

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AFILADORA DE  
CUCHILLAS PLANAS DE HASTA 1m DE LONGITUD PARA LA  
EMPRESA “M.C.S Y PLASTIMAG”.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO

GALO RENÉ BOHÓRQUEZ SUÁREZ

[galo\\_rene@hotmail.es](mailto:galo_rene@hotmail.es)

DIRECTOR: ING. JORGE ESCOBAR, M.Sc.

[jorge.escobar@epn.edu.ec](mailto:jorge.escobar@epn.edu.ec)

Quito, Noviembre 2011

## **DECLARACIÓN**

Yo, GALO RENÉ BOHÓRQUEZ SUÁREZ, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí presentado es de mí autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado de las fuentes bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

GALO RENÉ BOHÓRQUEZ SUÁREZ

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que bajo nuestra supervisión el presente proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico fue desarrollado por el señor GALO RENÉ BOHÓRQUEZ SUÁREZ.

---

Ingeniero Jorge Escobar.

DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ingeniero Jaime Vargas.

Colaborador

---

Ingeniero Mario Granja.

Colaborador

## **AGRADECIMIENTO**

Al padre celestial por darme toda la fortaleza necesaria para luchar en este mundo.

A mi madre por brindarme la educación adecuada e instruirme en el diario vivir, gracias madre por tu amor y comprensión.

A Daysita por la confianza y amor que me ha brindado desde el primer día que la vi, te amo mujercita.

A mi padre a pesar de todo es un buen Papá.

A mi hermana Elenita y mi hermano David por estar siempre juntos y apoyarme en todo momento y por todo su cariño.

Al Ingeniero Jorge Escobar por su paciencia y acertadas sugerencias en la consecución de este proyecto.

Al Ingeniero Jaime Vargas por la orientación en la realización del presente proyecto.

Al Ingeniero Freddy Gualoto por confiar en mí y apoyarme en este proyecto.

A todos lo que me apoyaron donde quiera que se encuentren.

**Galo Bohórquez**

## **DEDICATORIA**

*A la memoria de mi madre con mucho amor.*

**Galo Bohórquez**

## CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>CONTENIDO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>TABLA DE ANEXOS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>xix</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>MARCO TEORICO.....</b>	<b>1</b>
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. RÉGIMENES DE CORTE EN EL AFILADO .....	3
1.2.1. VELOCIDAD TANGENCIAL DE LA MUELA.....	3
1.2.2. VELOCIDAD DE AVANCE LONGITUDINAL .....	4
1.2.3. PROFUNDIDAD DEL AFILADO.....	5
1.3. PARTICULARIDADES DEL PROCESO DE AFILADO .....	5
1.4. TÉCNICAS DE AFILADO.....	6
1.4.1. HERRAMIENTAS PARA AFILAR .....	7
1.4.2. ELECCIÓN DE LA PIEDRA DE AFILAR.....	7
1.5. ESTUDIO DE LAS MUELAS.....	10
1.5.1. GENERALIDADES.....	10
1.5.2. CONSTITUCIÓN DE LAS MUELAS .....	10

1.5.2.1.	Abrasivos.....	11
1.5.2.1.1.	Óxido de Aluminio.....	12
1.5.2.1.2.	Carburo de Silicio.....	12
1.5.2.1.3.	Nitruro de Boro Cúbico.....	13
1.5.2.1.4.	Diamante.....	13
1.5.2.2.	AGLOMERANTES.....	14
1.5.2.2.1.	Vitrificados.....	14
1.5.2.2.2.	Resinoides.....	15
1.5.2.2.3.	Hule.....	15
1.5.2.2.4.	Aglomerantes Metálicos.....	15
1.5.2.2.5.	Otros aglomerantes.....	16
1.5.3.	ESTRUCTURA DE LAS MUELAS.....	16
1.5.4.	DENOMINACIÓN DE LAS MUELAS.....	17
1.5.5.	FORMA Y DIMENSIONES DE LAS MUELAS.....	17
1.6.	FUERZAS DE CORTE AL AFILAR.....	19
1.1	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL AFILADO.....	22
1.1.1	CHISPAS.....	23
1.1.2	REVENIDO.....	23
1.1.3	QUEMADO.....	23
1.1.4	AGRIETAMIENTO TÉRMICO.....	24
1.2	ESFUERZOS RESIDUALES.....	24
	<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>25</b>
	<b>ESTUDIO DE CAMPO.....</b>	<b>25</b>
2.1	INTRODUCCIÓN.....	25
2.2	ESTUDIO DE MERCADO.....	26
2.3	TIPOS GENERALES DE MAQUINAS AFILADORAS DE CUCHILLAS.....	31
2.3.1	MÁQUINA AFILADORA DE CUCHILLAS A 21.....	31
2.3.2	MÁQUINA AFILADORA DE CUCHILLAS P-600A.....	32
2.3.3	MÁQUINA AFILADORA DE CUCHILLAS GT-1139.....	33
	<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>35</b>
	<b>ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>35</b>

3.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	35
3.2	RESTRICCIONES Y LIMITACIONES .....	35
3.3	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	36
3.4	ESPECIFICACIONES .....	37
3.5	PARÁMETROS FUNCIONALES .....	38
3.6	FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....	39
3.6.1	ALTERNATIVA 1: AVANCE DE CORTE LO REALIZA LA MUELA .....	39
3.6.1.1	Ventajas .....	41
3.6.1.2	Desventajas .....	41
3.6.2	ALTERNATIVA 2: AVANCE DE CORTE ES REALIZADO POR LA HERRAMIENTA .....	41
3.6.2.1	Ventajas .....	42
3.6.2.2	Desventajas .....	42
3.6.3	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA .....	43
3.6.3.1	Evaluación .....	43
3.6.3.1.1	Costos .....	43
3.6.3.1.2	Facilidad de construcción y Montaje .....	44
3.6.3.1.3	Facilidad de manejo .....	44
3.6.3.1.4	Capacidad de operación .....	44
3.6.3.1.5	Mantenimiento .....	44
3.6.3.1.6	Peso y volumen metálico .....	45
3.6.3.2	Sistema de Calificación .....	45
3.7	PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	48
3.7.1	DATOS DE LA EMPRESA .....	48
3.7.2	CONTROL DE DIMENSIONES .....	49
3.7.3	VERIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES .....	49
3.7.4	TRABAJO SIN CARGA .....	49
3.7.5	TRABAJO CON CARGA .....	49
<b>CAPITULO 4</b>	<b>.....</b>	<b>50</b>
	<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>50</b>

4.1	INTRODUCCIÓN .....	50
4.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE AFILADO .....	50
4.2.1	SELECCIÓN DE LA MUELA ABRASIVA.....	50
4.2.2	CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR .....	52
4.2.3	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	54
4.2.4	DISEÑO DE LOS EJES GUÍAS .....	54
4.2.4.1	DISEÑO DEL EJE GUÍA 1.....	54
4.2.4.2	DISEÑO DEL EJE GUÍA 2.....	59
4.2.5	DISEÑO DEL SISTEMA COLA DE MILANO .....	62
4.2.5.1	DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA.....	63
4.2.5.1.1	Cálculo del torque para subir la herramienta (muela abrasiva).66	
4.2.5.1.2	Cálculo del torque necesario para bajar la herramienta (muela abrasiva).....66	
4.2.5.1.3	Cálculo del Autoseguro.....67	
4.2.5.1.4	Diseño Estático.....68	
4.2.5.2	DISEÑO DE LA TUERCA.....	70
4.2.5.2.1	Diseño Estático.....71	
4.2.5.3	SELECCIÓN DE LOS BOCINES.....	73
4.2.5.4	DISEÑO DE JUNTAS EMPERNADAS ESTRE LOS BOCINES Y EL SISTEMA COLA DE MILANO.....	73
4.2.5.4.1	Diseño a corte puro.....75	
4.2.6	SELECCIÓN DE LOS SOPORTES LATERALES.....	76
4.2.7	DISEÑO DE PERNOS DE UNIÓN ENTRE LOS SOPORTES Y LA ESTRUCTURA.....	76
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA PORTA-CUCHILLAS .....	82
4.3.1	DISEÑO DEL EJE ESCOTADO.....	82
4.3.1.1	Diseño Estático.....	83
4.3.2	DISEÑO DE JUNTAS EMPERNADAS ENTRE EL EJE ESCOTADO Y LA MESA .....	87
4.4	SELECCIÓN DE CHUMACERAS.....	92
4.5	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.....	92
4.5.1	DISEÑO DEL PERFIL 1.....	93

4.5.1.1	Cálculo del Perfil 1 .....	93
4.5.1.2	Cálculo del Perfil Vertical .....	96
4.6	SELECCIÓN DE SOLDADURAS .....	99
4.7	PLANOS DE TALLER Y MONTAJE .....	99
<b>CAPITULO 5</b>	.....	<b>100</b>
<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO</b>	.....	<b>100</b>
5.1	INTRODUCCIÓN .....	100
5.2	REQUERIMIENTOS PARA LA CONTRUCCIÓN .....	100
5.2.1	MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS .....	101
5.2.2	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN .....	102
5.2.3	MATERIA PRIMA.....	102
5.2.4	ELEMENTOS A CONSTRUIR .....	103
5.2.5	ACCESORIOS DE SEGURIDAD .....	103
5.2.6	ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	103
5.2.7	ELEMENTOS SELECCIONADOS .....	104
5.2.8	PERSONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	104
5.3	DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA EN LA COSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS A CONSTRUIR .....	104
5.4	HOJAS DE PROCESOS.....	105
5.5	FOTOGRAFÍAS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	105
5.6	MONTAJE DEL PROTOTIPO .....	107
5.7	PRUEBAS DE CAMPO.....	108
5.7.1	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO .....	109
<b>CAPITULO 6</b>	.....	<b>110</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	.....	<b>110</b>
6.1	INTRODUCCIÓN .....	110
6.2	ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS .....	110
6.2.1	COSTO DE MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	110
6.2.2	COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	112

6.2.3	COSTO DE MAQUINADO .....	113
6.2.4	COSTOS DE MONTAJE.....	113
6.2.5	COSTO DIRECTO TOTAL.....	114
6.3	ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS.....	114
6.3.1	COSTOS DE MATERIALES INDIRECTOS .....	114
6.3.2	COSTOS DE INGENIERÍA .....	115
6.3.3	GASTOS IMPREVISTOS.....	116
6.3.4	COSTO TOTAL INDIRECTO .....	117
6.4	COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.....	117
	<b>CAPITULO 7 .....</b>	<b>118</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
7.1	CONCLUSIONES .....	118
7.2	RECOMENDACIONES.....	120
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Movimientos principales de la máquina afiladora .....	2
Figura 1.2 Óxido de aluminio.....	12
Figura 1.3 Carburo de Silicio .....	13
Figura 1.4 Nitruro de boro cúbico .....	13
Figura 1.5 Diamante .....	14
Figura 1.6 Estructura de una muela .....	16
Figura 1.7 Formas básicas de las muelas .....	18
Figura 1.8 Variables en el proceso de afilado.....	20
Figura 2.1 Luz o juego entre filos y consumo de energía .....	25
Figura 2.2 demanda de afiladoras de cuchillas .....	29
Figura 2.3 Afiladora de cuchillas A-21 .....	32
Figura 2.4 Afiladora de Cuchillas P-600A.....	33
Figura 2.5 Afiladora GT-1139 .....	34
Figura 3.1 Esquema general alternativa 1 .....	40
Figura 3.2 Esquema general alternativa 2 .....	42
Figura 4.1 Muela tipo vaso o copa.....	51
Figura 4.2 Disposición de los ejes guías .....	55
Figura 4.3 Diagrama de cuerpo libre del eje 1 .....	56
Figura 4.4 Diagrama de cortante y Momento Flector del eje 1 .....	57
Figura 4.5 Diagrama de fuerza cortante del eje 1.....	57
Figura 4.6 Diagrama de momento flector del eje 1 .....	58
Figura 4.7 Diagrama de cuerpo libre del eje 2.....	60
Figura 4.8 Diagrama de cortante y Momento Flector .....	60
Figura 4.9 Diagrama de fuerza cortante del eje 2.....	61
Figura 4.10 Diagrama de momento flector del eje 2.....	61
Figura 4.11 Esquema cola de milano .....	63
Figura 4.12 Diagrama del cuerpo libre del tornillo de potencia.....	64
Figura 4.13 Diagrama disposición de los pernos entre los bocines y el cabezal portamuela.....	74
Figura 4.14 Pernos de unión entre los soportes laterales y la estructura .....	76
Figura 4.15 Sistema Porta-cuchillas. ....	82

