



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN
DISPOSITIVO PARA REALIZAR LA PRÁCTICA DE BROCHADO EN EL
LABORATORIO DE PROCESOS DE FABRICACIÓN**

BORGES D. EDGARDO J.
FARIA D. SILVA ADELSON L.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN
DISPOSITIVO PARA REALIZAR LA PRÁCTICA DE BROCHADO EN EL
LABORATORIO DE PROCESOS DE FABRICACIÓN**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

BORGES D. EDGARDO J.
FARIA D. SILVA ADELSON L.

BÁRBULA, MAYO DE 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado ***“Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un dispositivo para realizar la práctica de brochado en el Laboratorio de Procesos de Fabricación”***, realizado por los bachilleres: Edgardo José Borges Díaz, C.I.: 15.733.359 y Adeldo Luís Faria Da Silva, C.I.: 17.067.574, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Juan C. Pereira
Tutor

Prof.: Luís Sidorovas
Jurado

Prof.: Oswaldo Urbano
Jurado

BÁRBULA, MAYO DE 2008

DEDICATORIA

En este momento de mi vida en la que se está materializando una de las metas más preciadas, como lo es la culminación de los estudios para optar al título de Ingeniero Mecánico, con todas las responsabilidades que esto involucre, tengo el gusto de dedicarles este trabajo especial de grado, realizado con tanto afecto a las personas que más quiero y admiro.

A Dios, por darme el amor de mi gente, la serenidad, la fortaleza y la inteligencia. A mis padres *Egardo Borges y María Díaz* que son mi orgullo, inspiración, fortaleza para no decaer en las pruebas que me coloca el destino por delante y superarlas.

A mis hermanos y sobrinos, *Richard Borges, María Alejandra, Gabriela Muñoz y Melvin Mejías*, quiénes me ayudaron a salir adelante durante los momentos más difíciles en la realización de mis estudios.

A mi compañero de tesis *Adelso Faria*, por su empeño y dedicación en la elaboración de este trabajo especial de grado.

A todos mis compañeros de estudios, que siempre estuvieron a mi lado en los momentos que más los necesité.

Al profesor *Juan Carlos Pereira*, por guiarme y apoyarme, para así realizar una mejor labor en nuestro proyecto.

Dios los bendiga

Edgardo Borges

A *Dios* y mi *maestro Espiritual* que durante toda mi vida me han iluminado y guiado, en los momentos difíciles confortándome e impulsándome a seguir adelante.

A mis padres, *Luis* y *Antonia* porque desde siempre han estado conmigo luchando y apoyándome, sobretodo en este difícil camino que representa la carrera de ingeniería de la cual culmino hoy una etapa importante. A mis hermanas, quienes siempre me han brindado su ayuda y me han apoyado en mi desarrollo como persona.

A mi compañero *Edgardo*, por el apoyo brindado en todo momento del proyecto, que siga adelante, ya que tiene un motivo más para esforzarse y ser feliz.

A mis amigos y compañeros de estudio de la escuela y todas aquellas personas con las que compartí muchas horas de esfuerzo y trabajo en equipo durante mi paso por la universidad. A mis amigos, que aunque no estudiaron conmigo, me brindaron un apoyo inmenso, en especial en este momento tan importante de mi vida.

Al profesor *Juan Carlos Pereira*, por guiarme y apoyarme, para así realizar una mejor labor en nuestro proyecto, así como todos aquellos profesores como *David Ojeda* y *Oswaldo Urbano* quienes han colaborado con nuestro trabajo especial de grado brindándonos su conocimiento.

Adelso Faria

GLOSARIO DE TÉRMINOS

p	Paso de la brocha	(mm)
e	Incremento de los dientes	(mm)
e_D	Incremento de los dientes para desbaste	(mm)
e_A	Incremento de los dientes para acabado	(mm)
n	Número de dientes en contacto con la pieza	(Adimensional)
l	Espesor del material a brochar	(mm)
α	Ángulo de ataque	(Grados angulares)
α_A	Ángulo de ataque de acabado	(Grados angulares)
α_D	Ángulo de ataque de desbaste	(Grados angulares)
γ	Ángulo de incidencia	(Grados angulares)
γ_D	Ángulo de incidencia para desbaste	(Grados angulares)
γ_A	Ángulo de incidencia para acabado	(Grados angulares)
N_D	Número de dientes de la brocha	(Adimensional)
L_T	Longitud total de brochado	(mm)
N_A	Número de dientes para acabado	(Adimensional)
N_D	Número de dientes para desbaste	(Adimensional)
V_c	Velocidad de corte	(m/min)
t_C	Tiempo de corte	(s)
c_A	Perímetro de diente en contacto para acabado	(mm)
c_D	Perímetro de diente en contacto para desbaste	(mm)
F_E	Fuerza del émbolo	(Kgf)
F_B	Fuerza de brochado	(Kgf)
F_D	Fuerza de corte de desbaste	(Kgf)
F_A	Fuerza de corte de acabado	(Kgf)
P_B	Presión de brochado	(Psi)
V_P	Volumen del soporte inferior	(m ³)
M_P	Masa del soporte inferior	(Kg)

W_P	Peso del soporte inferior	(N)
V_G	Volumen de la guía inferior	(m ³)
M_G	Masa de la guía inferior	(Kg)
W_G	Peso de la guía inferior	(N)
V_{Pm}	Volumen de la pieza a mecanizar	(m ³)
M_{Pm}	Masa de la pieza a mecanizar	(Kg)
W_{Pm}	Peso de la pieza a mecanizar	(N)
W_{Si}	Peso de la soportería inferior	(N)
F_{DX}	Fuerza de desbaste en el eje X	(Kgf)
F_{DZ}	Fuerza de desbaste en el eje Z	(Kgf)
F_T	Fuerza total aplicada sobre la placa inferior	(Kgf)
R_1	Fuerza de restricción N° 1	(Kgf)
R_2	Fuerza de restricción N° 2	(Kgf)
M	Momento sobre la placa inferior	(N.m)
I	Inercia de la placa inferior	(mm ⁴)
$y_{máx}$	Desplazamiento máximo sobre la placa inferior	(mm)
S_y	Límite de Fluencia	(MPa)
N_s	Factor d seguridad	(Adimensional)
σ	Esfuerzo axial	(KPa)
τ	Esfuerzo cortante	(KPa)
L_{CS}	Longitud del cordón de soldadura	(mm)
F_{PS}	Fuerza permisible del metal de aporte	(Kip)
M_B	Masa de la brocha	(Kg)
W_B	Peso de la brocha	(N)
f_R	Fuerza de roce	(N)
μ	Coefficiente de fuerza de roce estático	(Adimensional)
F_N	Fuerza normal de tornillos	(N)
F_{TO}	Fuerza del tornillo	(N)
F_{DT}	Fuerza de diseño del tornillo	(N)

P_{Exp}	Presión experimental	(Psi)
F_{Exp}	Fuerza experimental	(Kgf)
A_C	Área de cilindro	(mm)
E	Módulo de elasticidad	(GPa)
A_g	Área de garganta de soldadura	(mm ²)
K_s	Esfuerzo específico de corte	(N/mm ²)

ÍNDICE

	CONTENIDO	Pág.
RESUMEN		1
INTRODUCCIÓN		3
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA		5
1.1.- TÍTULO DEL TRABAJO		6
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		6
1.3.- OBJETIVOS		7
1.3.1.- OBJETIVO GENERAL		7
1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS		7
1.4.- LIMITACIONES		7
1.5.- DELIMITACIONES		8
1.6.- JUSTIFICACIÓN		8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		9
2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN		10
2.2.- BASES TEÓRICAS		11
2.2.1.- EL MECANIZADO		11
2.2.2.- BROCHADO		12
2.2.3.- MÁQUINAS BROCHADORAS		13
2.2.3.1.- BROCHADORAS HORIZONTALES (DE TRACCIÓN Ó DE CORTE CONTÍNUO)		13
2.2.3.2.- BROCHADORAS VERTICALES		13
2.2.3.3.- BROCHADORAS VERTICALES PARA SUPERFICIES		14
2.2.3.4.- BROCHADORAS CONTÍNUAS PARA SUPERFICIES		14
2.2.3.5.- BROCHADORAS MECÁNICAS PARA INTERIORES		16
2.2.3.6.- BROCHADORAS HIDRÁULICAS PARA INTERIORES		17
2.2.3.7.- BROCHADORA HIDRÁULICA PARA EXTERIORES		18
2.2.4.- APLICACIONES DEL BROCHADO		18
2.2.5.- BROCHAS		20
2.2.6.- TIRADORES DE BROCHA Y DISPOSITIVOS DE FIJACIÓN		21
2.2.7.- PROYECTO Y CÁLCULO DE UNA BROCHA PARA INTERIORES		23

2.2.7.1.- DIÁMETRO DEL AGUJERO INICIAL (D_i)	23
2.2.7.2.- CANTIDAD DE MATERIAL A ARRANCAR	23
2.2.7.3.- INCREMENTO DE LOS DIENTES	23
2.2.7.4.- PASO DE LOS DIENTES	24
2.2.7.5.- PERFIL DE LOS DIENTES	25
2.2.7.6.- NÚMERO TOTAL DE DIENTES	27
2.2.7.7.- NÚMERO DE BROCHAS	28
2.2.7.8.- PRUEBA A LA TRACCIÓN DE LA SECCIÓN MÍNIMA	28
2.2.7.9.- ELECCIÓN DEL TIPO DE MANGO	29
2.2.7.10.- EJECUCIÓN DEL DIBUJO PARA SU CONSTRUCCIÓN	30
2.2.7.11.- FUERZA DE CORTE ABSORBIDA EN EL BROCHADO	31
2.2.7.12.- POTENCIA ABSORBIDA POR EL BROCHADO	33
2.2.7.13.- CÁLCULO DEL TIEMPO	33
2.2.8.- VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL BROCHADO	33
2.2.8.1.- VENTAJAS	34
2.2.8.2.- LIMITACIONES	34
2.2.9.- TEORÍAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO	34
2.2.9.1.- FACTOR DE SEGURIDAD	35
2.2.9.1.1.- FACTORES DE SEGURIDAD RECOMENDADOS	35
2.2.9.1.2.- FACTORES DE SEGURIDAD SEGÚN SOCIETY AMERICAN OF ENGINEERS	36
2.2.9.2.- MÉTODOS CONVENCIONALES DE CÁLCULO DE ESFUERZOS	36
2.2.9.2.1.- TENSIÓN SIMPLE O COMPRESIÓN AXIAL	36
2.2.9.2.2.- FLEXIÓN	36
2.2.9.2.3.- CORTE POR CARGA DIRECTA APLICADA	37
2.2.9.2.4.- TORSIÓN	37
2.2.9.3.- MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)	38
2.2.9.4.- CRITERIOS DE FALLAS ESTÁTICAS	39
2.2.9.4.1.- TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN (VON MISSES)	39
2.2.9.4.2.- TEORÍA DEL CORTANTE MÁXIMO (TRESCA)	40
2.2.10.- RESISTENCIA DE LAS UNIONES SOLDADAS	42

2.2.10.1.- ESFUERZOS EN UNIONES SOLDADAS	43
2.2.10.1.1.- UNIONES SOLDADAS SOMETIDAS A CORTE PURO	43
2.2.10.1.2.- UNIONES SOLDADAS SOMETIDAS A FLEXIÓN	44
2.2.10.1.3.- FUERZA PERMISIBLE DEL MATERIAL DE APORTE	45
2.2.11.- FUERZA DE ROZAMIENTO ESTÁTICO	48
2.2.12.- MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	50
2.2.12.1.- MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	50
2.2.12.2.- USO DE LOS ELEMENTOS FINITOS EN INGENIERÍA	50
2.2.12.3.- CONCEPTO DE ELEMENTO FINITO	50
2.2.12.4.- FORMA GEOMÉTRICA DE LOS ELEMENTOS	50
2.2.12.5.- ENSAMBLAJE DE ELEMENTOS	51
2.2.12.6.- SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ELEMENTOS FINITOS	51
2.2.12.7.- SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE ELEMENTOS FINITOS	52
2.2.12.8.- PASOS DE UN ANÁLISIS CON ELEMENTOS FINITOS	52
2.2.12.8.1.- PRE-PROCESAMIENTO	53
2.2.12.8.2.- ANÁLISIS	53
2.2.12.8.3.- POST-PROCESAMIENTO	54
2.2.12.8.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	54
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	55
3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
3.2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	56
3.3.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	57
3.4.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	58
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	59
4.1.- ESPECIFICACIONES DE LA PRENSA HIDRÁULICA SEGÚN DATOS DE PLACA	60
4.2.- PIEZA A MECANIZAR	63
4.3.- SUJECIÓN SUPERIOR	66

4.3.1.- SUJECIÓN SUPERIOR: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	66
4.3.1.1.- ALTERNATIVA 1	66
4.3.1.2.- ALTERNATIVA 2	67
4.3.1.3.- ALTERNATIVA 3	68
4.3.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA SUJECIÓN SUPERIOR	69
4.3.2.1 APLICACIÓN DEL METODO DE PONDERACION DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	70
4.4.- SUJECIÓN Y SOPORTE INFERIOR	73
4.4.1.- SUJECIÓN INFERIOR: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	74
4.4.1.1.- ALTERNATIVA 1	74
4.4.1.2.- ALTERNATIVA 2	74
4.4.2.- SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA SUJECIÓN INFERIOR	75
4.4.2.1 APLICACIÓN DEL METODO DE PONDERACION DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	76
4.5.- CÁLCULO RESISTENTE DEL SOPORTE INFERIOR	79
4.5.1.- POR MÉTODOS CONVENCIONALES	80
4.5.1.1- DETERMINACIÓN DE CARGAS A LAS QUE ESTÁ SOMETIDA EL SOPORTE INFERIOR	80
4.5.1.1.1- PESO DEL SOPORTE INFERIOR	80
4.5.1.1.2- PESO DE LA GUÍA INFERIOR	81
4.5.1.1.3- PESO DE LA PIEZA A MECANIZAR	81
4.5.1.1.4.- CARGA DEBIDO AL BROCHADO EN DESBASTE	82
4.5.2.- POR ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO	86
4.5.2.1.- DATOS PARA EL GRÁFICO DE CONVERGENCIA	88
4.5.3.- CÁLCULO DE LA SOLDADURA APLICADA A LA PIEZA	91
4.6.- DISEÑO DE LA GUÍA, TOPE Y SOPORTE SUPERIOR	93
4.6.1- CÁLCULO RESISTENTE DEL SOPORTE SUPERIOR	96
4.7.- GUÍA INFERIOR DE LA BROCHA	100
4.7.1.- CÁLCULO RESISTENTE DE LA GUÍA INFERIOR DE LA BROCHA	101

4.8.- CÁLCULO DE LA TORTILLERÍA PARA SUJECIÓN SUPERIOR	104
4.9.- DETERMINACIÓN DE CARGAS EXPERIMENTALES	105
4.9.1.- CÁLCULO DE LA CARGA A PARTIR DE LA PRESIÓN QUE SUMINISTRA EL MANÓMETRO DE LA PRENSA	106
4.10.- PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRÁCTICA DE BROCHADO	108
4.11.- SELECCIÓN DEL MANÓMETRO	110
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	119
APÉNDICE A. ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DEL SOPORTE INFERIOR	A-1
APÉNDICE B. ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DEL SOPORTE SUPERIOR	B-1
APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE LA GUIA INFERIOR	C-1
APÉNDICE D. PLANOS DEL SISTEMA DISEÑADO	D-1
APÉNDICE I. TABLAS Y REFERENCIAS USADAS PARA EL DISEÑO EN EL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO	I-1

ÍNDICE DE FIGURAS

	CONTENIDO	Pág.
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		
Figura 2.1	Proceso de brochado	13
Figura 2.2	Brochado por empuje o compresión	15
Figura 2.3	Brochado por tracción	15
Figura 2.4	Prensa para brochar manual	16
Figura 2.5	Esquema de una brochadora horizontal hidráulica	17
Figura 2.6	Brochadora hidráulica vertical para el brochado exterior	18
Figura 2.7	Ejemplos de trabajos que se pueden hacer por brochado	19
Figura 2.8	Demostración esquemática de las variaciones de un agujero durante el brochado	19
Figura 2.9	Representación esquemática de la variación del perfil de un agujero circular a cuadrado, transformado por medio del brochado	20
Figura 2.10	Tiradores de brocha y dispositivos de fijación	22
Figura 2.11	Arreglos de una brocha progresiva de superficie	22
Figura 2.12	Diagrama para determinar el incremento a fijar para las brochas	24
Figura 2.13	Perfil de los dientes	25
Figura 2.14	Distribución de los dientes	26
Figura 2.15	Brocha para agujeros cilíndricos	28
Figura 2.16	Mango para las brochas	30
Figura 2.17	Dibujo de una serie de brochas para obtener un agujero de sección cuadrada	31
Figura 2.18	Diagrama de cuerpo libre de un sólido	48
Figura 2.19	Representación de Grados de Libertad	52

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Figura 4.1 Estructura de la prensa	61
Figura 4.2 Dimensiones de la prensa hidráulica	62
Figura 4.3 Especificaciones de los catálogos encontrados	62
Figura 4.4 Pieza N° 1	63
Figura 4.5 Alternativa 1	67
Figura 4.6 Alternativa 2	68
Figura 4.7 Alternativa 3	69
Figura 4.8 Alternativa 1	74
Figura 4.9 Alternativa 2	75
Figura 4.10 Dimensiones del soporte inferior	79
Figura 4.11 Cargas en la brocha	82
Figura 4.12 Diagrama de cuerpo libre	83
Figura 4.13 Diagrama de corte y momento	84
Figura 4.14 Restricciones y fuerzas	87
Figura 4.15 Estado de esfuerzos a 119256 nodos	87
Figura 4.16 Gráfica de convergencia del soporte inferior	88
Figura 4.17 Esfuerzo Máximo en detalle	89
Figura 4.18 Deformación	90
Figura 4.19 Desplazamiento de la pieza	90
Figura 4.20 Filete de soldadura aplica al soporte inferior	91
Figura 4.21 Dimensiones del soporte superior	94
Figura 4.22 Guía superior	95
Figura 4.23 Ensamblaje del sistema de sujeción superior de la brocha	96
Figura 4.24 Fuerzas y restricciones	96
Figura 4.25 Corrida 12: 109392 nodos	97
Figura 4.26 Gráfica de convergencia del soporte superior	98
Figura 4.27 Deformación	99
Figura 4.28 Deformación vista lateral	100

Figura 4.29 Fuerzas y restricciones	101
Figura 4.30 Corrida 12: 109392 nodos	101
Figura 4.31 Esfuerzo máximo detalle	102
Figura 4.32 Gráfica de convergencia de la guía inferior	103
Figura 4.33 Cargas aplicadas sobre la brocha justo antes de mecanizar	104
Figura 4.34 Cargas aplicadas por la prensa en el mecanizado	106
Figura 4.35 Conjunto en explosión	109
Figura 4.36 Conjunto armado	110

ÍNDICE DE TABLAS

	CONTENIDO	Pág.
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		
Tabla 2.1	Ángulos de ataque e incidencia recomendados en brochas de acero de alta velocidad	27
Tabla 2.2	Fuerza específica de corte para el brochado. Fuente Problemario de mecanizado del Ing. Carmelo Torres	32
Tabla 2.3	Factores de Seguridad según SAE	36
Tabla 2.4	Propiedades mínimas del metal de aporte	46
Tabla 2.5	Esfuerzos permisibles para Código AISC para metal de aporte	46
Tabla 2.6	Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete	47
Tabla 2.7	Coefficientes de rozamiento estático y cinético	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		
Tabla 4.1	Especificaciones de la bomba de aceite según datos de placa	60
Tabla 4.2	Análisis de convergencia base inferior	88
Tabla 4.3	Análisis de convergencia del soporte superior	98
Tabla 4.4	Análisis de convergencia de la guía inferior	102
Tabla 4.5	Resultados experimentales	107

RESUMEN

En la actualidad la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo no cuenta en la asignatura Procesos de Fabricación II con la experiencia práctica del Proceso de Brochado. Este proyecto consiste en el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un dispositivo para realizar la práctica de brochado en el Laboratorio de Procesos de Fabricación, adaptando éste dispositivo a la prensa hidráulica que se encuentra en dicho Laboratorio, realizando de esa forma planos y cálculos del diseño del dispositivo para poder realizar la comparación entre las cargas experimentales que se obtienen en los ensayos con las cargas obtenidas por métodos teóricos. El dispositivo diseñado permitirá que los estudiantes que cursen la asignatura Procesos de Fabricación II cuenten con una herramienta estándar para realizar el complemento práctico del Proceso dentro del Laboratorio. El alcance de este proyecto no estuvo limitado únicamente al diseño del sistema, sino que abarcó la construcción y su puesta en funcionamiento dentro de la Universidad, previas evaluaciones de seguridad realizadas por los técnicos. Este sistema del dispositivo diseñado está compuesto por partes muy sencillas de manipular y de fácil construcción, lo que facilita el desempeño de los estudiantes al utilizar el dispositivo.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo contiene el desarrollo del diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un dispositivo de brochado con el propósito de hacer formas geométricas no regulares como los chaveteros.

Durante la investigación se realizó el diseño de las piezas del dispositivo de brochado, así como la selección de los equipos que formaron parte de la misma.

Se planteó una metodología prospectiva para este proyecto, debido a que se conoce el resultado que se desea obtener, y se orienta la investigación de forma de encontrar los elementos que permitan llegar a la solución del problema.

La información del presente trabajo especial de grado está dispuesta en cinco capítulos, con el propósito de esquematizar y jerarquizar los pasos a realizar durante la investigación. El primer capítulo muestra lo referente a la situación problemática, planteamiento del problema, el alcance y las limitaciones. En el segundo capítulo se presentan los antecedentes y las bases teóricas que fundamentan el proyecto. En el tercer capítulo se muestra la metodología de investigación donde se delimitan las técnicas a seguir para llevar al cabo el proyecto, en cuanto al cuarto capítulo se presentaron los resultados de la investigación dándole soluciones al problema planteado. En el quinto capítulo se establecieron las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

I. EL PROBLEMA

1.1.- TÍTULO DEL TRABAJO

Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un dispositivo para realizar la práctica de brochado en el Laboratorio de Procesos de Fabricación.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de brochado forma parte esencial en el estudio de procesos de fabricación por arranque de viruta, debido a que mediante su aplicación adecuada se pueden obtener formas geométricas complejas en diversos materiales muy utilizadas en la industria, entre ellas se tiene los chaveteros internos de los engranajes, matrices, dientes de engranajes, etc.; que de otra forma sería difícil obtener.

Mediante el estudio experimental de este proceso se podrá apreciar de forma precisa el conjunto de variables que el proceso de brochado lleva consigo; tales como: cargas que interactúan, geometría de la brocha, material a ser trabajado y condiciones óptimas para el proceso.

Actualmente en el Laboratorio de Procesos de Fabricación se cuenta con una prensa hidráulica, en la cuál mediante la adaptación de un dispositivo se podría llevar a cabo el proceso de brochado. Este proceso se estudia en la asignatura Procesos de Fabricación II, la cual cuenta con clases teóricas y de laboratorio pero no posee la complementación experimental para el estudio del brochado, es por ello que se ve la necesidad de adaptar a la maquinaria existente un dispositivo que permita realizar este proceso en dicho Laboratorio.

1.3.- OBJETIVOS

1.3.1.- OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y poner en funcionamiento un dispositivo para realizar la práctica de brochado en el Laboratorio de Procesos de Fabricación.

1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un dispositivo que permita realizar la práctica de brochado en el Laboratorio de Procesos.
- Construir el dispositivo.
- Poner en funcionamiento el dispositivo.
- Determinar experimentalmente las cargas que actúan en el proceso, así como el tiempo de duración del mismo.
- Comparar los resultados obtenidos experimentalmente con aquellos derivados de los modelos matemáticos existentes.

1.4.- LIMITACIONES

- El dispositivo estará sujeto a las dimensiones de la prensa hidráulica que se encuentra disponible en el laboratorio.
- La longitud y el recorrido de la brocha debe ser acorde con el espacio que se tiene en la prensa hidráulica.

1.5.- DELIMITACIONES

- El ensayo del proceso sólo estará sujeto a una forma dada por la brocha.
- Se trabajará sobre piezas de aluminio especialmente con la brocha seleccionada.
- Material a ensayar: Aluminio 6063
- El espesor del material a ensayar debe estar entre: 0 – 1 pulg.
- El dispositivo debe estar adaptado a las dimensiones de la mesa de la prensa disponible.

1.6.- JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con una prensa hidráulica con una capacidad máxima de 10.000 *psi*, la cuál puede ser adaptada para realizar el proceso de brochado. Para realizar dicha adaptación resulta necesario diseñar y construir un dispositivo que permita realizar dicho proceso de mecanizado, de manera que se mantenga la verticalidad de la brocha y la sujeción adecuada de la pieza a trabajar.

Mediante el presente Trabajo Espacial de Grado se permitirá que tanto el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación como los alumnos que cursarán la materia Procesos de Fabricación II cuenten con un proceso experimental que les permita reforzar los conocimientos teóricos adquiridos a partir de experiencias prácticas, además de recopilar información que servirá de base para realizar investigaciones de los procesos de mecanizado por Brochado.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II. MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- **Vélez E. Julio A., Cardona R. Jaime H. “Diseño y construcción de una brochadora de metales accionada hidráulicamente”. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia 1996.** Se construyó una brochadora haciendo uso de una prensa hidráulica, la cual ejerce la carga necesaria para efectuar dicho proceso dónde se puede efectuar el mecanizado necesario para algunas piezas en cuanto a perforaciones. Este fue un trabajo especial de grado.
- **S.P. Mo, D.A. Axinte, T.H. Hyde and N.N.Z. Gindy. “Instrumento que supervisa condiciones de brochado”. Escuela de Mecánica, Materiales e Ingeniería de Manufactura del The University of Nottingham, Reino Unido, Agosto del 2004.** Este instrumento describe una metodología de multipaso para seleccionar las condiciones cortantes para brochado de aleaciones de difícil corte como Níquel (Ni) y Titanio (Ti) usadas en la fabricación de generadores de poder y motores de avión. Basado en el uso de la técnica Taguchi, las condiciones cortantes (cortando la velocidad, la subida por diente, rastrilla el ángulo, el tipo de refrigerante) fue seleccionado para obtener la calidad fina superficial con los niveles razonablemente bajos de fuerza de corte principal y el perpendicular que corta la fuerza. Esto fue seguido de un número reducido de las pruebas de vida de instrumento que fueron realizadas para seleccionar condiciones finales de corte superficial y la vida de instrumento es considerado como medidas de salida.

La exploración de la microscopía de electrones y el análisis de composición química sobre el flanco y las caras de rastrillo de los instrumentos fue empleada para caracterizar los instrumentos llevados. Fue encontrado esto determinando fuerzas, la

brusquedad del proceso, y el hecho de tener en cuenta condiciones de proceso genéricas sobre la productividad de proceso, la estabilidad de máquina herramienta, y la rigidez de instrumento, sólo una solución "pseudoóptima" para las condiciones cortantes podría ser especificada.

- **Nishihata Koji; Otsuka Masaaki; Yokozeki Koji. “Método de brochado”. NTN TOYO BEARING CO LTD. Japón, Septiembre del 2006.** El proyecto consiste en un método para donde un cable descubierta mide la temperatura de la brocha controlando la cantidad de aceite de enfriamiento lo cual da como resultado procesos de brochado donde se ahorra aceite de enfriamiento para proteger la pieza a mecanizar y la herramienta de corte.

2.2.- BASES TEÓRICAS

2.2.1.- EL MECANIZADO

Es un proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover material de una pieza de trabajo, con la finalidad de obtener una geometría de la forma de la pieza. La acción predominante involucra la deformación cortante del material de trabajo para formar una viruta. El mecanizado se aplica más frecuentemente para formar metales (aunque también se puede mecanizar plástico y madera) y es uno de los procesos más importantes de manufactura de la actualidad.

La característica fundamental del mecanizado es el uso de la herramienta de corte, la cual remueve el material de la pieza de trabajo, para realizar esta operación se requiere el movimiento relativo entre la herramienta y el material a cortar. Este movimiento relativo se logra por medio de un movimiento primario llamado velocidad y uno secundario llamado avance.

El mecanizado no es solamente un proceso de fabricación sino un conjunto de ellos entre los cuales tenemos el torneado, taladrado, fresado, brochado, rectificado, entre otros. El proceso de mecanizado a estudiar en este trabajo de grado es el brochado. (Fuente: Procesos de fabricación por arranque de viruta, Juan C. Pereira)

2.2.2.- BROCHADO

Es la operación que consiste en arrancar lineal y progresivamente la viruta de la superficie de un cuerpo mediante una sucesión ordenada de filos de corte.

El brochado es un proceso en el cual una herramienta larga de filos múltiples se hace penetrar en un agujero o pasar sobre la superficie de la pieza de trabajo. La brocha tiene una serie de dientes consecutivos, y la altura de cada hilera aumenta en forma progresiva. La altura variable de los dientes de la brochadora permite remover el material con la profundidad deseada de corte. El brochado se utiliza para producir superficies internas y externas, planas e irregulares. El contorno de las aristas cortantes de las brochas determinan la forma de la superficie, la cual es "imagen de espejo" del perfil de la brocha. El brochado es continuo, con movimientos de corte rectilíneos, aplicados en la brocha o en la pieza de trabajo.

