromo; templables, martensíticos y magnéticos.
4XX	Aceros al cromo; no templables, ferríticos y magnéticos.
5XX	Aceros al cromo; bajo cromo y resistentes al calor.
6XX	Aceros de endurecimiento por precipitación.

I.III PROPIEDADES DE LOS METALES.

I.III.I Propiedades físicas de los metales.

En este grupo se consideran las características de los materiales que afectan directa o indirectamente a la apreciación de nuestros sentidos (color, peso, volumen, etc) o que definen el comportamiento del material ante fenómenos físicos tales como los eléctricos, magnéticos y térmicos. Dichas propiedades son las siguientes:

- ✚ Peso específico y densidad.
- ✚ Conductividad calorífica.
- ✚ Calor específico.
- ✚ Dilatabilidad.
- ✚ Temperatura de fusión y solidificación.
- ✚ Conductividad eléctrica.

Peso específico.- es el peso que tiene la unidad de volumen de un cuerpo., las unidades que se utilizan para designar el peso específico son: gr/cm³; Kg/dm³ y ton/m³.

Densidad.- la densidad representa la cantidad de masa que contiene la unidad de volumen de un cuerpo.

Conductividad calorífica.- expresa la mayor o menor facilidad con que los cuerpos transmiten la energía calorífica a través de su propia materia. En general los metales presentan buena conductividad calorífica, a diferencia de los demás materiales que suelen ser poco conductores del calor.

La cantidad de calor que atraviesa un cuerpo depende de:

1. La diferencia de temperaturas entre el lado caliente y el lado frío (T1 – T2).
2. La superficie (S) del cuerpo; cuanto mayor sea ésta mas energía calorífica podrá transmitir.
3. Espesor a atravesar; la dependencia es inversa, cuanto más grueso es un cuerpo menos calor transmite.
4. La naturaleza del cuerpo; esta dependencia se expresa mediante el **coeficiente de conductividad calorífica (C)** que se define como: *la cantidad de calor que atraviesa una placa de 1 cm² de superficie y 1 cm de espesor, en la unidad de tiempo cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras es 1 grado.*

En consecuencia, el calor total que atraviesa la placa en la unidad de tiempo es:

$$Q = C * S \frac{T_1 - T_2}{l}$$

Calor específico.- se define como la cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura de un gramo de masa.

$$Q = C_e * m(T_2 - T_1) = C_e * m\Delta T$$

Dilatabilidad. Coeficiente de dilatación lineal.- se define como la propiedad que tienen los cuerpos de aumentar su volumen al elevar la temperatura. **El coeficiente de dilatación lineal (α)** es el aumento que experimenta la unidad de longitud de un cuerpo al aumentar un grado su temperatura.

Si un cuerpo tiene una longitud L_0 y varía su temperatura $\Delta T^\circ\text{C}$, la variación total de la longitud será:

$$\Delta L = \alpha L_0 * \Delta T$$

y la longitud total:

$$L = L_0 + \Delta L = L_0(1 + \alpha\Delta T)$$

Temperatura de fusión y calor latente.-

Cuando se eleva la temperatura de un metal de forma progresiva, al alcanzar ésta un determinado valor denominado **temperatura o punto de fusión (T_F)** se produce un cambio de estado pasando de sólido a líquido. La temperatura de fusión es una característica bien definida de los metales y aproximadamente coincide con la temperatura de solidificación en la que se produce el cambio de estado contrario, es decir, de líquido a sólido.

Calor latente de fusión (Q_F).

Es la cantidad de calor que absorbe un cuerpo para pasar, a temperatura constante, del estado sólido al líquido.

Calor latente de solidificación.

Es la cantidad de calor que desprende un cuerpo para pasar, a temperatura constante, del estado líquido al sólido.

Conductividad eléctrica. Efecto Joule.

Representa la facilidad con que un cuerpo deja pasar la corriente eléctrica a través de su masa.

Resistividad.- en los metales los electrones encuentran una determinada resistencia a su movimiento y esto se conoce como resistividad, que es grande en los cuerpos no metálicos.

Efecto Joule.- debido a la dificultad que encuentran los electrones en su movimiento, cuando éste se produce existe una pérdida en la energía de los propios electrones que se manifiesta en forma de calor, es decir, cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, se calienta. Fenómeno conocido como Efecto Joule.

I.III.II Propiedades mecánicas de los metales.

Podemos definir las propiedades mecánicas, como la resistencia que oponen los cuerpos, frente a determinadas acciones exteriores de tipo mecánico.

Los metales tienen, en general, excelentes propiedades mecánicas. Esto les hace superiores a otros muchos materiales en cuanto a sus aplicaciones industriales. Existen cuerpos no metálicos que superan a los metales en alguna propiedad mecánica concreta (el diamante, por ejemplo, es más duro) pero en cambio los metales reúnen dos condiciones importantísimas:

1. La excelente combinación que existe de diversas propiedades que se presentan juntas y en alto grado en muchos de ellos.
2. La posibilidad que existe en los cuerpos metálicos de cambiar sus propiedades entre amplios límites, sometiéndolos a tratamientos adecuados.

Dureza:

Se define como la resistencia que los cuerpos oponen a dejarse penetrar por otros. Desde el punto de vista industrial se utiliza como medida de la dureza la resistencia que un cuerpo opone a ser penetrado por otro cuya forma y dimensiones están normalizadas.

Los dos métodos mas generalizados para medir la dureza son:

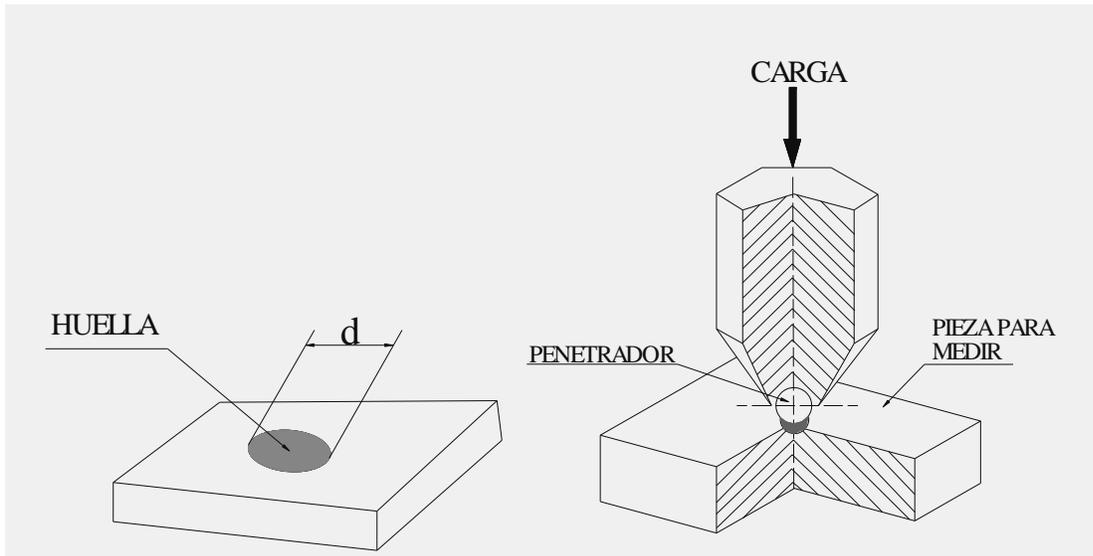
1. Dureza Brinell.
2. Dureza Rockwell.

Medida de la dureza Brinell.

La dureza Brinell se mide produciendo al material una huella con un penetrador normalizado consistente en una bola de acero extraduro de diámetro (D), que varía según el tipo de material cuya dureza se requiere medir y el espesor de la pieza, se toma:

$$P = KD^2 \text{ kg.}$$

Siendo K una constante que varía según el material que se ensaya, y que en los aceros suele ser: $K=30$.



Valor de la dureza Brinell:

Se toma como valor de la dureza Brinell la relación:

$$\text{Dureza Brinell} = \frac{P = \text{carga aplicada}}{S = \text{área del casquete esférico de la huella}}$$

Designación de la dureza Brinell:

La dureza Brinell se expresa por las letras: **HB** (l)

Seguidas de tres números entre paréntesis: **(D/P/t)**

D = Diámetro de la bola con que se hizo el ensayo, en milímetros.

P = Carga aplicada, en kilogramos.

t = Tiempo que estuvo aplicada la carga, en segundos.

Ejemplo: **250 HB (5/750/10)**, el material ensayado tiene una dureza de 250 grados Brinell, se utilizó una bola de 5mm y una carga de 750 kg durante 10 seg.

Medida de la dureza Rockwell.

La dureza Rockwell se mide produciendo en el material una huella con un penetrador que puede ser:

1. Cono de diamante de 120° de ángulo y punta redonda.
2. Bolas de acero.

Existen dos diferencias fundamentales con el método Brinell:

1. Con el cono de diamante pueden medirse durezas superiores ya que la bola del método Brinell se deforma y para valores superiores a 500HB el error es muy grande.
2. la dureza Rockwell no es función de la superficie **S** de la huella, sino de la profundidad de la misma que el propio aparato proporciona automáticamente.

Forma de medir la dureza Rockwell:

Se refiere a la escala **C** que utiliza como penetrador el cono. Se aplica la carga en tres fases:

1. Se aplica una carga previa de 10kg y se pone a cero la escala del aparato.
2. Se aplica una carga adicional de 140 kg durante 3 a 6 seg.
3. Se retira la carga adicional y se realiza la lectura de la dureza en la escala del aparato, que mide la profundidad.

Designación de la dureza Rockwell:

Se designa con el número que indica la dureza seguido de las letras siguientes:

- ✚ **HRC**: Si se utilizo la escala **c** (cono).
- ✚ **HRb**: Si se utilizo la escala **b** (bola).

El método Rockwell presenta la ventaja de la rapidez en el cálculo de la dureza y su aplicación a cualquier tipo de material desde los muy blandos a los muy duros.

- ✚ La dureza es una propiedad que influye muy notablemente en la selección y trabajo de los materiales de que se fabrica cada pieza. Así como su comportamiento posterior. Una pieza blanda se deformará y se desgastará pronto, en cambio, una pieza muy dura será difícil de trabajar y durante su funcionamiento puede sufrir roturas o saltarle pequeñas esquirlas en su superficie, sobre todo si el trabajo al que se le somete le obliga a sufrir cargas bruscas o golpes. El acero permite que podamos cambiar su dureza a voluntad y hacerlo blando para trabajarlo y una vez elaborada la pieza endurecerlo.

Elasticidad:

Se denomina **elasticidad** a la capacidad que presentan determinados materiales de recobrar su forma original después de haber sido deformados y una vez que cesa la acción exterior que los deformó.

Cuando se deforma un cuerpo, sus átomos cambian de posición unos respecto a otros y aparecen fuerzas internas que tienden a devolverlos a su posición inicial cuando cesa la fuerza exterior que los mantenía desplazados.

Límite elástico:

No podemos pensar que si aumentáramos las fuerzas exteriores el material siempre va a recobrar su forma original, llegaría un momento, para un determinado valor de las fuerzas, que al dejar de actuar éstas el material ya no recobraría su forma primitiva sino que quedaría deformado.

Es muy importante conocer bien cuál es el valor máximo de la carga que podemos aplicar a una pieza sin que esta se deforme permanentemente. A este valor se le denomina **límite elástico del material**.

El límite elástico se expresa por la carga máxima que soporta una pieza por unidad de superficie, antes de adquirir deformación permanente. Sus unidades suelen ser:

$$E = \frac{F}{S}; \quad \frac{Kg}{cm^2} \quad \text{ó} \quad \frac{Kg}{mm^2}$$

Plasticidad:

Contrariamente a la elasticidad, la **plasticidad** se define como la capacidad que tienen los materiales de adquirir deformaciones permanentes.

Si una fuerza supera el límite elástico de un material, éste se deformará permanentemente; entra en juego, por tanto, el comportamiento plástico del material. Podríamos decir que, al aumentar la separación de los átomos de su posición inicial, llegan a alcanzar otras posiciones en las que se encuentran instalados de forma estable como en la de origen, por eso al cesar la fuerza exterior ya no se mueven.

Los materiales pueden tener una mayor o menor facilidad para adquirir deformaciones según que éstas se produzcan por esfuerzos de tracción o compresión, por eso se utilizan los siguientes términos:

Ductilidad:

Es la capacidad que tienen los materiales de adquirir deformaciones permanentes como consecuencia de esfuerzos de tracción.

También se suele decir que es la aptitud que tienen los materiales para ser deformados en hilos, la razón es que los hilos metálicos se fabrican por estirado.

Maleabilidad:

Es la capacidad que presentan los materiales para adquirir deformaciones permanentes mediante esfuerzos de compresión.

También se le define como la aptitud del material para ser deformado en forma de lámina.

Resistencia a la rotura:

Un metal sometido a carga, por regla general empieza a deformarse elásticamente; si aumenta la carga, pasa a deformarse plásticamente (permanentemente) y se rompe si aumenta aún más la carga.

*La carga máxima por unidad de superficie que es capaz de soportar sin romperse se le denomina **resistencia a la rotura (R)**.*

Dicha resistencia a la rotura se expresa en las mismas unidades que el límite elástico, kg/cm^2 o kg/mm^2 .

Los diferentes tipos de esfuerzos exteriores a los que se somete la pieza son:

-  Tracción
-  Compresión
-  Torsión
-  Cizalladura

Tracción: es cuando los esfuerzos aplicados tienden a separar las secciones perpendiculares a la dirección de los esfuerzos.

Compresión: en el trabajo de compresión las secciones tienden a acercarse.

Torsión: en el trabajo por torsión las secciones giran una respecto a la otra según un eje normal a ambas.

Cizalladura: en el trabajo a cizalladura las secciones paralelas tienden a deslizarse unas respecto a otras en la dirección de los esfuerzos..

Tenacidad:

Se define la tenacidad como la capacidad que tienen los metales de absorber energía antes de romperse.

La energía que absorbe una pieza depende de la fuerza aplicada y de su deformación. Es decir, a igualdad de fuerza aplicada, cuanto mayor sea la deformación de la pieza antes de romperse mayor será el trabajo desarrollado por la fuerza y, por tanto, la energía absorbida por el material.

Tomando en cuenta lo anterior podemos asegurar que, como las deformaciones elásticas suelen ser muy pequeñas en relación con las deformaciones plásticas:

- + Si un material es poco plástico, su deformación será pequeña y por tanto absorbe poca energía antes de romperse: es poco tenaz.
- + Si un material es muy plástico, la deformación antes de romperse es grande; absorbe mucha energía: es muy tenaz.

Fragilidad:

Un material es frágil cuando se rompe al rebasar el límite elástico y sin apenas deformarse plásticamente.

La mayoría de los materiales frágiles, al no tener deformaciones plásticas antes de la rotura, absorben poca energía y por tanto son poco tenaces.

Hay que tener en cuenta que un material frágil puede resistir gran carga si su límite elástico y su resistencia a la rotura son grandes; lo que no podrá es absorber mucha energía. Por eso, si sufre un golpe, por ejemplo, y no tiene capacidad para absorber la energía puesta en juego, se rompe.

Resiliencia:

La resiliencia no es en si una propiedad de los materiales; mas bien es el resultado de un ensayo al que se someten los materiales para medir la cantidad de energía que son capaces de absorber antes de romperse mediante un golpe. A esta cantidad de energía se denomina resiliencia.

Cuanto más tenaz es un material mayor será su resiliencia.

CAPITULO II

“PROCESOS PARA LA FABRICACIÓN DE TIJERAS”

II.I FORJA.

- II.I.I La forja.**
- II.I.II Metales que pueden ser forjados.**
- II.I.III Clasificación de la forja.**
- II.I.IV Martillos de forja.**
- II.I.V Características de los martillos de forja.**

II.II TROQUELADO.

- II.II.I El proceso de corte.**
- II.II.II Claro entre el punzón y la matriz.**
- II.II.III Clasificación de los troqueles de corte.**
- II.II.IV Componentes de los troqueles de corte.**

II.III MAQUINADOS.

- II.III.I Taladrado.**
- II.III.II Brocas.**
- II.III.III Taladros.**
- II.III.IV Machuelado.**
- II.III.V Consideraciones de diseño para taladrado y machuelado.**

II.IV RECTIFICADO.

- II.IV.I Fuerzas en el rectificado.**
- II.IV.II La temperatura en el rectificado.**
- II.IV.III Efecto de la temperatura durante el rectificado.**
- II.IV.IV Métodos de rectificado.**
- II.IV.V Fluidos de rectificado.**
- II.IV.VI Consideraciones de diseño para el rectificado.**

II.V TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

- II.V.I Fundamento y proceso de los tratamientos térmicos.**
- II.V.II Temple.**
- II.V.III Fases del temple.**
- II.V.IV Etapas del enfriamiento durante el temple.**
- II.V.V Medios de temple.**
- II.V.VI Recocido.**
- II.V.VII Revenido.**

II.V.VIII Normalizado.

II.VI ACABADO CON ABRASIVOS.

II.VI.I Abrasivos.

II.VI.II Tipos de abrasivos.

II.VI.III Tamaño de grano.

II.VI.IV Tipos de aglomerante.

II.VI.V Abrasivos recubiertos.

II.VI.VI Elementos de los abrasivos recubiertos.

II.VI.VII Pulido (lijado con banda).

II.VII VIBRADO.

II.VII.I Proceso de vibrado cuatro etapas.

II.VII.II Tipos de abrasivos para vibrado.

II.VII.III Máquinas para vibrado.

II.VIII RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES.

II.VIII.I Objetivos del tratamiento de superficies.

II.VIII.II Electrodeposición.

II.I FORJA.

II.I.I La forja.

El forjado es probablemente la más antigua de todas las operaciones de los trabajos de metales.

Forjar es la operación que consiste en modificar la forma de los metales, mediante la aplicación de esfuerzos de compresión o de tracción aprovechando las características plásticas de los mismos.

Por lo tanto, para que un metal pueda ser forjado es necesario que presente la condición de plasticidad, ya sea en frío o en caliente. La forja de los aceros debe ser en caliente para aprovechar su estado plástico pues de lo contrario se originan tensiones internas que predisponen a la pieza forjada a fallas prematuras.

II.I.II Metales que pueden ser forjados (Forjabilidad).

Son todos los materiales que a determinada temperatura presentan propiedades plásticas y son: hierro dulce, acero y ciertas aleaciones industriales como latones (según su composición) aleaciones ligeras de forja y algunos bronce especiales, comprendiendo también, el plomo, zinc, estaño, cobre, etc.

Magnesio y sus aleaciones.

Forjabilidad: Las aleaciones sin refinarse trabajan bien en prensas hidráulicas de acción lenta; pero se agrietan en martinets. Debido a que los lingotes de grano grueso son sensibles al agrietamiento durante una deformación rápida, por lo común son extruidos antes de ser forjados.

Cobre y sus aleaciones.

Forjabilidad: El bronce aleado 377 es el más utilizado y es mucho más fácil de forjar que el acero de bajo carbono. El bronce-aluminio trabaja casi igual que el acero. En general, la forjabilidad de esta familia de materiales altamente dúctiles (a temperatura ambiente) no es afectada por un incremento en la velocidad de deformación. Ciertas aleaciones no pueden ser forjadas a ningún grado significativo debido a que se agrietan. El cuproníquel es difícil de forjar ya que tiene altas temperaturas de forja y a veces debe ser calentado en atmósferas controladas. Los bronce al silicio también requieren altas temperaturas y causan un desgaste más rápido en las matrices que el originado por otras aleaciones.

Acero al carbono y aleados.

Forjabilidad: estos materiales son muy forjables. Los problemas emergen cuando una aleación contiene bismuto, sulfuros u otras adiciones intencionales para facilitar al maquinado. Un factor importante es el enfriado de la pieza de trabajo en las matrices, que por depender de la velocidad de transferencia de calor puede limitar la complejidad

de una pieza o su espesor. Un aumento en la velocidad de formado produce calor, lo que mejora las posibilidades de trabajo.

Aceros inoxidables.

Forjabilidad: la mayor parte de los tipos son mucho más difíciles de forjar que los aceros al carbono o los aleados. Los grados martensíticos de alto cromo son generalmente tan forjables como los aceros aleados aún cuando su alto contenido de cromo aumenta los requerimientos de carga en alrededor de un 50%. Por arriba de 2 000 °F, algunas de estas aleaciones se transforman parcialmente en delta ferrita, lo cual es un inconveniente para la forja.

Los aceros inoxidables austeníticos requieren mayores presiones de forjado y son generalmente más difíciles de formar que los aceros al carbono o los aleados. Con los grados endurecibles por precipitación, la combinación de menores temperaturas de forja y una mayor rigidez, la carga puede ser un 50% mayor que la requerida para aleaciones como la 4340. Por esta razón se requieren equipos de gran tonelaje. Los grados ferríticos, como el tipo 405, tienen una amplia gama de forjabilidad. Por lo general, se efectúa un recocido después de su forja.

Titanio y sus aleaciones.

Forjabilidad: su comportamiento en la forja depende de la relación entre cada uno de los dos tipos de aleación: alfa o beta.

Cuando el titanio puro es calentado, se transforma, a alrededor de 1625 °F, de una estructura hexagonal compacta llamada alfa en una estructura cúbica llamada beta. Los elementos de aleación estabilizan una forma u otra de estas dos fases, elevando o bajando la temperatura de transformación. El titanio puro es más forjable que sus aleaciones; pero tal tipo de forja tiene menos demanda que las hechas con materiales de más alta resistencia.

Las aleaciones de titanio poseen diferentes grados de forjabilidad, según el nivel de la temperatura, los requerimientos de presión, la susceptibilidad al agrietamiento y su sensibilidad a la velocidad de deformación.

Superalaciones a base de hierro.

Forjabilidad: la limpieza de estos materiales tiene un efecto pronunciado en su forjabilidad. Las aleaciones que contienen elementos reactivos que pueden formar segregaciones de nitruros y carbonitruros pueden producir oclusiones en las barras forjadas. Aun en condiciones ideales, estas oclusiones originarán recalcados malos.

Todas las aleaciones en este grupo poseen el mismo grado general de forjabilidad y, a temperatura de forja, necesitan una presión ligeramente mayor que un acero inoxidable 18-8. la temperatura de forja tiene, en general, un efecto importante sobre la forjabilidad de las superaleaciones a base de hierro.

Superalcaciones a base de cobalto.

Forjabilidad: su resistencia a la temperatura de forja es mucho más alta que la de las superaleaciones a base de hierro. Por lo tanto, la presión requerida para formarlas es también proporcionalmente mayor. Las aleaciones HS-25 y S-816 cuando son forjadas a la temperatura máxima, se endurecen con el trabajo por lo que la presión de forja debe ser incrementada cuando se realizan grandes reducciones. Las aleaciones son susceptibles al crecimiento del grano cuando se calientan por arriba de los 2 150 °F y son forjadas haciendo pequeñas reducciones en las etapas iniciales.

Superalcaciones a base de níquel.

Forjabilidad: la forjabilidad disminuye conforme se incrementa la proporción de deformación, sobretodo en reducciones grandes. También son susceptibles a agrietarse si son forjadas en matrices más frías que el material. esto significa que las piezas con secciones delgadas, que se enfrían rápidamente, son difíciles de forjar. En general, hay una amplia variación en la forjabilidad en toda la gama de aleaciones de este grupo. Con excepción del Inconel 600, no todas son igualmente forjables como las superaleaciones a base de hierro. Prácticamente todas ellas requieren más presión para forjar una forma equivalente.

Metales refractarios.

Forjabilidad: la forjabilidad del titanio, columbio, molibdeno y tungsteno dependen en cierto grado del método utilizado para convertir un lingote en barra. En las aleaciones de titanio, su forjabilidad decrece rápidamente cuando el contenido de tungsteno excede el 12.5%. En las aleaciones de columbio, los lingotes que contienen molibdeno y tungsteno deben ser procesados por extrusión en caliente para refinar la estructura de vaciado y asegurar una satisfactoria forjabilidad. En las aleaciones de molibdeno, los lingotes fundidos por arco no son forjables, excepto a muy altas temperaturas, hasta que son extruidos, normalmente en una relación de 4:1. Las aleaciones de tungsteno se comportan casi igual que las de molibdeno y mejoran su forjabilidad con la disminución del tamaño de su grano.

Berilio.

Forjabilidad: proporciones menores de deformación tienen como resultado mejores propiedades de forjabilidad en este material, como se demuestra en el hecho de que el agrietamiento es un problema menor en las prensas de forja que cuando se trabaja con martinete. En berilio prensado en caliente se forja mas fácilmente que cuando se prensa como fue vaciado.

Tensiones que produce la forja.

Todo trabajo de forja es benéfico para los metales pues les proporciona una estructura fibrosa y corrige defectos de colada o rolado, como rechupes, venteaduras, grietas, etc., mejorando la fineza del grano en virtud de la presión que se ejerce sobre la estructura cristalina, pero también produce un defecto importante que es el desarrollo de tensiones internas que aparecen en el metal después de ser forjado. Estas tensiones son fuerzas moleculares debidas a desplazamientos bruscos de las moléculas, disminuyendo la cohesión intergranular y el equilibrio mecánico de la estructura de la pieza

Las tensiones producidas por el forjado se eliminan mediante el recocido, este tratamiento facilita la regeneración de fuerzas para equilibrar las tensiones en el material mejorando así su resistencia. Es decir las transformaciones estructurales son la causa inmediata de que los materiales después del recocido se vuelvan blandos y maquinables, favoreciendo en otros casos la calidad del trabajo.

II.I.III Clasificación de la forja.

Los procesos de forja se clasifican en:

- a) **Forja con matriz abierta.**- utilizada para la fabricación de piezas de gran tamaño y poca precisión. Este proceso se caracteriza por su bajo rendimiento
- b) **Forja por estampado.**- utilizada para la fabricación de piezas complicadas y pequeñas, de mayor precisión. Este proceso se caracteriza por su mayor rendimiento.

La forja con estampas o estampación, conocida también como forja de matriz cerrada, emplea matrices o estampas mecanizadas que pueden producir piezas con estrechas tolerancias en dimensiones

Es importante que la pieza en bruto tenga metal suficiente para que llene completamente la cavidad de las estampas. Como resulta difícil tomar exactamente esta cantidad, se suele emplear un pequeño exceso de metal; en el proceso de forjado, cuando las estampas se juntan este exceso es expulsado de la cavidad en forma de una cinta delgada en forma de rebaba o alas de la forja.

Defectos de la forja.

Los defectos más comunes de la forja son:

- ✚ Agrietamiento de la superficie.- puede ser producida por un trabajo excesivo de las piezas a temperaturas bajas.
- ✚ Agrietamiento de las alas.- este tipo de defecto es mas frecuente cuando mas delgadas son las alas con respecto al espesor original del metal.

- ✚ Pliegue.- es una discontinuidad producida cuando dos superficies de metal se pliega una contra la otra sin llegar a soldar completamente.
- ✚ Descarburación.- este defecto no es producido propiamente por el proceso de forja sino que se origina mientras la pieza es calentada

Hornos

El propósito es suministrar el calentamiento adecuado a las piezas que van a ser forjadas: dicho calentamiento suele llamársele caldeo.

Se emplean en el forjado de piezas grandes, el mas empleado y económico es el de reverbero, pero tiene la desventaja de que el control de la temperatura es un tanto inseguro, pues basta con apreciar el calor con los llamados colores de forja, cuyos valores aproximados se dan a continuación:

Color	Temperatura °C
Rojo incipiente	525
Rojo oscuro	700
Rojo cereza incipiente	800
Rojo cereza	900
Rojo cereza claro	1000
Naranja oscuro	1100
Naranja claro	1200
Blanco	1300
Blanco candente	1400

Horno de coque.

En las forjas, el metal a calentar entra en contacto con el combustible encendido, y en el horno tenemos un hogar de ladrillos refractarios separado en dos secciones o cámaras por una parrilla de barras de acero.

La cámara inferior forma el cenicero, teniendo en una de sus paredes la entrada del aire cuya presión es de 15 a 25 grs/cm². efectivos y permite activar la combustión del coque. Sobre la parrilla esta la cámara superior formada por una bóveda con un tiro para la evacuación de los gases.

La generalidad de los hornos esta formada por dos partes que son:

- a) Cámara de caldeo que recibe las piezas a calentar.
- b) Un dispositivo productor de calor que puede ser un hogar, un quemador, ó una resistencia eléctrica.

Todo el conjunto se construye con ladrillos refractarios a base de sílice y alúmina, las paredes se cubren con material aislante (corcho aglomerado, lana de vidrio, amianto, etc.) y toda la construcción queda reforzada con placas, perfiles y tirantes, para

contrarrestar los efectos de la dilatación y contracción, que son comunes en estos casos.

II.I.IV Martillos de forja.

La habilidad de forjar metales con golpes de martillo fue pasada de generación en generación y desarrollada durante cientos de años; la necesidad de producir gran cantidad de piezas los llevo a tratar de diseñar los martillos de forja.

En los primeros diseños de martillos para forjar, se intento darle la forma de un marro movido manualmente, esto es, un peso accionado por una palanca que pivoteaba en la parte central. Poco después se inventó el martillo de caída libre, el cual consiste en elevar un peso y dejarlo caer por efecto de gravedad, dirigido en su carrera por guías o correderas, de manera que siempre golpee en el mismo lugar.

Los últimos diseños de martillos consisten de cuatro partes principales: el yunque o base, la estructura, el ariete o martillo y el sistema para elevar y acelerar la caída del martillo. Generalmente se usa vapor y aire para acelerar la caída del ariete y en algunas ocasiones también sistemas hidráulicos.

Los martillos se construyen de tal manera que las matrices quedan perfectamente alineadas, sujetándose a la cara interior del ariete y a la cara superior del yunque, aunque realmente la matriz inferior se coloca sobre un bloque maquinado y desmontable que se encuentra sobre el yunque y se conoce como bloque porta matrices. El objeto de este dispositivo es de proteger al yunque contra los daños que causan los impactos constantes y evitar en esa forma reparaciones costosas por el daño sufrido en el yunque. El ariete no tiene esta protección, ya que puede desmontarse fácilmente y la reparación es de un costo menor.

Los martillos para forjar trabajos ligeros, se hacen con la estructura simple o abierta; en tanto que el tipo de estructura doble se hace para servicios pesados; la fuerza del impacto es controlada con precisión por el operario, siendo necesaria considerable habilidad en el manejo de esta máquina.

Los martillos de forja más comunes son los siguientes:

- a) Martillo de mango.
- b) Martillo de caída con correa.
- c) Martillo neumático.
- d) Martillo pilón.
- e) Martillo de caída libre o de tablas.
- f) Martillo de vapor.

II.IV Características de los martillos de forja.

Martillo de mango.

Esta máquina tiene considerable aplicación, en los trabajos de roblado especialmente, y consisten en una masa más o menos pesada, provista de un mango de madera articulado a la bancada del aparato por el intermedio de un eje horizontal. En algunos tipos de estos martillos un muelle mantiene la maza en su posición elevada, y el forjador golpea la pieza, dejando caer la maza por la maniobra de un manillar fijado a aquella.

En otros tipos, una rueda de brazos, movida mecánicamente, levanta la maza actuando sucesivamente con cada brazo sobre un manillar y cada vez que el brazo respectivo deja el manillar, la maza cae sobre la pieza a forjar.

Martillo de caída con correa.

Estos son de construcción sencilla, se sigue la idea fundamental de reducir las piezas, componentes a lo estrictamente necesario, de conseguir un máximo de robustez y simplicidad y de responder a todas las exigencias relativas a un empleo económico con un entretenimiento lo más reducido posible.

De este modo se puede construir un martillo para forjar con estampa con un sistema de transmisión, conocido desde hace mucho tiempo, llegando a ser uno de los más seguros y económicos.

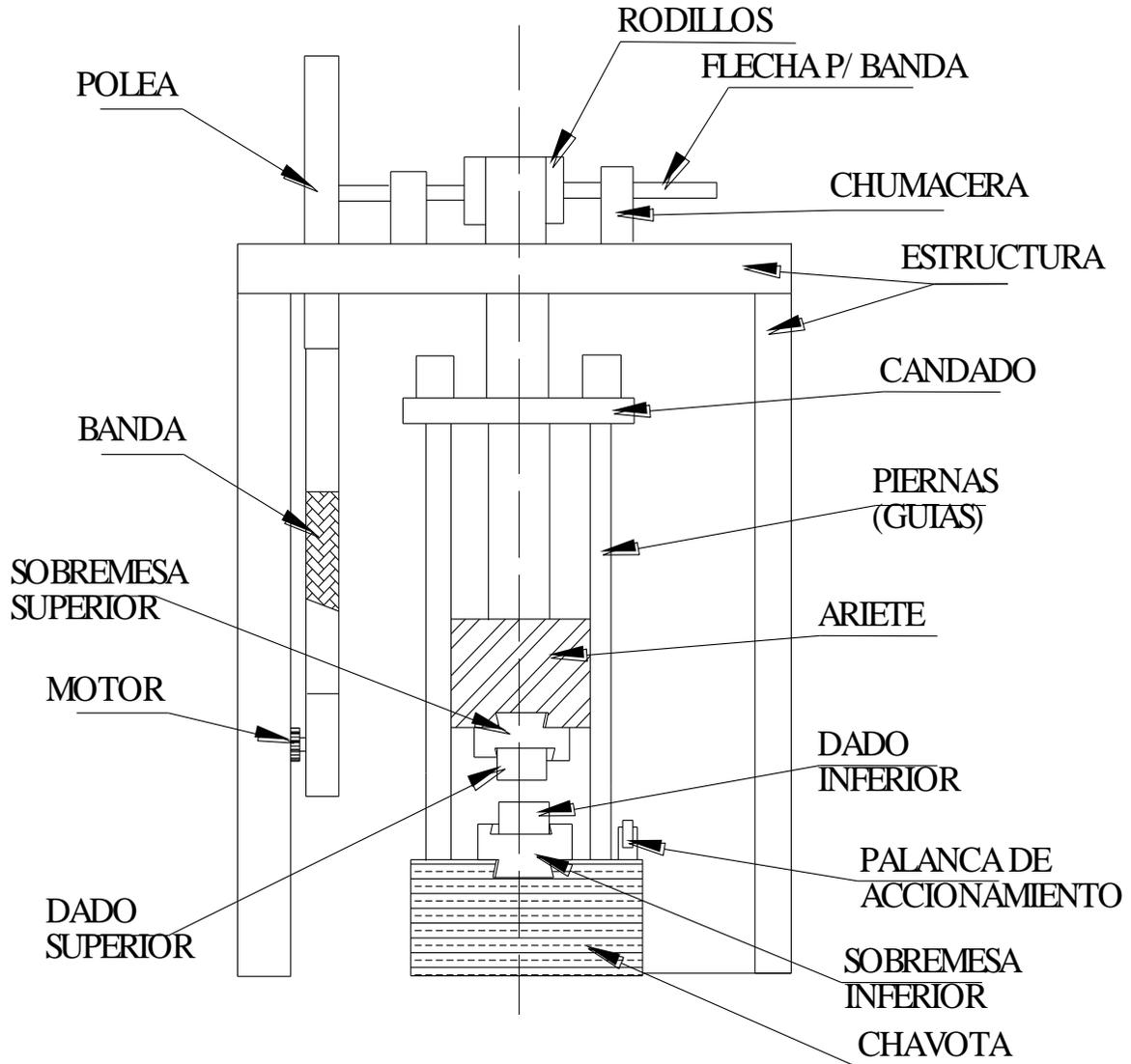
La correa de tejido, la cual constituye el órgano de elevación de la maza, combinado con un reductor de deslizamiento y un rodillo de apriete, del martillo es robusta y rígida como lo exige la precisión de las piezas a forjar, y dúctil y elástica para proteger elementos importantes contra trepidaciones del golpe. La correa es sujeta por un aparato hidráulico, se fija a la maza por medio de cuñas de fijación automática.

