



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
UNIDAD AZCAPOTZALCO

**ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y MANUFACTURA DE LA
PALANCA DE ARMAR DE UN FUSIL DE ASALTO.**

**TESINA DE ESPECIALIZACIÓN
PARA OBTENER EL DIPLOMA
DE ESPECIALISTA
EN INGENIERÍA MECÁNICA**

PRESENTA:

ING. IND. VÍCTOR FERNANDO VERDUZCO CEDEÑO

DIRIGIDA POR

DR. JUAN M. SANDOVAL PINEDA

DR. EMMANUEL ALEJANDRO MERCHÁN CRUZ



JULIO 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 18 hrs horas del día 16 del mes de Junio del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesina, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de SEPI ESIME AZCAPOTZALCO

para examinar la tesina titulada:
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y MANUFACTURA DE LA PALANCA DE ARMAR DE UN FUSIL DE ASALTO.

Presentada por el alumno:

VERDUZCO CEDEÑO VICTOR FERNANDO
Apellido paterno Apellido materno Nombre(s)




Con registro:

A	0	8	0	7	7	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:
Al diploma de especialización en Ingeniería Mecánica

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESINA**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

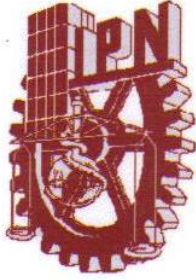
LA COMISIÓN REVISORA

El Director de Tesis El Director de Tesis

DR. JUAN MANUEL SANDOVAL PINEDA DR. EMMANUEL ALEJANDRO MERCHÁN CRUZ

DR. RICARDO G. RODRIGUEZ CAÑIZO DR. LUIS ARMANDO FLORES HERRERA


EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


DR. JAIME PACHECO MARTINEZ



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México D.F. el día 22 Junio del año 2009 el que suscribe **VÍCTOR FERNANDO VERDUZCO CEDEÑO** alumno del Programa de

Especialización en Ingeniería Mecánica, Opción: Proyecto Mecánico

Con número de registro A080774 adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Azcapotzalco, manifiesta que es autor intelectual del trabajo de Tesina bajo la dirección de:

DR. JUAN MANUEL SANDOVAL PINEDA Y DR. EMMANUEL ALEJANDRO MERCHÁN CRUZ

Cedo los derechos del trabajo titulado:


ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y MANUFACTURA DE LA PALANCA DE ARMAR DE UN FUSIL DE ASALTO.

Al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios no deben reproducir el contenido textual, graficas o de datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la dirección siguiente:

Verduzcomx@yahoo.com.mx, jsandovalp@ipn.mx y/o eamerchan@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Ing. Ind. Víctor Fernando Verduzco Cedeño

AGRADECIMIENTOS

AL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
A LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
A LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
A LA DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA MILITAR

A MIS PROFESORES

Dr. Juan Manuel Sandoval Pineda.
Dr. Emmanuel Alejandro Merchán Cruz.
Dr. Ricardo Gustavo Rodríguez Cañizo.
Dr. Manuel Faraón Carbajal Romero.

A MIS PADRES Y HERMANOS

(Ing. Carlos A. Verduzco Curiel, M^a de la Luz Cedeño Hernández, Dr. Carlos Alejandro Verduzco Cedeño e Ing. Luis Alberto Verduzco Cedeño) que con su cariño y ejemplo me han sabido guiar y apoyar en todos mis objetivos, los Amo.

A MI MUY AMADA YOLANDA.

Por todo el amor y comprensión brindados desde que gracias a Dios la encontré en mi camino.

A MIS JEFES Y COMPAÑEROS DE TRABAJO POR EL APOYO INCONDICIONAL PARA LA CONCLUSIÓN DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Cor. Ing. Ind. Jesús Capetillof Paredes
Cap. 1/o. Ing. Ind. Wilbert David Wong Angel
A todo el personal de la Fábrica de Armas de la Dirección General de Industria Militar.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla la investigación referente al estado de esfuerzos a los que se somete la palanca de armar de un fusil de asalto y su proceso de manufactura. Como primera instancia se desarrolló la investigación bibliográfica de los antecedentes históricos del fusil de asalto y sus mecanismos, con el fin de comprender y determinar los efectos de los esfuerzos que se le aplican.

Para la simulación numérica se emplea el Método del Elemento Finito (MEF): método numérico basado en la transformación de un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado. En esta investigación se aplican las teorías de falla y el concepto de concentración de esfuerzos, esto es, el componente se somete a un análisis de esfuerzos y se determina el efecto de la concentración de esfuerzos en la geometría de la pieza.

Se describen los conceptos teóricos y la solución analítica del efecto de los esfuerzos, posteriormente se desarrolla el objetivo de este trabajo: determinar los esfuerzos a los que se encuentra sometida la palanca de armar de un fusil de asalto, utilizando métodos analíticos y numéricos aplicando el MEF, con lo que se idealizan las condiciones en que se desarrolla el componente, y se propone el proceso de manufactura del componente..

Al comparar los resultados obtenidos por el MEF con los del método analítico se encontró que estos son similares y que el efecto de concentración de esfuerzos en una sección crítica de la palanca pueden ser minimizados cambiando la configuración geométrica de la pieza con el fin de garantizar que sea capaz de soportar los esfuerzos durante su funcionamiento.

ABSTRACT

This work presents research on the stresses to which the cooking lever of an assault rifle is subjected, as well as some considerations about its manufacturing process. On a first stage, the literatura review on the historical background of assault rifles and their mechanisms. This review was performed with the goal of determine and understand the effects of the stress applied to the cooking lever.

The Finite Element Method (FEM), which is regarded as a numerical method based on the mapping of a continuous body into an approximate discrete model. Failure theories are considered in this research along with the stress concentration concept. In this work, the part is analyzed and determined the stress pattern, identifying the stress concentration along its geometry

Theoretical concepts and an analytical solution of the effect of the stresses are described, the magnitude of the stresses on the cooking lever, this is reached through analytical analysis and the FEM, where some conditions are idealized and a manufacturing process is proposed.

Finally, the analytical and FEM results are compared and the high correlation between them validates both analysis. The stress concentration on a critical section of the cooking lever is minimized by changing the geometric configuration of the cooking lever, as shown in the results.

OBJETIVOS.**Objetivo General.**

- Determinar los esfuerzos a los que se encuentra sometida la palanca de armar de un fusil de asalto, utilizando métodos analíticos y numéricos aplicando el Método de Elemento Finito; y establecer el proceso de manufactura de la pieza.

Para lograr el objetivo general se proponen los siguientes objetivos particulares:

Objetivos Particulares.

- Diseño mecánico de la palanca de armar.
- Determinación experimental del trabajo y fuerzas a las que se encuentra sometida la palanca de armar.
- Selección y caracterización del material para su fabricación.
- Simulación mecánica de las condiciones reales de trabajo a las que se encuentra sometida la palanca de armar, aplicando el Método de Elemento Finito.
- Análisis de cambios microestructurales por efecto del concentrador de esfuerzos.
- Desarrollo del proceso de manufactura para la palanca de armar hasta producto final.
- Pruebas de funcionamiento de la palanca de armar

JUSTIFICACIÓN.

Las fallas repentinas de los elementos sometidos a cualquier tipo de carga, son siempre costosas y en ocasiones resultan en pérdidas humanas. En todas las épocas se ha hecho investigación sobre la manera de mejorar la calidad de los componentes mecánicos y de prolongar su vida útil. Además de conocer el porqué y cómo se comportan estos elementos bajo la influencia de diferentes configuraciones de carga. Para lo cual se han empleado diferentes métodos, como son los analíticos, los numéricos y los experimentales.

La justificación de este trabajo radica en la investigación sobre la determinación de los esfuerzos a los que se somete la palanca de armar de un fusil de asalto y la evaluación del factor de concentración de esfuerzos en partes de configuración geométrica compleja, así como la determinación del proceso de manufactura óptimo capaz de producir piezas de manera eficiente y eficaz, a bajo costo y de calidad.

El efecto que la geometría de las piezas puede llegar a provocar durante su desempeño, es la falla, siendo desconocido el mecanismo y/o factores que inducen a la falla o ruptura de la palanca de armar durante su funcionamiento. Así como el proceso de fabricación de la pieza a efecto de utilizar la capacidad instalada de una planta productora de armamento y generar una palanca de armar funcional y robusta, de fácil fabricación y de excelente calidad. Estas son áreas de interés y de gran importancia para el sector industrial y militar, ya que en la gran mayoría de los componentes mecánicos que se producen, la concentración de esfuerzos y la falla en el comportamiento del componente al someterse al trabajo real, esto es debido a que los grandes cambios de geometría pueden llegar a provocar concentración de esfuerzos y por

tanto producir la falla. Esto es de suma importancia ya que un elemento al ser sometido a cargas, puede fallar por efecto geométrico generado por la carga aplicada durante su funcionamiento, fenómeno que se puede evitar reforzando las zonas de afectación mediante la reducción de concentradores de esfuerzos en su morfología.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.	i
ABSTRACT.	ii
OBJETIVOS.	iii
JUSTIFICACIÓN.	iv
ÍNDICE GENERAL.	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.	ix
ÍNDICE DE TABLAS.	xi
SIMBOLOGÍA.	xii
INTRODUCCIÓN.	xv

CAPÍTULO I.- Antecedentes históricos del fusil de asalto y sus mecanismos.

I.1.- Generalidades.	2
I.2.- Los fusiles de asalto de la posguerra.	2
I.3.- Nomenclatura general de los fusiles de asalto.	3
I.4.- Desarrollo histórico de los mecanismos empleados en fusiles.	5
I.5.- Avances para el desarrollo de nuevos fusiles.	7
I.6.- Panorama internacional de los fusiles 5.56 mm.	13
I.7.- Sumario.	16

CAPÍTULO II.- Marco teórico de los conceptos involucrados en el diseño.

II.1.- Generalidades.	18
II.2.- Significado del término diseño.	18
II.3.- Consideraciones de diseño.	18
II.4.- Fases del diseño.	19
II.4.1.- Formulación del problema.	19
II.4.2.- Análisis del problema.	20
II.4.3.- Búsqueda de soluciones.	20

Contenido	vii
II.4.4.- Fase de decisión.	21
II.4.5.- Especificación de la solución.	21
II.5.- Teorías de falla.	22
II.5.1.- Teoría de falla por esfuerzo cortante máximo.	22
II.5.2.- Teoría de falla por energía de distorsión máxima.	23
II.6.- Concentración de esfuerzos.	24
II.6.1.- Métodos de reducción de concentración de esfuerzos.	26
II.7.- Sumario.	28
CAPÍTULO III.- Aplicación del Método de Elemento Finito.	
III.1.- Generalidades.	30
III.2.- Método del Elemento Finito.	31
III.2.1.- Orígenes del Método del Elemento Finito.	31
III.2.2.- Descripción del Método del Elemento Finito.	31
III.2.3.- Metodología del MEF.	32
III.2.4.- Campos de aplicación del MEF.	33
III.2.5.- Ventajas en el empleo del Método del Elemento Finito.	35
III.2.6.- Desventajas en el empleo del MEF.	35
III.3.- Metodología de la investigación.	36
III.3.1.- Diseño conceptual de la aplicación.	36
III.3.2.- Formas preliminares (Trazos y dibujos).	37
III.3.3.- Definición de geometría (Modelaje en CAD).	38
III.3.4.- Análisis esfuerzos (Magnitud y posición).	38
III.3.5.- Definición de materiales.	40
III.3.6.- Análisis por el Método del Elemento Finito.	42
III.3.7.- Análisis por cálculo analítico.	45
III.4.- Desarrollo experimental.	46
III.5.- Análisis de resultados:	50
III.6.- Sumario.	53

CAPÍTULO IV.- Manufactura y análisis de costos.

IV.1.- Generalidades.	55
IV.2.- Proceso de manufactura de la palanca de armar.	55
IV.3.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura.	69
IV.4.- Costos de fabricación.	69
IV.5.- Programación.	71
IV.6.- Pruebas de funcionamiento.	71
IV. 7.- Sumario.	72
Conclusiones.	74
Trabajos Futuros.	77

ANEXOS.

Anexo 1.- Programa para la generación de puntos y líneas de la geometría de la palanca de armar.	79
Anexo 2.- Reporte del tamaño de grano acero AISI 1045 (materia prima).	80
Anexo 3.- Reporte de las fases presentes en el acero AISI 1045 (materia prima).	81
Anexo 4.- Reporte de las fases presentes en el acero AISI 1045 (templado y revenido).	83
Anexo 5.- Reporte del tamaño de grano en el acero AISI 1045 (templado y revenido) en la zona del concentrador de esfuerzos.	85
Anexo 6.- Programa C.N. para el mecanizado de la geometría de la palanca de armar.	86

REFERENCIAS.

88

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO I.

Figura I.1 .- Primer fusil de asalto MP-44 [1943].	2
Figura I.2 .- Fusil AK47 [1946].	2
Figura I.3 .- Fusil HK G-3 [1958].	3
Figura I.4 .- Configuración general del fusil de asalto [2009].	3
Figura I.5 .- Fusil de percusión [1830].	6
Figura I.6 .- Esquema de tipos de cañón.	8
Figura I.7 .- Fusil de cerrojo sin cargador [1866].	9
Figura I.8 .- Lee-Enfield No.4 Mk.1 con bayoneta [1944].	10
Figura I.9 .- Fusil M1 Garand [1957].	10
Figura I.10.- Esquema de funcionamiento por toma de gases.	14

CAPÍTULO II.

Figura II.1.- Metodología para la solución del problema.	19
Figura II.2.- Analogía de flujo de fluidos contra esfuerzos.	26
Figura II.3.- Gráfico de valor del factor de concentración de esfuerzos a tensión.	27
Figura II.4.- Gráfico de valor del factor de concentración de esfuerzos a flexión.	28

Capítulo III.

Figura III.1.- Diagrama de la metodología de la investigación.	30
Figura III.2.- Formas preliminares del diseño conceptual de la palanca de armar.	37
Figura III.3.- Geometrías de la palanca de armar modeladas mediante CAD.	38
Figura III.4.- Plano de ingeniería del resorte de empuje.	39
Figura III.5.- Ubicación de la fuerza sobre la pieza directamente en el centro de masa.	39
Figura III.6.- Torno empleado para mecanizar la forma de la palanca de armar.	41
Figura III.7.- Condiciones de frontera y cargas aplicadas.	43
Figura III.8.- Resultados gráficos del análisis de esfuerzos.	43

Índice de Figuras	x
Figura III.9.- Microestructura del acero AISI 1045 como materia prima.	47
Figura III.10.- Microestructura del acero AISI 1045 templado al agua y aceite.	47
Figura III.11.- Evolución de la falla en la palanca de armar templada al agua.	48
Figura III.12.- Palanca de armar templada y revenida sin indicios de falla.	49
Figura III.13.- Microestructura del acero AISI 1045 templado y revenido al aceite.	49
Figura III.14.- Gráfico del desplazamiento de la palanca de armar.	50
Figura III.15.- Valores de los esfuerzos aplicados a lo largo de la zona de concentración de esfuerzos.	51
Figura III.16.- Valores de los esfuerzos en la zona de restricción de cargas.	51
Figura III.17.- Valores de los esfuerzos mínimos y máximos (SMN y SMX).	52
Figura III.18.- Valores de los esfuerzos principales S_1 y S_2 .	52

CAPÍTULO IV.

Figura IV.1.- Configuración de la palanca de armar.	55
Figura IV.2.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura.	69
Figura IV.3.- Gráfico del desempeño de la palanca de armar en pruebas de funcionamiento.	71

ÍNDICE DE TABLAS.

CAPÍTULO I.

Tabla I.1.- Panorama internacional de los fusiles de asalto <i>5.56 mm.</i>	15
---	----

CAPÍTULO II.

Tabla II .1.- Criterios para aplicación del factor de concentración de esfuerzo.	25
--	----

CAPÍTULO III.

Tabla III.1.- Composición Química (%) del acero AISI/SAE 1045.	40
Tabla III.2.- Relación de valores obtenidos de dureza y esfuerzo último.	41
Tabla III.3.- Resultados de los esfuerzos promedio.	46

CAPÍTULO IV.

Tabla IV.1.- Hoja de ruta de las fases de operaciones para la palanca de armar.	56
Tabla IV.2.- Hoja de instrucciones a mecanizar en el taller de tornos.	57
Tabla IV.3.- Hoja de instrucciones de las herramientas a utilizar en la fase 05.	58
Tabla IV.4.- Hoja de instrucciones de limado.	59
Tabla IV.5.- Hoja de instrucciones de primer trowalizado.	60
Tabla IV.6.- Hoja de instrucciones de inspección intermedia.	61
Tabla IV.7.- Hoja de instrucciones de tratamiento térmico.	62
Tabla IV.8.- Hoja de instrucciones de lavado.	63
Tabla IV.9.- Hoja de Instrucciones para la comprobación de dureza.	64
Tabla IV.10.- Hoja de instrucciones de trowalizado.	65
Tabla IV.11.- Hoja de instrucciones de fosfatizado y aceitado.	66
Tabla IV.12.- Hoja de instrucciones para la inspección final.	67
Tabla IV.13.- Hoja de instrucciones para el almacenamiento de piezas terminadas.	68
Tabla IV.14.- Cálculo de costo unitario de la fabricación de la palanca de armar.	70

SIMBOLOGÍA.

1D	Una dimensión.
2D	Dos dimensiones.
3D	Tres dimensiones.
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero).
C.N.C.	Computer Numerical Control (Control Numérico Continuo).
CAD	Computer aided design (Diseño asistido por computadora).
CAM	Computer aided manufacturing (Manufactura asistida por computadora).
d	Diámetro.
ε	Deformación.
E	Modulo de elasticidad o de Young.
F	Fuerza.
FAL	Fusil automatique légère. (Fusil automático ligero).
HK	Heckler und Koch (Fabricante alemán de armamento).
K	Factor de concentración de esfuerzos.
KURTZ	Corto.
M	Momento.
MEF	Método del Elemento Finito.
mm	Milímetro.
MPa	Mega pascal.
ν	Relación de Poisson.
N	Newton.
OTAN	Organización de tratado del atlántico norte.
r	Radio menor.
R	Radio mayor.
σ	Esfuerzo.
σ_1	Esfuerzo en el eje X.
σ_2	Esfuerzo en el eje Y.
σ_3	Esfuerzo en el eje Z.
σ_{max}	Esfuerzo máximo.
σ_{prom}	Esfuerzo promedio.

σ_y	Esfuerzo de cedencia.
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores).
SMN	Esfuerzo mínimo.
SMX	Esfuerzo máximo.
S_1	Esfuerzo principal 1.
S_2	Esfuerzo principal 2.
$\tau_{\substack{\text{max} \\ \text{abs}}}$	Esfuerzo cortante máximo absoluto.
TTT	Tiempo – Temperatura – Transformación.
x	Eje x .
y	Eje y .

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.

Una de las misiones principales del Ejército Mexicano es salvaguardar la soberanía nacional y mantener la seguridad interior del país. Debiendo contar para esto con recursos humanos, materiales y equipo necesarios que le permitan cumplir satisfactoriamente esta misión. Parte de los recursos materiales requeridos son el armamento y las municiones, los cuales son proporcionados en su gran mayoría por la Dirección General de Industria Militar (D.G.I.M.). En la actualidad, esta Dirección, busca satisfacer las necesidades de las unidades del Ejército produciendo diversas armas, municiones, herramientas y accesorios, además de proporcionar mantenimiento a equipos industriales y armamento.

En el año 2002 se creó el Centro de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico de la Industria Militar (C.I.A.D.T.I.M.). La finalidad de este centro es impulsar el crecimiento tecnológico de la Industria Militar mediante el diseño y desarrollo de prototipos de sistemas y equipos.

La Secretaría de la Defensa Nacional encomendó a la Dirección General de Industria Militar, y esta a su vez al C.I.A.D.T.I.M., el desarrollo de un fusil de diseño nacional, por lo que se tiene la necesidad de diseñar los mecanismos que lo integrarán, así como realizar un estudio del comportamiento de los mismos y de esta forma poder garantizar el correcto funcionamiento del armamento diseñado.

Uno de los mecanismos de interacción de un fusil con el usuario es la palanca de armar, misma que transmite la fuerza de accionamiento del usuario hacia del sistema de cierre, con el objeto de se introduzca el cartucho o munición en la recámara de disparo, e iniciar el ciclo de disparo tiro a tiro o en ráfaga. Otra función que realiza la palanca de armar es la de poder accionar el cierre hacia el frente o parte trasera del sistema en caso de que se presente el fenómeno de encasquillamiento durante el funcionamiento del fusil.

El concepto de funcionamiento y geometría que prevalece sobre el diseño de este tipo de componentes es su tamaño, peso y adaptabilidad de uso para personas diestras y no diestras,

con el objeto de que su geometría, peso y posición dentro de un fusil de asalto no afecte la operatividad y movilidad del arma durante una operación de alto impacto.

Esta investigación está enfocada al diseño de la palanca de armar de un fusil de asalto, la determinación de los esfuerzos aplicando métodos analíticos y numéricos; además de tratar sobre el proceso de manufactura de la pieza.

La solución a estos objetivos se desarrollará en el capitulado de esta tesis, por lo que la secuencia de solución se describe a continuación:

En el Capítulo I se lleva a cabo la recopilación bibliográfica, en el que se resumen los orígenes de los fusiles de asalto, la nomenclatura general de los conjuntos que los conforman, los mecanismos que han sido utilizados para diversos tipos y generaciones de fusiles, así como el panorama internacional que a la fecha mantiene el diseño y desarrollo de armamento.

En el Capítulo II se hace referencia al marco teórico de los conceptos que servirán como fundamento para explicar los antecedentes e interpretar los resultados de la investigación efectuada a la palanca de armar de un fusil de asalto. Se tratarán las teorías de falla aplicables al caso de estudio, así como el concepto de concentración de esfuerzos y conceptos generales de resistencia de materiales, que servirán para analizar analíticamente la problemática planteada como objetivo general de estudio del presente trabajo.

En el Capítulo III se tratará la metodología que se implementó para el desarrollo experimental de esta investigación. También se tratarán temas relacionados con los orígenes del Método del Elemento Finito, la simulación, la metodología de aplicación, el campo de aplicación, ventajas y desventajas del Método del Elemento Finito.

El Capítulo IV describe el proceso de manufactura para la obtención de la pieza, considerando; la maquinaria, los tiempos de fabricación requeridos, el material y las tolerancias de diseño, así como las diferentes operaciones requeridas hasta obtener el producto final. Se finaliza con las conclusiones, referencias y sugerencias para trabajos futuros.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL FUSIL DE ASALTO Y SUS MECANISMOS

I.1.- Generalidades.

Los orígenes del fusil de asalto fueron durante la Primera Guerra Mundial, en la cual se desarrollaron las armas individuales en la infantería de combate. Esta situación bélica, marcó el desarrollo de fusiles de cerrojo grande, potentes pero con escasa capacidad de fuego para contrarrestar los asaltos. Posterior a esta guerra varios países iniciaron grandes desarrollos e inversiones para el rubro beligerante, iniciando los trabajos de diseño en fusiles más ligeros, que disparasen cartuchos menos potentes, pero eficaz hasta 400 metros. [Wong, 2009].

El Estado Mayor del Ejército alemán comenzó, en 1938, a desarrollar el estudio de un fusil ligero, que fue base de su Ejército. Las tácticas de combate por la infantería alemana en la II Guerra Mundial, confirmaron la necesidad de un arma de este tipo. La mayoría de los combates tenían lugar a una distancia inferior a 400 metros. Alemania fabricó un cartucho de 7.92 x 33 mm. Kurtz (corto), con ello aparece el primer fusil de asalto (Figura I.1), MP-44 (Maschine pistole) [Wong, 2009].



Figura I.1.- Primer fusil de asalto MP-44 [1943]

I.2.- Los fusiles de asalto de la posguerra.

La Organización de Tratado del Atlántico Norte (OTAN), produjo en la Fábrica Nacional belga (FN) de Herstald, el fusil conocido por sus siglas FAL (fusil automatique légère). Se fabricó inicialmente en calibre alemán 7.92 x 33 mm y años más tarde, en 7.62 x 51mm.

En el oriente se desarrolló el AK47 (Automat Kalashnikov) (Figura I.2), el cual empleaba un cartucho de potencia intermedia, similar al 7.92 mm. [Díez, 2000].



Figura I.2.- Fusil AK47 [1946]

El modelo de fusil de asalto europeo, es el alemán G-3, (Figura I.3), fabricado por Heckler Und Koch (HK). El G-3 se adaptó al cartucho $7,62 \times 51 \text{ mm}$ OTAN. El G-3 tuvo un enorme éxito, ya que fue aceptado por gran número de países entre ellos México [1980].



Figura I.3.- Fusil HK G-3 [1958]

Estados Unidos desarrollo calibres 5.56 mm que ofrecían mejores resultados tácticos en distancias cortas de combate. Este desarrollo en la cartuchería se da desde la guerra de Vietnam. Después de esto se ha impuesto en todo el mundo con muchas variantes y versiones tras la adopción por la OTAN. Las Fuerzas Armadas de México hasta esta fecha, al margen de la evolución del armamento, iniciaron en 2005 el desarrollo de un fusil de asalto, a fin de renovar el armamento empleado por el Ejército Mexicano.

I.3.- Nomenclatura general de los fusiles de asalto.

De manera general, un fusil de asalto (Figura I.4) se configura por diferentes grupos de entre los que destacan el grupo del cierre, grupo del cuchillo bayoneta, grupo del cajón de mecanismos, grupo del cañón, grupo de la culata, el grupo de la empuñadura, el grupo del guardamano, grupo del cargador, grupo de los órganos de puntería, grupo del portafusil y grupo del asa de transporte. [D.G.I.M. SEDENA, 2007].



Figura I.4.- Configuración general del fusil de asalto [2009].

- **Grupo del cierre.**

Este grupo está compuesto por los mecanismos de cierre del arma, mismos que alojan la munición dentro del cañón para ser percutida y enviada hacia el objetivo, generalmente se compone por la cabeza de cierre, soporte de cierre y pieza de acerrojamiento.