Las brochas están construidas para movimiento de avance o retroceso en la pieza de trabajo. Las brochadoras consisten en un sujetador para la pieza de trabajo, columna de soporte, y un mecanismo para avance de la herramienta o de la pieza de trabajo; esta se sujeta en dispositivos o se monta en la mesa de la máquina. La unidad de avance consta del portaherramientas y algún mecanismo mecánico o hidráulico, para tirar o empujar de la brocha. Cuando se tira de la brocha, se necesitan sujetadores para contrarrestar la fuerza de tracción requerida durante la acción de corte. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

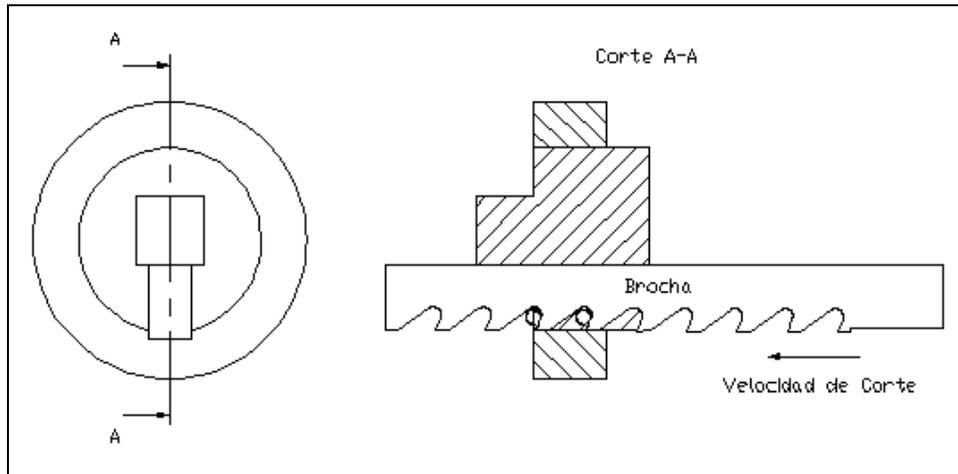


Figura 2.1 Proceso de brochado

2.2.3.- MÁQUINAS BROCHADORAS

2.2.3.1.- BROCHADORAS HORIZONTALES (DE TRACCIÓN Ó DE CORTE CONTÍNUO)

La unidad de corte tiene impulsión mecánica o hidráulica. Pueden trabajar en superficies internas y externas, en piezas de trabajo grandes. Se utilizan para trabajo externo como cuñeros, ranuras y otras formas irregulares. La brochadora horizontal tiene mayor capacidad que la vertical, además puede recibir piezas de trabajo de mayor tamaño, pueden utilizarse brochas mas grandes y hacer el trabajo en una sola pasada. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.3.2.- BROCHADORAS VERTICALES

Son del tipo de acción ascendente o descendente. La brocha vertical se parece al cepillo de codo vertical, con la diferencia de que puede utilizarse un gran número de brochas.

Las brochadoras *verticales descendentes* tienen un mecanismo que hace bajar la guía o piloto (extremo pequeño de la brocha) a un agujero en la pieza de trabajo. Después se conectan tiradores automáticos para las brochas que tiran de ellas hacia abajo sobre la pieza de trabajo.

Las brochadoras verticales ascendentes tienen la pieza de trabajo colocada de bajo de la mesa. La brocha se avanza contra la pieza desde abajo, se conecta con un mecanismo de tracción de brochas y la sube sobre la pieza de trabajo. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.3.3.- BROCHADORAS VERTICALES PARA SUPERFICIES

Se utilizan para empujar la brocha hacia abajo contra la pieza de trabajo. La brocha está montada en una corredera vertical sujeta en la columna. Esta máquina es para trabajo pesado. La mesa puede tener movimiento lateral y rotatorio.

2.2.3.4.- BROCHADORAS CONTÍNUAS PARA SUPERFICIES

Tienen mayor capacidad de producción. Las piezas de trabajo se cargan en un mecanismo de impulsión del tipo de cadena y se tira de ellas para pasar frente a las brochas con una cadena continua. Las piezas de trabajo se cargan en un extremo, pasan frente a las brochas y se descargan en el otro extremo.

Herramienta:

Brocha: Que puede actuar a tracción o compresión sobre la pieza.

Máquina:

Brochadora: De movimiento rectilíneo. Puede ser Horizontal o Vertical, para interiores o exteriores, y de accionamiento mecánico o hidráulico.

Movimientos:

Principal: Brocha

Avance: Incremento de los dientes.

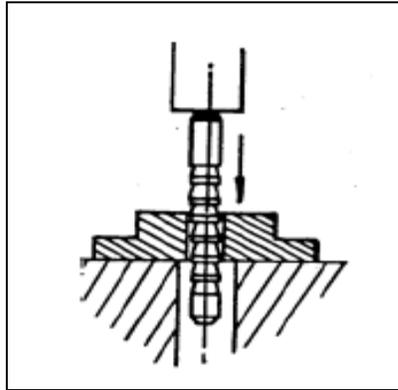


Figura 2.2 Brochado por empuje o compresión (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

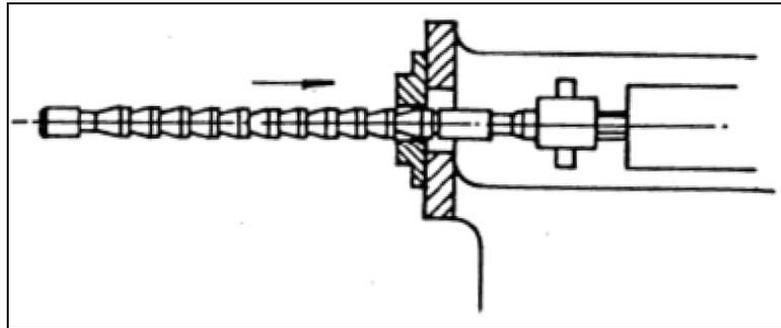


Figura 2.3 Brochado por tracción. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

- La tracción se emplea siempre que se tengan brochas largas que arrancan mucho material.
- La compresión es para brochas cortas que calibran un agujero.

2.2.3.5.- BROCHADORAS MECÁNICAS PARA INTERIORES

Generalmente son horizontales. Son accionadas normalmente mediante elementos roscados, tornillos sin fin y ruedas helicoidales que constituyen cambios de velocidad, para obtener distintas velocidades de trabajo. Las brochadoras mecánicas están siendo desplazadas por las hidráulicas. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

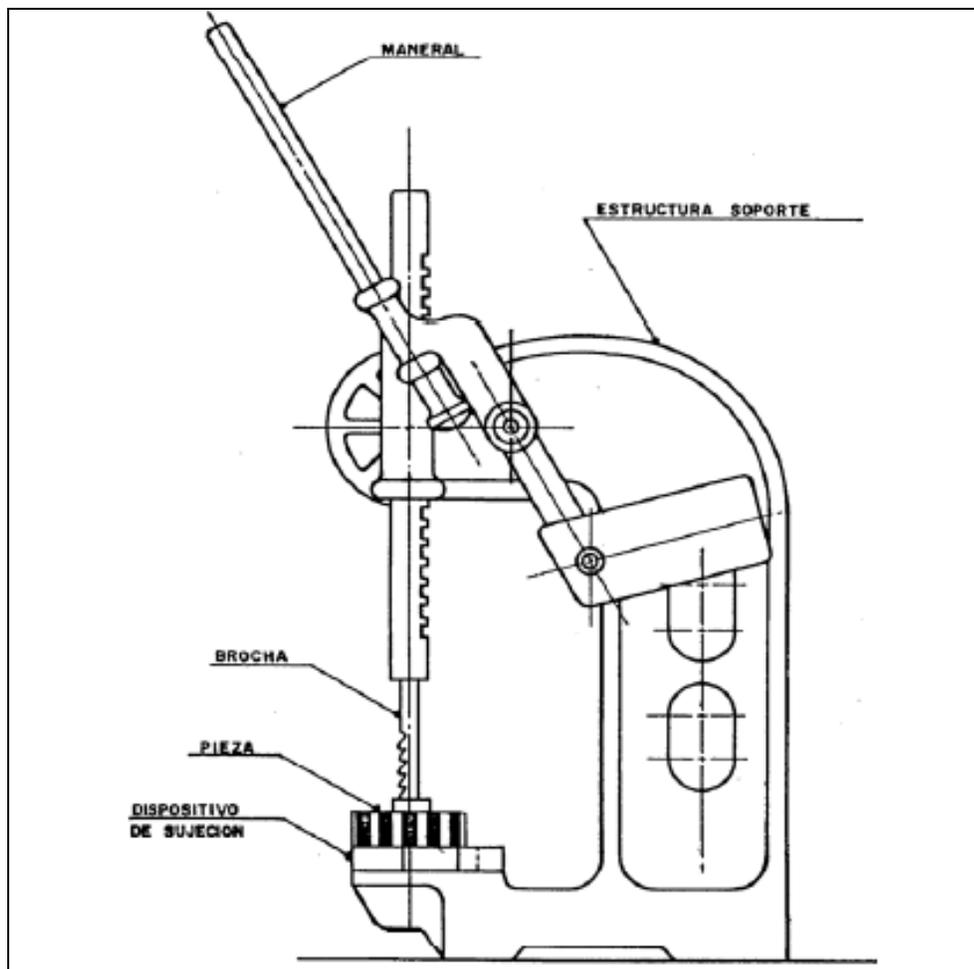


Figura 2.4 Prensa para brochar manual. Fuente: (Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.3.6.- BROCHADORAS HIDRÁULICAS PARA INTERIORES

En este caso el mandril es accionado por un émbolo que se desliza en el interior de un cilindro en el que fluye aceite a presión, impulsado por una bomba.

Ventajas de las brochadoras hidráulicas:

- Si la herramienta se obstruye en vez de romperse se para la marcha.
- Son eliminados los engranes, tornillos sin fin, ruedas helicoidales, etc.
- Regulación de la velocidad de la brocha en forma continua.
- Regulación de la fuerza máxima de tiro.

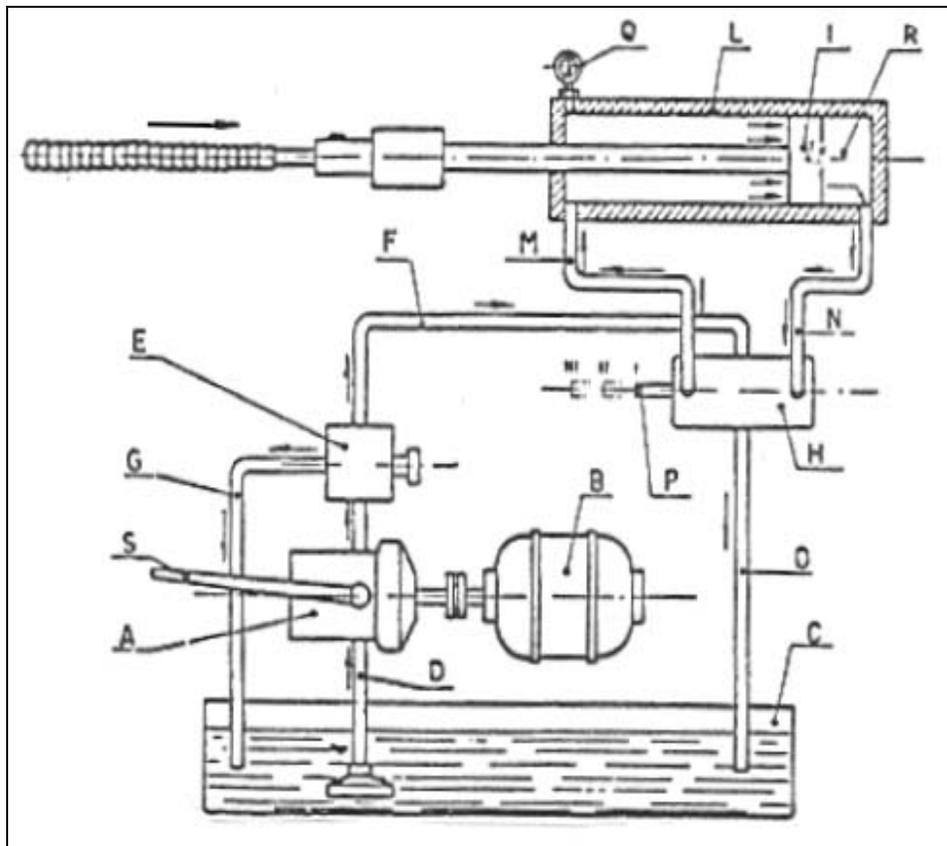


Figura 2.5 Esquema de una brochadora horizontal hidráulica (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.3.7.- BROCHADORA HIDRÁULICA PARA EXTERIORES

Por el tiempo de ejecución tan breve están disputando el terreno a las fresadoras (La brocha puede considerarse en el límite como una fresa de radio infinito)

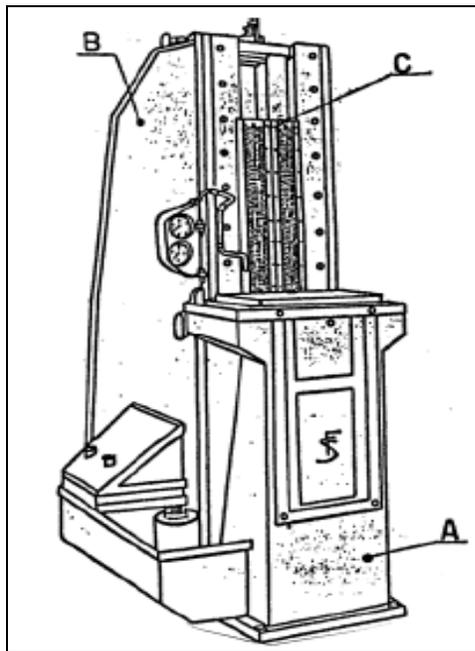


Figura 2.6 Brochadora hidráulica vertical para el brochado exterior (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.4.- APLICACIONES DEL BROCHADO

Entre las aplicaciones más comunes en el caso de los brochados interiores se tienen los chaveteros internos para los engranajes y figuras como hexágonos, cuadrados entre otros y en los brochados exteriores para la fabricación de llaves de herramientas tal como se ven en la figura 2.7. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

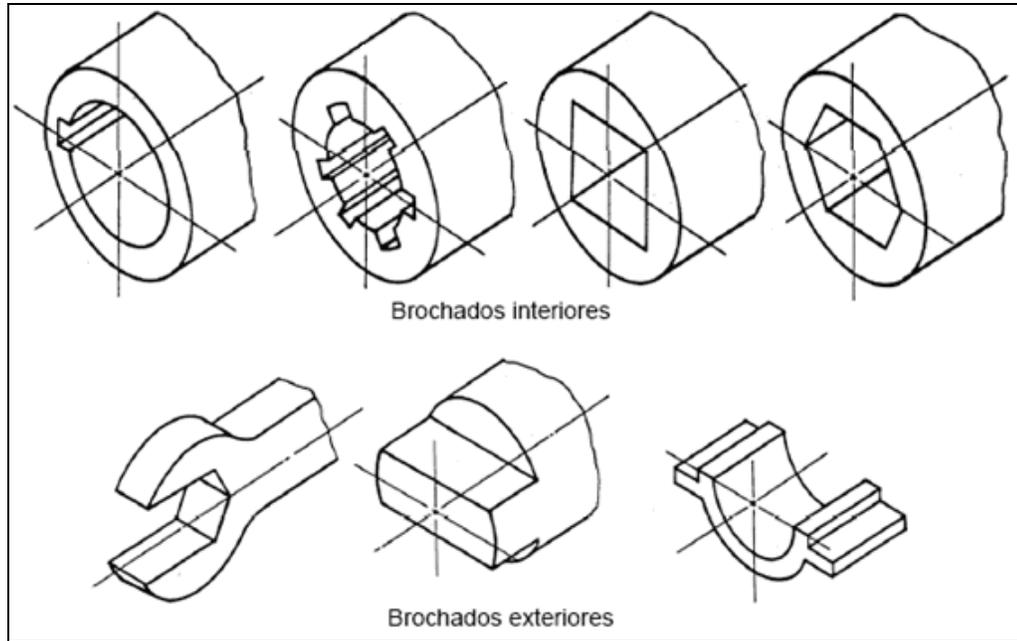


Figura 2.7 Ejemplos de trabajos que se pueden hacer por brochado (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

En las figuras 2.8 y 2.9 se observan como varía el agujero durante el brochado para algunas aplicaciones.

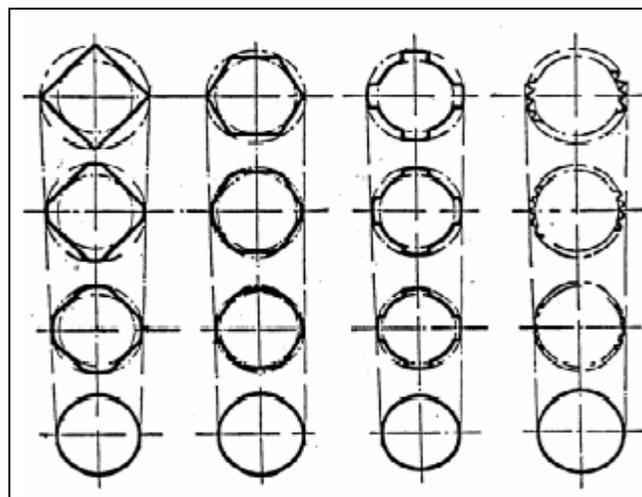


Figura 2.8 Demostración esquemática de las variaciones de un agujero durante el brochado (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

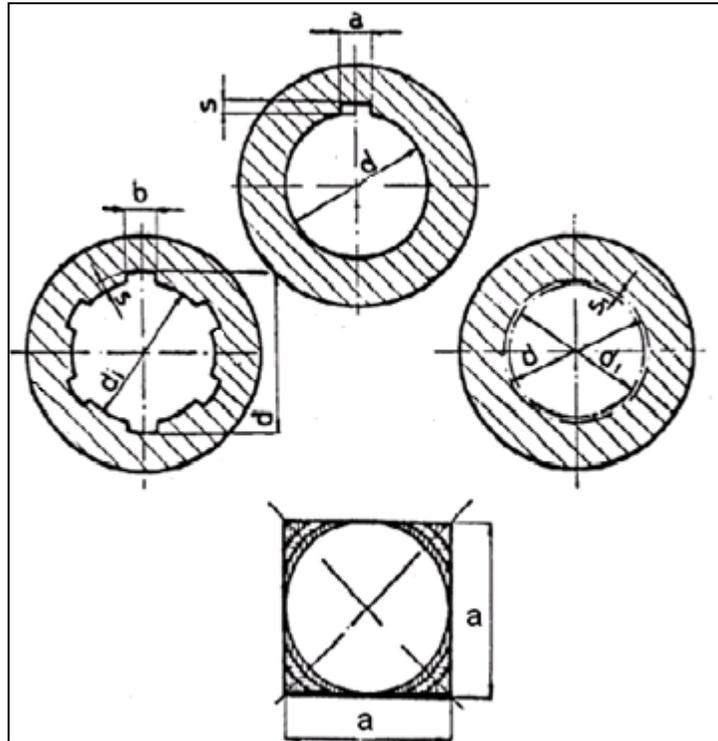


Figura 2.9 Representación esquemática de la variación del perfil de un agujero circular a cuadrado, transformado por medio del brochado (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.5.- BROCHAS

Es una herramienta con la característica de poseer una sucesión longitudinal de dientes dispuestos geoméricamente respecto a un eje o un plano y variable diametralmente según una progresión aritmética.

La brochadora recorre una superficie y arranca el material en el sentido de marcha.

Estas herramientas de corte están fabricadas con acero templado o acero de alta velocidad (HSS). Los dientes son cada vez más grandes y se adaptan en el extremo de la brocha a la forma del perfil deseado.

2.2.6.- TIRADORES DE BROCHA Y DISPOSITIVOS DE FIJACIÓN

Muchas brochas de superficie se montan en sostenes empernados a la cara de un ariete, pero algunas brochas de superficie y todas las brochas de jalón deben conectarse al extremo de un ariete con un tirador o cabezal tirador, en la figura 2.10 se ilustran varios tiradores comunes y las espigas de brocha en las que ajustan.

El tirador con cuerda mostrado en la figura 2.10 (A) y el tirador tipo cuña ilustrado en la figura 2.10 (B) son simples y de bajo costo, pero relativamente lentos. El tirador automático mostrado en la figura 2.10 (C) tiene preferencia para la producción, especialmente en máquinas con elevadores de brocha y equipo automático de manipulación. Cuando el mango en este tirador se empuja a mano hacia atrás o al llegar al tope, el tirador acepta o libera las espigas de brochas.

Los dispositivos de fijación por lo general están justificados para sostener piezas de trabajo que se brochan cuando la producción es grande. Los dispositivos de brochado son simples en comparación con los de otros procesos; uno puede ser simplemente un plato que soporta la parte y con un agujero para que pase la brocha.

Las fuerzas de brochado generalmente tienden a estabilizar la parte en el dispositivo pero son grandes, y los dispositivos deben ser fuertes. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

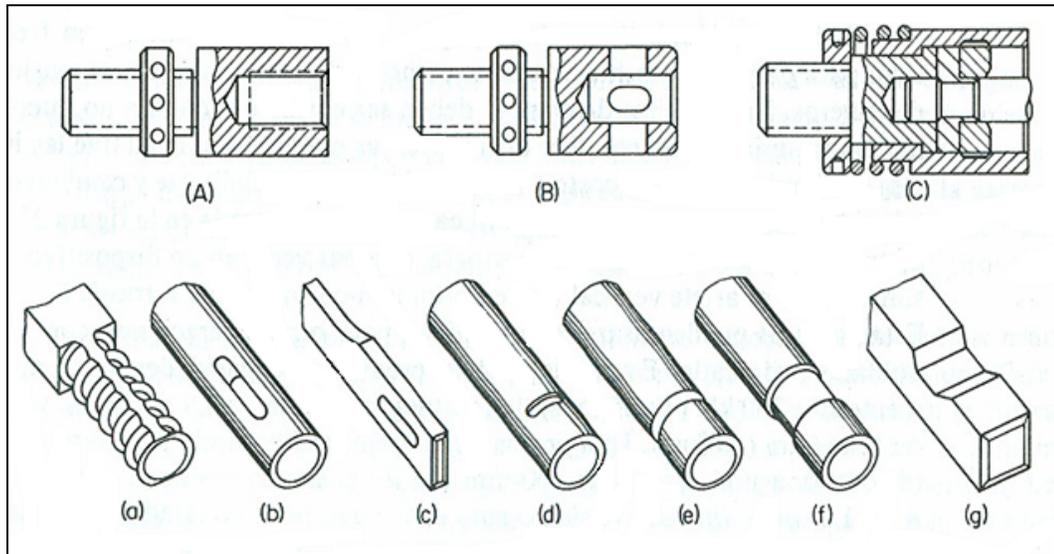


Figura 2.10 Tiradores de brocha y dispositivos de fijación (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

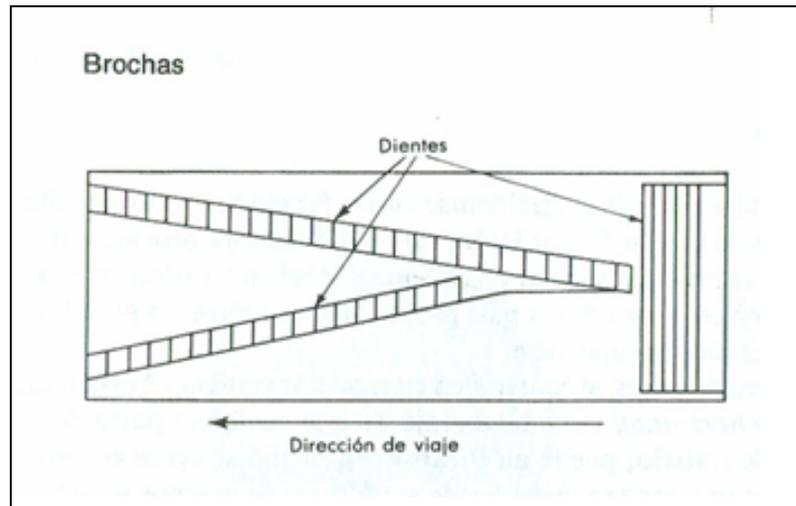


Figura 2.11 Arreglos de una brocha progresiva de superficie. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.7.- PROYECTO Y CÁLCULO DE UNA BROCHA PARA INTERIORES

2.2.7.1.- DIÁMETRO DEL AGUJERO INICIAL (Di)

En general el perfil inicial tiene forma de círculo cuyo diámetro depende de las dimensiones mínimas del perfil a obtener. Puesto que el agujero tiene la misión de guiar a la brocha, debe ser de precisión.

2.2.7.2.- CANTIDAD DE MATERIAL A ARRANCAR

Representa un dato del problema porque el perfil a obtener es fijado con anterioridad.

2.2.7.3.- INCREMENTO DE LOS DIENTES

(Δ) = Diferencia en mm entre el diámetro exterior de un diente y el de su inmediato anterior.

El incremento debe ser tanto más pequeño cuanto mayor sea la dureza del material a trabajar, y tanto más grande cuanto mayor el diámetro de la brocha.

Usualmente para distribuir esfuerzos se asigna un incremento inicial mínimo aumentándolo sucesivamente. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

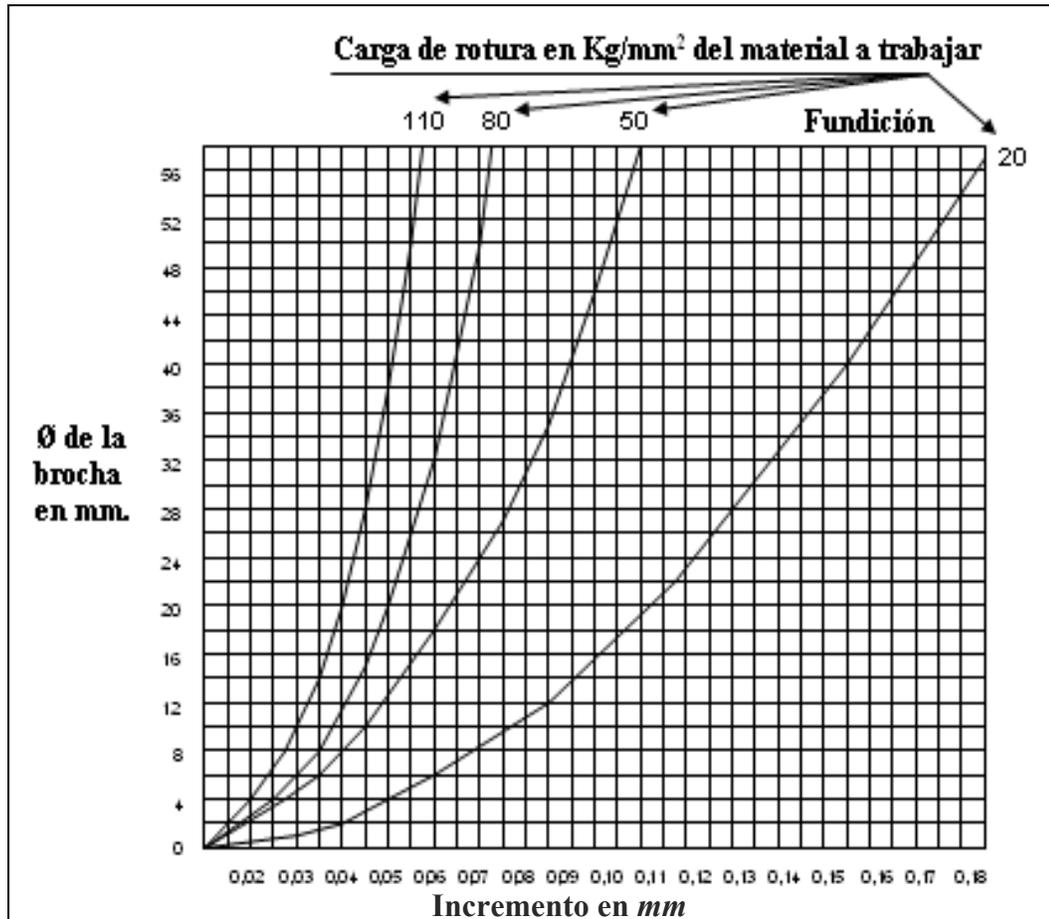


Figura 2.12 Diagrama para determinar el incremento a fijar para las brochas (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.7.4.- PASO DE LOS DIENTES

Fórmula Genérica
$$p = 0,42 * l \tag{2.1}$$

Siendo “*l*” la longitud del agujero y para $l < 16 \text{ mm}$

Se redondean los valores procurando que la longitud *l* no sea múltiplo de *p*. El paso de los dientes puede ser también desigual para obtener una superficie más lisa.

Con las brochas de paso uniforme se ha podido comprobar el defecto de una variación rítmica del esfuerzo de tracción, cada vez que un filo de corte entra bruscamente en contacto con el material, produciendo una superficie ondulada, esta irregularidad adquiere su máximo cuando l es múltiplo de p . Es buena práctica tener siempre 3 dientes cortando.