La chabota (base del martillo), es de hierro fundido ó acero, según convenga.

La maza (ariete) de fundición de acero especial, está templado en sus superficies de guía y se desliza entre carriles de guías de dos dientes templados e intercambiables.

El rodillo que hace presión en la correa para levantar el ariete debe estar regulado, ya que si hay mucha presión desgasta mucho a la correa.

MARTILLO DE BANDA.



VISTA FRONTAL

Martillos neumáticos.

Estos aparatos son, por lo general, de pequeñas dimensiones y de marcha rápida. En estos martillos el portaherramientas viene guiado verticalmente y en algunos modelos se halla suspendido rígidamente de un émbolo. El cilindro en el que este se desplaza, se halla abierto por el extremo opuesto y contiene un segundo émbolo, al que una

manivela y una biela, comunican un movimiento alternativo. Durante la carrera ascendente de este último émbolo, se desarrolla cierto vacío parcial entre el mismo y el émbolo inferior, el cual se levanta y arrastra el portaherramientas. El émbolo superior, después de pasar el punto muerto superior, vuelve delante del émbolo inferior; el aire intermedio se comprime y, expulsa el émbolo inferior hacia abajo. Este dispositivo es muy económico, pues utiliza muy bien el rebote de la maza golpeante.

En una variante de este sistema, todo el cilindro se desliza en correderas y es solidario del portaherramientas.

El aire solo actúa aquí como muelle elástico, pero también existen aparatos del mismo género con muelles, en los que el pie de la biela del dispositivo de arrastre es articulado a un patín, que lleva un muelle de láminas en forma de arcos cuya cuerda se halla sujeta por su mitad al portaherramientas. Estos aparatos son muy rápidos, pero de escasa regulación y faltos de elasticidad, por lo que se emplean en operaciones de martilleo regular.

Martillo pilón.

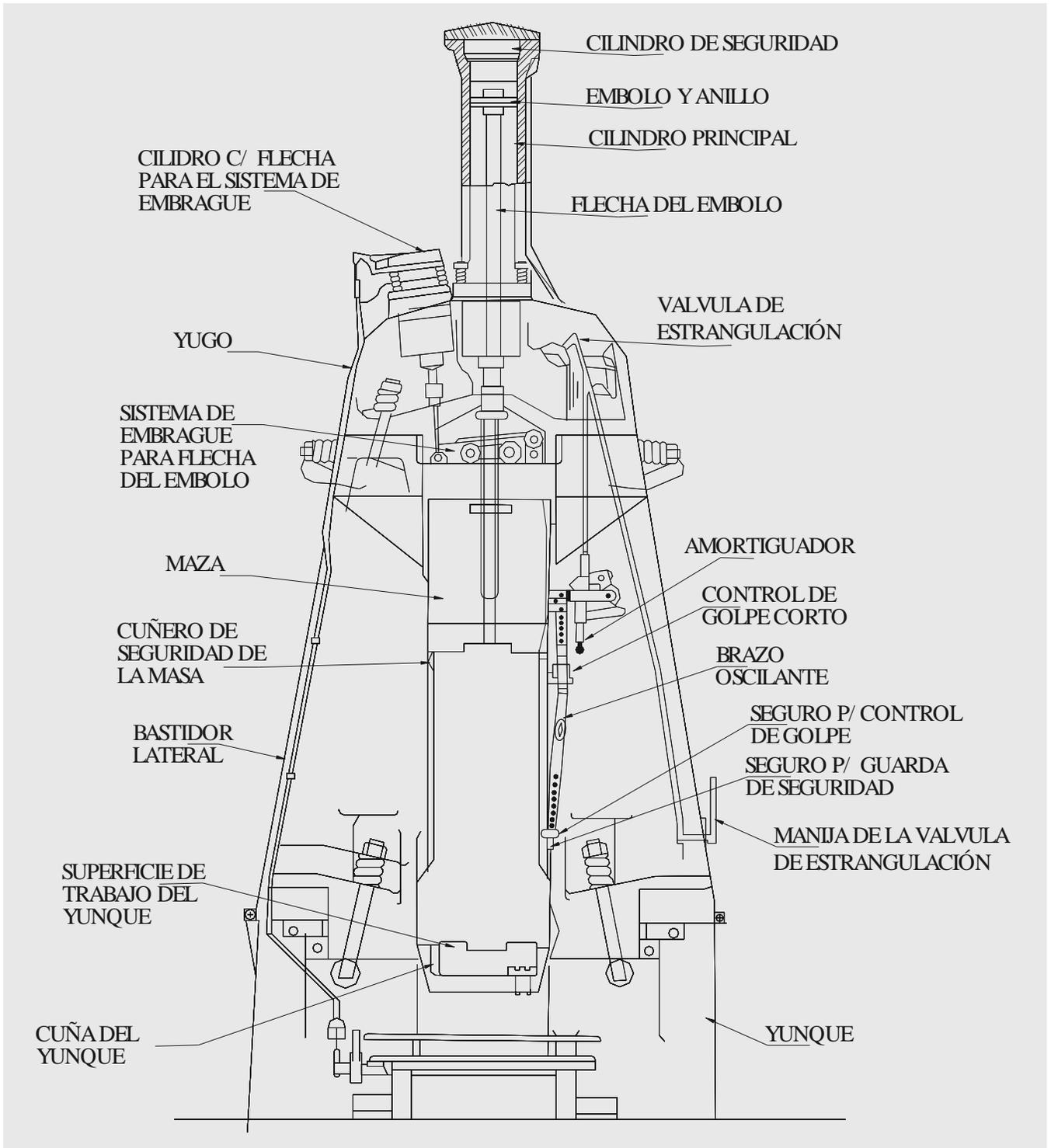
El martillo pilón es un aparato que se desliza entre dos guías verticales y cuyo ariete o maza se halla fijada a un vástago de un émbolo que desplaza en el interior de un cilindro de vapor, situado en la parte superior. El fluido motor es el vapor o para pequeñas potencias se usa el aire comprimido.

Este tipo de aparatos puede funcionar a simple efecto, o sea como el martillo típico de gravedad, o a doble efecto, en cuyo caso la presión del vapor que es admitido en el cilindro, por encima del émbolo, se suma a la acción de la gravedad.

El martillo de pilón se halla equipado con un dispositivo de accionamiento automático que permite repetir los golpes, según convenga. El golpe de un martillo de pilón de doble efecto de una maza de 25 Kg, equivale a una presión de 2500 Kgs., y uno de 250 Kgs equivale a una presión de 30000 Kgs.

Los martillos pilones de aire comprimido se construyen de 40 a 1200Kgs; con velocidades de 80 a 350 golpes por minuto; en ciertas aplicaciones se llega a velocidades de 500 golpes por minuto, con carreras de 150 a 200 milímetros y una maza de 50 Kgs.

Martillo Neumático.



Martillo de caída libre o de tablas.

El martillo de tablas emplea también la fuerza de la gravedad para realizar el trabajo; su costo de operación y mantenimiento es sumamente reducido y en general se considera superior al martillo de vapor para la producción de piezas pequeñas y medianas.

Para elevar el ariete se utilizan tablas de madera dura, unidas rígidamente a éste y accionadas por unos rodillos de fricción que giran continuamente en sentido opuesto, de tal manera que cuando se cierran presionan las tablas elevando el ariete. En el punto muerto superior los rodillos se separan y las tablas quedan sujetas por medio de unas tenazas, que las libera hasta que el operador pisa nuevamente el pedal.

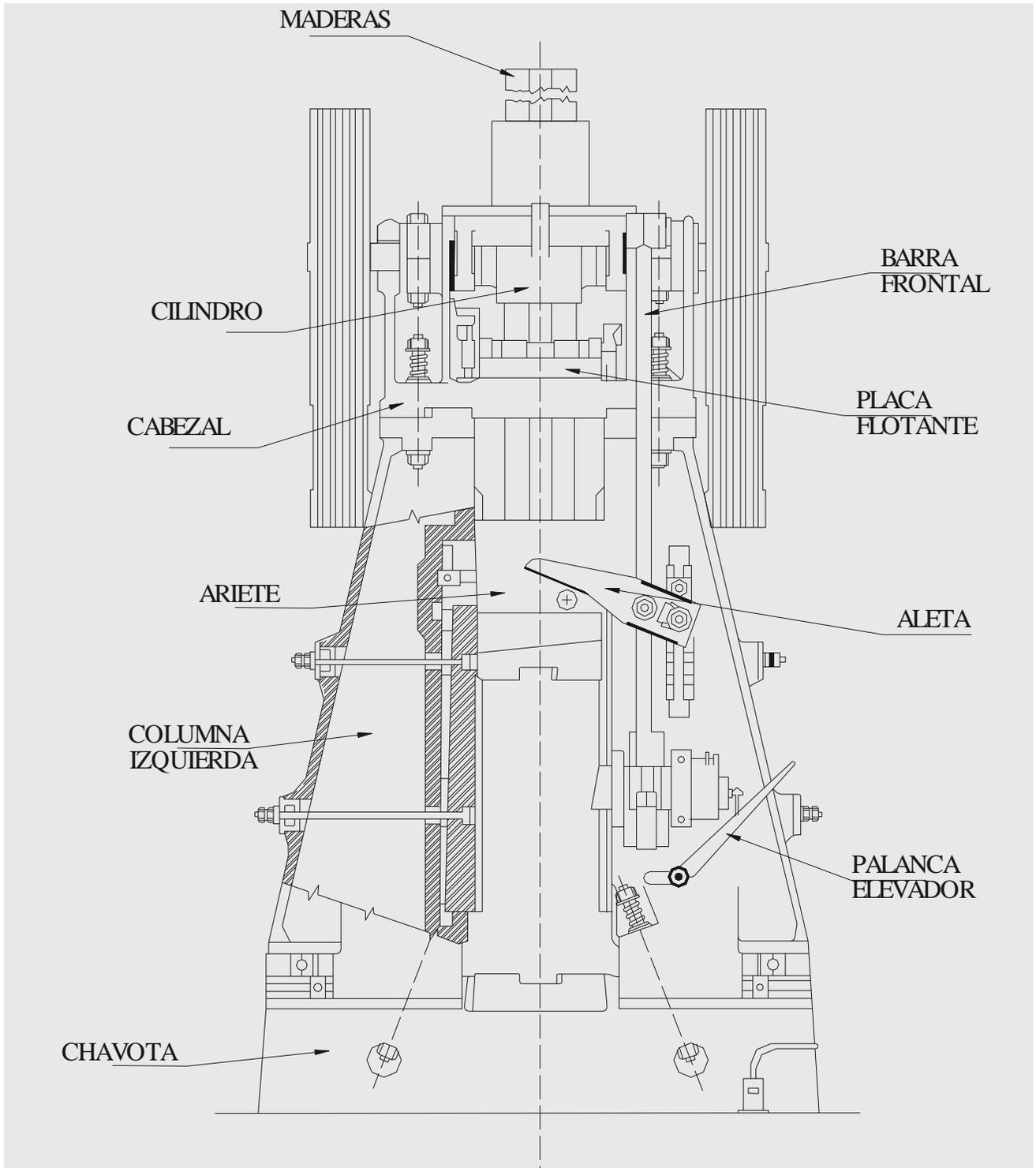
Cuando se cambian las tablas es muy importante que el ajuste de fricción apropiado deba hacerse antes de empezar a forjar. Se hace el ajuste por medio del rodillo trasero por medio de una barra; hacia abajo la barra incrementa la fricción y hacia arriba la barra reduce la fricción. Mientras el ajuste esta siendo hecho, el motor debe estar parado. Los rodillos deben estar limpios y libres de aceite y grasa. El martillo debe ser entonces rolado y hecho el ajuste de fricción.

La uña frontal es liberada por la acción del pedal y la uña trasera es ajustable por fricción, por medio de un acoplamiento en la parte trasera del martillo. Este acoplamiento debe ser ajustado para que el pedal quede arriba.

Las tablas están firmemente sujetadas y cuando el pedal es accionado las tablas quedan libres.

El ajuste apropiado de la carrera es esencial para el funcionamiento del martillo. La colocación de la leva de arrastre y la palanca de desembrague del perro, deben de ser checadas cada vez que el martillo se pone a funcionar.

Martillo de tablas.



Martillo de vapor.

En este tipo de martillo el ariete se encuentra sujeto a un vástago de un émbolo el cual es elevado por el vapor, y la fuerza del impacto es la caída del ariete por la acción de la gravedad mas la presión del vapor, la fuerza del vapor es controlada por medio de una válvula. Estos martillos trabajan rápidamente obteniendo hasta 300 golpes por minuto.

Usualmente son del diseño de doble estructura con un cilindro de vapor colocado arriba y que suministra la potencia para mover la corredera. Un martillo de vapor desarrolla el doble de energía en la estampa de lo que pueda obtenerse en un martillo de tablas o de caída libre por gravedad.

El ajuste de la presión del vapor con la que se va a trabajar es muy importante, ya que según esto, se determina la fuerza del golpe con la cual se quiera trabajar. El paso del vapor se regula por medio de una barra, la cual al bajarla se abre mas la válvula y por consiguiente hay más presión; por lo contrario, si se sube disminuye la presión del vapor y disminuye la fuerza del golpe; la fuerza del golpe depende del tipo y tamaño de la pieza a forjar.

Para trabajar en el martillo es de fundamental importancia tener bien ajustada la carrera del ariete, ya que si el ariete tiene mucha carrera puede llegar a golpear o hasta romper la tapa superior del cilindro donde se encuentra el émbolo, y si la carrera es mínima la fuerza del impacto no es suficiente para el forjado.

II.II TROQUELADO.

II.II.I El proceso de corte

El corte tiene como objeto separar materiales, siendo necesario para esto adoptar el trabajo de corte el cual junto con el trabajo de flexión dan la superficie de rotura que es donde se produce la separación del material.

Con la operación de punzonado se logra obtener una figura de carácter geométrico, de superficie plana y de manera instantánea, siendo dicha figura la que constituye el producto deseado.

Las herramientas usadas generalmente consisten de un punzón y una matriz.

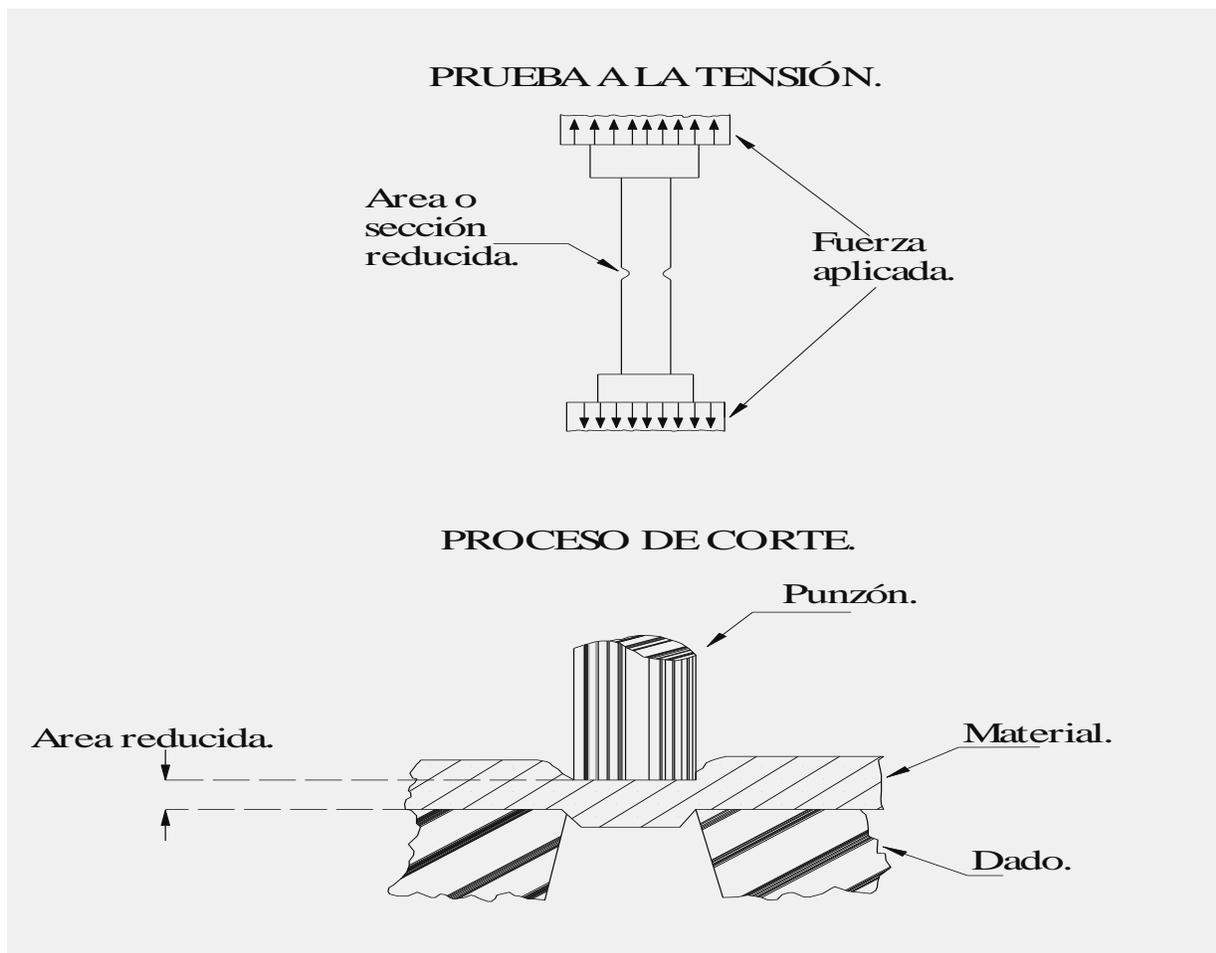
Cuando una fuerza en una prueba a la tensión, excede el límite de resistencia del material, se produce una deformación que consiste en una reducción de la sección de la probeta, tal como se muestra en la siguiente figura.

Si seguimos aumentando la carga, ocurre la rotura de la probeta en el cuello. Igualmente, en una operación de corte, la sección se reduce cuando el metal es sometido a un esfuerzo más allá del límite elástico. Posteriormente la fractura o rotura

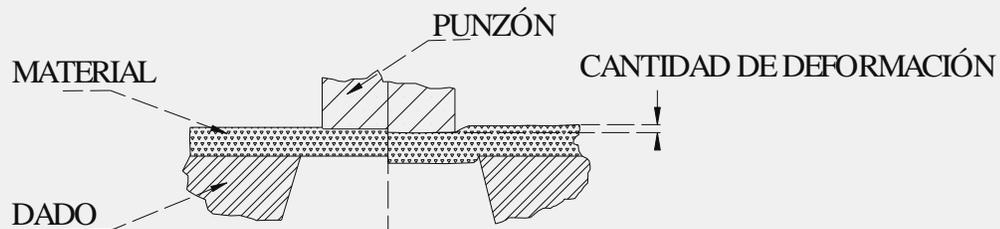
del material se produce cuando se tiene la carga concentrada como se muestra en la siguiente figura.

Examinando ahora el proceso de corte de la figura se tiene: primeramente se coloca el material que se va a cortar sobre el dado (a), inmediatamente el punzón reduce la sección (b) y finalmente el material es cortado.

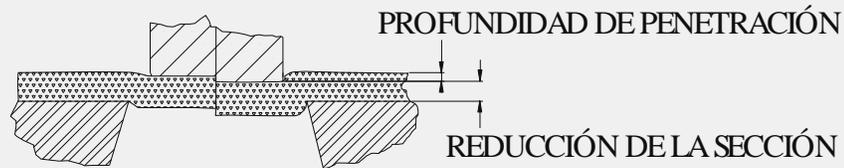
La presión aplicada por el punzón en el material, tiende a deformarlo dentro de la abertura del dado o matriz. Cuando el límite elástico se rebasa por una carga mayor, el material se ve forzado a penetrar dentro de la abertura de la matriz en forma de cojín aplastado en la cara de abajo del material y en la parte o cara superior se forma una depresión como se muestra en la figura. En esta figura del lado derecho se muestra el material después de haber sufrido el proceso correspondiente y del lado izquierdo como se encontraba en el paso anterior. Al aumentar la carga el punzón penetra en el material una cierta profundidad, al mismo tiempo dentro de la matriz también penetra la misma profundidad tal como se muestra en la figura. Esta penetración ocurre antes que comience la fractura o corte, y reduce el área o sección del material en la parte en donde ocurrirá el corte. La fractura comienza en el área reducida tanto en la cara superior como en la inferior. A continuación se muestra el proceso y secuencia de corte:



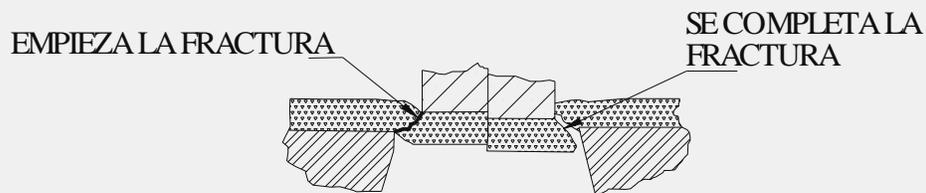
SECUENCIA DE CORTE



A) DEFORMACIÓN PLÁSTICA



B) REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN



C) FRACTURA O ROTURA

II.II.II Claro entre el punzón y la matriz.

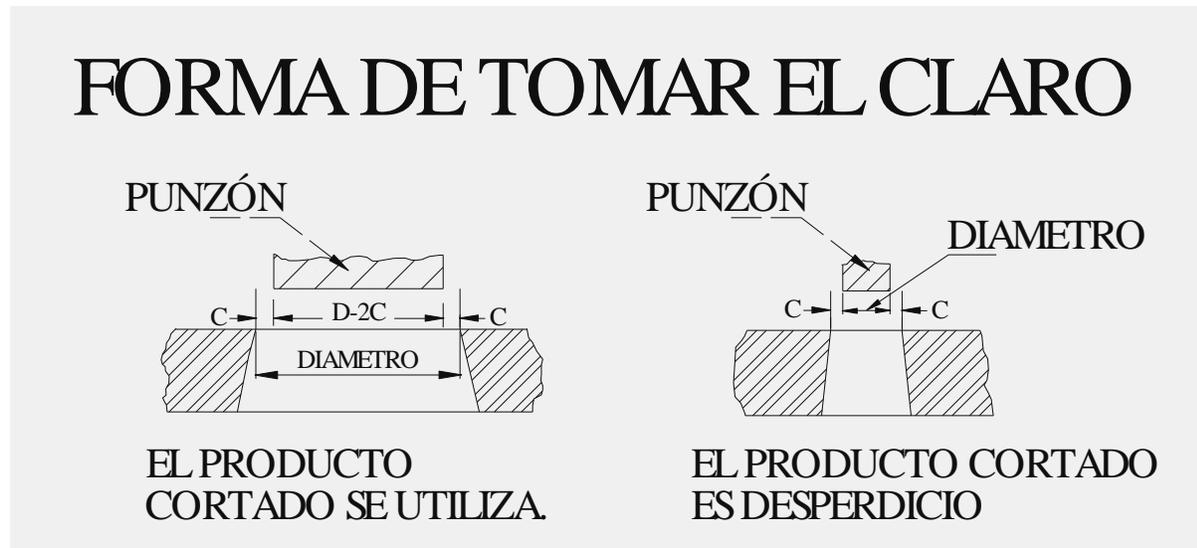
En las operaciones de corte es muy importante vigilar tres factores:

1. El claro entre el punzón y la matriz, que dependerá del espesor, tipo y temple del material a cortar.
2. Las herramientas deberán de mantener sus filos correctamente alineados.
3. Los filos deberán mantenerse limpios y perfectamente lubricados.

Forma de tomar el claro.

Si se desea que el contorno exterior de la plantilla, sea correcto, el claro será deducido del punzón, dejando la matriz del tamaño exacto que se requiere que tenga la plantilla.

Contrariamente, si la plantilla no se va a utilizar sino que es desperdicio y lo que importa es la medida interior del punzonado que queda en el material, entonces el claro se suma a la matriz, dejando el punzón de la medida exacta del punzonado.



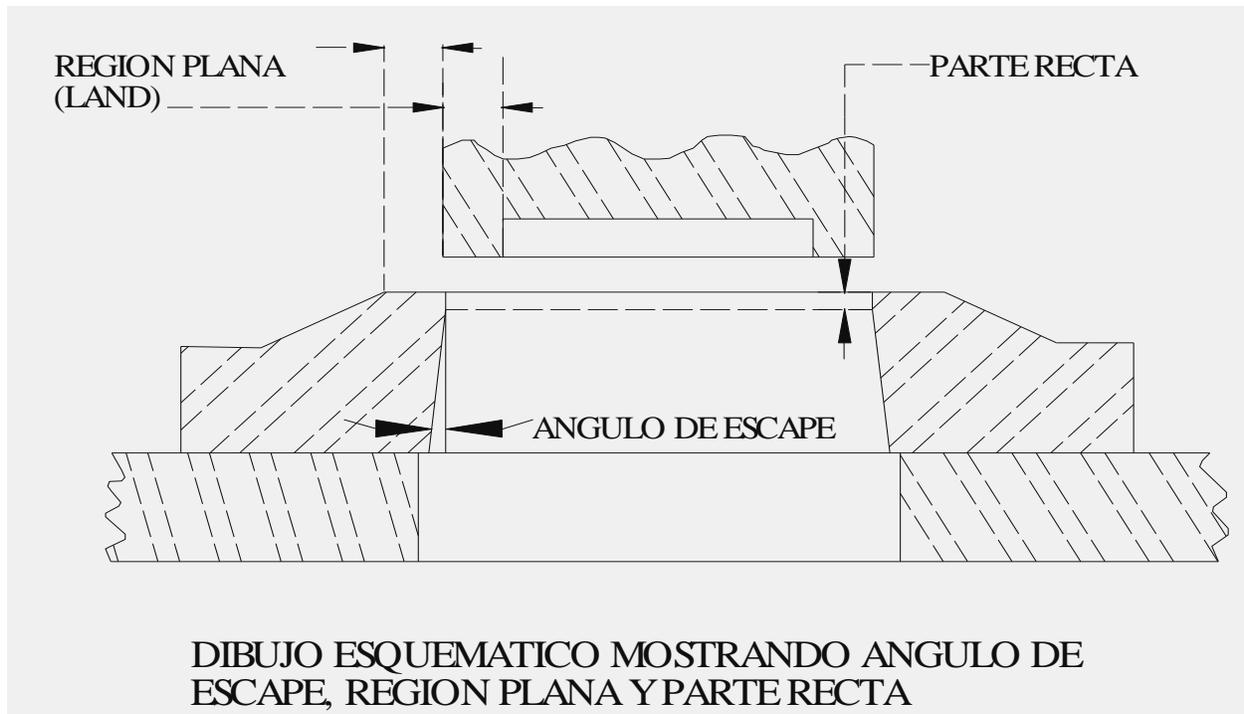
Claro angular o ángulo de escape.

El claro angular se define como el claro debajo de la porción recta de la matriz, introducido con el propósito de permitir la salida de las piezas cortadas, dadas las causas anteriormente mencionadas.

Si no se da este ángulo en una matriz las piezas cortadas se forzan, presionando conforme se va troquelando, lo cual dificultaría la expulsión, y el esfuerzo requerido en el segundo corte sería superior al primero, al repetirse esto varias veces, a lo largo del espesor de la placa se desarrollaría un gran esfuerzo lateral que podría dar como consecuencia la rotura de la misma matriz.

En troqueles chicos, este ángulo debe ser de $\frac{1}{4}^\circ$ ó $\frac{1}{2}^\circ$ por lado; para grandes troqueles conviene que sea de $\frac{3}{4}^\circ$ por lado. Los valores anteriores son los mínimos. Se comprende que estas matrices no podrían ser rectificadas puesto que su contorno aumentaría rápidamente al mismo tiempo que el perfil de la pieza por cortarse, dando por consiguiente piezas defectuosas.

La siguiente figura muestra claramente el ángulo de escape.



II.II.III Clasificación de los troqueles de corte.

1. Troqueles de simple acción.

- ✚ Troqueles para cortar plantilla. El material desplazado se utiliza.
- ✚ Troqueles para cortar sobrante de material alrededor de una pieza que ha sido anteriormente embutida y formada.
- ✚ Troqueles de punzonado. Para perforaciones circulares siendo el desperdicio el material desplazado.
- ✚ Troqueles de corte con separación. El material desplazado, parte es utilizado parte es desperdicio.

2. **Troqueles con múltiples herramientas o punzones.**- en estos troqueles se tienen dos o más punzones ensamblados en una misma zapata o porta punzón. En ellos se obtienen o se hacen operaciones de dos o más productos al mismo tiempo.

3. **Troqueles progresivos.**- estos troqueles están arreglados para completar el producto en dos o más estaciones dentro del mismo troquel. Al ir pasando el material, generalmente en forma de tira, una parte del trabajo es efectuado en cada estación hasta que en la última queda totalmente terminado. En cada golpe de la prensa se efectúan o se llevan a cabo dos o más operaciones en las cuales cada una de ellas es precedida por otra, y todas juntas, completan el producto.

Este tipo de herramienta es el mas caro y solo se le utiliza cuando se requiere una muy alta producción.

II.II.IV Componentes de los troqueles de corte.

Los troqueles de corte tienen como partes principales:

- a) Punzones o machos.
- b) Matrices o dados.
- c) Macho portapunzón.
- d) Placa portapunzones.
- e) Placas guía de punzones.
- f) Placa extractora.
- g) Zapatas.
- h) Guías laterales del material.
- i) Topes.
- j) Piloto.
- k) Extractores.
- l) Placa sufridera.

Además de estas partes se tienen otras tales como: cama. Guías de zapata, bujes para guía, etc. A continuación se estudian las partes principales.

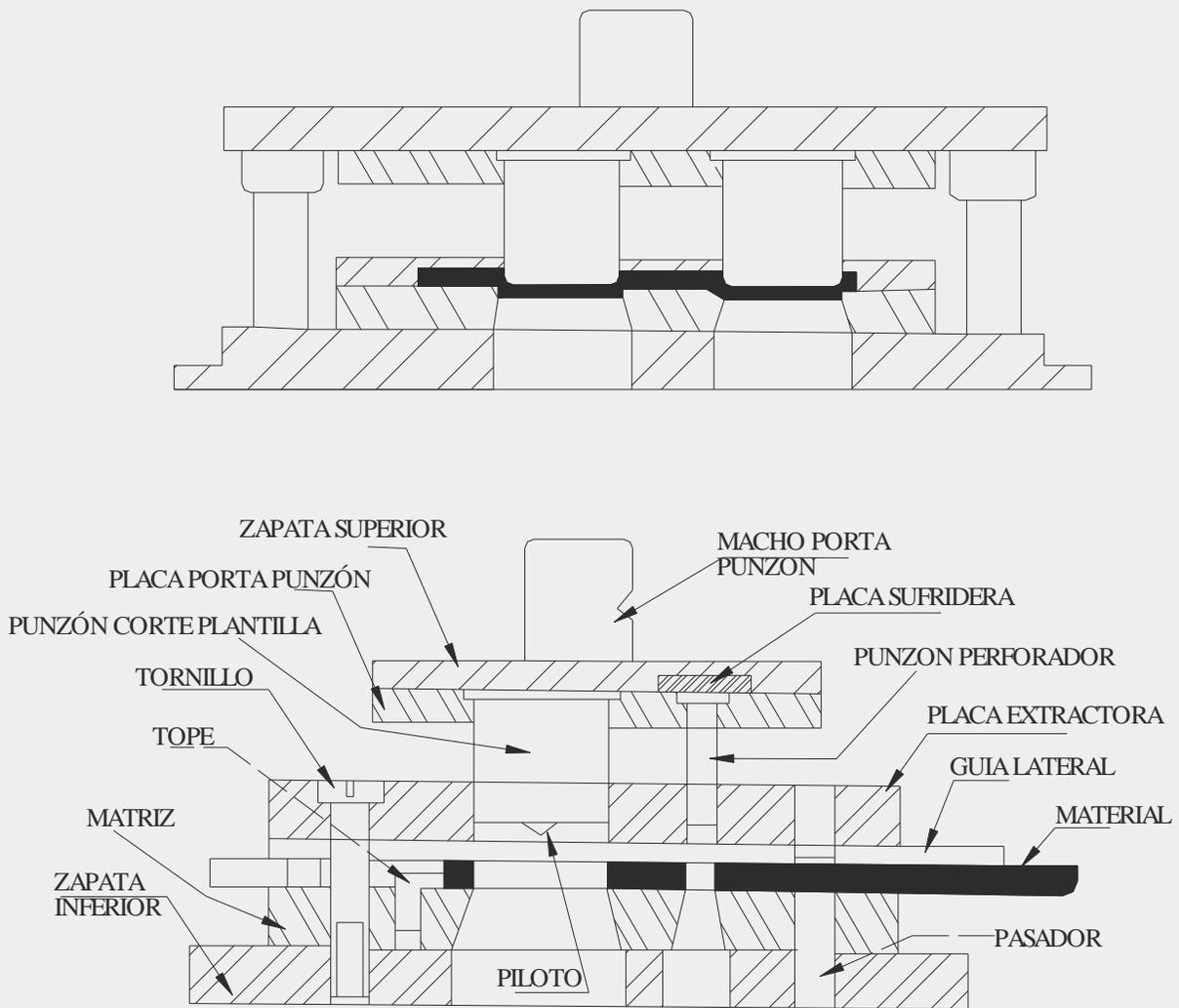
- a) **Punzones**.- estas piezas junto con la matriz, son las más importantes del troquel, estos adoptan la forma de la pieza por producirse. Están sujetos generalmente por medio de la placa portapunzones y trabajan contra la placa sufridera si son pequeños, y si son grandes contra la zapata superior.
- b) **Matrices o dados**.- en ellas se tienen como las figuras de las piezas por cortar, talladas con exactitud meticulosa, pieza que por lo general esta sometida a esfuerzos mayores.
- c) **Macho portapunzón**.- tiene como objeto el unir el troquel a la prensa; generalmente es una pieza de forma cilíndrica, en uno de cuyos extremos se hace un rebajo con objeto de asegurar las fijaciones mediante un prisionero que se inserta a través del carro de la prensa.
- d) **Placa portapunzones**.- para sujetar los punzones o machos al troquel, pueden considerarse dos sistemas de sujeción:
 1. Fijación directa del macho al portapunzones.
 2. intercalando la placa portapunzones tal y como lo muestra la figura.

Este ultimo sistema es el mas usado y el de mejores resultados.

- e) **Placa guía de punzones**.- esta pieza es imprescindible en los troqueles de corte si se quiere que el trabajo sea exacto; además, hay ocasiones en que desempeña funciones de extractor del material, en cuyo caso es más necesario.
- f) **Guías laterales del material**.- su función principal es servir de guía a la tira de material por cortarse.