- **Grupo del cuchillo bayoneta.**

Grupo conformado por la bayoneta y su funda; utilizado mayoritariamente como accesorio de supervivencia y aditamento para el combate cuerpo a cuerpo.

- **Grupo del cajón de mecanismos.**

Grupo que aloja los mecanismos del arma a fin de conformarlos en un sólo sistema..

- **Grupo del cañón.**

Grupo encargado de conducir la munición al objetivo. Dentro de este grupo destaca el tubo cañón, que tiene la función de dirigir el proyectil y de soportar la presión y temperatura de los gases de expansión producidos durante el disparo.

- **Grupo de la culata.**

Grupo que proporciona una adecuada postura al tirador y comodidad para efectuar los disparos, sirve también como soporte de apoyo, conformado por la culata y cantonera.

- **Grupo de la empuñadura.**

Grupo que desarrolla el mecanismo de percusión del arma, normalmente integrado por el martillo, disparador, empuñadura, y muelles o resortes, además de servir como sistema de sujeción del tirador para accionar el arma.

- **Grupo del guardamano.**

Grupo que sirve de apoyo para el tirador a fin de proporcionar una adecuada sujeción

- **Grupo del cargador.**

Permite alojar las municiones que serán disparadas por el arma, compuesto por elevador, resortes o muelles, tapas y cajón del cargador.

- **Grupo de los órganos de puntería.**

Grupo destinado a apuntar el arma hacia su objetivo, mediante lentes ópticos que mejoran la visibilidad del objetivo a grandes distancias.

- **Grupo del portafusil.**

Grupo destinado al herraje y cintas de transporte del fusil de asalto, normalmente ajustable y desmontable.

- **Grupo del asa de transporte.**

Grupo destinado para transportar el armamento de manera manual mediante el empleo de la mano tipo portafolio, normalmente es un aditamento destinado a alojar la mira óptica, puede o no ser desmontable sobre rieles Picatinny [*Department of Defense U.S.A., 1995*].

I.4.- Desarrollo histórico de los mecanismos empleados en fusiles.

Un fusil es un arma de fuego portátil de cañón largo, que dispara balas a largo alcance. Creada con propósitos ofensivos, es el arma personal más utilizada en los ejércitos desde el final del siglo *XVII*. Se acostumbraba fijarle una bayoneta para la lucha cuerpo a cuerpo, pero su uso ha ido decayendo. El fusil de asalto se origina de la evolución de los mosquetes, gracias a la configuración morfológica del arma, al perfeccionamiento de los mecanismos con los que se percute la munición, a la evolución de las municiones y los efectos que provoca.

Los mecanismos más representativos durante la evolución del armamento, enfocados a la percusión de la munición, mecanismo de disparo, morfología de las partes, características de funcionamiento y desarrollo de tecnologías que han logrado el desarrollo del fusil de asalto, son los siguientes:

- **Fusil de percusión.**

Hacia *1830* se generalizan los fusiles que disparan con el mecanismo de llave de percusión y se comienzan generalizar los fusiles con rayado del ánima, pero modificaciones en la composición y forma de la bala ya eran comunes a principios del siglo *XIX*. La llave de percusión es un sistema de disparo que, consiste en un martillo-percutor que golpea una chapa de cobre ajustado sobre la boca de un tubo (llamado chimenea) comunicado con el interior de la parte posterior del cañón del fusil, el cebo se coloca hacia dentro de la chapa de cobre y la chimenea. Aunque también había mecanismos de cinta de papel con cebos encapsulados en su interior que se desplazan sobre el tubo.

El martillo-percutor hace explotar al cebo de un golpe, se libera una llama por la chimenea que causa la ignición de la carga de pólvora comprimida en el cañón y el disparo. Este sistema de disparo es muchísimo más seguro y eficaz que el del fusil de pedernal, incluso en condiciones

atmosféricas adversas, y aunque no mejora cadencia de disparo, si se asegura que el 90% de los intentos de disparo sean efectivos. La carga del arma se sigue efectuando por la boca del cañón, de forma que el soldado debe permanecer de pie, expuesto al fuego enemigo, mientras carga su arma. En la Figura I.5 se muestra el esquema de funcionamiento del fusil de percusión. Más adelante se explican algunos otros desarrollos que indujeron a la innovación de nuevos mecanismos y por consecuencia otros tipos de fusiles.

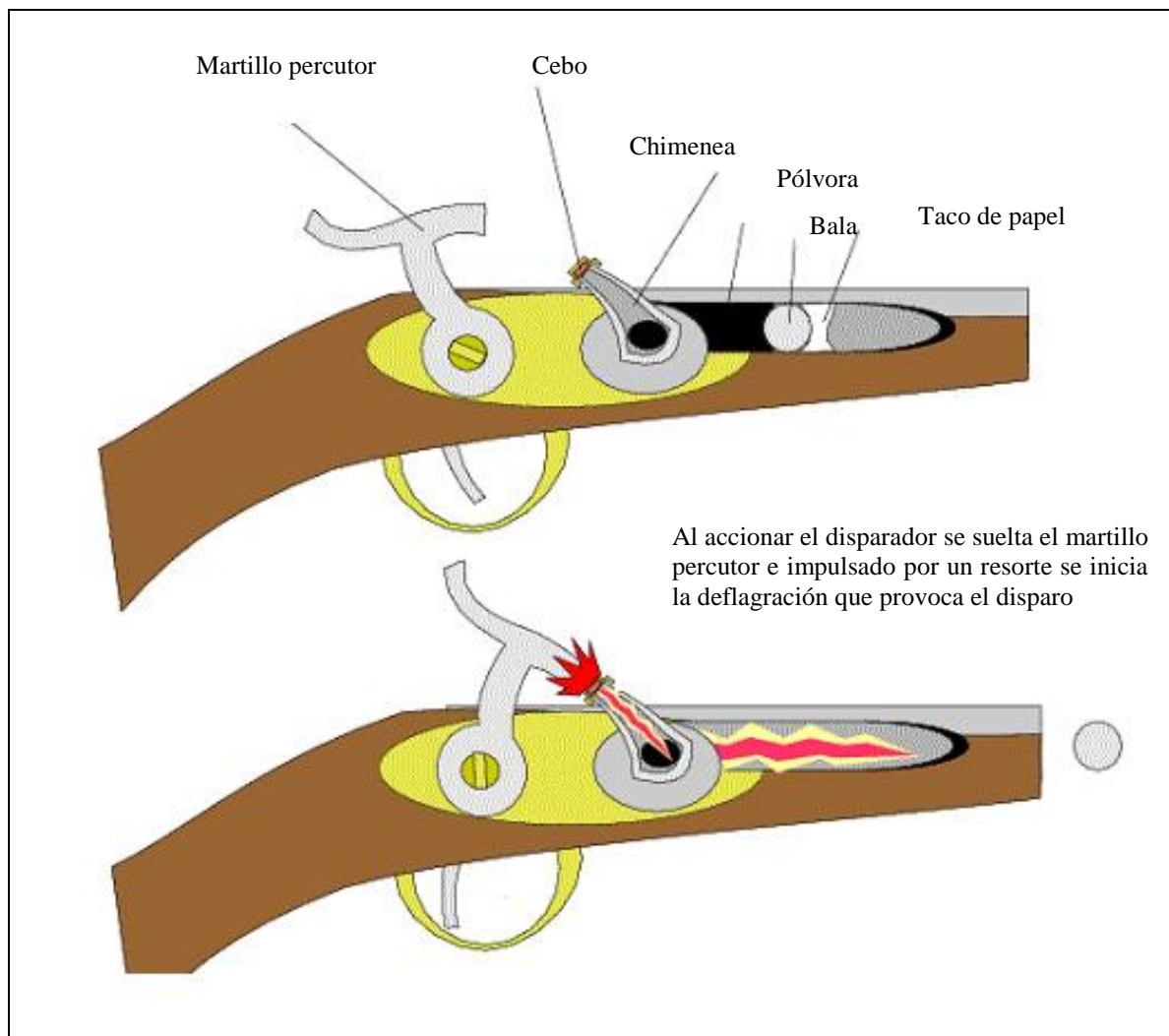


Figura I.5.- Fusil de percusión [1830]

- **Fusil de pedernal.**

También llamado fusil de chispa, inicialmente era un arma pesada y muy imprecisa, recarga de munición muy lenta, y su uso casi imposible en condiciones ambientales desfavorables. El

mecanismo de disparo existente hasta el primer tercio del siglo XIX era la llave de pedernal, que consistía en un martillo con un fragmento de pedernal en su extremo que al accionar el disparador del arma golpeaba una cazoleta de acero, encendiendo una pequeña cantidad de pólvora colocada en un orificio al final del cañón que transmitía así la deflagración a la pólvora que impulsaba la bala en el interior del cañón del arma. Preparar el fusil para el disparo era un proceso lento y cualquier pequeño fallo impedía el disparo. Tan sólo entre el 30% y 50% de los intentos de disparo provocaban disparos efectivos, y en condiciones ideales un soldado muy entrenado podía disparar un máximo de tres veces por minuto.

Además, el ánima del fusil (superficie interna del cañón) era lisa y la bala de plomo esférica, lo que facilitaba su deformación y desviación durante el disparo (fenómeno conocido como inestabilidad de disparo) haciendo casi imposible acertar a un enemigo a más de 100 metros. Por otra parte, la mala calidad de la pólvora empleada convertía las balas, en prácticamente inofensivas a más de 500 metros.

I.5.- Avances para el desarrollo de nuevos fusiles.

El desarrollo de nuevos fusiles se debió a la investigación en otras aéreas, como la balística, mecanizados, técnicas de fabricación, desarrollo de maquinaria, tratados de cartuchería entre otras, como se describe a continuación.

- **Primeros materiales adicionales en las balas.**

A principios del siglo XIX, las balas de plomo se comienzan a endurecer aleándolas con antimonio o recubriéndolas de cobre para evitar que la bala se desvíe de su trayectoria habitual, debido a sus deformaciones provocadas durante el disparo; y también se les da forma cilindro cónico para favorecer la rotación de la bala al ser disparada de un cañón con rayado de ánima.

- **El rayado del ánima.**

El uso de estrías dentro de los cañones, tiene importancia para conseguir una trayectoria óptima, el rayado induce la velocidad de rotación como función de la velocidad en boca y de la forma y momentos de inercia de la bala [Molina-López, 1970]. El rayado del ánima, consiste en grabar una serie de estrías a lo largo de la superficie interna cañón, van girando en

un determinado sentido, completando un giro de 360° alrededor del eje del cañón cada cierta distancia. Las estrías provocan que la bala rote varias veces, y de esta manera mantener estable su trayectoria durante su avance al mantener su eje paralelo con la línea de vuelo. Como consecuencia aumenta el alcance y la puntería del fusil. Los fusiles y carabinas de ánima rayada se conocerán genéricamente a partir de 1953 por el término anglosajón rifle. En la Figura I.6 se muestra un esquema de un cañón de ánimas lisas y uno de ánima estriada.



Figura I.6.- Esquema de tipos de cañón. [Molina-López, 1970]

- **Primeros fusiles de muy largo alcance.**

El elemento de un cartucho que ha de impulsar la bala mediante la transformación de su masa física en energía es la pólvora [Molina-López, 1970] La obtención de pólvoras mucho más potentes y la incorporación de elementos de puntería y alzas para disparar a diferentes distancias permiten que un buen tirador alcance a fácilmente a un enemigo a más de 300 metros de distancia y que la bala sea letal a casi 1,000 metros.

- **Fusil de cartucho.**

La siguiente gran innovación es la aparición del cartucho, que contiene en un único elemento la bala, la carga de proyección de la misma y el cebo o fulminante que inicia el disparo, que hasta entonces venían separados o envueltos parcialmente en el papel que se empleaba como taco para la carga. Los primeros cartuchos aparecen sobre la década de 1840, suelen ser de envuelta de cartón o tela encerada y a veces no incluyen el cebo que se coloca de forma similar a las armas de percusión tradicionales rasgándose el cartucho por su parte posterior al insertar el cartucho y cerrar el arma, la carga del arma se simplifica y acelera al máximo con el uso del cartucho, aunque la mayoría de las armas siguen siendo de un tiro.

- **Fusil de cerrojo sin cargador.**

En Europa aparece hacia la mitad del siglo *XIX* el primer fusil de cerrojo, llamado de esta forma por el mecanismo de extracción de la bala y montado de la misma para el disparo, un cilindro metálico con un saliente lateral parecido al cerrojo de las antiguas cerraduras que permitía abrir el arma por la parte posterior del cañón para colocar el cartucho, montándose al mismo tiempo el conjunto de muelle y percutor que golpearían la parte posterior del cartucho, y cerrarla después para efectuar el disparo, como se muestra en la Figura I.7.



Figura I.7.- Fusil de cerrojo sin cargador [1866].

Durante la guerra de Secesión en los Estados Unidos y partiendo de diversos prototipos existentes anteriormente se desarrollan gran cantidad de fusiles y carabinas capaces de disparar varias veces mediante procedimientos mecánicos accionados manualmente, generalmente palancas, aparece en esta guerra el fusil modelo *Spencer*. Los nuevos cartuchos son ya metálicos e impermeables y se suelen almacenar en tubos intercambiables o fijos en el cuerpo del arma, con lo que nace así el primer cargador de forma tubular, como el del rifle *Winchester* de palanca o *Lever Action*. Este rifle *Winchester* es emblemático en la última parte de la guerra y da una gran ventaja a la caballería de la Unión, pudiendo un soldado disparar doce veces por minuto con total seguridad frente a los tres disparos que puede hacer un soldado de infantería armado con fusil de percusión.

- **Fusil de cerrojo con cargador.**

En la década de 1890, aparecen los primeros fusiles de cerrojo con un cargador interno en forma de caja metálica con un resorte de muelle en la parte inferior y que se cargan colocando los cartuchos en un cinta metálica formando lo que se llama un peine, abriendo el cierre del arma y colocando y empujando el contenido del peine en el interior del cargador. Los fusiles de cerrojo con cargador fijo más famosos son posiblemente los alemanes *Mauser 98*, con

calibre 7.92 mm. El fusil de cerrojo con cargador fue el arma personal más utilizada por la infantería en la primera mitad del siglo XX hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, posteriormente el fusil de asalto le sustituyó en uso común, pero todavía se sigue utilizando en mucha menor cantidad.

Por sus características, se usa en actividades que requieran altísima puntería a larga distancia con el mínimo número de balas. Existen hoy en día fusiles de fabricación actual, en calibres modernos, así como se fabrican en calibres antiguos. La cadencia de tiro sigue siendo de unos 10-12 disparos por minuto. La Figura I.8 muestra un fusil de esta generación.



Figura I.8.- Lee-Enfield No.4 Mk.1 con bayoneta [1944].

- **Fusil semiautomático.**

El fusil *M1 Garand*. (Figura I.9) semiautomático se distingue de otros tipos diferentes porque, al accionar el disparador una sola vez dispara únicamente una bala y coloca en su recámara automáticamente otro cartucho que será disparado al apretar el disparador nuevamente. Son armas que disparan tiro a tiro recargándose automáticamente en cada disparo, pero no tienen capacidad para emitir ráfagas, es decir no tienen selector del tipo de tiro, estas armas, entre las cuales se encuentran el fusil *Garand* de U.S.A., fueron la predecesoras de las automáticas. Genéricamente se definen como armas de cerrojo móvil, por eso el nombre técnico de este cerrojo es conjunto móvil.



Figura I.9.- Fusil M1 Garand [1957]

De esta forma, y usando cargadores extraíbles, de cambio mucho más rápido y sencillo que los cargadores tubulares o los clásicos peines de los fusiles de cerrojo manual, un soldado puede casi triplicar la cantidad de disparos por minuto respecto a un oponente armado con un fusil primario de cerrojo manual, independientemente que el cargador sea del tipo integrante (peines) o del removible (extraíble). En las armas de cerrojo móvil existen dos tipos diferentes:

Cerrojo con percutor fijo: Tienen el percutor fijo al cerrojo o conjunto móvil, de manera que el cerrojo al abatirse hacia adelante por efecto del resorte recuperador, empuja un cartucho del cargador hacia la recámara del cañón y al cerrarse totalmente percute el cartucho. Por efecto del empuje del cartucho hacia atrás por los gases, el cartucho empuja el cerrojo hacia atrás el cual en su camino hace la expulsión del cartucho vacío, por la acción de la uña extractora y el tope expulsor. Al llegar atrás el cerrojo es empujado nuevamente hacia adelante por el resorte, iniciándose un nuevo ciclo de disparo, expulsión, recarga, disparo. Si el operador mantiene el disparador presionado, el ciclo es continuo y se produce el disparo continuo o ráfaga.

Cerrojo con percutor independiente: Tienen el percutor en el cerrojo pero no es fijo, cuando se dispara también se mueve el cerrojo hacia atrás, pero por el empuje del cerrojo es por efecto de una toma de gases que se hace al final del cañón. De esta forma hay un mayor aprovechamiento de los gases y una mejor estabilidad que permite una mejor precisión, así como partes de menos masa lo que produce un arma más liviana. El cerrojo igualmente es empujado hacia atrás y hacia adelante para el ciclo de disparo, expulsión, recarga, disparo, pero por la forma de toma de gases en el cañón se obtiene una mayor ráfaga de disparos por minuto.

Las armas automáticas que pueden ser de cerrojo abierto o cerrado (percutor fijo o móvil) también pueden ser armas semiautomáticas pero con selector de tiro, una pieza que pone al cerrojo en posición *flotante* o movimiento libre mientras el operador mantiene el disparador o disparador presionado, generándose así la llamada ráfaga.

Las armas largas usadas para francotiro son los fusiles o rifles antes descritos del tipo de cerrojo acerrojado o cerrojo manual, que sólo se mueve por la acción del operador, tales como el *FN-30* Belga, el Mauser Alemán, el Caracano Italiano y similares. Con el cerrojo manual o

acerrojado, se obtiene casi el 100% de aprovechamiento de gases, como el caso de la carabina *Nuehausen* Suiza, de 12 estrías y cañón de torneado cónico, que tiene el máximo aprovechamiento de la energía de los gases: 97%, con lo que se magnifica el alcance (hasta 2 km con alza en el *FN-30*) y la energía cinética al momento del impacto como el *600 Nitro Express* con 1800 lb para caza mayor. No teniendo piezas móviles la precisión es notable a gran distancia como el caso del *222 Swif* y el *Carcano 6,5* usado en el asesinato del presidente *John F. Kennedy* de USA [*United States Government Printing Office, 1979*].

El estadounidense *Petersen* crea un proyecto en 1917 para desarrollar un fusil semiautomático, que incluyera el uso de un calibre menor que el reglamentario estadounidense, el .30, para mejor control del arma al dispararse, pero su proyecto fue rechazado por los estado mayores americanos, que no querían la adopción de calibres menos potentes ya al final de la Primera Guerra Mundial. En los años anteriores a la Segunda Guerra Mundial aparecen los primeros fusiles semiautomáticos. Las infanterías estadounidense y alemana fueron las únicas que usaron desde el principio de la Segunda Guerra las únicas armas automáticas de la contienda en grandes cantidades la Ametralladora *Thompson* calibre .45 (11,4 mm) y la Ametralladora *Schmiser* de Alemania. Y luego el *M1' Garand*, que se utilizaría luego en la guerra de Corea. Posteriormente cerca del final de esta guerra, los soviéticos fabricaron el *SVT40 Tokarev* y, al finalizar la misma, el *SKS Simonov*, utilizado por los países del Este y en las guerrillas comunistas de todo el mundo hasta la década de 1960.

- **Fusil de asalto.**

Actualmente el fusil de asalto es el arma común de la infantería y se caracteriza por tener un mecanismo selector de fuego que le permite disparar de modo semiautomático (para mayor precisión a mayor distancia) o disparar a modo automático (para mayor número de balas en menor tiempo durante un combate a corta distancia, con la desventaja de disminuir su puntería).

Se consideran fusiles de asalto aquellos que usan un calibre de menor potencia que los habituales en la segunda guerra mundial (7.62 mm OTAN). Aquellos que usan calibres más potentes no se consideran fusiles de asalto, debido a su falta de control en fuego automático. En los EE.UU. los fusiles con calibre .30 (7.62 x 51mm OTAN) como el *FAL*, se les considera

ametralladoras. La distancia efectiva de combate de un fusil de asalto es de unos 200 metros considerándose 100 metros la distancia óptima. Para el calibre 7.62 x 51 mm OTAN, se definen las siguientes distancias: [*North Atlantic Treaty Organization, 1993*].

Distancia Normal de Empleo: (400 metros) Aquella a la que un tirador experimentado tiene una probabilidad de 1/3 de hacer blanco, y es la usada para iniciar el combate entre infantería.

Alcance Máximo Eficaz: (800 metros) Aquella a la que si casualmente se hace blanco, aun no siendo letal, provoca heridas que causan baja, y determina zonas de prohibición o interdicción, mediante el empleo de ráfagas, a los movimientos enemigos.

Alcance Máximo: (3000 metros) La mayor distancia que puede recorrer el proyectil antes de detenerse por sí mismo y sin alcanzar blanco alguno.

Debe entenderse que para cada calibre y carga de proyección distintas, la distancia normal de empleo, el alcance máximo eficaz y el alcance máximo varían, siendo las aquí referidas las correspondiente al estandarizado calibre.

I.6.- Panorama internacional de los fusiles 5.56 mm.

Actualmente, el calibre 5,56 mm ha sido adoptado por casi todos los países del mundo. La mayoría de los países han migrado del calibre 7,62 mm al 5,56 mm considerando factores de orden técnico y logístico, penetrabilidad y precisión de la munición, a efectos de ser más competitivos y agresivos durante el empleo de este tipo de armamento.

Respecto de los sistemas de acerrojamiento en las armas, la mayoría de ellos lo hace por rotación del cierre, mientras que los menos lo hacen por otros sistemas, tales como: rodillos, cierres de 2 piezas o por bloqueo de masa (la masa del cierre se opone al movimiento),. En cuanto a los rendimientos balísticos de los fusiles, se puede ver que prácticamente todos se han estabilizados en ciertos rangos de cadencia (entre 600 a 900 tiros por minuto) y de velocidad inicial (entre 800 y 1,000 metros por segundo). En este campo, un aspecto importante y que, tal vez, es donde más han evolucionado los fusiles, es el calibre. Algunos ejércitos de Europa y América, han implementado el calibre 5,56 x 45 mm en sus fusiles de infantería. La OTAN aprobó este calibre, para su utilización dentro de la alianza, a partir de 1980 y EE.UU. ya lo usaba desde principios de la década de los sesenta.

Los sistemas de funcionamiento de los fusiles de asalto, no han evolucionado en lo sustancial en los últimos 30 años. En el 90 % de ellos, el sistema de automatismo funciona por toma de gases, es decir, una perforación en el cañón permite que parte de la energía de los gases, producidos en el momento del disparo, sea utilizada para accionar un émbolo, el que transmite su movimiento a los mecanismos del arma, [United States Patent 4409883, 1983] representado en la Figura I.10. El resto de los fusiles, funciona por un sistema denominado *blow back* retardado, es decir, se emplea el principio de acción y reacción, el proyectil sale hacia delante y el cierre hacia atrás, siendo retardado el movimiento del cierre por algún sistema mecánico.

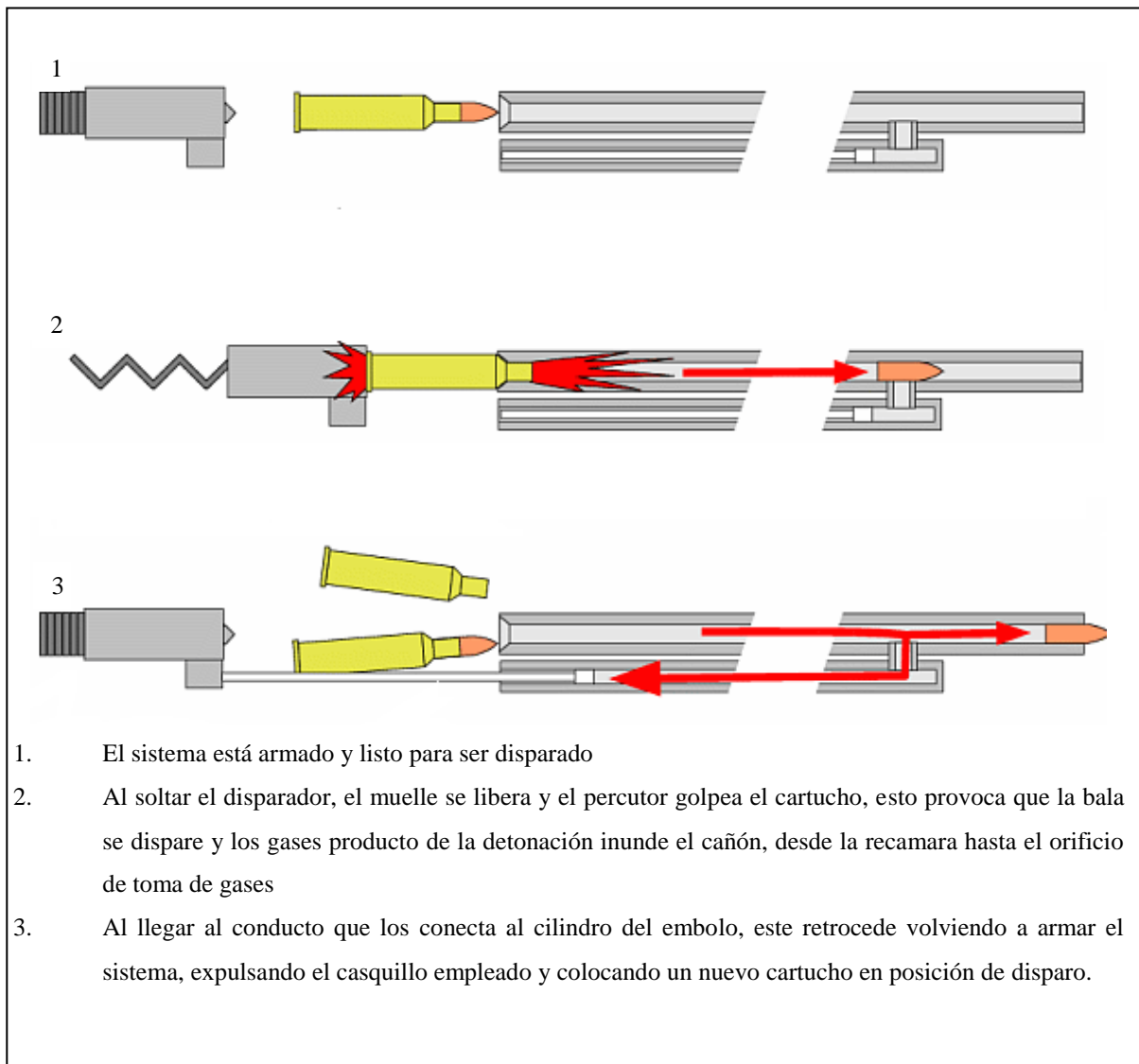


Figura I.10.- Esquema de funcionamiento por toma de gases.