2.2.7.5.- PERFIL DE LOS DIENTES

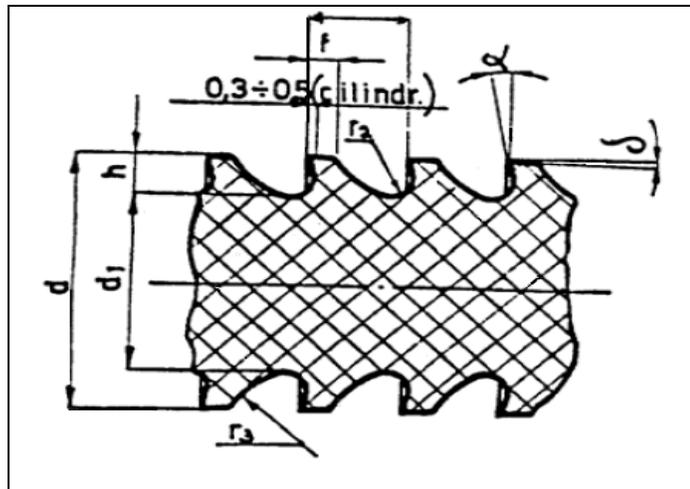


Figura 2.13 Perfil de los dientes. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

Para obtener una superficie lisa y un buen calibrado final del agujero se añaden varios dientes de acabado (3 a 5) sin ningún incremento, y además para alcanzar mayor precisión se disminuye el incremento de los dientes hacia el final de la pasada. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

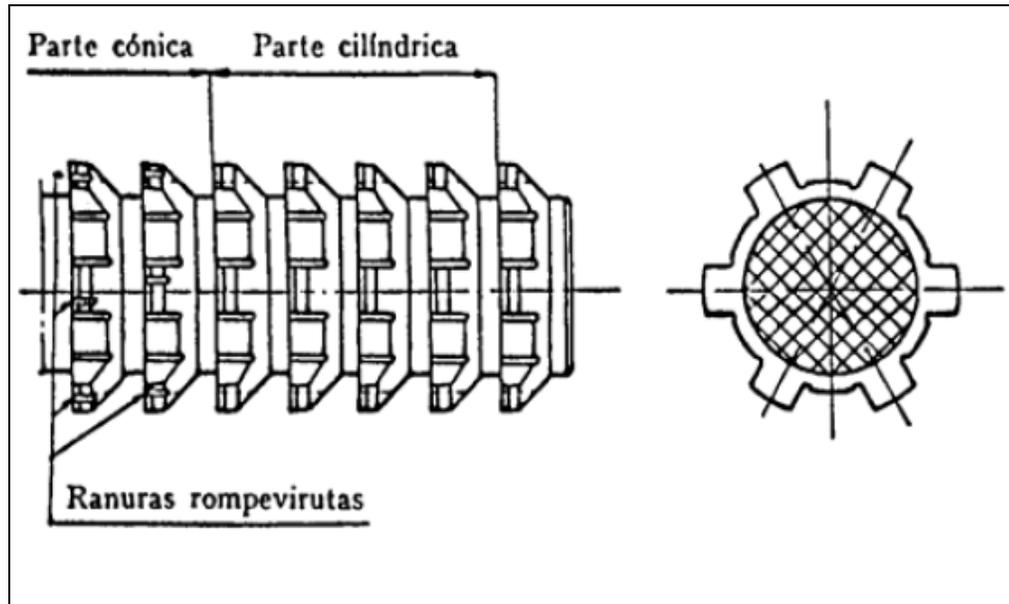


Figura 2.14 Distribución de los dientes. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

Tabla 2.1 Ángulos de ataque e incidencia recomendados en brochas de acero de alta velocidad.
(Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

Ángulo de ataque o de gancho α	
Material brochado	Grados
Fundición de hierro	6 a 8
Acero de alta dureza	8 a 12
Acero dúctil	15 a 20
Aluminio	10 o más
Latón y Bronce	9 a 10, o más
Latón frágil	
Ángulo de Incidencia δ	
Fundición gris	2 a 5
Acero: Dientes primarios Dientes finales	1 a 1 ½ ½ a 1 1/2
Latón y Bronce: Dientes primarios Dientes intermedios Dientes finales	2 1 1/2
Brochas para ranuras: Dientes primarios Dientes finales	3 1 1/2
Brochas de superficie	más de 3 1/2

2.2.7.6.- NÚMERO TOTAL DE DIENTES

$$N_D = \frac{D_f - D_i}{\Delta} \quad (2.2)$$

y la longitud $L_1 = N_D * p$ $L_2 = 5 * p$ $L = L_1 + L_2$

(2.3, 2.4, 2.5)

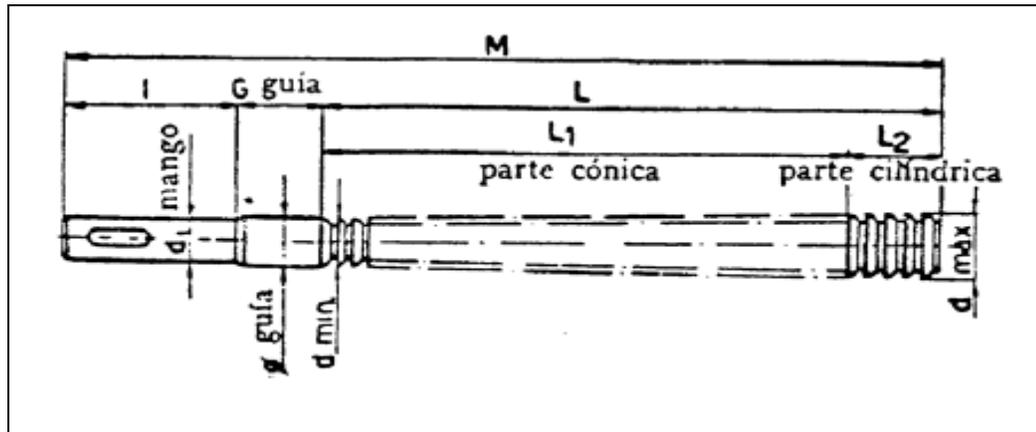


Figura 2.15 Brocha para agujeros cilíndricos. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.7.7.- NÚMERO DE BROCHAS

En el caso de que el número de dientes fuese elevado y diese una longitud total de la brocha muy elevada y no permitida por la carrera de la brochadora, se procederá a construir 2 o 3 brochas de igual longitud de modo que cada una sea la continuación de la anterior, para de esa manera obtener la profundidad de brochado necesaria y trabajar así adaptados a la carrera de la brochadora.

2.2.7.8.- PRUEBA A LA TRACCIÓN DE LA SECCIÓN MÍNIMA

Es aconsejable asegurarse que la sección mínima de la brocha pueda resistir la fuerza máxima debida al arranque de viruta de los dientes.

Llamando con:

n = Número de dientes en trabajo

K = Esfuerzo específico de corte (N/mm^2)

F_T = Fuerza total de corte (N)

c = Perímetro en contacto (mm)

Δ = Incremento en el diámetro (mm)

A_{mb} = Área de la sección mínima de la brocha (mm^2)

σ_t = Esfuerzo admisible a la tracción del material de la brocha. (N/mm^2)

Q = Resistencia de la sección mínima de la brocha (N)

Se tendrá:

$$F_T = pr * \frac{\Delta}{2} * K * n \quad (2.6)$$

Por otra parte, la sección mínima de la brocha ofrece la siguiente resistencia:

$$Q = A_{mb} * \sigma_t \quad (2.7)$$

Para que la brocha pueda resistir deberá verificarse:

$$Q > F \quad (2.8)$$

(Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.7.9.- SELECCIÓN DEL TIPO DE MANGO

Debe hacerse de acuerdo a las formas de sujeción permitidas por la máquina.

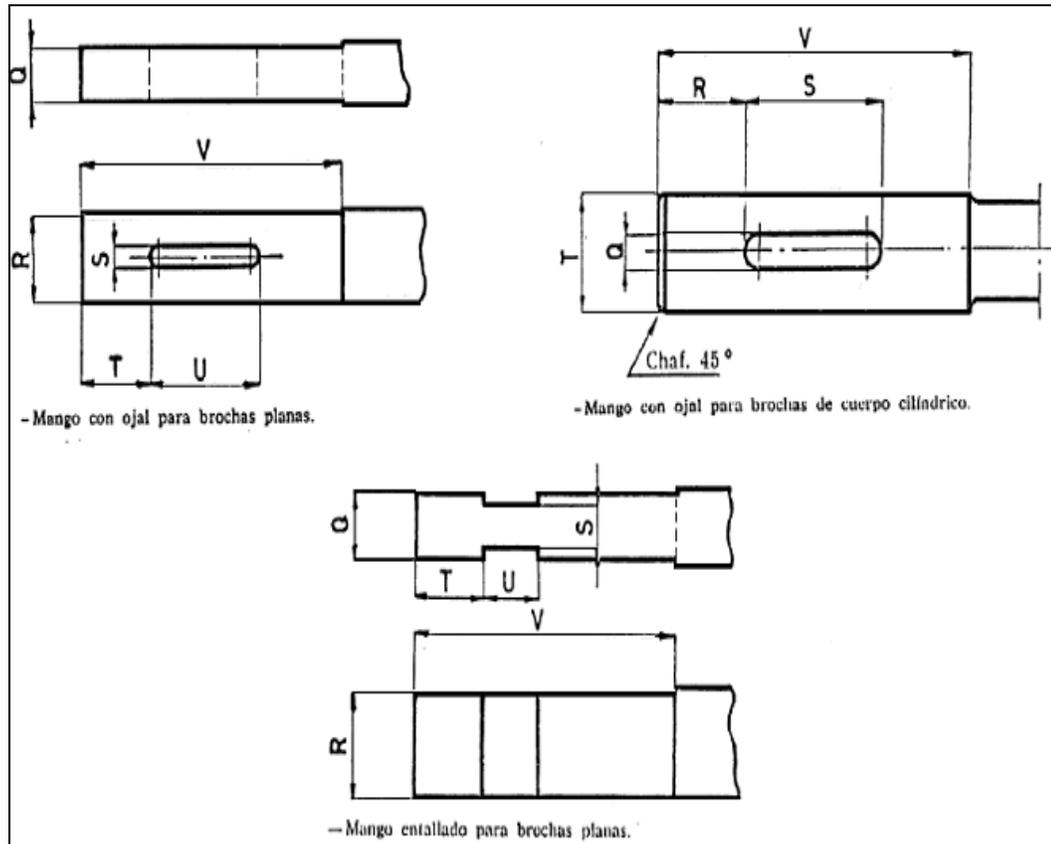


Figura 2.16 Mango para las brochas. (Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.7.10.- EJECUCIÓN DEL DIBUJO PARA SU CONSTRUCCIÓN

La ejecución del plano de una brocha debe hacerse indicando todos los parámetros y detalles de la brocha que se van a construir como se muestra en la figura 2.17. La realización de un plano a detalle resulta necesaria, para suministrar así la información completa de la brocha que se desea a aquellas personas que se encarguen de construir el herramental. Los parámetros a indicar son los que se mencionaron anteriormente en este capítulo.

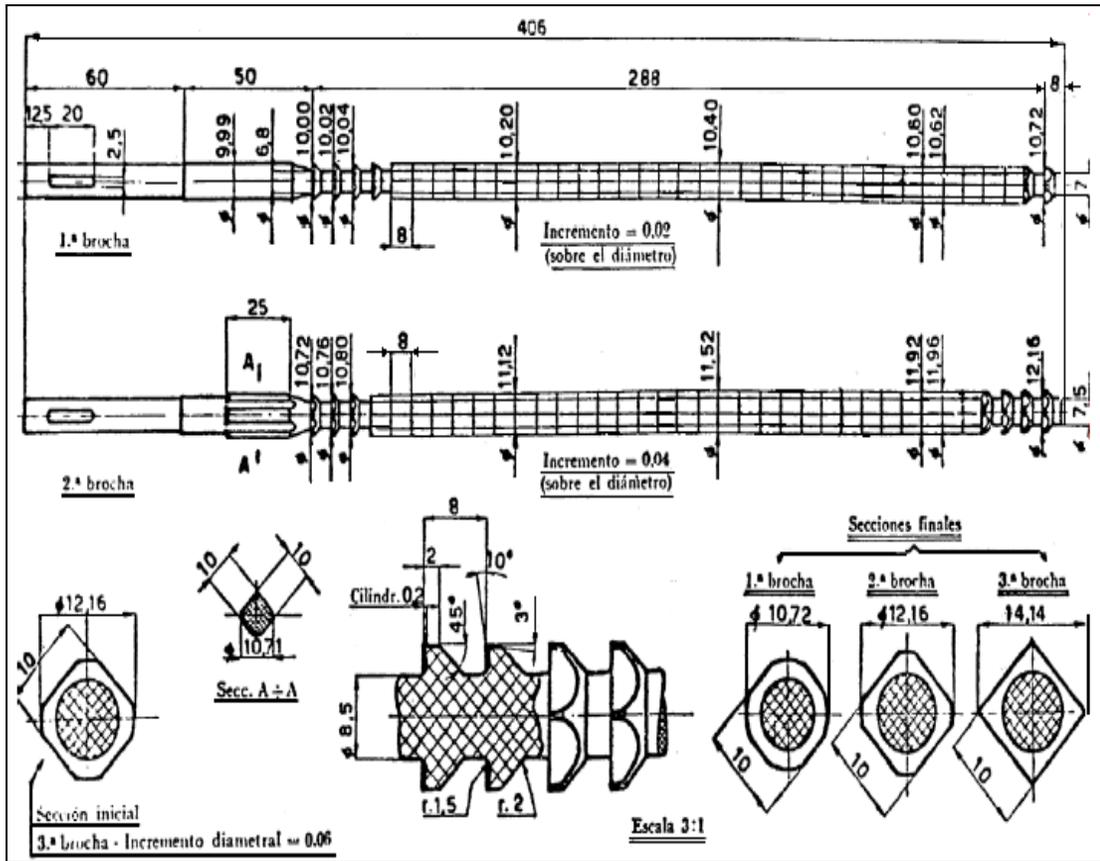


Figura 2.17 Dibujo de una serie de brochas para obtener un agujero de sección cuadrada.
(Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.7.11.- FUERZA DE CORTE ABSORBIDA EN EL BROCHADO

Para el proceso de brochado, la fuerza de corte se puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$F = K * S$$

(2.9)

Donde:

K = Fuerza específica de corte (Kg/mm^2)

S = Sección de la viruta cortada (mm^2)

La sección de la viruta cortada “ S ” se determina como:

$$S = c * e * n \quad (2.10)$$

Tabla 2.2 Fuerza específica de corte para el brochado. (Fuente: Procesos de fabricación por arranque de viruta - Ing. Juan C. Pereira)

<i>MATERIAL</i>	<i>K en Kg/mm²</i>
<i>Acero 50 Kg/mm²</i>	400 - 500
<i>Acero 60 Kg/mm²</i>	400
<i>Acero 70 Kg/mm²</i>	300
<i>Acero 80 Kg/mm²</i>	250
<i>Fundición</i>	150
<i>Bronce</i>	100
<i>Latón – Cobre</i>	80
<i>Aluminio</i>	60

Donde:

c = Perímetro de las hileras de dientes en contacto con la pieza (mm)

e = Incremento de altura de los dientes y que es igual al espesor de viruta (mm)

n = Número de hileras de dientes en contacto con la pieza mecanizada

Sustituyendo en la expresión de fuerza de corte, se tiene:

$$F = K * c * e * n \quad (2.11)$$

Esta es la fuerza a la que estará sometida la herramienta y por lo tanto la brocha deberá soportar esta fuerza sin romperse.

2.2.7.12.- POTENCIA ABSORBIDA POR EL BROCHADO

V_c = Velocidad de corte (m/min)

F_c = Fuerza de corte (N)

Ef = Eficiencia de la brochadora (0,65-0,85)

$$P_B = \frac{F_c * V_c}{60000 * Ef} (Kw) \quad (2.12)$$

2.2.7.13.- CÁLCULO DEL TIEMPO

L_B = Longitud de la parte dentada de la brocha + espesor del material a brochar (mm)

$$t_c = \frac{L_B}{V_c} (min) \quad (2.13)$$

2.2.8.- VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL BROCHADO

El brochado es un proceso de arranque de viruta que ha sido adoptado para el trabajo de producción en serie debido a las siguientes ventajas:

2.2.8.1.- VENTAJAS:

- El desbaste y acabado se terminan con una sola pasada de la herramienta.
- La velocidad de producción es alta por lo que el tiempo real para el corte es cuestión de segundos. La carga y descarga rápida de piezas mantienen el tiempo total en un mínimo y se puede adaptar a producción automática.
- El proceso se aplica a superficies internas ó externas.
- Es fácil mantener tolerancias muy precisas.
- Se logran acabados similares a los del fresado.

(Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta)

2.2.8.2.- LIMITACIONES:

- Costo elevado de las herramientas.
- Sólo se justifica para gran volumen de producción.
- Las piezas deben ser sujetadas fuertemente.
- Las superficies a brochar no deben tener obstrucciones.
- El brochado no se recomienda para quitar grandes cantidades de material.

Fuente: Manufactura II - Prof. Carlos Acosta.

2.2.9.- TEORÍAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO

En esta sección se reseñan las teorías y análisis de diseño mecánico empleados en cada uno de los componentes que conforman el sistema diseñado, describiendo la aplicación y ecuaciones a emplear:

2.2.9.1.- FACTOR DE SEGURIDAD

Es un factor que relaciona un esfuerzo máximo de diseño al cual está expuesto un elemento de máquina y un esfuerzo máximo permisible, generalmente se utiliza el esfuerzo de fluencia del material

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \quad (2.14)$$

Donde:

S_y = Esfuerzo Límite (Tracción, Compresión, Último) (Mpa)

σ_{\max} = Esfuerzo aplicado al elemento (Mpa)

Para que no ocurra falla en el elemento de máquina se debe cumplir que: $N_s > 1$

2.2.9.1.1.- FACTORES DE SEGURIDAD RECOMENDADOS

- Casos generales. Material dúctil. Incertidumbre moderada en relación a propiedades del material. Use $N_s = 3$
- Estructuras estáticas. Material dúctil con alto grado de confianza en las propiedades. Use $N_s = 2$
- Estructuras estáticas. Material frágil con alto grado de confianza en propiedades. Use $N_s = 3$
- Elementos de máquinas. Material frágil con incertidumbre moderada. Use $N_s = 4$
- Elementos de máquinas. Material dúctil con incertidumbre de propiedades. Use $N_s = 4$

(Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

2.2.9.1.2.- FACTORES DE SEGURIDAD SEGÚN SAE (SOCIETY AMERICAN ENGINEER)

Tabla 2.3 Factores de Seguridad según SAE. (Fuente: SAE)

<i>Tipo de carga</i>	<i>Para Sy</i>	<i>Para Su</i>
Constante	1,25 a 2	2,6 a 4,2
Repetida	2,5 a 3,5	5 a 7
Con inversión	3,5 a 5	7 a 9
Impacto	5 a 8	10 a 15

2.2.9.2.- MÉTODOS CONVENCIONALES DE CÁLCULO DE ESFUERZOS

2.2.9.2.1.- TENSIÓN SIMPLE O COMPRESIÓN AXIAL

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} \tag{2.15}$$

Donde:

F = Fuerza aplicada (N)

A = Área de la sección transversal estudiada (m^2)

σ_1 = Esfuerzo Aplicado (Pa)

Estos esfuerzos están producidos por cargas axiales.

2.2.9.2.2.- FLEXIÓN

$$\sigma_2 = \frac{M.c}{I} \tag{2.16}$$

Donde:

M = Momento aplicado ($N*m$)

c = Distancia del Eje Neutro a la fibra mas alejada (m)

I = Inercia de la sección transversal estudiada (m^4)

σ_2 = Esfuerzo Aplicado (MPa)

2.2.9.2.3.- CORTE POR CARGA DIRECTA APLICADA

$$\tau_1 = \frac{F}{A} \tag{2.17}$$

Donde:

F = Fuerza aplicada (N)

A = Área de la sección transversal estudiada (m^2)

τ_1 = Esfuerzo Aplicado (Pa)

2.2.9.2.4.- TORSIÓN

$$\tau_2 = \frac{T.c}{J} \tag{2.18}$$

Donde:

T = Par torsor aplicado ($N*m$)

c = Distancia del Eje Neutro a la fibra mas alejada (m)

J = Inercia de la sección transversal estudiada (m^4)

τ_2 = Esfuerzo Aplicado (Pa)

En estos cálculos de esfuerzos se supone:

- Área constante
- Distribución uniforme de la carga
- Material Isotrópico
- Deformación uniforme

2.2.9.3.- MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)

Se denota con la letra E y expresa la pendiente de la curva esfuerzo deformación de un material hasta su límite de proporcionalidad o elástico. Es una medida de la rigidez del material en su rango elástico y tiene unidades de esfuerzo.

Ecuación de Poisson:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \quad (2.19)$$

Ley de Hooke:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (2.20)$$

E = Módulo de elasticidad (pendiente curva *esf. – def.*)

Módulo de rigidez G :

$$\tau = \gamma \cdot G \quad (2.21)$$

τ = Esfuerzo cortante (MPa)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.22)$$

(Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

2.2.9.4.- CRITERIOS DE FALLAS ESTÁTICAS

2.2.9.4.1.- TEORÍA DE LA ENERGÍA DE DISTORSIÓN (VON MISSES)

Es aquel esfuerzo uniaxial que generaría la misma energía de distorsión que la que se produciría por la combinación real de los esfuerzos aplicados. Permittiéndonos de esta forma tratar los esfuerzos multiaxiales de tensión y cortante como si fueran cargas a tensión pura. Para aplicar la teoría, los esfuerzos aplicados a tensión pura. Para aplicar la teoría de los esfuerzos combinados a tensión y a cortante deben estar aplicados en un mismo punto. Esta teoría se aplica para todo acero.

Esfuerzo efectivo – Caso tridimensional

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (2.23)$$

Esfuerzo efectivo – Caso Bidimensional

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.24)$$

Cuando se tiene el caso que uno de los esfuerzos σ_x o σ_y es igual a cero (0), el esfuerzo efectivo queda de la siguiente manera:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{x'o'y}^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.25)$$

2.2.9.4.2.- TEORÍA DEL CORTANTE MÁXIMO (TRESCA)

Esta teoría establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo en una pieza excede el esfuerzo cortante en una probeta a tensión en el punto de fluencia (la mitad del límite elástico a tensión). Para aplicar la teoría, los esfuerzos combinados a tensión y a cortante deben estar aplicados en un mismo punto. Es una teoría más conservadora que la de Von Mises. Se aplica para materiales como Aluminio, Latón, Bronce y otros materiales blandos en comparación con los aceros.

Límite de fluencia elástico a cortante:

$$S_{ys} = 0,5 * S_y \quad (2.26)$$

Esfuerzo cortante máximo (Caso de dos dimensiones):

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2.27)$$

Dónde:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.28)$$

Cuando se tiene el caso que uno de los esfuerzos σ_x ó σ_y es igual a cero (0), los esfuerzos principales quedan de la siguiente manera:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_{xoy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{xoy}}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

(2.29)

Dónde:

σ_c : Esfuerzo de compresión (MPa)

(Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

2.2.10.- RESISTENCIA DE UNIONES SOLDADAS

Al diseñar componentes soldadas resulta preferible seleccionar un acero que proporcione una soldadura rápida y económica, aunque quizá requiera un sacrificio de otras cualidades, como la maquinabilidad. En condiciones apropiadas todos los aceros se pueden soldar, pero se tendrán mejores resultados si se eligen aceros con una especificación UNS entre G10140 y G10230. Dichos aceros tienen una resistencia a la tensión en la condición laminada en caliente, en el intervalo de 60 a 70 *Kpsi*.

El diseñador puede elegir factores de seguridad o esfuerzos permisibles de trabajo con más confianza, si está consciente de los valores que otros han empleado. Uno de los mejores estándares que se pueden usar es el código para la construcción de edificios de la *American Institute of Steel Construction (AISC)*. En la actualidad los esfuerzos permisibles se basan en el límite elástico del material, en vez de la resistencia última; asimismo, el código permite una variedad de aceros estructurales ASTM, con límites elásticos que varían de 33 a 50 *Kpsi*. A condición que la carga sea la misma, el código permite el mismo esfuerzo en el metal de aporte y en el metal base. Para estos aceros ASTM, $S_y = 0,5S_u$. En la tabla 2.4 se listan las fórmulas especificadas por el código para calcular estos esfuerzos permisibles en varias condiciones de carga. Los factores de seguridad implicados se calculan con facilidad. Para tensión, $n = 1/0,60 = 1,67$. Para cortante, $n = 0,577/0,40 = 1,44$, al emplear la teoría de la energía de distorsión como el criterio de falla.

Para la determinación del esfuerzo cortante adyacente a la soldadura resulta necesaria la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F_{perm}}{2hl} \quad (2.30)$$

Así como también resulta necesario el uso de la siguiente ecuación para la determinación de esfuerzo de tensión en el cuerpo de la unión:

$$\sigma = \frac{F}{tl} \quad (2.31)$$

2.2.10.1.- ESFUERZOS EN UNIONES SOLDADAS

Una de las forma más fácil de unir materiales es mediante la soldadura, cuando las uniones son delgadas y el espacio es poco para colocar un remache o una unión pernada esta sirve de gran ayuda, además que poseen una alta resistencia a los diferentes esfuerzos que pueden estar presentes. Para el estudio de resistencia por soldadura se examinan los esfuerzos que pueden ocasionar algún tipo de falla en ella, estos esfuerzos pueden ser de corte o normales.

2.2.10.1.1.- UNIONES SOLDADAS SOMETIDAS A CORTE PURO

Este esfuerzo se presenta cuando la carga es aplicada directamente sobre el patrón de soldadura.

Este esfuerzo es calculado con la siguiente expresión:

$$\tau_v = \frac{V}{A_g} \quad (2.32)$$

Donde:

A_g = Representa el área de garganta de la soldadura (mm^2)

V = Fuerza aplicada sobre el cordón de soldadura (N)

El área de garganta está representada según el tipo de soldadura, de la longitud efectiva y la altura del material de aporte.

2.2.10.1.2.- UNIONES SOLDADAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

Para el cálculo de esfuerzo normal en uniones soldadas sujetas a flexión se presentan dos tipos de esfuerzos.

En este caso se encuentran presente dos estados de esfuerzos y son calculados según las siguientes ecuaciones:

$$\tau_{f'} = \frac{V}{A_g} \quad (2.33)$$

$$\tau_{f''} = \frac{Mc}{I} \quad (2.34)$$

Donde:

$\tau_{f'}$ = Esfuerzo cortante primario (Mpa)

$\tau_{f''}$ = Esfuerzo cortante secundario (Mpa)

En el caso del esfuerzo cortante secundario se tiene el segundo momento de área I , con base en el área de la garganta de la soldadura, la cual depende de los parámetros de esta (longitud, altura y tipo de soldadura).

Al obtener estos esfuerzos se calcula el esfuerzo equivalente total por medio de la siguiente ecuación:

$$\tau_{Equiv} = \sqrt{(\tau_{f'})^2 + (\tau_{f''})^2} \quad (2.35)$$

Al conocer este esfuerzo se compara con el esfuerzo admisible de la soldadura:

$$\tau_{Equiv} \leq \tau_{Admi} \quad (2.36)$$

Se conoce que este esfuerzo admisible viene dado por el esfuerzo del electrodo utilizado.

2.2.10.1.3.- FUERZA PERMISIBLE DEL MATERIAL DE APORTE

Fuerza que está dada debido a que resulta necesario conocer la fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldadura de filete, representada por la siguiente expresión:

$$F_{Perm} = F_{Unit.Perm.} * L \quad (2.37)$$

(Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

Tabla 2.4 Propiedades mínimas del metal de aporte. (Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

<i>Número de Electrodo AWS</i>	<i>Resistencia de Tensión Kpsi (Mpa)</i>	<i>Límite elástico Kpsi (Mpa)</i>	<i>Elongación (%)</i>
E60XX	62 (427)	50 (345)	17-25
E70XX	70 (482)	57 (393)	22
E80XX	80 (551)	67 (462)	19
E90XX	90 (620)	77 (531)	14-17
E100XX	100 (689)	87 (600)	13-16
E120XX	120 (827)	107 (737)	14

Tabla 2.5 Esfuerzos permisibles para Código AISC para metal de aporte. (Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

<i>Tipo de carga</i>	<i>Tipo de soldadura</i>	<i>Esfuerzo permisible</i>	<i>n*</i>
Tensión	A tope	$0,60S_y$	1,67
Aplastamiento	A tope	$0,90S_y$	1,11
Aplastamiento	A tope	$0,60-0,66S_y$	1,52-1,67
Compresión simple	A tope	$0,60S_y$	1,67
Cortante	A tope o de filete	$0,30S_y$	---

Tabla 2.6 Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete. (Fuente: Joseph E. Shigley año 2002)

	<i>Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)</i>						
	60*	70*	80*	90*	100	110*	120
	<i>Esfuerzo cortante permisible en la garganta, Kpsi de soldadura de filete</i>						
τ	18	21	24	27	30	33	36
	<i>Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, Kip/pulg. lineal</i>						
f	17,73h	14,85h	16,97h	19,09h	21,21h	23,33h	25,45h
<i>Tamaño del cateto h, pulg.</i>	<i>Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldadura de filete</i>						
	<i>Kip/pulg. lineal</i>						
1	12,73	14,85	16,97	19,09	21,21	23,33	25,45
7/8	11,14	12,99	14,85	16,70	18,57	20,41	22,27
3/4	9,55	11,14	12,73	14,32	15,92	17,50	19,09
5/8	7,96	9,28	10,61	11,93	13,27	14,58	15,91
1/2	6,37	7,42	8,48	9,54	10,61	11,67	12,73
7/16	5,57	6,50	7,42	8,35	9,28	10,21	11,14
3/8	4,77	5,57	6,36	7,16	7,95	8,75	9,54
5/16	3,98	4,64	5,30	5,97	6,63	7,29	7,95
1/4	3,18	3,71	4,24	4,77	5,30	5,83	6,36
3/16	2,39	2,78	3,18	3,58	3,98	4,38	4,77
1/8	1,59	1,86	2,12	2,39	2,65	2,92	3,18
1/16	0,795	0,93	1,06	1,19	1,33	1,46	1,59

2.2.11.- FUERZA DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

También existe una fuerza de rozamiento entre dos objetos que no están en movimiento relativo.

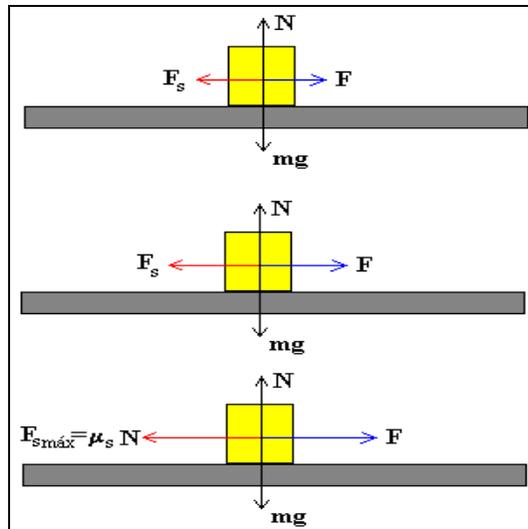


Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre de un sólido. (Fuente: www.sc.edu.es)

Como se observa en la figura 2.19, la fuerza F aplicada sobre el bloque aumenta gradualmente, pero el bloque permanece en reposo. Como la aceleración es cero la fuerza aplicada es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento F_s .

$$F = F_s \tag{2.38}$$

La máxima fuerza de rozamiento corresponde al instante en el que el bloque está a punto de deslizar.

$$F_{s\text{ máx}} = \mu_s N \tag{2.39}$$

La constante de proporcionalidad m_s se denomina coeficiente de rozamiento estático.

Los coeficientes estático y cinético dependen de las condiciones de preparación y de la naturaleza de las dos superficies y son casi independientes del área de la superficie de contacto. (Fuente: www.sc.ehu.es)

Tabla 2.7 Coeficientes de rozamiento estático y cinético. (Fuente: www.sc.ehu.es)

<i>Superficies en contacto</i>	m_s	m_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

2.2.12.- MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

2.2.12.1.- MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

Es un método numérico para resolver en forma aproximada ciertos problemas en ingeniería y ciencias. Este se usa principalmente para resolver problemas para los cuales no existe una solución exacta y requiere un gran trabajo computacional.

2.2.12.2- USO DE LOS ELEMENTOS FINITOS EN INGENIERÍA

El método de los Elementos Finitos puede ser usado para resolver una gran variedad de problemas de ingeniería en tres grandes áreas:

- Mecánica de fluidos
- Mecánica de sólidos
- Transferencia de calor

2.2.12.3.- CONCEPTO DE ELEMENTO FINITO

- Cualquier problema físico puede ser dividido en un cierto número de áreas o volúmenes que son llamados elementos finitos.
- El proceso es llamado discretización.
- Al ensamble de las pequeñas áreas o volúmenes se le denomina Malla.