- g) **Topes.**- para los casos en que hay que dar continuidad en un corte en el que precede y en el que antecede, se hace necesario agregar al troquel uno o más topes, con el cual se logra dar el “paso” de corte.
- h) **Pilotos.**- La función básica de estas partes es centrar el corte.
- i) **Placa sufridera.**- el objeto de esta pieza es recibir el golpe del punzón, al efectuarse el corte, ya que de no ser así, lo recibiría la zapata, la cual por ser de material suave (generalmente hierro fundido o placa maquinada) se resentiría. En la grafica se muestran las partes principales de un troquel:

PARTES DE UN TROQUEL DE CORTE



II.III MAQUINADOS.

II.III.I Taladrado.

En general, los orificios se usan para ensamblar con sujetadores tales como pernos, tornillos o remaches, o para tener acceso al interior de una pieza.

El maquinado de orificios es una de las operaciones más importantes en la manufactura. El taladrado es uno de los procesos más importantes y más comunes de maquinados de orificios.

Práctica del taladrado.

Las brocas y las herramientas para hacer orificios se suelen sujetar en *broqueros* o mordazas para brocas que se pueden apretar con o sin llaves. Se consiguen broqueros y boquillas especiales, con diversas funciones de cambio rápido, que no requieren parar el usillo, para usarlos en maquinaria de producción.

Como una broca no tiene acción centrante, tiende a “caminar” sobre la superficie de la pieza al comenzar la operación. El problema es especialmente grave en brocas de tamaño pequeño. Para iniciar bien un orificio se debe guiar la broca, con soportes (bujes) que eviten se desplace hacia los lados.

Se puede hacer un orificio pequeño inicial con una broca de centro (normalmente con ángulo de 60° en la punta), o se puede esmerilar la punta de una broca para obtener una forma de S (punta en espiral o helicoidal). Esta característica autocentrante elimina la necesidad del taladrado de centro, produce orificios exactos y mejora la vida de la broca. .

Por su movimiento giratorio, el taladrado produce orificios con paredes que tienen marcas circunferenciales; en contraste, los orificios troquelados o punzonados tienen marcas longitudinales.

Recomendaciones para el taladrado.

La velocidad es la **velocidad superficial** de la broca en su periferia. Así, una broca de 0.5 pulg que gire a 300 rpm tiene una velocidad superficial de $(0.5 \text{ pulg}/2)(300 \text{ rpm})(2\pi \text{ rad/rev})(1 \text{ pie}/12 \text{ pulg}) = 39 \text{ pies/min} = 12 \text{ m/min}$.

El **avance** en el taladro es la distancia que recorre la broca por revolución, al penetrar en el material de la pieza.

La **eliminación de viruta** durante el taladrado se puede dificultar, en especial en orificios profundos y en materiales suaves y dúctiles. La broca se debe retirar en forma periódica para sacar las virutas que se hayan acumulado en sus surcos; de otro modo puede romperse debido al par de torsión excesivo, o puede “caminar y salirse de lugar, produciendo un orificio mal hecho.

II.III.II Brocas.

Debido a que las brocas suelen tener una relación grande de longitud a diámetro, son capaces de producir orificios relativamente profundos. Sin embargo, son algo flexibles, dependiendo de su diámetro, se deben usar con cuidado, para taladrar orificios con exactitud y evitar que se rompa la broca. Además hay que remover las virutas que se producen dentro de la pieza, moviéndolas en dirección opuesta al movimiento axial de la broca. En consecuencia, en el taladrado pueden presentarse grandes dificultades para retirar las virutas, así como por la eficacia de los fluidos de corte.

En general el diámetro de los orificios que produce el taladrado son un poco mayores que el diámetro de la broca (**sobretamaño**) y se puede notar, observándola, que se puede sacar con facilidad una broca del orificio que acaba de producir. La cantidad de sobretamaño depende de la calidad de la broca y del equipo usado, así como de los métodos empleados.

Tipos de brocas.

Broca helicoidal.- las brocas más comunes son del tipo convencional **helicoidal** con punta cónica, cuyas propiedades principales son:

- ✚ Angulo de punta.
- ✚ Angulo de gavilanes.
- ✚ Angulo de punto muerto o arista.
- ✚ Angulo de hélice.

La geometría de la boca o punta de la broca es tal que el ángulo de ataque normal y la velocidad del filo varían con la distancia al centro de la broca.

En general, dos ranuras **helicoidales** (canales) van por la longitud de la broca, y las virutas producidas son conducidas hacia arriba, por estos canales. Los canales también funcionan como paso para que el fluido de corte pueda llegar a los filos.

Geometrías de punta de broca.

Unos cambios pequeños en la geometría de la broca pueden tener grandes efectos en la eficiencia de ésta, en especial en la región del punto muerto o arista, que consume un 5% de la fuerza de empuje en el taladrado. Además de las brocas convencionales, se han desarrollado otras geometrías de punta de broca para mejorar el funcionamiento y aumentar la rapidez de penetración de la broca.

Otras clases de brocas.

- ✚ **Broca escalonada.**- produce orificios de dos o más diámetros distintos.
- ✚ **Broca de sondeo.**- para agrandar un orificio existente.
- ✚ **Brocas de abocardar y de avellanar.**- producen depresiones o cajas en la superficie para acomodar cabezas de tornillos y pernos.

- ✚ **Broca de centro.**- es corta y se usa para producir un orificio en el extremo de una pieza, para poder montarla entre los puntos de un torno (punto y contrapunto).
- ✚ **Broca piloto.**- se usa para iniciar un orificio en el lugar deseado de una superficie.
- ✚ **Brocas de pala.**- tienen puntas o buriles desmontables, y se usan para producir orificios grandes y profundos.
- ✚ **Brocas de punta de cigüeña.**- tienen buena facilidad de centrado y, como las virutas tienden a romperse con facilidad, estas brocas son adecuadas para producir orificios profundos.

II.III.III Taladros.

Los taladros se usan para barrenar, machuelar, escariar y también para perforar en diámetros pequeños. El tipo más común es el taladro vertical, cuyos principales componentes se muestran en la siguiente figura:

La pieza se coloca en una mesa ajustable, prensándola directamente en las ranuras y orificios de la mesa, o con un tornillo de banco, que a su vez se puede sujetar en la mesa. La broca se baja manualmente mediante un volante o con el avance adecuado con velocidades preestablecidas.

Los taladros verticales se suelen especificar por el diámetro máximo de pieza que puede caber en la mesa. Los tamaños característicos van de 150 mm a 1250 mm. Para mantener las velocidades correctas de corte en los filos de las brocas, se ajusta la velocidad con los diferentes diámetros de broca. El ajuste se hace mediante poleas, cajas de engranes o motores de velocidad variable.

Los tipos de taladros van desde las sencillas unidades de taladro de banco hasta los grandes taladros radiales. La cabeza del taladro universal se puede girar para taladrar en ángulo.

Los taladros con varios usillos (taladros múltiples) se usan para operaciones de producción en grandes volúmenes.

II.III.IV Machuelado.

Se pueden producir roscas internas en piezas mediante el machuelado. Un machuelo es una herramienta de roscar, que produce virutas, con dos, tres o cuatro canales. El machuelo más común en la producción tiene dos canales y punta en espiral. Impulsa las virutas hacia el orificio, por lo que hay que sacarlo solo al finalizar el corte.

Los machuelos de tres canales son más robustos porque en el canal hay más material disponible.

Los machuelos cónicos son para reducir el par de torsión que se requiere para roscar orificios pasantes.

Los machuelos de fondeo son para roscar orificios ciegos en toda su profundidad.

Los machuelos colapsables se usan en orificios de gran diámetro; después de terminar el roscado, el machuelo se contrae mecánicamente y, sin girar sale del orificio.

En el machuelado puede presentarse el problema de la remoción de viruta, por las pequeñas holguras que se manejan. Si no se eliminan las virutas adecuadamente, el par de torsión excesivo resultante puede romper el machuelo.

El machuelado se puede hacer a mano o con máquinas como las siguientes:

- ✚ Taladros.
- ✚ Tornos.
- ✚ Roscadoras automáticas.
- ✚ Fresadoras verticales.

Con la lubricación adecuada, la vida de un machuelo puede ser de hasta de 10,000 orificios.

Los machuelos pueden ser de aceros al carbono para aplicaciones de servicio suave, o de aceros rápidos para trabajos de producción.

Se puede mejorar la productividad de las operaciones de machuelazo, subiendo la velocidad superficial hasta los 100 m/min. (350 ft/min.).

II.III.V Consideraciones de diseño para taladrado y machuelado.

Los lineamientos básicos para diseñar las operaciones de taladrado, y machuelado son los siguientes:

- a. los diseños deben permitir el taladrado de orificios sobre superficies planas y perpendiculares al movimiento de la broca; de no ser así, la broca se tiende a flexionar y el orificio no estará localizado con exactitud. Las superficies de salida de la broca también deben ser planas.
- b. Se deben evitar las superficies interrumpidas de orificio, o al menos reducir al mínimo, para mejorar la exactitud dimensional.
- c. Si es posible, los fondos de los orificios deben ser iguales a los ángulos normales de la punta de broca. Se deben evitar los fondos planos o formas raras.
- d. Son preferibles los orificios pasados a los ciegos, como en las operaciones de mandrinado. Si se requieren orificios de gran diámetro, la pieza debe tener un orificio previo, de preferencia hecho durante su fabricación.
- e. Se deben diseñar las partes de tal modo que se pueda hacer todo el taladrado con un mínimo de soportes y sujetadores, y sin cambiar de posición la pieza.
- f. Puede dificultarse escariar orificios ciegos o en intersección, por la posibilidad de romper la herramienta. Se debe tener una profundidad adicional en el orificio.
- g. Se deben taladrar orificios ciegos a mayor profundidad que la alcanzada por las operaciones posteriores de escariado o machuelado que se vayan a ejecutar.

II.IV RECTIFICADO.

El **rectificado** es un proceso de remoción de virutas que usa un grano abrasivo individual como herramienta de corte. Las diferencias principales entre las acciones de grano y de herramienta de una punta son las siguientes:

1. Los granos abrasivos individuales tienen **formas irregulares** y están a distancias **aleatorias** en la periferia de la piedra.
2. el ángulo promedio de ataque de los granos es muy negativo, por ejemplo, -60° o aún menos. En consecuencia, las virutas del rectificado sufren una deformación mucho mayor que las de otros procesos de corte.
3. Las posiciones radiales de los granos varían.
4. Las velocidades de corte son muy altas, normalmente de 30 m/s.

El proceso y parámetros en la operación de rectificado plano se observan mejor en la siguiente figura. Una piedra abrasiva recta de diámetro D saca una capa de metal a la profundidad d (**profundidad de corte de la piedra**). Un grano individual en la periferia de la rueda se mueve a una velocidad tangencial V , mientras que la pieza se mueve a la velocidad v . Cada grano abrasivo saca una pequeña viruta con un **espesor no deformado** (**profundidad de corte del grano**) igual a t , y de longitud no deformada l .

II.IV.I Fuerzas en el rectificado.

Es necesario conocer las fuerzas en el rectificado, no sólo para estimar los requerimientos de potencia y para diseñar las rectificadoras, sino también para determinar las flexiones que puede sufrir la pieza y la rectificadora. Las flexiones afectan en forma negativa la exactitud dimensional y son críticas en el rectificado de precisión.

Si suponemos que la fuerza de corte en el grano es proporcional al área transversal de la viruta no deformada, se puede demostrar que la **fuerza del grano** (fuerza tangencial de la pieza) es proporcional a las variables del proceso como sigue:

$$\text{Fuerza de grano} \propto (v/V \sqrt{d/D}) \text{ (resistencia del material).}$$

Por las dimensiones pequeñas que se manejan, las fuerzas en el rectificado suelen ser, mucho menores que las de las operaciones de corte. Las fuerzas de rectificado deben mantenerse bajas para evitar distorsiones y mantener la exactitud dimensional de la pieza.

La **energía** disipada al producir una viruta en rectificado esta constituida por la necesaria para:

- a) Formación de virutas.
- b) Rayado, con los levantamientos o surcos de material.
- c) Fricción causada por frotamiento del grano a lo largo de la superficie.

Los granos desarrollan una cara de desgaste parecida al desgaste de flanco en las herramientas de corte, resultado de la operación de rectificado. La cara de desgaste se frota con la superficie rectificadora y, por la fricción.

II.IV.II La temperatura en el rectificado.

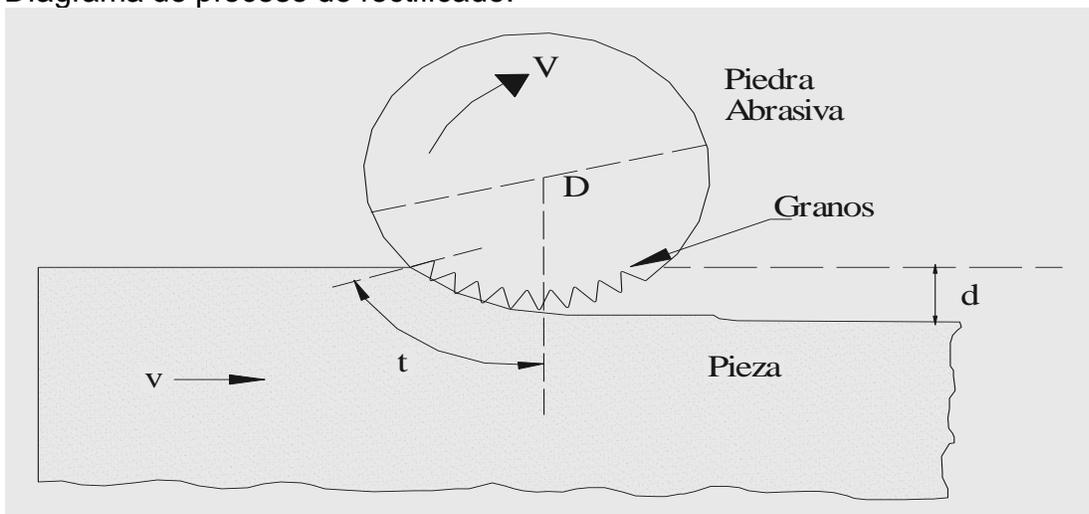
En el rectificado, el aumento de temperatura es una consideración importante, porque puede afectar en forma adversa las propiedades de la superficie, y causar esfuerzos residuales en la pieza. Además, los gradientes de temperatura en la pieza causan distorsiones por diferencias en dilatación y contracción térmica. Cuando una parte del calor generado entra a la pieza, expande la parte que se está rectificando, y se dificulta controlar la exactitud dimensional.

El **aumento de temperatura superficial** en el rectificado se relaciona con las variables del proceso con la siguiente ecuación:

$$\text{Aumento de temperatura} \propto D^{1/4} d^{3/4} \left(\frac{V}{v} \right)^2 \quad (\text{resistencia del material}).$$

Por consiguiente, la temperatura aumenta al incrementarse la profundidad de corte, el diámetro y la velocidad de la piedra, y disminuye al aumentar la velocidad de la pieza. Nótese que la profundidad de corte tiene la máxima influencia sobre la temperatura.

Diagrama de proceso de rectificado:



II.IV.III. Efecto de la temperatura durante el rectificado.

Las **temperaturas máximas** durante el rectificado pueden llegar a 1600 °C. Sin embargo, el tiempo que se tarda en formar una viruta es extremadamente corto, del orden de microsegundos, por lo que la viruta se podrá fundir o no. Como las virutas se

llevan gran parte del calor generado, sólo una fracción del calor producido por el rectificado pasa a la pieza.

Chispas.

Las chispas producidas al rectificar metales en realidad son virutas que se encienden, resultado de la reacción **exotérmica** (generadora de calor) entre las virutas y el oxígeno de la atmósfera. Las chispas no se observan cuando un metal cualquiera se rectifica en un ambiente sin oxígeno.

El color, intensidad y forma de las chipas dependen de la composición del metal que se rectifica. Hay tablas que ayudan a tratar de identificar el tipo de metal que se rectifica a partir del aspecto de sus chispas. Si el calor generado debido a la reacción exotérmica es suficientemente grande, las virutas se pueden fundir y, debido a la tensión superficial, adquirir una forma esférica y solidificarse en forma de partículas metálicas.

Revenido.

Un aumento excesivo de temperatura en el rectificado puede producir el **revenido y reblandecimiento** de la superficie de la pieza. En vista de ello, se deben seleccionar con cuidado las variables de l proceso para evitar el incremento de temperatura. Un método efectivo para controlar la temperatura es usar fluidos de rectificado.

Quemado.

Un aumento excesivo en la temperatura durante el rectificado (y en especial, durante el esmerilado) puede quemar la superficie que se trabaja. Una **quemadura** se caracteriza, en superficies rectificadas de acero, por un color azulado, indicación de que la alta temperatura causo oxidación. Se puede detectar por el ataque químico y otras técnicas metalúrgicas. Una quemadura no es perjudicial por si misma. Sin embargo, las capas superficiales pueden sufrir transformaciones de fase con formación de martensita en los aceros al alto carbono, debido al enfriamiento rápido (**quemadura metalúrgica**). Esta condición influirá sobre las propiedades superficiales de las partes rectificadas, reduciendo la ductilidad y la tenacidad superficial.

Agrietamiento térmico.

Las altas temperaturas durante el rectificado pueden hacer que la superficie de la pieza se agriete. A esto se le llama **agrietamiento térmico**. Estas grietas suelen ser perpendiculares a la dirección del rectificado. Sin embargo, bajo condiciones severas de rectificado también pueden aparecer grietas en dirección paralela. Esa superficie carece de tenacidad, y tiene baja resistencia a la fatiga y a la corrosión.

Esfuerzos residuales.

Los gradientes de temperatura en el interior de la pieza durante el rectificado son los principales responsables de los **esfuerzos residuales**. Los fluidos de corte y su método de aplicación, al igual que los parámetros del rectificado, como son la profundidad y las

velocidades corte, influyen mucho sobre la magnitud y el tipo de los esfuerzos residuales que se desarrollan (de tensión o de compresión).

Por el efecto adverso de los esfuerzos residuales de tensión sobre la resistencia a la fatiga, se deben seleccionar con cuidado las variables del proceso. Normalmente, los esfuerzos residuales se pueden reducir aminorando la velocidad de la piedra y aumentando la de la pieza (**rectificado de bajo esfuerzo**, o rectificado benigno). También se pueden usar piedras de grado más suave, llamadas **piedras de corte libre**.

II.IV.IV Métodos de rectificado.

Las operaciones de rectificado se efectúan en una diversidad de configuraciones de piedra y pieza. La selección del proceso de rectificado para una aplicación en particular depende de la forma y el tamaño de la parte, facilidad de sujeción y la producción requerida.

Los tipos básicos de operaciones de rectificado son: plano, cilíndrico, interno y sin centros. El movimiento relativo de la piedra puede ser a lo largo de la superficie de la pieza (rectificado transversal, rectificado de paso completo, de avance transversal) o puede ser radial hacia la pieza (rectificado por penetración). Las rectificadoras de superficie constituyen el mayor porcentaje de rectificadoras que se usan en la industria, y les siguen las rectificadoras de banco (por lo general con dos piedras en cada extremo del husillo), las cilíndricas y, aunque no sean rectificadoras propiamente dichas, los esmeriles para herramienta y para fresas; las menos comunes son las rectificadoras internas.

Rectificado plano.

El rectificado plano implica rectificar superficies planas, y es una de las operaciones más comunes. En forma característica, la pieza se asegura en un **plato magnético** fijo a la mesa de la rectificadora. Los materiales no magnéticos se sujetan con tornillos de banco, soportes especiales, platos al vacío o con cintas adhesivas de doble cara.

Una piedra recta se monta en el husillo horizontal en la rectificadora. Se hace rectificado transversal cuando la mesa va y viene en sentido longitudinal, y avanza lateralmente después de cada viaje. En el rectificado de penetración la piedra avanza radialmente hacia la pieza, como cuando se rectifica una ranura.

Rectificado cilíndrico.

En el rectificado cilíndrico, llamado también con centros, se rectifican las superficies y escalones cilíndricos externos de la pieza. La pieza cilíndrica giratoria va y viene a lo largo de su eje. En las rectificadoras para piezas grandes, la piedra es la que va y viene, y se llama **rectificadora de rodillos**.

En el rectificado cilíndrico, la pieza se sujeta entre los centros, o con mordazas, o en un plato. Para las superficies cilíndricas rectas, los ejes de rotación de la piedra y de la pieza son paralelos. Con motores separados se mueven la piedra y la pieza a distintas velocidades. Con el rectificado cilíndrico se pueden producir formas (rectificado de forma y (**rectificado de penetración**) en donde la piedra se afila con la forma que va a rectificar.

Rectificado interno.

En el rectificado interno se rectita el interior de la parte con una piedra pequeña, como en el caso de los bujes y pistas de rodamiento. La pieza se sujeta en quijadas rotatorias y la piedra gira a 30,000 rpm o más. También se pueden rectificar perfiles internos con piedras afiladas en la forma correspondiente, que se mueven radialmente hacia la pieza. El cabezal de las rectificadoras de interiores se puede inclinar en un plano horizontal, para rectificar huecos cónicos.

Rectificado sin centros.

El rectificado sin centros es un proceso para producción en gran escala, donde se rectifican superficies cilíndricas en forma continua. En ese proceso, la pieza no se sostiene entre puntos o centros, ni mediante mordazas, sino mediante una cuchilla o filo. Las partes características que se producen con este proceso son los rodamientos de rodillos, pernos de pistón, válvulas de motor, levas y componentes parecidos. En este proceso de producción se requiere poca destreza del operador.

II.IV.V Fluidos de rectificado.

Aunque el rectificado y otros procedimientos de eliminación abrasiva se pueden efectuar en seco, es importante usar un fluido, evita el aumento de temperatura en la pieza, mejora su acabado superficial y exactitud dimensional. También mejoran la eficiencia de la operación porque reducen el desgaste y la carga en la piedra, y bajan el consumo de potencia.

Los fluidos de rectificado son normalmente emulsiones acuosas para el rectificado general, y aceites para el rectificado de roscas. Pueden aplicarse como un chorro o como niebla, que es una mezcla de fluido y aire. Por las grandes velocidades superficiales que existen, una corriente de aire (**cortina de aire**) en torno a la periferia de la piedra evita en muchos casos que el fluido llegue a la interfase entre la piedra y pieza. Se han diseñado boquillas o toberas especiales que se adaptan a la forma de la superficie de corte de la piedra, en las que el fluido de rectificado se aplica con eficacia bajo alta presión.

La temperatura de los fluidos de rectificado a base de agua puede aumentar mucho al sacar el calor de la zona de trabajo. En consecuencia, la pieza se puede dilatar y hacer difícil el control de las tolerancias dimensionales. El método común para mantener

temperaturas uniformas en la pieza es usar sistemas de refrigeración a través de los cuales se hace circular el fluido.

II.IV.VI Consideraciones de diseño para el rectificado.

Se debe dar atención especial a los siguientes puntos:

- ✚ Las partes a rectificar deben diseñarse en tal forma que se puedan sujetar con firmeza, sea entre quijadas, mesas magnéticas o soportes y sujetadores adecuados. De lo contrario, las piezas delgadas, rectas o tubulares se pueden flexionar durante la operación.
- ✚ Si se requiere gran exactitud dimensional, se deben evitar las superficies interrumpidas, como orificios y cuñeros, porque pueden causar vibraciones.
- ✚ En el rectificado cilíndrico, las partes deben estar balanceadas y se deben evitar los diseños largos y esbeltos, para reducir las flexiones al mínimo. Los biseles y radios de transición deben ser tan grandes como sea posible, o se debe suministrar desahogo antes de maquinarlos.
- ✚ En el rectificado sin centro se puede dificultar el trabajo exacto con piezas cortas, por falta de soporte en la cuchilla.
- ✚ Se deben simplificar los diseños que requieran rectificado exacto de forma, para evitar afilados frecuentes de piedra.
- ✚ Se deben evitar los orificios profundos y pequeños, y los orificios ciegos que requieran rectificado interno, o bien deben tener un desahogo.

En general, el diseño debe requerir la remoción de una cantidad mínima de material en el rectificado, excepto en el esmerilado de avance deslizante. Además, para mantener una exactitud dimensional, los diseños deben permitir, de preferencia, que todo el rectificado se haga sin cambiar la Posición de la pieza. Este lineamiento también se aplica a todos los procesos y operaciones de manufactura.

En general se usa la abrasión como una operación de acabado y como una operación de remoción en gran escala. Con frecuencia el lijado y rectificado se usan como una operación de acabado, porque los procesos de conformado y maquinado solos en general no producen partes con la exactitud dimensional y el acabado superficial necesarios.

Como es una operación adicional aumenta bastante el costo del producto, todas las operaciones de acabado aumentan el costo. A medida que aumentan los requisitos de acabado superficial son necesarias más operaciones.

II.V TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Una de las características más importantes de los aceros es la capacidad de poder cambiar sus propiedades, entre amplios límites, mediante variaciones controladas de su temperatura. Esto permite dotar a cada pieza de las características que mejor favorecen su proceso de fabricación y luego cambiárselas para que posean las que su posterior servicio reclame.

Mediante tratamientos especiales pueden lograrse distintas propiedades según la zona de la pieza; así, por ejemplo, es posible endurecer la superficie de elementos que han de estar sometidos a fuertes rozamientos como ejes, ruedas dentadas, etc., mientras el núcleo de la pieza se deja más blando y tenaz.

Los tratamientos térmicos que cada día van desarrollándose más, abren unas posibilidades casi ilimitadas en cuanto a la manipulación, trabajo y aplicación de los metales.

Aunque existe ya un gran número de aleaciones que admiten tratamiento, es el acero el que más posibilidades ofrece para cambiar sus propiedades mediante variaciones de temperatura. Entre los tratamientos más importantes se encuentran los siguientes:

- ✚ Temple
- ✚ Revenido
- ✚ Recocido
- ✚ Normalizado

Con estos tratamientos se persigue modificar la constitución, y a veces la estructura, de los caeros y, en consecuencia, sus propiedades.

II.V.I Fundamento y proceso de los tratamientos térmicos.

Los tratamientos térmicos se basan en las transformaciones de los metales en estado sólido y la posibilidad de obtener unos u otros constituyentes si dichas transformaciones se realizan en condiciones determinadas.

Gran número de tratamientos térmicos de los aceros son posibles gracias a la transformación del hierro alfa (α) en gamma (γ) y viceversa, es decir, la austenita y su transformación jugará un papel importantísimo. Distintas velocidades de enfriamiento desde el estado austenítico van a originar transformaciones en constituyentes distintos y por tanto diferentes propiedades del metal.

El proceso de todo tratamiento térmico es:

1. Calentamiento hasta determinada temperatura.
2. Permanencia a dicha temperatura.
3. enfriamiento hasta la temperatura ambiente.

Calentamiento.

Suele realizarse introduciendo la pieza a tratar en un horno. Deben evitarse variaciones en la temperatura en los distintos puntos de la masa metálica ya que ello ocasionaría dilataciones de diferentes valores en cada zona, con riesgo de producirse grietas, deformaciones, etc. Por ello es recomendable:

- a) Que la temperatura del horno sea baja cuando se introducen las piezas.
- b) Que las distintas zonas de la pieza reciban el calor en análogas condiciones.
- c) Elevar la temperatura lentamente de modo que vaya calentándose toda la pieza de manera uniforme.

Permanencia a temperatura máxima.

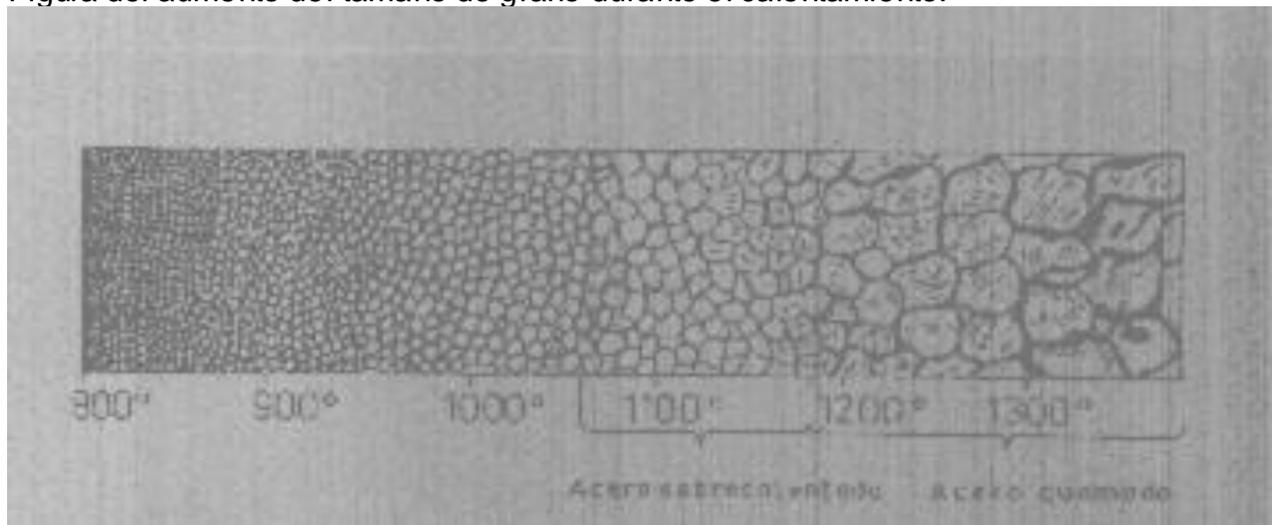
El tamaño de grano de la austenita aumenta con la temperatura máxima y con el tiempo de permanencia a dicha temperatura. Como generalmente interesa obtener grano fino, la temperatura máxima debería ser algo superior a la temperatura de austenización total (la llamaremos temperatura crítica) pero muy próxima a ella.

El tiempo de permanencia a la temperatura máxima también debe ser lo mas reducido posible: el mínimo necesario para que toda la masa adquiriera el estado austenítico.

Normalmente estos datos son suministrados por los fabricantes de acero.

Es necesario tomar precauciones para que no se sobrepase la temperatura necesaria. En la siguiente figura se indica el estado de los granos de un acero que a 800°C ya se ha transformado en austenita. Van aumentando de tamaño con la temperatura y hacia los 1200°C se oxidan las impurezas que rodean los granos y sus propios bordes, quedándose éstos sin cohesión: a este estado se denomina acero quemado y una vez que esto suceda, la pieza queda estropeada sin posibilidad de regeneración.

Figura del aumento del tamaño de grano durante el calentamiento.



Enfriamiento hasta temperatura ambiente.

Es la operación más decisiva del tratamiento. *De la velocidad de enfriamiento depende el tipo de constituyentes finales* y por tanto las propiedades.

Un enfriamiento lento permite la transformación normal de los constituyentes, mientras que el enfriamiento rápido da lugar a constituyentes de características más especiales. En el caso de los aceros; las transformaciones serán las siguientes:

Austenita $\xrightarrow{\hspace{2cm}}$ Enfriamiento lento $\xrightarrow{\hspace{2cm}}$ Perlita -ferrita-cementita.

Según la composición del acero se obtendrá:

Acero	Constituyentes a temperatura ambiente
Con unos 0.89% de C	Perlita y ferrita
Con el 0.89% de C	Perlita
Con más del 0.89% de C	Perlita y cementita

Austenita $\xrightarrow{\hspace{2cm}}$ Enfriamiento rápido $\xrightarrow{\hspace{2cm}}$ Martensita

II.V.II Temple.

La finalidad del temple es lograr mayor dureza y aumentar el límite elástico de los aceros. Como consecuencia de lo anterior aumenta su fragilidad y son más difíciles de mecanizar.

Las características mecánicas a obtener en una pieza de acero después de un tratamiento de temple, dependen en gran parte del medio de enfriamiento seleccionado para aquel acero y dimensiones de la pieza.

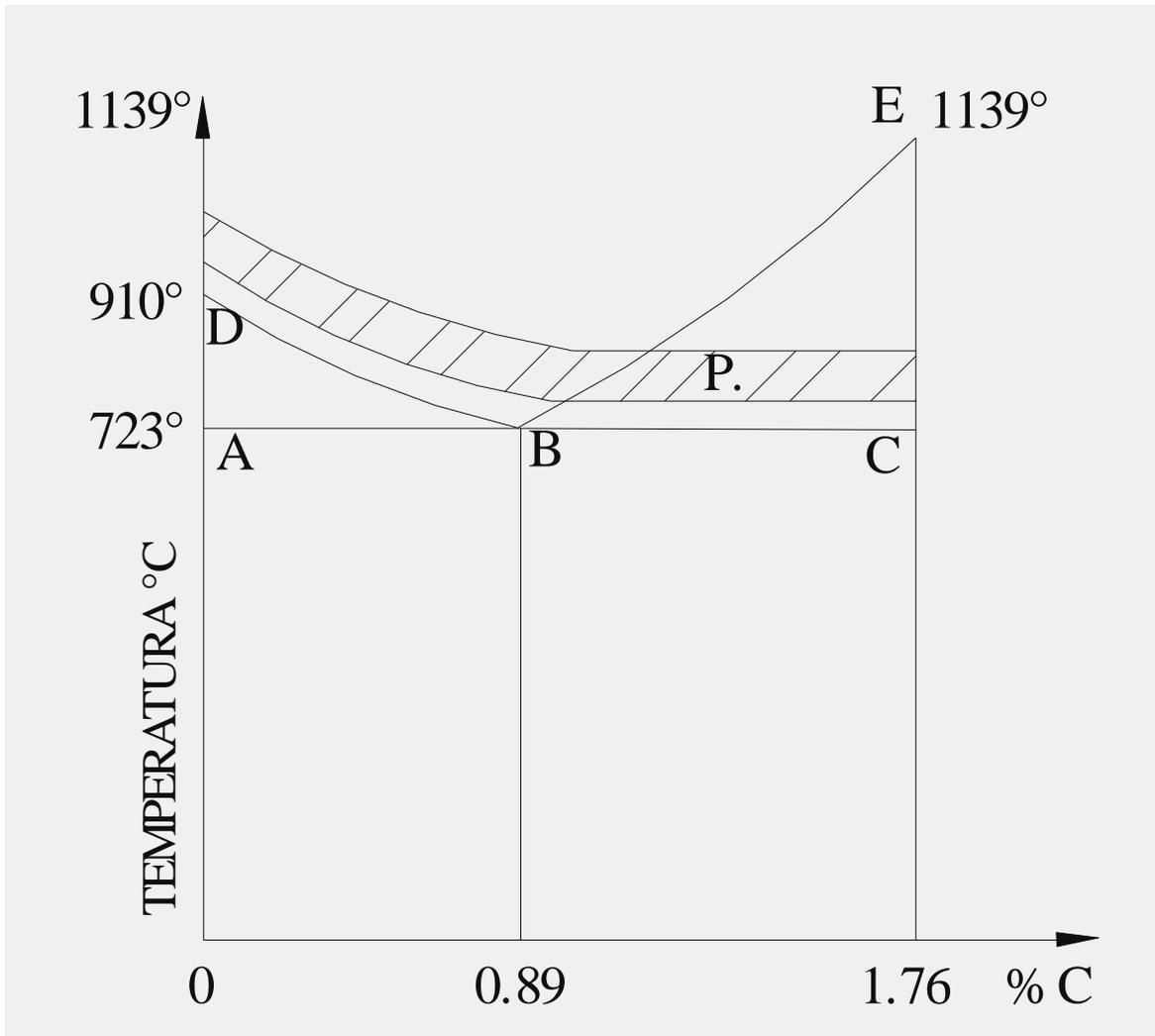
El temple de un acero consiste en un calentamiento y permanencia de la pieza, a una temperatura suficientemente elevada para que toda la masa se transforme en austenita, seguido de un enfriamiento en un medio: líquido, gaseoso o sólido, lo suficientemente rápido para que toda la masa se transforme de austenita en martensita.