En la Tabla I.1 se muestra una breve descripción del desarrollo tecnológico que diferentes países han generado para la implementación de los fusiles de asalto calibre *5,56 mm* en sus ejércitos o líneas de producción de armamento, tomando como base los requerimientos actuales para el desarrollo de las operaciones tácticas que demandan el empleo de este tipo de artefactos bélicos.

Tabla I.1.- Panorama internacional de los fusiles de asalto *5.56 mm* [McNab,2006]

PAÍS	DESARROLLO TECNOLÓGICO.
ALEMANIA	Basándose en el modelo G-3, se realizó el HK 33, una versión en <i>5.56 mm</i> .
BÉLGICA	La Fábrica Nacional de Herstald modificó el FAL clásico de <i>7.62 mm</i> , adaptándolo al calibre <i>5.56 mm</i> ; así realizó un nuevo fusil de asalto, FN CAL.
FRANCIA	En los 70`s lanzó los primeros prototipos de un fusil de asalto <i>5.56 mm</i> , para sustituir al sub-fusil MAT 49 y al fusil automático MAS 49.
ITALIA	La casa Beretta, intuyó el cambio que se avecinaba con las municiones de pequeño calibre, realizó el fusil AR 70 en <i>5.56 mm</i> para su Ejército.
ISRAEL	Comenzó en 1984 a trabajar en un proyecto de fusil de asalto basado en el GALIL. Con el nuevo modelo de <i>5.56 mm</i> se ha dotado a unidades especiales y paracaidistas en el resto del Ejército israelí.
EE. UU.	El Ejército ha adquirido recientemente la última versión del M-16 fabricada por COLT, el M-16 A2, para dotar a sus Fuerzas Armadas.
RUSIA	En 1974, los rusos fabricaron un nuevo modelo derivado del AK47, pero en calibre <i>5.45 x 39</i> .
MÉXICO	En el año 2005, cuando se desarrollo un fusil de asalto calibre <i>5.56 mm</i> , con la propia tecnología mexicana, diseño innovador y apariencia agresiva.

Otro aspecto importante considerado es la ergonometría del arma. Este concepto, considera el estudio de las dimensiones de los elementos que componen el arma basándose en la antropometría del usuario, relacionando la comodidad con la utilización del arma. Dentro de

este contexto, se pueden considerar: el peso, las dimensiones y la forma del arma. En este sentido, las diferencias entre los distintos fusiles no son tan significativas y muchas veces pueden, incluso, llegar a ser subjetivas. En relación con los materiales que se utilizan actualmente para la fabricación de fusiles, se puede decir que, en general, ellos son aceros de buena calidad y con tratamientos térmicos adecuados. Como la tecnología en el manejo de aceros ha evolucionado, es posible incorporar piezas (aquellas que no tienen un trabajo mecánico exigente durante el tiro) de acero de microfusión o sinterizado de polvos, lo que disminuye los costos de fabricación e incrementa la capacidad de producción. Las piezas de madera han sido reemplazadas por piezas plásticas, llegando en algunos casos a reemplazar también los cargadores y otras piezas metálicas importantes por componentes plásticos, de alta resistencia, los que generalmente tienen un comportamiento mejor que los metálicos y un costo de fabricación inferior.

I.7.- Sumario.

En este capítulo se desarrolló una reseña de los antecedentes históricos del fusil de asalto y sus mecanismos. Desde sus inicios en la posguerra, hasta el desarrollo de fusiles de última generación que han incorporado partes plásticas a sus mecanismos y sistemas. Se muestran los principales grupos que integran un fusil de asalto, así como los mecanismos que han diferenciado cada una de las generaciones y etapas de desarrollo de armamento a nivel mundial.

Además, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías e investigaciones se ha podido tratar el avance y panorama internacional que guarda el desarrollo de los fusiles de asalto, así como los países que han intervenido a lo largo de la historia del armamento en la evolución y continua investigación de los fusiles de asalto.

El siguiente capítulo comprende el marco teórico. En este se analizan los conceptos que son la base de este trabajo de investigación, tales como el proceso y significado de diseño y las consideraciones que se deben estudiar al momento de diseñar un mecanismo o parte. Además se mencionan las principales teorías de falla de mecanismos y algunos factores de concentración de esfuerzos, que serán aplicadas en este trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LOS CONCEPTOS INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO

II.1.- Generalidades.

La necesidad de diseñar elementos de mecanismos robustos, funcionales y confiables aplicables al desarrollo de partes de armamento, requiere de conceptos de ingeniería como: el diseño de mecanismos, el modelaje, la simulación, y su procesamiento con el fin de determinar su comportamiento mediante el análisis que justifique el desempeño de estos durante el funcionamiento y obtener criterios capaces de predecir el comportamiento de los sistemas involucrados.

Por eso la importancia de hacer referencia en el marco teórico de los conceptos que servirán como fundamento para explicar los antecedentes e interpretar los resultados de la investigación efectuada a la palanca de armar de un fusil de asalto [Munch, 2007]. Estos conceptos abordan las teorías de falla aplicables al caso de estudio, así como la concentración de esfuerzos y conceptos generales de resistencia de materiales, que servirán para analizar analíticamente la problemática planteada como objetivo general de estudio del presente trabajo.

II.2.- Significado del término diseño.

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda; la necesidad particular que habrá de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el principio. El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica haciendo uso de las matemáticas, de la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada [Lewis, 1993].

II.3.- Consideraciones de diseño.

Con el objeto de determinar la configuración geométrica y dimensiones de la palanca de armar es de primordial importancia considerar la resistencia mecánica de dicho componente, además de la geometría que la pieza deberá tener a efectos de ser útil y confortable durante su empleo.

Durante el desarrollo de productos, existen características importantes que influyen en su diseño, debiendo considerar factores como los siguientes: resistencia mecánica, confiabilidad, costo, forma, tamaño, seguridad, peso, material, método de fabricación, uso, etc.

II.4.- Fases del diseño.

El proceso general para resolver un problema de ingeniería según *Edward V. Krick*, se desarrolla como a continuación se muestra, especificando las cinco etapas básicas para la generación del diseño de cualquier componente o sistema [*Krick, 2006*].

- Formulación del problema: (Definición de problema de forma amplia y sin detalles).
- Análisis del problema: (Definición del problema a detalle).
- Búsqueda de soluciones: (Recopilación de posibles soluciones).
- Decisión: (Evaluación, comparación, y selección hasta la obtención de solución óptima).
- Especificación: (Escribir la solución).

II.4.1.- Formulación del problema.

La confiabilidad, funcionabilidad y seguridad en el empleo de artefactos bélicos como la manipulación de fusiles de asalto en los que se expone la vida humana y a la vez sirven para la protección de vidas, es de suma importancia; valiéndose de ingenios tecnológicos que auxilien en esta tarea, con características que los hacen de utilidad bajo el control del soldado o persona que arriesga su vida a favor de otros, definen el problema de mantener un sistema de armado de cualquier fusil de asalto, que garantice la repetitividad del suceso bajo cualquier circunstancia. Lo anterior es definido en la Figura II.1 como entrada a un “Estado A” y un “Estado B” como salida y solución al problema.

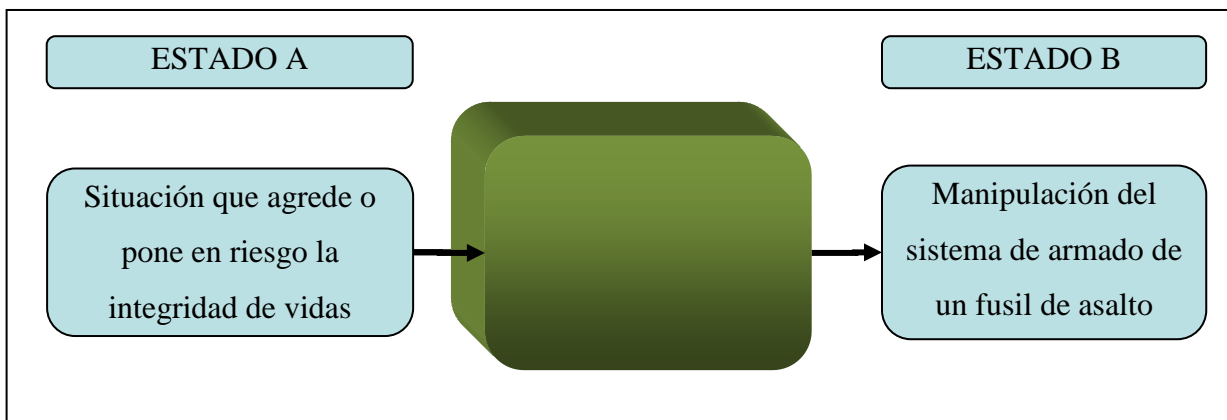


Figura II.1.- Metodología para la solución del problema.

Dada la posible solución, el problema será planteado como:

” ¿Cuál es la magnitud de los esfuerzos a los que se encuentra sometida la palanca de armar de un fusil de asalto y en qué lugar se concentran de acuerdo a su configuración geométrica a fin de garantizar el correcto armado de un fusil de asalto bajo cualquier circunstancia? y ¿Cuál será el proceso de manufactura óptimo, en relación a la capacidad instalada de una fábrica productora de armamento?”

II.4.2.- Análisis del problema.

La palanca de armar de un fusil de asalto se define como la palanca que acciona o libera el sistema de cierre de un arma de fuego [Licker, 2002] y es el mecanismo de interacción entre el usuario y el arma, la palanca de armar transmite el movimiento generado por el usuario hacia el sistema de cierre, cargando el arma con un cartucho en la recámara durante la fase de carga manual, mientras que una vez que el arma fue accionada y su ciclo de funcionamiento producido, el sistema se mantiene en movimiento, gracias a la acción del resorte de empuje que a su vez es comprimido por efecto de los gases de combustión del disparo.

Para el análisis de esta pieza es de suma importancia conocer el trabajo que desempeñará y el sistema en el que interactúa para poder definir la solución del problema.

La resistencia de palanca de armar de cualquier fusil de asalto, puede llegar a ser un factor importante de diseño, lo que significa que es una característica importante o consideración que influye en el diseño de este elemento [Shigley, 1985]. Considerando durante la concepción, análisis y fabricación de la palanca de armar motivo del estudio: la resistencia mecánica, la confiabilidad, la resistencia a la corrosión, al desgaste, a la fricción, la utilidad, el costo, la seguridad, el peso, la forma, el tamaño, la rigidez, el acabado superficial y su mantenimiento.

II.4.3.- Búsqueda de soluciones.

La búsqueda de soluciones para el diseño y análisis de los esfuerzos y manufactura de la palanca de armar de un fusil de asalto se basó en las siguientes restricciones de diseño: deberá ser modelo funcional y robusto, resistente y ergonómico, de fácil ensamble y de manufactura a bajo costo y eficiente.

Para satisfacer la restricción de ensamble fácil y funcional para usuarios zurdos y derechos, se plantearon dos propuestas:

Una palanca central pivotante, con mecanismos de resorte que pudiera girar hacia el lado derecho e izquierdo dependiendo de las habilidades de usuario del arma, y una palanca desmontable que deberá ser colocada en función de la destreza del usuario del arma..

Por motivos de rapidez de fabricación y cantidad de componentes que se requerirán para la fabricación de las propuestas, se decidió optar por la palanca de armar de una sola pieza desmontable y adaptable a las costumbres y habilidades del usuario.

Las fuerzas que deberá soportar el diseño de la palanca de armar, son aquellas que se producen por efecto del funcionamiento del sistema de cierre del arma, principalmente la carga del resorte de empuje, que se encarga de desplazar al cierre hacia el frente, y la de los gases de combustión que comprimen al resorte de empuje y mueven el cierre hacia atrás durante cada ciclo de funcionamiento.

II.4.4.- Fase de decisión.

La toma de decisiones se debe hacer a través de un proceso que abarca la Selección de los criterios y determinación de su importancia, el predicamento del funcionamiento de las soluciones con respecto a tales criterios la comparativa de las alternativas sobre las bases de los funcionamientos y la selección de alternativas.

II.4.5.- Especificación de la solución.

La especificación de la solución es el marco en el cual se describen las características del desarrollo, sin embargo esta solución es la propuesta que conforma un prototipo que estará sujeto a pruebas de funcionamiento con el fin de retroalimentar el diseño, considerando que seguirá siendo perfectible por lo que es necesario una vez que se conocen los parámetros reales de funcionamiento restablecer los alcances y limitaciones del sistema con respecto al tiempo que se estableció para su desarrollo. La especificación del producto implica establecer por escrito la solución que se haya encontrado durante el análisis [*Munch, 2007*].

Las nuevas metodologías de diseño se basan en la secuencia del modelado, animación, simulación y emulación de los nuevos productos. Actualmente la ayuda de los paquetes computacionales, CAD, CAM y MEF reducen significativamente los tiempos de diseño, debido a la posibilidad de generar prototipos virtuales y validarlos en su diseño, manufactura y funcionamiento, este último es posible comprobarlo a través de módulos de realidad virtual.

II.5.- Teorías de falla.

Al diseñar elementos mecánicos que resistan las fallas se debe estar seguro de que los esfuerzos internos no rebasaran la resistencia del material, si el que se empleara es dúctil, entonces es motivo de estudio la resistencia de fluencia, ya que una deformación permanente será considerada como falla, siendo esta resistencia a la fluencia casi igual a la tensión que a compresión, en materiales dúctiles. [Shigley, 1985]. La falla de un elemento se refiere a la pérdida de la funcionalidad, es decir cuando una pieza o una máquina dejan de ser útiles; esta falta de funcionalidad se puede dar por rotura, distorsión permanente o degradación.

La rotura o la degradación permanente se deben a que los esfuerzos soportados son mayores que la resistencia del material de fabricación.

Para poder determinar para qué cantidad de esfuerzo aplicado se producirá una falla, se utilizan algunas teorías de falla. Todas las teorías de falla se basan en la comparación del esfuerzo actuante contra el resultante aplicado en una prueba uniaxial de tensión o compresión.

II.5.1.- Teoría de falla por esfuerzo cortante máximo.

Se emplea únicamente para materiales dúctiles y para predecir la fluencia. Esta teoría afirma que la fluencia se inicia siempre que, en un elemento mecánico, el esfuerzo cortante máximo se vuelve igual al esfuerzo cortante máximo en una probeta de tensión, cuando ese espécimen empieza a ceder. [Shigley, 1985].

Si se postula que un material dúctil bajo cualquier estado de esfuerzo cortante en cualquier

plano llega al valor de $\frac{\sigma_y}{2}$ entonces el criterio de falla bajo la teoría de esfuerzo cortante máximo se representa con la Ecuación (2.1) [Craig, 2007].

$$\tau_{\max_{abs}} = \frac{\sigma_y}{2} \quad (2.1)$$

Donde σ_y representa el esfuerzo de fluencia del material de la pieza y $\tau_{\max_{abs}}$ representa el esfuerzo cortante máximo absoluto.

II.5.2.-Teoría de falla por energía de distorsión máxima.

Es llamada también teoría de la energía de cortante o teoría de *Von Misses-Henky* [Shigley, 1985], siendo una de las teorías más convenientes en aplicaciones de materiales dúctiles.

Esta teoría supone que la fluencia se presenta cuando la energía asociada con el cambio de forma de un cuerpo bajo carga multiaxial es igual a la energía de distorsión en un espécimen a la tensión cuando la fluencia se presenta en el esfuerzo de fluencia uniaxial σ_y .

La densidad de la energía de deformación debida a la carga multiaxial se determina por medio de la Ecuación (2.2).

$$\bar{u} = \frac{1}{2} [\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3] \quad (2.2)$$

Una parte de esta energía de deformación se asocia con el cambio de volumen del elemento y el resto con el cambio de forma, es decir con la distorsión.

El criterio de falla por energía máxima de distorsión postula que los esfuerzos que causan la fluencia son los que producen la distorsión, es decir: La fluencia de un material dúctil se presenta cuando la energía de distorsión por unidad de volumen es igual o mayor que la energía de distorsión por unidad de volumen cuando el mismo material cede en una prueba de

tensión simple [Craig, 2007]. Este criterio se puede enunciar en función de los tres esfuerzos principales como se muestra en la Ecuación (2.3).

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] \quad (2.3)$$

II.6.- Concentración de esfuerzos.

En una pieza sometida a esfuerzos, si se llegan a presentar cambios abruptos en la geometría de la pieza, se presenta una concentración de las líneas de esfuerzo en los puntos donde cambia abruptamente la geometría. Este fenómeno es llamado concentración de esfuerzos. [Young, 2002]. Los cambios de geometría se presentan si existen: cambios de forma y tamaño de la sección, agujeros, muescas, chaveteras, estrías, marcas de herramientas, raspaduras, inclusiones y/o defectos en el material.

Una medida de severidad de la concentración de esfuerzos viene dada por el factor K y está definido como la relación del esfuerzo local máximo en la región de la discontinuidad al esfuerzo nominal local evaluado por la teoría simple (Ecuación 2.4). El esfuerzo nominal puede basarse bien en la sección transversal neta a través de la discontinuidad o en la sección transversal bruta de la pieza ignorando la discontinuidad [Forrest, 1972].

$$K = \frac{\text{Valor maximo del esfuerzo real en el cambio}}{\text{esfuerzo nominal calculado}} \quad (2.3)$$

El esfuerzo máximo en la discontinuidad puede determinarse experimentalmente, por fotoelasticidad o por medición directa de la deformación; se supone que el material de referencia es isotrópico y obedece a la ley de *Hooke*. [Craig, 2007]

La ley de *Hooke* indica la relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria expresada por la Ecuación (2.5).

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (2.5)$$

Y se aplica cuando $0 \leq \sigma \leq \sigma_y$; donde los subíndices de σ y ε identifican el eje del esfuerzo y la deformación unitaria que manejan.

Esta ley es aplicable a tensión y compresión uniaxial dentro de la parte lineal del diagrama de esfuerzo deformación unitaria, siendo E el modulo de elasticidad o de Young. La relación de un esfuerzo simple de tensión aplicada a un material resultante del esfuerzo paralelo de tensión. [Licker, 2002].

Es recomendable considerar aplicar un factor de concentración de esfuerzos cuando:

- El material es frágil.
- El material es dúctil a temperaturas extremas que lo hacen frágil.
- Hay rápidos cambios de esfuerzos que no permitan que haya una fluencia local.
- Hay esfuerzos cíclicos.

En la Tabla II.1 se muestran algunos criterios para aplicar o no un factor de concentración de esfuerzo, mismos que en base a la condición de carga aplicada al tipo de material, se puede determinar el tipo de falla que se produce en el componente y sí es o no recomendable aplicar un factor de concentración de esfuerzos.

Tabla II .1.- Criterios para aplicación del factor de concentración de esfuerzo.

Material	Condición de Carga	Si o No	K	Tipo de Falla
Frágil	Cualquiera	Si	K	Fractura rápida
Dúctil	Baja Temperatura	Si	K	Fractura rápida
Dúctil	Aplicación Rápida	SI	KK	Fractura rápida
Dúctil	Cíclica	Si	Kf	Falla progresiva
Dúctil	Estática a temperatura ambiente	No	1	Ninguna

Existe una contracción transversal asociada con el alargamiento de un elemento bajo tensión axial [Askeland, 2006] como se muestra en la Ecuación (2.6).

$$\varepsilon_{transv} = -\nu \varepsilon_{longit} \quad (2.6)$$

Donde: ν representa la relación de *Poisson*, siendo válida también para esfuerzos de compresión y ε representa la deformación o alargamiento del material.

II.6.1- Métodos de reducción de concentración de esfuerzos.

Métodos intuitivos como la analogía de flujo pueden ser de ayuda en la fase de diseño y la reducción de factores de concentración de esfuerzos, cuando la situación requiere reducir una sección de la pieza abruptamente, la resultante de concentración de esfuerzos puede ser minimizada por una nueva reducción de material, siendo esto común a la recomendación “*Si no es lo suficientemente resistente hazlo más grande*” [Young, 2002].

En esta analogía de flujo se relacionan las líneas de flujo de fluidos, velocidad, y los gradientes de presión, por un lado, y las trayectorias de esfuerzo, las magnitudes, y el esfuerzo principal por el otro como se muestra en la Figura II.2.

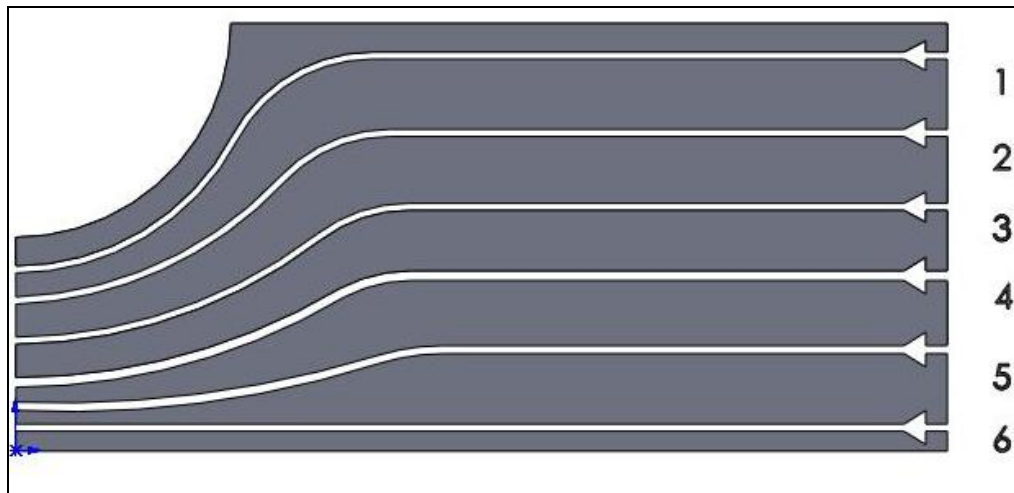


Figura II.2.- Analogía de flujo de fluidos contra esfuerzos.

Con el fin de incrementar la resistencia de las piezas se recomienda, seguir las siguientes consideraciones de diseño [Stiopin, 1968]:

- Emplear materiales homogéneos de estructura microgranular, libres de focos de concentración de tensiones.

- Configurar la pieza a modo de evitar concentración de esfuerzos, no se deberá de admitir que se pase de una dimensión de la sección a la otra sin curvas de acuerdo intermedias; en algunos casos se recomienda emplear ranuras de descarga especiales, desconcentradores de esfuerzos.
- Mecanizar cuidadosamente la superficie de la pieza, a fin de eliminar superficies burdas.
- Emplear métodos especiales para incrementar su resistencia a la fatiga (aplicación de cargas elevadas en periodos cortos de tiempo).

Cuando la configuración de la sección transversal o longitudinal de un eje varía bruscamente se produce el fenómeno de concentración de esfuerzos, influencia que debe ser considerada mediante el factor de concentración que se determina experimentalmente o teóricamente por los métodos de la teoría de la elasticidad, que describe cómo un sólido (o fluido totalmente confinado) se mueve y deforma como respuesta a fuerzas exteriores.

En la Figura II.3 y II.4 se muestra el gráfico para relacionar el valor del coeficiente teórico de concentración de esfuerzos de una sección circular sometida a tensión y flexión respectivamente, respecto a la relación de diámetros de la sección.

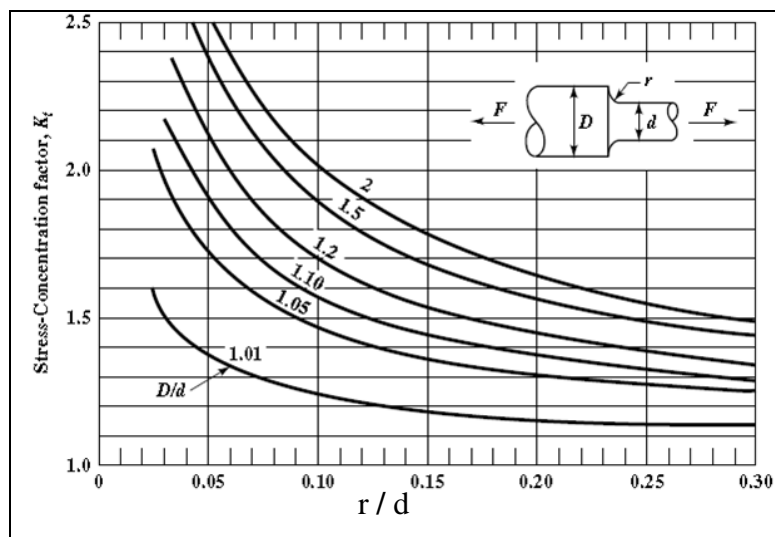


Figura II.3.- Gráfico de valor del factor de concentración de esfuerzos a tensión [Amis, 2004].