2.2.12.4.- FORMA GEOMÉTRICA DE LOS ELEMENTOS

Los elementos pueden ser uni-, bi- y tridimensionales y sirven para modelar líneas, superficies o volúmenes.

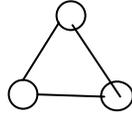
- Una dimensión (barras, vigas)

Lineal

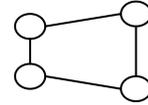


- Dos dimensión (membranas, placas)

Triangular

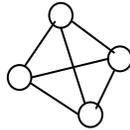


Cuadrilátero

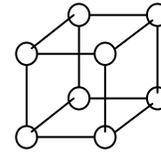


- Tres dimensiones (sólidos, placas gruesas, conchas)

Tetraedro



Hexaedro



2.2.12.5.- ENSAMBLAJE DE ELEMENTOS

- Los nodos están colocados en las esquinas de los elementos y a veces también en los puntos medios de esas caras o aristas y dentro de ellos.
- Los nodos son los puntos donde se conectan los elementos finitos entre sí.

2.2.12.6.- SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ELEMENTOS FINITOS

- El análisis de este ensamblaje nos provee de los desplazamientos de cada uno de los nodos para ciertas cargas aplicadas al modelo.
- Los desplazamientos de los otros puntos dentro del elemento se interpolan a partir de los valores de los desplazamientos en los nodos que correspondan al elemento.

- Cada nodo tiene un cierto número de posibles desplazamientos llamados grados de libertad. En el espacio cada nodo tiene seis (6) grados de libertad (tres desplazamientos y tres rotaciones).

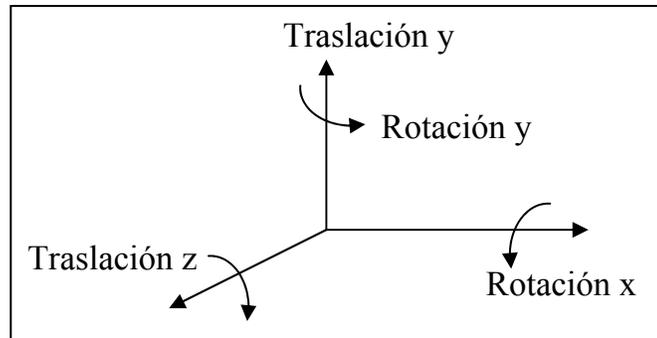


Figura 2.19 Representación de Grados de Libertad

2.2.12.7.- SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE ELEMENTOS FINITOS

Conocidos los desplazamientos se pueden obtener también:

- Las reacciones
- Las deformaciones
- Los esfuerzos

Este análisis requiere de gran cantidad de esfuerzo computacional si se desea estudiar un modelo realista de un problema de ingeniería.

2.2.12.8.- PASOS DE UN ANÁLISIS CON ELEMENTOS FINITOS

Un análisis usando elementos finitos requiere de la disponibilidad de un programa de computación especializado en estos análisis.

Existen numerosos programas de elementos finitos: ABAQUS, VISUAL NASTRAN, FEA, AQUA, ADINA, ANSYS, MTABS, ETC., que pueden resolver un gran rango de problemas en ingeniería. En este trabajo especial de grado se utilizó

VISUAL NASTRAN 4D debido a que es el programa de análisis al que se tiene mayor acceso y se utiliza en otras materias referentes a la carrera.

El uso de cualquiera de ellos para el análisis de un problema real sigue los siguientes pasos:

- Pre-procesamiento
- Análisis propiamente dicho
- Post-procesamiento
- Interpretación de los resultados

2.2.12.8.1.- PRE-PROCESAMIENTO

- El pre-procesamiento consiste en la creación del modelo y la definición de la manera como será cargado y apoyado.
- El modelo suele hacerse con un paquete gráfico que a menudo viene incluido con el programa o importado de un programa de CAD.
- El éxito del análisis es determinado en gran parte :
 - Por la destreza del usuario para determinar que simplificaciones deben ser introducidas en el modelo para que represente el objeto real.
 - La escogencia de elementos a ser usados y el diseño de la malla.
 - La imposición apropiada de restricciones o apoyos.
- El resultado final de este paso es un archivo de datos en el que se indica al programa que hacer y con que trabajar.

2.2.12.8.2.- ANÁLISIS

- El programa de elementos finitos lee los datos del archivo de entrada.
- Realiza ciertos chequeos de esa información a fin de detectar errores.

- Si no hay errores se realiza el análisis y se produce un archivo de resultados. Este paso es completamente transparente para el usuario.
- El proceso de análisis está contenido en una especie de caja negra donde el usuario no tiene acceso.

2.2.12.8.3.- POST-PROCESAMIENTO

- El post-procesamiento toma la información de los archivos de resultados y los presenta en forma gráfica o tabulada.
- Se usan colores para localizar sitios de valores de esfuerzo o temperatura semejantes.
- El modelo puede ser rotado para ser examinado desde diferentes puntos de vista.

2.2.12.8.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- Es el paso final y a menudo más menospreciado aspecto de los análisis mediante elementos finitos.
- A menudo un usuario nuevo y sin experiencia confiará a ciegas en la solución sin recordar que:

“Si entra basura, sale basura”.

(Fuente: CHANDRUPATLA, Tirupathi R. y BELEGENDU, Ashok D. Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería año 1999)

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto consta de una investigación donde se pretende proponer soluciones a la situación problemática planteada de la construcción de una máquina de brochado para llevar a cabo los objetivos, la investigación implica explorar, describir y proponer alternativas de solución, para luego llegar a la etapa de construcción del dispositivo. Esta investigación requiere por lo tanto un estudio de factibilidad para determinar cual de las soluciones propuestas es la más correcta.

Siguiendo este método de investigación, se puede llegar a la solución del problema empleando diferentes vías, cada una con métodos, técnicas y enfoques propios: la perspectiva, la retrospectiva, y la planificación holística. En el caso del presente proyecto, se empleará la técnica de la prospectiva, el cual consiste en ubicarse en el futuro concibiendo la propuesta seleccionada, y luego desarrollar en el presente todos los pasos y procesos para lograr el fin concebido, el cual es la construcción del mecanismo para realizar el proceso de brochado.

3.2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- Primera Fase: Búsqueda y revisión de información. En esta etapa se procederá a recopilar y analizar toda la información referente a brochado, aplicaciones, funcionamiento y características de las maquinas brochadoras, componentes, equipos, partes que la componen y parámetros que hay que tomar en cuenta para su diseño y construcción.

- Segunda Fase: Diseño y selección de dispositivos. Esta fase consiste en la selección de elementos mecánicos y equipos que formarán parte de la máquina de brochado. También se llevará a cabo el diseño del dispositivo, considerando todos los factores involucrados como la dinámica del dispositivo, las tolerancias posibles, las características de los dispositivos seleccionados, entre otros.
- Tercera Fase: Construcción del dispositivo de brochado. Se procederá en esta etapa a la integración de todos los elementos y diseños que formarán parte de dicho dispositivo.
- Cuarta Fase: Pruebas finales. Como paso final, se llevarán a cabo una serie de pruebas para determinar el desempeño del dispositivo de brochado, las posibles fallas en sus sistemas mecánicos, así como la resistencia de los elementos mecánicos.

3.3.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas a emplear mediante las cuales se recopilará la información para el diseño y construcción de la brochadora son las siguientes:

- Técnica de observación: Consiste en el análisis visual del comportamiento del fenómeno en estudio, tomando del mismo todos los datos posibles, que luego de clasificados e interpretados puedan ser de utilidad para el desarrollo de la investigación.
- Técnica de recopilación y análisis bibliográfico: Esta técnica se basa en la búsqueda de la información más relevante y necesaria disponible sobre brochado. La información será recaudada de textos y de Internet, luego será organizada sistemáticamente para permitir su posterior análisis de forma eficaz.

Los instrumentos que serán implementados para recolectar la información necesaria en el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Computador: Con el uso de este equipo será posible acceder a toda la información disponible de manera digital en Internet, así como establecer contactos con entes nacionales e internacionales vinculados al brochado.
- Bibliografía, manuales de fabricantes: Se hará uso de toda la información bibliográfica disponible y que sea de utilidad para el desarrollo del proyecto, de la misma manera, los manuales de los elementos que formarán parte de la brochadora con el fin de obtener las especificaciones de los dispositivos, disponibles, para adaptarlos al diseño de la máquina de brochado.

3.4.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se efectuará un análisis a la información recabada mediante la observación, así como la investigación bibliográfica, con el fin de crear los criterios y requerimientos que contribuyan al diseño del dispositivo de brochado.

Toda la información recolectada será estudiada sistemáticamente luego de ser clasificada, para de esta forma obtener todos los datos necesarios, crear criterios para el diseño, y cualquier información que pueda servir de ayuda en la realización del proyecto.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

IV. RESULTADOS

4.1.- ESPECIFICACIONES DE LA PRENSA HIDRÁULICA SEGÚN DATOS DE PLACA

Marca: ENERPAC

Modelo: PEM1541

Serial: OC8051

Válvula Manual: 4 way

Especificaciones del motor:

Potencia nominal $1/3 \text{ hp} = 248,57 \text{ W}$

Factor de Servicio: 1.35

115/230 *Voltaje*

60 Hz 8/4 *Amp.*

Especificaciones de la bomba:

Tabla 4.1 Especificaciones de la bomba de aceite según datos de placa. (Fuente: ENRPAC)

<i>In³/min.</i>	290	260	13
<i>psi</i>	0	200	10000

Capacidad de aceite usable: 190 in^3

Manómetro:

0 - 500 *psi* (máx.)

Apreciación: 10 *psi*

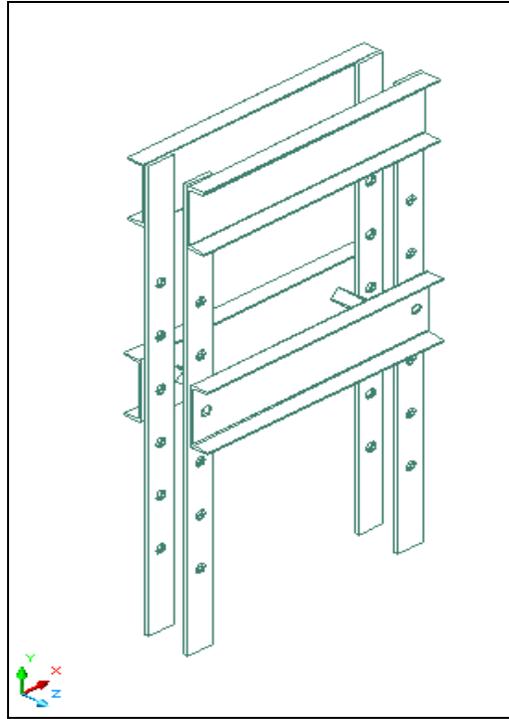


Figura 4.1 Estructura de la prensa

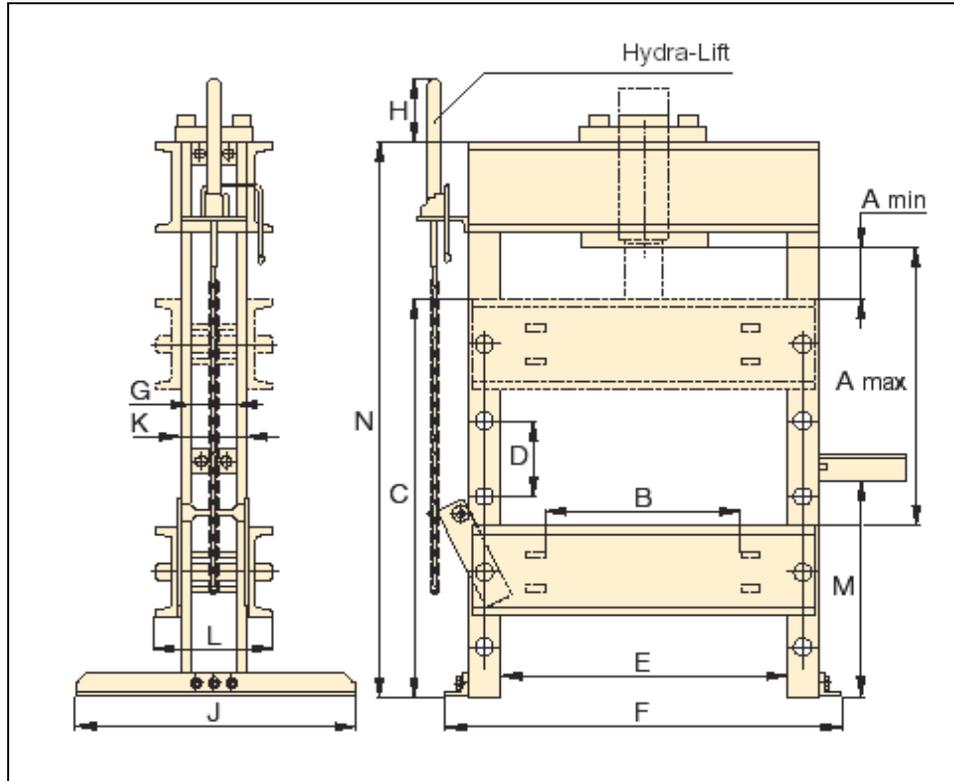


Figura 4.2 Dimensiones de la prensa hidráulica. (Fuente: ENERPAC)

Press Capacity (tons)	Press Model Number	Pump Model Number	Page:	Cylinder Model Number	Page:	H-Frame Press Dimensions (in)					
						A (max)	A (min)	B	C	D	E
30	IPA-3071	PAM-1042	97	RR-3014	32	54.50	7.00	-	57.00	11.88	29.00
	IPE-3060	ZE3410SB-N	86	RR-3014	32	54.50	7.00	-	57.00	11.88	29.00
	IPH-3080	P-84	64	RR-3014	32	54.50	7.00	-	57.00	11.88	29.00

H-Frame Press Dimensions (in)								Weight (lbs)	Press Model Number
F	G	H	J	K	L	M	N		
40.50	4.00	13.25	30.00	5.25	10.69	26.50	76.00	684	IPA-3071
40.50	4.00	13.25	30.00	5.25	10.69	26.50	76.00	722	IPE-3060
40.50	4.00	13.25	30.00	5.25	10.69	26.50	76.00	664	IPH-3080

Press Capacity (tons)	Maximum Vertical Daylight (in)	Maximum Bed Width (in)	Power Source						Press Model Number	Cylinder			Speed (sec/in)*	
			Type			Valve				Stroke (in)	Rapid Advance	Pressing		
			Man.	Elec.	Air	Man.	Elec.							
30	54.50	29.00			●	●		IPA-3071	●	14	.60	43.00		
	54.50	29.00		●			●	IPE-3060	●	14	.90	9.80		
	54.50	29.00	●			●		IPH-3080	●	14	{7}	{34}		

Figura 4.3 Especificaciones de los catálogos encontrados. (Fuente: ENERPAC)

De la figura 4.3 se tiene que la prensa presente en el laboratorio es la IPH-3080, que trabaja con presión hidráulica y cuyas especificaciones están allí dadas.

4.2.- PIEZA A MECANIZAR

A continuación se calcularán los parámetros del diseño de una brocha para la fabricación de un chavetero (ranura) a realizar.

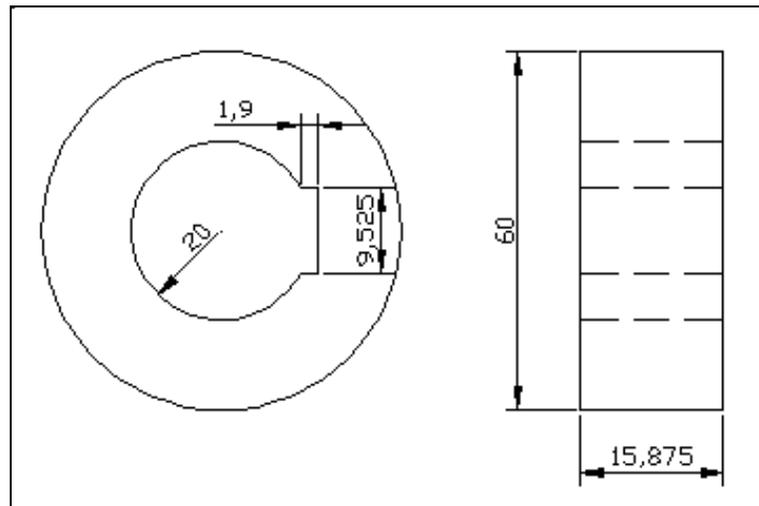


Figura 4.4 Pieza N ° 1

a) Paso de los dientes (p):

Mediante el uso del Vernier como instrumento de medición se determinaron las dimensiones de la brocha:

$$p = 9,5 \text{ mm}$$

b) Incremento de altura de los dientes (e):

Incremento de la altura de los dientes de desbaste (e_D): 0,10 mm

Incremento de la altura de los dientes de acabado (e_A): 0,05 mm

c) Número de dientes en contacto con la pieza (n):

$$n = \frac{L}{p} + 1 = \frac{15,875}{9,5} + 1 = 2,67 \text{ dientes, se aproxima a 3 dientes}$$

Mediante el uso del Perfilómetro como instrumento de medición se determinaron los ángulos de la brocha:

d) Angulo de ataque (α):

$$\alpha = 13,50^\circ$$

e) Angulo de incidencia (γ):

$$\gamma_D = 1,50^\circ$$

$$\gamma_A = 1^\circ$$

f) Número de dientes de la brocha (N):

$$N_D = 17 \text{ dientes (Desbaste)}$$

$$N_A = 4 \text{ dientes (Acabado)}$$

$$L_T = p \cdot (N_D + N_A) = 9,5 \cdot (17 + 4) = 199,5 \text{ mm}$$

g) Velocidad de corte recomendada para el aluminio (V_c):

Según tabla del Apéndice V se tiene: $V_c = 1-6 \text{ m/min}$

Se toma $V_c = 1,2 \text{ m/min}$

h) Tiempo de corte (t_c):

A través de la ecuación 2.13 se determina el valor del tiempo de corte del brochado:

$$t_c = \frac{199,5}{1200} = 0,1663 \text{ min} = 10 \text{ seg}$$

i) Fuerza de corte (F):

Según tabla 2.2 del Capítulo II se tiene por propiedades de los metales:

$$K_{\text{Aluminio 6063}} = 60 \text{ Kg/mm}^2$$

A través de la ecuación 2.10 y 2.11 se determinan los valores de fuerza de desbaste y fuerza de acabado del brochado sucesivamente:

$$c_A = 9,40 + 2*(0,10) = 9,60 \text{ mm}$$

$$c_D = 9,40 + 2*(0,05) = 9,50 \text{ mm}$$

$$F_D = (60)*(9,81)*(9,60)*(0,10)*(3) = 1695,17 \text{ N}$$

$$F_A = (60)*(9,81)*(9,50)*(0,05)*(3) = 838,76 \text{ N}$$

j) Potencia de brochado (P_B):

La condición crítica se consigue en la operación de desbaste, donde la fuerza de corte alcanza los 1695,17 N.

A través de la ecuación 2.12 se determina el valor de la potencia máxima que absorbe el proceso de brochado.

$$P_B = \frac{(1695,17) * (1,20)}{(60000) * (0,85)} = 0,0399 \text{ KW} = 39,9 \text{ W} \approx 40 \text{ W}$$

4.3.- SUJECIÓN SUPERIOR

La sujeción superior es la encargada de soportar la brocha en su parte superior para luego hacer el proceso de mecanizado y guiar la dirección longitudinal de la brocha.

4.3.1.- SUJECIÓN SUPERIOR: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

4.3.1.1.- ALTERNATIVA 1

Consiste en un cilindro hueco, cuyos extremos internos se encuentran cerrados por láminas circulares de ½", las cuáles a su vez poseen un agujero con la forma de la sección transversal de la brocha de manera tal que mediante estos se pueda acoplar de una manera correcta dicha pieza, además para garantizar la sujeción de la brocha al dispositivo, se colocan en la parte lateral del mismo dos tornillos pasantes que atraviesan la cara lateral del dispositivo y de esa manera presionan la brocha, en la parte superior externa de dicho cilindro existe una rosca para acoplar el cilindro a la prensa, ya que esta posee una rosca interna en su émbolo.

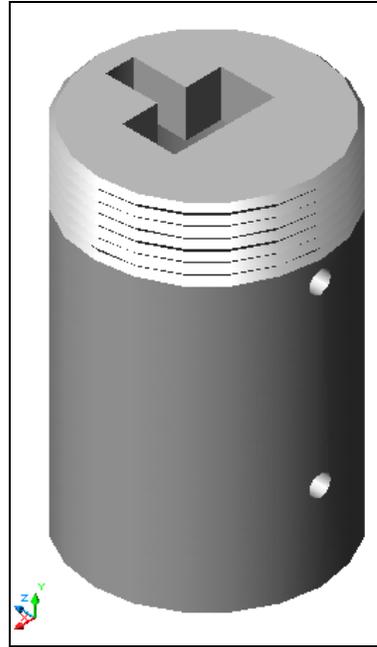


Figura 4.5 Alternativa 1

4.3.1.2.- ALTERNATIVA 2

El sistema de sujeción superior consiste en dos láminas (una fija y otra móvil); estas dos láminas aprietan la brocha mediante el ajuste de 4 tornillos pasantes que atraviesan dichas láminas para sujetar así la herramienta de corte, además la lámina fija tiene un tope superior para restringir el movimiento vertical hacia arriba de la brocha. La lámina fija está soldada a un cilindro macizo como lo muestra la figura 4.6. La parte móvil tiene una ranura que depende del perfil de la brocha para evitar movimientos laterales cuando esta sea sometida a compresión en el momento del mecanizado. El cilindro macizo que se encuentra en la parte superior tiene de igual manera un roscado externo para acoplar el dispositivo a la prensa.

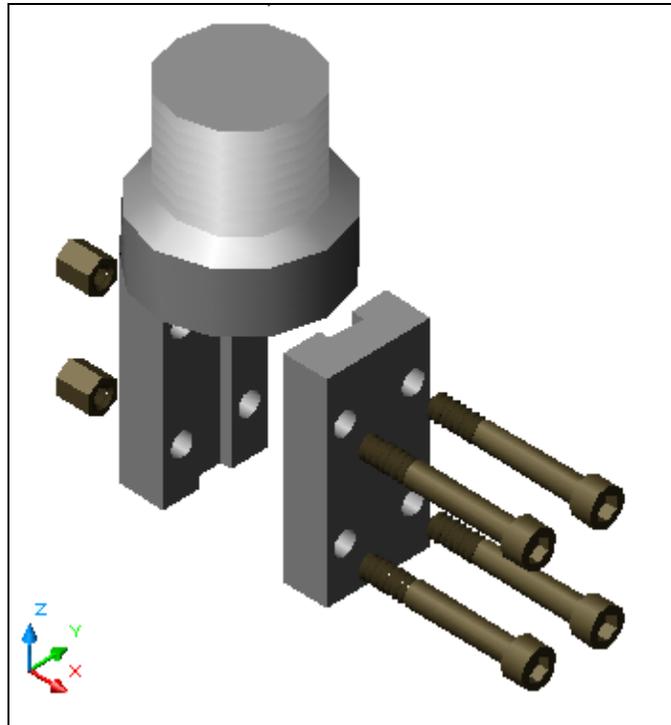


Figura 4.6 Alternativa 2

4.3.1.3.- ALTERNATIVA 3

Comprende dos piezas cilíndricas principales; cilindro externo y cilindro interno, el cilindro interno se encuentra ranurado longitudinalmente, ranura que tiene las dimensiones de la sección transversal de la brocha, la cuál evita que la brocha tenga movimiento en el momento de ejecutar el mecanizado, el cilindro externo tendrá un agujero interno cuyo diámetro coincide con las dimensiones del diámetro externo del cilindro ranurado en el cuál se hará el acople de ésta pieza, de igual forma ese cilindro externo tendrá dos tornillos que atraviesan la parte lateral del mismo para presionar la brocha y de igual forma existe también un roscado externo superior en la pieza cilíndrica que sirve de acople entre el dispositivo y la prensa hidráulica.

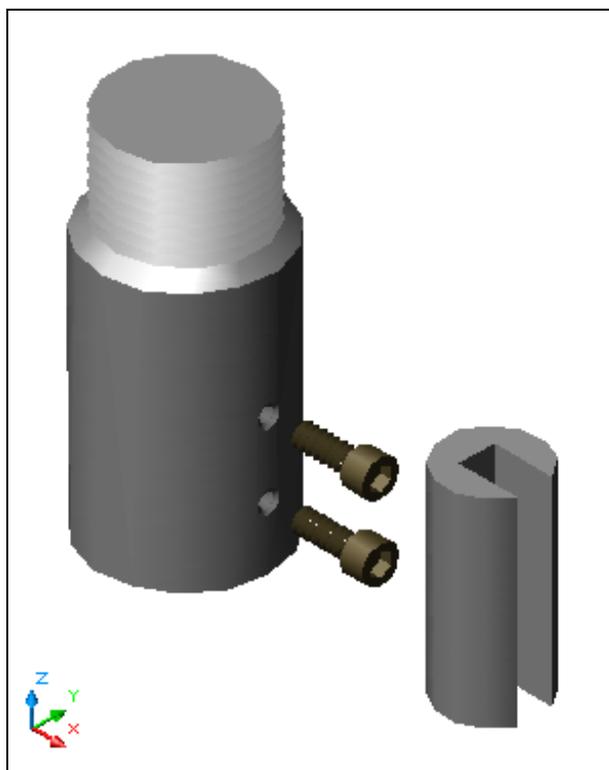


Figura 4.7 Alternativa 3

4.3.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA SUJECIÓN SUPERIOR

Para la búsqueda de esta solución se recurre al método de ponderación de criterios teniendo en cuenta las alternativas de solución anteriormente mencionadas y las restricciones a las cuales está sujeto el proyecto. Se verifica cuales alternativas cumplen con las restricciones y luego se definen una serie de criterios para finalmente encontrar la mejor alternativa de solución aplicando el método de ponderación de criterios.

Las restricciones son:

- Garantizar que la brocha se mueva verticalmente.
- Sujetar la brocha antes del mecanizado.
- Ajustable a las dimensiones de la prensa hidráulica.
- Adaptable a las dimensiones de la brocha adquirida.

En cuanto los criterios estos son:

- Bajo costo de mantenimiento.
- Factibilidad de construcción.
- Seguridad de operación.
- Fácil instalación.
- Durabilidad del equipo.

4.3.2.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

1- Listado de posibles soluciones

PS_x	Posible solución
PS ₁	Alternativa #1
PS ₂	Alternativa #2
PS ₃	Alternativa #3

2- Listado de restricciones

R_x	Restricciones
R ₁	Garantizar que la brocha se mueva verticalmente
R ₂	Sujetar la brocha antes del mecanizado
R ₃	Ajustable a las dimensiones de la prensa hidráulica
R ₄	Adaptable a las dimensiones de la brocha adquirida

3- Aplicaciones de restricciones + posibles soluciones

	R₁	R₂	R₃	R₄	¿Aprobado?
PS ₁	Si	Si	Si	Si	Si
PS ₂	Si	Si	Si	Si	Si
PS ₃	Si	Si	Si	Si	Si

4- Listado de soluciones

PS_X	S_X	Nombres
PS ₁	S ₁	Solución #1
PS ₂	S ₂	Solución #2
PS ₃	S ₃	Solución #3

5- Listado de criterios

C_X	Criterios
C ₁	Bajo costo de mantenimiento
C ₂	Factibilidad de construcción
C ₃	Seguridad de operación
C ₄	Fácil instalación
C ₅	Durabilidad del equipo

6- Ponderación de criterios

PC_X	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	Nº de veces	Pond.
PC ₁						1	2
PC ₂	C ₂					4	5
PC ₃	C ₃	C ₂				2	3
PC ₄	C ₄	C ₂	C ₄			3	4
PC ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		0	1

Escala: 1-----5

7- Ponderación de soluciones respecto a criterios

7.1 - Criterio # 1 Bajo costo de mantenimiento

PS_x	S₁	S₂	S₃	Nº de veces	Pond.
PS ₁₁				1	2
PS ₂₁	S ₁			0	1
PS ₃₁	S ₃	S ₃		2	3

Escala: 1-----3

7.2 - Criterio # 2. Factibilidad de construcción

PS_x	S₁	S₂	S₃	Nº de veces	Pond.
PS ₁₂				0	1
PS ₂₂	S ₂			1	2
PS ₃₂	S ₃	S ₃		2	3

Escala: 1-----3

7.3 - Criterio # 3. Seguridad de operación

PS_x	S₁	S₂	S₃	Nº de veces	Pond.
PS ₁₃				2	3
PS ₂₃	S ₁			0	1
PS ₃₃	S ₁	S ₃		1	2

Escala: 1-----3

7.4 - Criterio # 4. Fácil instalación

PS_x	S₁	S₂	S₃	Nº de veces	Pond.
PS ₁₄				1	2
PS ₂₄	S ₁			0	1
PS ₃₄	S ₃	S ₃		2	3

Escala: 1-----3

7.5 - Criterio # 5. Durabilidad del equipo

PS_X	S_1	S_2	S_3	N° de veces	Pond.
PS_{15}				2	3
PS_{25}	S_1			0	1
PS_{35}	S_1	S_3		1	2

Escala: 1-----3

8- Ponderación final

PS_X	$PS_{n1} * PC_1$	$PS_{n2} * PC_2$	$PS_{n3} * PC_3$	$PS_{n4} * PC_4$	$PS_{n5} * PC_5$	Σ_{total}
PS_1	2 * 2	1 * 5	3 * 3	2 * 4	3 * 1	29
PS_2	1 * 2	2 * 5	1 * 3	1 * 4	1 * 1	20
PS_3	3 * 2	3 * 5	2 * 3	3 * 4	2 * 1	41

Aplicando el método de ponderación de criterios la solución a seleccionar para el soporte superior es aquella que está denominada como Alternativa 3; la cual está dada por 2 piezas cilíndricas acopladas que mantienen fija la brocha mediante la presión aplicada por 2 tornillos pasantes. Esta solución se seleccionó ya que es más factible de construir.

4.4.- SUJECIÓN Y SOPORTE INFERIOR

La sujeción inferior es la encargada de soportar la pieza a trabajar para luego hacer el proceso de mecanizado y mantener fijo dicho material.