Figura 4.16 Diagrama de cuerpo libre eje escotado .....	84
Figura 4.17 Diagrama de cortante y Momento Flector del eje escotado .....	84
Figura 4.18 Diagrama de fuerza cortante del eje escotado .....	85
Figura 4.19 Diagrama de momento flector del eje escotado .....	85
Figura 4.20 Ubicación de las chumaceras.....	92
Figura 4.21 Diagrama de cargas sobre el perfil 1 .....	93
Figura 4.22 Diagrama de cuerpo libre del perfil 1 .....	93
Figura 4.23 Diagrama de esfuerzo cortante. ....	94
Figura 4.24 Diagrama de momento flector. ....	95
Figura 4.25 Diagrama de cargas sobre el perfil vertical .....	97

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1 Fabricación de los soportes laterales .....	105
Fotografía 5.2 Fabricación de la estructura .....	106
Fotografía 5.3 Fabricación de los ejes guías .....	106
Fotografía 5.4 Elaboración de los agujeros en los soportes laterales .....	107
Fotografía 5.5 Inspección de la máquina afiladora de cuchillas planas con el director del proyecto.....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Velocidad tangencial de las muelas en m/seg .....	3
Tabla 1.2 Velocidad de avance en m/min en el rectificado plano .....	4
Tabla 1.3 Profundidad de pasada en mm.....	5
Tabla 1.4 Código normalizado de identificación de muelas.....	9
Tabla 1.5 Número del grano de los abrasivos .....	17
Tabla 1.6 Requisitos de energía específica en el rectificado plano .....	21
Tabla 2.1 Importaciones de afiladoras año 2007 .....	27
Tabla 2.2 Importaciones de afiladoras año 2008.....	27
Tabla 2.3 Importaciones de afiladoras año 2009.....	28
Tabla 2.4 Importaciones de afiladoras año 2010.....	28
Tabla 2.5 Demanda de máquinas afiladoras .....	29
Tabla 2.6 Valores sumatorios y de años .....	30
Tabla 2.7 Proyección de la demanda Futura .....	31
Tabla 2.8 Especificaciones técnicas afiladora de cuchillas GT-1139 .....	34
Tabla 3.1 Especificaciones de diseño .....	38
Tabla 3.2 Valoración de los parámetros para la selección de la mejor alternativa ...	46
Tabla 3.3 Valoración del parámetro costo .....	46
Tabla 3.4 Valoración parámetro de construcción y montaje .....	46
Tabla 3.5 Valoración parámetro facilidad de manejo.....	47
Tabla 3.6 Valoración parámetro capacidad de operación .....	47
Tabla 3.7 Valoración parámetro mantenimiento .....	47
Tabla 3.8 Valoración parámetro peso y volumen metálico .....	47
Tabla 3.9 Conclusión de la alternativa más óptima .....	48
Tabla 4.1 Selección de muelas abrasivas para afilado de herramientas.....	51
Tabla 4.2 dimensiones normales muelas de la forma ISO 6 en mm .....	52
Tabla 4.3 Iteración del número de pernos necesarios entre los soportes laterales y la estructura.....	81
Tabla 4.4 Iteración para la de los pernos entre la mesa y el eje escotado .....	91
Tabla 4.5 Tabla para determinar el coeficiente de apoyo .....	97

Tabla 5.1 Lista de los diferentes elementos a construir para la maquina afiladora de cuchillas planas.....	103
Tabla 5.2 Tabla con la secuencia de ensamble del prototipo .....	108
Tabla 6.1 Costo de materiales en la construcción del prototipo .....	111
Tabla 6.2 Costos de Elementos Normalizados.....	112
Tabla 6.3 Costo de Maquinado.....	113
Tabla 6.4 Costos de montaje.....	113
Tabla 6.5 Costo directo total.....	114
Tabla 6.6 Costo de Materiales Indirectos .....	115
Tabla 6.7 Costos de ingeniería.....	116
Tabla 6.8 Gastos de Imprevistos .....	116
Tabla 6.9 Costo Total indirecto.....	117
Tabla 6.10 Costo Final de la máquina .....	117

## TABLA DE ANEXOS

<b>ANEXO A:</b>	FORMATO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	122
<b>ANEXO B:</b>	SELECCIÓN DE LA PIEDRA ABRASIVA.....	126
<b>ANEXO C:</b>	SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	129
<b>ANEXO D:</b>	SELECCIÓN DE CHUMACERAS .....	132
<b>ANEXO E:</b>	CATÁLOGO DIPAC .....	135
<b>ANEXO F:</b>	MANUAL DE LA AISI (CÁLCULO DE ESBELTEZ).....	137
<b>ANEXO G:</b>	MATERIALES .....	139
<b>ANEXO H:</b>	RESULTADO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	145
<b>ANEXO I:</b>	HOJAS DE PROCESOS.....	149
<b>ANEXO J:</b>	PLANOS DE TALLER Y MONTAJE.....	164

## RESUMEN

El proyecto de titulación establece el diseño y la construcción de una máquina afiladora de cuchillas planas, de manera que la máquina es ideal para afilar todo tipo de cuchillas planas comúnmente usadas en los talleres dedicados al reciclaje plástico así como también en la industria del papel.

En el primer capítulo se describe un estudio sobre las técnicas de afilado, propiedades de las piedras abrasivas, así como los regímenes de corte durante al afilado. Además se describe las fuerzas que intervienen en el afilado de este tipo de máquina.

El capítulo segundo establece un estudio de campo. El estudio se basa esencialmente en la información proporcionada por el Banco Central del Ecuador, respecto a las importaciones en los últimos cuatro años.

En el capítulo tercero establece un estudio comparativo entre las diferentes alternativas que puede cubrir la necesidad establecida, se procede a ponderar una serie de criterios para seleccionar la alternativa que mejor satisfaga los requerimientos planteados.

En el capítulo cuarto se realiza el diseño de la máquina afiladora de cuchillas planas, tomando en consideración todos los factores que afectan al adecuado funcionamiento de cada componente que conforma el prototipo, se diseña cada elemento, tomando en cuenta los criterios de diseño tanto estático como dinámico.

El capítulo quinto detalla el procedimiento de construcción y montaje con ayuda de los planos de taller y de montaje.

En el capítulo sexto se indica el costo de la construcción del prototipo de manera que se justifique su construcción.

Por último en el capítulo séptimo contemplan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron del proyecto.

## PRESENTACIÓN

El avanzado desarrollo industrial en los últimos años en el país, con un enfoque especial en el campo metal-mecánico; la Escuela Politécnica Nacional consiente de los problemas que ocasionan progresar con una tecnología casi en su totalidad importada, se ha visto en la obligación de abordar esta problemática, a medida de sus posibilidades.

Ante esto, la facultad de Ingeniería Mecánica se ha impuesto como fundamental tarea la de transferir tecnologías extranjeras a tecnologías nacionales que concuerde con las necesidades de nuestra patria. Como estudiante interesado en el campo de diseño de máquinas, y conociendo que el principal problema de un diseñador consiste en construir un equipo que responda a las necesidades de la economía nacional, que dé el mayor efecto económico y que disponga de los índices más altos de explotación, he formado un grupo de trabajo con profesores de la facultad que han detectado previamente estas necesidades.

Debido, a que las máquinas afiladoras que hay en nuestro país casi en su totalidad son de origen externo por lo que su valor comercial es elevado, he adquirido un compromiso con Dios, mi patria y la empresa M.C.S y Plastimag en diseñar y construir un prototipo de una máquina afiladora de cuchillas planas. Si bien es cierto, es una tarea difícil pero no imposible, debido a que estoy seguro de mi formación académica impartida por los distinguidos profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica, me han servido para llevar adelante este proyecto.

Este esfuerzo constituye un pequeño grano de arena para lograr una base tecnológica adecuada a nuestro tiempo.

# CAPITULO 1

## MARCO TEORICO

### 1.1. GENERALIDADES

Las afiladoras tienen como misión de crear por primera vez, o de regenerar, las aristas de corte de una herramienta. La herramienta que se emplea para el afilado se llama muela, y por ende la operación que se desarrolla con la afiladora se denomina afilado.

La puesta en marcha de estos equipos se basa principalmente en el principio de funcionamiento de las rectificadoras verticales (toman la denominación de verticales por tener el eje de la muela dispuesto en tal sentido<sup>1</sup>). En si son maquinasherramientas donde el movimiento de corte, que es circular, corresponde a la herramienta (muela abrasiva). Para el funcionamiento de este tipo de máquinas no es necesaria la mano de obra especializada, puesto que su versatilidad la hace muy fácil de operar.

Para obtener un afilado idóneo se ve la necesidad de utilizar las muelas, como herramienta de arranque de viruta.

El afilado se efectúa siempre por el lado del bisel realizado los siguientes pasos:

- Composición o desbaste del bisel (con una muela de grano grueso)
- Afilado del bisel (con una muela de grano fino o piedra de agua)

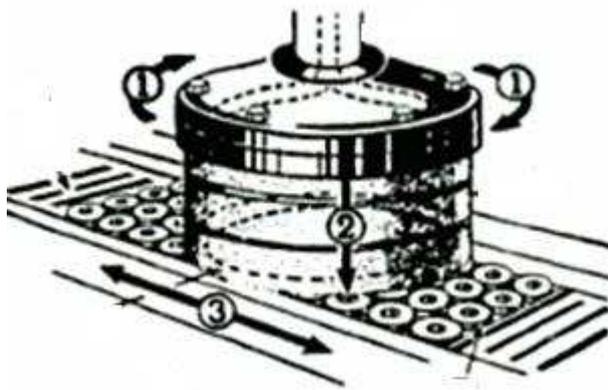
Las muelas para realizar esta operación pueden fabricarse de distintas formas, dimensiones, grano y dureza; la finalidad es satisfacer las exigencias antes descritas.

---

<sup>1</sup> ROSSI, MARIO; Máquinas-Herramientas Modernas; Editorial Hopeli, Barcelona,1971, página 771

Al afilar con este tipo de máquina, lo mismo que para todos los demás procedimientos de trabajo con máquinas-herramientas, se necesitan tres movimientos, que se detallan a continuación (Ver Figura 1.1):

1. uno de corte,
2. otro de aproximación o ajuste, y
3. un movimiento de avance (muela o pieza).



**Figura 1.1** Movimientos principales de la máquina afiladora

**Fuente:** PAUL DEGARMO, J; Materiales y Procesos de Fabricación; Editorial Reverte; página 796

El movimiento de corte como ya se expuso, es realizado por la muela. La velocidad de corte ( $v$ ) debe ser tan grande como sea posible. Sin embargo, no debe sobrepasar la velocidad máxima que prescriben los reglamentos de seguridad contra accidentes, pues de lo contrario la muela podría estallar por acción de la fuerza centrífuga. Con el movimiento de aproximación se ajusta, generalmente mediante desplazamiento de la muela contra la pieza, el espesor de viruta. Este espesor de viruta o profundidad o profundidad de corte es, en el rectificado de desbaste, de 0.02 a 0.06 mm. Los espesores demasiado grandes se traducen en un empeoramiento de la calidad superficial y un mayor desgaste de la muela.