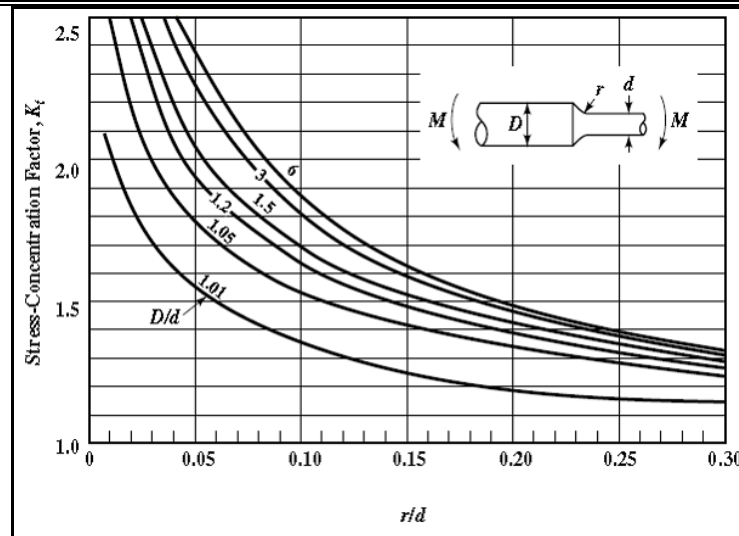


Figura II.4.- Gráfico de valor del factor de concentración de esfuerzos a flexión [Amiss, 2004].

II.7.- Sumario.

En este capítulo se abordó el marco teórico de referencia que será empleado en la solución de la problemática, desde la fase conceptual del diseño, pasando por el desarrollo del diseño, las consideraciones y posibles soluciones al problema, con fundamentos teóricos, tales como las teorías de falla de elementos y la concentración de esfuerzos debido al cambio geométrico de una pieza, y las recomendaciones para minimizar este tipo de origen de falla, que sustentan el desarrollo del Capítulo III donde se analizará el problema y se especificará la solución al mismo; auxiliándose de métodos computacionales y analíticos de análisis, específicamente el MEF.

También se trató la relación existente entre los valores del coeficiente teórico de concentración de esfuerzos de una sección circular y el valor de la relación entre cambios geométricos de la parte sometida a tensión y flexión.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO

III.1.- Generalidades

En este capítulo, se tratará la metodología que se implementó para el desarrollo experimental de esta investigación. También se tratarán temas relacionados con los orígenes del Método del Elemento Finito, la simulación, la metodología de aplicación, el campo de aplicación, ventajas y desventajas del Método del Elemento Finito.

El objetivo principal de la investigación es determinar los esfuerzos a los que se encuentra sometida la palanca de armar de un fusil de asalto, utilizando métodos analíticos y numéricos aplicando el Método de Elemento Finito. La metodología a seguir en esta investigación se muestra en la diagrama de la metodología de la investigación de la Figura III.1

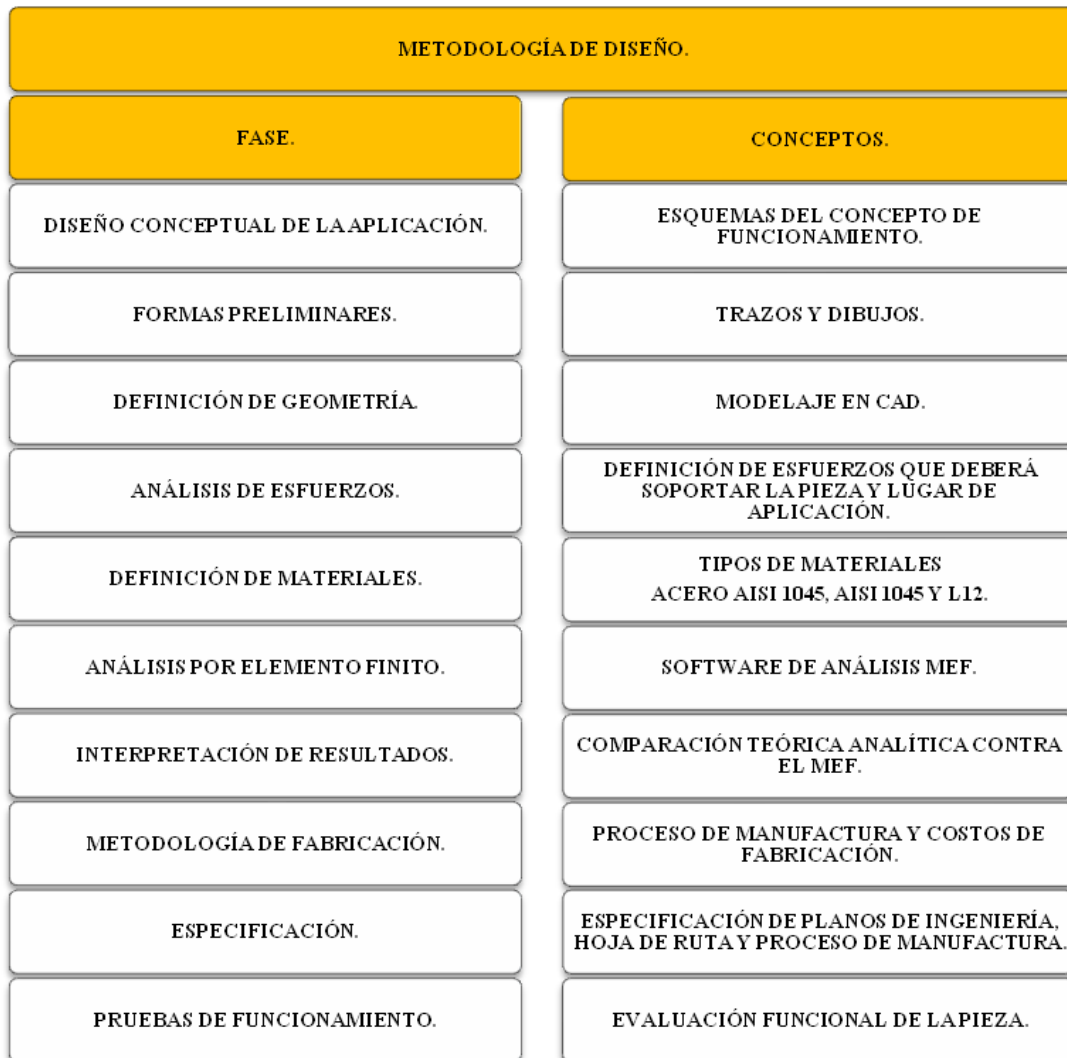


Figura III.1.- Diagrama de la metodología de la investigación

III.2.- Método del Elemento Finito.

Con anterioridad a la aparición de las primeras herramientas de simulación por el MEF, en torno al año 1950, la definición de estructuras metálicas complejas se realizaba a partir de la resolución analítica de ecuaciones diferenciales, lo cual se convirtió rápidamente en un problema al presentarse casos complejos y difíciles de resolver.

III.2.1- Orígenes del Método del Elemento Finito.

A comienzos del siglo XX investigadores como *Castigliano*, *Rayleigh* y *Ritz* desarrollaron una metodología para predecir el desplazamiento de una estructura basándose en ecuaciones de funciones de forma de sistemas sencillos de carga, siendo estos resueltos por una minimización de la energía. El trabajo desarrollado por el matemático *Richard Courant* en 1943 permitió sentar las bases de la resolución de sistemas estructurales mediante la implementación de la notación matricial y su resolución algebraica [*Cook*, 1995].

En el año de 1960 fue acuñado el término elemento finito y en 1963 reconocido como método matemático validado que se extendió a una diversidad de aplicaciones estructurales, térmicas, de flujo y otras [*Clough*, 1980].

A partir de este momento, con el desarrollo que han experimentado las computadoras en el aumento de su capacidad de cálculo, gestión de memoria, capacidad de almacenamiento en disco, unido al uso y desarrollo del MEF aplicado al cálculo estructural lineal, no lineal, dinámico, térmico, ha hecho que esta metodología se vaya extendiendo desde las universidades, pasando por las multinacionales y llegando a las pequeñas y medianas empresas.

III.2.2- Descripción del Método del Elemento Finito.

El MEF es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales de problemas continuos, de tal forma que:

- El continuo se divide en un número finito de partes, llamados elementos, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a

ciertos puntos característicos denominados nodos que son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes:

- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos.
- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas funciones de interpolación o funciones de forma.

El MEF, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos.

III.2.3- Metodología del MEF.

Todas las herramientas informáticas actuales que emplean el MEF tienen tres fases bien definidas [*Moaveni, 1999*].

Pre proceso: Consiste en la tarea de discretizar el modelo real (continuo, pieza física o conjunto) en elementos y nodos en los cuales se calcularán los desplazamientos, deformaciones, tensiones y otras magnitudes, a partir de la realización de las siguientes tareas:

- Modelaje de la pieza o importación si se ha generado por medio de un sistema CAD.
- Selección del tipo de elemento o elementos a emplear. En función del tipo de cálculo a realizar. Estos pueden ser 1D, 2D, 3D, lineales, parabólicos, integración reducida, etc.
- Mallado del componente (Creación nodos y elementos).
- Introducción de las condiciones de contorno, la relación de este componente con el resto de las piezas o componentes que lo rodean.

- Introducción de las propiedades mecánicas de los materiales del espécimen en estudio.
- Aplicación de las cargas exteriores.

Cálculo: Consiste en la creación y resolución del sistema de ecuaciones matriciales:

- Definición y selección del tipo de fenómeno físico que se quiere estudiar.
- Configuración de los parámetros de cálculo. Selección de los intervalos de tiempo, número de iteraciones, etc.
- Inicio y fin del cálculo: el programa transfiere las cargas al modelo, genera las matrices de rigidez, realiza la triangulación de la matriz, resuelve el sistema de ecuaciones y genera la solución.

Post proceso: Consiste en; una vez resueltas las matrices y generados los ficheros de resultados, analizar éstos de forma gráfica, tabulada, etc. Se realizarán tareas de:

- Toma de decisiones oportunas sobre la bondad o no del diseño en cuestión.
- Analizar la viabilidad respecto a los objetivos marcados al inicio del cálculo (optimizar peso, tensiones, número de ciclos, frecuencias, etc.).

III.2.4- Campos de aplicación del MEF.

Originariamente el MEF nació para resolver problemas estructurales de ingeniería civil, rápidamente se vio su eficacia, la ventaja de su uso y la precisión de los resultados y se empezó a utilizar en los otros sectores como el aeroespacial, nuclear, militar así como en automoción y transporte, cada uno de estos sectores tiene sus propias problemáticas, que obligaron a hacer nuevos desarrollos e implementación en el método del elemento finito como la creación de nuevos elementos 2D, o 3D, métodos de integración para problemas no lineales, dinámicos implícitos y explícitos, aplicación del método a problemas térmicos, termomecánicos.

Hoy en día el MEF es una herramienta de análisis, con un grado de madurez alto, la cual permite abordar muchos de los problemas de la mecánica con un porcentaje de precisión elevado, respecto a los ensayos experimentales y con un empleo de tiempo de cálculo razonable.

El Método del Elementos Finito es una virtualización de los problemas físicos reales, que en un problema real existen muchos fenómenos e interacciones, procesos de fabricación, casos de carga, condiciones de contorno, propiedades mecánicas de los materiales que en muchos ocasiones resulta imposible de medir y/o caracterizar esa propiedad en cuestión.

Por lo tanto, es responsabilidad del analista asumir las simplificaciones adecuadas, para conseguir la mejor aproximación a la solución del problema, en un plazo de tiempo corto, con un uso de recursos adecuados y con una precisión acorde a los datos de partida y a los objetivos marcados del cálculo.

Con esta premisa, el MEF un método que puede ser aplicado en todas las fases de desarrollo de producto. A continuación se presentan varios escenarios que se pueden registrar durante un proceso de análisis por elemento finito:

- **Fase conceptual de nuevos diseños:** Permite realizar estudios de sensibilidad de diferentes geometrías, o parámetros, selección de materiales, dimensionamientos generales de componentes y conjuntos, para en que posteriores fases de desarrollo se optimice el producto.
- **Fases de cotización de nuevos productos bajo cuaderno de cargas:** Permite conocer los estados tensionales, deformaciones, número de ciclos esperados, puntos potenciales de fallo, etc. Antes de la realización de prototipos y así ajustar nuestra oferta, siendo más competitivos y eficaces.
- **Fase de desarrollo:** Permite optimizar y llegar al nivel de detalle que se considere oportuno, tanto en geometría, espesores, formas, materiales empleado, distribución de masas, tipos de uniones, etc. con el fin de tener el producto óptimo que mejor cumpla las especificaciones.
- El MEF se puede emplear para la simulación de procesos de fabricación y proceso de montaje.

El MEF permite abordar problemas altamente no lineales, en los que existan contactos entre componentes, grandes deformaciones de los materiales, modos de fallo de los materiales, así

como efectos dinámicos, un ejemplo son las simulaciones de choque. También permitirá analizar problemas en los que existan interacciones entre distintos campos de la mecánica, como es el caso de los problemas termo-estructurales.

III.2.5- Ventajas en el empleo del Método del Elemento Finito.

Entre las ventajas de la aplicación del MEF destacan la facilidad del entendimiento del comportamiento del producto a nivel estructural, térmico, fatiga, etcétera; la realización de optimizaciones de producto en un periodo de tiempo corto y a un costo económico razonable, además permite evaluar alternativas de diseño, nuevas funciones o sensibilidades de parámetros e interrelaciones entre los mismos, que de otra manera serían inabordables, es capaz de reducir el número de prototipos y el número de ensayos experimentales requeridos, debido a que se diseñan prototipos optimizados, permite mejorar la calidad y robustez de los diseños y reducir los riesgos de fallo en nuevos diseños y en los existentes erradicarlos.

Estas ventajas del MEF, hacen ser a las empresas que emplean estas técnicas, más competitivas en: Reducción de tiempos y costos empleados en el desarrollo de nuevos productos, además de ser más flexibles ante cambios del mercado, pudiendo ser innovadoras, porque pueden probar virtualmente nuevas soluciones.

III.2.6- Desventajas en el empleo del MEF.

Algunas de las desventajas del empleo del MEF se resumen en la necesidad de crear metodologías de simulación MEF aplicables a cada caso o problema de diseño, en las que se conozca el grado de correlación con ensayos experimentales, siendo necesario alimentar los modelos con datos precisos (material, cargas, condiciones de contorno, etc.) con el fin de obtener resultados precisos, también se debe definir el grado de precisión de la simulación, teniendo en cuenta el tiempo necesario para su ejecución, los datos de partida de que se disponen y los resultados a obtener, así como en qué fase del diseño de producto se va a emplear para lo que se requiere inversión en software, hardware y mantenimiento de la inversión además de la utilización de recursos humanos especializados y constante actualización de las nuevas versiones de software, metodologías y desarrollos.

Estas desventajas no son tales, si las empresas e instituciones se apoyan en centros especializados en investigación en los que se cuenten con áreas o departamentos especializados en el empleo de técnicas de simulación por el MEF, los cuales puede aportar el saber hacer y la experiencia adquirida en la resolución de problemas empleando este método. Además de facilitar la capacitación de sus recursos humanos para la aplicación de estas importantes metodologías y conceptos de análisis.

III.3.- Metodología de la investigación.

El desarrollo de la metodología establecida se fundamenta en la necesidad de analizar los esfuerzos a los que se somete el diseño y desarrollar el proceso de manufactura de la palanca de armar de un fusil de asalto, auxiliándose del MEF en su primera fase y de técnicas de procesamiento de materiales durante la segunda etapa, a fin de obtener el costo de producción más bajo, considerando la infraestructura de una planta productora de armamento.

El desarrollo del análisis relaciona dos condiciones de trabajo, momento flexionante y tensión, aplicando el concepto de concentración de esfuerzos sobre la geometría establecida y diseñada para la aplicación de la palanca de armar de un fusil de asalto. Asimismo, se podrán analizar las fuerzas que actúan sobre el modelo y predecir su comportamiento durante su funcionamiento, siendo posible seleccionar y caracterizar las propiedades mecánicas del material que sea seleccionado. Lo que servirá, para no tener que evaluar al diseño y los materiales de fabricación de forma física, lo que generaría costos elevados durante la fase de fabricación de prototipos y evaluación del diseño.

La metodología base de esta investigación se divide y muestra en los siguientes párrafos, donde se describe de manera detallada cada una de las etapas de la misma desde el diseño conceptual, formas preliminares, modelaje, análisis de esfuerzos, definición de materiales y análisis.

III.3.1- Diseño conceptual de la aplicación.

Uno de los principales elementos de interacción entre el usuario de un fusil de asalto y el armamento es la palanca de armar, misma que transmite la fuerza de accionamiento del

usuario hacia del sistema de cierre, con el objeto de se introduzca el cartucho o munición en la recamara de disparo, e iniciar el ciclo de disparo tiro a tiro o en ráfaga. Otra función que realiza la palanca de armar es la de poder accionar el cierre hacia el frente o parte trasera del sistema en caso de que se presente el fenómeno de encasquillamiento durante el funcionamiento del fusil.

El concepto de funcionamiento y geometría que prevalece sobre el diseño de este tipo de componentes es su tamaño, peso y adaptabilidad de uso para personas diestras y no diestras, con el objeto de que su geometría, peso y posición dentro de un fusil de asalto no afecte la operatividad y movilidad del arma durante una operación de alto impacto.

III.3.2.- Formas preliminares (Trazos y dibujos).

Con el objeto de mantener un diseño elegante y funcional, capaz de adaptarse a la antropometría del soldado mexicano y al tipo de habilidades motrices que ha desarrollado durante su evolución (derecho, zurdo o ambidiestro), de bajo peso y geometría compacta, se determinaron varias formas preliminares capaces de realizar la función específica de interacción entre el usuario y el arma durante su operación (Figura III.2).

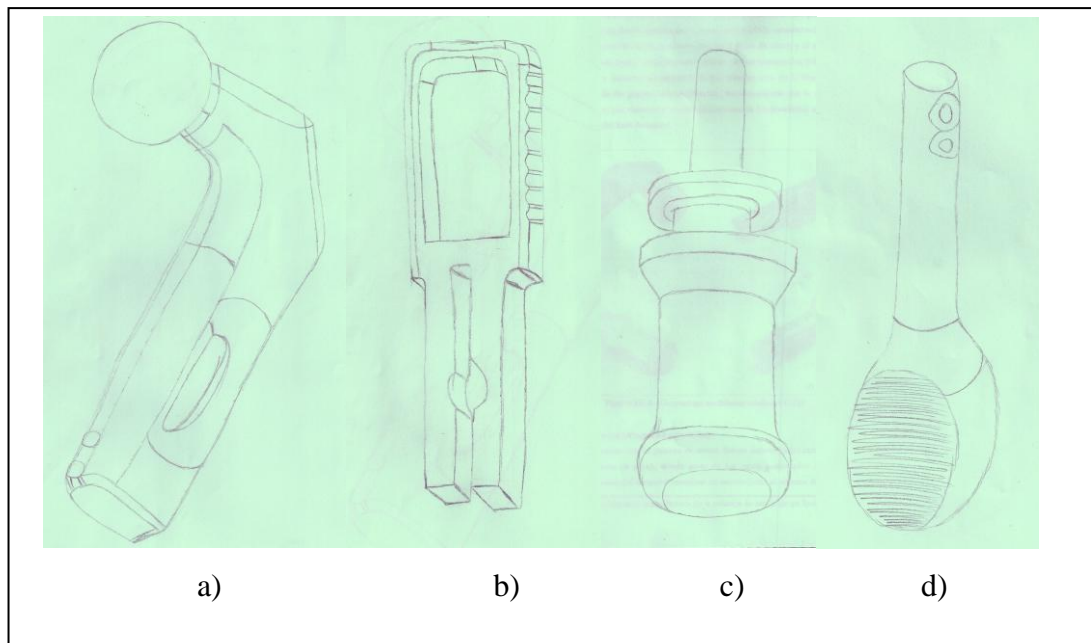


Figura III.2.- Formas preliminares del diseño conceptual de la palanca de armar.

III.3.3.- Definición de geometría (Modelaje en CAD).

A partir de los diseños conceptuales y formas preliminares se trabajaron las geometrías mediante el empleo de un software de diseño asistido por computadora (CAD), considerando la geometría de la pieza y la interacción con los demás componentes del sistema de cierre y el armamento mismo, y con el usuario del fusil de asalto. Mediante este software se consideraron las tolerancias geométricas y los ajustes mínimos y máximos de ensamble de los componentes. En la Figura III.3 se muestran los modelos virtuales de las piezas conceptualizadas, determinándose que la geometría motivo de este trabajo será la del c) por convenir a las especificaciones de funcionalidad, sencillez y estética de la palanca con el resto del fusil de asalto.

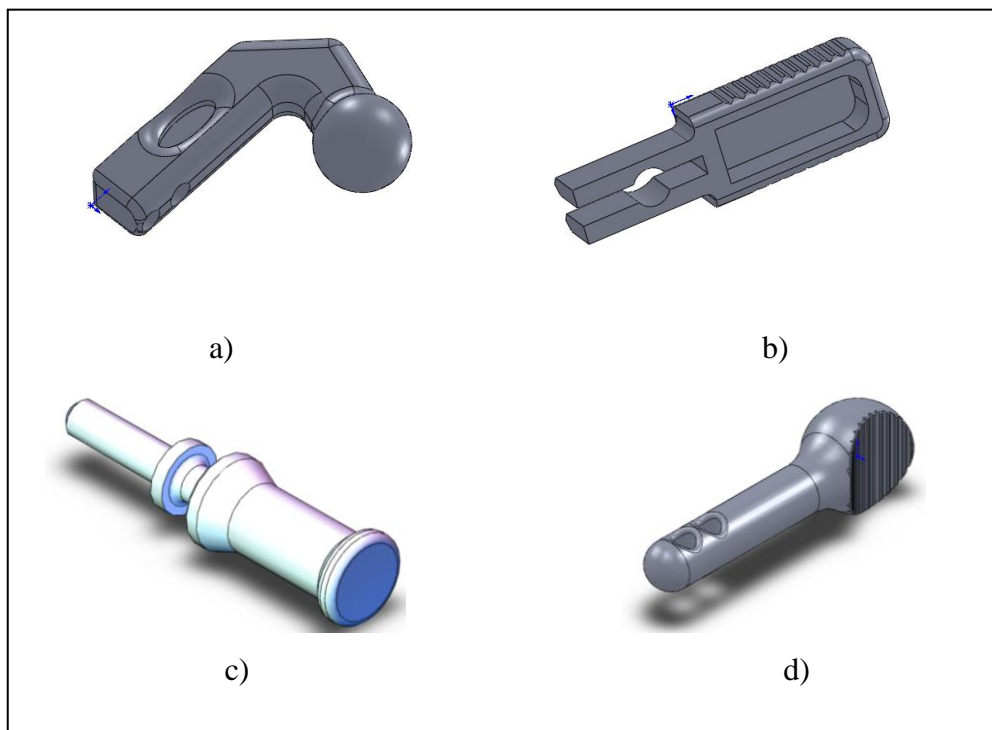


Figura III.3.- Geometrías de la palanca de armar modeladas mediante CAD.

III.3.4.- Análisis esfuerzos (Magnitud y posición).

Las fuerzas que interactúan con la palanca de armar fueron determinadas a través del principio de funcionamiento por toma de gases, donde parte de los gases provocados durante el disparo y deflagración de la pólvora del cartucho mantiene en movimiento al sistema de cierre, provocando que un resorte de empuje del sistema sea comprimido y liberado durante cada

ciclo del arma, lo que representa la fuerza que será aplicada a la palanca de armar; en la Figura III.4 se muestra el plano de ingeniería del resorte de empuje.

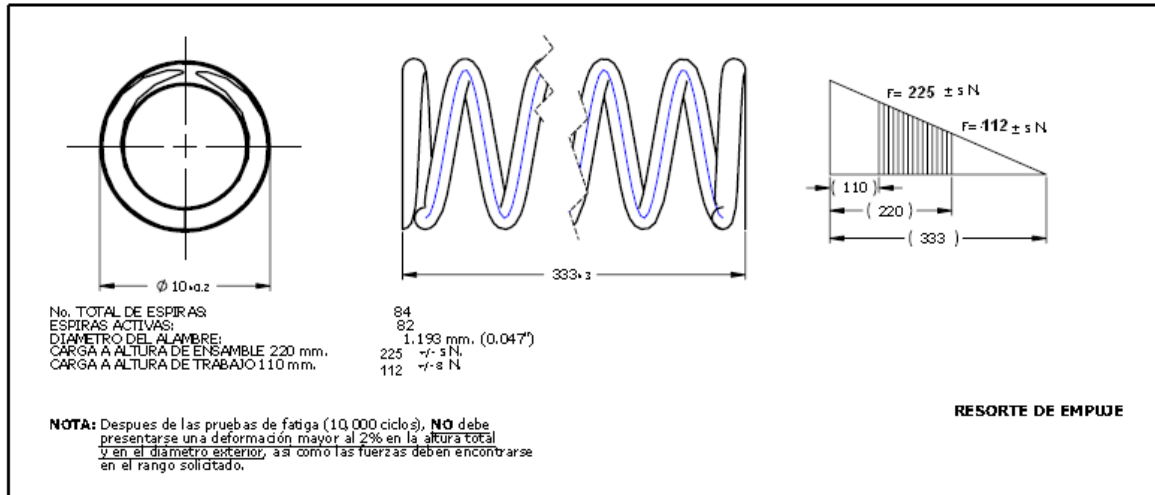


Figura III.4.- Plano de ingeniería del resorte de empuje.

La fuerza que se aplica directamente en la palanca de armar es de 225 ±5 N, fuerza que mantiene el resorte de empuje cuando está completamente cargado por efecto de los gases de combustión o bien la fuerza que el usuario del fusil deberá aplicar para comprimir el resorte hasta una altura de 110 mm con el fin de cargar el arma. Esta fuerza se aplicará directamente el en centro de masa de la pieza a analizar, mismo que se encuentra situado a 17.87 mm desde la parte posterior hacia la punta de la pieza y sobre el eje de la misma. Como se muestra en la Figura III.5.

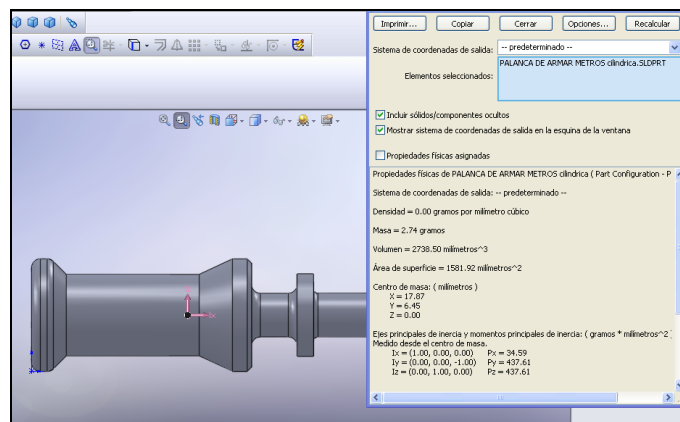


Figura III.5.- Ubicación de la fuerza sobre la pieza directamente en el centro de masa.