4.4.1.- SUJECIÓN INFERIOR: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

4.4.1.1.- ALTERNATIVA 1

Consiste en una placa de acero de aproximadamente 40 mm de espesor donde una mitad de ese espesor es recortada adaptándose a la separación de las vigas de la prensa para restringir su movimiento y una placa superior que gira en función a un vínculo y permite la sujeción del material a brochar.

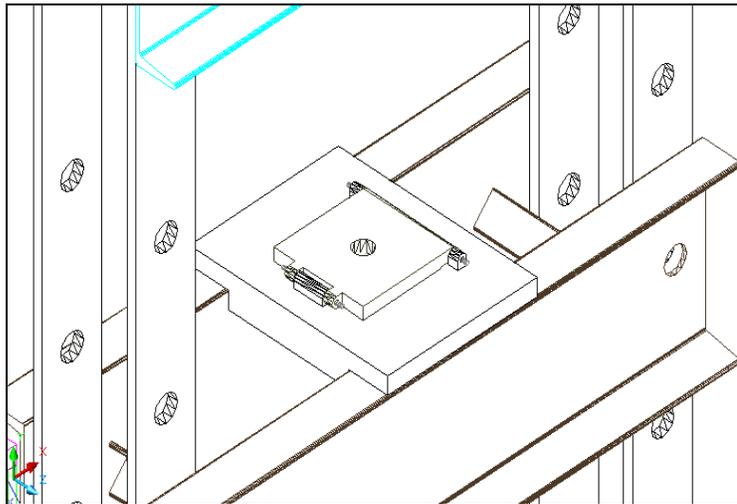


Figura 4.8 Alternativa 1

4.4.1.2.- ALTERNATIVA 2

Esta se basa en una placa de acero con un espesor de $12,70\text{ mm}$ con un agujero rectangular en el medio que permite el paso de brocha. Sobre esta placa se encuentra la matricería que va a guiar el movimiento de la brocha. El movimiento de esta placa lo restringirán dos láminas, cuyo largo coincidirá con la separación de las vigas de la prensa.

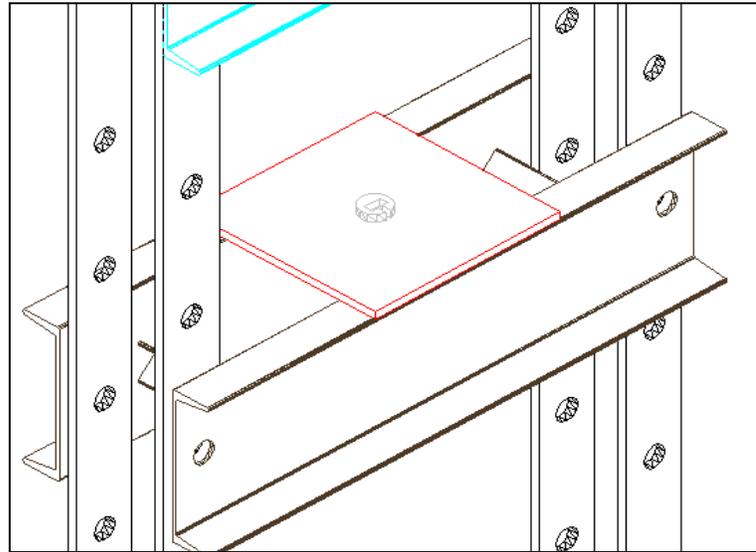


Figura 4.9 Alternativa 2

4.4.2.- SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN PARA LA SUJECIÓN INFERIOR

Dadas las alternativas de solución anteriormente dadas se busca la mejor alternativa de solución bajo el mismo procedimiento que se aplicó para el soporte superior.

Las restricciones son:

- Garantizar que la pieza a trabajar se acople a la brocha.
- Sujetar la pieza a brochar antes del mecanizado.
- Ajustable a las dimensiones de la prensa hidráulica.
- Adaptable a las dimensiones de la brocha adquirida.

En cuanto los criterios estos son:

- Bajo costo de mantenimiento.
- Factibilidad de construcción.

- Mayor seguridad de operación.
- Menor peso del dispositivo.
- Durabilidad del equipo.

4.4.2.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

1- Listado de posibles soluciones.

PS_x	Posible solución
PS ₁	Alternativa #1
PS ₂	Alternativa #2

2- Listado de restricciones.

R_x	Restricciones
R ₁	Garantizar que la pieza a trabajar se acople a la brocha
R ₂	Sujetar la pieza a brochar antes del mecanizado
R ₃	Ajustable a las dimensiones de la prensa hidráulica
R ₄	Adaptable a las dimensiones de la brocha adquirida

3- Aplicaciones de restricciones + posibles soluciones.

	R₁	R₂	R₃	R₄	¿Aprobado?
PS ₁	Si	Si	Si	Si	Si
PS ₂	Si	Si	Si	Si	Si

4- Listado de soluciones.

PS_x	S_x	Nombres
PS ₁	S ₁	Solución #1
PS ₂	S ₂	Solución #2

5- Listado de criterios.

C_x	Criterios
C ₁	Bajo costo de mantenimiento
C ₂	Factibilidad de construcción
C ₃	Mayor seguridad de operación
C ₄	Menor peso del dispositivo
C ₅	Durabilidad del equipo

6- Ponderación de criterios.

PC_x	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	Nº de veces	Pond.
PC ₁						1	2
PC ₂	C ₂					4	5
PC ₃	C ₃	C ₂				2	3
PC ₄	C ₄	C ₂	C ₄			3	4
PC ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		0	1

Escala: 1-----5

7- Ponderación de soluciones respecto a criterios.

7.1 - Criterio # 1 Bajo costo de mantenimiento

PS_x	S₁	S₂	Nº de veces	Pond.
PS ₁₁			0	1
PS ₂₁	S ₂		1	2

Escala: 1-----2

7.2 - Criterio # 2. Factibilidad de construcción.

PS_x	S₁	S₂	Nº de veces	Pond.
PS ₁₂			0	1
PS ₂₂	S ₂		1	2

Escala: 1-----2

7.3 - Criterio # 3. Mayor seguridad de operación.

PS_X	S₁	S₂	N° de veces	Pond.
PS ₁₃			1	2
PS ₂₃	S ₁		0	1

Escala: 1-----2

7.4 - Criterio # 4. Menor peso del dispositivo.

PS_X	S₁	S₂	N° de veces	Pond.
PS ₁₄			0	1
PS ₂₄	S ₂		1	2

Escala: 1-----2

7.5 - Criterio # 5. Durabilidad del equipo.

PS_X	S₁	S₂	N° de veces	Pond.
PS ₁₅			0	1
PS ₂₅	S ₂		1	2

Escala: 1-----2

8- Ponderación final

PS_X	PS_{n1}*PC₁	PS_{n2}*PC₂	PS_{n3}*PC₃	PS_{n4}*PC₄	PS_{n5}*PC₅	Σ_{total}
PS ₁	1 * 2	1 * 5	2 * 3	1 * 4	1 * 1	18
PS ₂	2 * 2	2 * 5	1 * 3	2 * 4	2 * 1	27

La solución a seleccionar para el soporte inferior es aquella que está denominada como Alternativa 2; la cual está dada por 1 lámina acoplada a la prensa que mantiene fijo el material a brochar mediante una guía soldada a dicha lámina, la cual va a ser atravesada por la brocha.

4.5.- DISEÑO DEL SOPORTE INFERIOR

El soporte inferior es el elemento que se encarga de sostener la pieza a mecanizar así como la guía inferior, siendo diseñado para que se acople a la estructura o frame de la prensa.

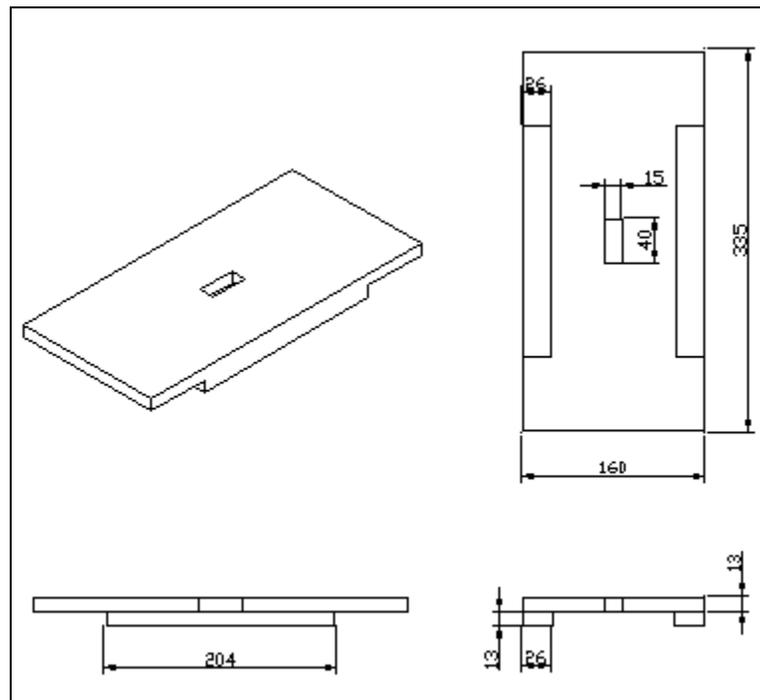


Figura 4.10 Dimensiones del soporte inferior (Dimensiones en *mm*)

En el soporte inferior se encuentra un agujero rectangular que permite el paso de la brocha justo cuando esta mecaniza la pieza. Este elemento está construido una lámina de 13mm de espesor rectangular de 160mmx335mm que es el soporte y dos laminas también de 13mm de espesor rectangulares pero con dimensiones de 26mmx204mm que restringen el movimiento de dicho soporte con respecto al frame de la prensa.

4.5.1.- CÁLCULO RESISTENTE DEL SOPORTE INFERIOR POR MÉTODOS CONVENCIONALES

4.5.1.1.- DETERMINACIÓN DE CARGAS A LAS QUE ESTÁ SOMETIDA EL SOPORTE INFERIOR

Se procede a determinar los pesos de cada una de las piezas las cuales son cargas que se toman en cuenta para el análisis resistivo de la pieza. El peso de cada pieza se determinará calculando el volumen de cada pieza y luego este se multiplica por la densidad del material correspondiente.

4.5.1.1.1.- PESO DEL SOPORTE INFERIOR

Se obtiene el volumen:

$$V_P = (12,7) * (204) * (25,4) * (2) + (12,7) * (160) * (336) - (40) * (15) * (12,7)$$

$$V_P = 806744,64 \text{ mm}^3 = 8,06744 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Según el Apéndice XI se tiene por propiedades de los metales:

$$\rho_{Acero1020} = 7860 \text{ Kg/m}^3$$

Se calcula la masa:

$$M_P = (V_P) * (\rho_{Acero1020}) = (8,06744 * 10^{-4}) * (7860) = 6,34 \text{ Kg}$$

Al multiplicar la masa por la gravedad se tiene el peso (W_P):

$$W_P = (6,34) * (9,81) = 62,21 \text{ N}$$

4.5.1.1.2.- PESO DE LA GUÍA INFERIOR

Se obtiene el volumen:

$$V_G = (\pi) * (25,4) * (20)^2 - (9,525) * (15,7) * (25,4) + (12,7) * (15) * (15)$$

$$V_G = 30977,70 \text{ mm}^3 = 3,098 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Según el Apéndice X se tiene por propiedades de los metales:

$$\rho_{Acero1045} = 7870 \text{ Kg/m}^3$$

Se calcula la masa:

$$M_G = (V_G) * (\rho_{Acero1045}) = (3,098 * 10^{-5}) * (7870) = 0,244 \text{ Kg}$$

Al multiplicar la masa por la gravedad se tiene el peso (W_G):

$$W_G = (0,244) * (9,81) = 2,39 \text{ N}$$

4.5.1.1.3.- PESO DE LA PIEZA A MECANIZAR

Se obtiene el volumen:

$$V_{Pm} = (\pi) * (30)^2 * (15,875) - (\pi) * (20)^2 * (15,875)$$

$$V_{Pm} = 24936,39 \text{ mm}^3 = 2,49 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Según tabla del Apéndice II se tiene por propiedades de los metales:

$$\rho_{Aluminio 6063} = 2700 \text{ Kg/m}^3$$

Se calcula la masa:

$$M_{Pm} = (V_{PM}) * (\rho_{Aluminio}) = (2,49 * 10^{-5}) * (2700) = 0,067 \text{ Kg}$$

Al multiplicar la masa por la gravedad se tiene el peso (W_{Pm}):

$$W_{Pm} = (0,067) * (9,81) = 0,66 \text{ N}$$

El peso total es:

$$W_{Si} = W_P + W_G + W_{Pm} = 62,21 + 2,39 + 0,66 = 65,26 \text{ N}$$

4.5.1.1.4.- CARGA DEBIDO AL BROCHADO EN DESBASTE

Para el análisis resistivo de la pieza se tomará en cuenta la carga de desbaste ya que esta es la más crítica.

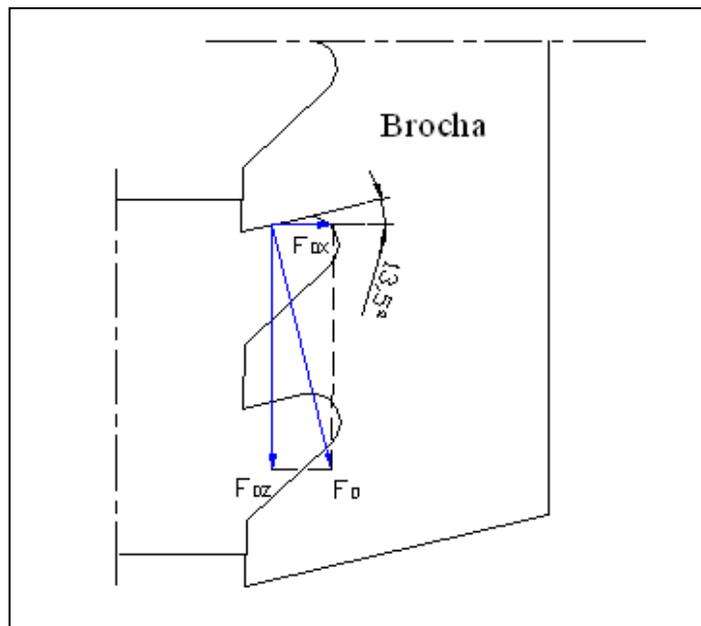


Figura 4.11 Cargas en la brocha

$$F_D = 1695,17 \text{ N}$$

$$F_{DX} = (1695,17) * (\text{sen}13,5^\circ) = 395,73 \text{ N}$$

$$F_{DZ} = (1695,17) * (\text{cos}13,5^\circ) = 1648,31 \text{ N}$$

Con las cargas determinadas anteriormente se obtiene F_T :

$$F_T = W_{Si} + F_{DZ} = 65,26 + 1648,31 = 1713,57 \text{ N}$$

- Diagrama de cuerpo libre:

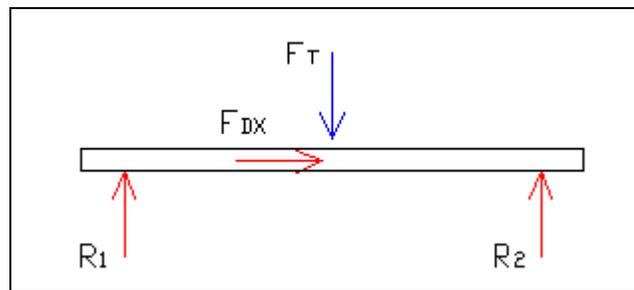


Figura 4.12 Diagrama de cuerpo libre

Según ecuaciones del Apéndice IV se obtienen los valores de momento (M), inercia (I) y $y_{\text{máx}}$:

$$F_T = 1713,57 \text{ N}$$

$$R_1 = R_2 = F_T / 2 = 856,79 \text{ N}$$

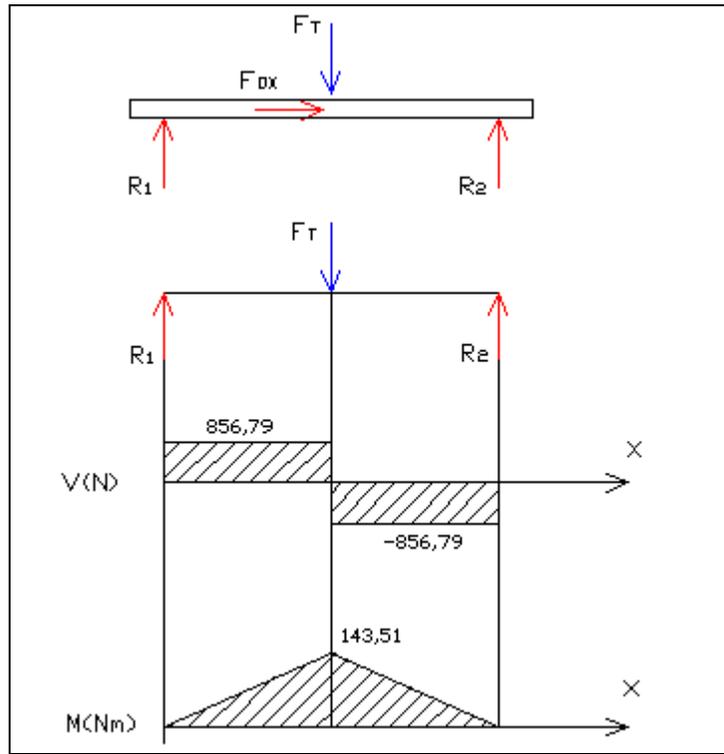


Figura 4.13 Diagrama de corte y momento

$$M = (856,79) \cdot (0,1675) = 143,51 \text{ N.m}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot (12,7 \times 10^{-3})^3 \cdot (160 \times 10^{-3}) = 2,73 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Según tabla del Apéndice VII se tiene para el Acero 1020:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$y_{\max} = -\frac{(1713,57) \cdot (0,335)^3}{48 \cdot (205) \cdot (2,73 \times 10^{-8})} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,24 \text{ mm}$$

- Esfuerzo debido a flexión:

A través de la ecuación 2.16 se determina el valor del Esfuerzo flector sobre la placa.

$$\sigma_{flexion} = \frac{(143,51) * (6,35 \times 10^{-3})}{2,73 * 10^{-8}}$$

$$\sigma_{flexion} = 33380531,14 Pa = 33,38 MPa$$

$$\sigma_{Resultante} = \sigma_{flexión} + \sigma_{tracción} = 33,38 + 0 = 33,38 MPa$$

- Esfuerzo debido a corte puro:

A través de la ecuación 2.17 se determina el valor del Esfuerzo cortante sobre la placa.

$$\tau_{corte} = \frac{1713,57}{0,0127 * 0,335} = 402766,5 Pa = 0,403 MPa$$

A través de la ecuación 2.25 de la teoría de Von Misses se determina el valor del esfuerzo total:

$$\sigma_{Total} = \sqrt{(33,38)^2 + 3(0,403)^2} = 33,38 MPa$$

- Factor de seguridad:

Considerando que el material de esta lámina es acero 1020 se tiene según tabla del Apéndice XI:

$$S_y = 331,5 \text{ MPa}$$

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{Total}} = \frac{331,5}{33,38} = 9,93$$

Como el factor de seguridad resulta mayor que 1, quiere decir que la pieza diseñada soporta las cargas a las que está expuesta, sobre todo considerando que es muy alto dicho factor.

4.5.2.- POR ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO

Con el fin de tener un cálculo resistente más aproximado a la realidad se utiliza el programa Visual Nastran 4D para la determinación de los esfuerzos y desplazamientos de la placa. Este programa utiliza el método del elemento finito para realizar dichos cálculos. Por ello, se resolvió el problema con varias mallas para observar la convergencia del esfuerzo máximo de Von Mises. Los resultados se muestran en la tabla 4.2 y la gráfica de convergencia en la figura 4.15

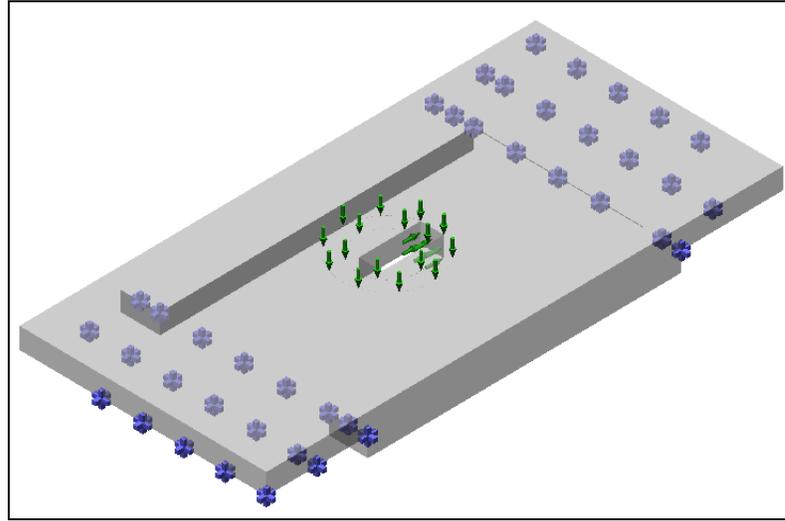


Figura 4.14 Restricciones y fuerzas

Análisis de convergencia: A continuación se introdujo la pieza en 3d en el software Visual Nastran. En segundo lugar se realizaron 6 corridas de 1001, 2017, 11708, 25630, 64476 y 119256 nodos. Los esfuerzos que arrojan las 6 corridas varían considerablemente; esto se debe a que con más elementos los máximos esfuerzos se ubican claramente en el punto de aplicación de la fuerza. Esto indica que sin la discretización adecuada, se está evaluando un promedio de esfuerzos y se debe ajustar esta discretización para lograr obtener un valor cercano al valor de convergencia.

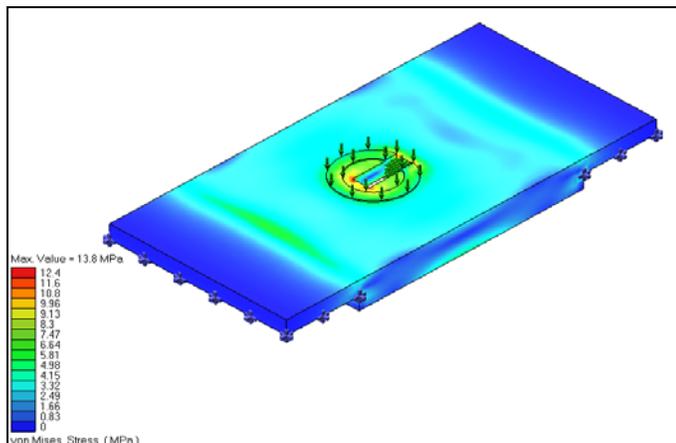


Figura 4.15 Estado de esfuerzos a 119256 nodos

4.5.2.1.- DATOS PARA EL GRÁFICO DE CONVERGENCIA

Tabla 4.2 Análisis de convergencia base inferior

<i>Base Brocha</i>		
<i>Nº de Corrida</i>	<i>Nº de Nodos</i>	<i>Esfuerzo Máximo de Von Mises (Mpa)</i>
1	0	0
2	1001	8,81
3	2017	9,84
4	3780	10,3
5	11708	10,5
6	25630	11,4
7	64476	13
8	119256	13,8

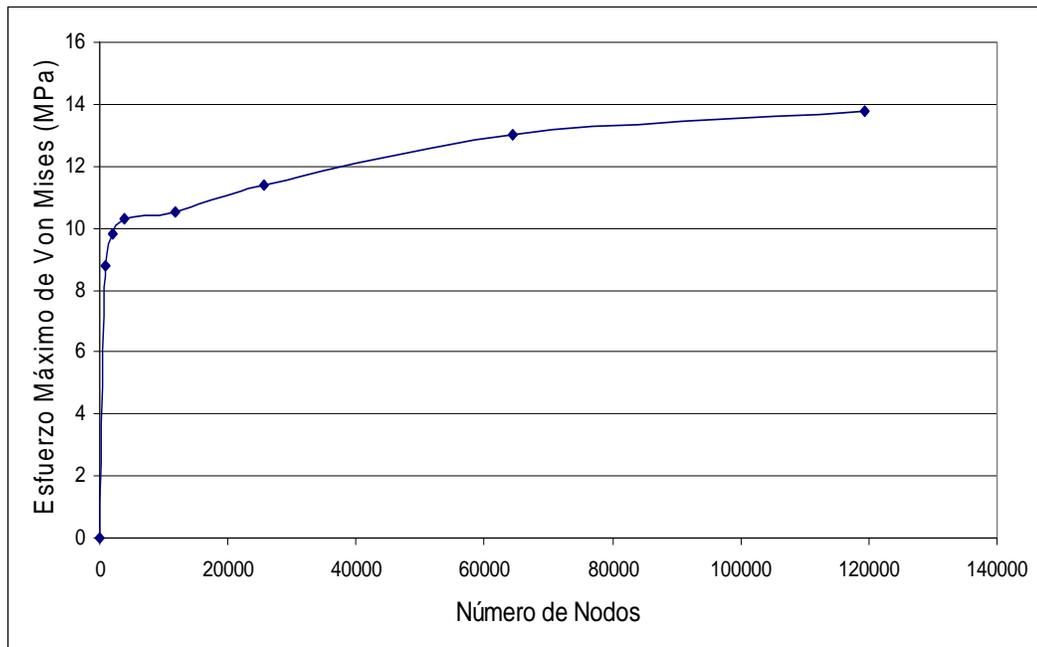


Figura 4.16 Gráfica de convergencia del soporte inferior

Con el esfuerzo de fluencia del material Acero 1020 y un esfuerzo máximo obtenido de 13,8 MPa, se calcula el factor de seguridad:

$$N_s = \frac{331,5}{13,8} = 24$$

También se puede observar en la figura 4.15 que las zonas más esforzadas son las esquinas de los agujeros rectangulares ya que estos se comportan como concentradores de esfuerzos.

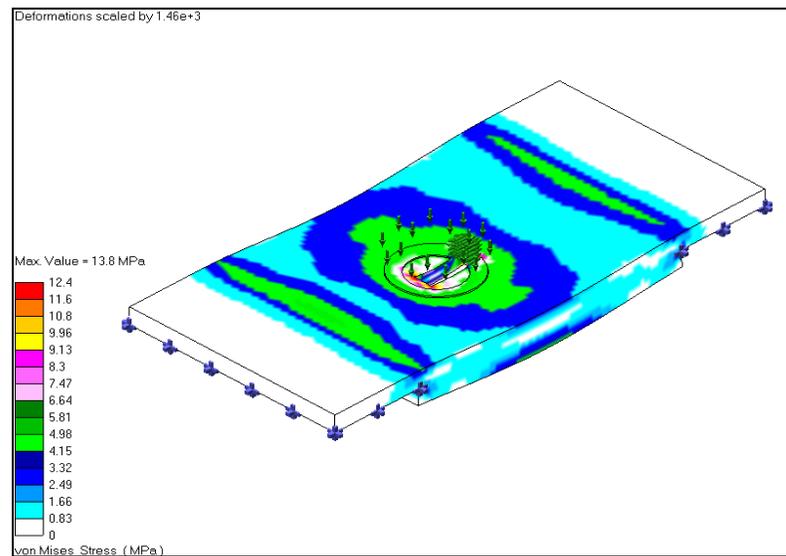


Figura 4.17 Esfuerzo Máximo en detalle

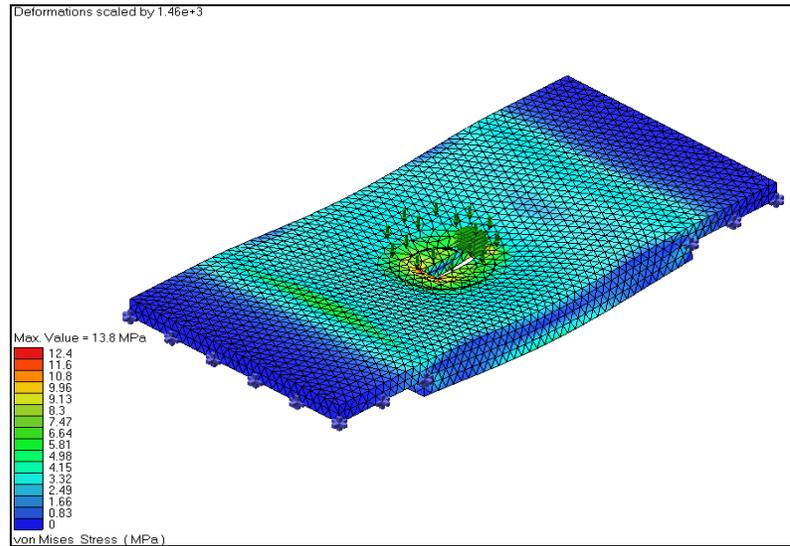


Figura 4.18 Mallado del soporte inferior

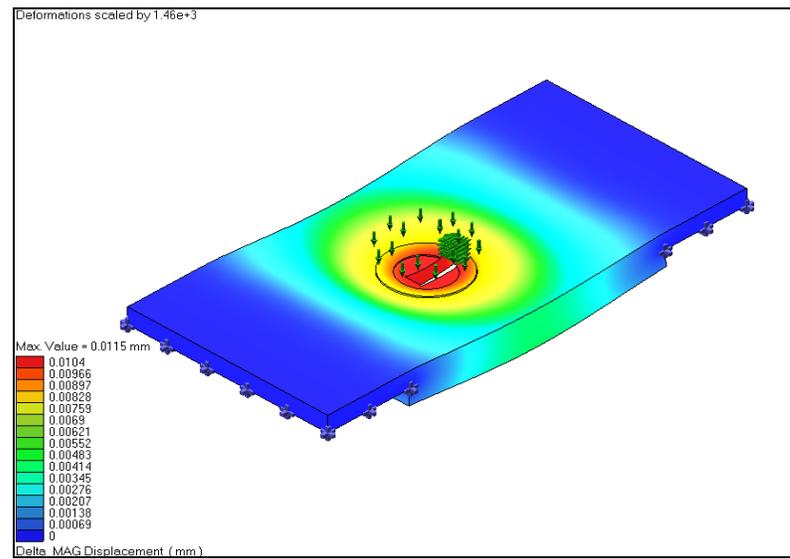


Figura 4.19 Desplazamiento de la pieza

4.5.3.- CÁLCULO DE LA SOLDADURA APLICADA A LA PIEZA

En la parte interna se utiliza soldadura tipo filete y en la de afuera por cordón. Se calculará la soldadura interna para comprobar su resistencia.