## 1.2. RÉGIMENES DE CORTE EN EL AFILADO

Los regímenes de corte durante el afilado se deben elegir de tal modo que aseguren un alto rendimiento de la muela abrasiva, la calidad de la superficie a afilar, siendo mínimo el costo de la producción.

### 1.2.1. VELOCIDAD TANGENCIAL DE LA MUELA

Es la velocidad se la mide en m/s y representa la velocidad de los puntos de la pieza que están en contacto con la herramienta, respectos los unos de la otra, o viceversa. Se la mide en m/s, y está representada por la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

Donde:

$V_c$  = velocidad de corte (m/s)

$d$  = diámetro de la herramienta (mm)

$n$  = velocidad de giro (rpm)

Hay que tomar en cuenta que, la máxima velocidad de corte corresponderá diámetro máximo de los puntos de la pieza o que estén en contacto con la herramienta.

**Tabla 1.1** Velocidad tangencial de las muelas en m/seg

Tipo de muela	Aglomerante vitrificado y al silicato			Aglomerante de resinas sintéticas y goma		
	Dureza			Dureza		
	Blanda	Media	Dura	Blanda	Media	Dura
De disco	25	30	33	33	40	60
Anular, de copa, cónica	23	25	28	25	30	40
De disco para tronzar					50	60
De disco especial para tronzar						60-80

**Fuente:** ROSSI, MARIO; Máquinas-Herramientas Modernas, editorial Hopeli, Barcelona, 1971; página 1004

Esta velocidad se elige de tal modo que sea la máxima admisible para el afilado, puesto que, con aumento de la velocidad desarrollada por la muela, crece el rendimiento y disminuye la rugosidad de la superficie mecanizada. Con todas las demás condiciones iguales, el aumento de las dimensiones de granos en la muela, disminuye la resistencia mecánica de la muela.

En caso de avance a mano, la velocidad de la muela se toma menor que para el avance mecánico. Esto se explica porque durante el avance mecánico se consigue una uniformidad y por lo tanto, una carga constante en la muela, lo que no se consigue con un avance a mano.

### 1.2.2. VELOCIDAD DE AVANCE LONGITUDINAL

En el afilado de cuchillas planas el término avance longitudinal se designa al camino en milímetros, según la cual la herramienta o la pieza se desplazan una respecto a la otra, de tal modo que se arranque una nueva porción de metal con la herramienta. Frecuentemente, y de modo particular esta velocidad de avance se computa en milímetros por minuto.

La velocidad de la muela, velocidad de avance longitudinal y transversal, son valores que dependen de los siguientes factores: calidad del material a afilar, estado de la superficie, dimensiones, grado de acabado requerido, calidad del abrasivo y de su grano, calidad del aglomerante, lubricación.

**Tabla 1.2** Velocidad de avance en m/min en el rectificado plano

Material	Tipo de trabajo	Tipo de muela		
		de copa	de segmentos	tangencial
Acero blando	desbaste	8--10	10--12	10 a 15
	Acabado	1--8	6--10	6 a 10
Acero para herramientas	desbaste	8--12	10--14	10 a 15
	Acabado	1--8	6--10	6 a 10
Fundición	desbaste	8--0	10--12	10 a 15
	Acabado	1--8	6--10	6 a 10
Metales ligeros	desbaste	...	....	20 a 30
	Acabado	....	....	10 a 20
Cobre y aleaciones	desbaste	...	....	15 a 20
	Acabado	....	.....	10 a 15

Fuente: [http://www.produccion.cps.unizar.es/info/tec\\_fabr/.../mec%20abrasivo.pps](http://www.produccion.cps.unizar.es/info/tec_fabr/.../mec%20abrasivo.pps)

### 1.2.3. PROFUNDIDAD DEL AFILADO<sup>2</sup>

La profundidad de corte determina el espesor de la capa de metal que se arranca durante un recorrido de trabajo. Para el afilado, es provechoso aceptar mayor la profundidad de afilado permitida por los granos de la muela, la pieza y la máquina herramienta. La profundidad de rectificado no debe ser más de 0.05 mm del tamaño transversal del grano.

Por ejemplo, para una muela de número o granulosisidad de 90, esta profundidad debe ser menos de 0,04 mm. Con mayor profundidad de rectificado, los poros de la muela se llenan de inmediato con virutas metálicas.

**Tabla 1.3** Profundidad de pasada en mm

<b>Material</b>	<b>Desbaste</b>	<b>Acabado</b>
<b>Acero suave</b>	0,03-0,06	0,005-0,02
<b>Acero para Herramientas</b>	0,02-0,03	0,005-0,01
<b>Fundición</b>	0,08-0,16	0,02-0,05
<b>Aleaciones ligeras</b>	0,125-0,25	0,02-0,1

Fuente: [www.produccion.cps.unizar.es/info/tec\\_fabr/.../mec%20abrasivo.pps](http://www.produccion.cps.unizar.es/info/tec_fabr/.../mec%20abrasivo.pps)

## 1.3. PARTICULARIDADES DEL PROCESO DE AFILADO

Como en todo proceso de arranque de viruta el afilado de herramienta tiene sus singularidades, aparte de las comunes. A las particularidades del proceso de afilado deben atribuirse alta velocidad de corte, desintegración fuerte de la viruta quitada,

<sup>2</sup> LOSKUTOV V, rectificación de Metales, página 216

geometría desventajosa de los granos cortantes de la muela abrasiva, fuerte calentamiento de la superficie a trabajar y de virutas.

Se debe una explicación breve a estas particularidades. En el caso de afilado, la velocidad de corte es de 30 m/s o 1800m/min, lo que supera de 10 a 30 veces la velocidad de corte durante el fresado.

El proceso de arranque de viruta con grano abrasivo se realiza aproximadamente durante 0,0001- 0,00005 segundos<sup>3</sup>.

Los granos abrasivos, tienen ángulos de corte negativos. El trabajo de cada grano abrasivo tomado por separado se puede comparar con el trabajo de una cuchilla que tiene ángulo de salida negativo. Así, efectuando el maquinado con otras herramientas, es posible atribuir a su parte cortante la geometría más provechosa lo que es imposible hacer con las muelas de granos abrasivos.

Durante el rectificado una parte de las virutas se aleja volando de la pieza a afilar y la otra parte de éstas se sitúa en los poros de la muela y se desprende por medio del líquido refrigerador, una parte de estas se quema.

La muela de rectificar tiene arista cortante intermitente. Las altas velocidades de corte, el rozamiento de la muela con la superficie a mecanizar, la geometría arbitraria de los granos abrasivos y la desintegración conducen a que en la zona de afilado se genere una gran cantidad de calor. Por lo que, la alta temperatura en las capas superficiales de la pieza a afilar que alcanza 1000°C o más, da un cambio en las propiedades mecánicas del material.

#### **1.4. TECNICAS DE AFILADO<sup>4</sup>**

El afilado se realiza normalmente en dos pasadas, la primera retira una cantidad de material, en uno o en los dos lados de la cuchilla en forma de cuña, dejando la

---

<sup>3</sup> LOSKUTOV, V; Rectificación de Metales, Editorial Mir, Moscú, 1982; pagina 207

<sup>4</sup> <http://personal.iddeo.es/javiarias/afilado.htm>

superficie de la punta en un ángulo agudo. La segunda operación es el afinado, produciendo un borde agudo.

#### **1.4.1. HERRAMIENTAS PARA AFILAR**

Para el afilado se emplean piedras sintéticas (de diamante) de grano grueso o fino. La herramienta más común para el afilado es la piedra, que trabajan en seco o con agua. En el procedimiento en seco el disco gira a unas 3.000 r.p.m. La herramienta que se pretende afilar, debe moverse rápidamente de derecha a izquierda. Para evitar un excesivo calor y retirar el material por igual, el disco debe tener "diente", de esta forma no será necesario aplicar una excesiva presión sobre el disco. Si ejercemos una excesiva presión sobre el disco, y el disco de corte esta romo, se genera mucho calor, por lo que la herramienta se pone al rojo; adquiere una coloración azulada en la zona correspondiente, y queda inutilizada, ya que se pierde parte del carbono del metal y en consecuencia, el filo no se mantiene afilado.

#### **1.4.2. ELECCIÓN DE LA PIEDRA DE AFILAR**

El grano de una piedra de afilado en seco no debe ser más fino que 60 u 80. La ligazón de los granos será suficientemente blanda, de manera que los granos desgastados se puedan eliminar, dejando sitio a los mas afilados. La estructura de la piedra deberá ser suficientemente porosa, para permitir una adecuada refrigeración de la misma. Una vez acabado el afilado de la cuchilla, esta no deberá ser sumergida en agua.

En el procedimiento del afilado en húmedo la piedra gira a unas 100 r.p.m. introduciéndose en un baño de agua que evita el calentamiento excesivo del filo, a la vez que limpia los poros de la piedra. Los granos en este caso son más finos, entre 800 y 1.200, que los de la piedra en seco.

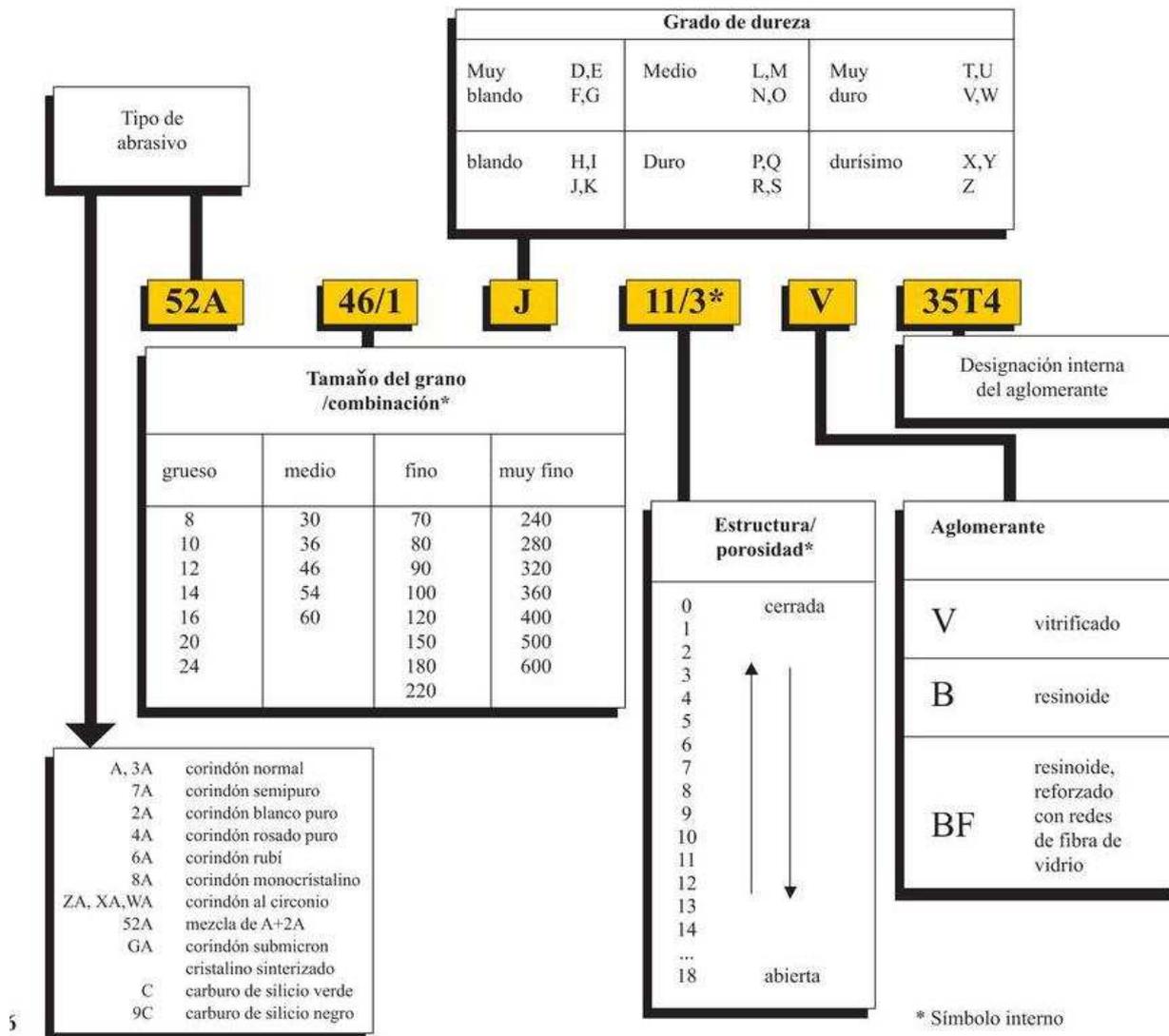
Mientras se está afilando, el ángulo del bisel se debe mantener fijo, según la dureza del material, en torno a 25 o 30°. Una regla sencilla indica que el ángulo de afilado es unos 24°, cuando el bisel (superficie sesgada) tiene una longitud dos veces y