III.3.5.- Definición de materiales.

El material seleccionado para el desarrollo de esta investigación fue un acero *AISI/SAE 1045*. Esta selección, se realizó desde el punto de vista de que este material tiene una gran importancia en la industria armamentista, automotriz y metal-mecánica.

Algunas de sus aplicaciones incluyen; engranes, flechas, pernos, herramientas, rodillos, así como en la construcción de mecanismos de maquinaria [*ASTM - A108-03, 1992*], Además, este acero de mediano carbono, de excelentes características de forjabilidad, razonable maquinabilidad, responde bastante bien a los tratamientos térmicos, una vez templado alcanza durezas de 55 HRC, las características de este acero son relevantes para aplicar el tratamiento térmico de normalizado, recocido, templado y revenido. [*ASM INTERNATIONAL 2006*].

El acero *AISI/SAE 1045* utilizado en esta investigación es un material manufacturado por extrusión en frío y su Composición Química se presenta en la Tabla III.1 [*Wegst, 2001*]. [*ASM INTERNATIONAL 2006*].

Tabla III.1.- Composición Química (%) del acero *AISI/SAE 1045*

C	Si	Mn	P máx	S máx	Cr	Mo	Ni
0.42-0.50	≤ 0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.40

La materia prima empleada para la fabricación de la pieza motivo de esta investigación es producida por el proceso de estirado en frío, y será mecanizada en un torno C.N.C. marca *Gildemeister* modelo *CTX 410 V6* con herramientas de corte de carburo de tungsteno, mismo que se muestra en la Figura III.6 y más adelante en el Capítulo IV de manufactura, lo cual debido a la geometría de la pieza y las condiciones agresivas de mecanizado inducen un estado de esfuerzos residuales propios del proceso de manufactura. Por lo que fue necesario considerar el factor de concentración de esfuerzos en los cambios de geometría de la pieza.



Figura III.6.- Torno empleado para mecanizar la forma de la palanca de armar.

De manera equivalente se puede obtener el valor a la resistencia última a la tensión del acero *AISI/SAE 1045* [Unterweiser, Boyer, Kubbs 1980]. Mediante la medición de la dureza del material.

Los resultados obtenidos mediante el procedimiento de dureza, servirán de referencia en la comprobación de las propiedades mecánicas que se presentan posteriormente en el Capítulo IV. Los resultados de los valores promedio de la dureza *Rockwell C* se muestran en la Tabla III.2.

Tabla III.2.- Relación de valores obtenidos de dureza y esfuerzo último.

Probeta No.	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
H_{Rc}	19	18	23	22.6	21.6	22.6	22.3	20.66	20.33	22.66	18.33	24.33
Esfuerzo último (MPa)	732	730	805	805	775	805	790	765	760	805	730	825
H_{Rc} Promedio	21				22				21			
H_V promedio	242				247				245			
Esfuerzo último promedio (MPa)	770				785				770			

Cabe señalar que este método comparativo entre dureza y esfuerzo último mantiene una relación que se debe considerar como no exacta, por lo que en base a los resultados obtenidos se estima y fija como primer parámetro de seguridad de 1.5 para este valor por lo que el límite de esfuerzo último de análisis será de 500 MPa.

III.3.6.- Análisis por el Método del Elemento Finito.

Para realizar la fase de análisis por el Método de Elemento Finito se trabajo con las etapas que se enseguida se detallan:

Pre proceso:

1. Selección del tipo de elemento: *8node183 options plane*.

Este elemento fue seleccionado por ser un elemento de 8 nodos de alto orden en 2D. PLANE183 tiene desplazamiento cuadrático y es óptimo para el modelado de mallas irregulares.

Este elemento es definido por 8 nodos y 2 grados de libertad en cada nodo, traslación en las direcciones de nodos X y Y. puede ser utilizado como elemento plano (esfuerzo plano) o como elemento axisimetrico. Este elemento tiene plasticidad, hiperelasticidad, larga deflexión, y grandes capacidades de esfuerzo [*Documentation for ANSYS, 2005*].

2. Definición de constantes reales *plane 183 thickness 0.001*
3. Definición de propiedades del material: Estructural, lineal, elástico e isotrópico, con modulo de Young 2.11×10^{11} [*ASM international, 2002*] y relación de Poisson 0.3 [*Bauccio 2004*].
4. Modelado: Para la generación del modelo a analizar mediante el MEF se desarrollo el programa para la generación de los puntos y líneas que definen la geometría de análisis, para cada uno de los modelos de análisis, una vez generado el programa se procedió a generar las áreas de análisis del modelo y el mallado.
5. Mallado: Se malló el modelo y se refinó la malla de análisis.

Cálculo:

1. Definición de restricciones y cargas: el modelo fue restringido en el área funcional de la palanca de armar, sección donde interactúa con el conjunto de cierre del arma, aplicando la fuerza de 22.94 N en la línea que cruza sobre el centro de masa del modelo, como se muestra en la Figura III.7.

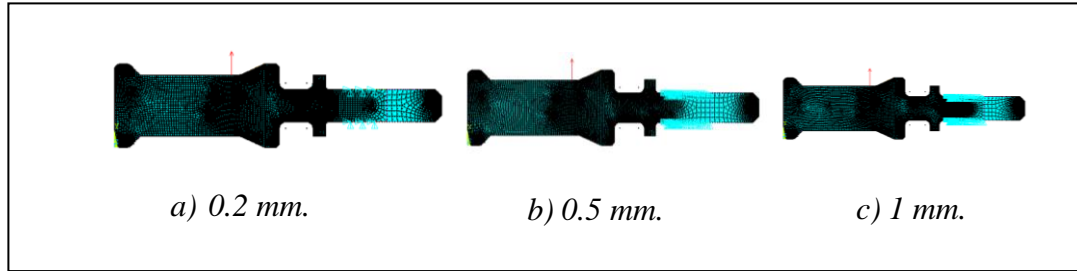
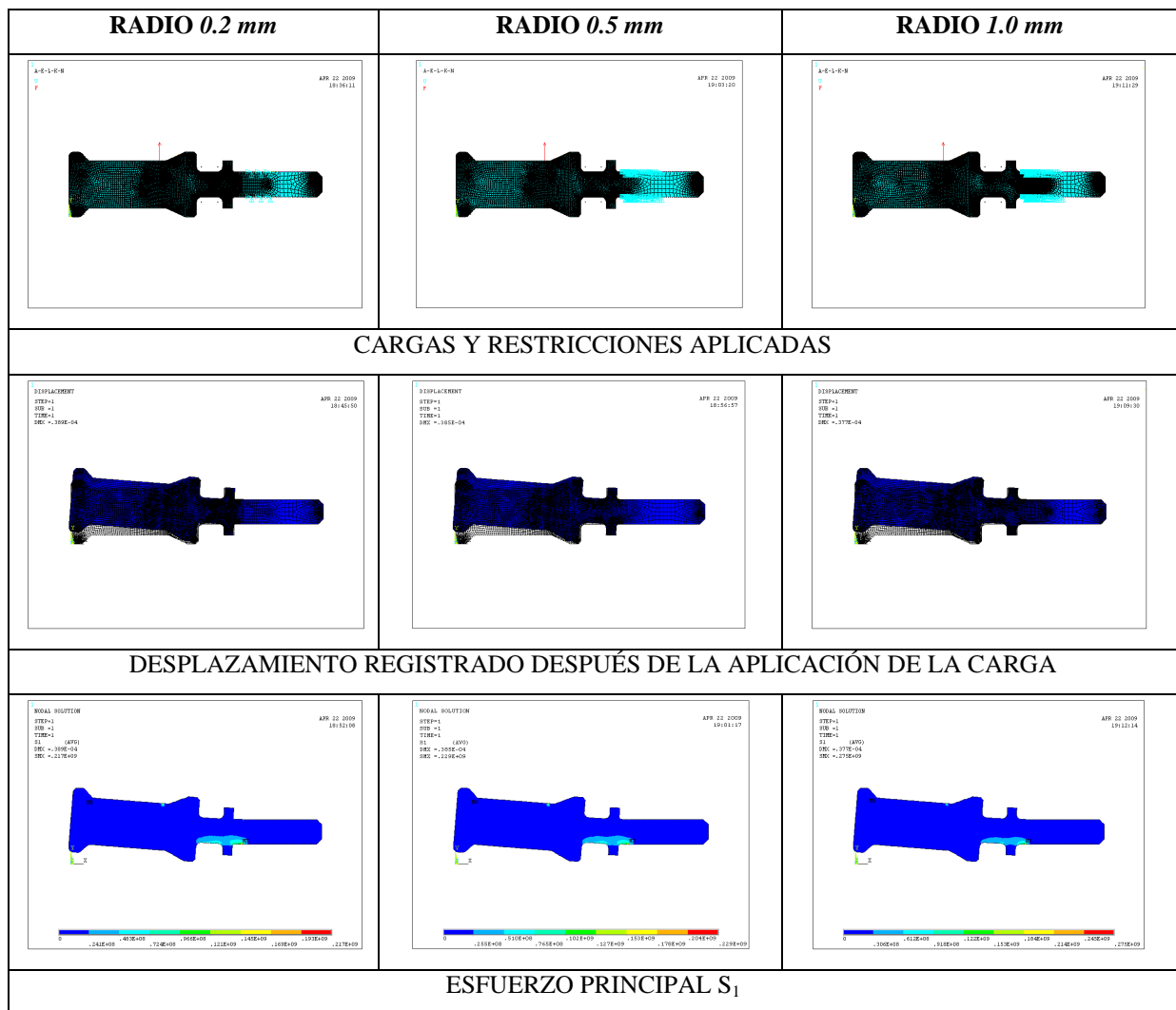
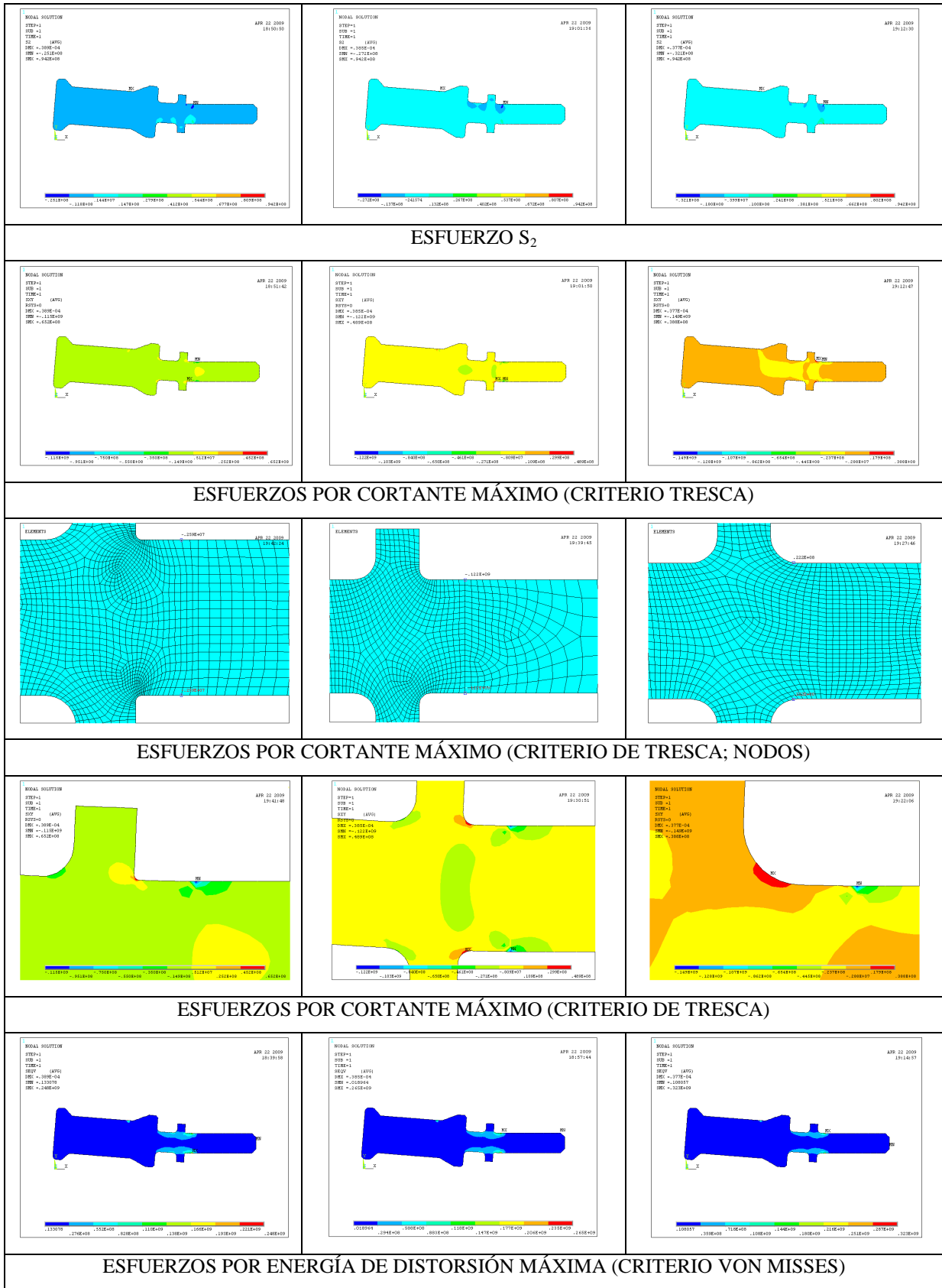


Figura III.7.- Condiciones de frontera y cargas aplicadas.

Post proceso: En esta etapa se analizaron los resultados de cada una de los modelos generados, obteniéndose los resultados que se muestran en la Figura III.8.





Análisis de esfuerzos y manufactura de la palanca de armar de un fusil de asalto.

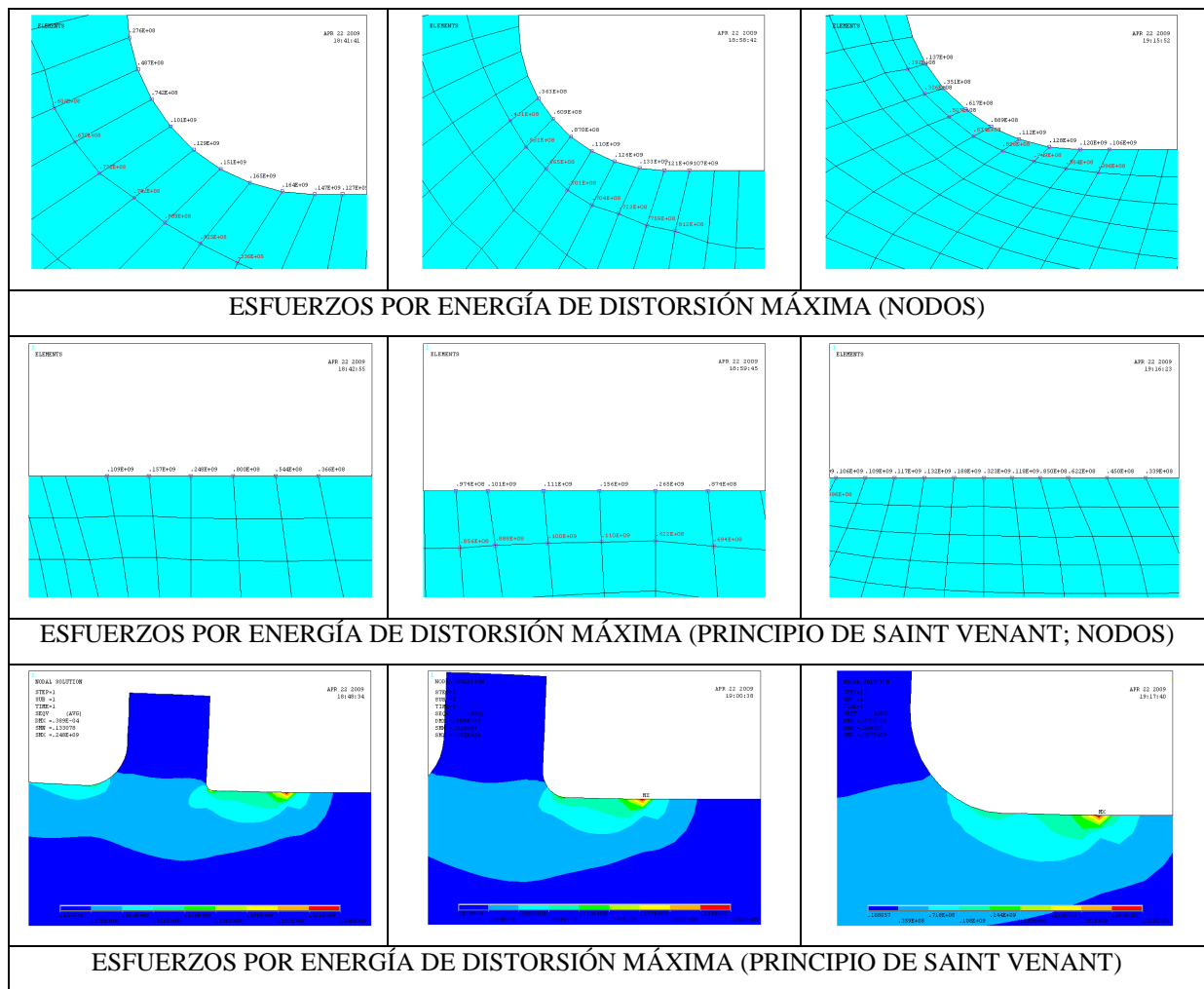


Figura III.8.- Resultados gráficos del análisis de esfuerzos.

III.3.7.- Análisis por cálculo analítico.

El cálculo analítico de esfuerzos para la palanca de armar se realizó considerando como punto crítico de concentración de esfuerzos el cambio de geometría, en la zona frontal de la pieza, considerando las resistencia del material de fabricación, y la geometría, auxiliándose de las Figuras II.3 y II.4 se logra conocer el esfuerzo promedio de resistencia de la pieza de acuerdo a la geometría diseñada, resultados que se indican y comparan en la Tabla III.3 donde se muestran los resultados de los esfuerzos promedio que soporta la pieza dependiendo de la geometría que tiene y comparación de los mismos en referencia al obtenido mediante el análisis por elementos finitos.

Tabla III.3.- Resultados de los esfuerzos promedio.

Datos para cálculo de esfuerzo por concentración de esfuerzos							Resultados analíticos	Resultados MEF	Comparación	
TIPO DE ANÁLISIS	No.	RADIO	D/d	r/d	K	σ_{max} (MPa)	σ_{prom} (MPa)	σ_{MAX} (MPa)	% de esfuerzo	F.S.
MOMENTO	1	0,2	1,9	0,04	2,5	500	200,0	165	83%	1,21
	2	0,3	1,9	0,06	2	500	250,0		0%	
	3	0,4	1,9	0,08	1,8	500	277,8		0%	
	4	0,5	1,9	0,1	1,7	500	294,1	133	45%	2,21
	5	0,6	1,9	0,12	1,6	500	312,5		0%	
	6	0,7	1,9	0,14	1,5 5	500	322,6		0%	
	7	0,8	1,9	0,16	1,5 1	500	331,1		0%	
	8	0,9	1,9	0,18	1,4 8	500	337,8		0%	
	9	1	1,9	0,2	1,4 5	500	344,8	128	37%	2,69
TENSIÓN	1	0,2	1,9	0,04	3,2	500	156,3	165	106%	0,95
	2	0,3	1,9	0,06	2,6	500	192,3		0%	
	3	0,4	1,9	0,08	2,1	500	238,1		0%	
	4	0,5	1,9	0,1	2	500	250,0	133	53%	1,88
	5	0,6	1,9	0,12	1,8	500	277,8		0%	
	6	0,7	1,9	0,14	1,7	500	294,1		0%	
	7	0,8	1,9	0,16	1,6 5	500	303,0		0%	
	8	0,9	1,9	0,18	1,6 2	500	308,6		0%	
	9	1	1,9	0,2	1,6	500	312,5	128	41%	2,44

III.4. – Desarrollo experimental.

Esta parte del trabajo de investigación describe la parte experimental aplicada a la palanca de armar diseñada. Después de mecanizar la pieza y con el fin de establecer el proceso de manufactura en lo que refiere al mejoramiento de las propiedades mecánicas de la pieza, se realizaron diferentes marchas de tratamiento térmico (temple), utilizando como medios de enfriamiento agua y aceite. Para el análisis metalográfico de las muestras se utilizó un microscopio *Marca Carl Zeiss Modelo Axio Scope A1* con software analizador de imágenes: *Axio Vision*.

La Figura III.9 muestra la metalografía realizada al acero AISI 1045 como materia prima bajo la siguiente presentación: Barra redonda $\varnothing 5/8''$ (15.875 mm) de diámetro, rolada en frío y normalizada, observándose fases ferrita-perlita (24,046%-71.98%) con una matriz perlítica y tamaño de grano de 10.24 [ASTM E 112 , 1999 y E1382, 2004].

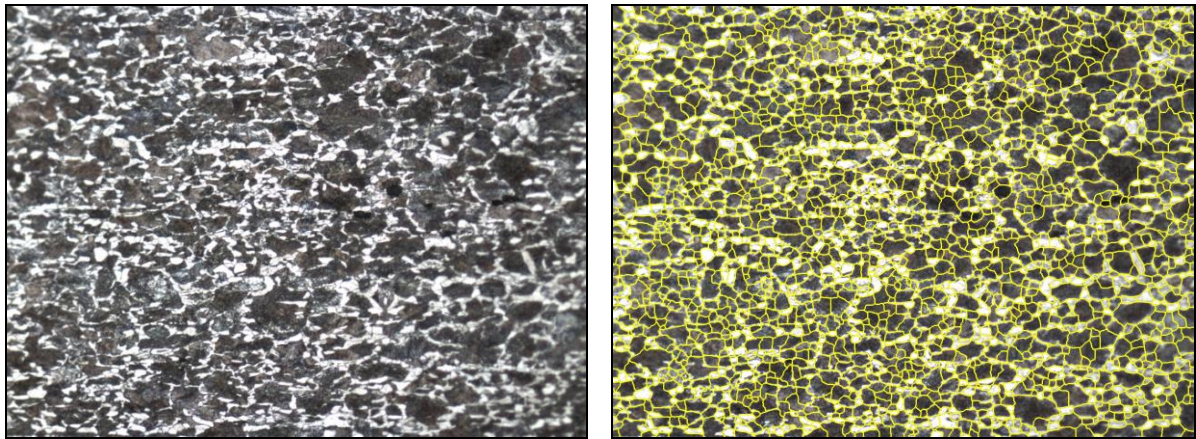


Figura III.9.- Microestructura del acero AISI 1045 como materia prima.

Aumentos 200x, Ataque: Nital No. 2

La Figura III.10 muestra la microestructura martensítica, del acero AISI 1045 templado y enfriado en a) aceite y b) en agua, con durezas de 55 y 60 HRC respectivamente; con base en el diagrama Tiempo-Temperatura-Transformación (TTT) del acero AISI 1045 [Vander, 1991].

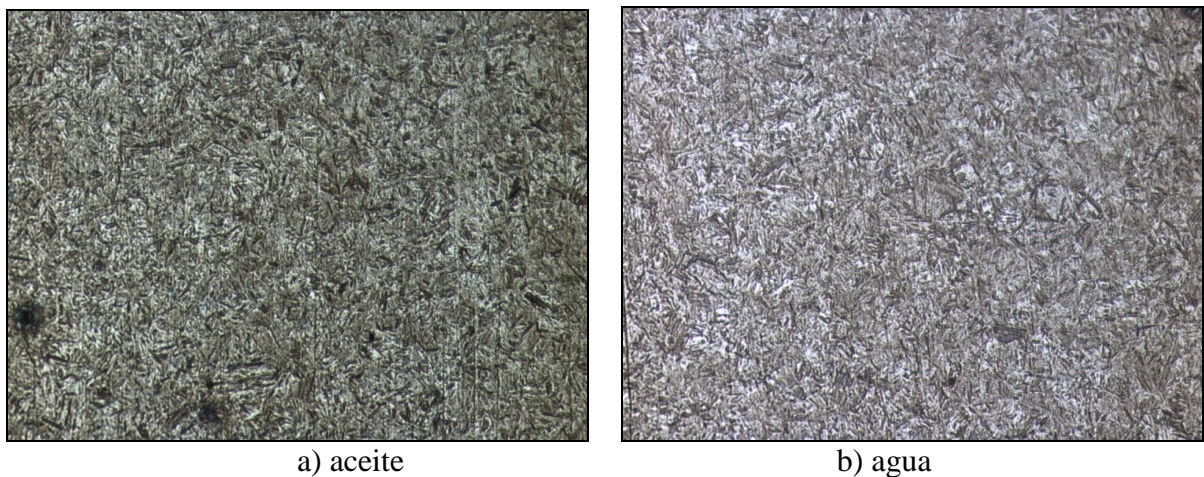


Figura III.10. - Microestructura del acero AISI 1045 templado al agua y aceite.

Aumentos: 500x, Ataque: Nital No. 2

Con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del material (ductilidad) se estableció la prueba de temple y revenido a una temperatura de austenizado de 850° C, un tiempo de permanencia de 15 minutos empleando como medio de enfriamiento agua y aceite (W12), y un revenido a 300° C durante 120 minutos, ajustando la dureza del material a 45+5 HRc.

En las piezas templadas y revenidas al agua se presentó la evolución de una falla en la zona del concentrador de esfuerzos, como se muestra en la Figura III.11, prolongándose esta falla en toda la sección longitudinal de la pieza.