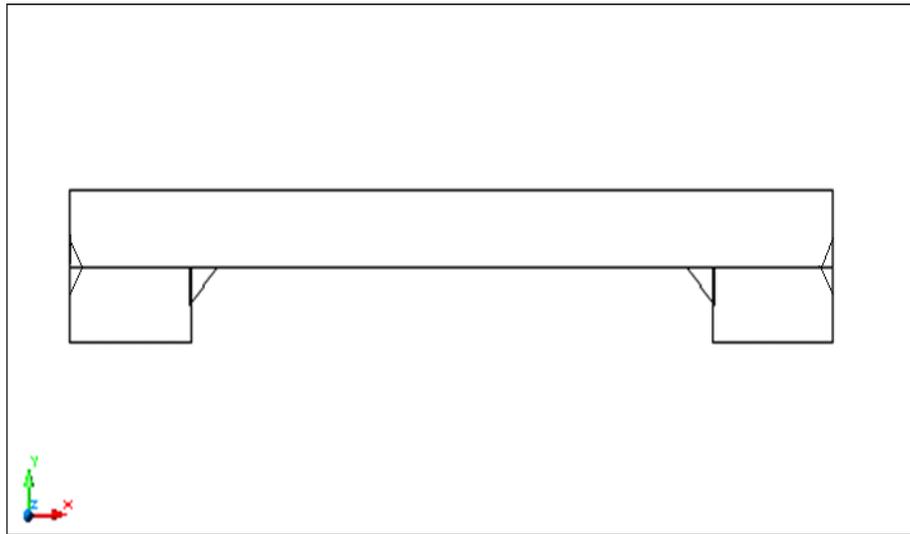


Figura 4.20 Filete de soldadura aplica al soporte inferior

a) Teniendo:

$$L_{CS} = 203,5 \text{ mm} = 8,012 \text{ in} \text{ (Longitud del cordón de soldadura)}$$

Según tabla 2.6 del Capítulo II se tiene para un tamaño de cateto $5/16''$ y para un nivel de resistencia de electrodo 60*, la fuerza unitaria permisible es:

$$3,98 \text{ kip/pulg}$$

A través de la ecuación 2.37 se determina el valor de la fuerza permisible del metal de aporte.

$$F_{PS} = 2 * 8,012 * 3,98 = 63,78 Kip = 283,69 KN$$

$$F_{PS} = 283686,83 N$$

$$F_{DX} = 395,73 N$$

Como la fuerza permisible F_{PS} resulta mucho mayor que la F_{DX} aplicada en la dirección del cordón de soldadura, la resistencia del material de aporte resulta satisfactoria para dicho diseño.

b) Según Apéndice I se tiene un S_y para el Acero 1020:

$$S_y = 30 Kpsi$$

Según tabla 2.5 del Capítulo II se tiene para un Tipo de Carga Cortante a Soldadura de Filete:

$$\tau_{perm} = 0,4 * S_y$$

$$\tau_{perm} = (0,4) * S_y = (0,4)*(30) = 12 Kpsi \text{ (Cortante de filete)}$$

$$\tau_{perm} = 82,74 Mpa$$

A través de la ecuación 2.30 se determina el valor del esfuerzo cortante del metal base.

$$\tau = \frac{395,73}{2 * (7,94 * 10^{-3}) * (203,504 * 10^{-3})} = 122424,72 Pa = 122,42 KPa$$

Como el esfuerzo cortante permisible τ_{perm} resulta mucho mayor que el esfuerzo cortante τ aplicado, entonces resulta satisfactorio dicho diseño.

c) A través de la ecuación 2.31 se determina el valor del esfuerzo de tensión en el cuerpo de unión.

$$\sigma = \frac{395,73}{(12,7 * 10^{-3})(50,8 * 10^{-3})} = 613382,73 Pa = 613,38 KPa$$

Según Tabla 2.5 se tiene para un Tipo de Carga a Tensión:

$$\sigma_{perm} = 0,6 * Sy$$

$$\sigma_{perm} = (0,6)*(30) = 18 Kpsi = 124,11 MPa$$

Como el esfuerzo permisible σ_{perm} resulta mucho mayor que el esfuerzo σ aplicado, entonces resulta satisfactorio dicho diseño.

4.6.- DISEÑO DE LA GUÍA, TOPE Y SOPORTE SUPERIOR

El soporte superior es el elemento encargado de sostener la brocha en conjunto con los tornillos prisioneros, guía superior y el tope. Esta pieza cuenta en su parte superior con una rosca externa que se ensambla con la rosca interna perteneciente a la prensa hidráulica, cuyos parámetros son: $D = 11/2in$, 16 hilos por pulgada y 25mm de largo.

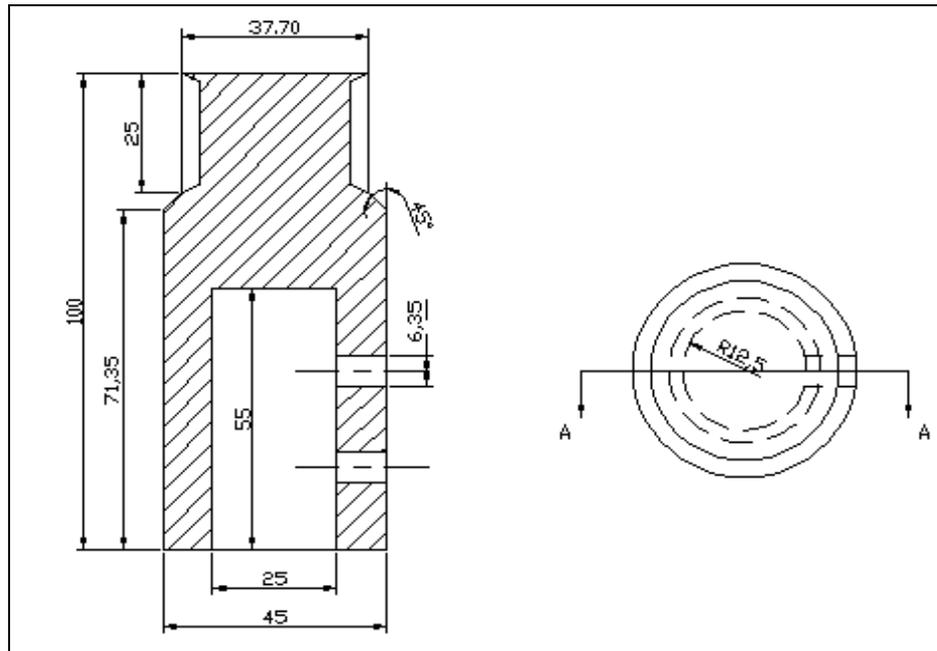


Figura 4.21 Dimensiones del soporte superior (Dimensiones en *mm*)

Esta pieza cuenta con dos agujeros roscados internamente que permiten el paso de dos tornillos prisioneros que soportan la brocha junto a la guía superior. El agujero interno de 25 *mm* de diámetro tiene una altura de 55 *mm*, dando espacio suficiente para encajar la brocha hasta el tope.

La guía superior es un cilindro macizo fabricado de acero 1045 con una ranura de sección rectangular que tiene la forma de la brocha para que este se pueda encajar con el cilindro interno del soporte superior. La función de esta guía es restringir el movimiento de la brocha dentro de dicho soporte superior.

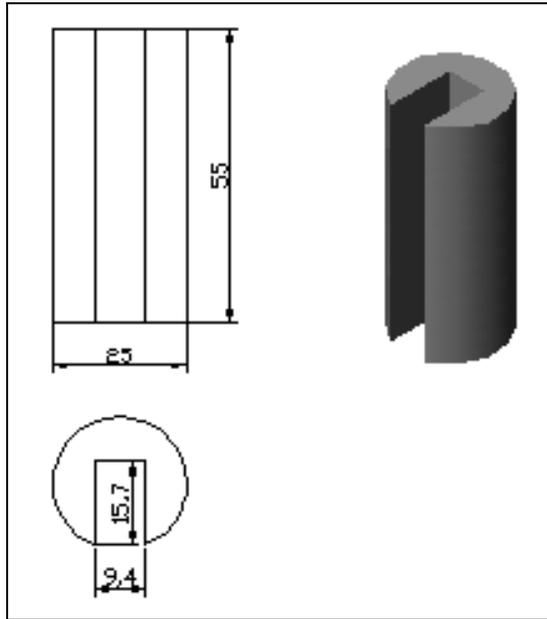


Figura 4.22 Guía superior (Dimensiones en *mm*)

El tope se construye debido a la limitada carrera de la prensa hidráulica que apenas es suficiente para hacer el mecanizado y la ubicación de la estructura del frame que sostiene el soporte superior.

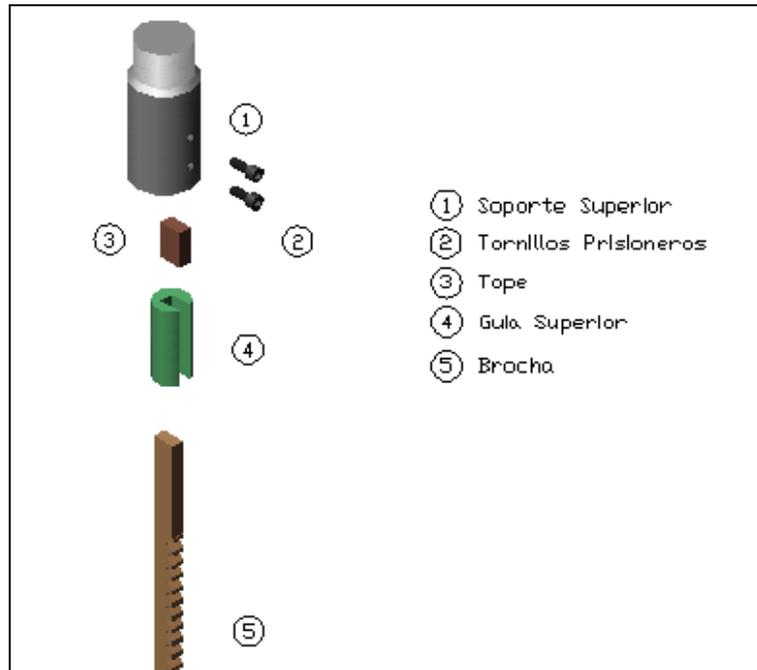


Figura 4.23 Ensamblaje del sistema de sujeción superior de la brocha

4.6.1- CÁLCULO RESISTENTE DEL SOPORTE SUPERIOR

Al igual que el soporte inferior se recurre al análisis de elemento finito con ayuda del Software Visual Nastran para el siguiente estado de cargas:

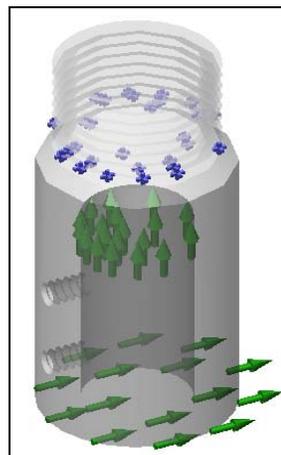


Figura 4.24 Fuerzas y restricciones

Seguidamente se hacen 11 corridas para obtener el siguiente estado de esfuerzos:

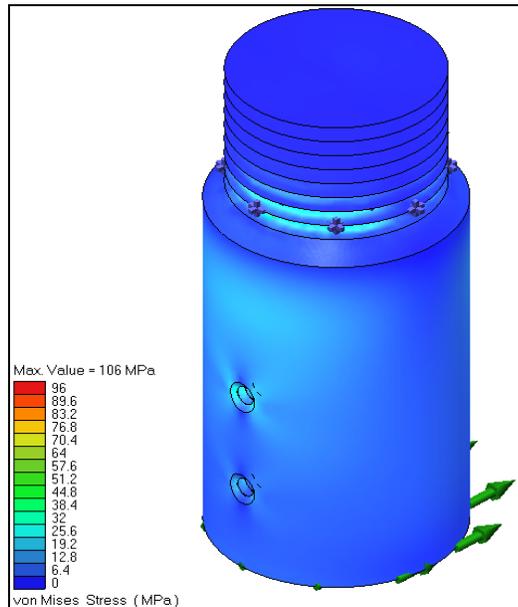


Figura 4.25 Corrida 11: 109392 nodos

En la figura 4.25 se observa que los esfuerzos mayores se encuentran en primer lugar en los filetes de la parte inferior de la pieza ya que estos se comportan como concentradores de esfuerzos y en segundo lugar en los agujeros pasantes que también se comportan como concentradores de esfuerzos.

Tabla 4.3 Análisis de convergencia del soporte superior

<i>Base Brocha</i>		
<i>Nº de Corrida</i>	<i>Nº de Nodos</i>	<i>Esfuerzo Máximo de Von Mises (MPa)</i>
1	0	0
2	2680	84,9
3	4082	64,4
4	6343	76
5	11009	77,8
6	19862	95,2
7	24844	92,5
8	33392	93
9	45898	102
10	61788	105
11	109392	106

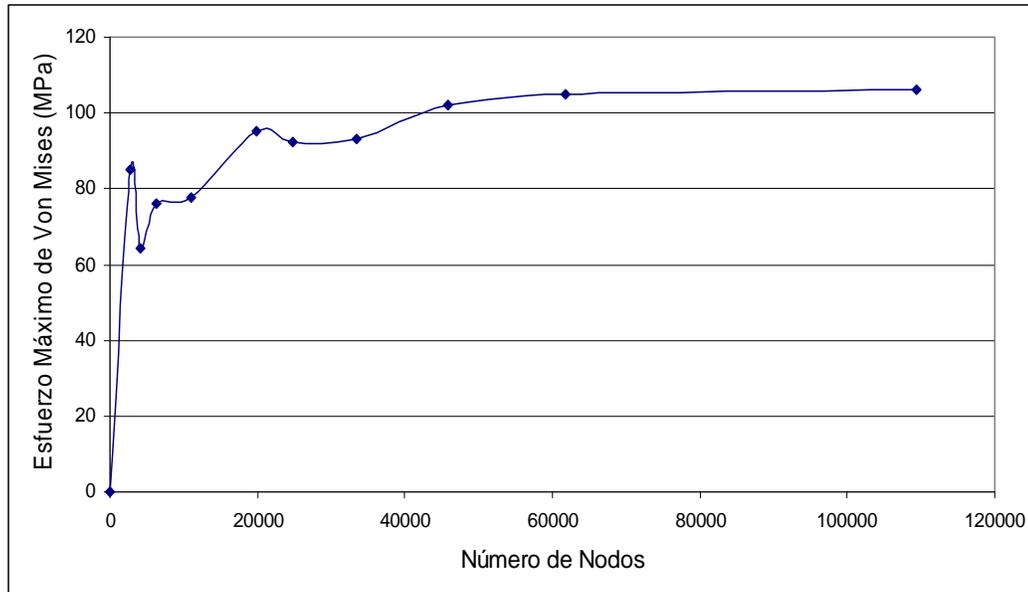


Figura 4.26 Gráfica de convergencia del soporte superior

Del análisis de convergencia se tiene que la pieza de acero 1045 está sometida a un esfuerzo máximo de 106 MPa dando un factor de seguridad de:

$$N_s = \frac{413,8}{106} = 3,9$$

Ya que el factor de seguridad es mayor que 1 se llega a la conclusión de que la pieza soporta las cargas a las que está expuesta.

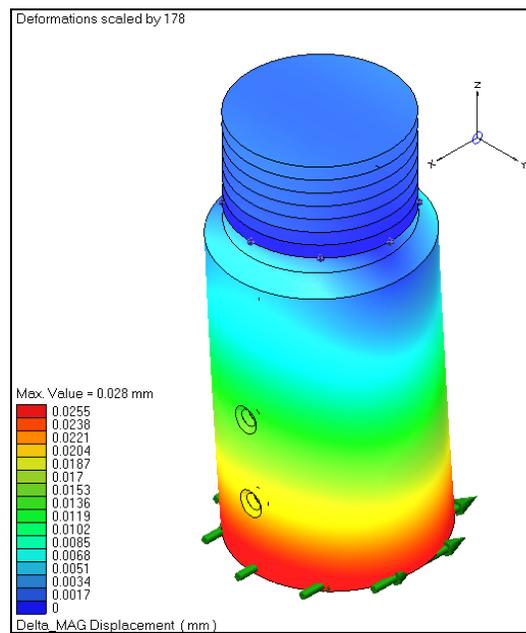


Figura 4.27 Deformación

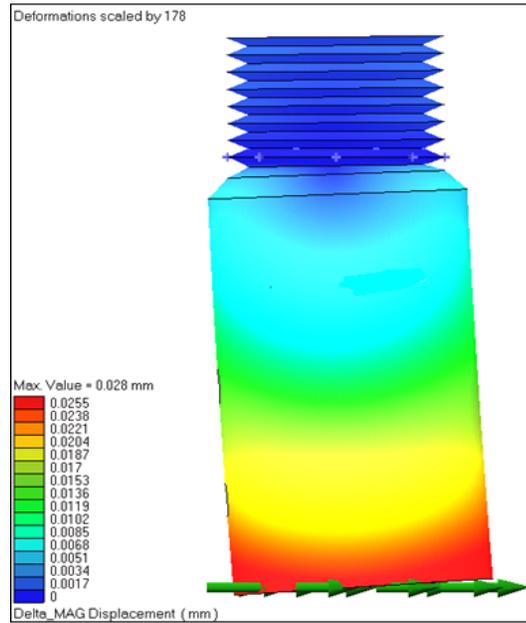


Figura 4.28 Deformación vista lateral

4.7.- GUÍA INFERIOR DE LA BROCHA

Esta pieza que está hecha de acero 1045 cumple con la función de guiar a la brocha en su parte inferior para evitar desviaciones de la misma. Esta pieza cuenta con una ranura, la cuál calza a juego con la brocha permitiéndole a esta deslizarse en una sola dirección cuando ocurre el mecanizado.

4.7.1.- CÁLCULO RESISTENTE DE LA GUÍA INFERIOR DE LA BROCHA

Al igual que el soporte inferior se recurre al análisis de elemento finito con ayuda del Software Visual Nastran con el siguiente estado de cargas:

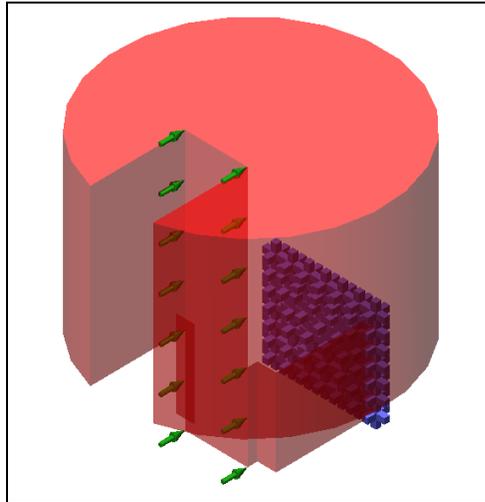


Figura 4.29 Fuerzas y restricciones

Seguidamente se hacen 11 corridas para obtener el siguiente estado de esfuerzos:

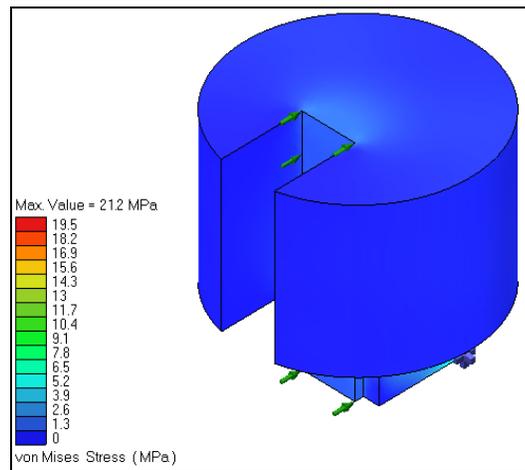


Figura 4. 30 Corrida 11: 109392 nodos

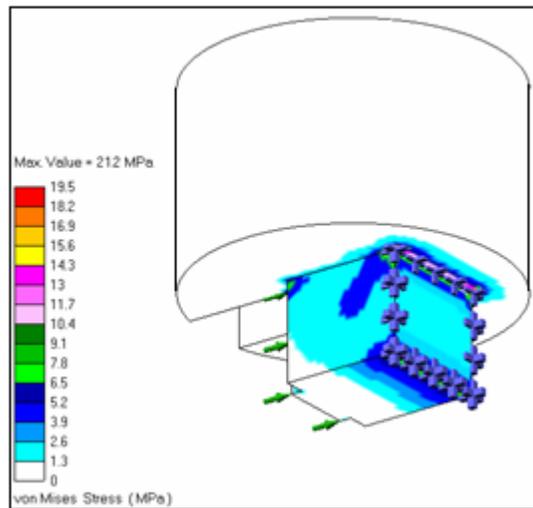


Figura 4.31 Esfuerzo máximo detalle

En la figura 4.31 se observa que los esfuerzos mayores se encuentran en primer lugar en los filetes de la parte inferior de la pieza ya que estos se comportan como concentradores de esfuerzos y en segundo lugar en el canal pasante que también se comporta como concentrador de esfuerzos.

Tabla 4.4 Análisis de convergencia de la guía inferior

<i>Base Brocha</i>		
<i>Nº de Corrida</i>	<i>Nº de Nodos</i>	<i>Esfuerzo Máximo de Von Mises (Mpa)</i>
1	0	0
2	2522	7,25
3	4204	7,84
4	9284	10,5
5	26684	14,3
6	62355	20,4
7	117113	21,2

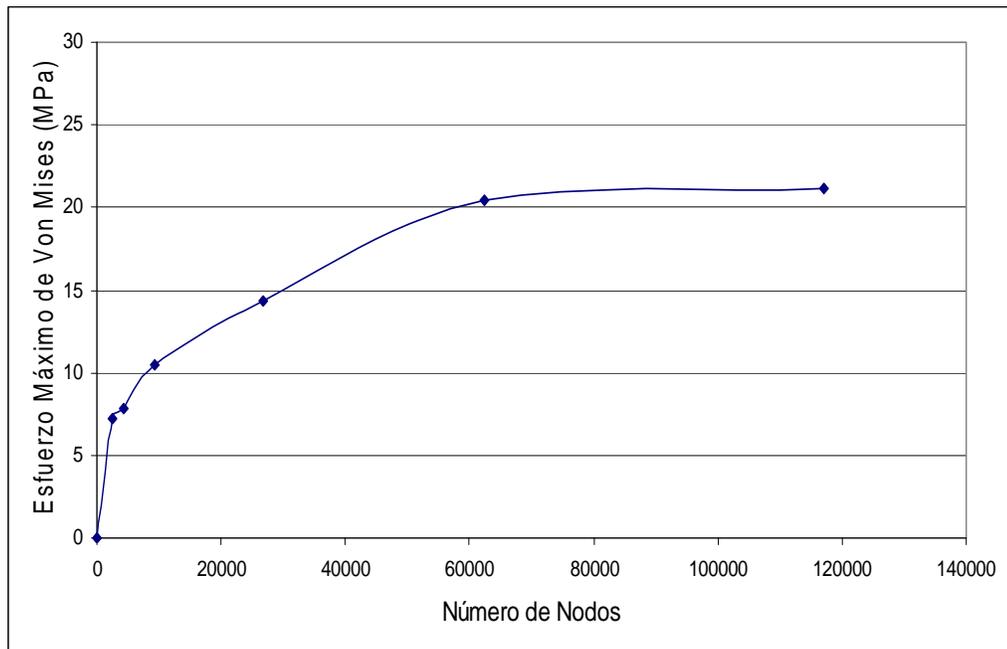


Figura 4.32 Gráfica de convergencia de la guía inferior

Del análisis de convergencia se tiene que la pieza de acero 1045 está sometida a un esfuerzo máximo de 21,2 MPa dando un factor de seguridad de:

$$N_s = \frac{413,8}{21,2} = 19,52$$

Ya que el factor de seguridad es mayor que 1 se llega a la conclusión de que la pieza soporta las cargas a las que esta expuesta.

4.8.- CÁLCULO DE LA TORNILLERÍA PARA SUJECCIÓN SUPERIOR

Fuerza normal soportada por los tornillos

$$M_B = 310 \text{ gr} = 0,31 \text{ Kg}$$

$$W_B = (M_B) * (g) = (0,31) * (9,81) = 3,0411 \text{ N}$$

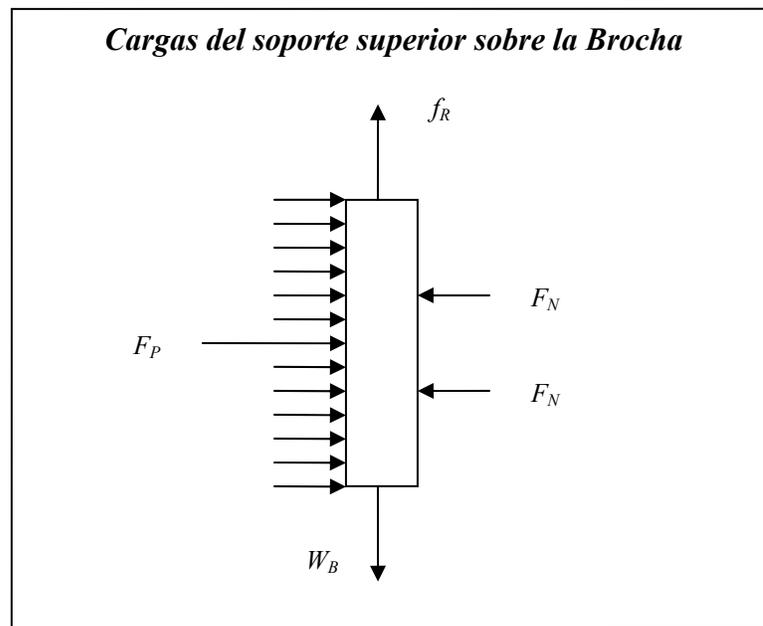


Figura 4.33 Cargas aplicadas sobre la brocha justo antes de mecanizar

$$+ \uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$f_R - W_B = 0$$

$$f_R = 3,0411 \text{ N}$$

Según tabla 2.7 del Capítulo II se tiene para la fricción entre Acero-Acero:

$$\mu_{Acero-Acero} = 0,74 \text{ (estático)}$$

$$+ \rightarrow \Sigma F_x = 0$$

$$F_P - F_N = 0$$

$$f_R = (\mu) * (F_N) \rightarrow F_N = \frac{f_R}{\mu} = \frac{3,0411}{0,74} = 4,1096 \text{ N}$$

$$F_{TO} = \frac{F_N}{2} = \frac{4,1096}{2} = 2,055 \text{ N}$$

$$F_{DT} = (F_s) * (F_{TO}) = (2) * (2,055) = 4,110 \text{ N}$$

A través de la ecuación 2.15 se determina el valor de la Tensión Axial sobre los tornillos.

$$\sigma_T = \frac{4,110}{\pi * (3,969 * 10^{-3})^2} = 83048,11 \text{ Pa} = 83,05 \text{ KPa} = 12,045 * 10^{-3} \text{ KPsi}$$

Se seleccionaron 2 tornillos prisioneros de 5/16" con capacidad de sujeción hasta 36 KPsi según Apéndice XII, siendo este valor mucho mayor a los 12,045*10⁻³ Kpsi obtenido según cálculos.

4.9.- DETERMINACIÓN DE CARGAS EXPERIMENTALES

Como en la experiencia práctica se requiere determinar las cargas que actúan en el proceso de forma experimental, se define un procedimiento para dicho fin. La prensa hidráulica cuenta con un manómetro que mide la presión del fluido de trabajo (en este caso aceite) ya que esta prensa es un actuador. Al aplicarse el brochado sobre la pieza a mecanizar en la fase de desbaste el manómetro tiende a indicar una presión uniforme la cual tiene que registrarse, es de interés la carga de desbaste ya que es la carga máxima a la cual estará sometida el sistema.

Al tener esa presión máxima que se mencionó anteriormente procedemos a calcular la fuerza que esta prensa aplica sobre el sistema de brochado, que debe aproximarse a la fuerza calculada teóricamente.

4.9.1- CÁLCULO DE LA CARGA A PARTIR DE LA PRESIÓN QUE SUMINISTRA EL MANÓMETRO DE LA PRENSA

La prensa hidráulica es un actuador donde el fluido ejerce una presión sobre un pistón como lo muestra la figura 4.34

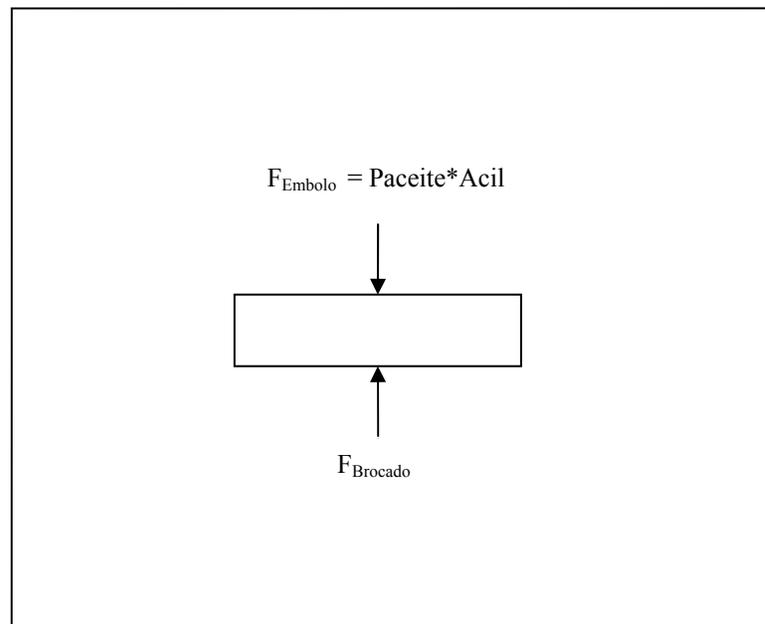


Figura 4.34 Cargas aplicadas por la prensa en el mecanizado

Al tener la presión que indica el manómetro, esta se multiplica por el área transversal del cilindro o pistón y esto da como resultado la carga que la prensa le

aplica el proceso de brochado, esta se compara con la carga derivada de los modelos matemáticos teóricos.