media superior al ancho del filo, y  $30^\circ$  si esa longitud es el doble. Cuando se trabaja contra la superficie curva de la piedra de afilar, en el filo se produce una concavidad que se denomina hueco de afilado. Este defecto reduce el ángulo del bisel, y afecta negativamente la solidez de la pieza. Cuanto menor sea el diámetro del disco de afilar, mas se hace notar esta circunstancia. Los discos, con el uso y con el denominado auto afilado, se van haciendo cada vez más pequeños, por lo que no se deben apurar hasta el final.

El diámetro máximo de los discos o piedras de las máquinas eléctricas para afilado en seco no debe rebasar los 175 mm, para no superar la velocidad máxima permitida en el exterior de 35m/seg. Por razones de seguridad no se recomienda afilar con discos de diámetro muy reducido por el desgaste, puesto que a menor diámetro mayores son las revoluciones que alcanza la maquina, con el consiguiente peligro que esto supone.

Es adecuado seleccionar una muela con las consideraciones tomadas anteriormente, para esto, las características de las muelas están normalizadas y se identificaran en su mayoría mediante un código establecido por el ANSI (American National Standards Institute), que se ilustra y explica en la figura (1.2). Debe recordarse que los caracteres primeros y últimos se dejan a discreción de los fabricantes.

**Tabla 1.4** Código normalizado de identificación de muelas



**Fuente:** DEGARMO,J; Materiales y Procesos de Fabricación; Editorial Reverte; página 781

## **1.5. ESTUDIO DE LAS MUELAS**

### **1.5.1. GENERALIDADES**

El empleo de herramientas abrasivas de altas prestaciones es, hoy en día, un factor importante para el funcionamiento y la rentabilidad de productos en prácticamente todos los sectores industriales.

Las muelas se obtienen moldeando el aglutinante y los granos, por prensado o sinterizado. Las muelas cerámicas, que son con mucho las más usadas, se cuecen en hornos de túnel o en hornos de solera móvil.

Las muelas se las utiliza en las siguientes ocasiones:

- En el desbaste, donde es requerido un simple arranque de material sin mucha precisión ni pulido (desbardado de piezas fundidas).
- En el rectificado, donde la muela debe determinar superficies lisas y de precisión.
- En el afilado, donde la muela regenera el filo de corte (según una relativa precisión) de los ángulos característicos de la despulla.

En la tecnología de las operaciones mecánicas, las muelas son consideradas como herramientas policortantes, cuyas cuchillas, numerosas y protegidas, están construidas por los granos abrasivos que arrancan el material en pequeña cantidad.

### **1.5.2. CONSTITUCIÓN DE LAS MUELAS**

Las muelas, sean de origen natural o artificial, están constituidas por dos elementos:

- a) El abrasivo.
- b) El cemento o aglomerante.

### 1.5.2.1. Abrasivos

Un abrasivo es una partícula dura, pequeña y no metálica y que tiene aristas agudas y forma irregular, a diferencia de las herramientas de corte comunes. Los abrasivos son capaces de remover pequeñas cantidades de material de una superficie mediante un proceso de corte que produce virutas diminutas. Por lo tanto, permite remover pequeñas cantidades de material y lograr exactitudes dimensionales superiores.

Por ser duros, los abrasivos se utilizan también en procesos de acabado para partes muy duras o con tratamiento térmico, por ejemplo, para dar forma a materiales no metálicos tales como cerámicos y vidrios, para quitar salpicaduras y cordones de soldadura, cortar tramos de perfiles estructurales y barras, mampostería y concreto, y para limpiar paredes con chorro de agua o aire que contenga partículas abrasivas.

Además de la dureza, una característica importante es la friabilidad, que es la facilidad con que los granos abrasivos se fracturan (se rompen) y forman piezas más pequeñas.

Esta propiedad es la base de las características de autoafilamiento de los abrasivos, esencial para mantener la abrasividad durante su uso. Una gran friabilidad indica baja resistencia mecánica o a la fractura del abrasivo, por lo que un grano de abrasivo muy friable se fragmenta con mucha más rapidez durante los procesos de rectificado que uno poco friable. Por ejemplo: el óxido de aluminio es más friable que el carburo de silicio.

Los abrasivos utilizados con mayor frecuencia en los procesos de manufactura son:

- a) Óxido de aluminio ( $AlO_3$ )
- b) Carburo de silicio (SiO)
- c) Nitruro de Boro Cúbico.
- d) Diamante.

Estos abrasivos son mucho más duros que los materiales convencionales de las herramientas de corte.

Además, existen los abrasivos naturales, que son los que se encuentran en la naturaleza, como por ejemplo: el esmeril, corindón (alúmina), el cuarzo, granate y

diamante. Estos abrasivos naturales contienen en general cantidades desconocidas de impurezas y sus propiedades no son uniformes y por lo tanto, no aportan un comportamiento confiable ni consistente. Por ello, los abrasivos más utilizados son los que se producen en forma sintética. A continuación, se hace una breve descripción de los mismos:

#### 1.5.2.1.1. Óxido de Aluminio

La alúmina en su forma natural se conoce como corindón, y se utiliza como esmeril. Sin embargo, su desconocida impureza la hace no confiable e inconsistente para los trabajos de manufactura, y por lo tanto, el óxido de aluminio se manufactura siempre sintético para controlar su calidad. La figura 1.2 muestra el óxido de aluminio.



**Figura 1.2** Óxido de aluminio

**Fuente:** PEREZ, MARCO; Materiales II, pdf

Los óxidos de aluminio se dividen en dos grupos:

- Óxidos de aluminio fundido, que a su vez se clasifican en: oscuros (menos friables), blancos (muy friables) y monocristalinos.
- Óxidos de aluminio no fundido, que pueden ser mucho más puros que la alúmina fundida, y su forma más pura (libre de imperfecciones) es el gel sembrado. Este gel sembrado tiene un tamaño de partícula de 0.2mm, mucho menor que los granos de abrasivo comunes. Estas partículas se sinterizan para obtener tamaños mayores. Por su dureza y friabilidad relativamente alta, los geles sembrados mantienen su filo y se usan para materiales difíciles de rectificar.

#### 1.5.2.1.2. Carburo de Silicio

Tiene buena resistencia al desgaste, al choque térmico y a la corrosión.

Se fabrica con arena de sílice, coque de petróleo y pequeñas cantidades de cloruro de sodio (figura 1.3). Se dividen en negros (menos friables) y verdes (más friables), y en general tienen más friabilidad que los óxidos de aluminio; por consiguiente mayor tendencia a fracturarse y mantenerse afilados.



**Figura 1.3** Carburo de Silicio

**Fuente:** PEREZ, MARCO; Materiales II, pdf

#### **1.5.2.1.3. Nitruro de Boro Cúbico**

Es la sustancia más dura conocida después del diamante. No se encuentra en la naturaleza; se fabricó sintéticamente en 1970.

El nitruro de boro cúbico es el producto empleado en vez del diamante para cortar acero (figura 1.4). Se produce sintéticamente bajo altas temperaturas y presiones. Hay dos maneras de producir materiales súper duros que sean extremadamente difíciles de comprimir o resistentes a la deformación, una propiedad que resulta necesaria para la dureza. Una manera es imitar al diamante utilizando el carbono y combinándolo con boro o nitrógeno para mantener cortos los enlaces.



**Figura 1.4** Nitruro de boro cúbico

**Fuente:** PEREZ, MARCO; Materiales II, pdf

#### **1.5.2.1.4. Diamante**

La segunda forma principal del carbono es el diamante, que tiene una estructura enlazada covalentemente. Es la sustancia más dura conocida. El diamante es frágil, y se empieza a descomponer en el aire a aproximadamente 700°C; en entornos no oxidantes, resiste grandes temperaturas (figura 1.5).

El diamante sintético o industrial, se fabrica sometiendo el grafito a una presión hidrostática de 14 GPa y una temperatura de 3000°C. El diamante sintético es idéntico al natural pero tiene propiedades superiores dado que carece de impurezas. Está disponible en varios tamaños y formas; para el maquinado abrasivo, el tamaño de grano más común es el de 0.01 mm de diámetro. Las partículas de diamante también pueden ser recubiertas con níquel, cromo o titanio para un mejor rendimiento en las operaciones de esmerilado.



**Figura 1.5** Diamante

**Fuente:** PEREZ, MARCO; Materiales II, pdf

### **1.5.2.2. AGLOMERANTES**

El cemento o aglomerante, es la parte pasiva de la muela, que es necesario para mantener unidos los granos abrasivos y ofrecer la posibilidad de resistir la presión necesaria para la producción de viruta. El aglomerante debe también poseer la característica de dejar escapar los granos desgastados y presentar otros nuevos y activos.

#### **1.5.2.2.1. Vitrificados**

Son esencialmente vidrios, también llamados aglomerantes cerámicos. Es el aglomerante más común y su uso está muy extendido. Las materias primas son

feldespato y caolines. Se mezclan con los abrasivos, se humedecen y se moldean a presión, en la forma de las piedras abrasivas.

Estos productos luego se hornean a temperaturas de 1250° C para fundir el vidrio y desarrollar resistencia estructural. A continuación se enfrían con lentitud para evitar fracturas térmicas, se inspecciona su calidad y exactitud dimensional.

Las piedras con aglomerados vitrificados son resistentes, rígidas, porosas y resistentes a los aceites, ácidos y agua. Son frágiles y carecen de resistencia a los choques mecánico y térmico, pero también se consiguen con placas o copas de respaldo de acero para tener mejor soporte estructural en su empleo. Se puede modificar el color de la piedra con diversos elementos durante su fabricación.

#### **1.5.2.2.2. Resinoides**

Son resinas termofijas. Como el adhesivo es un compuesto orgánico, se les llama también piedras orgánicas. La técnica básica de fabricación consiste en mezclar el abrasivo con resinas fenólicas líquidas o en polvo, y aditivos; la mezcla se prensa para llegar a la forma de la piedra.