II.V.III Fases del temple.

Primera fase del temple: *calentamiento.*

La temperatura máxima a alcanzar se indica en la siguiente figura:

Diagrama de las zonas de temperatura del temple.



Para los aceros con menos del 0.89% de C, la temperatura de temple debe ser unos 50° superior a la temperatura crítica que corresponde a la línea DB del diagrama anterior, para lograr que toda la masa se transforme en austenita.

Para los aceros con más del 0.89% de C es suficiente con rebasar la temperatura correspondiente a la línea BC en otros 50° ; la razón es la siguiente: en un punto tal como P existirá austenita y cementita y al enfriar rápidamente, la austenita se convierte en martensita quedando sin transformarse la cementita, es decir, al final del temple los constituyentes serían martensita y cementita, esta última de gran dureza.

Segunda fase del temple: *permanencia a temperatura máxima.*

El tiempo de permanencia a temperatura máxima debe ser lo más reducido posible: el mínimo necesario para que la masa adquiera el estado austenítico.

Tercera fase del temple: *enfriamiento.*

El enfriamiento es la operación clave del proceso, debe lograrse la velocidad exacta, debe ser lo suficientemente rápido para que toda la austenita se transforme en martensita.

El enfriamiento demasiado rápido produce diferencias muy grandes de contracción entre puntos de la superficie que se enfrían antes, y otros del centro que aún permanecen calientes; por eso, *la velocidad de enfriamiento debe ser la más pequeña posible a la cual toda la austenita se transforma en martensita. A esto se denomina velocidad crítica de temple.*

Cuando el acero a temperatura, se sumerge en el medio refrigerante, éste se enfría y al velocidad con que cede su calor al medio depende esencialmente de la diferencia de temperatura entre la superficie del metal y el medio refrigerante y de la película que se forma entre la superficie del metal y el medio de temple.

Una elevada diferencia o gradiente de temperatura-metal-medio, así como una gran conductividad térmica de la película gaseosa, favorecen el enfriamiento de la superficie del metal, aún cuando toda su masa metálica disipa el calor hacia la superficie por conductividad. Al enfriarse la superficie del metal, la pérdida de calor de la masa varía según la temperatura y conductividad térmica del mismo, variando a su vez ésta con la temperatura y el principio de conservación de calor, para que se verifique que la velocidad con que la masa metálica disipa el calor a través de la superficie, sea la misma con que es absorbido dicho calor por el medio refrigerante.

II.V.IV Etapas del enfriamiento durante el temple.

Como todos los líquidos, un fluido de temple cuyo punto de ebullición es inferior a la temperatura de la pieza metálica que se introduce en él, asegura el enfriamiento de la pieza templada según tres mecanismos principales.

Los tres mecanismos del enfriamiento quedan definidos por:

- ✚ Fase vapor
- ✚ Fase ebullición
- ✚ Fase convección

Fase vapor.

En el momento que se introduce la pieza a temperatura en el baño de enfriamiento, el fluido esta en contacto con la pieza, se calienta rápidamente y adquiere una temperatura superior a la de su punto de ebullición, formando una capa gaseosa que envuelve a la pieza y la isla del fluido, lo que hace que el enfriamiento se verifique lentamente.

La disipación o transmisión de calor pieza-baño en esta primera fase de ebullición del líquido se verifica por: conducción y radiación.

En estas condiciones desfavorables el enfriamiento es muy lento ya que la película gaseosa que envuelve a la pieza es muy mala conductora.

Los parámetros que mas influyen en el enfriamiento en esta etapa son: Temperatura de ebullición, Conductividad térmica, Capacidad calorífica y Calor de vaporización del fluido.

La película de vapor formada sobre la superficie, hace que toda la disipación del calor se verifique a través de ella, que es peor conductora que el líquido. Esto provoca una disminución del flujo calorífico y entonces se inicia la ebullición de la película, continuando el enfriamiento por la gran diferencia entre el fluido y el metal.

Fase ebullición.

Al disminuir la temperatura de la superficie de la pieza, la película de vapor llega a romperse produciéndose una ebullición sobre la superficie de la pieza y la capa de vapor va siendo remplazada por líquido que incide sobre la superficie; dando lugar a nuevo vapor que a su vez vuelve a romperse en burbujas, estas burbujas son transportadas por corrientes de convección.

En esta segunda fase, el enfriamiento es muy enérgico, debido a que la disipación de calor y el coeficiente de película es más elevada que en la fase anterior y el vapor que se produce se renueva en la superficie debido a los grandes movimientos de convección.

Influyen en esta etapa el calor de vaporización, la viscosidad del fluido y la agitación. Según el fluido empleado y la cantidad de vapor que se produce se modifica la temperatura de iniciación de esta fase, elevándose cuanto mayor es la temperatura de ebullición del fluido y más baja la tensión superficial metal-líquido.

Fase convección o líquida.

A medida que la temperatura va descendiendo la película de vapor es cada vez menor hasta que desaparece, cuando la superficie del metal se encuentra a una temperatura inferior a la de ebullición del líquido. En estas condiciones el enfriamiento se verifica por contacto directo metal – fluido. El enfriamiento es por líquido obteniendo la velocidad de enfriamiento más rápida.

La disipación de calor en esta fase es por conducción y convección.

Los parámetros que más influyen en el enfriamiento de esta última etapa son: Conductividad térmica del fluido, la capacidad Calorífica, Viscosidad, Agitación, Temperatura del fluido y su Tensión superficial.

II.V.V Medios de temple.

- + Acuosos
 - o Aqua SALT
 - o Aqua quench

- + Aceites (hasta 100°C)
 - o Houghto quench

- + Aceites calientes
 - o Mar temp

- + Sales de temple

Medios de temple.

Medio	Aplicación
Agua	Aceros al carbono: piezas de espesor o diámetro superior a 1 mm. Aceros de baja aleación: piezas de espesor o diámetro superior a 25 mm.
Aceite	Aceros al carbono: piezas de espesor o diámetro comprendido entre 5 y 10 mm.
Plomo	Aceros especiales para muelles, cuerdas de piano y herramientas.
Sales	Aceros rápidos y de herramientas en general. Tratamientos especiales.

Características de los aceites de temple.

Características de los aceites de temple

Propiedad	Desempeño
Viscosidad Nivel aditivos Humectación	Velocidad de temple
Punto de inflamación	Seguridad
Resistencia a la oxidación Estabilidad térmica Volatilidad	Vida de aceite
Propiedades lavables	Fácil remoción

Viscosidad.

La viscosidad tiene un efecto importante con la velocidad de temple, ya que influye en el rango de ebullición del aceite y también con su fluidez o circulación. Por lo general, al tener baja viscosidad se tiene velocidad de temple rápida. Sin embargo, se tiene un límite hasta cuanto se debe incrementar la velocidad de temple disminuyendo la viscosidad, debido a que el punto de inflamación se disminuye.

El efecto de la temperatura sobre los cambios en la viscosidad es muy importante, porque esto determina como la velocidad de temple variará con la temperatura del aceite. Desde un punto de vista práctico es deseable minimizar esta variación para poder proporcionar consistencia en la velocidad de temple.

Al presentarse cambios en la viscosidad del aceite de temple puede indicar oxidación y una degradación térmica o la presencia de contaminantes. En general la viscosidad se incrementa al degradarse el aceite y se pueden presentar cambios en la velocidad de temple.

Nivel de aditivos.

La adición de ciertos aditivos a los aceites minerales reducen la fase vapor alrededor de las piezas. Al incorporar los aditivos en los aceites básicos minerales de baja viscosidad se pueden obtener aceites de temple de alta velocidad de enfriamiento. Esto se puede comparar con los diferentes aceites de temple de baja, media y alta velocidad de temple.

Humectación.

La habilidad de un aceite para humectar la superficie de una pieza es importante. Los agentes humectantes se adicionan a algunos aceites en particular cuando se trabaja con piezas que tienen una gran área.

Punto de inflamación.

El punto de inflamación de un aceite, es la temperatura a la cual prendera espontáneamente por un instante o es la menor temperatura en al que los vapores del aceite pueden incendiarse en la presencia de una fuente de ignición. El punto de ignición es importante porque esta relacionado con la temperatura de seguridad. Como regla general, la temperatura máxima de operación del aceite debe de ser 55°C abajo del punto de inflamación en Copa Abierta.

Resistencia a la oxidación.

La oxidación de un aceite causa un incremento en la viscosidad y propicia el desarrollo o formación de productos ácidos.

Esto puede variar la velocidad de enfriamiento y atacar las piezas templadas, además de manchar las piezas. Por lo que los aceites de temple se les debe de incorporar aditivos contra la oxidación.

Estabilidad térmica.

Los aceites de temple durante el proceso están sujetos a temperaturas muy elevadas cuando entran en contacto las piezas a templar. El aceite debe tener una buena estabilidad térmica para prevenir la formación de lodos, sedimentos y carbón que se producen por la oxidación del aceite, ya que estos depósitos pueden tapar o cubrir los filtros y los tubos de los intercambiadores y nos pueden conducir a trabajar con eficiencia muy baja.

Con el objeto de evitar la oxidación prematura y tener una buena estabilidad térmica, es conveniente que el aceite trabaje a una temperatura de 65°C promedio. En caso de trabajar temperaturas más elevadas, se tiene el riesgo de una oxidación prematura. Por regla general, se ha encontrado que por cada 10°C de incremento arriba de 65°C se duplica la oxidación del aceite.

Volatilidad.

La volatilidad influye en la cantidad de aceite que se pierde por evaporación o vaporización, esto es determinado por la generación de humos durante el temple. La volatilidad afecta a la economía y medio ambiente.

Propiedades lavables.

La incorporación de agentes especiales en los aceites de temple los cuales no influyen en la velocidad de enfriamiento, pero hacen posible que con un simple lavado con agua fría después del temple elimine todo el aceite, reduciendo la inversión en detergentes.

II.V.VI El recocido.

El fin del recocido de los aceros es la obtención de una estructura equilibrada, la eliminación de las tensiones residuales y la elevación de las propiedades mecánicas.

Tipos de recocido.

Existen diversas clases de recocido con objetivos y características relativamente diferentes unos de otros, entre los más importantes tenemos:

Recocido de regeneración.

Tiene como finalidad:

- a) Lograr en el acero los constituyentes normales (ferrita, perlita o cementita).
- b) Afinar y ordenar el grano. Es decir, regenerar su constitución y su estructura.

Para el proceso de recocido se siguen las fases indicadas de los tratamientos térmicos.

La temperatura máxima debe ser de 30 a 50° superior a la temperatura crítica. La zona de temperatura de recocido de regeneración es análoga a las del temple aunque algo más próxima a las curvas (DB y BC) para conseguir un grano mas fino.

El tiempo de permanencia a la temperatura máxima debe ser lo más pequeño posible para evitar el agrandamiento del grano. Este calentamiento suele realizarse en horno o en baño de sales. Como dato se menciona que suele ser del orden de 1 hora por cada 25 mm de espesor.

La velocidad de enfriamiento es la principal diferencia entre el recocido y el temple. En el recocido el enfriamiento debe dar tiempo a que la austenita se transforme en ferrita, perlita o cementita.

El enfriamiento se realiza en :

- a) **En el propio horno, descendiendo la temperatura la velocidad precisa.**
- b) **Al aire.**

Cabe mencionar que los aceros con poco contenido de carbono requieren una velocidad de enfriamiento algo mayor para lograr un grano de ferrita fino.

Temperatura de recocido y medio de enfriamiento de aceros al carbono.

% de C	Temperatura máxima de recocido	Enfriamiento
0.1 a 0.2 %	875 a 925 °C	Al aire
0.2 a 0.3 % 0.3 a 0.4 %	850 a 900 °C 850 a 875 °C	En el horno con puertas abiertas.
0.4 a 0.5 % 0.5 a 0.6 % 0.6 a 0.7 % 0.7 a 1.76 %	825 a 855 °C. 800 a 830 °C 760 a 800 °C 750 a 775 °C	En el horno con puertas cerradas.

Recocido de ablandamiento.

Tiene como objetivo disminuir la dureza de los aceros aleados para los cuales no es útil el recocido de regeneración porque requerirían una velocidad de enfriamiento demasiado lenta.

Consiste en elevar la temperatura hasta unos 700 a 720 °C y un enfriamiento lento.

Recocido con acritud.

Consiste en un calentamiento a temperatura de 600 a 700 °C seguido de un enfriamiento al aire o dentro del horno.

Con este recocido se logra que los granos de ferrita y perlita, deformados y distorsionados, recobren su estado y forma normal con lo que cesan los efectos negativos de la acritud, aumentando la tenacidad del material.

Recocido de estabilización.

Tiene por objeto eliminar pequeñas tensiones que se producen interiormente en el material cuando este es moldeado, forjado, estampado, laminado, etc. Se realiza calentando el material a unos 100 a 200 °C durante bastante tiempo.

II.V.VII Revenido.

El revenido es la operación final del tratamiento térmico, del modo de realizarlo dependen las propiedades finales del acero, en primer lugar la dureza y la resistencia al desgaste. Los factores fundamentales del revenido de los aceros son, la temperatura de calentamiento y el tiempo de permanencia a esta temperatura.

El objetivo del revenido consiste en eliminar parcial o completamente las tensiones internas, reducir la dureza y elevar la resiliencia.

Al reducir la dureza, la martensita se transforma más o menos en constituyentes más parecidos a la ferrita y perlita. Esta transformación se puede lograr:

- 1- Elevando mucho la temperatura.
- 2- Manteniendo mucho tiempo a una temperatura determinada.

En ningún caso el calentamiento debe llegar hasta la temperatura en que se forma la austenita pues entonces se destruye toda la martensita y en consecuencia todas las características del temple.

Según deseemos transformar más o menos la martensita elegiremos la temperatura de revenido que oscilará entre los 100 °C (para poca transformación) hasta casi los 700 °C (gran transformación de la martensita).

II.V.VIII Normalizado.

Es el tratamiento térmico de los aceros que consiste en el calentamiento a una cierta temperatura, permanencia a esta temperatura y posterior enfriamiento al aire.

El normalizado refina el grano, se obtienen una estructura estable y al igual que el recocido eleva las propiedades mecánicas.

II.VI ACABADO CON ABRASIVOS.

En muchas de las manufacturas, los requisitos de acabado superficial y exactitud dimensional de las partes son demasiado finos. Uno de los mejores métodos de producir esas características es por **maquinado abrasivo**.

Un abrasivo es una partícula dura, pequeña y no metálica que tienen aristas agudas y forma irregular. Los abrasivos son capaces de quitar pequeñas cantidades de material de una superficie, mediante un proceso de corte que produce virutas diminutas. La mayor parte de nosotros estamos familiarizados con el uso de abrasivos aglomerados (las piedras o muelas de esmeril) para afilar cuchillos y herramientas, así como con el uso de lija para alisar superficies y aristas agudas.

II.VI.I Abrasivos.

Los siguientes abrasivos se usan con frecuencia en los procesos de manufactura.

Abrasivos convencionales:

- a. Óxido de aluminio (Al_2O_3).
- b. Carburo de silicio (SiC)

Superabrasivos:

- c. Nitruro de boro cúbico (cBN)
- d. Diamante.

Estos abrasivos son mucho más duros que las herramientas de corte. Además de la dureza, una característica importante es la **friabilidad**, que es la facilidad con que los granos abrasivos se fracturan y forman piezas más pequeñas. Esta propiedad es la base de las características de **autoafilamiento** de los abrasivos, esencial para mantener la abrasividad durante el uso.

Una gran friabilidad indica baja resistencia mecánica o a la fractura del abrasivo, por lo que un grano de abrasivo muy friable (o deleznable) se fragmenta con mucha mayor rapidez bajo las fuerzas de rectificado que uno con baja friabilidad. Por ejemplo, el óxido de aluminio tiene menor friabilidad que el carburo de silicio, y en consecuencia, menor tendencia a fragmentarse.

La **forma y el tamaño** del grano abrasivo también afectan su friabilidad, los granos voluminosos que se parecen a las herramientas de corte con ángulo negativo de ataque son menos friables que los granos laminares.

II.VI.II Tipos de abrasivos.

Los abrasivos que hay en la naturaleza son: esmeril, corindón (alúmina), cuarzo, granate y diamante. Estos abrasivos naturales contienen en general cantidades desconocidas de impurezas y sus propiedades no son uniformes; en consecuencia, su funcionamiento no es consistente ni confiable. Por lo anterior, hoy se hacen abrasivos en forma sintética.

- ✚ **El óxido de aluminio** sintético se preparó por primera vez en 1893, y se obtiene fundiendo bauxita, limaduras de hierro y coque. Los óxidos de aluminio se dividen en dos grupos:

1. Óxidos de aluminio fundido.

- a. Oscuros (menos friables).
- b. Blancos (mas friables).
- c. Monocristalinos.

2. **Óxidos de aluminio no fundidos.** Llamados también **óxidos de aluminio cerámicos**, pueden ser más duros que la alúmina fundida, y su forma mas pura es el gel sembrado. Este gel sembrado se comenzó a usar en 1987, y tiene un tamaño de partícula del orden de 0.2 μm , mucho menor que los granos de abrasivos de uso común. Estas partículas se sinterizan para formar tamaños mayores. Por su dureza y friabilidad relativamente alta, los geles sembrados mantienen su filo y se usan para materiales difíciles de rectificar.

✚ **El carburo de silicio** (descubierto en 1891) se fabrica con arena de sílice, coque de petróleo y pequeñas cantidades de cloruro de sodio (sal de mesa). Los carburos de silicio se dividen en:

1. **Negros** (menos friables).

2. **Verdes** (mas friables).

En general tienen mayor friabilidad que los óxidos de aluminio; por consiguiente tienen mayor tendencia a fracturarse y mantenerse afilados.

✚ **El nitruro de boro cúbico**, se desarrollo en la década de 1970;

✚ **El diamante**, que puede ser sintético (industrial), se uso por primera vez como abrasivo en 1955.

II.VI.III Tamaño de grano.

Tal como se usan en los procesos de manufactura, los granos de abrasivo son en general muy pequeños en comparación del tamaño de las herramientas de corte y los insertos. También, tienen aristas agudas que permiten la remoción de cantidades muy pequeñas de material de la superficie de la pieza. En consecuencia, se puede obtener acabado superficial muy fino y gran exactitud dimensional.

El tamaño de un grano abrasivo se identifica por su **número de grano**, que es una función del tamaño de malla; mientras menor sea el tamaño de grano, mayor será el **número de grano**. Por ejemplo, se considera que el número 10 es muy grueso, el 100 es fino y el 500 es muy fino. También se identifican de esta forma las lijas de agua y las de esmeril, y el número de grano esta impreso en la cara trasera de la lija.

II.VI.IV Tipos de aglomerante.

Los tipos comunes de aglomerante de abrasivos son los **vitrificados, resinoides, hule y metálicos**. La mayor parte de estos aglomerantes se usan tanto para abrasivos convencionales como para superabrasivos.

- ✚ **Vitrificados.** Son esencialmente un vidrio, y también se llaman **aglomerante cerámico**. Las materias primas son feldespato (un mineral cristalino) y caolines. Se mezclan con los abrasivos, se humedecen y se moldean a presión, se hornean gradualmente hasta una temperatura aproximada de 1250 °C para fundir el vidrio y desarrollar resistencia estructural. A continuación se enfrían con lentitud para evitar roturas térmicas. Las piedras con aglomerantes vitrificados son resistentes, rígidas, porosas y resistentes a los aceites, ácidos y agua. Son frágiles y carecen de resistencia a los choques mecánico y térmico.
- ✚ **Resinoides.** Los materiales aglomerantes resinoides son **resinas termofijas** y se consiguen en una amplia gama de formulaciones y propiedades. Como el adhesivo es un compuesto orgánico, las piedras con aglomerantes resinoides también se llaman **piedras orgánicas**. La técnica básica de fabricación consiste en mezclar el abrasivo con resinas fenólicas líquidas o en polvo, y aditivos; la mezcla se prensa para llegar a la forma de la piedra, y se cura a temperaturas aproximadas de 175 °C. Como el módulo de elasticidad de las resinas termofijas es menor que el de los vidrios, las piedras resinoides son más flexibles que las vitrificadas.
- ✚ **Hule.** El aglomerante más flexible que se usa en las piedras abrasivas es el hule. El proceso de manufactura consiste en mezclar hule crudo, azufre y los granos de abrasivo, laminar la mezcla, cortar círculos y calentarlos a presión, para vulcanizar el hule. De esta forma se pueden hacer piedras delgadas, para usarlas como sierras para operaciones de corte (hojas de corte).
- ✚ **Agglomerantes metálicos.** Mediante técnicas de metalurgia de polvos, los granos de abrasivo (por lo general diamante o nitruro de boro cúbico) se pegan a la periferia de una rueda metálica, a profundidades de 6mm o menos. La adhesión metálica se hace bajo alta presión y temperatura. La rueda misma (el núcleo) puede ser de aluminio, bronce, acero, cerámica o materiales compuestos, dependiendo de los requisitos como resistencia, rigidez y estabilidad dimensional.
- ✚ **Otros aglomerantes.** Además de los antes descritos, hay otros aglomerantes como los de silicato, goma laca y oxiclورو. Un nuevo desarrollo es el uso de la poliimida como sustituto de la resina fenólica en las piedras resinoides.

II.VI.V Abrasivos recubiertos.

Como ejemplos característicos de los **abrasivos recubiertos** están los papeles de lija y de esmeril, con granos más puntiagudos que los que tienen las piedras abrasivas. La mayor parte de los abrasivos recubiertos son de óxido de aluminio, y el resto son de carburo de silicio, de zirconio y alúmina. Suelen tener una estructura mucho más abierta que los abrasivos en las piedras.

Hay lija en varios materiales, tamaños de grano y dorso.

Material	Color	Características y usos
Sílex	Arena	<ul style="list-style-type: none"> • La más barata y menos duradera. • Natural.
Esmeril	Negro claro	<ul style="list-style-type: none"> • Natural. • Se utiliza para lijar a mano.
Granate	Café rojizo	<ul style="list-style-type: none"> • Buena para lijar a mano. • No muy duradera. • Natural.
Oxido de aluminio	Café (las bandas son rojas)	<ul style="list-style-type: none"> • La más común. • Duradera, grano para todos los usos. • Se utiliza para madera, fibra de vidrio, metal, plástico y superficies pintadas. • Recomendada para herramientas electromecánicas.
Óxido de circonio	Café (las bandas son azules)	<ul style="list-style-type: none"> • Versión especializada sólo para herramientas electromecánicas. • Se utiliza para cortes profundos y desbastes.
Carburo de silicio	Negro brillante	<ul style="list-style-type: none"> • Grano extremadamente fino.

II.VI.VI Elementos de los abrasivos recubiertos.

El dorso o soporte.

Los granos se depositan electrostáticamente sobre los materiales flexibles de respaldo, como papel, algodón, poliéster rayón, polinyon y diversas combinaciones de estos materiales, con sus ejes longitudinales perpendiculares al plano de respaldo. La matriz (recubrimiento) es de resinas. Entre los desarrollos recientes está el empleo de varias capas de abrasivos, en especial para bandas.

El soporte es la base sobre la que se pega el grano. Existen principalmente tres tipos de soporte:

- **Papel.** Es el soporte más utilizado y más barato. Tiene buena resistencia y flexibilidad y se utiliza sobre todo en hojas de lija para el lijado manual de maderas. Para el lijado húmedo (lijas al agua) se impregna con una sustancia resistente al agua. La lija al agua se utiliza para acabados muy finos de metales y plásticos con el objeto de que la lija nunca se embace. Llegan hasta granos de 1200.

El papel empleado en la fabricación de abrasivos revestidos es durable, resistente e ideal para aplicaciones ligeras, sea en forma manual o con lijadoras, debido a que la superficie uniforme del papel proporciona mejores acabados. Existen varios pesos o espesores de papel, que van desde el peso A (el más ligero) hasta el peso E (el más pesado).

Para aplicaciones en húmedo o con lubricantes que contengan agua se utilizan papeles impermeables impregnados con diferentes tipos de elastómeros sintéticos.

Los papeles ligeros se recubren con granos abrasivos finos, propios para el acabado final de los materiales. Los de peso intermedio se recubren con granos más gruesos, adecuados para pasos intermedios de lijado. Y el papel pesado se recubre con toda la gama de granos abrasivos y se recomienda para usarse en equipos de lijado manual y estacionario.

- **Tejido de algodón o poliéster.** Es más resistente y flexible, pero también más caro. Se utiliza mucho en lijas manuales para metales y es imprescindible en las bandas lijadoras de las lijadoras de banda.

La tela utilizada puede ser de algodón, poliéster o una mezcla de ambos, y se procesa para lograr características necesarias que le permitan transformarse en un dorso adecuado para los abrasivos revestidos.

Las telas empleadas como soporte de los abrasivos revestidos cuentan con características especiales de peso, resistencia y flexibilidad, que les permite transformarse en un dorso adecuado para los abrasivos revestidos.

- **Fibra vulcanizada.** Tiene más rigidez pero máxima resistencia. Se utiliza mucho en las hojas de lija para metales para amoladoras angulares, debido a las altas revoluciones que alcanzan.

La fibra está constituida por capas vulcanizadas de celulosa de algodón y papel que dan como resultado un dorso duro, resistente y flexible. Los respaldos de fibra vulcanizada se usan para operaciones de trabajo pesado en forma de discos abrasivos.

Combinación

Es un dorso fabricado combinando papel de alta resistencia y tela ligera. Se recubre con granos abrasivos gruesos y se usa en lijadoras de tambor de alta velocidad para lijados severos y pulido de pisos.

Clasificación del dorso.

El papel de lija está hecho de varios materiales: tela, papel, fibra o una combinación de todos ellos. El grosor, del más fino al mayor, se designa con letras que van de la A a la Y. Los dorsos más utilizados son el C y el D. La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de dorso:

Dorso	Material	Aplicación
Peso A	Papel ligero	Se utiliza con granos muy finos para el lijado manual. Flexible.
Peso B	Papel ligero	Para lijado manual, en seco o con agua.
Pesos C y D	Papel de peso medio	Para hojas y discos utilizados en lijadoras de mano o lijadoras orbitales.
Pesos E y F	Papel pesado	Para discos y bandas de lijadoras eléctricas.
J (JEANS)	Tela de algodón	Diseñado para tener flexibilidad.
W	Tela de algodón	Impermeable, resistente, flexible, para trabajo en húmedo o con lubricantes.
X (DRILL)	Tela de algodón	Se utiliza para cintas lijadoras de trabajo pesado.
y	Poliéster	Resistente a altas presiones de trabajo, y para condiciones de operación tanto en seco como en húmedo.
Combinación	Papel pesado con refuerzo	Para discos y tambores utilizados en lijadoras de pisos.

Los abrasivos recubiertos se consiguen en forma de hojas, bandas y discos. Se usan mucho para dar acabado a superficies planas o curvas de partes metálicas y no metálicas, para los especímenes metalográficos y en el trabajo de maderas. La precisión del acabado superficial obtenido depende principalmente del tamaño de grano.

El valor del grano puede ascender a 1,500, pero la mayor parte de los propietarios no necesitan granos que no se encuentren en la siguiente tabla.

Tamaño del grano	Características y usos
36 - 40: extra áspero	Eliminación a fondo de material en superficies extremadamente ásperas.
50 - 60: áspero	Eliminación a fondo de material, lijado áspero o eliminación de pintura.
80 - 100: medio	Eliminación de materiales normales y acabado previo a la pintura.
120 - 150: fino	Eliminación de materiales ligeros y acabado previo a la pintura.
180 - 220: muy fino	Acabado con lija y lijado entre capas.
280 - 320: extra fino	Lijado entre capas de acabado.
360 - 600: superfino	Lijado final de la superficie.

II.VI.VII Pulido (Lijado con banda)

También, los abrasivos recubiertos se usan en forma de bandas para remoción rápida de material con buen acabado superficial. El lijado con banda ha llegado a ser un proceso importante de producción, y en algunos casos sustituye al rectificado convencional. Se usan números de grano del 16 al 1500. las velocidades de banda están normalmente entre 700 y 1800 m/min. Las máquinas para operaciones con banda abrasiva requieren un respaldo adecuado de la banda y tienen construcción rígida para minimizar las vibraciones.

Los abrasivos recubiertos convencionales tienen en su superficie granos en colocación aleatoria. Un desarrollo reciente es la **microrréplica**, en donde los abrasivos, en forma de diminutas pirámides de óxido de aluminio, se colocan en un orden predeterminado sobre la superficie de la banda. Se usan en aceros inoxidable y superaleaciones, su desempeño es más consistente, y las temperaturas que desarrollan son menores. Entre las aplicaciones normales están el esmerilado en banda de implantes quirúrgicos, palos de golf, armas de fuego, alabes de turbina, instrumentos médicos y dentales y tijeras.

II.VII VIBRADO.

El proceso de vibrado es uno de los varios procesos de desbarbado. En el desbarbado, las rebabas o barbas son montículos delgados, por lo general en forma triangular, que se forman en los bordes de una pieza debido al maquinado, al cizallado de láminas y en el recorte de forjas y piezas fundidas. Las rebabas pueden interferir con el ensamble de las partes y pueden ocasionar atascamientos de las mismas, desalineamientos y cortos circuitos en componentes eléctricos. Además, las rebabas pueden reducir la vida de los componentes a la fatiga.

En forma tradicional, las rebabas se han quitado manualmente, proceso que puede ocupar hasta el 10% del costo de manufactura de la parte. Se puede reducir la necesidad del desbarbado o eliminación de rebabas, si se agregan biseles a las aristas agudas de las piezas, y si se controlan los parámetros de procesamiento.

La economía de las operaciones de desbarbado depende de factores como el grado de desbarbado requerido, la complejidad de la parte y el lugar de las barbas.

El proceso de vibrado es para mejorar el acabado superficial y quitar las rebabas de grandes cantidades de piezas relativamente pequeñas. En esta operación intermitente, se colocan pastillas abrasivas de forma especial en un recipiente, junto con las partes por desbarbar. El recipiente se vibra o gira.

El impacto de los abrasivos individuales y las partículas metálicas quita las aristas agudas y las rebabas de las piezas. Dependiendo de la aplicación, el proceso es en seco o en húmedo, y se pueden agregar compuestos para fines especiales, como desengrasar o impartir resistencia a la corrosión de la parte que se desbarba.

II.VII.I Proceso de vibrado cuatro etapas.

El proceso se realiza en una máquina vibradora o molino pulidor, el cual debe proporcionar una **amplitud de 4 a 4.5 mm**, así como un **ángulo elíptico de 60° a 70°**. La combinación de ambos proporciona un movimiento circular dentro de la tina. La acción orbito-helicoidal es primeramente afectada por la variación en el **ángulo entre los contrapesos superior e inferior**, este ángulo de ser de aproximadamente 90° (el rango en el que se debe manejar el **ángulo entre los contrapesos** debe ser entre 75° y 105°.)

1. **Etapas de desbaste:** en esta etapa se deben eliminar las rayas o rebabas con las que vienen las piezas debido a los procesos previos (pulido, maquinado, troquelado.etc.). Esta etapa lleva un tiempo aproximado de 3 horas, dependiendo de las piezas, se utiliza el químico Ferromil (REM). Durante esta etapa la válvula de desagüe permanecerá cerrada.

2. **Etapa de enjuague:** en esta etapa se pretende desactivar la función del ácido de desbaste y preparar el material para la etapa de abrillantado. Esta operación tiene un tiempo aproximado de 30 minutos de enjuague, en este tiempo el agua que sale del desagüe esta limpia, libre de lodos, la válvula de desagüe permanecerá abierta durante el proceso.
3. **Etapa de desengrase:** esta etapa lleva un tiempo aproximado de 15 minutos y se utiliza un químico desengrasante (Udyprep-F) el cual debe estar a una temperatura de 60 a 80°C, la cantidad utilizada es de 7 litros con una concentración de 45 gr/lit. Con este desengrase se eliminan los residuos de grasa que aún existen. La válvula de desagüe durante el proceso permanecerá cerrada.
4. **Etapa de abrillantado:** en esta etapa se da al material un preacatado brillante que sirve como base para depositar níquel en el proceso de recubrimientos metálicos (galvano-níquel o galvano-cromo). Esta etapa dura aproximadamente 2 horas y la dosificación debe tener una concentración del 1.5%, con una dosificación de 1 lit/min. El abrillantador usado puede ser Chem-Clean 1211.

II.VII.II Tipos de abrasivos para vibrado.

En la actualidad se cuenta con todo tipo de abrasivos, plásticos, cerámicos y media metálica para abrillantar, pulir, rebabeear, etc. Con el fin de obtener el mejor acabado con el menor costo de producción.

a) Cob-Meal (olote molido).



Olote molido, se utiliza para secar piezas. Existe en diferentes tamaños de partícula.

b) Media Metálica

Altamente recomendada para abrillantar, de gran durabilidad. Fabricada en acero al carbón, en diferentes formas y tamaños.

Forma	Tamaños
Balín	1/4, 1/8, 3/16
Cono	3/16, 1/8
Satélite	1/4, 1/8, 3/16, 5/32

c) Media Cerámica

Se caracterizan por su gran durabilidad y su alta capacidad de desbaste. Es el medio más agresivo para desbastar.

Tipo	Color	Usos	Abrasividad	
F	blanca	Porcelana, Abrillantado y desbaste fino para metales ferrosos y no ferrosos	Menor	
ECH	café	Desbaste, recomendado para zamac proporciona un acabado terso		
C	azul	Desbaste, recomendado para aluminio		
XC	Verde olivo	Desbaste, recomendado para acero y fierro	Mayor	

Se encuentra en las siguientes formas:

Cilindro ángulo 45 en los siguientes tamaños: 5/8, 3/16, 5/16, 3/16, 1/8.

Cilindro ángulo 30 en los siguientes tamaños: 3/8, 5/16, 1/4.

Estrella en los siguientes tamaños: 7/8, 5/8.

Triángulo en los siguientes tamaños: 1 1/8, 7/8, 5/8, 3/8.

d) Media Plástica Utilizada para quitar rebabas, pulir y abrillantar en equipo vibratorio. Esta puede ser fabricada en cualquier tamaño.

P5	P6	P7	P8
			
<p>La media menos agresiva, con el menor desgaste. Ideal para acabados muy finos en metales blandos (zamac, cobre, latón)</p>	<p>Diseñada para obtener acabados tersos en menor tiempo que la P5. Recomendada para piezas anteriores a procesos de galvanoplastia.</p>	<p>Fabricada especialmente para corte rápido en todo tipo de metales, más abrasiva que la P6</p>	<p>Para corte rápido, usada para remover rebabas en todo metal. La más abrasiva de esta serie.</p>

e) Media Poliéster.

P61	P60	P70	P10
			
<p>Con un mínimo desgaste puede ser usada en metales ferrosos o no ferrosos, la menos abrasiva de la serie poliéster.</p>	<p>Con poco desgaste, recomendada para piezas metálicas y plásticas. Medianamente abrasiva.</p>	<p>La más indicada para desbastar y pulir piezas de metales ferrosos. Probable sustituto de media cerámica y además proporciona un acabado más terso que esta. Altamente abrasiva.</p>	<p>Efectiva para desbastar y pulir con un desgaste mínimo. Media de alta densidad.</p>

II.VII.III Máquinas para vibrado.