Tabla 4.5 Resultados experimentales

<i>Nro. De Ensayo</i>	<i>Presión Experimental (Psi)</i>	<i>Carga Experimental (Kgf)</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Veloc. de corte (m/min)</i>	<i>Carga Teórica(Kgf)</i>	<i>Error (%)</i>
1	110	164,13	10,56	1,13	172,80	-5,02
2	120	179,05	10,45	1,16	172,80	3,62
3	110	164,13	10,59	1,13	172,80	-5,02
4	120	179,05	10,42	1,15	172,80	3,62
5	110	164,13	10,58	1,13	172,80	-5,02
6	100	149,21	10,50	1,14	172,80	-13,65
7	120	179,05	10,51	1,14	172,80	3,62
8	130	193,97	10,49	1,14	172,80	12,25
9	100	149,21	10,58	1,13	172,80	-13,65
10	120	179,05	10,47	1,14	172,80	3,62
11	110	164,13	10,50	1,14	172,80	-5,02
12	100	149,21	10,53	1,14	172,80	-13,65
Promedio	112,50	167,86	10,52	1,14	172,80	7,31

Presión del manómetro obtenida: 112,50 *Psi*

Diámetro del émbolo del pistón: 5,20 *cm*

$$1 \text{ Psi} = 6,894 \text{ KPa}$$

$$P = 112,50 \text{ Psi} = 775,66 \text{ KPa}$$

$$A = \pi \cdot (26 \cdot 10^{-3})^2 = 2,123 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F = P \cdot A = (775660,19) \cdot (2,123 \cdot 10^{-3}) = 1646,73 \text{ N} = 167,86 \text{ Kgf}$$

Realizando la comparación entre las cargas experimentales y cargas teóricas, se tiene:

$$F_{Exp} = 167,86 \text{ Kgf}$$

$$F_{Teor} = 172,80 \text{ Kgf}$$

Como se puede observar la carga experimental aplicada por la prensa resulta $4,94 \text{ Kgf}$ menor que la carga obtenida teóricamente, esto debido a que mediante la aplicación teórica el número de dientes en contacto se aproxima a un número entero mayor que para este caso es de 3, mientras que en el cálculo experimental esta modificación no es tomada en cuenta, esta variación también se da debido a que existe un pequeño bote de aceite en uno de los acoples de la manguera a la bomba de la prensa hidráulica.

El tiempo de brochado que se obtiene mediante la aplicación de la práctica es de $10,52 \text{ seg.}$ para una sola pasada.

4.10.- PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRÁCTICA DE BROCHADO

- Se arman las piezas correspondientes de esta práctica a la prensa hidráulica y se revisa que el conjunto se encuentre bien armado.
- La guía superior (pieza 1) se enrosca al cilindro de la prensa hidráulica.
- Se acopla la brocha (pieza 4) al soporte superior, colocándola dentro de la guía superior (pieza 3) y luego estos dos se ajustan a dicho soporte (pieza 3) apretando dos tornillos (piezas 2) con una llave Allen.
- Se coloca la guía inferior (pieza 5) sobre el soporte inferior de la brocha (pieza 7)

- Se coloca el soporte inferior junto con la guía inferior sobre la base de la prensa y se verifica que la brocha pase por ahí.
- Se coloca la pieza a brochar (pieza 6) en su posición, alrededor de la guía inferior (pieza 5) y sobre el soporte inferior (pieza 7)
- Luego de tener todo el conjunto armado (figura 4.36) se procede a efectuar el brochado y se toman 12 medidas de presión máxima en la zona de desbaste que indique el manómetro de la prensa, para de esa manera tomar una media de esas presiones obtenidas. También se puede anotar toda observación que considere importante.

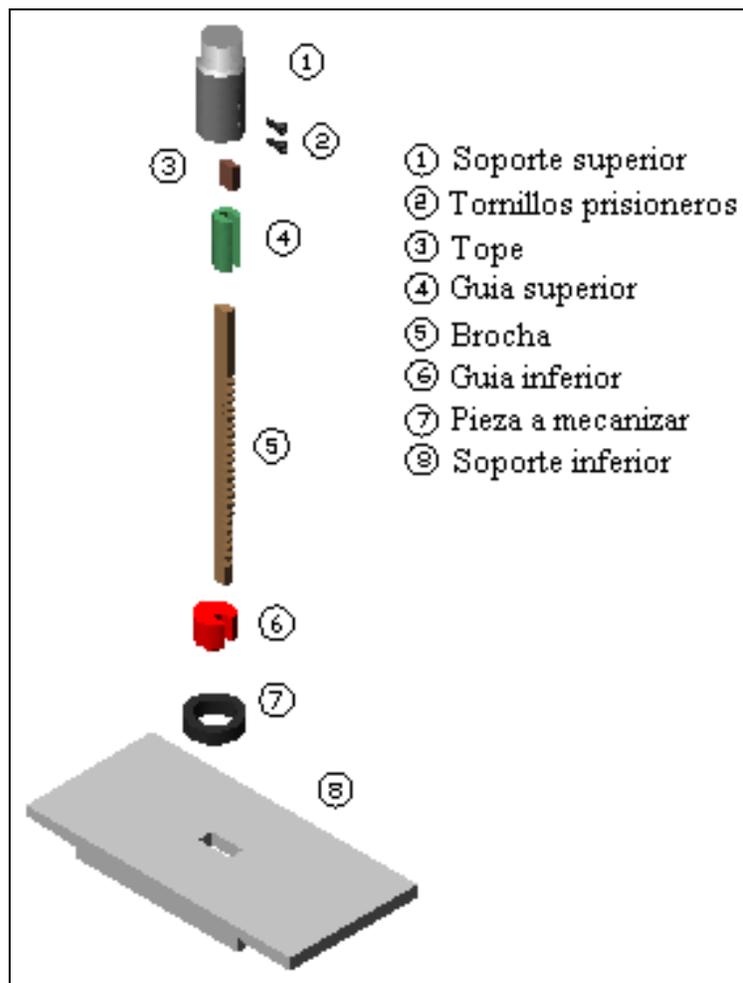


Figura 4.35 Conjunto en explosión

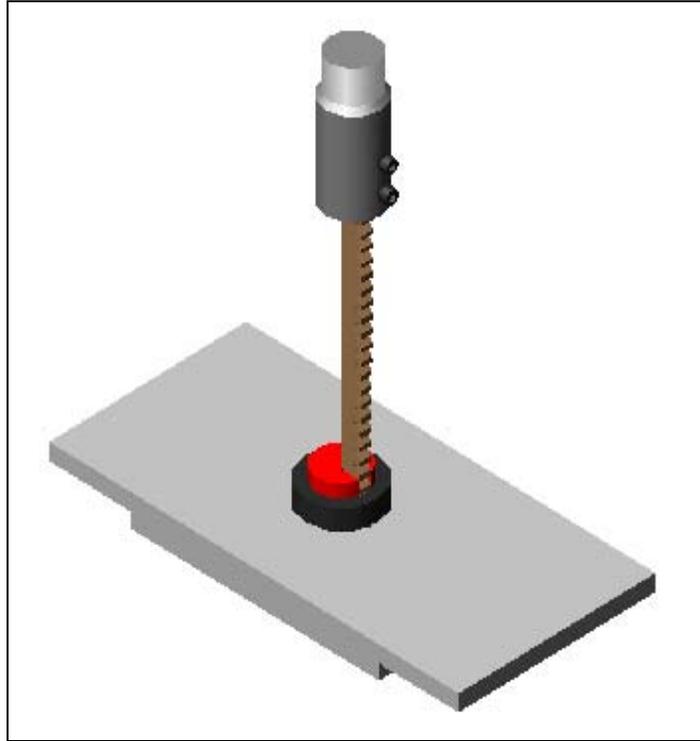


Figura 4.36 Conjunto armado

- Se realiza la comparación entre los valores obtenidos teóricamente y los valores obtenidos experimentalmente y se procede a establecer conclusiones de dicho análisis.

4.11.- SELECCIÓN DEL MANÓMETRO

Para medir la carga del brochado es necesario contar con un manómetro para medir la presión de aceite de la prensa hidráulica. El manómetro que originalmente tiene la prensa es de un rango muy alto (10.000 *Psi*), cuando se sabe por cálculos teóricos que la presión requerida para este proceso de mecanizado es de aproximadamente de 113,75 *Psi*; así que se busca los manómetros disponibles en el mercado y se selecciona el mas adecuado para medir esta carga, dando como

resultado para esta selección que el manómetro mas indicado para tomar dicho valor es un aquel que posee un rango de lectura de 0 - 500 *Psi*.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se diseñó el dispositivo con cada uno de sus componentes adaptándose a las dimensiones y parámetros que suministra la prensa hidráulica disponible y la brocha seleccionada.

Se construyó el dispositivo en base a las especificaciones definidas en la fase de diseño, observándose que las dimensiones de cada uno de sus componentes son adaptables a la prensa hidráulica disponible y a la herramienta de corte seleccionada, a pesar de que se tuvieron que hacer pequeños ajustes para que este sistema funcione correctamente, debido principalmente a la escasa carrera que suministra la prensa hidráulica que apenas es suficiente para hacer el mecanizado.

Se logró poner en funcionamiento el dispositivo, dando como resultado la realización correcta del mecanizado para el que fue diseñado y se ratifica que las piezas resisten las cargas a las cuales están sometidas.

Las cargas experimentales se determinaron al poner el dispositivo en funcionamiento y mediante equipos de medición presentes en la prensa, luego éstas se compararon con los resultados de modelos matemáticos teóricos, observando de esa manera que existe poca variación pero se mantiene una aproximación entre a ambos modelos obteniendo un error entre la carga teórica y la experimental de 7,31% por debajo de la medida teórica obtenida.

Con la realización de este proyecto se cubrió completamente el proceso de brochado de forma experimental, para posteriormente implementar la práctica de brochado en el Laboratorio de Procesos de Fabricación de la Universidad de Carabobo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de este dispositivo para realizar prácticas de laboratorio
- Se recomienda tener especial cuidado con el trato que se le da a la brocha (herramienta de corte) ya que esta pieza es costosa y difícil de conseguir, manteniéndola dentro de su envase cuando no se realiza la práctica de brochado, para apartarla lo mas posible de ambientes corrosivos con el fin de no dañar los filos, y es conveniente aplicar una pequeña lubricación antes y después de la práctica o trabajo de mecanizado.
- Es conveniente tener la prensa hidráulica en buen estado así como hacerle el mantenimiento respectivo.
- Es necesario tener especial cuidado al instalar la brocha antes de hacer el mecanizado a fin de evitar desviaciones mínimas y desniveles que puedan dañarla o partirla, para lo cual también se recomienda aplicar un poco de teflón al soporte superior antes de roscarlo en la prensa hidráulica para tener un buen ajuste entre dicho soporte y la rosca de la prensa.
- Antes de mecanizar la pieza es conveniente revisar que el ensamblaje del sistema de brochado sea el correcto según lo que se estableció en este trabajo de grado.
- Al terminar la práctica quitar los restos de viruta de la herramienta de corte bien sea con un cepillo, gasolina o aire comprimido. Esto también se aplica para las otras piezas.

- Al terminar de mecanizar hay que desactivar inmediatamente la prensa para evitar que colapse el manómetro por exceso de presión.
- Al mecanizar la pieza es conveniente refrigerar el mecanizado con alguna sustancia líquida para refrigerar la pieza; tales como aceite, gasoil entre otros para evitar recalentamiento de las piezas involucradas y facilitar un adecuado desprendimiento de la viruta, la cual para el aluminio es fácil de fundir y tiende a quedarse unida a la pieza después de mecanizar.°

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEER, Ferdinand. JOHNSTON, Russell. Mecánica Vectorial para ingenieros. Tercera edición. Mc. Graw Hill

CASILLAS, A.L. Máquinas Cálculos de Taller. Editorial Gráficas Reunidas, S.A. 28ª Edición. España, 1975

IM 395 Manufactura II: El Brochado. Prof. Carlos Acosta. Puebla, México

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1995

PYTEL, Andrew. SINGER, Ferdinand. Resistencia de materiales. Cuarta edición

PEREIRA F, Juan C. Procesos de Fabricación por Arranque de Viruta. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Edición 2004, Venezuela

SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería Mecánica. Sexta Edición. Año 2002.

TORRES O, Carmelo J. Problemario de Mecanizado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Edición 2003. Venezuela.

CHANDRUPATLA, Tirupathi R. y BELEGENDU, Ashok D. Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería. Segunda edición. Prentice Hall. México 1999

En Internet:

<http://www.broachingmachine.com>

<http://www.crane-bel.com/index.html>

<http://www.generalbroach.com>

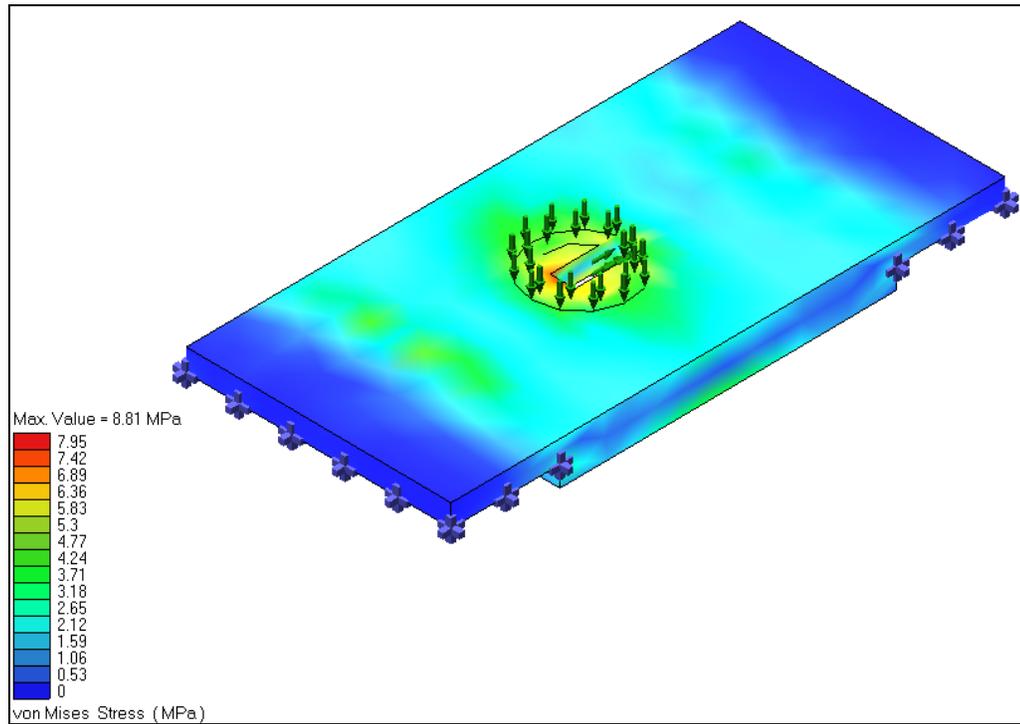
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento>

<http://www.udp.com>

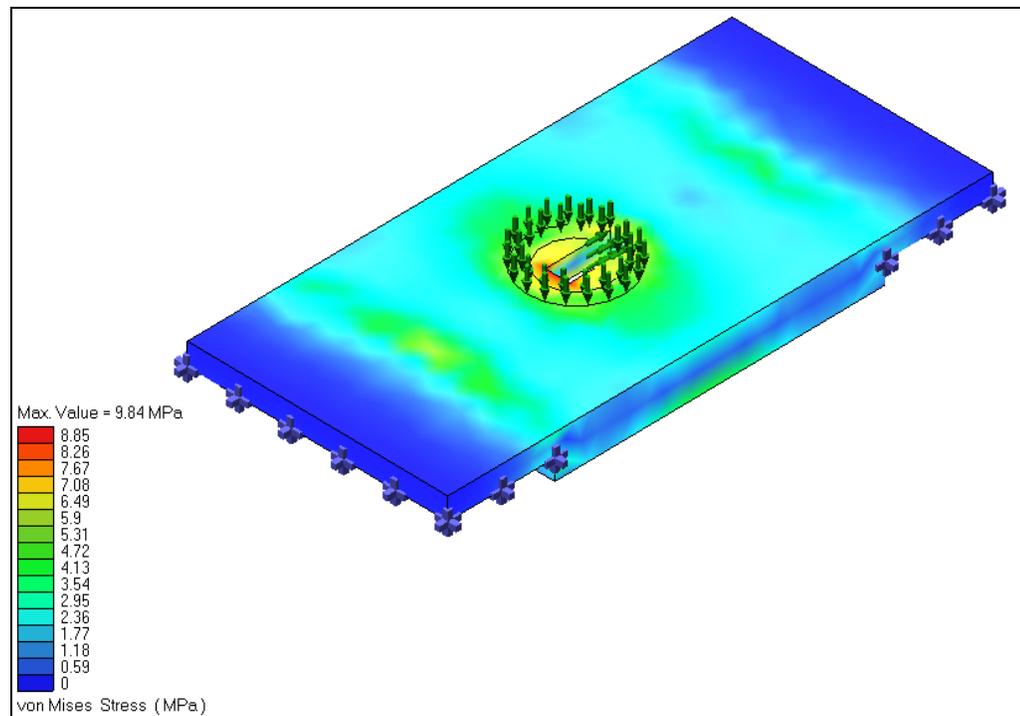
<http://www.wisegeek.com/what-is-broaching.htm>

APÉNDICE A
ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DEL
SOPORTE INFERIOR

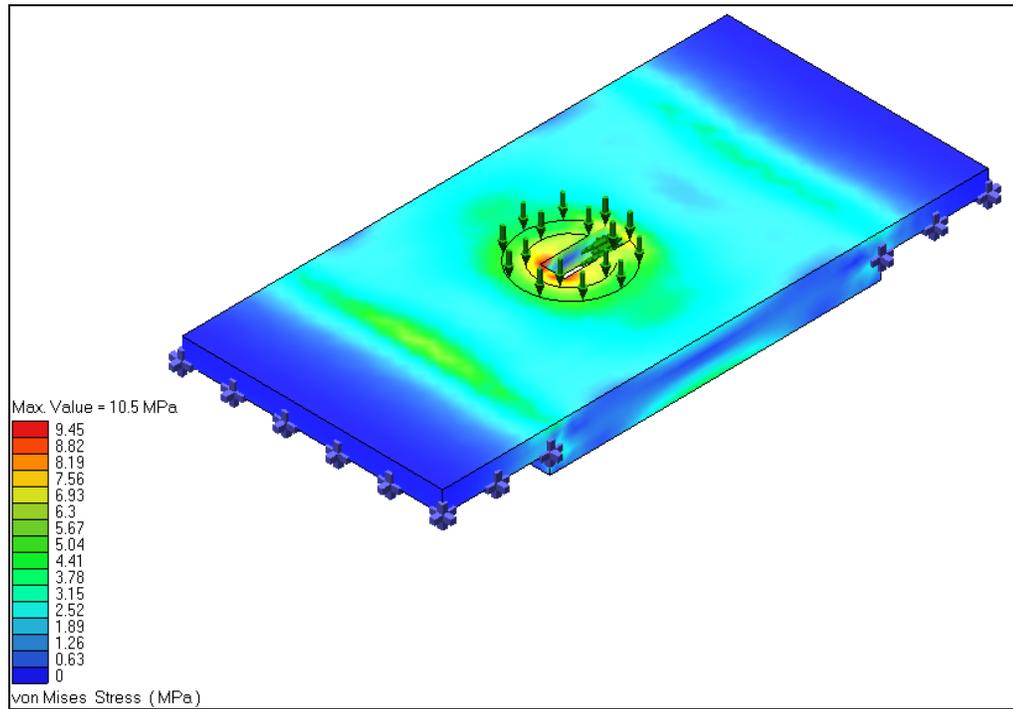
FUENTE: PROPIA



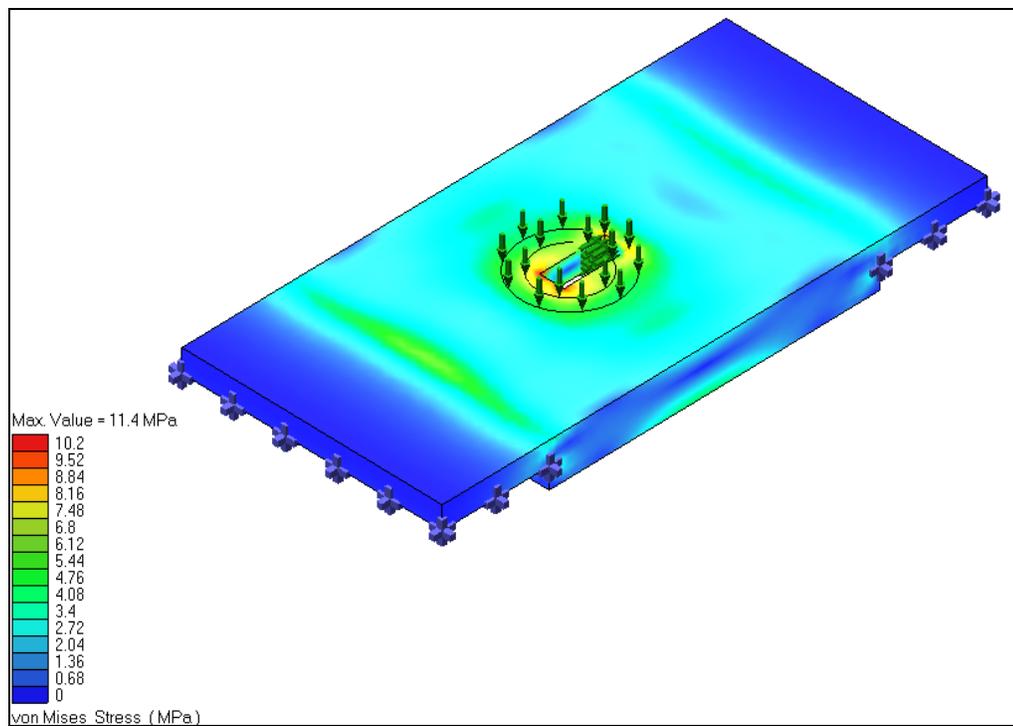
Corrida 1: Para 1001 nodos



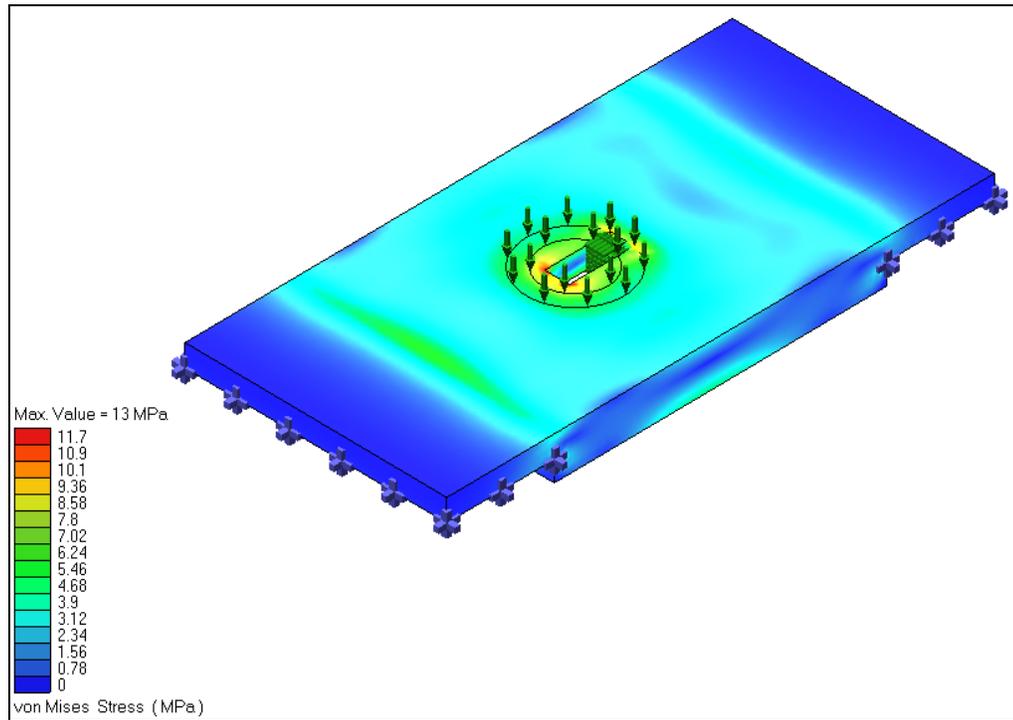
Corrida 2: Para 1017 nodos



Corrida 3: Para 11708 nodos



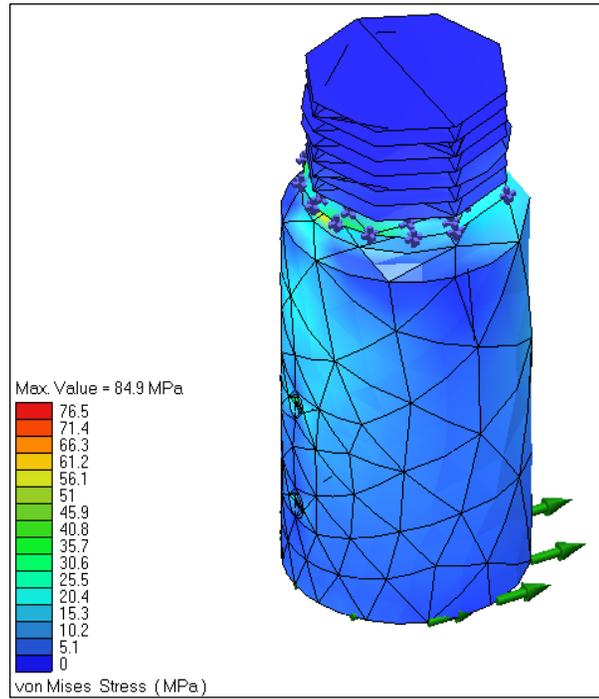
Corrida 4: Para 25630 nodos



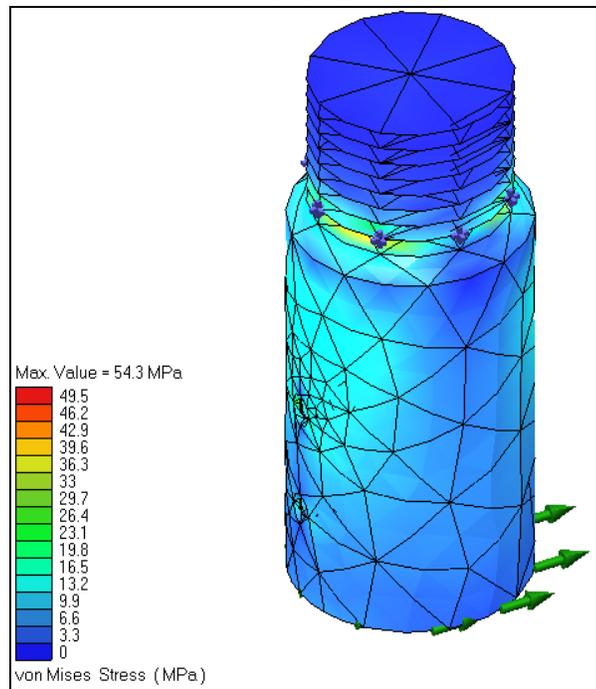
Corrida 5: Para 64476 nodos

APÉNDICE B
ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DEL
SOPORTE SUPERIOR