Las piedras resinoides son más flexibles que las vitrificadas. Se usan mucho las piedras reforzadas, en las que una o más capas de colcha de fibra de vidrio de diversos tamaños de malla suministran el refuerzo. Su efecto es retardar la desintegración de la piedra en caso de que se rompa por algún motivo.

#### **1.5.2.2.3. Hule**

Es el aglomerante más flexible utilizado en piedras abrasivas. Se fabrica mezclando hule crudo, azufre y los granos de abrasivo, laminando la mezcla, cortando círculos y calentando a presión, para vulcanizar el hule.

#### **1.5.2.2.4. Aglomerantes Metálicos**

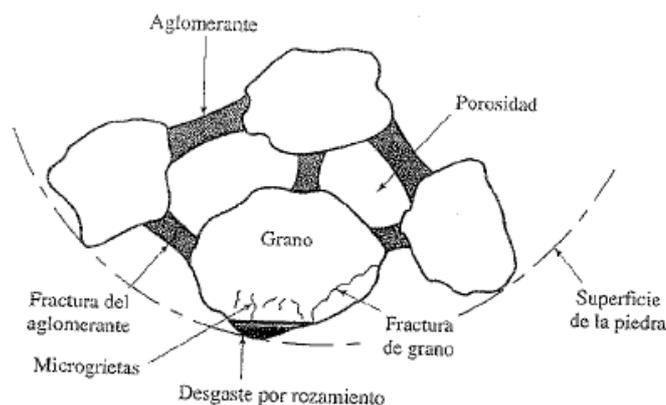
Mediante técnicas de metalurgia de polvos, los granos de abrasivo (por lo general súper abrasivos) se pegan a la periferia de una rueda metálica que hace de núcleo, a profundidades de 6mm o menos. La adhesión metálica se hace bajo alta presión y temperatura. La rueda (el núcleo) puede ser de acero, aluminio, bronce, cerámica o materiales compuestos.

### 1.5.2.2.5. Otros aglomerantes

También hay otros aglomerantes como los de silicato, goma laca y oxiclورو, con usos más limitados y, por supuesto, nuevas tecnologías en desarrollo.

## 1.5.3. ESTRUCTURA DE LAS MUELAS

La estructura de las muelas está formada por el grano, el aglutinante y poros. La suma de los espacios de los poros, la mayoría de veces, es menos del 50% del volumen de la muela; en muelas altamente porosas hasta el 75% (figura 1.6). El tamaño de los poros es con frecuencia aproximadamente igual al tamaño del grano, pero puede ser varias veces mayor.



**Figura 1.6** Estructura de una muela

**Fuente:** BRUINS, D.H; Herramientas y Máquinas-Herramientas; Ediciones Urmo; Bilbao, España, 1981; página 287

Las muelas altamente porosas actúan como muelas de grano grueso. Si se emplea para tales muelas un grano fino, se obtiene una gran potencia esmerilante con alta calidad de superficie. Los poros grandes reciben mucho líquido refrigerante, el cual es centrifugado contra la pieza y refrigera bien a ésta. Otra ventaja es el poco peso de la muela y por ello su pequeña masa centrífuga y por ello su pequeña masa centrífuga, las pocas vibraciones y la pequeña carga de la máquina.

#### 1.5.4. DENOMINACIÓN DE LAS MUELAS

Un código alfanumérico especifica los productos abrasivos. Gracias a un conjunto de procesos de control complementarios se garantiza el cumplimiento de la especificación.

La documentación de los datos garantiza una trazabilidad y reproducibilidad de los productos abrasivos. El número de grano básicamente es el principal indicador del tipo de muela.

**Tabla 1.5** Número del grano de los abrasivos

Número	Tamaño	Empleo General
8, 10, 12, 14	Grano muy grueso	Desbardado y desbaste de grandes piezas.
15, 16, 20, 24, 30	Grano grueso	a) Desbardado de piezas medianas y de peso. b) Desbaste y rectificadas bastos. c) Alisado automático
36, 40, 46, 50, 60	Grano mediano	a) Alisado automático. b) Rectificado de desbaste y de acabado cilíndrico exterior e interior. c) Afilado de herramientas.
70, 80, 90	Grano semifino	a) Afilado de herramientas. b) Rectificado de acabado cilíndrico exterior e interior
100, 120	Grano fino	a) Afilado de herramientas. b) Acabado y primer pulido.
150, 180, 200, 220	Grano muy fino	Bruñido
F, FF, FFF	Polvo de lavado	Bruñido

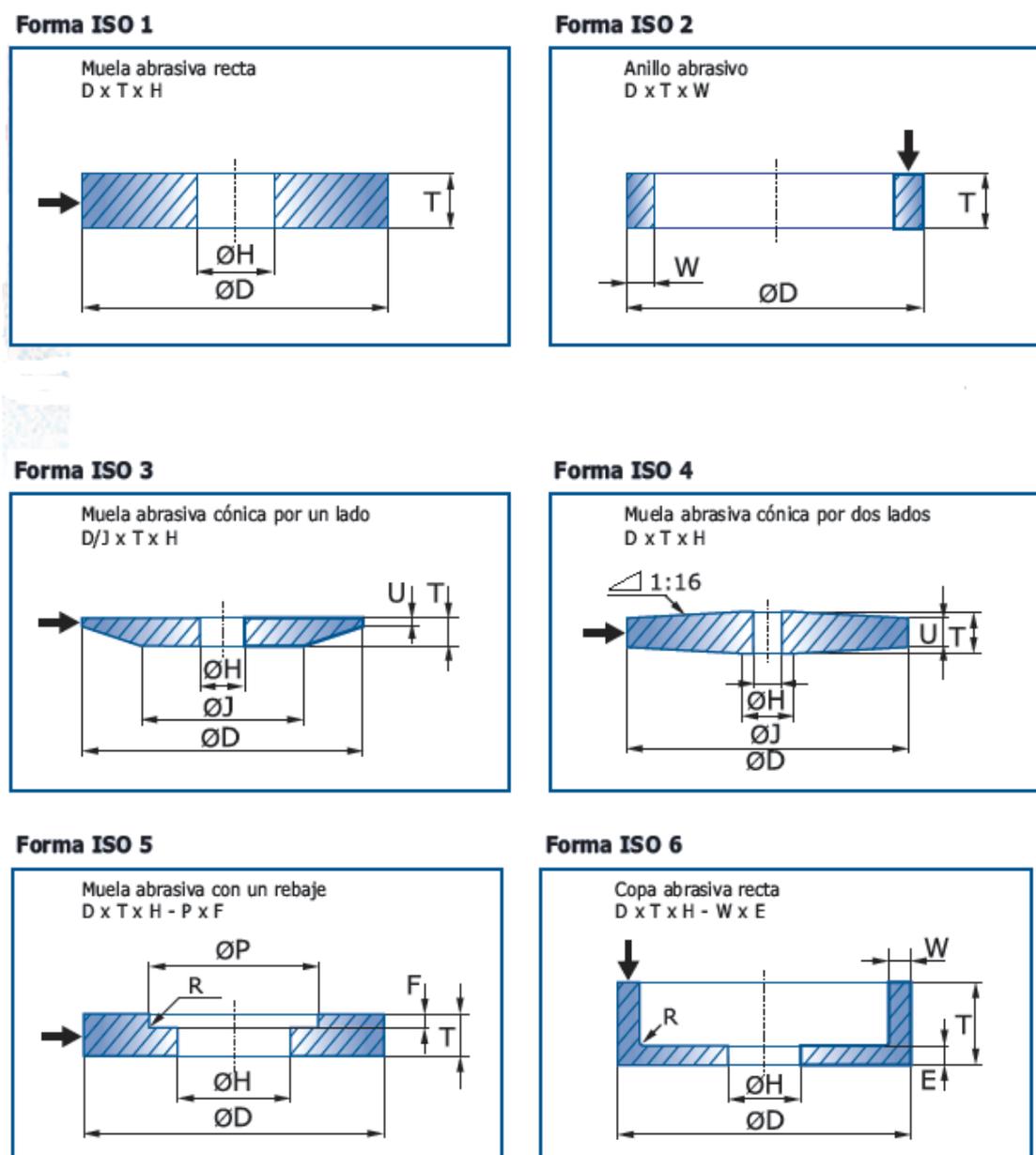
**Fuente:** ROSSI, MARIO; Máquinas-Herramientas Modernas, editorial Hopeli, Barcelona, 1971; página 811

#### 1.5.5. FORMA Y DIMENSIONES DE LAS MUELAS

Al tratar de las rectificadoras y afiladoras se ve que la herramienta (muela) aplicada a estas máquinas es un sólido de revolución generado por una línea girando

alrededor de un eje. Las muelas, a este respecto, pueden tener un número infinito de formas y dimensiones, de acuerdo al uso que se le vaya a dar.

En la elección de las dimensiones conviene emplear, donde sea posible, las muelas de gran diámetro. En general las muelas para afilar cuchillas planas, son de forma o del tipo de copa (figura 1.7). Esto es razonable puesto que, barren superficies planas grandes.



**Figura 1.7** Formas básicas de las muelas

Fuente: [www.produccion.cps.unizar.es/info/tec\\_fabr/.../mec%20abrasivo.pps](http://www.produccion.cps.unizar.es/info/tec_fabr/.../mec%20abrasivo.pps)

## 1.6. FUERZAS DE CORTE AL AFILAR<sup>5</sup>

Conocer las fuerzas que actúan sobre el rectificado es importante por muchas razones:

- para estimar los requerimientos de potencia,
- para diseñar las rectificadoras,
- para conocer las flexiones que puede experimentar la pieza y la rectificadora, y
- para el diseño de los soportes y sujetadores de pieza.

A su vez, conocer las deformaciones es muy importante para lograr la exactitud dimensional del proceso.

El espesor de la capa cortada del metal por un grano de la muela es muy pequeño, pero, al tomar en cuenta que en proceso de a afilado con muela abrasiva participa simultáneamente gran cantidad de éstos, la resultante de las las fuerzas constituye una magnitud notable.

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

$$Fuerza\ de\ grano \propto \left( \frac{v}{V} \sqrt{\frac{d}{D}} \right) (resistencia\ del\ material) \quad (1.2)$$

Donde:

$v$ : Velocidad de avance

$V$ : Velocidad periférica de la muela

$D$ : Diámetro de la vuela

$d$ : Profundidad de corte

---

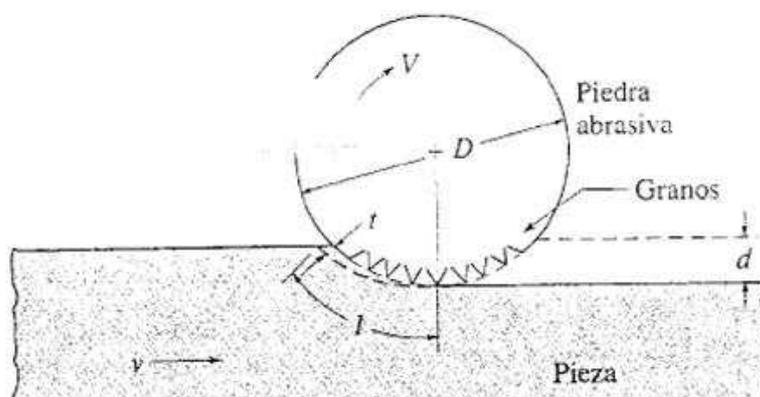
<sup>5</sup> KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura-Ingeniería y Tecnología, página 714

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

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

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

Los granos desarrollan una cara de desgaste (figura 1.8), resultado de la operación de rectificado. Como es obvio, la cara de desgaste se frota con la superficie rectificada y, por la fricción, disipa energía.