Maquinaria para acabado de superficies (pulido, abrillantado, decapado, etc.) metálicas o plásticas a través de un sistema vibratorio.

Serie EURV.

Por su acción vibradora enérgica, son utilizadas para acabados sencillos y económicos de piezas grandes, largas o pesadas.

Especificaciones Técnicas:

- Capacidades desde 1 a 7 ft³
- Olla de Trabajo recubierta con 2 cm de espesor de poliuretano
- Sistema de alimentación de agua.
- *Máquinas de 3 y 7 ft³ cuentan con alimentador de compuestos
- Motor totalmente sellado y aislado de vibraciones directas
- Panel eléctrico con temporizador y Horímetro



Serie ST.

Estas máquinas son muy versátiles, compactas y de fácil manejo. Por su tamaño permiten la operación con piezas pequeñas o lotes de baja producción.

Especificaciones Técnicas:

- Capacidad de 1 ft³
- Motor Estándar
- Sistema de separación de partes integrado al equipo
- Olla de trabajo recubierta con 2 cms de poliuretano
- Sencillo control de la vibración
- Panel eléctrico con temporizador y Horímetro



Serie ARIES.

Lo más novedoso en cuanto a máquinas de vibrado, no es sólo una máquina durable y resistente que caracteriza a estos equipos, también es económica y versátil. Cuenta con un diseño que garantiza mayor eficiencia.

Especificaciones Técnicas:

- Capacidades desde 2, 5 y 10 ft³
- Descarga de separación de partes y media
- Panel de control y sistema de dosificación líquidos
- Recubrimiento de 2 cms de poliuretano
- Diseño avanzado para el desalojo de lodos que evita el desgaste del recubrimiento.



Características de las máquinas vibradoras.

El motor es tipo estándar cerrado totalmente, enfriado con ventilador, la base fabricada con acero de alta resistencia para trabajo rudo y pesado. El control de vibración está dado por contrapesos, en los cuales hay que quitar y poner pesas sin necesidad de herramientas, cuenta con accesos superior e inferior para los contrapesos.

El panel de control es eléctrico arrancador y protecciones. El equipo auxiliar con el que se debe de contar es, bombas dosificadoras sumergibles e instalación hidráulica.

Las máquinas vibradoras se componen de tres partes principales:

1. **La tina:** es el cilindro de lamina que soporta la carga y los esfuerzos del proceso, se encuentra anclada a la base. Consta de recubrimiento de poliuretano.

2. **En la base:** en la base tenemos 12 resortes que amortiguan un movimiento producido por el desbalance de los contrapesos. En la guarda del contrapeso inferior, se encuentra la catarina, este es un mecanismo que sirve para mover el ángulo entre los portacntrapesos. Se debe procurar mantener limpia esta parte ya que de esta forma facilita el movimiento de la catarina para cuando se calibra la tina.
3. **El motor:** el motor es de diferentes capacidades, trifásico, 220 volts a 60hz y 1200 rpm. (en el proceso de vibrado, de acuerdo a los fabricantes, el sentido de giro del motor será en contra de las manecillas del reloj y el ángulo elíptico (giro de los medios) estará en sentido de las manecillas del reloj.)

II.VIII RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES

Después de fabricarse una parte podría necesitarse que algunas superficies se siguieran procesando para asegurar que tengan ciertas propiedades y características. Por lo que puede ser necesario someterla a tratamientos superficiales.

II.VIII.I Objetivos del tratamiento de superficies:

- ✚ Mejorar la resistencia al desgaste, a la erosión y a la penetración (en correderas de máquinas herramientas, superficies de desgaste de maquinaria, ejes, rodillos, levas y engranes).
- ✚ Controlar la fricción sobre las superficies deslizantes de las herramientas, dados, cojinetes y correderas de máquinas.
- ✚ Reducir la adhesión (contactos eléctricos).
- ✚ Mejorar la lubricación (modificación de la superficie para que retenga lubricantes).
- ✚ Mejorar la resistencia a la corrosión y oxidación (en láminas para automóviles, componentes de turbina de gas y en aparatos médicos "tijeras").
- ✚ Mejorar la resistencia a la fatiga (rodamientos y ejes con biseles).
- ✚ Reconstruir superficies de componentes desgastados, como herramientas, dados y componentes de máquinas.
- ✚ Modificar la textura superficial (características de apariencia, exactitud dimensional y de fricción).
- ✚ Impartir cualidades decorativas (color).

Para impartir estas características a diversas clases de materiales se emplean varias técnicas, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla: Tratamientos superficiales para diversos metales.

Metal	Tratamiento
Aluminio	Cromado; anodizado, fosfato; recubrimiento de conversión con cromato.
Berilio	Anodizado; recubrimiento de conversión con cromato.
Cadmio	Fosfato; recubrimiento de conversión con cromato.
Aceros de dados	Borurización; nitruración iónica; nitruración en líquido.
Aceros de alta temperatura	Difusión.
Magnesio	Anodizado; recubrimiento de conversión con cromato.
Acero suave	Borurización; fosfato; temple; nitruración líquida; carbonitruración; cianuración.
Molibdeno	Cromado.
Aleaciones a base de níquel y cobalto	Borurización; difusión.
Metales refractarios	Borurización
Acero inoxidable	Deposición de vapor; nitruración iónica; difusión; nitruración líquida.
Acero	Deposición de vapor; cromado; fosfato; nitruración iónica; temple por inducción; temple a la llama; nitruración líquida.
Titanio	Cromado; anodizado; nitruración con iones.
Acero de herramientas	Borurización; nitruración iónica; difusión; nitruración; nitruración líquida.
Zinc	Deposición de vapor; anodizado; fosfato; recubrimiento de conversión química con cromato.

II.VIII.II Electrodeposición.

La electrodeposición, como otros procesos de recubrimiento de superficies, imparte las propiedades de resistencia al desgaste a la corrosión, alta conductividad térmica y mejor apariencia y brillo, así como otras propiedades convenientes.

En la electrodeposición, la pieza es el cátodo y se recubre con un metal distinto (ánodo) mientras que ambas están suspendidas en un baño que contiene solución acuosa de electrolito. Aunque en el proceso de electrodeposición intervienen varias reacciones, el proceso básico implica lo siguiente:

1. Del ánodo se descargan o salen iones metálicos usando la energía potencial proporcionada por la fuente externa de electricidad.
2. Los iones metálicos se combinan con los iones en la solución.
3. Los iones metálicos se depositan en el cátodo.

Son esenciales la limpieza y desengrasado químico, y el lavado meticuloso de la pieza antes de la electrodeposición. Las partes se colocan en canastillas o en un barril (electrodeposición en masa) y se sumergen en el baño. Se pueden recubrir todos los metales; los espesores de la chapa van desde unas pocas capas atómicas hasta un máximo aproximado de 0.05 mm. Las formas complicadas pueden tener varios espesores de capa.

Los materiales comunes electrodepositados son el cromo, níquel, cadmio, cobre, zinc y estaño. El cromado se hace depositando el metal, primero con cobre, después con níquel y por último el cromo. El cromado duro se hace en forma directa sobre el metal base, y produce una dureza hasta de 70 HRC. Este método se usa para mejorar la resistencia contra la corrosión de herramientas, vástagos de válvulas, ejes hidráulicos y camisas de cilindros de motor diesel y de aviones.

La electrodeposición se usa en el cobrizado de alambre de aluminio y de tarjetas de resinas fenólicas para circuitos impresos, para cromar componentes, estañar las terminales eléctricas de cobre (para facilitar la soldadura con estaño) y los componentes que requieren tener resistencia al desgaste y a la corrosión, y una buena apariencia.

CAPITULO III

“LAS HERRAMIENTAS DE LA ESTADISTICA APLICADA”

III.I LA ESTADÍSTICA

- III.I.I El campo de la estadística.**
- III.I.II Tipos de datos.**
- III.I.III Distribuciones de frecuencias.**
- III.I.IV Medidas de tendencia central.**
- III.I.V Medida de dispersión.**

III.II DISTRIBUCIÓN NORMAL

- III.II.I Función de densidad.**
- III.II.II Función de distribución.**
- III.II.III Tipificación.**
- III.II.IV Teorema del límite central.**

III.III EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

- III.III.I Diseño de investigaciones experimentales.**
- III.III.II El propósito de un diseño experimental.**
- III.III.III Principios básicos del diseño experimental.**
- III.III.IV Pasos a seguir en el diseño de un experimento.**
- III.III.V Diseños unifactoriales.**
- III.III.VI Diseños multifactoriales.**
- III.III.VII Diseños factoriales.**
- III.III.VIII Diseños factoriales 2^k 3^k y P^k .**
- III.III.IX Diseños factoriales fraccionarios.**
- III.III.X Diseños jerárquicos.**
- III.III.XI Modelos de la covarianza.**

III.IV BONDAD DE AJUSTE.

- III.IV.I Hipótesis básicas del modelo.**
- III.IV.II La prueba de Kolmogorov-Smirnov**
- III.IV.III La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene**

III.V ANOVA DE DOS FACTORES.

- III.V.I Diseño de experimentos con una fuente de variación.**
- III.V.II Modelo matemático del diseño completamente aleatorio**
- III.V.III Planteamiento del problema.**

III.VI GENERALIDADES SOBRE SPSS.

III.I LA ESTADÍSTICA

III.I.I El campo de la estadística.

La estadística trata de la selección, análisis y uso de datos con el fin de resolver problemas. A toda persona, tanto en su ejercicio profesional como en su actividad diaria en contacto con revistas noticiosas, televisión y otros medios, se le ofrece información en forma de datos. Consecuentemente, algunos conocimientos de estadística le serán de utilidad a la población en general, pero en particular, el conocimiento estadístico será vital para ingenieros, científicos y administradores debido a que de manera rutinaria, manejan y analizan datos.

La importancia de la estadística en la ingeniería ha quedado manifiesta al involucrarse la industria con la mejoría de la calidad. Muchas compañías se han dado cuenta de que la baja calidad del producto, manifestada en defectos de fabricación y en la baja confiabilidad del producto asociadas con su desempeño de campo, afectan directamente a la productividad global, a su mercado accionario y a su posición competitiva y, en consecuencia, a sus ganancias. La estadística proporciona un criterio para lograr mejoras, debido a que sus técnicas se pueden usar para describir y comprender la **variabilidad**.

La variabilidad existe en todo tipo de procesos, en todos los medios por ejemplo, en el grosor del recubrimiento de óxido sobre moldes de silicón, en la producción horaria de un proceso químico, en el flujo de tiempo que se requiere al ensamblar motores de avión, en el espesor de las hojas de tijeras después de ser forjadas o en el rendimiento de una banda de lija cuando se pulen hojas de tijeras, etc. Las aplicaciones de la estadística son numerosas en todos los casos de la ingeniería en donde existan variaciones y donde las conclusiones acerca de un sistema estén basadas en datos observados. En realidad todo el trabajo experimental tiene esta naturaleza y la variabilidad es el común denominador de estos problemas.

En general, la variabilidad es resultado de los cambios que ocurren en las condiciones en las cuales se hacen las observaciones. Dentro del contexto de la manufactura, estos cambios pueden ser diferencias en los materiales de muestras, diferencias en la forma de trabajar de la gente, diferencias en las variables del proceso, tales como temperatura, presión, o duración del proceso, así como diferencias en los **factores ambientales**, como la humedad relativa. La variabilidad también ocurre debido al sistema de medida empleado, al proceso de muestreo.

Por estadística entendemos los métodos para describir y modelar la variabilidad además de permitir la toma de decisiones cuando la variabilidad esta presente. En la mayor parte de las aplicaciones de la estadística, los datos disponibles consisten en una muestra de la población de interés.

III.I.II Tipos de datos.

Algunos conjuntos de datos consisten en números, como la estatura de las personas (160 o 156 cm), mientras que otros son no numéricos, como los colores de los ojos, café, verde, etc. Los términos **datos cuantitativos** y **datos cualitativos** se utilizan para distinguir entre ambos tipos.

1. **Los datos cuantitativos** consisten en números que representan conteos o mediciones.
 - + **Datos discretos** resultan cuando el número de posibles valores es un número finito, o bien, un número que puede contarse. (Es decir, el número de posibles valores es 0, 1, 2, etc.).
 - + **Datos continuos** (numéricos) resultan de un infinito de posibles valores que pueden asociarse a puntos de alguna escala continua, cubriendo un rango de valores sin huecos ni interrupciones.
2. **Los datos cualitativos** (o categóricos o de atributos) se dividen en diferentes categorías que se distinguen por alguna característica no numérica.

Características de los datos.

1. **Centro:** valor representativo o promedio que indica la localización de la mitad del conjunto de datos.
2. **Variación:** medida de la cantidad en que los valores de los datos varían entre sí.
3. **Distribución:** naturaleza o forma de la distribución de los datos (tales como normales, uniformes, sesgadas).
4. **Datos distantes:** valores maestres que están muy alejados de la vasta mayoría de los demás valores de la muestra.
5. **Tiempo:** características cambiantes de los datos a través del tiempo.

III.I.III Distribuciones de frecuencias.

Cuando se trabaja con conjuntos grandes de datos, con frecuencia es útil organizarlos y resumirlos por medio de la construcción de una tabla que liste los distintos valores posibles de los datos (ya sea de forma individual o por grupos), junto con las frecuencias correspondientes, es decir, el número de veces que ocurren dichos valores.

Distribución de frecuencias: es la lista de valores de datos (ya sea de manera individual o por grupos de intervalos), junto con sus frecuencias (o conteos) correspondientes.

Características de la distribución de frecuencias.

1. **Límites de clase inferiores:** son las cifras más pequeñas que pueden pertenecer a las diferentes clases.
2. **Límites de clase superiores:** son las cifras más grandes que pueden pertenecer a las diferentes clases.
3. **Fronteras de clase:** son las cifras utilizadas para separar las clases, aunque sin los espacios creados por los límites de clase.
4. **Marcas de clase:** son los puntos medios de las clases.
5. **Anchura de clase:** es la diferencia entre dos límites de clase inferiores consecutivos o dos fronteras de clase inferiores consecutivas.

Distribución de frecuencias relativas.

Una variante importante de la distribución básica de frecuencias utiliza las **frecuencias relativas**, que se obtienen fácilmente dividiendo cada frecuencia de clase entre el total de frecuencias. Una distribución de frecuencias relativas incluye los mismos límites de clase que una distribución de frecuencias, pero utiliza las frecuencias relativas en lugar de las frecuencias reales. Las frecuencias relativas, en ocasiones, se expresa como porcentajes.

Distribución de frecuencias acumuladas.

Otra variante de la distribución de frecuencias estándar se utiliza cuando se buscan totales acumulativos. La frecuencia acumulada de una clase es la suma de las frecuencias para esa clase y todas las clases previas.

III.I.IV Medidas de tendencia central.

La medida más común de tendencia central, o localización de los datos, es la media aritmética ordinaria. Debido a que casi siempre consideramos a los datos como la **muestra**, nos referimos a la media aritmética como la **media de muestra**. Si las observaciones en una muestra de tamaño n son x_1, x_2, \dots, x_n , entonces la media de muestra es:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

La media de la muestra \bar{x} representa el valor promedio de todas las observaciones en la muestra.

Media de la población. Es el cálculo del valor promedio de todas las observaciones en una población. Y se denota por medio de la letra griega μ (mu). Cuando hay un número finito de observaciones (N) en la población, entonces la media de la población es:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

Mediana. Es el punto en el cual la muestra se divide en dos mitades iguales. Sean $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$ los elementos de una muestra arreglada en orden creciente de magnitud; esto es, $x_{(1)}$ denota la observación mas pequeña, $x_{(2)}$ denota la segunda observación mas pequeña, ..., $y_{(n)}$ denota la observación mas grande. Entonces la mediana se define matemáticamente como:

$$x = \begin{cases} X_{((n+1)/2)}, & n \text{ impar} \\ \frac{X_{(n/2)} + X_{((n/2)+1)}}{2} & n \text{ par} \end{cases}$$

Modo. Es la observación que ocurre con mayor frecuencia en la muestra. Puede haber mas de un modo, si los datos son simétricos, entonces coinciden la media y la mediana, si además los datos solo tienen un modo (datos unimodales), entonces coinciden la media la mediana y el modo. Si los datos están sesgados (asimétricos con una larga cola en un lado), la media, la mediana y el modo no coincidirán.

Si el modo $<$ mediana $<$ media, entonces la distribución es asimétrica hacia la derecha.

Si el modo $>$ mediana $>$ media, entonces la distribución es asimétrica hacia la izquierda.

III.I.V Medidas de dispersión.

La tendencia central no necesariamente proporciona suficiente información para describir los datos en forma adecuada. Las medidas de dispersión proporcionan mayor información acerca de los datos presentados. La medida de dispersión más importante es la **varianza de la muestra**.

Si x_1, x_2, \dots, x_n es una muestra de n observaciones, entonces la varianza de la muestra es:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

el cálculo de s^2 requiere el cálculo de \bar{x} , n sustracciones, y n elevaciones al cuadrado y la suma de operaciones. Este procedimiento puede ser un poco tedioso, para ello se presenta la siguiente fórmula.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n x_i\right]^2}{n}}{n-1}$$

Debido a que s^2 se expresa en el cuadrado de las unidades originales, no es fácil interpretarla. Además, la variabilidad es un concepto poco familiar y más difícil que la localización o tendencia central. El problema de la dimensionalidad se resuelve trabajando con la raíz cuadrada (positiva) de la varianza, s , denominada **desviación estándar de la muestra**. Esto brinda una medida de la dispersión expresada en las mismas unidades que la variable original.

De igual forma que para la muestra s^2 , hay una medida de variabilidad en la población llamada **varianza de la población**. Para denotarla usaremos la letra griega σ^2 . La raíz cuadrada de σ^2 , σ , denotará la desviación estándar de la población. Cuando la población es finita y consiste en N valores podemos definir la varianza de la población como:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$$

III.II DISTRIBUCIÓN NORMAL.

La distribución normal se estudió primero en el siglo XVIII cuando se observó que los patrones en los errores en las mediciones seguían una distribución simétrica en forma de campana. De Moivre la presentó primero en forma matemática en 1733 al derivarla como una forma límite de la distribución binomial. Laplace también tuvo conocimiento de ella en fecha no posterior a 1775. Debido a un error en la historia, se le ha atribuido a Gauss, cuya primera referencia publicada con respecto a la misma apareció en 1809, y el término *distribución gaussiana* se emplea con frecuencia. Durante los siglos XVIII y

XIX se hicieron varios intentos para establecer esta distribución como la ley de probabilidad básica para todas las variables continuas aleatorias; de tal modo, se aplicó el nombre de **normal**.

La distribución normal es en muchos aspectos la piedra angular de la estadística, se emplea de manera tan amplia y su importancia se debe fundamentalmente a la frecuencia con la que distintas variables asociadas a fenómenos naturales y cotidianos siguen, aproximadamente, esta distribución, a menudo se recurre a la notación abreviada $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ para indicar que la variable aleatoria X se distribuye normalmente con media μ y varianza σ^2 .

Propiedades de la distribución normal.

La distribución normal tiene varias propiedades importantes:

1. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$
2. $f(x) \geq 0$ para todo x
3. $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$ y $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$
4. $f[(x + \mu)] = f[-(x + \mu)]$. La densidad es simétrica alrededor de μ .
5. El valor máximo de f ocurre en $x = \mu$.
6. Los puntos de inflexión de f están en $x = \mu \pm \sigma$.
7. Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.
8. La curva normal es asintótica al eje de abscisas. Por ello, cualquier valor entre $-\infty$ y $+\infty$ es teóricamente posible. El área total bajo la curva es, por tanto, igual a 1.
9. Es simétrica con respecto a su media μ . Según esto, para este tipo de variables existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor.
10. La distancia entre la línea trazada en la media y el punto de inflexión de la curva es igual a una desviación típica (σ). Cuanto mayor sea σ , más aplanada será la curva de la densidad.
11. El área bajo la curva comprendido entre los valores situados aproximadamente a dos desviaciones estándar de la media es igual a 0.95. En concreto, existe un 95% de posibilidades de observar un valor comprendido en el intervalo $(\mu - 1.96\sigma, \mu + 1.96\sigma)$.
12. La forma de la campana de Gauss depende de los parámetros μ y σ . La media indica la posición de la campana, de modo que para diferentes valores de μ la gráfica es desplazada a lo largo del eje horizontal. Por otra parte, la desviación estándar determina el grado de apuntamiento de la curva. Cuanto mayor sea el valor de σ , más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución.

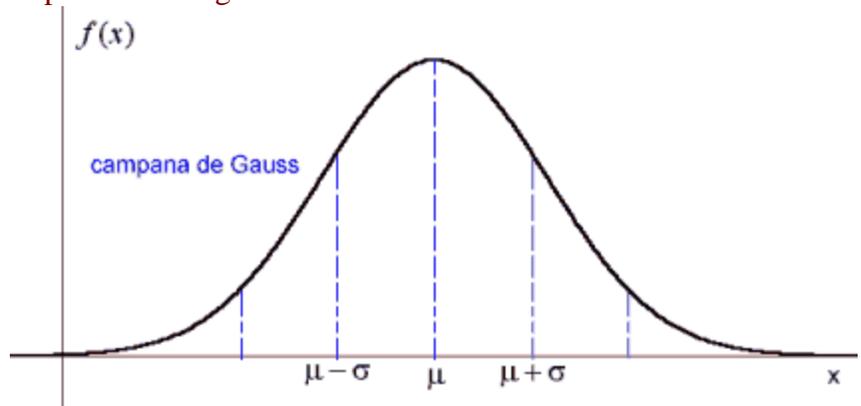
III.II.I Función de densidad.

Se afirma que una variable aleatoria X tiene una distribución normal con media $\mu \in (-\infty < \mu < \infty)$ y varianza $\sigma^2 > 0$ si tiene la función de densidad:

Función de Densidad Representación gráfica de esta función de densidad

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

μ media	$\pi = 3,1415\dots$
σ desv. típica	$e = 2,7182\dots$
σ^2 varianza	x abscisa



Dominió:	$Dom f = \mathbb{R}$
Máximo:	$\left(\mu, \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)$
P. inflexión:	en $x = \mu + \sigma$ y $x = \mu - \sigma$
Asíntotas:	el eje OX es una asíntota horizontal
Simetrías:	respecto a la recta $x = \mu$
Monotonía:	creciente $(-\infty, \mu)$, decreciente $(\mu, +\infty)$
Signo:	es siempre positiva
P. Corte:	$OY \rightarrow \left(0, \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}}\right)$

La distribución normal queda definida por dos **parámetros**, su media y su desviación típica y la representamos así

$$N(\mu, \sigma)$$

Para cada valor de μ y σ tendremos una función de densidad distinta, por tanto la expresión $N(\mu, \sigma)$ representa una familia de distribuciones normales.

III.II.II Función de distribución.

- Puede tomar cualquier valor $(-\infty, +\infty)$

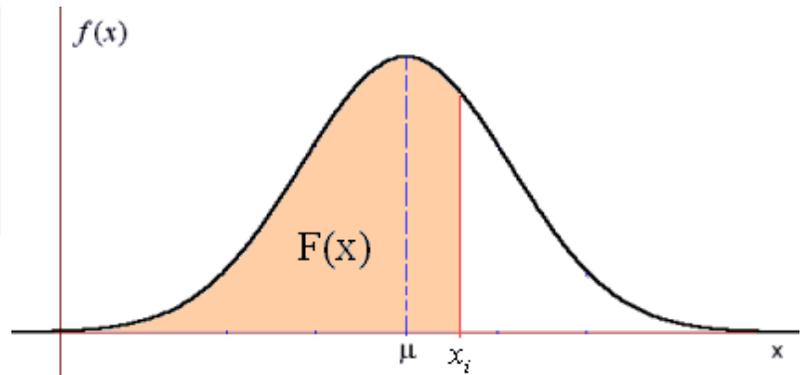
- Son más probables los valores cercanos a uno central que llamamos media μ
- Conforme nos separamos de ese valor μ , la probabilidad va decreciendo de igual forma a derecha e izquierda (es simétrica).
- Conforme nos separamos de ese valor μ , la probabilidad va decreciendo de forma más o menos rápida dependiendo de un parámetro σ , que es la desviación típica.

Función de Distribución $F(x)$ es el área sombreada de esta gráfica

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

$-\infty < x < +\infty$

$$F(x) = P(X \leq x)$$



III.II.III Tipificación.

Si la variable X es $N(\mu, \sigma)$ entonces la variable tipificada de X es

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

y sigue también una distribución normal pero

de $\mu = 0$ y $\sigma = 1$, es decir, $N(0,1)$

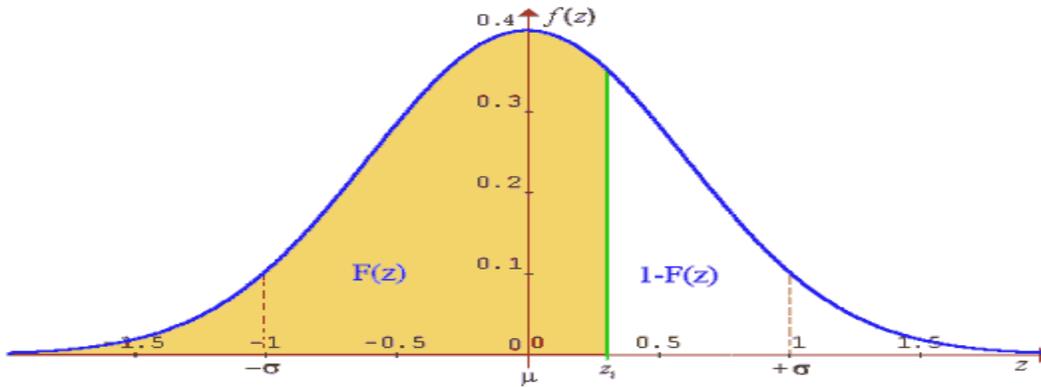
Por tanto su función de densidad es

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}} \quad ; \quad -\infty < z < +\infty$$

y su función de distribución es

$$F(z) = P(Z \leq z) = \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

siendo la representación gráfica de esta función



a la variable Z se la denomina *variable tipificada* de X , y a la curva de su función de densidad *curva normal tipificada*.

Característica de la distribución normal tipificada (reducida, estándar)

- No depende de ningún parámetro
- Su media es 0, su varianza es 1 y su desviación típica es 1.
- La curva $f(x)$ es simétrica respecto del eje OY
- Tiene un máximo en este eje
- Tiene dos puntos de inflexión en $z = 1$ y $z = -1$

Aproximación de la Binomial por la Normal (Teorema de *De Moivre*) :

Demostó que bajo determinadas condiciones (para n grande y tanto p como q no estén próximos a cero) la distribución Binomial $B(n, p)$ se puede aproximar mediante una distribución normal

$$N(np, \sqrt{npq})$$

y, por tanto, la variable

$$Z = \frac{X - np}{\sqrt{npq}} \text{ es } N(0,1) \rightarrow \text{Teorema de De Moivre}$$

Debemos tener en cuenta que cuanto mayor sea el valor de n , y cuanto más próximo sea p a 0.5, tanto mejor será la aproximación realizada. Es decir, basta con que se verifique

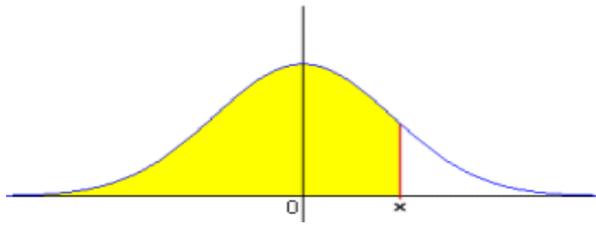
$$np \geq 5 \text{ y } nq \geq 5$$

gracias a esta aproximación es fácil hallar probabilidades binomiales, que para valores grandes de n resulten muy laboriosos de calcular.

Hay que tener en cuenta que para realizar correctamente esta transformación de una variable discreta (binomial) en una variable continua (normal) es necesario hacer una corrección de continuidad.

La **distribución normal tipificada** tiene la ventaja de que las probabilidades para cada valor de la curva se encuentran recogidas en la siguiente tabla:

TABLA DE DISTRIBUCIÓN **NORMAL TIPIFICADA N(0,1)**



$$F(x)=P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

X	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5723
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7090	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7813	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8416	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,98030	0,98077	0,98124	0,98169
2,1	0,98214	0,98257	0,98300	0,98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,98500	0,98537	0,98574
2,2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,98840	0,98870	0,98899
2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,99010	0,99036	0,99061	0,99086	0,99111	0,99134	0,99158
2,4	0,99180	0,99202	0,99224	0,99245	0,99266	0,99286	0,99305	0,99324	0,99343	0,99361
2,5	0,99379	0,99396	0,99413	0,99430	0,99446	0,99461	0,99477	0,99492	0,99506	0,99520
2,6	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99585	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643
2,7	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99736
2,8	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
2,9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861

¿Cómo se lee esta tabla?

La columna de la izquierda indica el valor cuya probabilidad acumulada queremos conocer. La primera fila nos indica el segundo decimal del valor que estamos consultando.

Ejemplo: queremos conocer la probabilidad acumulada en el valor 2,75. Entonces buscamos en la columna de la izquierda el valor 2,7 y en la primera fila el valor 0,05. La casilla en la que se interseccionan es su probabilidad acumulada (0,99702, es decir 99.7%).

Atención: la tabla nos da la probabilidad acumulada, es decir, la que va desde el inicio de la curva por la izquierda hasta dicho valor. No nos da la probabilidad concreta en ese punto. En una distribución continua en el que la variable puede tomar infinitos valores, la probabilidad en un punto concreto es prácticamente despreciable.

Veamos ahora, como podemos **utilizar esta tabla con una distribución normal:**

Ejemplo: el salario medio de los empleados de una empresa se distribuye según una distribución normal, con media 5 millones de ptas. y desviación típica 1 millón de ptas. Calcular el porcentaje de empleados con un sueldo inferior a 7 millones de ptas.

Lo primero que haremos es transformar esa distribución en una normal tipificada (**toda distribución normal se puede transformar en una normal tipificada**), para ello se crea una nueva variable (Y) que será igual a la anterior (X) menos su media y dividida por la desviación típica

$$Y = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

En el ejemplo, la nueva variable sería:

$$Y = \frac{X - 5}{1}$$

Esta nueva variable se distribuye como una normal tipificada. La variable Y que corresponde a una variable X de valor 7 es:

$$Y = \frac{7 - 5}{1} = 2$$

Ya podemos consultar en la tabla la probabilidad acumulada para el valor 2 (equivalente a la probabilidad de sueldos inferiores a 7 millones de ptas.). Esta probabilidad es 0,97725

Por lo tanto, el porcentaje de empleados con salarios inferiores a 7 millones de ptas. es del 97,725%.

III.II.IV Teorema del límite central.

El teorema del límite central establece los fundamentos para estimar parámetros poblacionales y pruebas de hipótesis.

El teorema del límite central nos indica que si el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande, la distribución de medias de muestra puede aproximarse a una *distribución normal*, aun si la población original no se distribuye normalmente.

Teorema. Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria de tamaño n de variables independientes e idénticamente distribuidas tomadas de una población infinita, con media μ y varianza σ^2 , entonces la distribución límite de

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

es la distribución normal estándar $(0,1)$, cuando $n \rightarrow \infty$, (independiente de la distribución de X_1, X_2, \dots, X_n).

Otra forma de presentar el TCL es la siguiente:

Si X_1, X_2, \dots, X_n es una muestra aleatoria de tamaño n de variables independientes e idénticamente distribuidas tomadas de una población infinita, con media μ y varianza σ^2 , y si \bar{X} es la media muestral, entonces su distribución muestral tiende a una distribución normal con media μ y varianza σ^2/n cuando $n \rightarrow \infty$.

$$\bar{X} \Rightarrow N(\mu, \sigma^2/n) \text{ cuando } n \rightarrow \infty$$

Conclusiones:

1. La distribución de las medias de muestra \bar{x} se aproximará a una distribución normal, conforme el tamaño de la muestra aumente.
2. La media de todas las medias de muestra es la media poblacional μ . (es decir, la distribución normal de la conclusión 1 tiene una media μ).
3. La desviación estándar de todas las medias de muestra es σ/\sqrt{n} . (Es decir, la distribución normal de la conclusión 1 tiene una desviación estándar σ/\sqrt{n}).

El teorema del límite central implica dos distribuciones diferentes: la distribución de la población original y la distribución de las medias de muestra.

Si una variable aleatoria Y es la suma de n **variables aleatorias independientes** que satisfacen ciertas condiciones generales, entonces para n suficientemente grande, Y se encuentra aproximadamente distribuida en forma normal.

Ejemplo gráfico: Con el fin de ilustrar gráficamente el TCL presentaremos la distribución de la media muestral obtenida al lanzar dos dados, en comparación con la distribución individual de cada dado.

Si X representa el resultado obtenido al lanzar un dado, entonces su función de probabilidad está dada por:

$$p(x) = \frac{1}{6}, \quad x = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

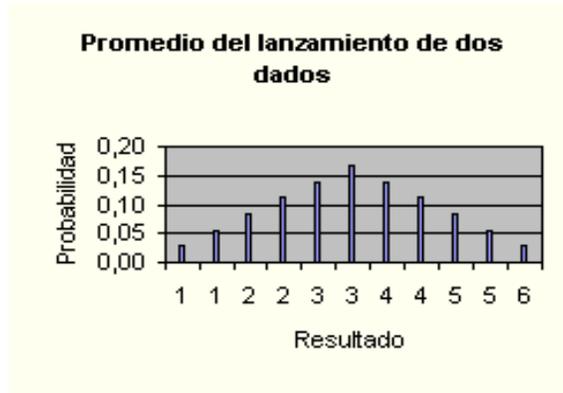


con la anterior representación gráfica.

Consideremos ahora el lanzamiento de dos dados. Sean X_1 y X_2 los respectivos resultados. Sea la media respectiva. La tabla siguiente presenta su respectiva distribución de probabilidad (la cual había sido analizada previamente al estudiar el concepto de variable aleatoria, y considerar la suma de los dos dados).

Suma	Media \bar{X}	$P(X)$
2	1.0	1/36
3	1.5	2/36
4	2.0	3/36
5	2.5	4/36
6	3.0	5/36
7	3.5	6/36
8	4.0	5/36
9	4.5	4/36
10	5.0	3/36
11	5.5	2/36
12	6.0	1/36

Su representación gráfica se presenta en la figura siguiente.



Como se puede observar, el cambio en la forma de la distribución es bastante notable, al pasar de una distribución completamente plana (uniforme discreta) a una distribución que, aunque no es normal, si tiende a



parecerse más a una distribución normal que a su distribución original. Si continuamos promediando más variables, la distribución resultante se aproximará aún más a una distribución normal. La siguiente gráfica presenta los resultados al promediar cuatro lanzamientos de la moneda.

Observación importante:

Debe tenerse en cuenta que si $n \rightarrow \infty$ entonces la varianza $d\bar{X} (= \sigma^2/n)$ tiende a cero, lo cual implica a su vez que $\bar{X} \rightarrow \mu$. Lo que el TCL dice es que cuando el tamaño muestral es grande, la media de una muestra aleatoria tiende a seguir la distribución normal. Cuándo n es lo suficientemente grande?. En general depende de la distribución original de la variable aleatoria X ; sin embargo, para variables continuas y $n \geq 30$, la aproximación normal se aplica, no importa cual sea la distribución original. Para $n < 30$ la aproximación es válida según la forma de la distribución original.