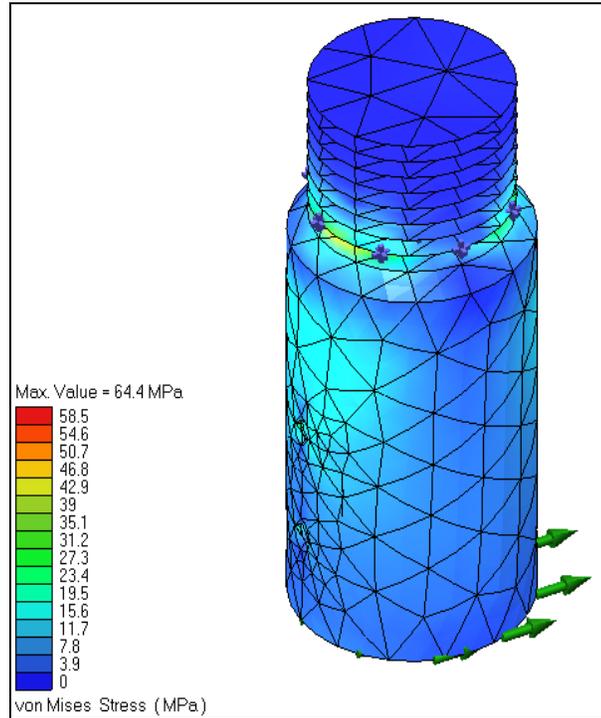
FUENTE: PROPIA



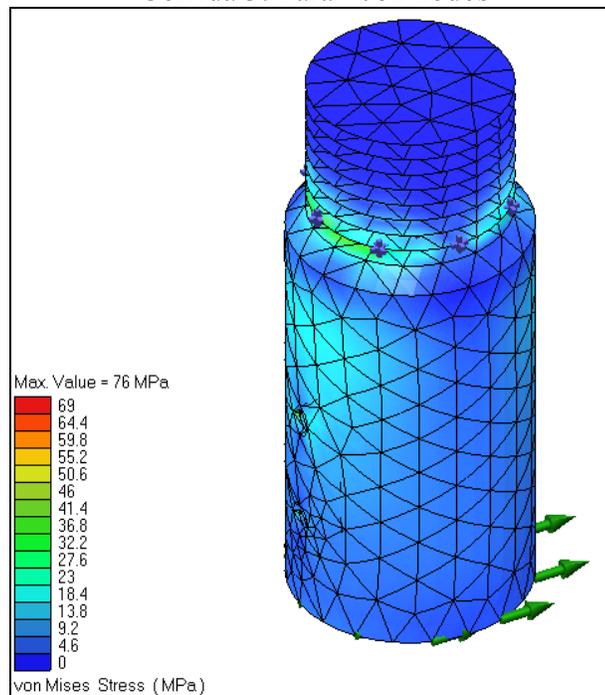
Corrida 1: Para 2680 nodos



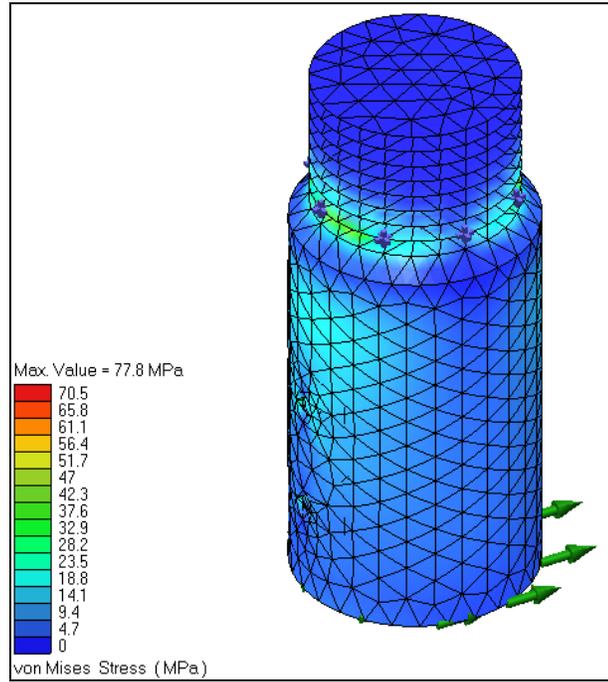
Corrida 2: Para 3311 nodos



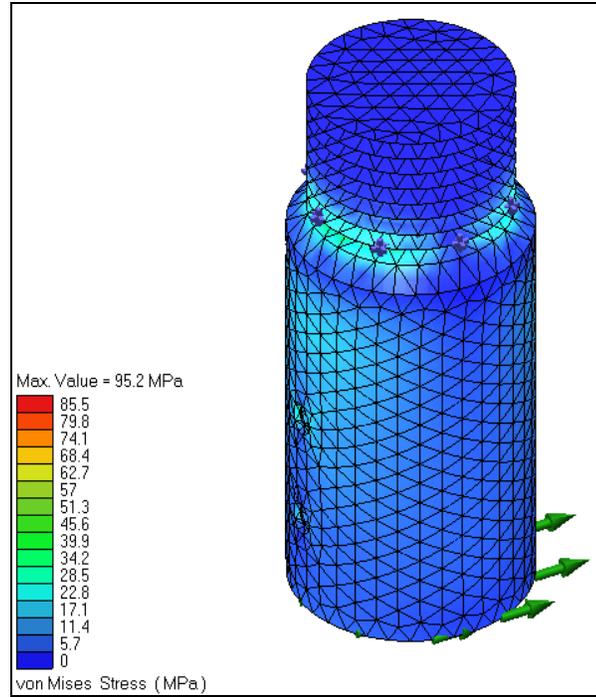
Corrida 3: Para 4082 nodos



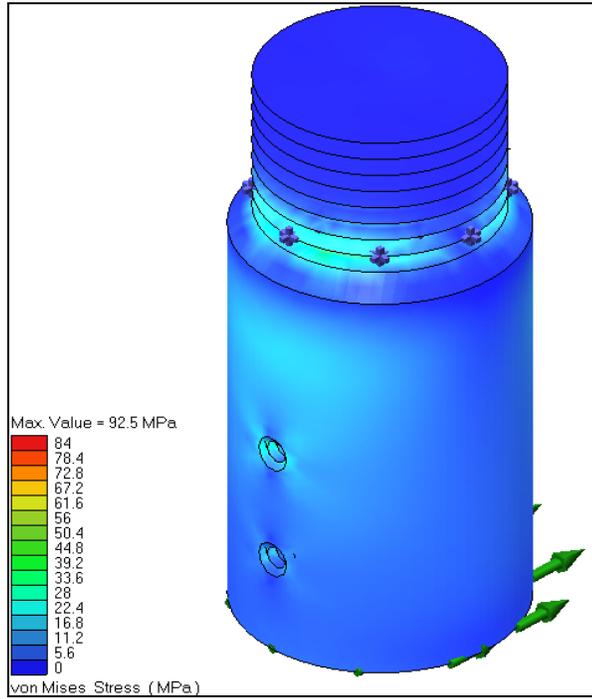
Corrida 4: Para 6343 nodos



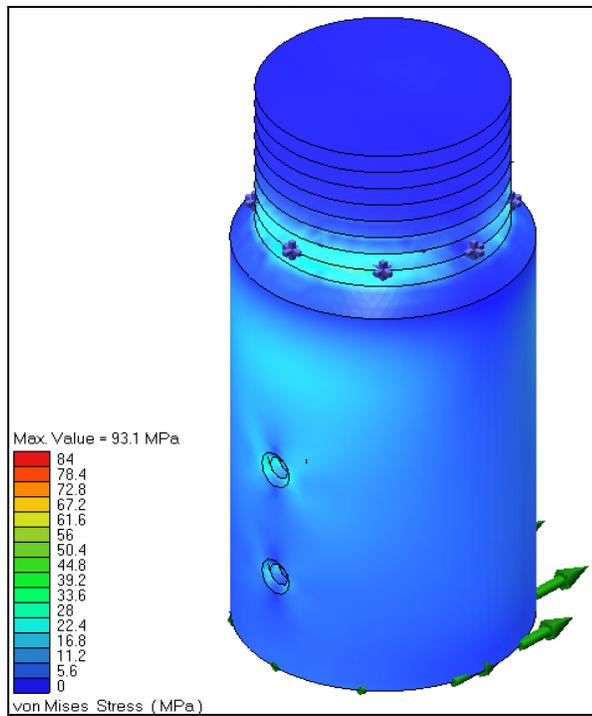
Corrida 5: Para 11009 nodos



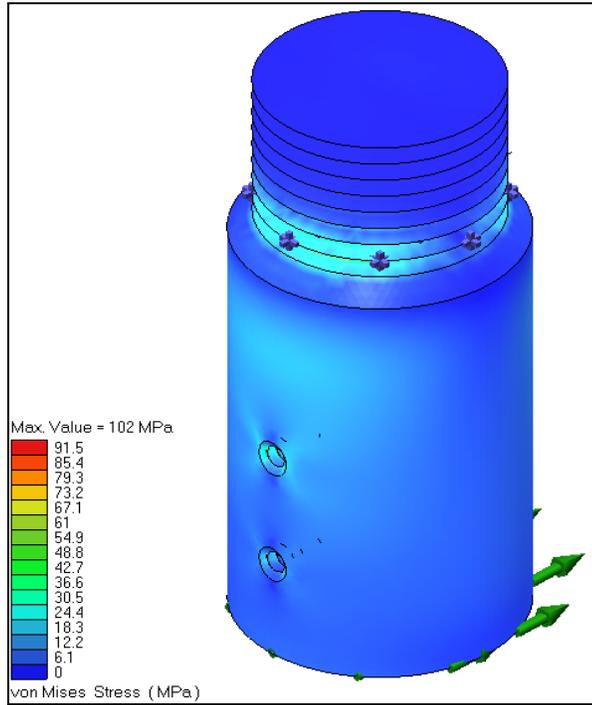
Corrida 6: Para 19682 nodos



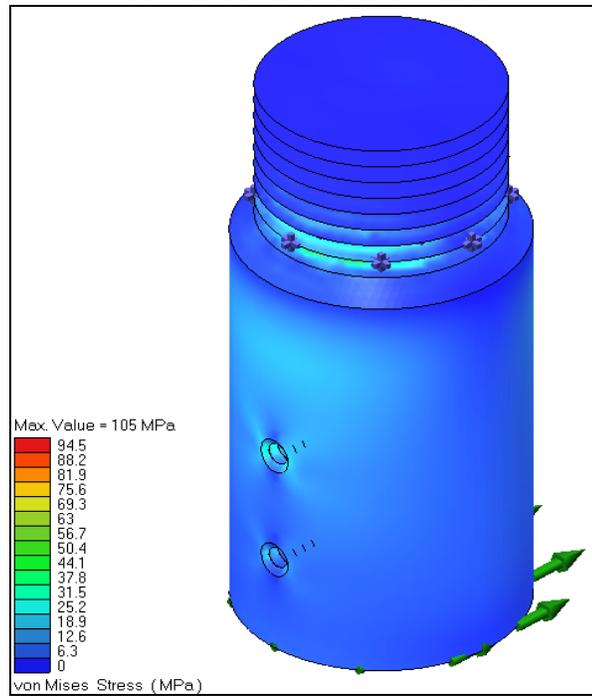
Corrida 7: Para 24884 nodos



Corrida 8: Para 33392 nodos



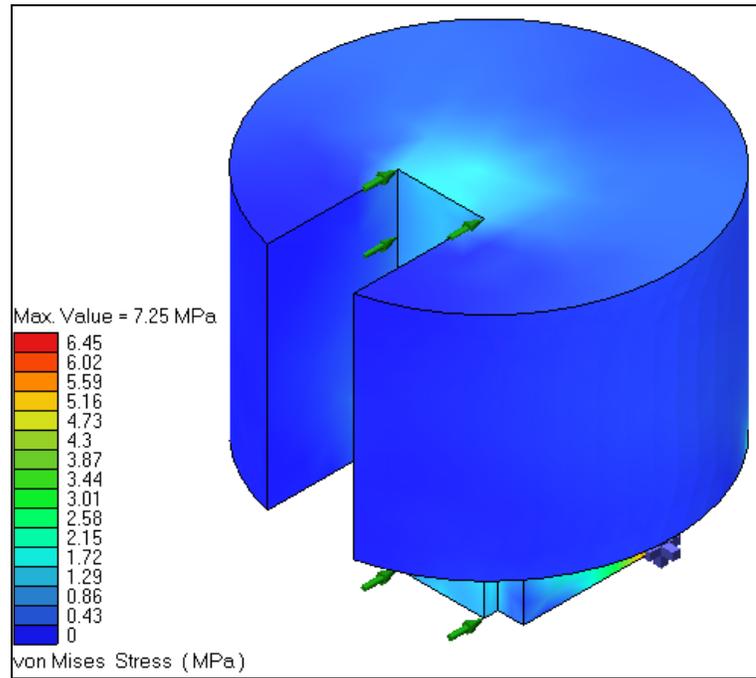
Corrida 9: Para 45898 nodos



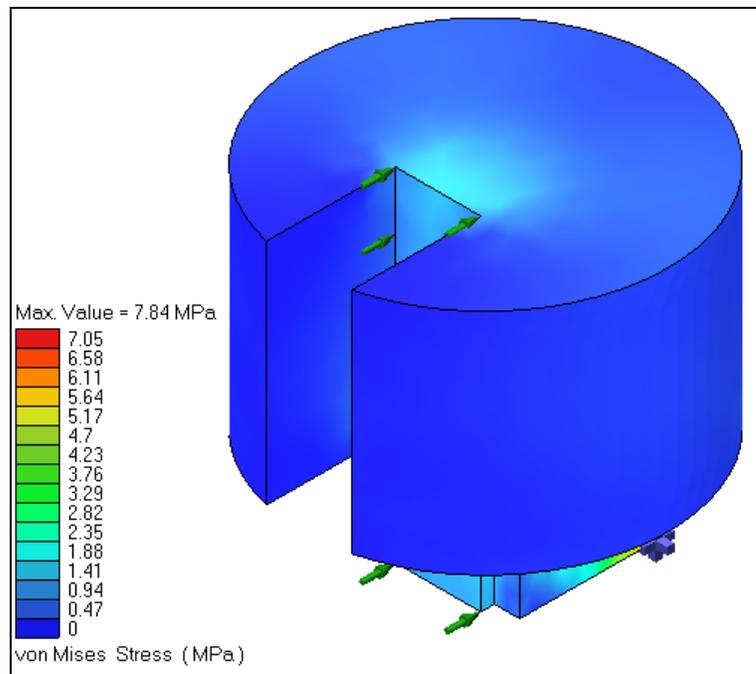
Corrida 10: Para 61788 nodos

APÉNDICE C
ANÁLISIS DE CONVERGENCIA DE LA GUÍA
INFERIOR

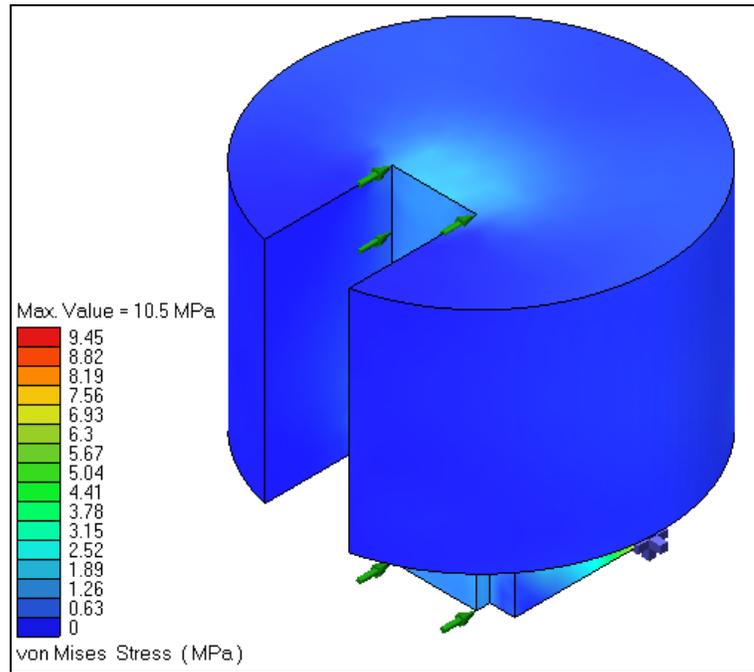
FUENTE: PROPIA



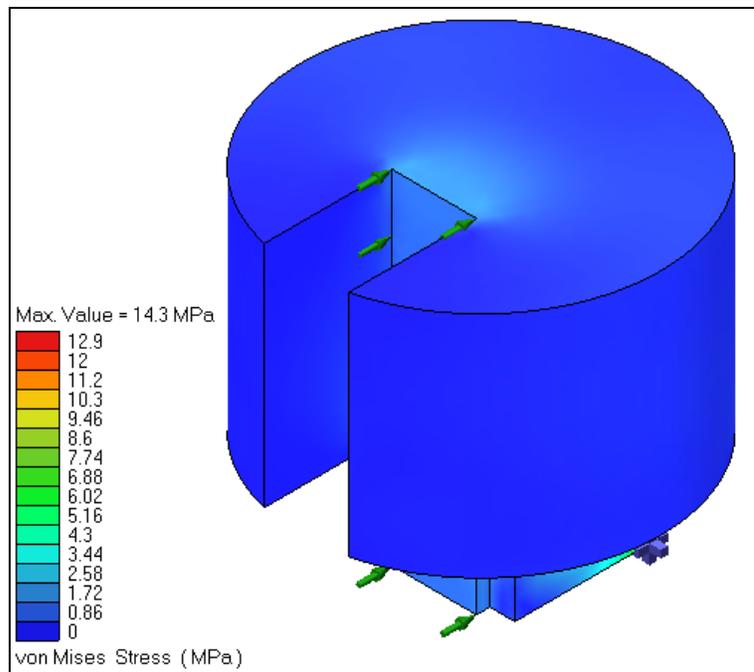
Corrida 1: Para 2522 nodos



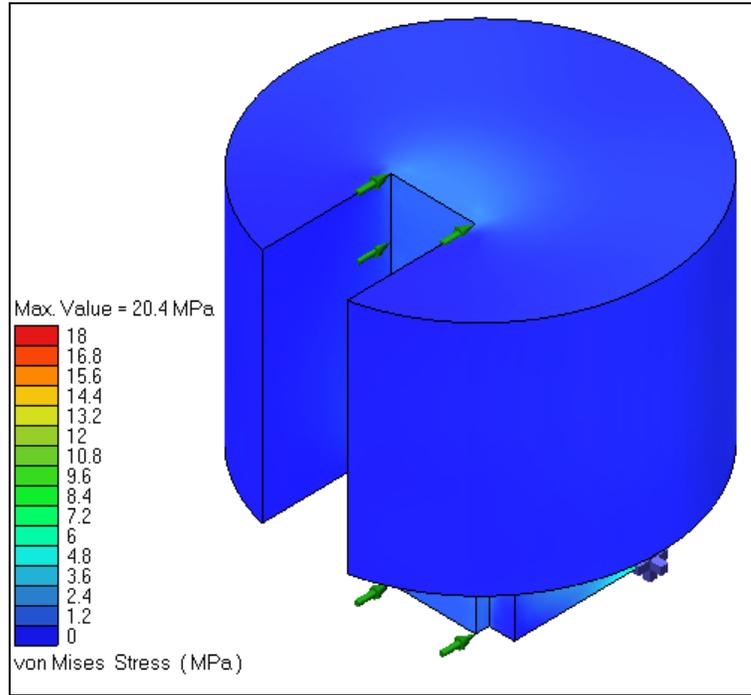
Corrida 2: Para 4204 nodos



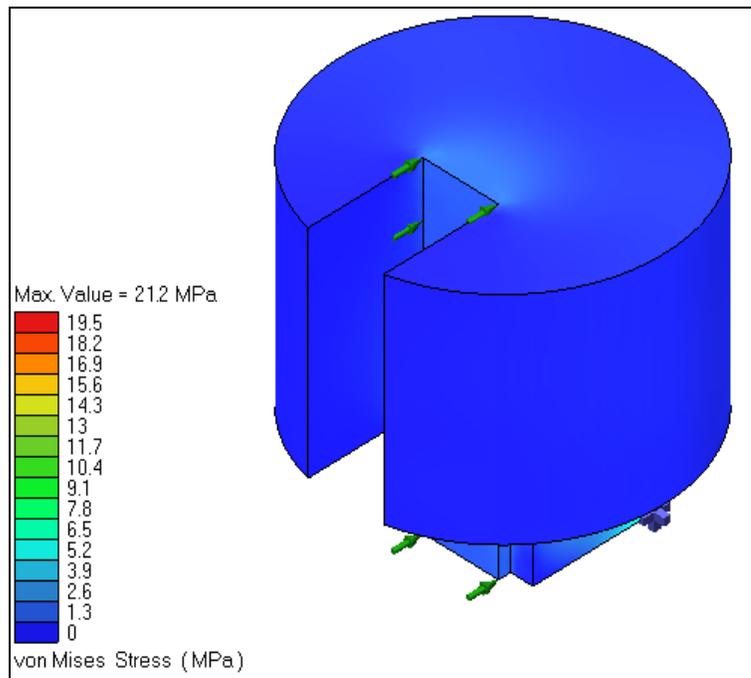
Corrida 3: Para 39284 nodos



Corrida 4: Para 26684 nodos



Corrida 5: Para 62355 nodos



Corrida 7: Para 117113 nodos

APÉNDICE D
PLANOS DEL SISTEMA DISEÑADO

FUENTE: PROPIA

APÉNDICE I
TABLAS Y REFERENCIAS USADAS PARA EL
DISEÑO EN EL TRABAJO ESPECIAL DE
GRADO

Tabla E-20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la cedencia ASTM para algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).

[Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-9, a condición que los materiales se conformen a los requisitos ASTM A6 o A568 o se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación. Véase la tabla 1-1 para ciertos aceros ASTM]

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	Núm. SAE y/o AISI	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la cedencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300(43)	170(24)	30	55	86
		CD	330(48)	280(41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320(47)	180(26)	28	50	95
		CD	370(53)	300(44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340(50)	190(27.5)	28	50	101
		CD	390(56)	320(47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400(58)	220(32)	25	50	116
		CD	440(64)	370(54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380(55)	210(30)	25	50	111
		CD	470(68)	390(57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470(68)	260(37.5)	20	42	137
		CD	520(76)	440(64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500(72)	270(39.5)	18	40	143
		CD	550(80)	460(67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520(76)	290(42)	18	40	149
		CD	590(85)	490(71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570(82)	310(45)	16	40	163
		CD	630(91)	530(77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620(90)	340(49.5)	15	35	179
		CD	690(100)	580(84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680(98)	370(54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770(112)	420(61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830(120)	460(66)	10	25	248

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

Tabla E-5

Constantes físicas de materiales

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso unitario w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Fundición de hierro (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Metal Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Níquel plata	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

TABLA VI.1 Incremento de altura de los dientes de una brocha.

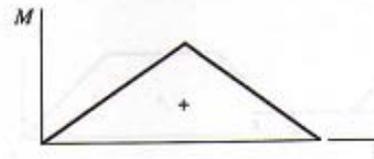
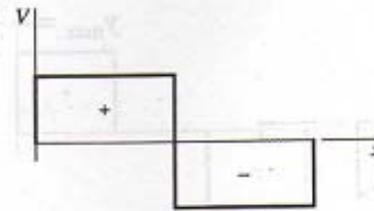
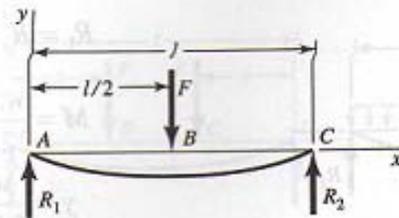
MATERIAL	ALTURA h	INCREMENTO DE ALTURA "e"	
		DESBASTE	ACABADO
Acero duro	0,36 p	0,03 – 0,05	0,01 – 0,02
Acero suave	0,40 p	0,05 – 0,10	0,01 – 0,02
Fundiciones	0,45 p	0,10 – 0,30	0,01 – 0,02
Aleaciones ligeras	0,45 p	0,10 – 0,20	0,02
Latón - Bronce.	0,50 p	0,10 – 0,40	0,02

Fuente: Pereira F, Juan C. Procesos de fabricación por arranque de viruta. Año 2004

Tabla E-9

Cortante, momento y deflexión de vigas
(continuación)

5 Apoyos simples: carga central



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad V_{AB} = R_1$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

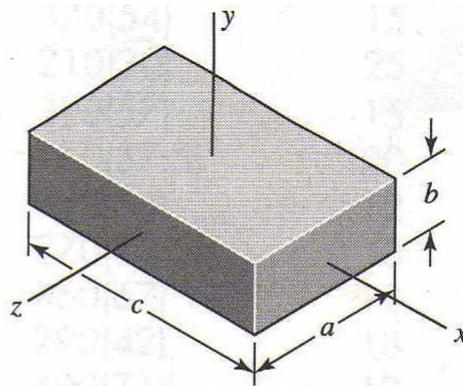
$$y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

MATERIAL	VELOCIDAD DE CORTE
	EN m/min
Acero duro	1-2
Acero dulce	2-4
Fundición	1-3
Aleaciones ligeras	2-6
Latón - Bronce	2-8
Aluminio	1-6

Fuente: Pereira F, Juan C. Procesos de fabricación por arranque de viruta. Año 2004

Prismas rectangulares



$$m = \frac{abc\rho}{g} \quad I_x = \frac{m}{12}(a^2 + b^2) \quad I_y = \frac{m}{12}(a^2 + c^2) \quad I_z = \frac{m}{12}(b^2 + c^2)$$

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

Tabla E-23

Propiedades esfuerzo-deformación media monótona y cíclicas de aceros seleccionados

Fuente: ASM Metals Reference Book, 2a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983, p. 217.

Grado (a)	Orientación (e)	Descripción (f)	Dureza HB	Resistencia a la tensión		Reducción en área, %	Deformación verdadera a la fractura, ϵ_f	Módulo de elasticidad, E		Coeficiente de resistencia a la fatiga, σ_f		Exponente de resistencia a la fatiga, b	Coeficiente de ductilidad a la fatiga, ϵ_f'	Exponente de ductilidad a la fatiga, c
				MPa	ksi			GPa	10 ⁴ psi	MPa	ksi			
A538A (b)	L	STA	405	1 515	220	67	1.10	185	27	1 655	240	-0.065	0.30	-0.62
A538B (b)	L	STA	460	1 860	270	56	0.82	185	27	2 135	310	-0.071	0.80	-0.71
A538C (b)	L	STA	480	2 000	290	55	0.81	180	26	2 240	325	-0.07	0.60	-0.75
AM-350 (c)	L	HR, A		1 315	191	52	0.74	195	28	2 800	406	-0.14	0.33	-0.84
AM-350 (c)	L	CD	496	1 905	276	20	0.23	180	26	2 690	390	-0.102	0.10	-0.42
Gainex (c)	LT	Lámina HR		530	77	58	0.86	200	29.2	805	117	-0.07	0.86	-0.65
Gainex (c)	L	Lámina HR		510	74	64	1.02	200	29.2	805	117	-0.071	0.86	-0.68
H-11	L	Normalizado	660	2 585	375	33	0.40	205	30	3 170	460	-0.077	0.08	-0.74
RQC-100 (c)	LT	Placa HR	290	940	136	43	0.56	205	30	1 240	180	-0.07	0.66	-0.69
RQC-100 (c)	L	Placa HR	290	930	135	67	1.02	205	30	1 240	180	-0.07	0.66	-0.69
10B62	L	T&R	430	1 640	238	38	0.89	195	28	1 780	258	-0.067	0.32	-0.56
1005-1009	LT	Lámina HR	90	360	52	73	1.3	205	30	580	84	-0.09	0.15	-0.43
1005-1009	LT	Lámina CD	125	470	68	66	1.09	205	30	515	75	-0.059	0.30	-0.51
1005-1009	L	Lámina CD	125	415	60	64	1.02	200	29	540	78	-0.073	0.11	-0.41
1005-1009	L	Lámina HR	90	345	50	80	1.6	200	29	640	93	-0.109	0.10	-0.39
1015	L	Normalizado	80	415	60	68	1.14	205	30	825	120	-0.11	0.95	-0.64
1020	L	Placa HR	108	440	64	62	0.96	205	29.5	895	130	-0.12	0.41	-0.51
1040	L	Como sale de forja	225	620	90	60	0.93	200	29	1 540	223	-0.14	0.61	-0.57
1045	L	T&R	225	725	105	65	1.04	200	29	1 225	178	-0.095	1.00	-0.66
1045	L	T&R	410	1 450	210	51	0.72	200	29	1 860	270	-0.073	0.60	-0.70
1045	L	T&R	390	1 345	195	59	0.89	205	30	1 585	230	-0.074	0.45	-0.68
1045	L	T&R	450	1 585	230	55	0.81	205	30	1 795	260	-0.07	0.35	-0.69
1045	L	T&R	500	1 825	265	51	0.71	205	30	2 275	330	-0.08	0.25	-0.68
1045	L	T&R	595	2 240	325	41	0.52	205	30	2 725	395	-0.081	0.07	-0.60
1144	L	CDSR	265	930	135	33	0.51	195	28.5	1 000	145	-0.08	0.32	-0.58
1144	L	DAT	305	1 035	150	25	0.29	200	28.8	1 585	230	-0.09	0.27	-0.53
1541F	L	Forjado T&R	290	950	138	49	0.68	205	29.9	1 275	185	-0.076	0.68	-0.65
1541F	L	Forjado T&R	260	890	129	60	0.93	205	29.9	1 275	185	-0.071	0.93	-0.65
4130	L	T&R	258	895	130	67	1.12	220	32	1 275	185	-0.083	0.92	-0.63
4130	L	T&R	365	1 425	207	55	0.79	200	29	1 695	246	0.081	0.89	-0.69

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

Tabla E-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales*

Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", cap. 7 en Joseph E. Shigley y Charles R. Mischke (eds. en jefe), *Standard Handbook of Machine Design*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1996, pp. 7.47-7.50.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Deformación a la fractura ϵ_f
			Cedencia S_y , MPa (kpsi)	Última S_u , MPa (kpsi)	A la fractura, σ_f , MPa (kpsi)	Coefficiente σ_o , MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1)†	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130)†	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106)†	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	T&R600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273)†	0.041	0.81	
4142	Acero	T&R600°F	1 720 (250)	1 930 (210)	2 340 (340)	1 760 (255)†	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221)†	1 410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233)†	1 270 (185)	0.45	1.67	
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2)†	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3)†	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102)†	882 (128)	0.13	0.18	

*Los valores se tomaron de una o dos coladas y se considera que se pueden obtener usando especificaciones adecuadas de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

†Valor derivado.

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

Existen dos formas de identificar los aceros: la primera es a través de su **composición química**, por ejemplo utilizando la norma AISI:

N° AISI:	Descripción	Ejemplo
10XX	Son aceros sin aleación con 0,XX % de C	(1010; 1020; 1045)
41XX	Son aceros aleados con Mn, Si, Mo y Cr	(4140)
51XX	Son aceros aleados con Mn, Si y C	(5160)

La **Tabla 1** relaciona la nomenclatura AISI-SAE con los valores de resistencia, ductilidad y dureza, conceptos que se explicarán más adelante. Sirve para relacionar la composición química y las propiedades mecánicas de los aceros. En las **Tablas 2 y 3** se entrega información detallada de la composición química de diversas aleaciones listadas en base su número AISI-SAE.

N° SAE o AISI	Resistencia a la tracción Rm		Limite de fluencia Re		Alargamiento en 50 mm %	Dureza Brinell
	Kgf / mm ²	Mpa	Kgf/mm ²	Mpa		
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1015	42,9	420,7	32,0	313,8	39	126
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143
1025	50,1	491,3	34,5	338,3	34	161
1030	56,3	552,1	35,2	345,2	32	179
1035	59,8	586,4	38,7	377,5	29	190
1040	63,4	621,7	42,2	413,8	25	201
1045	68,7	673,7	42,2	413,8	23	215
1050	73,9	724,7	42,2	413,8	20	229
1055	78,5	769,8	45,8	449,1	19	235
1060	83,1	814,9	49,3	483,5	17	241
1065	87,0	853,2	51,9	509,0	16	254
1070	90,9	891,4	54,6	535,4	15	267
1075	94,7	928,7	57,3	560,9	13	280
1080	98,6	966,9	59,8	586,4	12	293

Tabla 1
Propiedades Mecánicas. Barras de acero en caliente.

Fuente: www.ing.puc.cl/apunte/materiales

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. Descripción: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

7. Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ACERO MAQUINARIA - AISI 1045

ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200)

1. Descripción: acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 111 HB
Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI)
Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI)
Elongación 25%
Reducción de área 50%
Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)
Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.18 – 0.23 % C
0.30 – 0.60 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

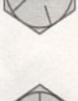
6. Usos: se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

7. Tratamientos térmicos: se puede cementar para aumentarle la resistencia al desgaste y su dureza mientras que el núcleo se mantiene tenaz. Se puede recocer a 870 °C y su dureza puede alcanzar los 111 HB, mientras que con normalizado alcanza los 131 HB.

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ACERO MAQUINARIA - AISI 1020

Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima de tensión,* kpsi	Resistencia mínima de fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero al bajo o medio carbono	
$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Acero al bajo o medio carbono	
$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero al bajo o medio carbono	
$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero al medio carbono, estirado en frío	
$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero al medio carbono, T y R	
$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81	Acero al medio carbono, T y R	
$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico al bajo carbono, T y R	
$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación al medio carbono, T y R	
$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación al medio T y R	
$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico al bajo carbono, T y R	

Fuente: Joseph E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. Año 2002