**Figura 1.8** Variables en el proceso de afilado

**Fuente:** KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Editorial Reverte; Barcelona, 2002; página 713

En la tabla 1.6 se ven los requisitos normales de energía específica (energía por unidad de volumen eliminado) en el rectificado o afilado. Estos niveles de energía son mucho mayores que en las operaciones de maquinado. Esta diferencia se atribuye a factores como la presencia de caras planas y virutas producidas con ángulos de ataque negativo grande.

**Tabla 1.6** Requisitos de energía específica en el rectificado plano

Material de la pieza	Dureza	Energía específica	
		W*s/mm <sup>3</sup>	hp*min/pulg <sup>3</sup>
Aluminio	150 HB	7--27	2.5--10
Hierro colado	215 HB	12--60	4.5--22
Acero al carbono (1020)	110 HB	14--68	5--25
Aleación de titanio	300 HB	16--55	6--20
Acero de herramientas	67 HRC	18--82	6.5--30

**Fuente:** KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Editorial Reverte; Barcelona, 2002; página 714

A partir de los datos de energía específica se puede calcular la fuerza de rectificado (tangencial a la muela),  $F_c$  con la siguiente fórmula:

$$T = (F_c)(D/2) \quad (1.3)$$

Donde:

$T$ : Par producido

$D$ : Diámetro de la muela

$F_c$ : Fuerza de corte

Para obtener el par o momento producido por la muela, se obtiene con la formula:

$$P = (T)(w) \quad (1.4)$$

Donde

$P$ : Potencia consumida por la muela.

$w$ : es la velocidad de rotación de la muela en [rad/min]

La potencia consumida por la muela es:

$$P = (u)(RRM) \quad (1.5)$$

Donde:

$u$ : es la energía específica, obtenida en la tabla

$RRM$ : es la rapidez de remoción del material (pulg<sup>3</sup>/min).

Finalmente para el cálculo de la rapidez de remoción del material, se la realiza con la siguiente fórmula:

$$RRM = d * a * v \quad (1.6)$$

Donde:

$d$ : es la profundidad de corte.

$a$ : Ancho de corte.

$v$ : Velocidad de avance.

Se puede calcular la fuerza de empuje,  $F_n$  teniendo en cuenta que , según datos experimentales en las publicaciones técnicas, es un 30% mayor que la fuerza de corte,  $F_c$ . En consecuencia<sup>6</sup>:

$$F_n = (1.3) \times F_c \quad (1.7)$$

## 1.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL AFILADO

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

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

$$\text{Aumento de temperatura} \propto D^{1/4} d^{3/4} \left(\frac{v}{v}\right)^{1/2} \quad (1.8)^7$$

Por consiguiente, la temperatura aumenta al incrementarse la profundidad de corte, el diámetro y la velocidad de la piedra, y disminuye al aumentar la velocidad de la pieza.

<sup>6</sup> KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura-Ingeniería y Tecnología, página 715

<sup>7</sup> KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura-Ingeniería y Tecnología, página 715

Las temperaturas máximas durante el rectificado pueden llegar a 1600°C (3000°F). Sin embargo, el tiempo que se tarda en formar una viruta es extremadamente corto, del orden de microsegundos, por lo que la viruta se podrá fundir o no. Como las virutas se llevan gran parte del calor generado, sólo una fracción del calor producido por el rectificado o afilado pasa a la pieza.<sup>8</sup>

### **1.1.1 CHISPAS**

Las chispas producidas al afilar en realidad son virutas que se encienden, resultado de la reacción exotérmica (generadora de calor) entre las virutas y el oxígeno de la atmósfera. El color, intensidad y forma de las chispas dependen de la composición del metal que se trabaje. Si el calor generado debido a la reacción exotérmica es suficientemente grande, las virutas se pueden fundir y, debido a la tensión superficial, adquirir una forma esférica y solidificarse en forma de partículas metálicas.

### **1.1.2 REVENIDO**

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

### **1.1.3 QUEMADO**

Un aumento excesivo durante el afilado puede quemar la superficie donde se trabaja. Una quemadura se caracteriza, en superficies rectificadas de acero, por un color azulado, indicación de que la alta temperatura causó oxidación. Se puede detectar por ataque químico y otras técnicas metalúrgicas. Una quemadura no es perjudicial por sí misma. Sin embargo, las capas superficiales pueden sufrir transformación de fase con formación de martensita en los aceros al alto carbono,

---

<sup>8</sup> KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura-Ingeniería y Tecnología, página 716

debido al enfriamiento rápido (quemadura metalúrgica)<sup>9</sup>. Esta condición influirá sobre las propiedades superficiales de las partes trabajadas, reduciendo la ductilidad y la tenacidad superficial.

#### **1.1.4 AGRIETAMIENTO TÉRMICO**

Las altas temperaturas durante el afilado pueden hacer que la superficie de la pieza se agriete. Estas grietas suelen ser perpendiculares a la dirección del afilado.

### **1.2 ESFUERZOS RESIDUALES**

Los gradientes de temperatura en el interior de la pieza son los principales responsables de los esfuerzos residuales. Los fluidos de corte y su método de aplicación, al igual que los parámetros de rectificado, como son la velocidad y la profundidad de corte, influyen mucho sobre la magnitud y el tipo de los esfuerzos residuales que se desarrollan (de tensión o de compresión).

Por el efecto adverso de los esfuerzos residuales de tensión sobre la resistencia a la fatiga, se deben seleccionar con cuidado las variables de proceso. Normalmente, los esfuerzos residuales se pueden reducir aminorando la velocidad de la muela y aumentando la velocidad de la pieza. También se pueden usar muelas de grano más suave, llamadas muelas de corte libre.

---

<sup>9</sup> KALPAKJIAN, SEPARE; Manufactura-Ingeniería y Tecnología, página 716

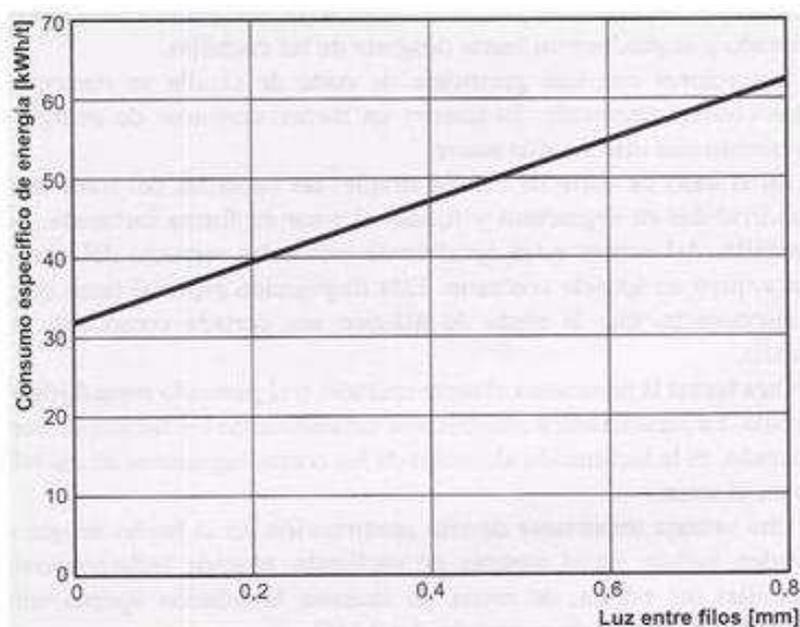
## CAPITULO 2

### ESTUDIO DE CAMPO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

Este tipo de máquinas son ideales para afilar todo tipo de cuchillas planas comúnmente usadas como herramienta de corte de papel en los talleres gráficos, de encuadernación y en otras actividades relacionadas con las Artes Gráficas. También puede ser empleada para afilar cuchillas de máquinas de carpintería, agricultura, así como en otros ramos de la industria, como el reciclaje plástico.

La siguiente gráfica 2.1 muestra el aumento en consumo de energía debido al mal ajuste o desgaste de cuchillas de corte.



**Figura 2.1** Luz o juego entre filos y consumo de energía

**Fuente:** JUNGBAUER, A; Reciclaje de plásticos, Editorial Costa Nogal

La duración del filo de las cuchillas varía en función del tipo de material y el grado de suciedad que este tenga, los materiales que generan un mayor desgaste en las cuchillas son proveniente de tiraderos y agroplásticos, ya que contienen un alto contenido de tierra, mismo que genera un acelerado desgaste en las cuchillas al grado de decaer la producción en un periodo de tiempo muy corto.

Para la disponibilidad de cuchillas siempre en buen estado se recomienda contar con un equipo afilador de cuchillas, el afilador de cuchillas es una máquina que ayuda a mantener siempre en buen estado las cuchillas de corte.

La mayoría de empresas que se dedican a este tipo de actividades en el Ecuador prefieren adquirir un equipo de estos, antes que comprar cuchillas nuevas, debido al alto costo que significa cambiar continuamente de herramientas de corte (cuchillas).

## **2.2 ESTUDIO DE MERCADO**

Con el objetivo de diseñar una máquina que se adapte a las necesidades de la industria del país, y para disponer de información respecto a su demanda, se estima como paso previo un estudio de mercado.

El estudio se basa esencialmente en la información proporcionada por el Banco Central del Ecuador, respecto a las importaciones en los últimos cuatro años.

Cabe mencionar que la información obtenida a todo tipo de máquinas de afilar cuchillas planas que ingresaron al país para su comercialización, la información obtenida por el Banco Central no especifica si las máquinas son manuales o automáticas, longitud de afilado, o si son nuevas o usadas.

En las siguientes tablas un resumen de las afiladoras que ingresaron al Ecuador en los últimos cuatro años:

**Tabla 2.1** Importaciones de afiladoras año 2007

<b>País de Origen</b>	<b>Número de maquinas</b>	<b>Precio FOB USD</b>
Alemania	1	2.768,00
Alemania	1	2.134,00
Alemania	1	19.560,00
Brasil	1	4.348,00
Taiwán	1	7.610,00
Taiwán	1	2.856,00
Taiwán	1	9.200,00
U.S.A	1	3.401,00
Italia	1	21.259,00
Italia	1	37.131,00
Italia	1	20.527,00
Italia	1	24.719,00
Italia	1	18.607,00
Japón	1	6.200,00

**Fuente:** Banco Central del Ecuador

**Tabla 2.2** Importaciones de afiladoras año 2008

<b>País de Origen</b>	<b>Número de maquinas</b>	<b>Precio FOB USD</b>
Alemania	1	6.355,00
Alemania	1	6.100,00
Alemania	1	47.719,00
Brasil	1	6.382,00
Brasil	1	21.200,00
Taiwán	1	3.915,00
España	1	3.109,00
U.S.A	1	3.325,00
U.S.A	1	3.250,00
U.S.A	1	2.668,00
U.S.A	1	9.159,00
U.S.A	1	11.590,00
India	1	27.844,00
Italia	1	46.205,00
Panamá	1	4.389,00
Panamá	1	3.183,00

**Fuente:** Banco Central del Ecuador

**Tabla 2.3** Importaciones de afiladoras año 2009

<b>País de Origen</b>	<b>Número de maquinas</b>	<b>Precio FOB USD</b>
Alemania	1	12.483,00
Brasil	1	3.180,00
China	1	10.760,00
China	1	2.675,00
China	1	4.992,00
Taiwán	1	7.309,00
España	1	5.026,00
España	1	36.739,00
U.S.A	1	15.383,00
U.S.A	1	5.652,00
U.S.A	1	8.231,00
U.S.A	1	3.650,00
Italia	1	10.652,00
Italia	1	39.928,00
Italia	1	5.392,00
Panamá	1	6.232,00
Panamá	1	5.017,00
Panamá	1	4.611,00
Turquía	1	20.120,00