Si la distribución original es continua y uniforme (por ejemplo el caso de los números aleatorios que van de cero a uno), para que el promedio tienda hacia una distribución

normal, se requieren muestras de por lo menos 10 observaciones (esto se determinado mediante pruebas de bondad de ajuste).

Ejemplo: Una máquina vendedora de refrescos está programada para que la cantidad de refrescos que sirve sea una variable aleatoria con una media de 200 mililitros y una desviación estándar de 15 mililitros. Cuál es la probabilidad de que la cantidad media de refresco servido en una muestra aleatoria de 36 refrescos sea por lo menos 204 mililitros?. Realice los cálculos usando el TCL.

Se tiene lo siguiente: $\mu = 200$, $\sigma = 15$, $n = 36$

Usando el TCL:

$$P(\bar{X} - \mu \geq 4) = P\left(\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \geq \frac{204 - 200}{15 / 6}\right) \Rightarrow P(Z \geq 1.6) = 0.0548$$

III.III EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

III.III.I Diseño de investigaciones experimentales.

Puede decirse que un diseño de experimentos consiste en una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso, de forma que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

Se puede considerar un proceso de producción como un sistema con un conjunto de entradas y salidas. Existen dos tipos de entradas: las entradas que vamos a representar por x_1, x_2, \dots, x_p que son **factores controlables**, como temperaturas, presiones, velocidades y otras variables del proceso, y las entradas que vamos a representar por z_1, z_2, \dots, z_p que son **factores incontrolables**, como por ejemplo factores ambientales o la calidad de la materia prima suministrada por el proveedor. El proceso de la fabricación transforma estas entradas en un producto terminado que tiene varios parámetros, los cuales describen su calidad o su aptitud para el uso. La variable de salida la representaremos por y .

De inmediato surgen cuestiones como las siguientes: ¿Qué entradas afectan al parámetro de salida y ?, ¿Cuáles son las entradas más importantes?, ¿Cuál es la relación entre las entradas y el parámetro de salida y ?, ¿Cómo se puede controlar y ?

El diseño de experimentos es una herramienta estadística muy útil para descubrir las variables clave (**factores**) que influyen en las características de interés en un proceso. Mediante esta técnica estadística se varían sistemáticamente los factores controlables de entrada x_1, x_2, \dots, x_p , y se estudia el efecto que tienen dichos factores en los parámetros de salida del producto. Mediante el diseño de experimentos se hallan los niveles de las variables x_1, x_2, \dots, x_p que optimizan el rendimiento del proceso de modo que la variabilidad de y sea pequeña, y que se minimicen los efectos de las variables incontrolables (z_1, z_2, \dots, z_p).

Los métodos de diseño de experimentos tienen gran aplicación y juegan un papel muy importante en el desarrollo de procesos y en su depuración para mejorar el rendimiento, e incluso, para desarrollar procesos consistentes o robustos mínimamente afectados por fuentes de variabilidad externas (z_1, z_2, \dots, z_p).

En la investigación empírica es muy frecuente que repitiendo un experimento en condiciones indistinguibles para el investigador, los resultados obtenidos presentan variabilidad. Esta variabilidad (**error experimental**) suele ser pequeña en un laboratorio, pero en una planta industrial las diferencias de rendimiento entre lotes de características análogas pueden llegar a ser del 20%. Por otra parte, si mediante experimentación ordenamos en magnitud los efectos de posibles ajustes para mejorar un proceso, hay ciertas variables (**factores**) que producen cambios muy importantes en

el resultado de dicho proceso a las que denominamos **variables influyentes** y que deben ser rápidamente identificadas, además de cuantificado el grado de su influencia.

Teóricamente es posible dividir la variabilidad del resultado de un experimento en dos partes: la originada por los factores que influyen directamente en el resultado del experimento, estudiados en sus distintos **niveles** o **tratamientos**, y la producida por el resto de los factores con influencia en el resultado del experimento desconocido o no controlable, que se conoce con el nombre de **error experimental**.

Los factores estudiados en sus distintos niveles, influyen sobre una **variable respuesta** que mide el resultado del experimento. Dentro de cada nivel de factor analizamos una serie de observaciones del experimento en control (**unidades experimentales**) y su efecto sobre la variable respuesta, es decir, puede repetirse el experimento varias veces para cada nivel (**replicación**).

Ejemplos donde habría que utilizar el diseño de experimentos son los siguientes:

- ✚ En el rendimiento de un determinado tipo de máquinas (unidades producidas por día) se desea estudiar la influencia del trabajador que la maneja y la marca de la máquina.
- ✚ Se quiere estudiar la influencia del tipo de pila eléctrica y de la marca en la duración de las pilas.
- ✚ Una compañía telefónica está interesada en conocer la influencia de varios factores en la variable de interés “la duración de una llamada telefónica”. Los factores que se consideran son los siguientes: hora a la que se produce la llamada; día de la semana en que se realiza la llamada; zona de la ciudad desde la que se hace la llamada; sexo del que realiza la llamada; tipo de teléfono (público o privado) desde el que se realiza la llamada.
- ✚ Una compañía de software está interesada en estudiar la variable “porcentaje que se comprime un fichero al utilizar un programa que comprime ficheros” teniendo en cuenta el tipo de programa utilizado y el tipo de fichero que se comprime.
- ✚ Se quiere estudiar el rendimiento de los alumnos en una asignatura y, para ello, se desean controlar diferentes factores: profesor que imparte la asignatura; método de enseñanza; sexo del alumno.

III.III.II El propósito de un diseño experimental.

El propósito de cualquier diseño experimental es proporcionar una cantidad máxima de información pertinente al problema bajo investigación. Sin embargo, también es importante que el diseño, o plan, o programa de prueba sea tan simple como sea posible. Esto es, debería hacerse todo esfuerzo para ahorrar tiempo, dinero, personal y material experimental.

El propósito de cualquier diseño experimental es proporcionar la máxima cantidad de información al mínimo costo, es evidente que el diseño de experimentos es una materia que implica tanto a la metodología estadística como al análisis económico.

El objetivo del diseño de experimentos es estudiar si utilizar un determinado tratamiento produce una mejora en el proceso o no. Para ello se debe experimentar utilizando el tratamiento y no utilizándolo. Si la variabilidad experimental es grande, sólo se detectará la influencia del uso del tratamiento cuando éste produzca grandes cambios en relación con el error de observación.

La metodología del Diseño de Experimentos estudia cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso empírico para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta, de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés.

Para que la metodología de diseño de experimentos sea eficaz es fundamental que el experimento esté bien diseñado.

Un experimento se realiza por alguno de los siguientes motivos:

- * Determinar las principales causas de variación en la respuesta.
- * Encontrar las condiciones experimentales con las que se consigue un valor extremo en la variable de interés o respuesta.
- * Comparar las respuestas en diferentes niveles de observación de variables controladas.
- * Obtener un modelo estadístico-matemático que permita hacer predicciones de respuestas futuras.

III.III.III Principios básicos del diseño experimental.

Existen tres principios básicos del diseño experimental: reproducción, aleatorización y control local.

Reproducción.

Por reproducción se debe entender la repetición del experimento básico. Las razones del porqué la reproducción es deseable son:

- a) Proporciona una estimación del error experimental que actúa una “unidad básica de medida” para indicar el significado de las diferencias observadas o para determinar la amplitud de un intervalo de confianza.
- b) Como bajo ciertas suposiciones, el error experimental puede ser estimado en la ausencia de reproducción, es claro establecer también que la reproducción proporciona algunas veces una estimación más aproximada del error experimental.
- c) Nos capacita para obtener una estimación más precisa del efecto medio de cualquier efecto medio de cualquier factor porque $\sigma_y^2 = \sigma^2 / n$. (En la fórmula anotada, σ^2 representa el error experimental verdadero y n el número de reproducciones.

La aleatorización.

Anteriormente se hizo notar que la reproducción proporciona una estimación del error experimental que puede usarse para indicar el significado de las diferencias observadas. Es decir, la reproducción hace una prueba de significancia posible. Pero ¿qué es lo que hace válida tal prueba? El procedimiento de prueba tiene ciertos suposiciones fundamentales que deben satisfacerse si la prueba va a ser válida.

Los errores asociados con unidades experimentales que son adyacentes en espacio o tiempo, tenderán a correlacionarse, y todo lo que hace la aleatorización es asegurarnos que el efecto de esta correlación, sobre cualquier comparación entre los tratamientos, se hará tan pequeño como sea posible.

El control local.

En un sentido, control local es sinónimo de diseño experimental, sin embargo esta interpretación de diseño experimental es muy estrecha. Control local se refiere a la cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las unidades experimentales que se emplean en el diseño estadístico adoptado. La función o propósito del control local es hacer al diseño experimental más eficiente. Es decir el control local hace más sensitiva cualquier prueba de significancia o, en otras palabras hace más poderosos a los

procedimientos de prueba. Este aumento de eficiencia (o sensibilidad o potencia) resulta porque el uso adecuado del control local reducirá la magnitud de la estimación del error experimental.

Conceptos de balanceo, bloqueo y agrupamiento.

Por agrupamiento, se debe entender la colocación de un conjunto de unidades experimentales homogéneas en grupos, de modo que los diferentes grupos puedan sujetarse a distintos tratamientos. Estos grupos, por supuesto, pueden constar de diferente número de unidades experimentales.

Por bloqueo, damos a entender la distribución de las unidades experimentales en bloque, de tal manera que las unidades dentro de un bloque sean relativamente homogéneas en grupos, de esta manera, la mayor parte de la variación predecible, entre las unidades quedó confundida con el efecto de los bloques.

Por balanceo, damos a entender la distribución de las unidades experimentales, el agrupamiento, el bloqueo y la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales en tal modo que resulte una configuración balanceada.

Tratamientos y combinaciones de tratamientos.

La palabra tratamiento (o combinación de tratamiento) implica el conjunto particular de condiciones experimentales que deben imponerse a una unidad experimental dentro de los confines del diseño seleccionado.

Errores en el análisis estadístico.

La utilización de los modelos de diseño de experimentos se basa en la experimentación y en el análisis de los resultados que se obtienen en un experimento bien planificado. En muy pocas ocasiones es posible utilizar estos métodos a partir de datos disponibles o datos históricos, aunque también se puede aprender de los estudios realizados a partir de datos recogidos por observación, de forma aleatoria y no planificada. En el análisis estadístico de datos históricos se pueden cometer diferentes errores, los más comunes son los siguientes:

- Inconsistencia de los datos. Los procesos cambian con el tiempo, se producen cambios en el personal (cambios de personas, mejoras del personal por procesos de aprendizaje, motivación, etc.), cambios en las máquinas (reposiciones, reparaciones, envejecimiento, etc.). Estos cambios tienen influencia en los datos recogidos, lo que hace que los datos históricos sean poco fiables, sobre todo si se han recogido en un amplio espacio de tiempo.
- Variables con fuerte correlación. Puede ocurrir que en el proceso existan dos o más variables altamente correlacionadas que pueden llevar a situaciones confusas. Por ejemplo, en el proceso hay dos variables X_1 y X_2 fuertemente correlacionadas que influyen en la respuesta, pero si en los datos que se tiene aumenta al mismo tiempo

el valor de las dos variables no es posible distinguir si la influencia es debida a una u otra o a ambas variables (*confusión de los efectos*). Otra situación problemática se presenta si solo se dispone de datos de una variable (por ejemplo de X_1 y no de X_2), lo que puede llevar a pensar que la variable influyente es la X_1 cuando, en realidad, la variable influyente es la X_2 (*variable oculta*).

- El rango de las variables controladas es limitado. Si el rango de una de las variables importantes e influyentes en el proceso es pequeño, no se puede saber su influencia fuera de ese rango y puede quedar oculta su relación con la variable de interés o los cambios que se producen en la relación fuera del rango observado. Esto suele ocurrir cuando se utilizan los datos recogidos al trabajar el proceso en condiciones normales y no se experimenta (cambiando las condiciones de funcionamiento) para observar el comportamiento del proceso en situaciones nuevas.

III.III.IV Pasos a seguir en el diseño de un experimento.

- Enunciado del problema.
- Formulación de la hipótesis.
- Sugerencia de la técnica experimental y el diseño.
- Examen de los sucesos posibles y referencias que asegure que el experimento proporciona la información requerida y en la extensión adecuada.
- Consideración de los posibles resultados desde el punto de vista de los procedimientos estadísticos que se les aplicará, para asegurar que satisfagan las condiciones necesarias para que sean válidos estos procedimientos.
- Ejecución del experimento.
- Aplicación de las técnicas estadísticas a los resultados experimentales.
- Extracción de conclusiones con medidas de la confiabilidad de las estimaciones de cantidades valuadas cualesquiera.
- Evaluación de la investigación completa, particularmente con otras investigaciones del mismo problema o similares.

Otro esquema nos menciona para la planificación del experimento lo siguiente:

La experimentación forma parte natural de la mayoría de las investigaciones científicas e industriales, en muchas de las cuales, los resultados del proceso de interés se ven afectados por la presencia de distintos factores, cuya influencia puede estar oculta por la variabilidad de los resultados muestrales. Es fundamental conocer los factores que influyen realmente y estimar esta influencia. Para conseguir esto es necesario experimentar, variar las condiciones que afectan a las unidades experimentales y observar la variable respuesta. Del análisis y estudio de la información recogida se obtienen las conclusiones.

La forma tradicional que se utilizaba en la experimentación, para el estudio de estos problemas, se basaba en estudiar los factores uno a uno, esto es, variar los niveles de

un factor permaneciendo fijos los demás. Esta metodología presenta grandes inconvenientes:

* Es necesario un gran número de pruebas.

* Las conclusiones obtenidas en el estudio de cada factor tiene un campo de validez muy restringido.

* No es posible estudiar la existencia de interacción entre los factores.

* Es inviable, en muchos casos, por problemas de tiempo o costo.

Las técnicas de **diseño de experimentos** se basan en estudiar simultáneamente los efectos de todos los factores de interés, son más eficaces y proporcionan mejores resultados con un menor coste.

A continuación se enumeran las etapas que deben seguirse para una correcta planificación de un diseño experimental, etapas que deben ser ejecutadas de forma secuencial. También se introducen algunos conceptos básicos en el estudio de los modelos de diseño de experimentos.

Las etapas a seguir en el desarrollo de un problema de diseño de experimentos son las siguientes:

1. Definir los objetivos del experimento.
2. Identificar todas las posibles fuentes de variación, incluyendo:
 - *factores tratamiento* y sus *niveles*,
 - *unidades experimentales*,
 - *factores nuisance (molestos): factores bloque, factores ruido y covariables.*
3. Elegir una regla de asignación de las unidades experimentales a las condiciones de estudio (*tratamientos*).
4. Especificar las medidas con que se trabajará (*la respuesta*), el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades.
5. Ejecutar un experimento piloto.
6. Especificar el modelo.
7. Esquematizar los pasos del análisis.
8. Determinar el *tamaño muestral*.
9. Revisar las decisiones anteriores. Modificarlas si se considera necesario.

Los pasos del listado anterior no son independientes y en un determinado momento puede ser necesario volver atrás y modificar decisiones tomadas en algún paso previo.

A continuación se hace una breve descripción de las decisiones que hay que tomar en cada uno de los pasos enumerados. Sólo después de haber tomado estas decisiones se procederá a realizar el experimento.

1.- Definir los objetivos del experimento.

Se debe hacer una lista completa de las preguntas concretas a las que debe dar respuesta el experimento. Es importante indicar solamente cuestiones fundamentales ya que tratar de abordar problemas colaterales puede complicar innecesariamente el experimento.

Una vez elaborada la lista de objetivos, puede ser útil esquematizar el tipo de conclusiones que se espera obtener en el posterior análisis de datos.

Normalmente la lista de objetivos es refinada a medida que se van ejecutando las etapas del diseño de experimentos.

2.- Identificar todas las posibles fuentes de variación.

Una **fente de variación** es cualquier “cosa” que pueda generar variabilidad en la respuesta. Es recomendable hacer una lista de todas las posibles fuentes de variación del problema, distinguiendo aquellas que, a priori, generarán una mayor variabilidad. Se distinguen dos tipos:

- **Factores tratamiento:** son aquellas fuentes cuyo efecto sobre la respuesta es de particular interés para el experimentador.

- **Factores “nuisance”:** son aquellas fuentes que no son de interés directo pero que se contemplan en el diseño para reducir la variabilidad no planificada.

A continuación se precisan más estos importantes conceptos.

(i) Factores y sus niveles.

Se denomina **factor tratamiento** a cualquier variable de interés para el experimentador cuyo posible efecto sobre la respuesta se quiere estudiar.

Los **niveles** de un factor tratamiento son los tipos o grados específicos del factor que se tendrán en cuenta en la realización del experimento.

Los factores tratamiento pueden ser **cualitativos o cuantitativos**.

Ejemplos de factores **cualitativos** y sus niveles respectivos son los siguientes:

- proveedor (diferentes proveedores de una materia prima),
- tipo de máquina (diferentes tipos o marcas de máquinas),
- trabajador (los trabajadores encargados de hacer una tarea),
- tipo de procesador (los procesadores de los que se quiere comparar su velocidad de ejecución),
- un aditivo químico (diferentes tipos de aditivos químicos),
- el sexo (hombre y mujer),
- un método de enseñanza (un número determinado de métodos de enseñanza cuyos resultados se quieren comparar).

Ejemplos de factores **cuantitativos** son los siguientes:

- tamaño de memoria (diferentes tamaños de memoria de ordenadores),
- droga (distintas cantidades de la droga),
- la temperatura (conjuntos de temperaturas seleccionadas en unos rangos de interés).

Debe tenerse en cuenta que en el tratamiento matemático de los modelos de diseño de experimento los factores cuantitativos son tratados como cualitativos y sus niveles son elegidos equiespaciados o se codifican. Por lo general, un factor no suele tener más de cuatro niveles.

Cuando en un experimento se trabaja con más de un factor, se denomina:

Tratamiento a cada una de las combinaciones de niveles de los distintos factores.

Observación es una medida en las condiciones determinadas por uno de los tratamientos.

Experimento factorial es el diseño de experimentos en que existen observaciones de todos los posibles tratamientos.

(ii) Unidades experimentales.

Son el *material* donde evaluar la variable respuesta y al que se le aplican los distintos niveles de los factores tratamiento.

Ejemplos de unidades experimentales son:

- en informática, ordenadores, páginas web, buscadores de internet,
- en agricultura, parcelas de tierra,
- en medicina, individuos humanos u animales,
- en industria, lotes de material, trabajadores, máquinas.

Cuando un experimento se ejecuta sobre un período de tiempo de modo que las observaciones se recogen secuencialmente en instantes de tiempo determinados, entonces los propios instantes de tiempo pueden considerarse unidades experimentales.

Es muy importante que las unidades experimentales sean representativas de la población sobre la que se han fijado los objetivos del estudio. Por ejemplo, si se utilizan los estudiantes universitarios de un país como unidades experimentales, las conclusiones del experimento no son extrapolables a toda la población adulta del país.

(iii) Factores “nuisance”: bloques, factores ruido y covariables.

En cualquier experimento, además de los factores tratamiento cuyo efecto sobre la respuesta se quiere evaluar, también influyen otros factores, de escaso interés en el estudio, pero cuya influencia sobre la respuesta puede aumentar significativamente la variabilidad no planificada. Con el fin de controlar esta influencia pueden incluirse en el diseño nuevos factores que, atendiendo a su naturaleza, pueden ser de diversos tipos.

Factor bloque. En algunos casos el factor nuisance puede ser fijado en distintos niveles, de modo que es posible controlar su efecto a esos niveles. Entonces la forma de actuar es mantener constante el nivel del factor para un grupo de unidades experimentales, se cambia a otro nivel para otro grupo y así sucesivamente. Estos factores se denominan *factores de bloqueo (factores-bloque)* y las unidades experimentales evaluadas en un mismo nivel del bloqueo se dice que pertenecen al mismo **bloque**. Incluso cuando el factor nuisance no es medible, a veces es posible agrupar las unidades experimentales en bloques de unidades similares: parcelas de tierra contiguas o períodos de tiempo próximos probablemente conduzcan a unidades experimentales más parecidas que parcelas o períodos distantes. Desde un punto de vista matemático el tratamiento que se hace de los factores-bloque es el mismo que el de los factores-tratamiento en los que no hay interacción, pero su concepto dentro del modelo de diseño de experimentos es diferente. Un factor-tratamiento es un factor en el que se está interesado en conocer su influencia en la variable respuesta y un factor-bloque es un factor en el que no se está interesado en conocer su influencia pero se incorpora al diseño del experimento para disminuir la variabilidad residuas del modelo.

Covariable. Si el factor nuisance es una propiedad cuantitativa de las unidades experimentales que puede ser medida antes de realizar el experimento (el tamaño de un fichero informático, la presión sanguínea de un paciente en un experimento médico o

la acidez de una parcela de tierra en un experimento agrícola). El factor se denomina **covariable** y juega un papel importante en el análisis estadístico.

Ruido. Si el experimentador está interesado en la variabilidad de la respuesta cuando se modifican las condiciones experimentales, entonces los factores nuisance son incluidos deliberadamente en el experimento y no se aísla su efecto por medio de bloques. Se habla entonces de *factores ruido*.

En resumen, las posibles fuentes de variación de un experimento son:

Fuente	Tipo
Debida a las condiciones de interés (Factores tratamiento)	Planificada y sistemática
Debida al resto de condiciones controladas (Factores “nuisance”)	Planificada y sistemática
Debida a condiciones no controladas (error de medida, material experimental, ...)	No planificada, pero ¿sistemática?

3.- Elegir una regla de asignación de las unidades experimentales a las condiciones de estudio (“tratamientos”).

La **regla de asignación o diseño experimental** especifica que unidades experimentales se observarán bajo cada tratamiento. Hay diferentes posibilidades:

- diseño factorial o no,
- anidamiento,
- asignación al azar en determinados niveles de observación,
- el orden de asignación, etc.

En la práctica, existen una serie de diseños estándar que se utilizan en la mayoría de los casos.

4.- Especificar las medidas que se realizarán (la “respuesta”), el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades.

Variable respuesta o variable de interés. Los datos que se recogen en un experimento son medidas de una variable denominada variable respuesta o variable de interés.

Es importante precisar de antemano cuál es la variable respuesta y en qué unidades se mide. Naturalmente, la respuesta está condicionada por los objetivos del experimento. Por ejemplo, si se desea detectar una diferencia de 0.05 gramos en la respuesta de dos tratamientos no es apropiado tomar medidas con una precisión próxima al gramo.

A menudo aparecen dificultades imprevistas en la toma de datos. Es conveniente anticiparse a estos imprevistos pensando detenidamente en los problemas que se pueden presentar o ejecutando un pequeño experimento piloto (etapa 5). Enumerar estos problemas permite en ocasiones descubrir nuevas fuentes de variación o simplificar el procedimiento experimental antes de comenzar.

También se debe especificar con claridad la forma en que se realizarán las mediciones: instrumentos de medida, tiempo en el que se harán las mediciones, etc.

5.- Ejecutar un experimento piloto.

Un experimento piloto es un experimento que utiliza un número pequeño de observaciones. El objetivo de su ejecución es ayudar a completar y chequear la lista de acciones a realizar. Las ventajas que proporciona la realización de un pequeño experimento piloto son las siguientes:

- permite practicar la técnica experimental elegida e identificar problemas no esperados en el proceso de recogida de datos,
- si el experimento piloto tiene un tamaño suficientemente grande puede ayudar a seleccionar un modelo adecuado al experimento principal,
- los errores experimentales observados en el experimento piloto pueden ayudar a calcular el número de observaciones que se precisan en el experimento principal.

6.- Especificar el modelo.

El modelo matemático especificado debe indicar la relación que se supone que existe entre la variable respuesta y las principales fuentes de variación identificadas en el paso 2. Es fundamental que el modelo elegido se ajuste a la realidad con la mayor precisión posible.

El modelo más habitual es el modelo lineal:

$$Y = \sum_{i=1}^k \alpha_i + \varepsilon.$$

En este modelo la respuesta viene dada por una combinación lineal de términos que representan las principales fuentes de variación planificada más un término residual debido a las fuentes de variación no planificada. Los modelos que se estudian en este texto se ajustan a esta forma general. El experimento piloto puede ayudar a comprobar si el modelo se ajusta razonablemente bien a la realidad.

Los modelos de diseño de experimentos, según sean los factores incluidos en el mismo, se pueden clasificar en: modelo de efectos fijos, modelo de efectos aleatorios y modelos mixtos. A continuación se precisan estas definiciones.

Factor de efectos fijos es un factor en el que los niveles han sido seleccionados por el experimentador. Es apropiado cuando el interés se centra en comparar el efecto sobre la respuesta de esos niveles específicos.

Ejemplo: un empresario está interesado en comparar el rendimiento de tres máquinas del mismo tipo que tiene en su empresa.

Factor de efectos aleatorios es un factor del que sólo se incluyen en el experimento una muestra aleatoria simple de todos los posibles niveles del mismo. Evidentemente se utilizan estos factores cuando tienen un número muy grande de niveles y no es razonable o posible trabajar con todos ellos. En este caso se está interesado en examinar la variabilidad de la respuesta debida a la población entera de niveles del factor.

Ejemplo: una cadena de hipermercados que tiene en plantilla 300 trabajadores de caja está interesada en estudiar la influencia del factor trabajador en la variable “tiempo en el cobro a un cliente”.

Modelo de efectos fijos es un modelo en el que todos los factores son factores de efectos fijos.

Modelo de efectos aleatorios es un modelo en el que todos los factores son factores de efectos aleatorios.

Modelo mixto es un modelo en el que hay factores de efectos fijos y factores de efectos aleatorios.

7.- Esquematizar los pasos del análisis estadístico.

El análisis estadístico a realizar depende de:

- los objetivos indicados en el paso 1,
- el diseño seleccionado en el paso 3,
- el modelo asociado que se especificó en el paso 5.

Se deben esquematizar los pasos del análisis a realizar que deben incluir:

- estimaciones que hay que calcular,
- contrastes a realizar,
- intervalos de confianza que se calcularán
- diagnosis y crítica del grado de ajuste del modelo a la realidad.

8.- Determinar el tamaño muestral.

Calcular el número de observaciones que se deben tomar para alcanzar los objetivos del experimento.

Existen, dependiendo del modelo, algunas fórmulas para determinar este tamaño. Todas ellas sin embargo requieren el conocimiento del tamaño de la variabilidad no planificada (no sistemática y sistemática, si es el caso) y estimarlo a priori no es fácil, siendo aconsejable sobreestimarla. Normalmente se estima a partir del experimento piloto y en base a experiencias previas en trabajos con diseños experimentales semejantes.

9.- Revisar las decisiones anteriores. Modificar si es necesario.

De todas las etapas enumeradas, el proceso de recogida de datos suele ser la tarea que mayor tiempo consume, pero es importante realizar una planificación previa, detallando los pasos anteriores, lo que garantizará que los datos sean utilizados de la forma más eficiente posible.

Es fundamental tener en cuenta que:

“Ningún método de análisis estadístico, por sofisticado que sea, permite extraer conclusiones correctas en un diseño de experimentos mal planificado”.

Recíprocamente, debe quedar claro que el análisis estadístico es una etapa más que está completamente integrado en el proceso de planificación.

“El análisis estadístico no es un segundo paso independiente de la tarea de planificación. Es necesario comprender la totalidad de objetivos propuestos antes de comenzar con el análisis. Si no se hace así, tratar que el experimento responda a otras cuestiones a posteriori puede ser (lo será casi siempre) imposible”.

Pero no sólo los objetivos están presentes al inicio del análisis sino también la técnica experimental empleada. Una regla de oro en la experimentación y que debe utilizarse es la siguiente:

“No invertir nunca todo el presupuesto en un primer conjunto de experimentos y utilizar en su diseño toda la información previa disponible”.

Finalmente indicar que todas las personas que trabajan en el experimento se deben implicar en el mismo, esto es:

“Toda persona implicada en la ejecución del experimento y en la recolección de los datos debe ser informada con precisión de la estrategia experimental diseñada”.

III.III.V Diseños unifactoriales.

El **modelo unifactorial** se presenta cuando tenemos un solo factor, estudiado en sus distintos niveles, que influye sobre una **variable respuesta** que mide el resultado del experimento, y el resto de los factores forman el error experimental influyendo sobre la variable respuesta de forma no controlable. Supongamos que el factor se presenta con I niveles:

Sea X_{ij} la observación j -ésima de la variable respuesta relativa al i -ésimo nivel de factor (resultado obtenido para la variable respuesta en la repetición j -ésima del experimento para el i -ésimo nivel de factor). Para cada nivel i de factor repetimos el experimento n_i veces para recoger el efecto del error experimental. Representamos por μ_i la parte de X_{ij} debida a la acción del nivel i -ésimo de factor (en este caso un único factor). Representamos por ε_{ij} la variación causada por todos los factores no controlables (error experimental).

Entonces podemos modelar X_{ij} de la siguiente forma $X_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$ con i variado desde 1 hasta I , y j variado desde 1 hasta n_i .

Si hubiese dos factores conocidos e independientes que actuasen sobre la variable respuesta X_{ij} , el modelo sería de **dos factores**, y al generalizar a múltiples factores tenemos el **modelo multifactorial**.

Un modelo es de **efectos fijos** cuando los resultados obtenidos sólo son válidos para esos determinados niveles de factor estudiados en el momento actual (factores constantes). Lo que ocurra a otros niveles de factor puede ser diferente. Un modelo es de **efectos aleatorios** cuando los resultados obtenidos son válidos sean cuales sean los niveles de factor empleados. Los factores son aleatorios (factores variables aleatorias) y los niveles estudiados de factor son una muestra de la población de niveles, que se supone infinita.

Un modelo es replicado si el experimento se repite varias veces para cada nivel de factor. En caso contrario se dice que tenemos un **modelo con una unidad por casilla**.

Un modelo se llama **equilibrado** (*balanced*) cuando todos los n_i son iguales para cada nivel de factor i , es decir, que el número de observaciones para cada nivel de factor es

siempre el mismo (el experimento se repite para cada nivel de factor el mismo número de veces). En caso contrario se llama **no equilibrado** (*unbalanced*).

Modelo unifactorial de efectos fijos.

El modelo de análisis de varianza para un solo factor se representa de la forma:

$X_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$, que a veces se expresa como: $X_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$ (μ = constante y A = factor)

X_{ij} será el valor de la variable respuesta correspondiente a la observación j -ésima del i -ésimo nivel de factor (con i variando desde 1 hasta I , y j variando desde 1 hasta n_i). **Para efectos fijos los μ_i (y los A_i) son constantes**, y ε_{ij} son variables normales independientes de media 0 y desviación típica σ (varianza constante para todo i, j). Las X_{ij} son independientes y distribuidas $N(\mu_i, \sigma^2)$. Representamos por μ_i la parte de X_{ij} debida a la acción del nivel i -ésimo de factor (en este caso un único factor cualitativo) y representamos por ε_{ij} la variación en la variable respuesta causada por todos los factores no controlables (error experimental). Otra de las hipótesis exigibles al modelo es que las medias de las variables ε_{ij} , ε_{rk} sean cero, para todo i distinto de r , o para todo j distinto de k . esta hipótesis explica la independencia de las observaciones X_{ij} .

Bajo estas hipótesis podemos estimar el modelo, obteniendo como estimadores de los μ_i los valores \bar{X}_i , y como estimador de σ^2 el valor

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

Una vez estimado el modelo, será necesario comprobar mediante distintos tests si las hipótesis básicas del mismo no están en contradicción con los datos observados.

Es interesante contrastar si es aceptable la hipótesis de que las medias de todos los grupos de observaciones obtenidas al repetir el experimento para cada nivel de factor sean idénticas. Si los contrastes diesen como resultado que esta hipótesis es cierta, la pertenencia a un grupo u otro sería irrelevante, y podríamos considerar todas las observaciones como una muestra de una única población. Un enfoque alternativo de esta hipótesis, que conduce al mismo resultado, es considerar los grupos idénticos si las diferencias entre sus medias son pequeñas.

En general, cuando estudiamos el comportamiento de los niveles de un factor fijo, como única finalidad del análisis, saber si globalmente los distintos niveles de factor son significativamente distintos entre si en su efecto sobre la variable respuesta, aspecto de un evidente interés, sino que, lógicamente, estaremos interesados en conocer, una vez contrastado que las diferencias son significativas, qué niveles producen un efecto superior al de otros sobre la variable respuesta. Para ello existen diferentes contrastes que efectúan comparaciones múltiples entre las I medias o combinaciones lineales de ellas (test de recorrido múltiple de DUNCAN, test de BONFERRONI, test de SNK de

STUDENT_NEWMAN_KEULS, test HSD de TUKEY, test de la diferencia mínima significativa, test de ACHEFFE, test de TUKEY de comparaciones múltiples, etc.).

Modelo unifactorial de efectos aleatorios.

También llamado **modelo de componentes de la varianza**, en este modelo la población total de niveles del factor (supuesta infinita o suficientemente grande como para considerarla infinita), y los l niveles del factor que se utilizan en el experimento se han elegido aleatoriamente. En este caso el modelo de efectos aleatorios se formulará de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Una formulación equivalente, si consideramos que $\mu_i = \mu + \beta_i$, sería:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \varepsilon_{ij} \text{ donde:}$$

- μ es una constante.
- β_i , para $i = 1, \dots, l$, son variables aleatorias independientemente distribuidas $N(0, \sigma_{\beta}^2)$.
- ε_{ij} , para $i = 1, \dots, l$ y $j = 1, \dots, n_i$, son variables aleatorias independientes idénticamente distribuidas $N(0, \sigma^2)$.
- β_i y ε_{ij} , para $i = 1, \dots, l$ y $j = 1, \dots, n_i$ son variables aleatorias independientes.

Para este modelo se verifica que $E[Y_{ij}] = \mu$, y la varianza de Y_{ij} , denotada por σ_Y^2 , será $V[Y_{ij}] = \sigma_Y^2 = \sigma_{\beta}^2 + \sigma^2$ donde σ_{β}^2 y σ^2 se llaman **componentes de la varianza**, razón por la cual el modelo de efectos aleatorios se denomina modelo de componentes de la varianza. En este modelo aparecen como novedad las estimaciones de σ_{β}^2 y σ^2 . También aparecen como novedad en el modelo de efectos aleatorios el contraste:

$$\begin{aligned} H_0: \sigma_{\beta}^2 &= 0 \\ H_1: \sigma_{\beta}^2 &> 0 \end{aligned}$$

III.III.VI Diseños multifactoriales.

Estos diseños se presentan cuando dos o más factores (variables independientes) afectan a la variable respuesta (variable dependiente). Para cada factor tendremos varios niveles, que dividen la población total en grupos de tratamiento. En la terminología del diseño de experimentos suelen denominarse **tratamientos**, a los distintos niveles de cada factor.

Un concepto importante a tener en cuenta en el modelo multifactorial de la varianza es el análisis de la **interacción** entre las variables (factores). Se dice que hay interacción entre A y B , cuando la variable independiente A afecta a la variable dependiente de manera distinta según los diferentes niveles de otra variable independiente B .

Modelo bifactorial de efectos fijos.