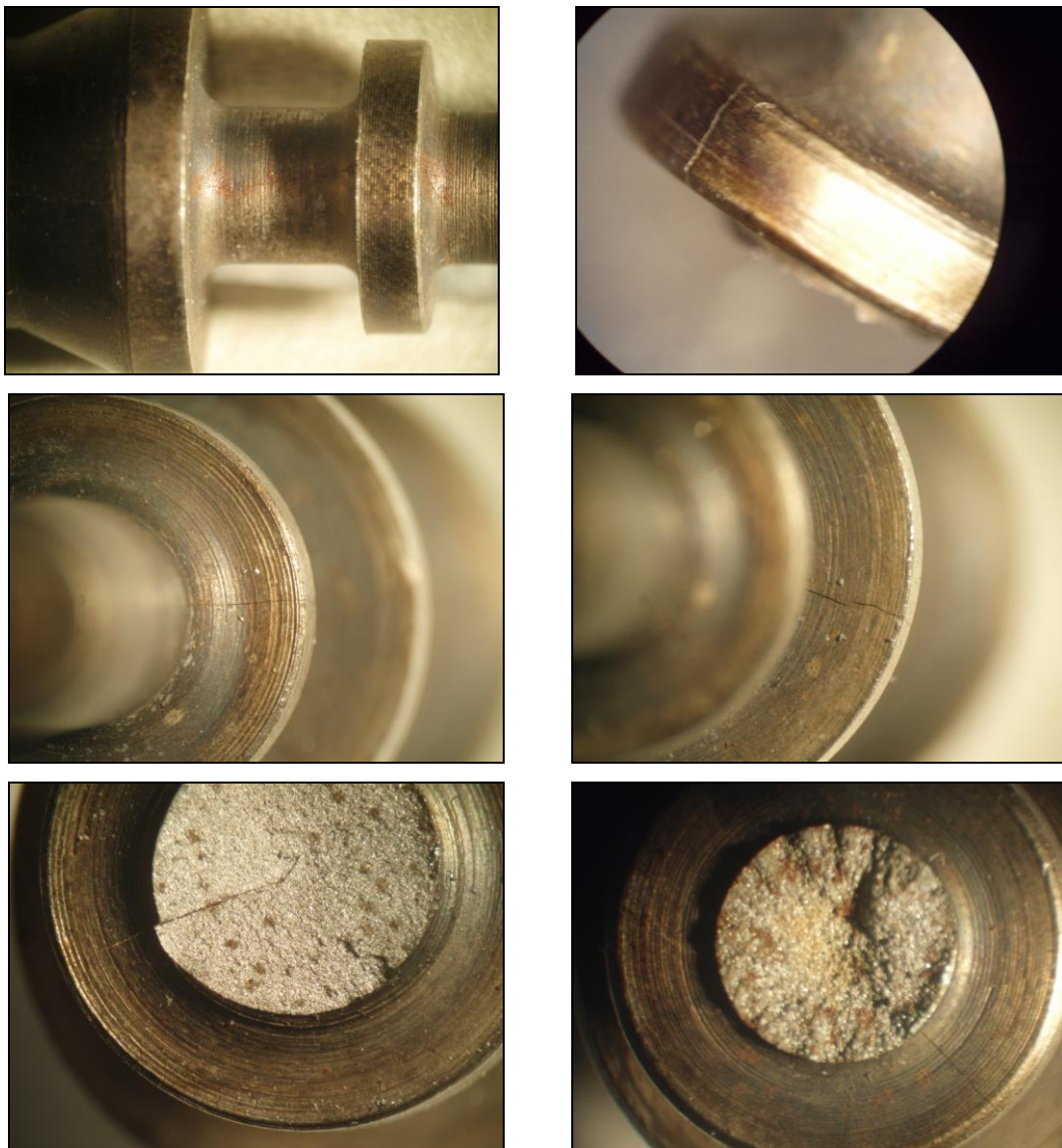


Figura III.11.- Evolución de la falla en la palanca de armar templada al agua.

En las piezas templadas y revenidas al aceite no se presentó ningún indicio de falla en la zona del concentrador de esfuerzos, como se muestra en la Figura III.12.

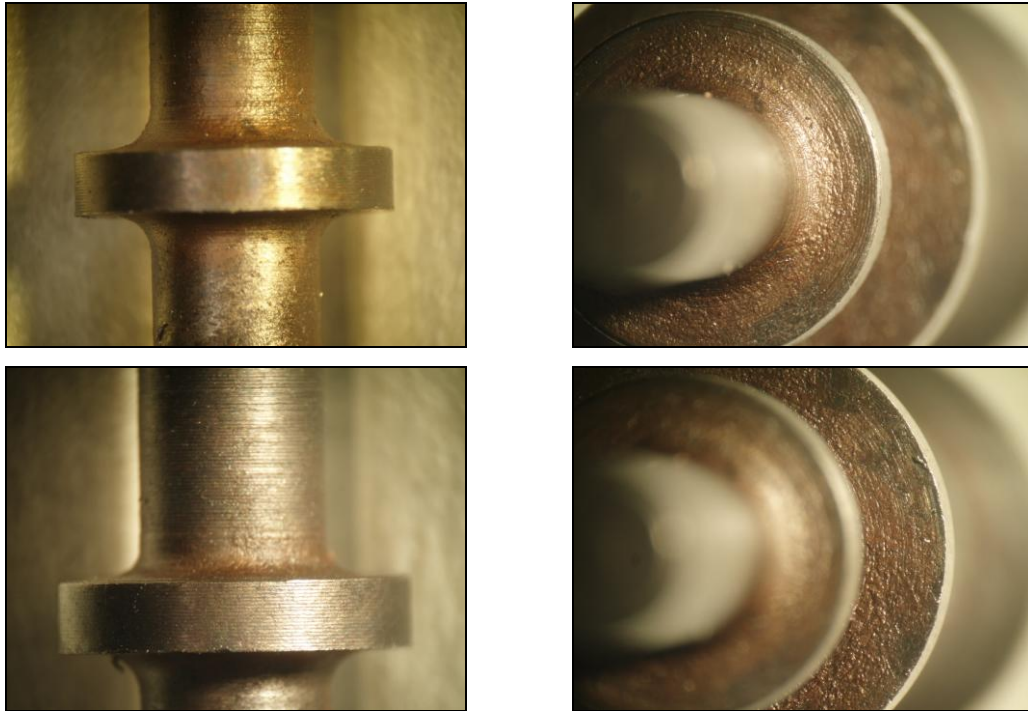


Figura III.12.- Palanca de armar templada y revenida sin indicios de falla.

La Figura III.13 ilustra la microestructura martensítica realizada al Acero AISI 1045 Templado y revenido al aceite, con contenidos de 19.043% de austenita retenida, 53.184% de martensita revenida y tamaño de grano 9.04 [ASTM E 112 , 1999 y E1382, 2004] en la zona del concentrador de esfuerzos.

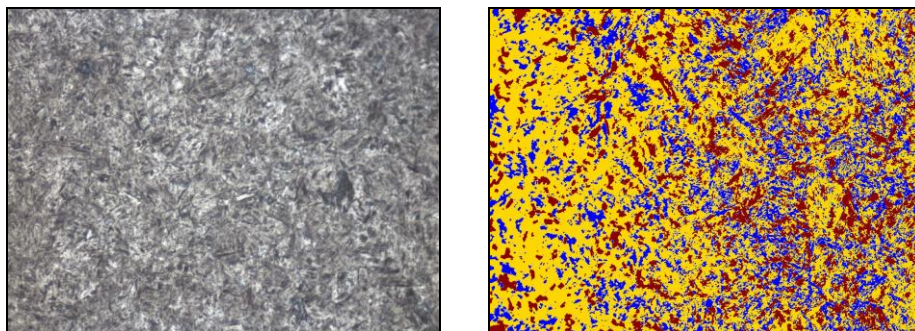


Figura III.13.-Microestructura del acero AISI 1045 templado y revenido al aceite.

Aumentos: 500x, Ataque: Nital No. 2.

III.5. - Análisis de resultados:

Se observa que el valor máximo de esfuerzo que se genera en la geometría de radio 0.2 mm es de 165 MPa , mientras que en la geometría de radio 1.0 mm es de 128 MPa , lo que representa un 18% menos de esfuerzo por factor de concentración de esfuerzos en el radio, de igual forma con base al cálculo analítico de los esfuerzos a tensión generados por el cambio de geometría este valor representa el 41% del valor calculado de manera analítica.

Por otra parte los esfuerzos generados a momento flector por concentración de esfuerzos soportan desde 200 MPa para el radio de 0.2 mm , hasta 344.8 MPa del radio 1.0 mm que comparados con el análisis realizado por MEF representa un 38% y un factor de seguridad de 2.69 a momento.

El valor máximo que soportará la pieza a tensión calculado analíticamente es de 156 MPa , y de acuerdo al análisis por MEF a un radio de 0.2 mm se sobrepasa este valor por un 6% , motivo que por el cual se determina el origen de la falla del componente; De los datos anteriormente descritos se observa que la falla generada, está provocada por los esfuerzos de tensión que se generan por la aplicación de la fuerza, falla que será subsanada aplicando un radio de 1.00 mm en la región de cambio de geometría, con un factor de seguridad de 2.44 a tensión.

En la Figura III.14 se muestra el gráfico del desplazamiento de las tres geometrías analizadas durante la aplicación de las cargas a las que está sometida la palanca de armar.

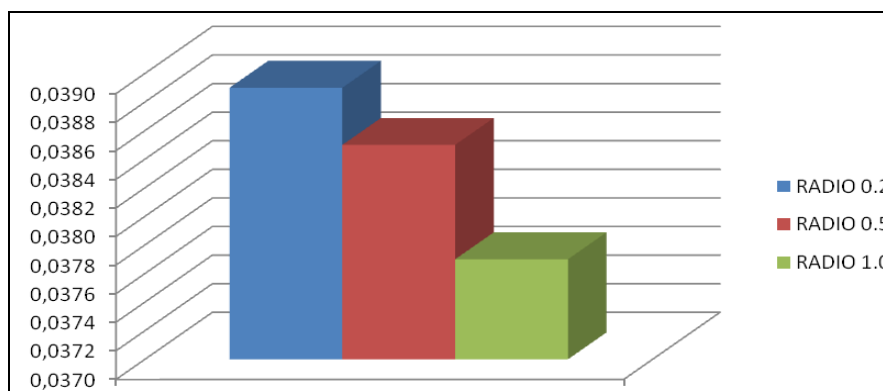


Figura III.14.- Gráfico del desplazamiento de la palanca de armar.

La Figura III.15 muestra los valores de los esfuerzos aplicados a lo largo de la zona de concentración de esfuerzos con base a la teoría de falla por energía máxima de distorsión.

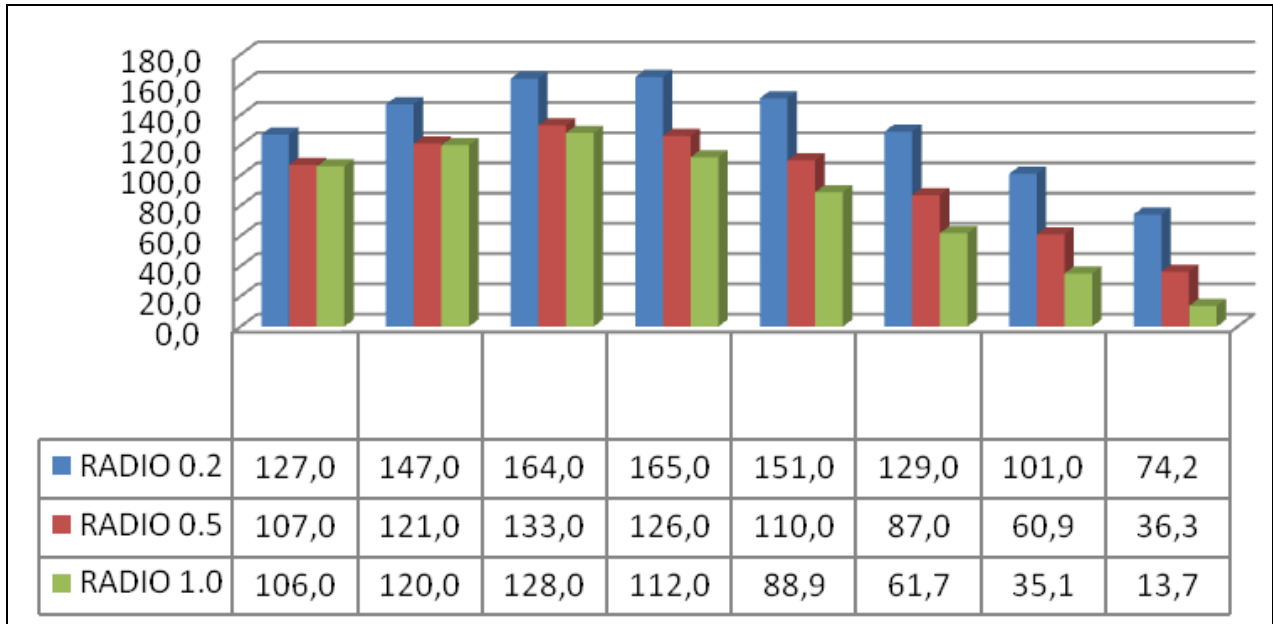


Figura III.15.- Valores de los esfuerzos aplicados a lo largo de la zona de concentración de esfuerzos.

La Figura III.16 muestra los valores de los esfuerzos registrados en por análisis en la zona que de restricción de cargas, mismos que son descartados por el principio de Saint Venant.

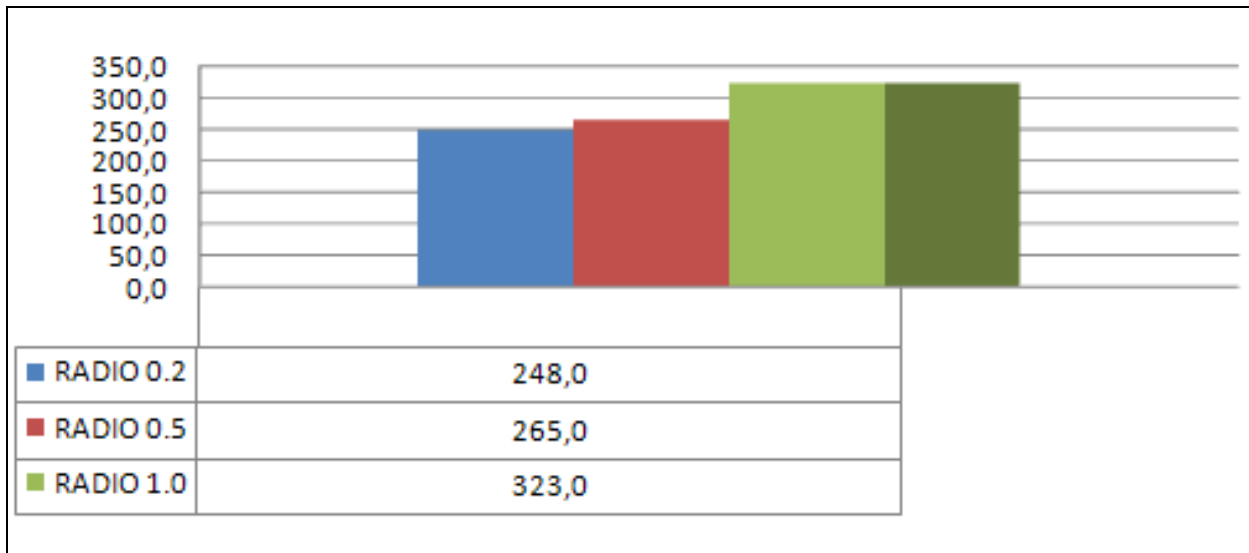


Figura III.16.- Valores de los esfuerzos en la zona de restricción de cargas.

La Figura III.17 muestra los valores de los esfuerzos SMN y SMX registrados en la zona de restricción de cargas.

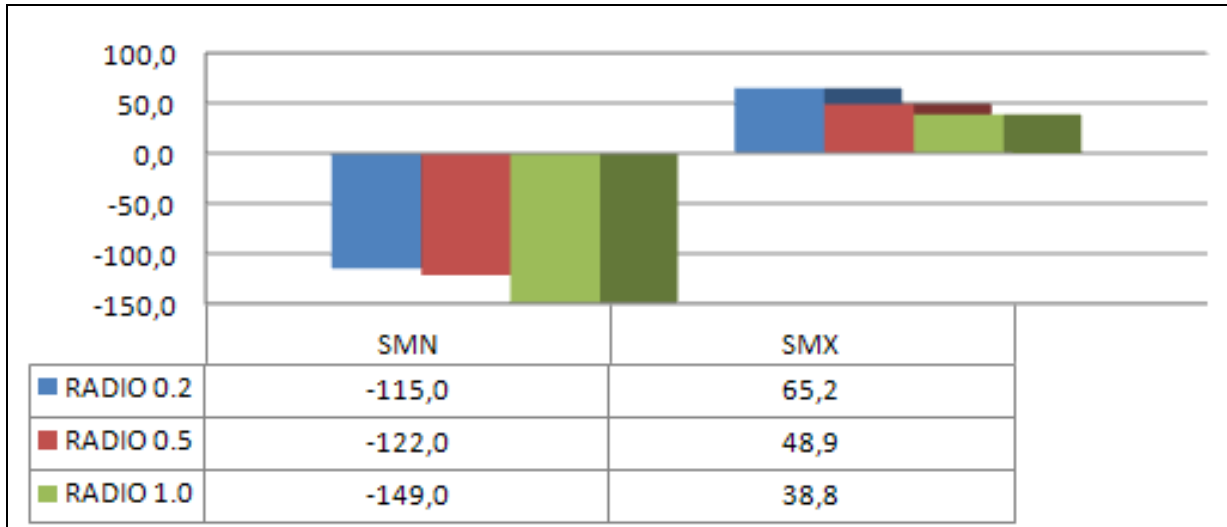


Figura III.17.- Valores de los esfuerzos mínimos y máximos (SMN y SMX).

La Figura III.18 muestra los valores de los esfuerzos principales S_1 y S_2 registrados en la zona de restricción de cargas.

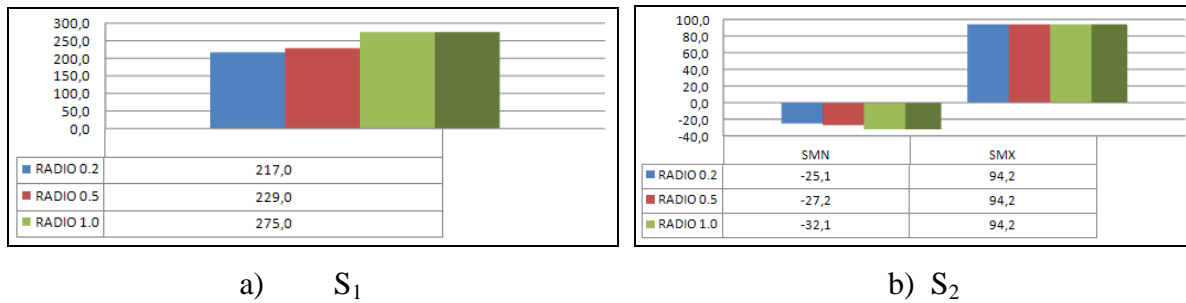


Figura III.18.- Valores de los esfuerzos principales S_1 y S_2 .

De igual forma se observa el efecto sobre la microestructura del material en la zona del concentrador de esfuerzos, reduciéndose hasta *9.04* en esta región, luego del templeado y revenido del material. Lo que afecta de manera directa sobre los esfuerzos a los que se somete la pieza durante su trabajo.

III.6.- Sumario.

En este capítulo se planteó la metodología del desarrollo experimental, la cual se aplicará para el desarrollo del Capítulo IV y por medio del cual será posible la manufactura de la pieza analizada y validada en su funcionamiento. Se describen cada uno de los pasos del análisis realizado preprocesamiento, solución y postprocesamiento.

Asimismo, se describe el tipo de elemento de análisis que se utilizó, las constantes, propiedades del material, como lo es la relación de *Poisson* y el módulo de *Young* del material, el modelaje de la parte, aplicación de las cargas y restricciones de funcionamiento.

En siguiente capítulo se desarrolla la fase de manufactura y desarrollo experimental de esta investigación, la cual está enfocada a la evaluación del costo y tiempos de procesamiento de la materia prima para obtener una pieza funcional y resistente a las condiciones de uso.

CAPÍTULO IV

MANUFACTURA Y ANÁLISIS DE COSTOS

IV.1.- Generalidades.

Para la fabricación óptima y eficiente de componentes, es necesario desarrollar su proceso de manufactura por lo que se debe considerar; la maquinaria, los tiempos de fabricación requeridos, el material y las tolerancias de diseño, así como las diferentes operaciones requeridas hasta obtener el producto final. Las fases del proceso de manufactura están íntimamente relacionadas unas de otras, a fin de producir la pieza conforme a especificaciones de diseño. Por lo que una vez que se desarrolló numéricamente el diseño de la palanca de armar en el Capítulo III, se establece, en ésta sección, el proceso de manufactura para la obtención de la pieza, que es uno de los objetivos de este trabajo de investigación.

IV.2.- Proceso de manufactura de la palanca de armar.

La manufactura de la palanca de armar (Figura IV.1) fue configurada en base a la capacidad instalada de la planta productora de armamento donde se desarrolló el modelo, y en la cual se manufacturará dicho componente, también se consideraron las especificaciones de diseño obtenidas para satisfacer las condiciones de uso de la palanca de armar, así como los dispositivos de sujeción y herramientas de corte disponibles en el mercado nacional; considerando además instrumentos de medición y calibres dimensionales de fácil empleo que faciliten el aseguramiento de la calidad del producto.

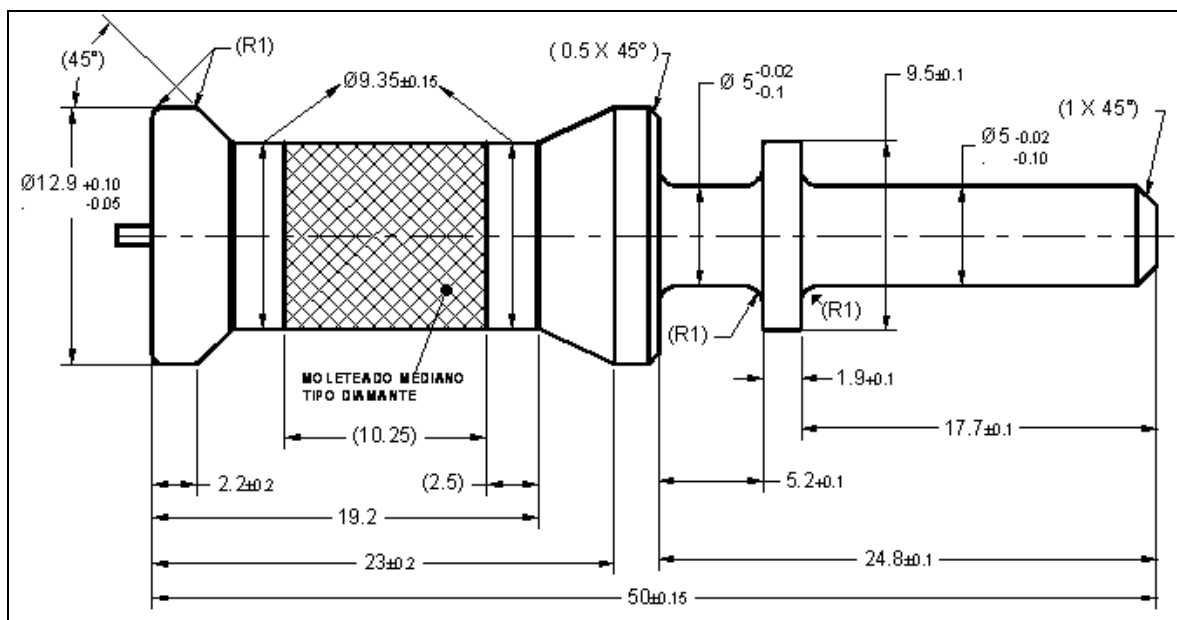


Figura IV.1.- Configuración de la palanca de armar.

Después del análisis del diseño se propone que el proceso de manufactura deba dividirse en 11 fases, siendo estas las que se muestran en la Tabla IV.1 donde se describen las secuencias de operaciones a seguir para obtener a partir de la materia prima la pieza terminada. Considerando la maquinaria a emplearse, dispositivos, accesorios de sujeción, herramienta de corte, marchas de trabajo, y condiciones de corte para las herramientas.

Tabla IV.1.- Hoja de ruta de las fases de operaciones para la palanca de armar.

Hoja de ruta		Materia prima:		Designación de la pieza.			
		BARRA REDONDA Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045		PALANCA DE ARMAR			
No. taller	No. de fase.	Descripción de la fase	Nombre y firma del operador	Hora y fecha	Tiempo de mecanizado (100 piezas).	Control	supervisó
TORNOS	05	TORNEAR FORMA, MOLETEAR Y TRONZAR PIEZA					
LIMADO	10	QUITAR APÉNDICE DE TRONZADO					
TROWAL	15	TROWALIZAR					
CONTROL	20	INSPECCIÓN INTERMEDIA					
TEMPLE	25	TEMPLAR Y REVENIR A 45 + 5 HRc					
LAVADO	30	LAVAR					
TEMPLE	35	COMPROBAR DUREZA A 45 + 5 HRc					
TROWAL	40	TROWALIZAR					
FOSFATO	45	FOSFATAR Y ACEITAR					
CONTROL	50	INSPECCIÓN FINAL					
ALMACEN	55	ALMACÉN DE PIEZAS TERMINADAS					
ELABORÓ:		REVISÓ:		AUTORIZÓ:		VALIDÓ:	
JEFE DE PRODUCCION		JEFE DE INGENIERÍA DE PROCESOS		JEFE DE FABRICA		JEFE DE DISEÑO	

En la Tabla IV.2 se indican la fase y operaciones a realizar en el taller de tornos, a fin de obtener la forma de la pieza y su moleteado.