**Fuente:** Banco Central del Ecuador

**Tabla 2.4** Importaciones de afiladoras año 2010

<b>País de Origen</b>	<b>Número de maquinas</b>	<b>Precio FOB USD</b>
Alemania	1	61.164,00
Brasil	1	30.000,00
Brasil	1	15.000,00
Brasil	1	30.000,00
China	3	2.155,00
China	1	5.614,00
U.S.A	1	4.593,00
U.S.A	1	3.585,00
U.S.A	1	11.872,00
Italia	1	39.928,00
Italia	1	5.392,00
Japón	1	3.003,00
Panamá	1	5.679,00
Panamá	1	3.177,00
Panamá	1	5.235,00
Panamá	1	3.940,00
Panamá	1	8.849,00
Republica checa	1	7.356,00

**Fuente:** Banco Central del Ecuador

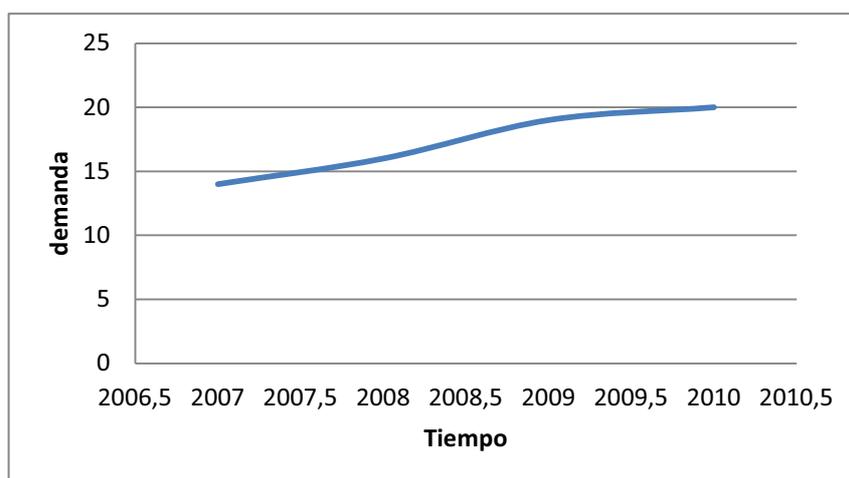
La cantidad total de máquinas afiladoras que ingresaron por año es:

**Tabla 2.5** Demanda de máquinas afiladoras

Año	Demanda
2007	14
2008	16
2009	19
2010	20

Fuente: Propia

Analizando la tabla 2.5 se observa que el número de máquinas se ha incrementado cada año, esto es adecuado debido al crecimiento industrial al que está encaminado el país. Conocida la demanda actual, se realiza una proyección para el futuro.



**Figura 2.2** demanda de afiladoras de cuchillas

Fuente: Propia

De la figura (2.2) se deduce que la demanda ha ido creciendo y que obedece a una función lineal, por lo que cuando la tendencia se ajusta a una recta, el método utilizado es:

$$Y_c = a + bx \tag{2.1}$$

Donde:

$Y_c$ : Valor de la demanda

$x$ : Número de años antes o después del periodo base.

$a, b$ : Parámetros incógnitas.

Para obtener los parámetros incógnitas se utiliza un modelo matemático denominado “método de los mínimos cuadrados” y están dados por las siguientes ecuaciones normales.

$$\sum y = N * a + b \sum x \quad (2.2)$$

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2 \quad (2.3)$$

Donde:

$N$ : Número de años.

$y$ : Número de unidades anuales.

Los valores sumatorios “ $\Sigma$ ” y de “ $N$ ” que intervienen en las ecuaciones (2.2) y (2.3) se determinan poniendo la demanda en los últimos cuatro años.

**Tabla 2.6** Valores sumatorios y de años

Año	y	x	$x^2$	xy
2007	14	-2	4	-28
2008	16	-1	1	-16
2009	19	0	0	0
2010	20	1	1	20
$N=4$	$\Sigma y=69$	$\Sigma x=-2$	$\Sigma x^2=6$	$\Sigma xy=-24$

Fuente: Propia

Resolviendo las ecuaciones (2.2) y (2.3) se obtienen las incógnitas “a” y “b”:

$$a = 18.4$$

$$b = 2.1$$

Con lo que la ecuación (2.1) es:

$$Y_c = 18.3 + 2.1x \quad (2.4)$$

La ecuación (2.4) es la ecuación general de la recta que permita realizar la proyección de la demanda futura. En la tabla (2.7) se indica la proyección de la demanda futura.

**Tabla 2.7** Proyección de la demanda Futura

<b>Año</b>	<b>x</b>	<b>Yc</b>
2011	1	20,4
2012	2	22,5
2013	3	24,6
2014	4	26,7
2015	5	28,8
2016	6	30,9
2017	7	33

**Fuente:** Propia

Con este análisis, el proyecto tiene una gran expectativa, puesto que la demanda ha crecido en el Ecuador. El mercado de estas maquinas en la industria crece cada año.

## **2.3 TIPOS GENERALES DE MAQUINAS AFILADORAS DE CUCHILLAS**

Las diferentes consultas realizadas en empresas comercializadoras de estas máquinas e industrias que trabajan con las mismas, se pudo determinar que usan principalmente tres modelos de afiladoras de cuchillas, que se detallan a continuación:

### **2.3.1 MÁQUINA AFILADORA DE CUCHILLAS A 21**

La muela esta acoplada a un motor el cual se desplaza mediante ejes guías (figura 2.3).Puede afilar 3 tipos de cuchillas diferentes, con los accesorios apropiados:

- cuchillos de cepillo;

- cuchillas usar y tirar (tipo Torsa y parecidas) ;
- navajas perfiladas de metal duro (Widia).

Características principales:

- Tanque del hierro fundido;
- Bajada de la muela manual;
- Guías de acero templado reemplazables;
- Bomba del líquido refrigerador;
- Traslación carro manual;
- Potencia del motor de la muela 1.5 Kw
- Revoluciones del motor 2800 rpm
- Muela de vaso Ø 127mm
- Velocidad de avance del carro 11 m/min.



**Figura 2.3** Afiladora de cuchillas A-21

**Fuente:** Propia

### **2.3.2 MÁQUINA AFILADORA DE CUCHILLAS P-600A**

Las máquinas Afiladoras de Cuchillas Planas Modelo P-600A están diseñadas para el afilado de cuchillas planas de hasta 600mm y 700mm de largo respectivamente (figura 2.4). Con capacidad de afilado de hasta 4 cuchillas, permitiendo un ahorro sustancial de tiempo y economía en su taller. El cuerpo afilador va montado sobre de desplazamiento.

#### Características Principales:

- Largo máximo de cuchilla 600 mm y 700mm
- Ángulo de escualización 35° a 45°
- Velocidad de avance 83 metros/min
- Diámetro de la muela 125 mm
- Peso aproximado 200 Kg
- Tipo de Motor Trifásico
- Potencia del motor 2 HP
- Velocidad del eje porta muela 3450 rpm



**Figura 2.4** Afiladora de Cuchillas P-600A

**Fuente:** <http://www.afilasol.com>

#### **2.3.3 MÁQUINA AFILADORA DE CUCHILLAS GT-1139**

Para afilar cuchillas de corte recto, con opción para mesa de corte magnética o de fijación normal, de ángulo variable, sistema de enfriamiento al corte y velocidad lateral de corte variable. Recorrido lateral sobre balero lineal con cubierta de acordeón para evitar desgaste (figura 2.5).

**Tabla 2.8** Especificaciones técnicas afiladora de cuchillas GT-1139

Largo Máx. de cuchilla	1600 / 2200 / 2400 mm
Ángulo de mesa de corte	0 - 90°
Vel. Rueda de desbaste	1400 r/min
Vel. de desbaste	5m/min - 3.2 m/min
Motor de cabeza de corte	1.5 KW, 1400 r/min
Servomotor	0.65 / 0.85 KW, 920 / 1420 r/min
Bomba de enfriador	0.125 KW
Dimensiones	1280 x 800 x 2090 / 2690 / 2890 mm

**Fuente:** www.marvi.com

**Figura 2.5** Afiladora GT-1139

**Fuente:** Propia

La mayoría de estas máquinas tienen guías por donde se desplaza el motor que da el movimiento a la muela. Estas guías de desplazamiento pueden ser paralelas al motor que genera el movimiento de la muela (figura 2.4) o perpendiculares al mismo (figura 2.3).

También como otro aspecto importante a tomar en cuenta es el movimiento de avance de la pieza, el cual puede ser manual o automático. La longitud de afilado va a depender directamente de factores como: avance longitudinal, composición de la muela, velocidad periférica de la muela.

## **CAPITULO 3**

### **ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

#### **3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema fundamental residen construir un equipo que responda lo más enteramente a las necesidades de la economía nacional, que dé el mayor efecto económico y que disponga de los índices más altos de explotación.

La empresa “M.C.S y Platimag” utiliza continuamente las cuchillas planas para el triturado del plástico reciclado, debido a un uso continuo de estas herramientas su filo es desgastado por lo que se necesita una maquina que devuelva el ángulo de corte de estas herramientas.

En vista que la empresa no posee este tipo de equipo para dar filo a las cuchillas planas, y el alto costo que demanda enviar a afilar en otro lado y por los altos costos que involucra adquirir uno de estos equipos; esta empresa no ha podido crecer por las restricciones descritas.

El presente proyecto pretende solucionar este problema dotándoles de una máquina afiladora de cuchillas planas, mejorando la productividad y estabilidad de la empresa.

#### **3.2 RESTRICCIONES Y LIMITACIONES**

A pesar de que el diseño proporciona las mejores condiciones de funcionamiento y operabilidad, existen restricciones y limitaciones que se establecen a continuación:

- El diseño de cada elemento de la afiladora de cuchillas planas debe adaptarse a las condiciones tecnológicas del país en lo que respecta a disponibilidad de materia prima, elementos normalizados, procesos de fabricación y normas.

- El equipo a diseñar debe afilar las cuchillas de hasta una longitud de un metro, con ángulos de afilado de 30 y 45°.
- El avance de la muela es manual y es realizado por el operador.

### 3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Al diseñar una máquina esta debe ser una construcción que posea especificaciones que permiten identificar cualitativamente los requerimientos y parámetros básicos del diseño, los cuales se detallan a continuación:

- **Rigidez.-** Es uno de los factores fundamentales que determinan la capacidad de trabajo de la construcción y tiene tanta importancia, si no más, para la fiabilidad, como la resistencia mecánica. La falta de rigidez puede perturbar la interacción de los mecanismos dispuestos e estos, provocando un elevado rozamiento y desgaste de las articulaciones móviles.
- **Tipo de fuente de energía.-** La máquina afiladora debe adaptarse a la fuente de energía que se encuentra disponible en este sector industrial que es la energía eléctrica, ya que si se utilizara otro tipo de energía como energía química representaría molestias, debido a que involucraría tiempo y gastos extras para conseguir el combustible.
- **Tiempo del Proceso.-** Es el tiempo que se demorará la máquina en dar el ángulo de filo a la cuchilla.
- **Costo Máximo.-** La afiladora de cuchillas debe tener un precio accesible. Este costo por lo menos debe cubrir los gastos que implican materiales, mano de obra, equipos, y las horas dedicadas al diseño de ingeniería.
- **Mantenimiento.-** La maquinaria debe ser fácil de limpiar y de reparar, que sea accesible para el empleado, es decir que no involucre excesivas horas de paro de máquina, gastos extremadamente considerables, por repuestos, reparaciones y mano de obra.