Para un modelo factorial de dos factores A y B de efectos fijos tendremos la expresión general:

$$X_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1..t, \quad j = 1..r, \quad k = 1..n_{ij} \quad (\mu = \text{constante})$$

Los términos A_i y B_j representan los efectos de los factores A y B (**efectos principales**) y son constantes sujetas a las restricciones $\sum_{i=1}^t A_i = \sum_{j=1}^r B_j = 0$.

Los términos AB_{ij} representan el **efecto de la interacción** entre los factores A y B , y son sujetas a las restricciones $\sum_{i=1}^t (AB)_{ij} = \sum_{j=1}^r (AB)_{ij} = 0$.

El término ε_{ijk} representa el error experimental, que corresponderá a una variable aleatoria normal de media cero y varianza σ^2 constante para cada k (las variables ε_{ijk} han de ser independientes).

Lo primero que interesa conocer cuando se estudian dos factores es si se puede aceptar que los efectos medios de interacción, $(AB)_{ij}$, son iguales. Este contraste se formulará de la siguiente forma:

$H_0(AB): (AB)_{11} = (AB)_{12} = \dots = (AB)_{tr} = 0$

$H_1(AB):$ no todos los $(AB)_{ij}$ son iguales

Si $H_0(AB)$ es cierta, existe un estadístico F^{***} que sigue una distribución de probabilidad F de Fisher Snedecor con $(t-1) \cdot (r-1)$ y $t \cdot r \cdot (s-1)$ grados de libertad, que permite realizar el contraste. Por tanto, fijado un nivel de significación α , la regla de decisión del contraste de igualdad de medias de la interacción AB será:

Aceptar $H_0(AB)$ cuando $F^{***} \leq F_{\alpha; (t-1) \cdot (r-1), t \cdot r \cdot (s-1)}$

Aceptar $H_1(AB)$ cuando $F^{***} > F_{\alpha; (t-1) \cdot (r-1), t \cdot r \cdot (s-1)}$

Para contrastar los niveles medios del factor A , existe otro estadístico F^* que se distribuye según una ley de F de Fisher Snedecor con $t-1$ y $t \cdot r \cdot (s-1)$ grados de libertad. Por tanto, fijando un nivel de significación α , la regla de decisión del contraste de igualdad de medias del factor A será:

Aceptar $H_0(A)$ cuando $F^* \leq F_{\alpha; t-1, t \cdot r \cdot (s-1)}$

Aceptar $H_1(A)$ cuando $F^* > F_{\alpha; t-1, t \cdot r \cdot (s-1)}$

De manera análoga existe otro estadístico F^{**} para el contraste de igualdad de medias del factor B cuya distribución es una ley F de Fisher Snedecor con $r-1$ y $t.r.(s-1)$ grados de libertad. La regla de decisión, a un nivel de significación α , será:

Aceptar $H_0(B)$ cuando $F^{**} \leq F_{\alpha; r-1, t.r.(s-1)}$

Aceptar $H_1(B)$ cuando $F^{**} > F_{\alpha; r-1, t.r.(s-1)}$

El desarrollo del modelo bifactorial general se ha realizado bajo la hipótesis del mismo número de observaciones, s , para cada tratamiento o combinación de niveles de los factores. Cuando no se cumpla dicha hipótesis, el análisis para el estudio de dos factores se hace más complejo. Una forma sencilla de abordar este problema, y obtener las sumas de cuadrados apropiadas para realizar los contrastes de hipótesis sobre los efectos de interacción de los factores y sobre los efectos principales de los factores, es considerar el análisis de la varianza desde la perspectiva del análisis de regresión.

Modelo bifactorial general con efectos aleatorios.

Hasta ahora en el modelo bifactorial se suponía que existían unos niveles fijos para cada uno de los factores. Por esa razón, al modelo se le llama modelo general con efectos fijos, abreviadamente modelo ANOVA IIF General. Supongamos ahora que cada uno de los dos conjuntos de niveles de los factores se puede considerar una muestra de una población suficientemente grande sobre la que se van a realizar estudios. En este caso se dice que estamos en presencia del **modelo ANOVA II general con efectos aleatorios**, abreviadamente ANOVA IIA General.

Por tanto, el modelo ANOVA II General con efectos aleatorios se formula de la siguiente forma:

$$Y_{ijl} = \mu + \beta_i + \delta_j + (\beta\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijl}$$

Donde, para $i = 1, \dots, h$; $j = 1, \dots, k$; $l = 1, \dots, t$; se verifica que μ es una constante, β_i son variables aleatorias independientes distribuidas $N(0, \sigma_\beta^2)$, δ_j son variables aleatorias independientes distribuidas $N(0, \sigma_\delta^2)$, $(\beta\delta)_{ij}$ son variables aleatorias independientes distribuidas $N(0, \sigma_{\beta\delta}^2)$, ε_{ijl} son variables aleatorias independientes dos a dos.

Para este modelo se verifica que $E[Y_{ijl}] = \mu$ y la varianza de Y_{ijl} , notada por σ_y^2 , viene dada por $V[Y_{ijl}] = \sigma_y^2 = \sigma_\beta^2 + \sigma_\delta^2 + \sigma_{\beta\delta}^2$

Los contrastes sobre la presencia de efectos de los factores A , B y su interacción AB serán respectivamente:

$$\begin{array}{lll} H_0: \sigma_\beta^2 = 0 & H_0: \sigma_\delta^2 = 0 & H_0: \sigma_{\beta\delta}^2 = 0 \\ H_1: \sigma_\beta^2 > 0 & H_1: \sigma_\delta^2 > 0 & H_1: \sigma_{\beta\delta}^2 > 0 \end{array}$$

También se pueden **estimar los componentes de la varianza**, σ^2 , σ_β^2 , σ_δ^2 y $\sigma_{\beta\delta}^2$.

Modelo bifactorial general con efectos mixtos.

En un modelo factorial de dos factores pueden ser ambos fijos, ambos aleatorios o uno aleatorio y otro fijo. En este último caso estamos ante un **modelo mixto**.

Cuando en uno de los dos factores se consideran niveles fijos y en el otro niveles aleatorios, se dirá que se trata de un modelo ANOVA II general con efectos mixtos, abreviadamente modelo ANOVA IIM general. Si el factor A tiene niveles fijos y el factor B tiene niveles aleatorios, los efectos β_i , son constantes, los efectos δ_j son valores aleatorios y los efectos de interacción $(\beta\delta)_{ij}$ también son valores aleatorios al serlo los de δ_j . suponiendo tamaños muestrales iguales para cada tratamiento, se tiene que el modelo ANOVA IIM general con efectos mixtos se formula de la siguiente forma:

$$Y_{ijl} = \mu + \beta_i + \delta_j + (\beta\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijl}$$

donde se verifica que μ es una constante, β_i son constantes tales que $\sum \beta_i = 0$, δ_j para $j=1, \dots, k$ son variables aleatorias independientes distribuidas $N(0, \sigma_{\beta\delta}^2)$, $(\beta\delta)_{ij}$ para $i=1, \dots, h$, son variables aleatorias independientes idénticamente distribuidas $N(0, \sigma_{\beta\delta}^2(h-1/h))$ sujetas a las restricciones $\sum (\beta\delta)_{ij} = 0$ para todo $j = 1, \dots, k$, ε_{ijl} para $i = 1, \dots, h$; $j=1, \dots, k$; $l = 1, \dots, t$ son variables aleatorias independientes distribuidas $N(0, \sigma^2)$ y δ_j , $(\beta\delta)_{ij}$ y ε_{ijl} son variables aleatorias independientes dos a dos.

Los contrastes sobre los efectos del valor fijo A y los efectos del valor aleatorio B serán formulados respectivamente por:

$$\begin{aligned} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0 & \quad H_0: \sigma_{\delta}^2 = 0 \\ H_1: \text{no todos los } \beta_i \text{ son iguales} & \quad H_1: \sigma_{\delta}^2 > 0 \end{aligned}$$

Para el contraste sobre la presencia de efectos de interacción entre el factor A y el B es válido lo analizado en el modelo ANOVA IIA. En este modelo mixto es posible estimar los efectos del factor fijo mediante $\bar{u} = \hat{Y} \dots y \hat{\beta}_i = Y_{i..} - Y \dots$, y es posible estimar los componentes de la varianza σ^2 , σ_{δ}^2 y $\sigma_{\beta\delta}^2$.

Modelo en bloques aleatorizado.

En los modelos considerados hasta ahora hemos supuesto que las unidades experimentales se asignan a los niveles de los factores o tratamientos (o viceversa), completamente al azar en la realización del experimento, dando lugar así a los **diseños completamente aleatorizados**. La situación idónea es aquella en la que existe una gran homogeneidad entre las unidades experimentales (dos unidades experimentales sometidas a distintos tratamientos presentan leves diferencias), pero cuando las unidades experimentales no son homogéneas, se recomienda utilizar el **diseño de bloques al azar**. En este caso, los tratamientos se aplican a grupos homogéneos de unidades experimentales (ya no hay una asignación aleatoria de las unidades experimentales a los tratamientos, o viceversa). Cada bloque homogéneo equivale a un grupo experimental, considerándose dichos bloques equivalentes a los niveles de los

factores, si bien en este diseño los bloques no se consideran como factores a estudiar, sino simplemente como una forma de controlar la varianza intra-grupo (error experimental). La asignación de unidades experimentales a cada bloque se realiza de forma aleatoria. **El diseño de bloques al azar es completo** si todos los bloques tienen representación en todos los tratamientos.

El modelo de bloques al azar completo corresponde a un modelo ANOVA IIF de dos factores fijos sin interacciones en el que uno de los factores corresponde a los bloques y el otro es el factor de tratamiento. El modelo con a tratamientos y b bloques puede formularse de la forma siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad \sum_{i=1}^a \alpha_i = 0 \quad \sum_{j=1}^b \beta_j = 0$$

Donde α representa el efecto del factor de tratamiento y β el efecto de bloque.

Un **diseño de medidas repetidas** (o *diseño intra-sujeto*) es un caso particular de diseño de bloques al azar que consiste en que cada bloque está formado por un solo individuo al que se aplican todos los tratamientos. En este tipo de diseño se puede dar el **efecto de superposición** (*carry-over effect*), que se produce cuando se administra un tratamiento antes de que haya terminado el efecto de un tratamiento anterior. Este efecto puede controlarse aumentando el tiempo entre los tratamientos. En el diseño en medidas repetidas puede darse también el **efecto de aprendizaje**, que se produce cuando la simple repetición mejora la respuesta, independientemente de ningún tratamiento. También puede darse en el diseño de medidas repetidas el **efecto latencia**, que se produce cuando un tratamiento activa el efecto de un tratamiento anterior que permanecía en estado de latencia.

Diseño con tres factores.

Para un modelo factorial de tres factores A, B y C tendríamos la expresión general:

$$X_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

$i = 1 \dots t, \quad j = 1 \dots r, \quad k = 1 \dots s, \quad l = 1 \dots n_{ijk}$

Los términos A_i , B_j , y C_k representan los efectos de los factores A, B y C (efectos principales). El término AB_{ij} representa el efecto de la interacción entre los factores A y B. el término AC_{ik} representa el efecto de la interacción entre los factores A y C. El término BC_{jk} representa el efecto de la interacción entre los factores B y C. El término ABC_{ijk} representa la interacción triple entre los factores A, B y C. El término ε_{ijkl} representa el error experimental, que corresponderá a una variable aleatoria normal de media cero y varianza constante para cada l . las variables ε_{ijkl} han de ser independientes. El modelo también puede considerarse con término constante.

En un modelo factorial de tres factores pueden ser los tres fijos, los tres aleatorios, uno aleatorio y dos fijos o dos aleatorios y el otro fijo.

En un modelo multifactorial los niveles de cada factor (tratamientos) suelen estar combinados con todos los niveles de los restantes factores. En caso que ciertos niveles de determinados factores estén ligados solamente a ciertos niveles de otros, nos encontramos ante un **diseño jerárquico**. En un diseño jerárquico, los niveles de cada factor están incluidos en los niveles de otro factor, estableciéndose así una jerarquía de dependencias entre los distintos niveles de los diferentes factores. Un modelo jerárquico es **anidado** cuando cada nivel de un factor se corresponde sólo con un nivel de otro factor. En este tipo de modelo no existen interacciones, ya que esto sólo es posible cuando todos los niveles de un determinado factor se cruzan con todos los niveles de los demás factores. Un modelo jerárquico es **cruzado** cuando todos los niveles de un factor aparecen en todos los niveles del resto de los factores.

Diseños en cuadrado latino.

El diseño en cuadrado latino es aquel en que se tienen en cuenta tres factores con la particularidad de que todos tienen el mismo número de niveles. Dos de los factores operan como bloques con el fin de reducir los errores experimentales. El objetivo del análisis es determinar si el tercer factor (factor de tratamiento) tiene o no una influencia significativa sobre la variable dependiente. En un diseño en cuadrado latino hay una sola observación por casilla, por lo que en ningún caso es posible tratar efectos de interacción. En el diseño en cuadrado latino existen dos factores de bloque (filas y columnas), a diferencia del diseño de bloques al azar, en el que solo hay un factor de bloque. Otra característica diferenciadora del diseño en cuadrado latino es que los dos factores de bloque, así como el factor de tratamiento, tienen el mismo número de grupos o niveles. Este modelo se puede expresar como:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \varepsilon_{ijk}; \text{ con } i, j, k = 1, 2, \dots, p$$

,donde α y β representan los efectos fila y columna y τ representa el efecto de factor de tratamiento.

III.III.VII Diseños factoriales.

Por diseño factorial se entiende aquel en el que se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento. Por ejemplo, si existen a niveles del factor **A** y b niveles del factor **B**, entonces cada *réplica del experimento* (en general hay n replicaciones) contienen todas las ab combinaciones de los tratamientos. A menudo, se dice que los factores están *cruzados* cuando éstos se arreglan en un diseño *factorial*. Muchos experimentos se llevan a cabo para estudiar los efectos producidos por dos o más factores. Puede mostrarse que en general los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de experimentos.

El diseño factorial de dos factores se modelaría de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}; \text{ con } i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$$

III.III.VIII Diseños factoriales 2^k , 3^k y P^k .

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de éstos sobre una respuesta. Sin embargo, existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes por que se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico. El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tienen k factores, cada uno con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos como sería el caso de dos valores de temperatura, presión o tiempo. También pueden ser cualitativos como sería el caso de dos máquinas, dos operadores, los niveles superior e inferior de un factor o, quizás, la ausencia o presencia de un factor. Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopiles $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observaciones y se conoce como diseño factorial 2^k . El segundo caso especial es el de k factores con tres niveles cada uno, conocido como diseño factorial 3^k . El caso más general es el de k factores con p niveles cada uno, conocido como diseño factorial p^k .

El diseño 2^k es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar. Conlleva al número de experimentaciones con las cuales pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo. Debido a que solo hay dos niveles para cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores. Un diseño 2^k completo incluye k efectos principales, $\begin{bmatrix} k \\ 2 \end{bmatrix}$ interacciones de dos factores, $\begin{bmatrix} k \\ 3 \end{bmatrix}$ interacciones de tres factores..., y una interacción de k factores. El modelo completo presenta $2^k - 1$ efectos. Estos resultados se pueden generalizar para el caso de k factores con p niveles cada uno.

III.III.IX Diseños factoriales fraccionarios.

A medida que el número de factores en un diseño factorial p^k aumenta, el número de ensayos necesarios para obtener una réplica completa sobrepasa rápidamente los recursos de la mayoría de los experimentadores. Una réplica completa de un diseño 2^k requiere 64 ensayos. En este diseño sólo 6 de los 63 grados de libertad corresponden a los efectos principales, y únicamente 15 corresponden a las interacciones de dos factores. Los 42 restantes corresponden a las interacciones de tres o más factores. Si el experimentador puede suponer razonablemente que algunas interacciones de orden superior son despreciables, la información sobre los efectos principales y las interacciones de menor orden puede obtenerse realizando sólo una fracción del

experimento factorial completo. Estos **diseños factoriales fraccionarios** se encuentran entre los tipos más ampliamente usados para el diseño de productos y procesos y para la detección y solución de problemas.

Un uso importante de los factoriales fraccionarios se da en los *experimentos de escrutinio*, también llamados de *tamizado o de cribado*. Estos son experimentos en los cuales se consideran muchos factores con el fin de identificar aquellos que tienen efectos importantes, de haberlos. Los experimentos de escrutinio suelen realizarse en la primera fase de un proyecto cuando es probable que muchos factores inicialmente considerados tengan poco o ningún efecto sobre la respuesta. Los factores que se identifican como importantes se investigan entonces con mayor detalle en experimentos posteriores. El empleo exitoso de los diseños factoriales fraccionarios se basa en tres ideas clave:

- ✚ **El principio de dispersadas de efectos:** Cuando existen varias variables, es posible que el sistema o proceso sea influido principalmente por algunos de los efectos principales e interacciones de orden inferior.
- ✚ **La propiedad de proyección:** Los diseños factoriales fraccionarios pueden proyectarse en diseños más poderosos (más grandes) en el subconjunto de factores significativos.
- ✚ **Experimentación secuencial:** Es posible combinar los ensayos de dos o más factoriales fraccionarios para conformar de manera secuencial un diseño más grande y estimar los efectos de los factores y las interacciones de interés.

III.III.X Diseños jerárquicos.

Ya sabemos que en un diseño multifactorial general los niveles de cada factor suelen estar combinados con todos los niveles de los restantes factores. En caso de que ciertos niveles de determinados factores estén ligados solamente a ciertos niveles de otros, nos encontramos ante un **diseño jerárquico**. En un diseño jerárquico los niveles de cada factor están incluidos en los niveles de otro factor, estableciéndose así una jerarquía de dependencias entre los distintos niveles de los diferentes factores. Un modelo jerárquico es anidado cuando cada nivel de un factor se corresponde sólo con un nivel de otro factor. En este tipo de modelo no existen interacciones, ya que esto sólo es posible cuando todos los niveles de un determinado factor se cruzan con todos los niveles de los demás factores. Si en el modelo jerárquico la presencia de un nivel B de un factor depende de la de un cierto nivel A , diremos que el factor B está anidado en el A , y usaremos la notación $B_j(i)$, para indicar que el j -ésimo nivel del factor B corresponde al i -ésimo nivel del factor A .

La expresión general del modelo jerárquico de dos factores será:

$$X_{ijk} = A_i + B_j(i) + E_k(ij) \quad i = 1 \dots t, \quad j = 1 \dots r_i, \quad k = 1 \dots n_{ij}$$

El elemento A_i es el efecto producido por el nivel i -ésimo del factor A . El elemento $B_j(i)$ es el efecto producido por el nivel j -ésimo del factor B , dentro del i -ésimo nivel de A . El

elemento $E_{k(i,j)}$ es la parte de X_{ijk} no explicada por los factores A y B , y es una variable aleatoria normal de media cero y varianza constante para cada k . El modelo también puede considerarse como constante.

La expresión general del modelo jerárquico de cuatro factores, cada uno de los cuales está anidado en el anterior, será:

$$X_{ijklm} = A_i + B_{j(i)} + C_{k(ij)} + D_{l(ijk)} + E_{m(ijkl)}$$

$$i = 1 \dots t, j = 1 \dots r_i, k = 1 \dots s_{ij}, l = 1 \dots t_{ijk}, m = 1 \dots n_{ijkl}$$

el elemento A_i es el efecto producido por el nivel i -ésimo del factor A . El elemento $B_{j(i)}$ es el efecto producido por el nivel j -ésimo del factor B , dentro del i -ésimo nivel de A . El elemento $C_{k(ij)}$ es el efecto producido por el nivel k -ésimo del factor C , dentro del j -ésimo nivel del factor B y el i -ésimo nivel del factor A . El elemento $D_{l(ijk)}$ es el efecto producido por el l -ésimo nivel del factor D , dentro del k -ésimo nivel del factor C , el j -ésimo nivel del factor B y el i -ésimo nivel del factor A . El elemento $E_{m(ijkl)}$ es la parte de X_{ijklm} no explicada por los factores A , B , C y D , y es una variable aleatoria normal de media cero y varianza constante para cada m . El modelo también puede considerarse como constante.

III.IV BONDAD DE AJUSTE.

III.IV.I Hipótesis básicas del modelo.

En el estudio de un modelo de Diseño de Experimentos, al igual que en el estudio de cualquier modelo estadístico, se debe contrastar que se verifican las hipótesis básicas o estructurales del modelo. En el modelo de diseño de experimentos con un factor las hipótesis establecidas a priori sobre los errores del modelo:

$$\varepsilon_{it} = Y_{it} - (\mu + \alpha_i), \quad t = 1, \dots, n_i, \quad i = 1, \dots, I.$$

son las siguientes:

1. **Bondad del ajuste del modelo estadístico propuesto.**
2. **La normalidad.**
3. **La homocedasticidad del error.**
4. **La homogeneidad de la muestra.**
5. **La independencia de las observaciones.**

Dado que los errores del modelo son desconocidos, las hipótesis anteriores pueden y deben chequearse a partir de los **residuos**,

$$e_{it} = y_{it} - \bar{y}_{i.}, \quad t = 1, \dots, n_i, \quad i = 1, \dots, I,$$

y, en general, es preferible trabajar con los **residuos estandarizados**, definidos por

$$r_{it} = \frac{e_{it}}{\hat{s}_R}, \quad t = 1, \dots, n_i, \quad i = 1, \dots, I.$$

Si las suposiciones sobre el modelo son correctas, se verifica que $\frac{e_{it}}{\sigma}$ es una muestra aleatoria simple de una distribución $N(0,1)$ y, por tanto, es razonable suponer un comportamiento similar para r_{it} .

Un estudio descriptivo analítico y gráfico de la muestra y de los residuos permite tener una idea aproximada acerca del cumplimiento de las hipótesis básicas. Es recomendable lo siguiente:

1. Previo al cálculo del modelo se deben obtener los estadísticos básicos de la variable respuesta Y según el factor.
2. Gráficos de interés para un análisis previo son: el gráfico de puntos de Y según el factor y el gráfico de cajas múltiple de Y según el factor.
3. Una vez ajustado el modelo y calculados los residuos (o los residuos estandarizados) se deben obtener los estadísticos básicos de los residuos según el factor.
4. Analizar el gráfico de puntos de los residuos según el factor, el gráfico de cajas múltiple de los residuos según el factor, el histograma de los residuos, el gráfico de los residuos frente a las predicciones, el gráfico de los residuos frente al índice.

Una cosa que se hace frecuentemente, sin más justificación, que el decir que parece razonable, es suponer que la variable aleatoria en discusión sigue una distribución particular.

Frecuentemente se supone que los datos son muestras de una población normal. Sin embargo con justa razón se puede objetar esa suposición, haciendo uso de un procedimiento útil para comprobar la validez de dichas suposiciones. Este procedimiento es conocido como bondad de ajuste

La prueba de bondad de ajuste se basa en qué tan buen ajuste se tiene entre la frecuencia de ocurrencia de las observaciones en una muestra observada y las frecuencias observadas que se obtienen de la distribución hipotética.

El estadístico apropiado sobre el cual se basa el criterio de decisión para un experimento que involucra k celdas se define como sigue:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(oi - ei)^2}{ei}$$

Donde ji-cuadrada es el valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima muy cercanamente a una distribución ji- cuadrada con $v = k - 1$ grados de libertad.

Los símbolos o_i y e_i representan las frecuencias observadas y esperadas, respectivamente, para la celda i -ésima. Si las frecuencias observadas se acercan a las correspondientes frecuencias esperadas, el valor de ji-cuadrada será pequeño, lo que indica un buen ajuste.

Si las frecuencias observadas difieren considerablemente de las frecuencias esperadas, el valor ji-cuadrada será grande y el ajuste será muy pobre. Por tanto un buen ajuste conduce a la aceptación de H_0 .

La región crítica, por lo tanto, caerá en la cola derecha de la distribución ji cuadrada. Para un nivel de significancia igual que α por tablas se encuentra el valor crítico χ^2_α y entonces $\chi^2 > \chi^2_\alpha$ constituye la región crítica.

Para ejemplificar, considérese el lanzamiento de un dado. Se fórmula la hipótesis de que el dado no está cargado, lo cual es equivalente a probar la hipótesis de que la distribución de resultados es la distribución uniforme discreta:

$$f(x) = 1/6, \quad x = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Supóngase que el dado se lanza 120 veces y se registra cada uno de los resultados. Teóricamente, si el dado no está cargado, se esperaría que cada dado cayera 20 veces (ver tabla). Al comparar las frecuencias observadas con las correspondientes frecuencias esperadas, se debe decidir si estas discrepancias tienen posibilidad de ocurrir como resultado de las fluctuaciones muestrales, de que el dado no está cargado y de que la distribución de resultados no es uniforme

	Cara					
	1	2	3	4	5	6
Observada	20	22	17	18	19	24
Esperada	20	20	20	20	20	20

Es de práctica común referirse a cada resultado posible de un experimento como una celda. De aquí que, en el ejemplo, se tienen 6 celdas. Recordando el estadístico apropiado sobre el cual se basa el criterio de decisión para un experimento que involucra k celdas .

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

El número de grados de libertad asociados con la distribución ji-cuadrada utilizada aquí es igual a $k-1$, ya que hay únicamente $k-1$ frecuencias de celdas determinadas libremente. Esto es, una vez que se determinan las frecuencias de las $k-1$ celdas, también se determina la frecuencia para la k -ésima.

De los datos de la tabla y aplicando la fórmula obtenemos que el valor de χ^2 se obtiene de la siguiente manera.

$$\chi^2 = \frac{(20 - 20)^2}{20} + \frac{(22 - 20)^2}{20} + \frac{(17 - 20)^2}{20} + \frac{(18 - 20)^2}{20} + \frac{(19 - 20)^2}{20} + \frac{(24 - 20)^2}{20} = 1.7$$

Al utilizar la tabla para encontrar los valores de $\chi^2_{0.05} = 11.070$ para $\nu 5$ grados de libertad. Dado que 1.7 es menor que el valor crítico, no se rechaza H_0 . Se concluye que no hay evidencia suficiente de que el dado esté cargado.

La prueba de bondad de ajuste ji-cuadrada es una herramienta muy importante, debido sobre todo a que muchos procedimientos estadísticos en la práctica dependen, en un sentido, teórico, de la suposición de que los datos colectados surgen de un tipo de distribución específica.

III.IV.II La prueba de Kolmogorov-Smirnov

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra se considera un procedimiento de "bondad de ajuste", es decir, permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada.

Mediante la prueba se compara la distribución acumulada de las frecuencias teóricas (f_t) con la distribución acumulada de las frecuencias observadas (f_{obs}), se encuentra el punto de divergencia máxima y se determina qué probabilidad existe de que una diferencia de esa magnitud se deba al azar.

En las tareas de investigación se pudo obtener un conjunto de observaciones, en las cuales se supone que tienen una distribución normal, binomial, de Poisson, etc. Para el caso, las frecuencias de las distribuciones teóricas deben contrastar con las frecuencias observadas, a fin de conocer cuál distribución se adecua mejor al modelo.

Pasos:

1. Calcular las frecuencias esperadas de la distribución teórica específica por considerar para determinado número de clases, en un arreglo de rangos de menor a mayor.
2. Arreglar estos valores teóricos en frecuencias acumuladas.

3. Arreglar acumulativamente las frecuencias observadas.
4. Aplicar la ecuación $D = f_t - f_{obs}$, donde D es la máxima discrepancia de ambas.
5. Comparar el valor estadístico D de Kolmogorov-Smirnov en la tabla de valores críticos de D.
6. Decidir si se acepta o rechaza la hipótesis.

Ecuación:

$$D = f_t - f_{obs}$$

En esta ecuación se aprecia que el procedimiento es muy simple y quizá lo que parezca más complicado corresponde al cálculo de la frecuencia esperada de cada tipo de distribución teórica. Por lo tanto, en la marcha de los ejercicios se presentará cada uno de ellos y la manera de aplicar la prueba estadística.

Ejemplo:

En una investigación, consistente en medir la talla de 100 niños de 5 años de edad, se desea saber si las observaciones provienen de una población normal.

Elección de la prueba estadística.

El modelo experimental tiene una muestra y es factible un arreglo en el carácter ordinal o en los rangos de las series de clases.

Planteamiento de la hipótesis.

- Hipótesis alterna (H_a). Los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal.
- Hipótesis nula (H_0). Las diferencias entre los valores observados y los teóricos de la distribución normal se deben al azar.

Nivel de significación.

Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.05, se acepta H_a y se rechaza H_0 .

Zona de rechazo.

Para todo valor de probabilidad mayor que 0.05, se acepta H_0 y se rechaza H_a .

Tabla de 100 niños. Los valores $X + \sigma$ son 99.2 ± 2.85 .

Serie de clases (talla en cm)	F	Fa
De 90 a 93	5	5
De 94 a 97	21	26
De 98 a 101	48	74
De 102 a 105	19	93
De 106 a 109	7	100
Total	100	

Aplicación de la prueba estadística.

Primero se elaboran los cálculos de los valores teóricos esperados para la distribución normal.

Inicialmente se determina el valor Z de los límites de cada clase en la serie, por ejemplo: en la primera clase se determinan el límite inferior y el superior (90 y 93), y en las subsecuentes sólo los límites superiores (97, 101, 105 y 109). Para cada valor de Z, se localiza el área bajo la curva norma tipificada. (Véase: tabla de áreas bajo la curva normal tipificada de 0 a 2).

Los cálculos de valores Z, son de la forma siguiente:

$$Z_{90} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{90 - 92.2}{2.85} = - 3.23$$

$$Z_{93} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{93 - 92.2}{2.85} = - 2.18$$

Y así sucesivamente.

Para cada valor Z, se localiza el área de la curva tipificada de la tabla de números aleatorios. A partir de estos valores, se obtiene la diferencia entre los límites de clases entre el superior y el inferior, por ejemplo: $0.4997 - 0.4793 = 0.020$, $0.4793 - 0.2357 = 0.2436$, $0.2357 - (-0.2794) = 0.5151$, $-0.2794 - (-0.4854) = 0.206$ y $-0.4854 - (-0.4994) = 0.014$.

Estos resultados de diferencias se multiplican por el tamaño de la muestra (100 niños), luego se obtienen las frecuencias teóricas y después se arreglan en frecuencias acumuladas.

Cálculos de los valores teóricos.

Límites de clases	Valor Z de los límites	Area bajo la curva tipificada	Diferencias entre clases	Diferencias N (100) = F	Fa
90	-3.23	-0.4994			
93	-2.18	-0.4854	0.014	1.4	1.4
97	-0.77	-0.2794	0.206	20.6	22.0
101	0.63	0.2357	0.5151	51.5	73.5
105	2.04	0.4793	0.2436	24.4	77.9
109	3.44	0.4997	0.0200	2.0	99.9
Total				99.9	

Las frecuencias acumuladas teóricas y las observadas se arreglan en los rangos correspondientes, como se muestra en la siguiente tabla, y posteriormente se aplica la fórmula de Kolmogorov-Smirnov.

Cálculo estadístico D de Kolmogorov-Smirnov.

Rangos	1	2	3	4	5
f_t	1.4	22	73.5	97.9	99.9
acumulada	100	100	100	100	100
f_{obs}	5	26	74	93	100
acumulada	100	100	100	100	100
$f_t - f_{obs}$	-0.036	-0.04	-0.005	0.049	-0.001

$$D = f_t - f_{obs} = -0.036$$

La diferencia máxima D es igual a -0.049, valor que se compara con los valores críticos de D en la prueba muestral de Kolmogorov-Smirnov y se obtiene la probabilidad de la existencia de esa magnitud de acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. El valor N es 100 y el mayor número de N en la tabla es 35, por lo cual se aplica la fórmula al pie de la tabla:

$$0.05 = \frac{1.36}{\sqrt{N}} = \frac{1.36}{\sqrt{100}} = 0.136$$

Para la probabilidad de

Lo anterior quiere decir que para todo valor menor que el crítico para una probabilidad de 0.05, la probabilidad correspondiente es mayor que 0.05, y todo valor mayor que D al calculado tienen una probabilidad menor que 0.05, o sea, es inversamente proporcional al crítico determinado o localizado en la tabla.

Decisión.

En virtud de lo anterior, el estadístico de Kolmogorov-Smirnov obtenido es menor que el crítico y su probabilidad mayor que 0.05, por lo tanto, se acepta H_0 y se rechaza H_1 .

Interpretación.

Las frecuencias observadas y las teóricas calculadas no difieren significativamente. Por lo tanto, las observaciones tienen una distribución normal.

III.IV.III La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene.

Uno de los pasos previos a la comprobación de si existen diferencias entre las medias de varias muestras es determinar si las varianzas en tales muestras son iguales (es decir, si se cumple la condición de homogeneidad de varianzas o homoscedasticidad), ya que de que se cumpla o no esta condición dependerá la formulación que empleemos en el contraste de medias.

Existen varias pruebas que permiten comprobar la igualdad de varianzas (F de Fisher, Fmax de Hartley, prueba de Bartlett, etc), pero aquí desarrollaremos la prueba de Levene que es la que emplearemos en SPSS. Para su cálculo se siguen los siguientes pasos:

- 1.- Calcular la diferencia (en valor absoluto) entre cada valor y la media de su grupo:

$$D_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_j|$$

donde...

X_{ij} : es la puntuación del sujeto i perteneciente al grupo j .

\bar{X}_j : es la media del grupo j .

$$\bar{D}_j = \frac{\sum D_{ij}}{n_j}$$

- 2.- Calcular la media de las diferencias de cada grupo:

donde...

$\sum D_{ij}$: es la suma de las puntuaciones D en el grupo j .
 n_j : es el tamaño del grupo j .

$$\bar{D}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k D_{ij}}{N}$$

- 3.- Calcular la media total de las diferencias: donde...

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k D_{ij}$$

D_{ij} : es la suma de las puntuaciones D de todos los sujetos.
 N: es la suma de todos los sujetos.

- 4.- Calcular la suma de cuadrados intragrupo

$$SC_{intra} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (D_{ij} - \bar{D}_j)^2$$

(SC_{intra}):

- 5.- Calcular la suma de cuadrados intergrupo

$$SC_{inter} = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{D}_j - \bar{D})^2$$

(SC_{inter}):

- 6.- Calcular los grados de libertad:

$G.L._{(inter)} = k - 1$; siendo k el número de grupos.

$$G.L._{(intra)} = \sum_{j=1}^k (n_j - 1) \quad ; \text{ siendo } n_j \text{ el tamaño muestral del grupo } j.$$

- 7.- Calcular la media cuadrática intergrupos (MC_{inter})= $SC_{inter} / G.L._{inter}$
- 8.- Calcular la media cuadrática intragrupos (MC_{intra})= $SC_{intra} / G.L._{intra}$
- 9.- Calcular la $F = MC_{inter} / MC_{intra}$

III.V ANOVA DE DOS FACTORES.

III.V.I Diseño de experimentos con una fuente de variación.

Como ya se indicó previamente, el **diseño de experimentos** estudia la forma de realizar comparaciones lo más homogéneas posibles que permitan detectar cambios en el proceso de interés e identificar los factores influyentes.

En este contexto el problema más sencillo que se puede presentar es el de detectar la influencia de un factor que tiene dos niveles en una variable de interés (diseño de experimentos con un factor a dos niveles). Este problema es exactamente el mismo que el problema de *comparar las medias de dos poblaciones*. Problema que bajo la hipótesis de normalidad de las poblaciones se resuelve por el contraste de la *t*. La generalización de este problema es contrastar la igualdad de las medias de los *l* niveles de un factor, esto es, estudiar la influencia de un factor con *l* niveles en la variable de interés.