Tabla IV.2.- Hoja de instrucciones a mecanizar en el taller de tornos.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.				
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR	05				
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia			
Descripción de la operación:	Materia prima:						
TORNEAR FORMA, MOLETEAR Y TRONZAR PIEZA	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045						
Diseño u observaciones sobre la fase							
Sentido de sujeción		Superficie de contacto	XXX	Mecanizado		Calidad de acabado	
No. de catálogo	Máquina: TORNO C.N.C	Tipo: CTX 410 V6		Núm. de almacenaje :			
No. de ident. / clave	Dispositivos: PINZA DE SUJECIÓN	No. de diseño / marca: BZ1 65 Ø20					
Herramientas							
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación		
VÉASE LISTA DE HERRAMIENTAS							
Calibres							
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar				
	PIE DE REY	0-150mm Res:0.01	Ø 12.9 (+0.1,-0.05), Ø 9.35 +0.15, Ø 9.5 ±0.1, 24.8 ±0.1, 23 ±0.1, 19.2 ±0.2, 50 ±0.15, 1.9 +0.1, 17.7 ±0.1, mm.				

Análisis de esfuerzos y manufactura de la palanca de armar de un fusil de asalto.

En la Tabla IV.3 se indican las herramientas a utilizar para la fase 05, así como las condiciones de corte óptimas para cada operación.

Tabla IV.3.- Hoja de instrucciones de las herramientas a utilizar en la fase 05.

Lista de herramientas		No. de identidad.		Número de fase.			
		Designación de la pieza.		PALANCA DE ARMAR		05	
		No. de diseño		Cota de ajuste		Tolerancia	
Descripción de la fase:		Materia prima:					
TORNEAR FORMA, MOLETEAR Y TRONZAR PIEZA		ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045					
CLAVE DE ALMACEN	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones / rango	Operación		
					r. p. m. (S)	avance (F)	
	PORTAINERTO PDJNL 2525M-15		ISCAR		CAREADO Y DESVASTE		
	INSERTO DNMG 150604 NN		LAMINA TECHNOLOGIES		CAREADO Y DESVASTE		
	Portainserto MVJNL 2525 M16		ISCAR		2000	F'.025	
	INSERTO VNMG 160404 NN		LAMINA TECHNOLOGIES		ACABADO		
	Portainserto PCHL 25 24		ISCAR		2500	F'.08	
	Inserto PENTA 24 N200 J100 IC908		ISCAR		RANURADO		
	MOLETEADOR MODULAR PARA MAQUINA C.N.C. ZANCO 25 mm		DORIAN TOOL		2500	F'.08	
	JUEGO DE MOLETAS 733101-26606 , 733101-26668		DORIAN TOOL		MOLETEADO		
	Portainserto HELIL 2525-3T20		ISCAR		500	F'.04	
	Inserto GRIP 3002Y IC908		ISCAR		TRONZADO		
					2500	F'.06	




En la Tabla IV.4 se establece la fase 10 que indica el retiro del apéndice de la pieza, producto del torneado.

Tabla IV.4.- Hoja de instrucciones de limado.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.		
	Designación de la pieza.		10		
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia	
Descripción de la fase:		Materia prima:			
QUITAR APÉNDICE DE TRONZADO		ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045			
Diseño u observaciones sobre la fase					
Sentido de sujeción		Superficie de contacto XXX	Mecanizado	Calidad de acabado	
No. de catálogo	Máquina: lijadora de banda		Tipo: Manual	Núm. de almacenaje :	
No. de ident. / clave	Dispositivos:		No. de diseño / marca:		
Herramientas					
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación
	Lija cinta				
Calibres					
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar		
	PIE DE REY	0-150mm Res:0.01	50 ±0.15 mm.		

En la Tabla IV.5 se establece la fase 15 que indica la operación de trowalizado, para retirar la rebaba de las aristas de la pieza, empleando materiales cerámicos de contacto que remueven el material dentro de las tómbolas mediante vibración.

Tabla IV.5.- Hoja de instrucciones de primer trowalizado.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.			
	Designación de la pieza.		PALANCA DE ARMAR			
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia		
Descripción de la fase:		Materia prima:				
TROWALIZAR		ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045				
Diseño u observaciones sobre la fase						
Tipo de trat.	Núm. de piezas	Cuerpos de rectificar	Agentes	Adición en agua (Lts.)	r.p.m.	Tiempo de operación (Hrs.)
1		Piedra cerámica triangular de 6 X 6 mm	Desengrasante industrial		600	30 Minutos
1 = rectificado previo, rebabado 2 = rectificado de acabado, clarear 3 = abrillantar, pulir						
Sentido de sujeción		Superficie de contacto X X X	Mecanizado 	Calidad de acabado 		
No. de catálogo	Máquina: Vibrador		Tipo: Circlon		Núm. de almacenaje :	
No. de ident. / clave	Dispositivos:		No. de diseño / marca:			
Herramientas						
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación	
	Piedra cerámica triangular de 6 X 6 mm					
Calibres						
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar			

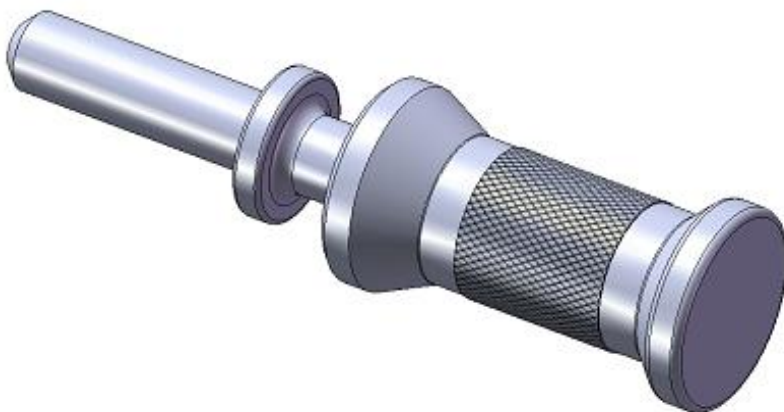
En la Tabla IV.6 se indican las medidas a comprobar en el área de control de calidad a fin de verificar que el proceso se lleve a cabo como se indica en las fases previas, indicando además los instrumentos de medición y calibres que se utilizan para esta inspección.

Tabla IV.6.- Hoja de instrucciones de inspección intermedia.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.	
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR	20	
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia
Descripción de la fase:	Materia prima:			
INSPECCIÓN INTERMEDIA	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045			
Diseño u observaciones sobre la fase				
Sentido de sujeción	Superficie de contacto	XXX	Mecanizado	Calidad de acabado
No. de catálogo	Máquina:	Tipo: Manual		Núm. de almacenaje :
No. de ident. / clave	Dispositivos:	No. de diseño / marca:		
Herramientas				
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar	
	PIE DE REY	0-150mm Res:0.01	Ø 12.9 (+0.1,-0.05), Ø 9.35 +0.15, Ø 9.5 ±0.1, 24.8 ±0.1, 23 ±0.1, 19.2 ±0.2, 50 ±0.15, 1.9 +0.1, 17.7 ±0.1, 50 ±0.15 mm.	
Calibres				
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar	
	Pasa – No pasa		Ø 5.00 -0.02 – 0.10	

En la Tabla IV.7 se indica el tratamiento térmico que habrá de aplicársele a la pieza con el objeto de mejorar sus características mecánicas, en esta fase 25 se indica la marcha del tratamiento térmico, indicando los tiempos y temperaturas que provocarán el cambio estructural del material.

Tabla IV.7.- Hoja de instrucciones de tratamiento térmico.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.		
	Designación de la pieza.		PALANCA DE ARMAR		
	No. de diseño		25		
Descripción de la fase:		Materia prima:		Cota de ajuste	Tolerancia
TEMPLAR Y REVENIR A 45 + 5 HRC		ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045			
Diseño u observaciones sobre la fase					
					
No. Sec.	Descripción	Dispositivo	Agente	Temp. °C	Tiempo h/min
1	TEMPLAR	HORNO PARA TEMPLAR EN BAÑO DE SALES	GS 540/R2	850	15 minutos
2	ENFRIAR	HORNO DE TEMPLAR EN BAÑO CALIENTE	AS-140	180	10 minutos
3	LAVAR	PLANTA DE LAVADO	ENBOND F1	80	30 minutos
4	REVENIR	HORNO DE ATMÓSFERA CIRCULANTE	W12	300	120 minutos
Observaciones:					

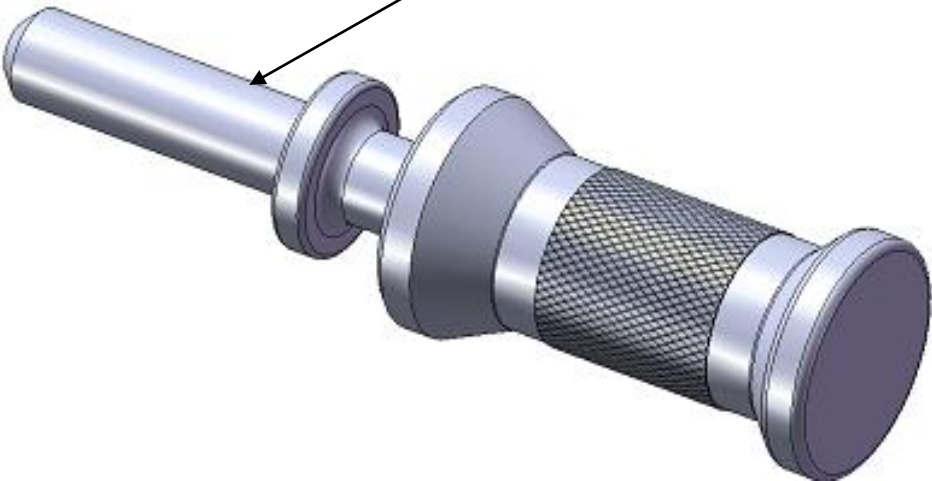



En la Tabla IV.8 se indica el método de limpieza que se le deberá hacer a la pieza, posterior al tratamiento térmico y previo al tratamiento superficial.

Tabla IV.8.- Hoja de instrucciones de lavado.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.																					
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR	30																					
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia																				
Descripción de la fase:	Materia prima:																							
LAVADO	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045																							
Diseño u observaciones sobre la fase																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Operación</th> <th>Sustancia</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (min.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Lavado</td> <td>Desengrasante industrial</td> <td>60-80</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Enjuague</td> <td>Agua fría</td> <td>Ambiente</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Secado</td> <td>-</td> <td>Ambiente</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>					No.	Operación	Sustancia	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	1	Lavado	Desengrasante industrial	60-80	15	2	Enjuague	Agua fría	Ambiente	1	3	Secado	-	Ambiente	-
No.	Operación	Sustancia	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)																				
1	Lavado	Desengrasante industrial	60-80	15																				
2	Enjuague	Agua fría	Ambiente	1																				
3	Secado	-	Ambiente	-																				
No. de catálogo	Máquina: Tinas de lavado	Tipo: Ultrasonido		Núm. de almacenaje :																				
No. de ident. / clave	Dispositivos: Canastilla metálica	No. de diseño / marca:																						
Observaciones																								




En la Tabla IV.9 se indica el punto de inspección de dureza de la pieza con el objeto de comprobar la efectividad del tratamiento térmico aplicado al material.

Tabla IV.9.- Hoja de Instrucciones para la comprobación de dureza.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.		
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR	35		
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia	
Descripción de la	Materia prima:				
COMPROBAR DUREZA A 45 + 5	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045				
Diseño u observaciones sobre la fase					
Ilustración de la pieza: PUNTO DE INSPECCIÓN					
					
Sentido de sujeción		Superficie de	Mecanizado 	Calidad de acabado 	
No. de catálogo	Máquina: Durómetro	Tipo: De penetración	Núm. de almacenaje :		
No. de ident. / clave	Dispositivos:	No. de diseño / marca:			
Herramientas					
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación
	Diamante cónico			120º	
Observaciones:					




En la Tabla IV.10 se indica la fase 40 que indica una segunda operación de trowalzado, con el objeto de preparar la pieza para los tratamientos superficiales y presentación de la misma.

Tabla IV.10.- Hoja de instrucciones de segundo trowalzado.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.				Número de fase.	
	Designación de la pieza.		PALANCA DE ARMAR		40	
	No. de diseño				Cota de ajuste	Tolerancia
Descripción de la fase:		Materia prima:				
TROWALIZAR		ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045				
Diseño u observaciones sobre la fase						
Tipo de trat.	Núm. de piezas	Cuerpos de rectificar	Agentes	Adición en agua (Lts.)	r.p.m.	Tiempo de operación (Hrs.)
1		Piedra cerámica triangular de 6 X 6 mm	Desengrasante industrial		600	30 Minutos
1 = rectificado previo, rebabado 2 = rectificado de acabado, clarear 3 = abrillantar, pulir						
Sentido de sujeción		Superficie de contacto X X X	Mecanizado 	Calidad de acabado 		
No. de catálogo	Máquina: Vibrador		Tipo: Circlon		Núm. de almacenaje :	
No. de ident. / clave	Dispositivos:		No. de diseño / marca:			
Herramientas						
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación	
	Piedra cerámica triangular de 6 X 6 mm					
Calibres						
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar			

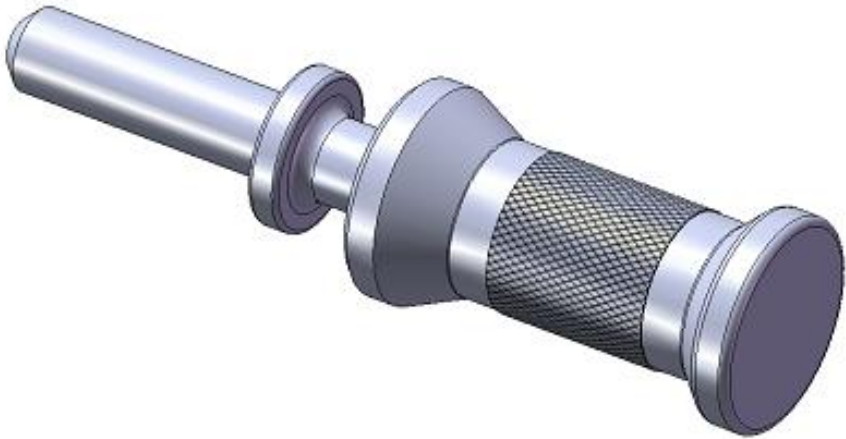



En la Tabla IV.11 se indica la el proceso de fosfatizado y aplicación de aceite conservador a la pieza ya terminada.

Tabla IV.11.- Hoja de instrucciones de fosfatizado y aceitado.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.																																				
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR		45																																			
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia																																			
Descripción de la fase:	Materia prima:																																						
FOSFATAR Y ACEITAR	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045																																						
Diseño u observaciones sobre la fase																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Operación</th> <th>Sustancia</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (min.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Desengrasar</td> <td>Desengrasante alcalino</td> <td>75-80</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Enjuague caliente</td> <td>Agua caliente</td> <td>50-60</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Refinador de cristal</td> <td>Acondicionador</td> <td>Ambiente</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Fosfatar</td> <td>Fosfato de manganeso</td> <td>90-95</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Enjuague</td> <td>Agua fría</td> <td>Ambiente</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Aceitado</td> <td>Aceite emulsionable</td> <td>71</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>					No.	Operación	Sustancia	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	1	Desengrasar	Desengrasante alcalino	75-80	15	2	Enjuague caliente	Agua caliente	50-60	1	3	Refinador de cristal	Acondicionador	Ambiente	2	4	Fosfatar	Fosfato de manganeso	90-95	15	5	Enjuague	Agua fría	Ambiente	2	6	Aceitado	Aceite emulsionable	71	1
No.	Operación	Sustancia	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)																																			
1	Desengrasar	Desengrasante alcalino	75-80	15																																			
2	Enjuague caliente	Agua caliente	50-60	1																																			
3	Refinador de cristal	Acondicionador	Ambiente	2																																			
4	Fosfatar	Fosfato de manganeso	90-95	15																																			
5	Enjuague	Agua fría	Ambiente	2																																			
6	Aceitado	Aceite emulsionable	71	1																																			
Sentido de sujeción		Superficie de contacto XXX	Mecanizado 	Calidad de acabado 																																			
No. de catálogo	Máquina: Tinas de Fosfato		Tipo: Tinas cubicas	Núm. de almacenaje :																																			
No. de ident. / clave	Dispositivos: Canastilla metálica		No. de diseño / marca:																																				
Herramientas																																							
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación																																		

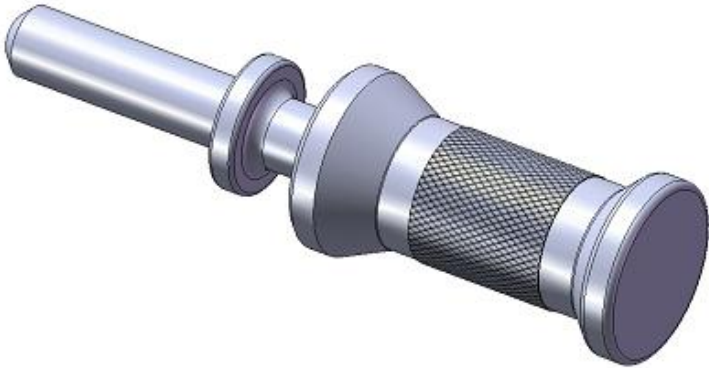



En la Tabla IV.12 se muestran los atributos que visualmente deberá cumplir la pieza una vez que se concluyen las operaciones anteriormente descritas, con el objeto de que la pieza ingrese al almacén de piezas terminadas para su uso posterior.

Tabla IV.12.- Hoja de instrucciones para la inspección final.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.		
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR	50		
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia	
Descripción de la fase:	Materia prima:				
INSPECCIÓN FINAL	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045				
Diseño u observaciones sobre la fase					
Verificar que el fosfato sea homogéneo, que no presente rebabas, ni le falten operaciones por realizar. 					
Sentido de sujeción		Superficie de contacto XXX	Mecanizado 	Calidad de acabado 	
No. de catálogo	Máquina: VISUAL	Tipo: Manual		Núm. de almacenaje :	
No. de ident. / clave	Dispositivos:	No. de diseño / marca:			
Herramientas					
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación
Calibres					
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar		

En la Tabla IV.13 se define la situación que guardarán las piezas una vez que han pasado por las fases de procesamiento a fin de que la parte se considere como producto terminado y sea utilizado para la función para la cual ha sido diseñado, cumpliendo con las características dimensionales, de presentación y con las propiedades anteriormente descritas.

Tabla IV.13.- Hoja de instrucciones para el almacenamiento de piezas terminadas.

Hoja de instrucciones.	No. de identidad.		Número de fase.		
	Designación de la pieza.	PALANCA DE ARMAR		55	
	No. de diseño		Cota de ajuste	Tolerancia	
Descripción de la fase:	Materia prima:				
ALMACEN DE PIEZAS TERMINADAS	ACERO REDONDO Ø 5/8" (15.875 mm) AISI 1045				
Diseño u observaciones sobre la fase					
					
Sentido de sujeción		Superficie de contacto X X X	Mecanizado 	Calidad de acabado 	
No. de catálogo	Máquina:	Tipo:		Núm. de almacenaje :	
No. de ident. / clave	Dispositivos:	No. de diseño / marca:			
Herramientas					
No. de identidad	Designación	No. de diseño	Marca	Dimensiones/ rango	Operación
Calibres					
No. de identidad	Designación	No. diseño / rango	Secuencia de medidas a comprobar		

IV.3.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura.

En el Figura IV.2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de manufactura propuesto para la fabricación de la pieza, en el que se indica la secuencia de los talleres que intervienen en la fabricación de la palanca de armar.

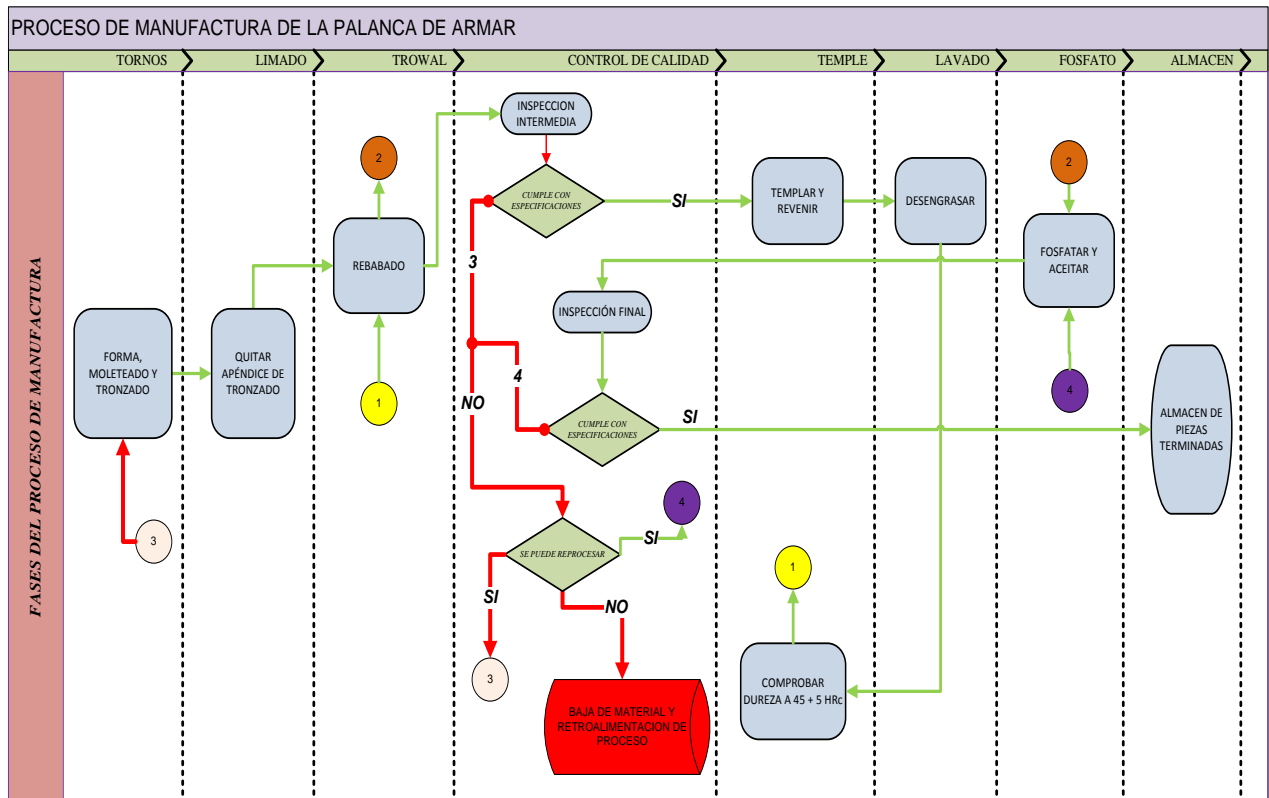


Figura IV.2.- Diagrama de flujo del proceso de manufactura.

IV.4.- Costos de fabricación.

Con el proceso de fabricación anteriormente descrito en este Capítulo IV, se proyecta una producción en serie de 10,000 componentes, lotificados en 100 lotes de 100 piezas cada uno. En la Tabla IV.14 se muestra el cálculo efectuado para la determinación del costo unitario de producción de la palanca de armar, en el que se consideró el tiempo ciclo para cada operación del proceso, así como el costo por minuto de operador y de maquinaria, lo que genera un costo de manufactura unitario, además del costo de la materia prima a utilizarse en cada operación, misma que sumada al costo de manufactura unitario de las operaciones producen un costo total

unitario por operación que genera el costo total de manufactura, estimándose en \$13.42 M.N. por pieza a producirse.

Tabla IV.14.- Cálculo de costo unitario de la fabricación de la palanca de armar.

TALLER	T. CICLO UNITARIO (MIN)	COSTO MINUTO OPERADOR	COSTO MAQUINARIA (MIN)	MATERIA PRIMA	COSTO MANUFACTURA UNITARIO	COSTO TOTAL UNITARIO
TORNOS	3	\$ 0,91	\$0,49	\$ 1,950	\$ 4,200	\$ 6,15
LIMADO	0,1	\$ 0,91	\$0,05	\$ 0,050	\$ 0,096	\$ 0,15
TROWAL	0,3	\$ 0,91	\$0,29	\$ 0,500	\$ 0,360	\$ 0,86
CONTROL	0,3	\$ 0,91	\$0,05	\$ -	\$ 0,288	\$ 0,29
TEMPLE	2,05	\$ 0,91	\$0,58	\$ 0,500	\$ 3,055	\$ 3,55
LAVADO	0,02	\$ 0,91	\$0,02	\$ 0,050	\$ 0,019	\$ 0,07
DUREZA	0,2	\$ 0,91	\$0,04	\$ 0,120	\$ 0,190	\$ 0,31
TROWAL	0,3	\$ 0,91	\$0,29	\$ 0,500	\$ 0,360	\$ 0,86
FOSFATO	0,35	\$ 0,91	\$0,49	\$ 0,500	\$ 0,490	\$ 0,99
CONTROL	0,2	\$ 0,91	\$0,05	\$ -	\$ 0,192	\$ 0,19
ALMACÉN	0,0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	6,82	\$ 0,91	\$2,35	\$ 4,170	\$ 9,249	\$ 13,42

Se considera que la fabricación de 10,000 componentes se puede evacuar en un periodo de trabajo de 30 días considerando una productividad del 70% en base al tiempo de fabricación mayor que es el de la fase de torneado.

IV.5.- Programación.

Para la fase 05 del proceso de fabricación se empleará un torno de control numérico marca *GILDEMEISTER* Modelo *CTX-410V6* con control numérico *SIEMENS 840D* con *SHOP TURN*, debiendo emplear el programa C.N. que se muestra en el anexo 6.

IV.6.- Pruebas de funcionamiento.

Se realizaron pruebas de funcionamiento a 100 muestras de palancas de armar de radio 1.0 mm conforme al diseño analizado por método analítico y MEF, mismas que soportaron en promedio 1000 disparos cada una, limite que se fijó como meta en el desempeño de la pieza, obteniéndose resultados satisfactorios durante su desempeño, con lo que se valida el método utilizado para el cálculo de los esfuerzos a los que está sometida la pieza, mientras que las palancas de armar con radio 0.2 mm presentaron fractura prematura durante su funcionamiento como se indica en la Figura IV.3.