Para resolver este problema se utiliza la técnica del *Análisis DE la VArianza*: **ADEVA** (en inglés, ANalysis Of VAriance: **ANOVA**) introducida por R. A. Fisher en los años treinta. El análisis de la varianza es la herramienta fundamental para el estudio de una variable de interés a partir de observaciones que dependen de varios factores.

El ANOVA es la herramienta básica para el análisis de los modelos estadísticos de Diseño de Experimentos y Regresión Lineal, porque permite descomponer la variabilidad de un experimento en componentes independientes que pueden asignarse a diferentes causas.

El diseño de experimentos más simple es el **diseño completamente aleatorizado**. Este modelo de diseño tiene un único factor con l niveles y las unidades experimentales se asignan al azar a los tratamientos. En este modelo los tratamientos son los niveles del factor y no se incluyen factores bloque.

Un procedimiento sencillo para aleatorizar un diseño completamente aleatorizado es el siguiente: se denota

n_i : el número de observaciones que recibirán el i -ésimo tratamiento,

l : el número total de tratamientos,

$n = \sum_{i=1}^l n_i$: el número total de observaciones.

Se codifican los tratamientos de 1 a l y se etiquetan las unidades experimentales de 1 a n . Se siguen los siguientes pasos:

Paso 1:

Crear una columna con n_1 unos, n_2 doses, ..., n_l l es; los valores de esta columna representan a los tratamientos.

Paso 2:

Crear una segunda columna con n números aleatorios (uniformes en $[0,1]$) con dígitos suficientes para evitar empates.

Paso 3:

Reordenar simultáneamente ambas columnas de modo que los números aleatorios se ordenen en forma ascendente. De esta forma se consigue que las etiquetas de los tratamientos estén en orden aleatorio.

Paso 4:

Asignar la unidad experimental t al tratamiento cuya etiqueta esté en la fila t .

III.V.II Modelo matemático del diseño completamente aleatorizado.

Se denota

Y_{it} : la variable aleatoria que representa el valor de la respuesta en la t -ésima observación del i -ésimo tratamiento. En adelante se utilizará la notación Y_{in} para referirse a la variable e y_{in} para referirse a una observación concreta.

μ_i : la respuesta real del i -ésimo tratamiento. Es decir, a la respuesta que se obtendría siempre con el i -ésimo tratamiento si se ejecutase el experimento en, *exactamente*, las mismas condiciones.

ε_{it} : la variable aleatoria que representa la distancia de la t -ésima observación del i -ésimo tratamiento a su valor real. Por tanto ε_{it} agrupa la contribución de las fuentes de variación menores y no planificadas. Esta variable se denomina **error** o **error experimental**.

Para cada $t = 1, \dots, n_i, i = 1, \dots, l$, el modelo matemático del diseño es:

Las hipótesis iniciales del aplicar, se debe cumplir
$$Y_{it} = \underbrace{\mu_i}_{\text{determinista}} + \underbrace{\varepsilon_{it}}_{\text{aleatorio}}$$
 modelo, para poderlo que:

- Cada una de las poblaciones (de los k grupos son normales)
- Las varianzas de las k poblaciones son iguales (homogeneidad de varianzas).
- De cada una de las k poblaciones tenemos muestras aleatorias independientes.

El siguiente ejemplo ayuda a entender el modelo de diseño de experimentos completamente aleatorizado:

“Una empresa desea estudiar la productividad media por hora en el montaje de un mecanismo electrónico en las tres fábricas que tiene: FA, FB y FC. Para ello se ha tomado una muestra de la productividad por hora en cada fábrica. La recogida de datos se ha aleatorizado y nada presupone que existan factores con influencia en los resultados obtenidos.” (Este ejemplo se desarrolla en la sección 3.6.)

III.V.III Planteamiento del problema.

Se está interesado en saber si en la “variable de interés” influye el “factor” en estudio. Esto es, se quiere contrastar si la media de la productividad de montaje es la misma en las tres fábricas.

Variable de interés: productividad media por hora en el montaje de un mecanismo electrónico.

Factor: fábrica en la que se realiza el montaje. El factor en estudio tiene tres niveles: FA, FB, FC.

Hipótesis del estudio:

- • Las tres muestras son muestras aleatorias simples de las correspondientes poblaciones.
- • La productividad de las tres fábricas siguen una distribución normal.
- • La productividad de las tres fábricas tienen la misma varianza.

Las hipótesis iniciales del modelo, para poderlo aplicar, se debe cumplir que:

- Cada una de las poblaciones (de los k grupos son normales)
- Las varianzas de las k poblaciones son iguales (homogeneidad de varianzas).
- De cada una de las k poblaciones tenemos muestras aleatorias independientes.

Al tener un cociente de variables aleatorias que siguen la forma Ji-cuadrada, se obtiene una variable f que sigue una distribución F de Fisher-Snedecor con (k-1) grados de libertad en el numerador y k(n-1) en el denominador. El estadístico de contraste que se utiliza en el análisis de la varianza se basa en el hecho de comparar los dos orígenes de la variabilidad de las muestras: la variación entre y dentro (error) de las muestras. Pasos para el desarrollo e interpretación de la ANOVA:

1) Plantear las hipótesis:

- Hipótesis nula
- Ho: Todas las medias son iguales
- Ho : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$
- Hipótesis alternativa
- H_1 : no todas las medias son iguales
- 2) Fijaremos un nivel significativo α .
- 3) Determinar estadístico de contraste a partir de las sumas de cuadrados:

$$f = \frac{\text{media de cuadrados entre tratamientos}}{\text{media del error dentro de muestras}} = \frac{s_1^2}{s^2}$$

donde

$$f = \frac{s_1^2}{s^2} = \frac{SSA/k-1}{SSE/k(n-1)}$$

Para hacer lo anterior se necesitan calcular los elementos que intervienen en la tabla ANOVA:

TABLA ANOVA

Fuente de la variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	f calculada
Tratamientos	$SSA = n \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2$	k-1	$s_1^2 = \frac{SSA}{k-1}$	$f = \frac{s_1^2}{s^2}$
Error	SSE = SST-SSA	k(n-1)	$s^2 = \frac{SSE}{k(n-1)}$	
Total	$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2$	nk-1		

4) Finalmente podemos actuar de dos maneras:

- a) A partir del p-valor. Este valor es $p = P(F > f)$:
- Si $p \leq \alpha$, se rechaza la hipótesis nula H_0 .
- Si $p > \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula H_0 .
- B) A partir del valor crítico, se rechaza cuando

$$f \text{ calculado} > f_{\alpha}(k-1, k(n-1))$$

Puede utilizarse un paquete estadístico como MINITAB, SPSS o STATGRAPHICS para obtener la tabla ANOVA y así sólo necesita interpretarse el resultado de la tabla.

En el caso en que se toman tamaños diferentes de muestras los cálculos de la tabla ANOVA se hacen con las fórmulas siguientes:

TABLA ANOVA PARA TAMAÑOS DIFERENTES DE MUESTRAS

Fuente de la variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	f calculada
Tratamientos	$SSA = \sum_{i=1}^k n_i (y_i - \bar{y})^2$	k-1	$s_1^2 = \frac{SSA}{k-1}$	$f = \frac{s_1^2}{s^2}$
Error	SSE = SST-SSA	N-k	$s^2 = \frac{SSE}{k(n-1)}$	
Total	$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$	N-1		

III.VI GENERALIDADES SOBRE SPSS.

Las aplicaciones de la Estadística en la empresa exigen, en la mayor parte de los casos el tratamiento de un gran número de datos. El tratamiento de esos datos, y la utilización de la información que de ellos puede obtenerse, hace necesario la utilización de programas informáticos diseñados para este fin.

El programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) permite, mediante su aplicación realizar un análisis descriptivo de una o varias variables, utilizando gráficos que expliquen su distribución o calculando sus medidas características. Entre sus muchas prestaciones, también figuran el cálculo de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, análisis de regresión o análisis multivariantes.

Una vez se ha accedido al programa (clickeando el icono correspondiente) la interfaz con el usuario se compone de dos ventanas principales:

1. El editor de datos: de aspecto y funcionalidad análogas a las de cualquier hoja de cálculo
2. El visor de resultados, donde irán apareciendo los resultados de los análisis realizados.

Desde ambas ventanas se puede acceder a la barra de menús (desde donde se selecciona el análisis que se quiere realizar) y a la barra de botones rápidos (desde la que se puede acceder a las opciones de menú más comúnmente solicitadas)

El procedimiento general de resolución de un problema con SPSS.

Los pasos a seguir para llevar a cabo un análisis de tipo estadístico son los siguientes:

1º Recoger la información del problema que se desee investigar y tenerla organizada generalmente en papel;

2º Grabar esa información en un archivo de datos correspondiente al programa que se va a usar, en el caso de SPSS en un archivo que tiene el nombre que deseemos, pero que posee forzosamente la extensión **.sav** ;

3º Sobre tal archivo de datos se llevará a cabo el análisis con SPSS, usando diferentes procedimientos que como veremos se seleccionan de distintos menús;

4º Los resultados de tales análisis son volcados a un visor de resultados en el que su visualización y edición es más cómoda, y desde el que se pueden guardar en un fichero de nombre el que se desee, pero de extensión **.spo** .

5º El investigador interpreta los resultados y extrae las conclusiones que le parecen relevantes de los mismos, y con eso se cierra el ciclo sobre el que se está trabajando.

CAPITULO IV

“APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL PROCESO DE PULIDO GENERAL.”

IV.I SELECCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.

IV.II DEFINICIÓN DEL PROCESO CLAVE PARA EL ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS.

IV.III DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

IV.III.I Objetivos del experimento.

IV.III.II Factores y Niveles.

IV.III.III Planteamiento de Hipótesis.

IV.IV DESARROLLO EXPERIMENTAL.

IV.IV.I Prueba de Normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov)

IV.IV.II ANOVA de dos factores.

IV.IV.III Prueba de Tukey.

IV.I SELECCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.

Tijeras barrilito fabrica una gran variedad de tijeras forjadas para satisfacer una amplia gama de necesidades, de acuerdo a la estructura general de proceso de las diferentes líneas de tijera, el estudio se hará en la tijera Modelo 8095-7 Gingher ya que esta tijera es producto de exportación, además su costo de manufactura (\$28.49622) es de los más altos de entre los modelos que se fabrican, pertenece a la familia Gingher que es a la que se aplican los estándares de calidad más altos y es de los productos con mayor demanda (mensualmente 15000 piezas).

IV.II DEFINICIÓN DEL PROCESO CLAVE PARA EL ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS.

La tijera Modelo 8095-7 Gingher tiene un costo estándar de fabricación de \$28.49622, de todos los procesos que intervienen en la fabricación de este modelo el más caro es el Pulido General el cual tiene un 33.6 % de participación (\$9.57655) en el costo total de la tijera terminada. Para el costeo se considera mano de obra, materia y gastos directos e indirectos de fabricación.

El estudio ahora se centra en establecer alternativas para la reducción de los costos de mano de obra o de gastos indirectos de fabricación. El caso de la mano de obra no se considera para estudio pues se cuenta con un sistema de estándares establecido y que es revisado continuamente, además se considera que los trabajadores tienen una eficiencia del 96%.

El insumo que representa el gasto indirecto principal del proceso de Pulido es la lija. Hay 13 operaciones que se le realizan a cada hoja de tijera ya sea punta o curva:



De estas 13 operaciones, 11 operaciones se hacen con lija. El proveedor actual de lijas es 3M, se contactó con un proveedor diferente que aseguró tener un

rendimiento (número de hojas de tijera que se pulen en cada operación por corte de lija) superior a 3M; para probar esto se estableció determinar las operaciones en las que se podía utilizar lija del otro proveedor (Jackson-Lea) y así poder bajar el costo de la operación.

La lija se vende por pliegos y de cada pliego se obtiene un número determinado de cortes que se montan en el pit o máquina de pulido para poder llevar a cabo la operación.

Las siguientes operaciones aplican a las hojas de la tijera 8095-7 y se muestran la marca y tipo de lija utilizado así como las alternativas propuestas con el objeto de reducir costos:

No DE OPER	NOMBRE DE LA OPERACIÓN	MAR Y TIPO DE LIJA	ANCHO (mm)	ACTUAL			ALTERNATIVA		
				CODIGO	DESCRIPCION DE CORTE	TIPO DE RUEDA DE	CODIGO	DESCRIPCION DE CORTE	TIPO DE RUEDA
539001	PULIDO ESPALDA Y COSTADO DE OJO	A-100	51	115 1030	CORTE A-100 / 51 x 3350 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO			
539001	PULIDO ESPALDA Y COSTADO DE OJO	RB346-P150	51				115 1050	CORTE RB346-P150 / 51x3352 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO
539003	PULIDO INTERIOR DE OJO MANUAL	931D-P120	18	115 1047	CORTE 931D-P120 / 18 x 2000 mm	MANUAL			
539004	PULIDO EXTERIOR DE OJO	931D-P150	68	115 1031	CORTE 931D-P150 / 68 x 3350 mm	RUEDA DE POPELINA			
539007	PULIDO ESQUINA DE OJO	A-100	43	115 1037	CORTE A-100 / 43 x 3350 mm	RUEDA DE FIELTRO ANGOSTO			
539007	PULIDO ESQUINA DE OJO	RB346-P150	43				115 1051	CORTE RB346-P150 / 34x3352 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO
539012	PULIDO INTERIOR ESPIGA	A-100	51	115 1030	CORTE A-100 / 51 x 3350 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO			
539012	PULIDO INTERIOR ESPIGA	RB346-P150	51				115 1050	CORTE RB346-P150 / 51x3352 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO
539013	PULIDO EXTERIOR DE ESPIGA	A-100	34	115 1036	CORTE A-100 / 34 x 3350 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO			
539013	PULIDO EXTERIOR DE ESPIGA	RB346-P150	34				115 1051	CORTE RB346-P150 / 34x3352 mm	RUEDA DE FIELTRO ANCHO
539015	PULIDO ESQUINA DE PASTILLA	A-100	27	115 1038	CORTE A-100 / 27 x 3350 mm	2 SUELAS, 2 FIELTROS			
539019	CHAFLAN EN COSTADO Y LOMO	241D-P120	27	115 1027	CORTE 241D-P120 / 27 x 3350 mm	2 SUELAS, 2 FIELTROS			
539027	PULIDO EXTERIOR DE OJO FINO	931D-P150	68	USADA	931D-P150	RUEDA DE POPELINA			
539037	PULIDO INTERIOR OJO MANUAL FINO	931D-P150	18	115 1035	CORTE 931D-P150 / 18 x 2000 mm	MANUAL			
539009	PULIDO PASTILLA COSTADO Y LOMO	A-100	30	115 1028	CORTE A-100 / 30 x 3350 mm	2 SUELAS, 2 FIELTROS			

De las lijas que utilizamos del tipo A-100 solamente Jackson Lea no tiene dos tipos de las 6 que ofrece 3M. Como podemos observar de cada pliego se obtiene la misma cantidad de cortes en ambas marcas. La propuesta inicial del proveedor alternativo Jackson-Lea es hacer la prueba con lijas que sustituyan a la A-100 que es lija especial de óxido de aluminio.

Tabla: Cortes por pliego para las lijas 3M y Jackson Lea

CORTES TRIZACT A-100 DE 3M		
CODIGO	DESCRIPCIÓN CORTE	CORTES X PLIEGO
1151030	Corte A-100 51 x 3350 mm	6
1151036	Corte A-100 34 x 3350 mm	9
1151037	Corte A-100 43 x 3350 mm	7.1
1151039	Corte A-100 56 x 3350 mm	5.4
1151038	Corte A-100 27 x 3350 mm	11.3
1151028	Corte A-100 30 x 3350 mm	10.2

CORTES HERMES RB346-P150 DE JACKSON-LEA		
CODIGO	DESCRIPCIÓN CORTE	CORTES X PLIEGO
1151050	Corte RB346-P150/51 x 3350 mm	6
1151051	Corte RB346-P150/34 x 3350 mm	9
1151052	Corte RB346-P150/43 x 3350 mm	7.1
1151053	Corte RB346-P150/56 x 3350 mm	5.4

De las cuatro operaciones en las que tenemos alternativa de cambio de lija se estableció hacer un estudio preliminar de comparación para la operación 539001 “Pulido de espalda y costado de ojo” por lo siguiente:

- Los cuatro trabajadores que hacen esta operación se les considera expertos porque cumplen con su eficiencia de operación de acuerdo al estándar (UPH).
- Las otras tres operaciones, en las que podríamos establecer una comparación de rendimiento entre la lija actual y la propuesta, cuentan con personal en entrenamiento por lo que no todos cumplen su estándar de operación o es menor la cantidad de operadores que si cumplen el estándar.

IV.III DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

IV.III.I Objetivos del experimento:

- Determinar entre dos modelos de lija de diferente fabricante: CORTE A-100 / 51 x 3350 mm de 3M y CORTE RB346-P150 / 51x3352 mm de Jackson Lea cuál es el que da el mejor rendimiento (piezas pulidas por cada corte de lija).
- Determinar si el tipo de operador influye en el rendimiento de la lija por pieza.
- Determinar si la lija utilizada influye en el rendimiento por pieza.
- Finalmente deseamos conocer la posible influencia de la interacción de los dos factores (operador y lija utilizada) el rendimiento (piezas por corte de lija).

IV.III.II Factores y Niveles:

Nuestro experimento será de dos factores:

- Trabajador que ejecuta la operación (Factor A).
- Modelo de lija utilizada (Factor B).

El **factor** “trabajador que ejecuta la operación” tendrá cinco niveles y el **factor** “modelo de lija utilizada” tendrá dos niveles.

El número de tratamientos es de diez y el número de repeticiones para cada tratamiento es de tres. Se determinaron tales condiciones para obtener un estudio en dos días (1 día para probar cada tipo de lija).

La **unidad experimental** es la hoja curva 8095-7.

La **variable de respuesta** es el rendimiento de lija que son las piezas pulidas que se obtienen por cada corte de lija utilizado.

IV.III.III Planteamiento de Hipótesis:

H_0A : El trabajador que ejecuta la operación no afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

H_1A : El trabajador que ejecuta la operación afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

H_0B : El modelo de lija utilizada no afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

H_1B : El modelo de lija utilizada afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

H_0AB : La interacción de los factores Trabajador que ejecuta la operación – modelo de lija utilizada no afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

H_1AB : La interacción de los factores Trabajador que ejecuta la operación – modelo de lija utilizada afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

Consideración de los posibles resultados desde el punto de vista de los procedimientos estadísticos que se les aplicará, para asegurar que satisfagan las condiciones necesarias para que sean válidos estos procedimientos:

- A los datos obtenidos se les hará la prueba de Kolmogorov-Smirnov para asegurar que los datos provienen de una población normalmente distribuida y podamos aplicar el Análisis de varianza de dos factores para rechazar o no rechazar las hipótesis establecidas.
- Se aplicará la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene.

IV.IV DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Se realizó la prueba de la lija en dos días de acuerdo a lo establecido en el diseño del experimento y los datos obtenidos fueron los siguientes:

RENDIMIENTO (PIEZA PULIDA POR CORTE DE LIJA)	A: OPERADOR	B: TIPO DE LIJA
305	5160	RB346-P 150
338	5160	RB346-P 150
320	5160	RB346-P 150
203	5160	A-100
220	5160	A-100
228.25	5160	A-100
304.5	5239	RB346-P 150
305	5239	RB346-P 150
300	5239	RB346-P 150
162	5239	A-100
166	5239	A-100
159	5239	A-100
229	5281	RB346-P 150
237	5281	RB346-P 150
261	5281	RB346-P 150
243.6	5281	A-100
180	5281	A-100
241	5281	A-100
338	5419	RB346-P 150
293	5419	RB346-P 150
271	5419	RB346-P 150
203	5419	A-100
253.75	5419	A-100
236.8333333	5419	A-100
203	5332	RB346-P 150
274	5332	RB346-P 150
237	5332	RB346-P 150
225.5555556	5332	A-100
203	5332	A-100
260	5332	A-100

IV.IV.I Prueba de Normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov)

Determinar que los datos obtenidos provienen de una distribución normal. Para esto se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los 30 datos de rendimiento obtenidos del experimento.

- Hipótesis nula (Ho). Las diferencias entre los valores observados y los teóricos de la distribución normal se deben al azar.
- Hipótesis alterna (Ha). Los valores observados son diferentes de los teóricos de una distribución normal

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
RENDIMIENTO	30	246.6830	50.69896	159.00	338.00

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		RENDIMIENTO
N		30
Normal Parameters(a,b)	Mean	246.6830
	Std. Deviation	50.69896
Most Extreme Differences	Absolute	.091
	Positive	.091
	Negative	-.087
Kolmogorov-Smirnov Z		.498
Asymp. Sig. (2-tailed)		.965

a Test distribution is Normal.
b Calculated from data.

Como el valor P es Mayor a 0.05 no se rechaza la hipótesis nula y asumimos que los datos provienen de una distribución normal.

Como se determinó que los datos provienen de una población normal, se alimentaron los datos en el software SPSS V 13.0 para hacer el ANOVA de dos factores y poder rechazar o no rechazar las hipótesis establecidas además de obtener valores descriptivos del rendimiento de la lija y ver cual tiene el mejor rendimiento además de hacer inferencias respecto al desempeño de los trabajadores.

IV.IV.II ANOVA de dos factores.

Al correr la ANOVA de dos factores en SPSS V 13.0 nos da entre otros cálculos lo siguiente:

- Tabla de estadísticos descriptivos:

Descriptive Statistics

Dependent Variable: RENDIMIENTO

TRABAJADOR	LIJA	Mean	Std. Deviation	N
5160	RB346-P150	321.0000	16.52271	3
	A-100	217.0833	12.87520	3
	Total	269.0417	58.43895	6
5239	RB346-P150	303.1667	2.75379	3
	A-100	162.3333	3.51188	3
	Total	232.7500	77.18922	6
5281	RB346-P150	242.3333	16.65333	3
	A-100	221.5333	35.99241	3
	Total	231.9333	27.54826	6
5419	RB346-P150	300.6667	34.15162	3
	A-100	231.1944	25.84064	3
	Total	265.9306	46.70702	6
5332	RB346-P150	238.0000	35.51056	3
	A-100	229.5185	28.70590	3
	Total	233.7593	29.25051	6
Total	RB346-P150	281.0333	40.91562	15
	A-100	212.3326	33.49357	15
	Total	246.6830	50.69896	30

Se observa en todos los casos que la media del rendimiento es mayor con la lija de prueba de Jackson-Lea RB346-P150 que con la lija actual A-100 de 3M. Para saber que tan confiables son estos datos establecemos la prueba de análisis de varianza de dos factores para saber que influencia tienen las variables y su interacción en el desarrollo del experimento.

- Prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas:

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)

Dependent Variable: RENDIMIENTO

F	df1	df2	Sig.
1.962	9	20	.100

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+TRABAJADOR+LIJA+TRABAJADOR * LIJA

El valor de significancia es de 0.1 el cual es mayor al mínimo de 0.02 por lo que no rechazamos la hipótesis nula implícita en la prueba de que las varianzas son homogéneas.

A continuación se muestra la tabla **ANOVA de dos factores**:

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: RENDIMIENTO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	62639.995(a)	9	6959.999	11.696	.000
Intercept	1825574.526	1	1825574.526	3067.896	.000
TRABAJADOR	8694.496	4	2173.624	3.653	.02167366
LIJA	35398.438	1	35398.438	59.487	.00000020
TRABAJADOR * LIJA	18547.062	4	4636.765	7.792	.00059020
Error	11901.149	20	595.057		
Total	1900115.671	30			
Corrected Total	74541.145	29			

a R Squared = .840 (Adjusted R Squared = .768)

Al observar los valores P de la tabla tenemos que:

1.- Rechazar H_0A : El trabajador que ejecuta la operación no afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera. Porque el valor P es de 0.02167366 que aunque se encuentra en la región de no rechazo no nos da un amplio margen de confianza. Detectamos entonces que el trabajador que ejecuta la operación afecta el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

2.- Rechazar H_0B : El modelo de lija utilizada no afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera. Porque el valor P es de 0.000002 y se encuentra en la zona de rechazo de la distribución F. Detectamos entonces que el modelo de lija utilizada afecta el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera.

3.-Rechazar H_0AB : La interacción de los factores Trabajador que ejecuta la operación – modelo de lija utilizada no afecta de forma significativa el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera. Porque el valor P es de 0.0005902 y se encuentra en la zona de rechazo de la distribución F. Detectamos entonces que la interacción entre los factores afecta el rendimiento de las lijas al pulir la hoja de tijera

IV.IV.III Prueba de Tukey

Con la prueba de Tukey determinamos las diferencias que existen entre los niveles de un factor, en este caso nos interesa conocer cual o cuales trabajadores tienen diferencias significativas con respecto a los otros.

Dependent Variable: RENDIMIENTO

Tukey HSD

(I) TRABAJADOR	(J) TRABAJADOR	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
5160 **	5239	36.2917	14.08377	.113	-5.8522	78.4356
	5281	37.1083	14.08377	.101	-5.0356	79.2522
	5419	3.1111	14.08377	.999	-39.0328	45.2550
	5332	35.2824	14.08377	.129	-6.8615	77.4263
5239	5160	-36.2917	14.08377	.113	-78.4356	5.8522
	5281	.8167	14.08377	1.000	-41.3272	42.9606
	5419	-33.1806	14.08377	.169	-75.3245	8.9634
	5332	-1.0093	14.08377	1.000	-43.1532	41.1346
5281	5160	-37.1083	14.08377	.101	-79.2522	5.0356
	5239	-.8167	14.08377	1.000	-42.9606	41.3272
	5419	-33.9972	14.08377	.152	-76.1411	8.1467
	5332	-1.8259	14.08377	1.000	-43.9698	40.3180
5419	5160	-3.1111	14.08377	.999	-45.2550	39.0328
	5239	33.1806	14.08377	.169	-8.9634	75.3245
	5281	33.9972	14.08377	.152	-8.1467	76.1411
	5332	32.1713	14.08377	.191	-9.9726	74.3152
5332	5160	-35.2824	14.08377	.129	-77.4263	6.8615
	5239	1.0093	14.08377	1.000	-41.1346	43.1532
	5281	1.8259	14.08377	1.000	-40.3180	43.9698
	5419	-32.1713	14.08377	.191	-74.3152	9.9726

Based on observed means.

4. TRABAJADOR * LIJA. Dependent Variable: RENDIMIENTO

TRABAJADOR	LIJA	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
5160	RB346-P150	321.000	14.084	291.622	350.378
	A-100	217.083	14.084	187.705	246.462
5239	RB346-P150	303.167	14.084	273.788	332.545
	A-100	162.333	14.084	132.955	191.712
5281	RB346-P150	242.333	14.084	212.955	271.712
	A-100	221.533	14.084	192.155	250.912
5419	RB346-P150	300.667	14.084	271.288	330.045
	A-100	231.194	14.084	201.816	260.573
5332	RB346-P150	238.000	14.084	208.622	267.378
	A-100	229.519	14.084	200.140	258.897

De la tabla observamos que los trabajadores que menor diferencia tienen entre ellos son los trabajadores 5160 con el 5419, el 5239 con el 5281, el 5332 con 5239 y el 5332 con el 5281. Sin embargo al observar la tabla de la media de rendimientos por operador nos damos cuenta que los mejores trabajadores son el 5160, 5239 y el 5419 por lo que la mejor combinación de trabajadores por rendimiento y menor diferencia entre ellos es la de los trabajadores 5160 con el 5419.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES DEL PROYECTO:

Finalmente, y cumpliendo con el propósito de esta investigación de resolver la problemática del departamento de pulido general para la reducción de costos, al aplicar el diseño de experimentos se obtuvo la cantidad de información suficiente con gran fundamento matemático que nos permitió detectar la influencia en la variación de los factores, tipo de lija y trabajador, para establecer los planes de acción.

De acuerdo con los resultados del experimento realizado se obtienen las siguientes conclusiones relacionadas con el tipo de lija utilizada.

La evaluación tiene el siguiente costo por pliego:

Lija 3M - 27.52 DLS (313.72 pesos)

Lija Jackson Lea RB346-P150 - 15.91 DI
(181.37 pesos)

El costo por pliego de lija 3M es de 27.52 DLS, de este pliego se obtienen: para la operación 539001 6 cortes, para la operación 539007 7.1 cortes, para la operación 539012 6 cortes, y para la operación 539013 7.1 cortes; para la lija Jackson Lea también se obtiene el mismo número de cortes por pliego.

Con el costo por pliego y con el número de cortes que se obtienen de este a continuación se calcula el costo por corte, que junto con los resultados del rendimiento por corte de lija obtenidos del diseño de experimentos también se calcula el costo por unidad pulida. El mismo procedimiento se realiza para calcular el costo por unidad pulida con la lija de la marca Jackson Lea.

Con el cálculo realizado de los costos por unidad pulida para las dos marcas de lija se realiza un comparativo entre ambas y se estima el ahorro por unidad que se obtendrá al utilizar la lija Jackson Lea.

Con los datos del ahorro unitario y con el registro histórico de producción de tijeras, que para el modelo 8095-7 se calcula de 15 000 piezas por mes, el ahorro con este cambio asciende a \$ 3 000 pesos en esta hoja curva, aproximadamente a \$ 6 000 pesos para cada tijera, ya que la tijera se compone de hoja punta y hoja curva. Para los modelos en los que se aplicaría (7 modelos de arranque de la familia Gingher) el ahorro con el cambio de lija propuesto asciende a un total estimado de \$ 42 000 pesos al mes.

En el siguiente cuadro de costos y ahorros se presenta el comparativo de costo-rendimiento entre las dos marcas de lija, 3M y Jackson Lea.

En relación con el factor trabajador se tienen las siguientes conclusiones de acuerdo con la prueba de Tukey aplicada para determinar las diferencias que existían entre los niveles de este factor:

- Como si afecta el trabajador que hace la operación en el rendimiento de la lija, debe implementarse un plan de capacitación para que todos los trabajadores puedan optimizar el recurso que se les da, además de que deben ser eficientes en el cumplimiento de su estándar de operación.
- Los trabajadores que obtuvieron el rendimiento más alto y la menor diferencia entre ellos son el 5160 y el 5419 por lo que para futuros análisis pueden considerarse confiables para el desarrollo de futuras pruebas y capacitación de personal, además de optimizar los recursos.
- La lija que se utilizará en la producción será la de Jackson Lea esto por dar rendimiento mayor al menor costo, pero se establecerá un plan para implementar lijas económicas y duraderas para sustituir en las demás operaciones de tal forma que el costo se disminuya al máximo. Esto queda demostrado con el ahorro inicial de \$42,000 para la familia Gingher que podría hacerse extensivo a nuestros demás modelos de tijeras.
- El problema de rayas en las hojas de tijera después de la operación de pulido, se debe a un mal método de trabajo, por lo que también se implementara un plan de capacitación para todos los trabajadores.
- El correcto uso de las herramientas estadísticas nos lleva a obtener resultados o interpretaciones impactantes con un sólido argumento matemático que nos lleva a aumentar la visión sobre el problema y explotar otras alternativas.

Cuadro comparativo de costo, ahorro y rendimiento entre la lija 3M y Jackson Lea.

MODELO	OPERACIÓN	CORTES POR PLIEGO	COSTO 3M POR CORTE (Dis.)	RENDIMIENTO 3M (PIEZAS)	COSTO 3M POR UNIDAD (Dis.)	RENDIMIENTO JL (PIEZAS)	COSTO JL POR UNIDAD (Dis.)	AHORRO UNITARIO (Dis.)	AHORRO UNITARIO (PESOS)	PROD. PROM. (MES)	IMPORTE	CONSUMO PLIEGOS MENSUAL
8095-7 H.C.	539001	6.0	4.6	280	0.01643	310	\$0.00858	\$0.00785	\$0.09	15,000	\$1,354.62	48.4
8095-7 H.C.	539007	7.1	3.9	700	0.00554	750	\$0.00299	\$0.00255	\$0.03	15,000	\$440.21	20
8095-7 H.C.	539012	6.0	4.6	1000	0.00460	1095	\$0.00243	\$0.00217	\$0.02	15,000	\$374.70	13.7
8095-7 H.C.	539013	7.1	3.9	280	0.01386	280	\$0.00801	\$0.00585	\$0.07	15,000	\$1,008.40	53.6

El ahorro con este cambio asciende a \$ 3 000 pesos en esta hoja, aproximadamente a \$ 6 000 pesos para cada tijera de este modelo y los modelos en los que se aplicaría (7 modelos de arranque de la familia Gingher) asciende a un total estimado de \$ 42000 pesos.

**BIBLIOGRAFIA
Y
REFERENCIAS**

SEROPE KALPAKJIAN, STEVEN R. SCHMID..

Manufactura ingeniería y tecnología (cuarta edición).

Editorial: prentice hall.

MENDENHALL W.

Introducción a la probabilidad y la estadística.

Wadsworth Internacional/Iberoamerica, California, USA. Cap.11

OSTLE B.

Estadística Aplicada.

Limusa-Wiley, **México**, 1975, Cap. 10

WALPOLE R.E.

Probabilidad y Estadística para Ingenieros.

Pearson, Educación, México, 1999.

VILAR FERNÁNDEZ, J.M. (2003)

"Modelos Estadísticos Aplicados".

Publicaciones de la UDC, Cataluña, España. Cap. 2-4

CESAR PEREZ

Control Estadístico de la calidad.

Editorial RA-MA.

ALFRED H. SHUTTE.

Tijeras universales para cortar chapa y hierro perfilado.

Catálogo General de Máquinas-Herramientas 1913

CENTRO INDUSTRIAL DE PRODUCTIVIDAD

Diseño de herramientas.

Información técnica. México, 1988.

AUTOFORJAS S.A DE C.V, ING. J. MARTINEZ G.

Ingeniería de manufactura.

Información técnica. Querétaro, 1985.

STIG R. SAMUELSSON.

Tratamiento térmico y selección de aceros grado herramienta.

Associated Swedish Steels AB, Estocolmo Suecia.

ESPECIALIDADES QUÍMICAS MONTERREY S.A (EQUIMSA).

Tratamiento térmico y medios de temple.

Información Técnica HOUGHTON. México, 2002.

ACEROS FORTUNA S.A. DE C.V. ING. CARLOS CASTAÑEDA C.

Clasificación y selección de aceros "Aceros especiales".
Información Técnica. México, 2001.

FABRICA NACIONAL DE LIJA S.A DE C.V.

Proceso de fabricación de lijas.
Información técnica. México, 2005.

TIJERAS BARRILITO S.A DE C.V.

Manual de operación.
Información técnica. México, 2005.

Referencias

Máquinas y Hombres Patxi Aldabaldetrecu
Historia de la Máquina-Herramienta MetalUnivers nº 4, 2002
Equipos y Tecnologías para Corte de Chapa MetalUnivers nº 5, 2002
La larga historia del prensado de metales MetalUnivers nº17, 2003
Catálogo General de Máquinas-Herramientas 1913 Alfred H. Schütte
Programa de fabricación de Maschinenfabrik Weingarten1922

- <http://www.remchem.com>
- <http://www.rotomex.com>
- http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/estadistica_2.htm
- <http://members.fortunecity.com/bucker4/estadistica/pruebaks1m.htm>