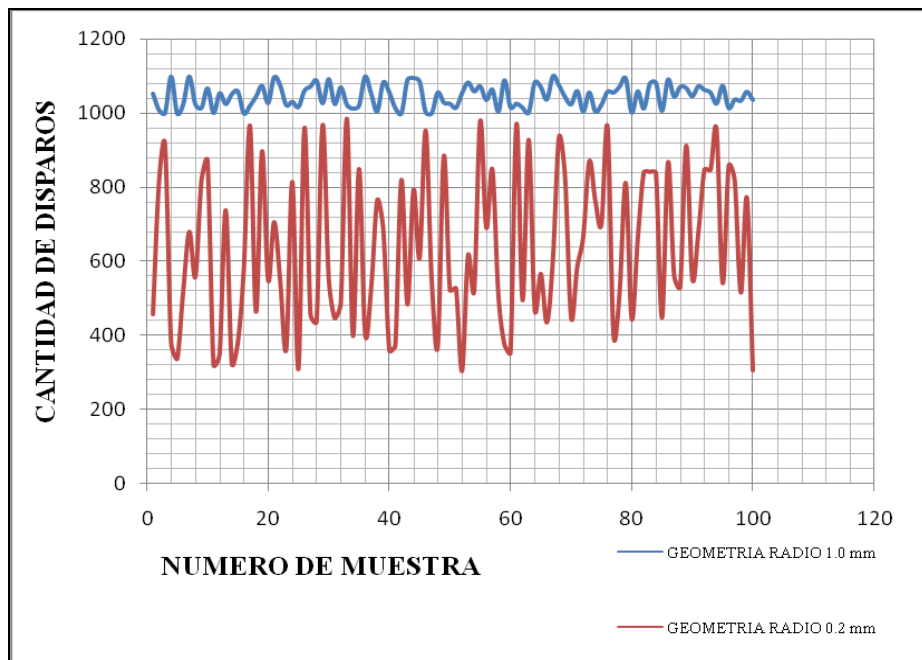


Figura IV.3.- Grafico del desempeño de la palanca de armar en pruebas de funcionamiento.

IV.7.- Sumario.

El capítulo IV trató sobre el proceso de manufactura de la palanca de armar analizada, indicando fase a fase las operaciones, herramientas, dispositivos y condiciones generales que transformarán la materia prima en una pieza terminada, funcional y robusta, capaz de soportar las condiciones de trabajo para la cual fue diseñada, además se muestra un diagrama de flujo que sintetiza todo el proceso de fabricación y el flujo del material a través de los diversos talleres involucrados en la fabricación de este tipo de componentes

Una parte importante de la fabricación de elementos, luego de su funcionalidad, y diseño es el costo de fabricación, el tiempo y cantidad de piezas a fabricar, considerándose estos rubros, dentro del presente capítulo, además de mostrar el programa a emplearse en el mecanizado de la pieza, en un Torno con Control numérico Siemens 840D con Shop Turn.

La principal aplicación de los conceptos mostrados en el Capítulo IV son la rapidez de la fabricación, y el bajo costo de fabricación, gracias al empleo de maquinaria de avanzada tecnología, y la rapidez de los procesos que le preceden, facilitando la acumulación y rápida evacuación del material, en cada uno de estos.

De igual forma, se puede observar que las características de diseño elegante, han sido cumplidas satisfactoriamente, siguiendo el contexto del presente trabajo, haciendo un elemento fuerte, robusto y funcional.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En el diseño mecánico de componentes es de suma importancia considerar e investigar sobre los diversos factores que actúan en un material, los cuales modifican su capacidad para soportar cargas. En este sentido, en este trabajo se lleva a cabo una investigación referente al factor de concentración de esfuerzos y las teorías de falla de componentes. Además de tratar de descifrar el proceso de manufactura adecuado para el mecanismo diseñado, mismo que deberá ser rápido y de bajo costo. Los tópicos mencionados anteriormente, por lo regular son desprecian cuando se desarrolla el diseño mecánico de un componente. Sin embargo, juegan un papel muy importante en el resultante de su vida útil.

Para sentar las bases teóricas de esta investigación, se desarrolló la revisión bibliográfica correspondiente a la historia, evolución y los mecanismos que componen a los fusiles de asalto, donde se logró establecer el antecedente histórico del problema a resolver, y se adquirieron los conocimientos necesarios para culminar satisfactoriamente este proyecto.

Como complemento de los conceptos antes mencionados, en esta investigación se emplearon las teorías de falla. De estas, se aprovechan la falla por esfuerzo cortante máximo y la falla por energía de distorsión máxima. Además de estudió el factor de concentración de esfuerzos por cambios geométricos de la parte.

En una primera etapa del proyecto, fue necesario comprender perfectamente los conceptos de teorías de falla y concentración de esfuerzos. Otro aspecto importante fue conocer los métodos de manufactura diversos que pudieran ser de utilidad para la fabricación de la pieza. En esta investigación se utilizó el MEF, que es un método numérico basado en la transformación de un

cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado método experimental desarrollado recientemente. Otra ventaja de la utilización del MEF es que para permite evaluar el comportamiento de los componentes de una manera rápida y económica, con resultados realmente aproximados a la realidad, mismos que pudieron ser comprobados mediante el cálculo analítico de la pieza.

En este proyecto, fue indispensable evaluar numéricamente el desempeño de la palanca de armar de un fusil de asalto, dado que hasta ahora sólo ha sido evaluada experimentalmente y no se sabe de una evaluación numérica. Para evaluar el componente se aplicó el MEF, dado que de esta manera se pueden reproducir en forma óptima e ideal las condiciones en que se desarrolla experimentalmente. La evaluación numérica se realizó bajo diferentes condiciones geométricas de la palanca de armar, tanto por el MEF y por el método analítico. En todos los casos los esfuerzos obtenidos de manera analítica fueron similares a los obtenidos por el MEF siendo posible determinar el óptimo comportamiento de la pieza diseñada así como la ubicación de la zona que más esfuerzos soporta, el cual es un dato requerido para diseñar la pieza. Con los resultados obtenidos de la evaluación numérica del MEF se ha logrado comprobar la valiosa utilidad de este método en problemas de resistencia de materiales y de diseño de partes. Además de cumplir con los objetivos fijados en este trabajo de investigación que fueron la determinación de los esfuerzos a los que se somete la palanca de armar de un fusil de asalto, determinar su buen diseño, certificando así; su desempeño.

La parte complementaria de este trabajo de tesis, está relacionada con el proceso de fabricación y los costos de producción de la pieza.

TRABAJOS FUTUROS

TRABAJO FUTUROS.

Es importante que esta investigación, la cual se enfoca a la determinación de los esfuerzos a los que se someten los componentes y mecanismos de armamento mantenimiento y al proceso de manufactura de los mismos y que en esta investigación se realizó en la palanca de armar de un fusil de asalto se complemente en trabajos que deberán realizarse a futuro. Entre los cuales se recomienda:

- Aplicar el Método del Elemento Finito en todos los componentes y mecanismos de un fusil de asalto, a fin de garantizar el correcto funcionamiento de cada elemento sustentando este funcionamiento en bases científicas y fenómenos físicos.
- Análisis de la estructura metalográfica, mediante microscopio de fuerza atómica para determinar el comportamiento de la microestructura del acero 1045, que es el material del cual están fabricados varios componentes de armamento. Con los resultados que se obtengan, se tendrá un panorama más general de su comportamiento.
- Realizar trabajos de investigación sobre esfuerzos residuales que se generan durante el proceso de fabricación, que pudieran afectar favorablemente o desfavorablemente el desempeño de la pieza.
- Proponer otra metodología de fabricación de la palanca de armar, utilizando métodos de forjado, vaciado a la cera perdida, metalurgia de polvos u otra tecnología que produzca piezas de forma más rápida, eficiente y a bajo costo.
- Determinar bajo las condiciones del diseño y funcionamiento, el comportamiento de los modos de vibración de la palanca de armar utilizada en este trabajo de investigación

ANEXOS

Report
Project P00137
Date 05/06/2009 11:48:06 a.m.
Grains - Auto

Project summary:

Project No: P00137	Standard: ASTM E 1382
Evaluation date: 05/06/2009 11:48:06 a.m.	Method: Auto
Checked by:	No of images: 1
Material:	Mean Grain Size: 10.24
Sample No:	

Classification parameters:

ClassName	LowBound	HighBound
I	0	5
II	5	6
III	6	7
IV	7	8
V	8	9
VI	9	10
VII	10	11
VIII	11	12
IX	12	13
X	13	

Acquisition parameters:

Objective:

Camera: AxioCamICc1

Contrast Method:

Scaling: 0.0005 Mullimeter/Pixel

Order:

Order No:

Description:

Comment:

Checked by:

Carl Zeiss Imaging Solutions
Page 1 of 2

Report
Project P00137
Date 05/06/2009 11:48:06 a.m.
Grains - Auto

Results image 1

Mean Grain Size: 10.24

Grain Size distribution %

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0.0	0.000	0.093	0.978	7.356	19.460	29.004	23.277	12.803	7.030

Distribution

Original

Image with Annotations

Carl Zeiss Imaging Solutions
Page 2 of 2

Anexo 2.- Reporte del tamaño de grano acero AISI 1045 (materia prima).

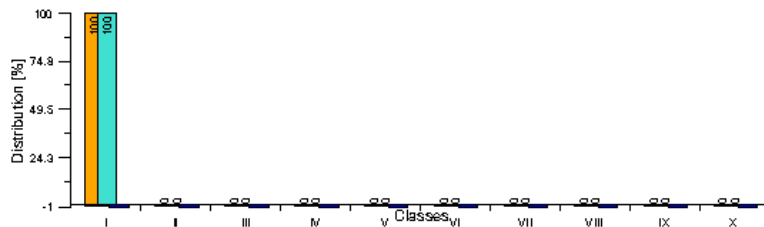
Project summary:

Project No: P00136
 Evaluation date: 05/06/2009
 Number of images: 1

Evaluated by: WILBERT WONG ANGEL
 Material: AISI 1045
 Sample number:

Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	Class8	Class9	Class10	ParticleCount
100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	187
100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1621
-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	0

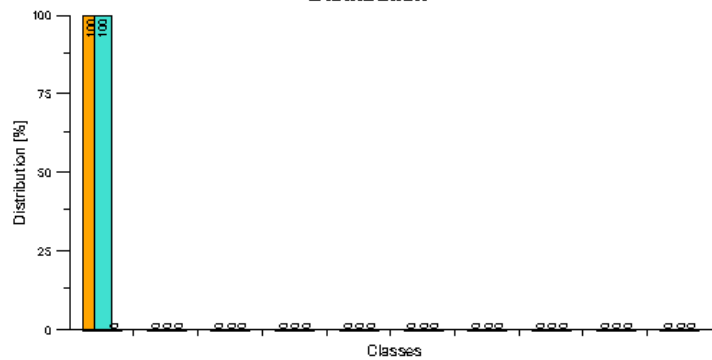
Distribution



Results for image 1

Phase	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Volume Percentage [%]
Perlite	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	71.997
Ferrite	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.046
Inclusion	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Distribution



Original image

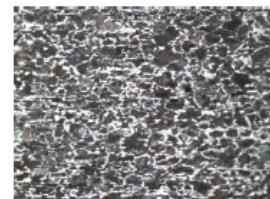
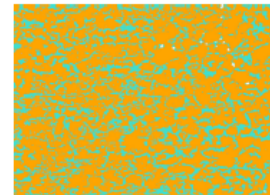


Image with Annotations



Report	Project	P00136	Date	05/06/2009	Multiphase
--------	---------	--------	------	------------	------------

Classification settings:	Acquisition settings:
Parameter for classification: Area	Contrast method:
	Objective:
	Camera: AxioCam1Cc1
	Scaling: 0.0005 Mullimeter/Pixel
	Order No:
	Order No: 136
	Description: MATERIA PRIMA PARA LA PALANCA DE ARMAR DE FX05
	Comment:
	Checked by:

Key	Name	Einheit
I	< 10.00	mm ²
II	10.00 - 11.25	mm ²
III	11.25 - 12.50	mm ²
IV	12.50 - 13.75	mm ²
V	13.75 - 15.00	mm ²
VI	15.00 - 16.25	mm ²
VII	16.25 - 17.50	mm ²
VIII	17.50 - 18.75	mm ²
IX	18.75 - 20.00	mm ²
X	>= 20.00	mm ²

Carl Zeiss Imaging Solutions Page 3 of 3

Anexo 3.- Reporte de las fases presentes en el acero AISI 1045 (materia prima).

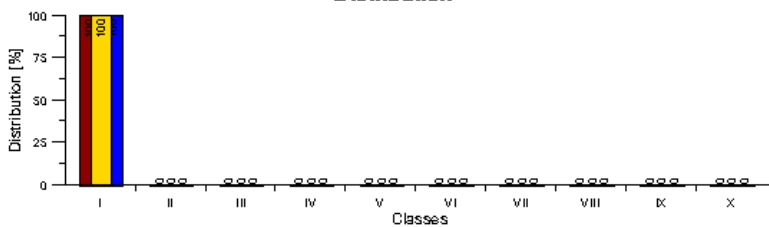
Project summary:

Project No: P00134
 Evaluation date: 05/06/2009
 Number of images: 1

Evaluated by:
 Material:
 Sample number:

Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	Class8	Class9	Class10	ParticleCount
100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2181
100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2388
100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3854

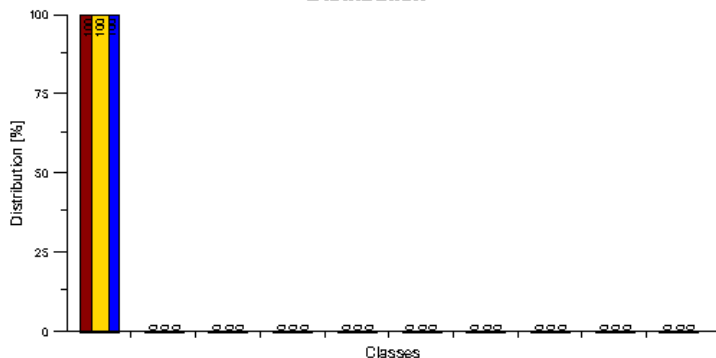
Distribution



Results for image 1

Phase	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Volume Percentage [%]
Inclusion	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.086
Martensita	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	53.184
Austenita r	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.043

Distribution



Original image

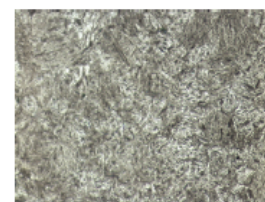
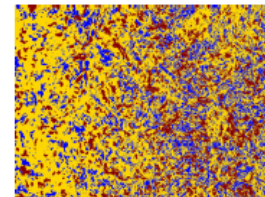


Image with Annotations



Report	Project	P00134	Date	05/06/2009	Multiphase
--------	---------	--------	------	------------	------------

Classification settings:

Parameter for classification: Area

Key	Name	Einheit
I	< 10.00	mm ²
II	10.00 - 11.25	mm ²
III	11.25 - 12.50	mm ²
IV	12.50 - 13.75	mm ²
V	13.75 - 15.00	mm ²
VI	15.00 - 16.25	mm ²
VII	16.25 - 17.50	mm ²
VIII	17.50 - 18.75	mm ²
IX	18.75 - 20.00	mm ²
X	>= 20.00	mm ²

Acquisition settings:

Contrast method:
Objective:
Camera: AxioCamICc1
Scaling: 0.0002 Mullimeter/Pixel

Order No:
Order No:
Description:

Comment:

Checked by:

Carl Zeiss Imaging Solutions Page 3 of 3

Anexo 4.- Reporte de las fases presentes en el acero AISI 1045 (templado y revenido).

Report
Project P00150
Date 05/06/2009 12:28:42 p.m.
Grains - Auto

Project summary:

Project No: P00150 Evaluation date: 05/06/2009 12:28:42 p.m. Checked by: Material: Sample No:	Standard: ASTM E 1382 Method: Auto No of images: 1 Mean Grain Size: 9.04
--	---

Classification parameters:

ClassName	LowBound	HighBound
I	0	5
II	5	6
III	6	7
IV	7	8
V	8	9
VI	9	10
VII	10	11
VIII	11	12
IX	12	13
X	13	

Acquisition parameters:

Objective:
Camera:
Contrast Method:
Scaling: 0.0000 /Pixel

Order:
Order No:
Description:

Comment:

Checked by:

Carl Zeiss Imaging Solutions
Page 1 of 2

Report
Project P00150
Date 05/06/2009 12:28:42 p.m.
Grains - Auto

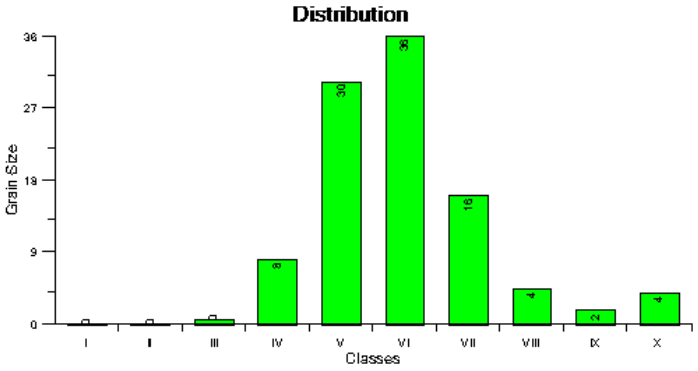
Results image 1

Mean Grain Size: 9.04

Grain Size distribution %

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0.0	0.000	0.456	7.985	30.038	35.817	15.817	4.259	1.749	3.878

Distribution



Original


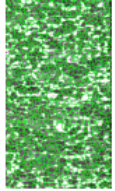


Image with Annotations



Carl Zeiss Imaging Solutions
Page 2 of 2

Anexo 5.- Reporte del tamaño de grano en el acero AISI 1045 (templado y revenido) en la zona del concentrador de esfuerzos.

Análisis de esfuerzos y manufactura de la palanca de armar de un fusil de asalto.

PROGRAM "PALANCA DE ARMAR"			
N10	TORNEAR T=TOPE S4=500U X290 YO Z-2 SETMS(4) STOPRE	X12.93 Z-48.9 Z-53.2 X13.496 X14.32 Z-52.788 G0 X13.638 Z-52.846 G40	WRTPR ("GEW(33.1)",1) X5.426 Z-38.6 G33 X5.426 Z-32.9 K1 SF=233.911 G0 X12 Z-32.9 WRTPR ("GEW(0.0)",1) X12 Z-38.6 WRTPR ("GEW(33.1)",1) X4.854 Z-38.6 G33 X4.854 Z-32.9 K1 SF=233.911 G0 X12 Z-32.9 WRTPR ("GEW(0.0)",1) X12 Z-38.6 WRTPR ("GEW(33.1)",1) X3.712 Z-38.6 G33 X3.712 Z-32.9 K1 SF=233.911 G0 X12 Z-32.9 WRTPR ("GEW(0.0)",1) X12 Z-38.6 WRTPR ("GEW(33.1)",1) X3.14 Z-38.6 G33 X3.14 Z-32.9 K1 SF=233.911 G0 X12 Z-32.9 WRTPR ("GEW(0.0)",1) X12 Z-38.6 G96 DIAM90 F0.015 STOPRE
N15	GO X100 Z100	M17 STOPRE	
N20	DESABASTE X40 Z1.5 YO X14 Z1.5 X11.55 G01 Z-24.5 X13 GO Z1.5 X10.1 G01 Z-24.5 X11.55 GO Z-24 X14 STOPRE	N85 RANURA X40 Z-52.846 STOPRE X208.002 YO Z45.157 SETMS(4) X40 Z-23.095 YO X12.4 Z-23.095 G60 F0.015 G01 X5.44 G04 S4=1 X5.44 Z-23.095 G04 S4=1 G0 X11.6 G04 S=1 X5.44 Z-22.28 G01 X11.6 G04 S4=1 X5.44 Z-22.28 Z-22.28 G04 S4=1 G0 X12.4 X12.4 Z-23.91 G01 X11.6 X5.44 Z-23.91 Z-23.91 G04 S4=1 G0 X12.4 G64 F0.015 X12.4 Z-24.11 G64 G01 X11.6 G04 S4=1 X5.04 Z-24.11 Z-23.095 G04 S4=1 G0 X12.4 F0.015 X12.4 Z-22.08 G01 X11.6 G04 S4=1 X5.04 Z-22.08 Z-23.095 G05 S4=1 G0 X12.4 F0.015 X12.4 Z-23.095 G60 STOPRE	
N25	DESABASTE T=0.200 S4=1600 X40 Z-24 Z2.5 YO X11 Z2.5 X8.334 G01 Z-18 X10 GO Z2.5 X6.666 G01 Z18 X8.334 Z-18 GO Z2.5 X5 G01 Z-18 X6.666 Z-18 GO Z-17.5 X11 STOPRE		N95 TRONZADO T=0.300 S4=1000 WRTPR("NPVSET(0.3)",1) WRTPR("NPVSET(<<-ABS("NPVSET(0.7)"),1) X40 Z-50 STOPRE YO STOPRE X15 Z-50 G01 X11 GO X15 Z-47.7 G02 X13 Z-48.7 I0 K-1 G03 X10.4 Z-50 I-1.3 KO G01 X5 STOPRE M686 GO X15 G96
N30	DESABASTE T=0.400 S4=1700 X40 Z-17.5 Z-32.5 YO X13 Z-32.5 X11.234 G01 Z-46.3 X12 GO Z-32.2 X10.466 G01 Z-46.3 X11.234 Z-46.3 GO Z-32.2 X9.7 G01 Z-46.3 X10.466 GO Z-45.8 X13		N100 X100 Z100 DIAM90
N35	X50 Z50 DIAMON M109 S4=2000 M4=4 M108 STOPRE		N105 M1 STOPRE
N40	TORNEAR G04 F0.0001		N110 GO X100 Z100 M01
N45	GO X10.4 Z-21.1		FIN DE PROGRAMA
N50	G01 X9.3 Z-22.2 F1		
N55	Z-24.5		
N60	X13		
N65	GO Z-0.37		
N70	G01 X-2.3 F1		
N75	GO X50 Z80		
N80	DESABASTE X203.744 YO Z44.539 SETMS(4) STOPRE M109 F0.05 M4=4 M108 YO X40 Z1.45 G42 G01 Z-0.75 F0.05 X4.2 X5.34 Z-18.62 X9.27 X9.94 Z-19.03 Z-20.69 X8.91 Z-21.582 Z-24.1 X10.8 X12.93 Z-26.51 Z-28.2 X9.77 Z-32.04 Z-46.7		

Anexo 6.- Programa C.N. para el mecanizado de la geometría de la palanca de armar.

Análisis de esfuerzos y manufactura de la palanca de armar de un fusil de asalto.

REFERENCIAS

REFERENCIAS.

Wong, W., *Caracterización y tratamiento térmico del acero 32CrMoV12-10 Empleado en la fabricación del tubo cañón para fusil calibre 5.56 mm*, Tesis de Maestría SEPI- ESIQUIE-Zacatenco, pp. 9, 2009.

Díez, O., *Armamento y logística, fusiles de asalto y de precisión*, pp. 110-114, 2000.

SEDENA-D.G.I.M, *Manual de usuario, Fusil FX05*, pp.10, 2007.

Department of Defense U.S.A. *Military Standard Dimensioning Of Accessory Mounting Rail For Small Arms Weapons MIL-STD-1913*, 1995

Molina, A., *La cartuchería de las armas ligeras*, pp. 52, 1970.

United States Government Printing Office, *The Report of the Select Committee on Assassinations of the U.S. House of Representatives*, Washington, DC., volume 1, pp 1-686, 1979.

North Atlantic Treaty Organization, *Publication NATO STANAG 4172, 5.56 mm Ammunition*, 1993.

United States Patent No. 4409883, pp. 35-37, 1983.

McNab, C., *Atlas ilustrado de armas de fuego militares y deportivas del siglo XX*, Ed. Susaeta S.A. 2006.

Munch, L., Angeles, E., *Métodos y técnicas de investigación*, Ed. Trillas, pp.55, 2007.

Lewis, F., Abdallah, C., Dawson, D., *Control of robot manipulators*, Ed. Maxwell-Macmillan, pp. 65-72, 1993.

Krick, E., *Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería*. Ed. Limusa, pp.121, 2006.

Licker, M., *Dictionary of Scientific and Technical Terms*, Ed. McGraw-Hill, 6th edition, 2002.

Shigley, J., Mitchell, L., *Diseño en ingeniería mecánica*. pp. 10, 1985.

Craig, R., *Mecánica de materiales*, Ed. Patria, pp.48-49,737-740, 2007.

Young, W., Budynas, R., *Roark's formulas for stress and strain*, Seventh Edition Mc Graw - Hill, pp.771, 2002.

Forrest, P., *Fatiga de los metales*, Ed. Urmo, pp, 145-155, 1972.

Askeland, D., Phule, P., *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 4ª Edición Ed. Thomson, pp. 246, 2006.

Stiopin, P. *Resistencia de materiales*, Ed. Mir, pp. 325, 1968.

Amiss, J., Jones, F., *Machinery's Handbook*, 27th Edition Industrial Press, Inc., pp. 209-215, 2004.

-
- Canales, M., *Diccionario técnico inglés - español*, Ed. Club Universitario, 2002.
- Cook, R., *Finite element modeling for stress analysis*, Ed. John Wiley and Sons Inc., pp.13, 1995.
- Clough, R., *The finite element method after twenty-five years: a personal view*, *Computers and Structures*, Vol. 12, No. 4, pp. 361, 1980.
- Moaveni, S., *Finite element analysis theory and application with ANSYS*, Ed. Prentice Hall pp. 6, 1999.
- ASTM - A108-03, 1992
- ASM International, *Heat treater`s guide*, Second Edition, pp. 184 y 510, 2006
- Wegst, C., *Stahlschulussel*, 2001
- Unterweiser, P., Boyer, H., Kubbs, J., *Heat treater`s guide standar practices and procedures for steel*, ASM 1980.
- Theory Reference, Release 10.0 Documentation for ANSYS, Element Reference / Part I. Element Library / PLANE183.
- Bauccio, M., *ASM metals reference book*, Third Edition, pp.306, 2004.
- ASTM E 112, *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*, 1999
- ASTM E1382 – 97, *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis*, 2004
- Vander, B., *Atlas of time diagrams for iron and steel*, ASM international, pp.14, 1991.