- **Ergonómica.-** La máquina debe adaptarse correctamente al propósito para lo que fue diseñada, que no presente dificultades para ser utilizada y mucho menos represente esfuerzos al operador, que su versatilidad responda satisfactoriamente al proceso deseado.
- **Facilidad de Operación.-** La máquina diseñada debe ser de fácil comprensión para ser maniobrada sin ningún inconveniente.
- **Capacidad.-** La máquina debe tener una capacidad máxima para depositar el fréjol con vaina dentro de esta para el proceso de desvainado, así como una capacidad máxima de almacenamiento de granos listos para el consumo, de tal forma que no signifique inconvenientes al operador en desperdicios de tiempos.
- **Tamaño.-** La máquina debe tener medidas adecuadas para que ocupe un espacio asignado, y además que su peso no sea excesivo para que pueda ser transportada sin ningún altercado y que se adapte a la estética industrial.
- **Vida Útil.-** La máquina está diseñada para vida infinita, el número de ciclos que debe soportar la máquina sin fallar, debe ser mayor a  $10^6$ , por lo que se realizan los cálculos de los elementos a falla por fatiga.
- **Procesos.-** Solamente se utilizan procesos de fabricación convencionales; tales como: torneado, taladrado, fresado, soldadura, para el fácil acceso o fabricación de los elementos a sustituir.
- **Seguridad.-** El prototipo debe garantizar la seguridad del personal de servicio, si es posible instalando mecanismos cerrados y empleando cercos de protección.

### 3.4 ESPECIFICACIONES

Si se habla de especificaciones se hace mención a aquellos considerados importantes para el diseño de la máquina y los requerimientos de la empresa, los cuales son:

**Tabla 3.1** Especificaciones de diseño

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	R	Realizar afilado de cuchillas para molinos de triturado de plásticos y afilado de cuchillas para cizallas
Materiales	C	R	Material de las cuchillas a afilar: materiales ferrosos (HSS)
Velocidad eje porta muela	D	R	2800-3600 [rpm]
Velocidad de avance	D	R	11-21 [m/min]
Avance	C	R	Manual
Longitud de afilado	C	R	Hasta 1 [m]
Fuente de energía	D	R	Trifásica 220 [V]
Potencia	C	R	1.5 a 2 [hp]
Bomba de refrigeración	D	D	refrigeración con agua 12 [lt/min] a 220 [V]
Ángulo de escualización	C	R	35° a 45°
Diámetro de la muela	C	R	125 [mm]

**Propone:** Cliente=C; Diseño=D

**R/D:** Requerimiento=R; Deseo=D

**Fuente:** Propia

### 3.5 PARÁMETROS FUNCIONALES

Un adecuado diseño debe satisfacer los requerimientos funcionales, es decir, la máquina afiladora de cuchillas debe cumplir la función para la cual es diseñada.

Entre los principales requerimientos funcionales se tiene:

- La máquina debe lograr un afilado óptimo de la cuchilla.

- La máquina afiladora de cuchillas debe ser de fácil operación, montaje, desmontaje y que el mantenimiento de las partes pueda realizarse con comodidad y rapidez.
- Las dimensiones de la máquina no deben superar los 1800 mm de largo, 500 mm de ancho y 1000 mm de altura, por pedido expreso de la empresa M.C.S y Plastimag.

### **3.6 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

Para el diseño de este equipo se toma dos alternativas de diseño y se escoge la más idónea.

A continuación se describen las alternativas que se consideran importantes, posteriormente se escoge aquella que satisfaga a la necesidad de “M.C.S y Plastimag”, en la selección se toma en cuenta los siguientes factores:

- Bajo costo de cada uno de sus elementos: construcción y mantenimiento.
- Facilidad de construcción: con operaciones manuales y a través de máquinas herramientas.
- Facilidad de montaje.
- Facilidad de mantenimiento: rapidez y costo.
- Facilidad de operación.
- Seguridad.
- Bajo peso.

Se plantean dos alternativas para el sistema de avance del porta motor:

- El avance de corte lo realiza la muela.
- El avance de corte lo realiza la herramienta.

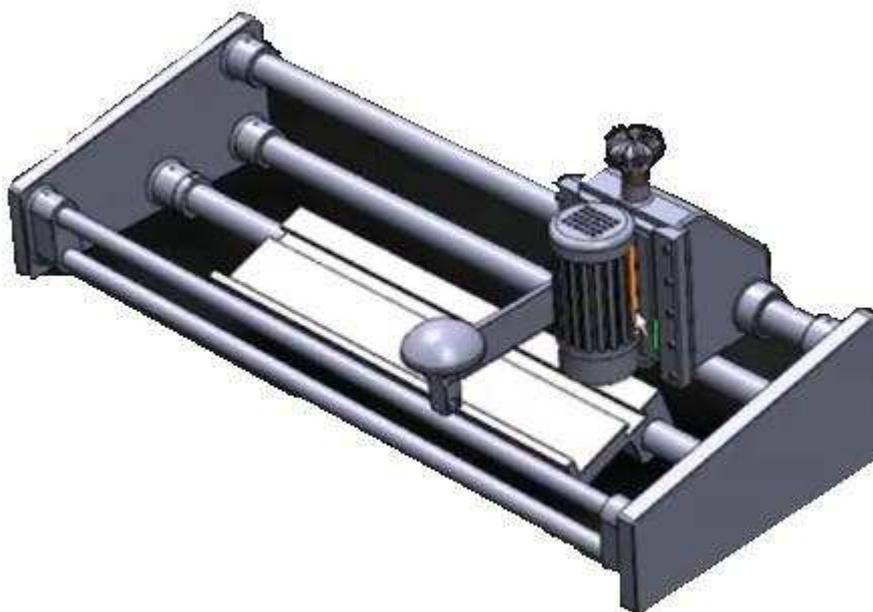
#### **3.6.1 ALTERNATIVA 1: AVANCE DE CORTE LO REALIZA LA MUELA**

El cuerpo afilador consiste en un disco abrasivo que está montado en el motor de propulsión. Dicho motor está sujeto en un soporte, este soporte está montado sobre

ejes-guías para dar el movimiento de avance a la muela. Este movimiento es ajustado manualmente. La sujeción de la cuchilla a la cama es por fijadores mecánicos. El ángulo de afilado de la cuchilla es por medio de un volante lateral con el cual podemos lograr dar el ángulo de afilado requerido. La posición de la salida del disco abrasivo hacia la cuchilla es realizada por un sistema cola de milano. Durante el afilado la bomba de refrigeración hace circular el refrigerante por toda la máquina incluyendo la cuchilla.

#### Afilado:

Al sujetar la cuchilla en la cama hay que elegir el ángulo deseado del filo. Bajando el disco abrasivo (mediante el sistema cola de milano que va en el soporte del motor) se entra a la posición de salida cuando el disco toca ligeramente la superficie de la cuchilla. En este momento hay que prender el motor del disco a dar el avance de afilado hasta lograr el filo adecuado. En la figura 3.1 se muestra un esquema de la primera alternativa.



**Figura 3.1** Esquema general alternativa 1

**Fuente:** Propia

### 3.6.1.1 Ventajas

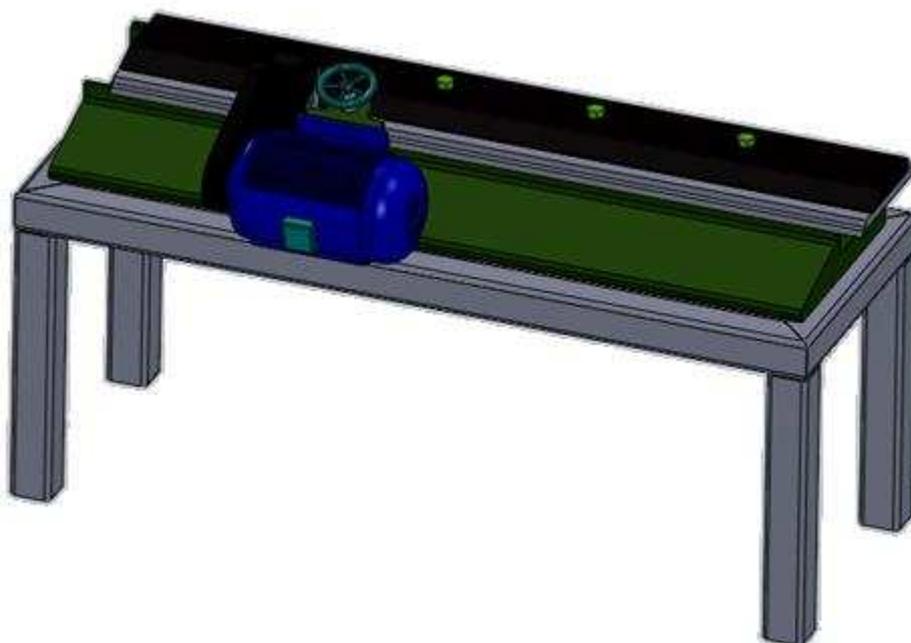
- Facilidad de operación.
- Fácil montaje del equipo.
- Fácil montaje y desmontaje de la herramienta a afilar.
- Buena rigidez.
- Versatilidad del equipo.
- Facilidad de lubricación en los elementos de rozamiento.
- Menor número de elementos a fabricar.
- Alta fiabilidad por tener buena resistencia mecánica.
- Abaratamiento de fabricación, pero sin limitar los gastos de fabricación de las piezas que son claves para la vida útil y fiabilidad de la máquina.
- Ahorro de espacio físico donde se instale la máquina.
- Desplazamiento del portamuela es manual.

### 3.6.1.2 Desventajas

- Lubricación continua de los elementos que están en rozamiento.
- Peso del motor.
- Ejes guías de longitud considerable (máx. 1.5 [m]).

## 3.6.2 ALTERNATIVA 2: AVANCE DE CORTE ES REALIZADO POR LA HERRAMIENTA

Esta alternativa consiste en que el cuerpo afilador permanece estático y el movimiento para la operación de afilado lo realiza la herramienta. La pieza va sujeta a una mesa, ésta mesa está soportada por guías de deslizamiento en el bastidor con forma de caja. En la parte posterior se levanta un montante que lleva el cabezal para la muela de copa. Dicho cabezal portamuela es graduable para poder obtener el ángulo de filo adecuado. La carrera de la mesa es determinada por dos topes regulables. La figura 3.2 muestra un esquema general de la segunda alternativa.



**Figura 3.2** Esquema general alternativa 2

**Fuente:** Propia

### 3.6.2.1 Ventajas

- Uso de muela tipo disco, por lo que se facilita el afilado del disco abrasivo.
- Movimiento alternativo de ida y vuelta de la mesa.
- Acercamiento rápido del carro portamuela.
- Por ser un sistema industrializado, los resultados de operación son los adecuados.
- Puede servir para otras operaciones de esmerilado ya que en la mesa portapiezas se pueden colocar diferentes piezas.
- Para su funcionamiento no es necesario la mano de obra especializada.

### 3.6.2.2 Desventajas

- Ocupa mayor espacio físico puesto que la mesa portapiezas es la que se desplaza.
- Mayores gastos de fabricación por los aspectos tecnológicos que conllevan fabricar guías paralelas de desplazamiento.

- El desplazamiento de la mesa debe ser accionado por un mecanismo hidráulico o automático.
- Mayor peso del equipo.
- Pérdida significativa de rigidez de la máquina.
- Montaje del equipo es mucho más complicado puesto que hay la necesidad de elegir y ajustar las piezas durante el montaje.
- Mayor tiempo de proceso.

### **3.6.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA**

#### **3.6.3.1 Evaluación**

Para la selección de una de las dos alternativas mencionadas se debe tomar en cuenta factores decisivos que influyen directamente a la construcción final del prototipo los cuales se describen a continuación:

##### **3.6.3.1.1 Costos**

El factor económico desempeña un papel primordial en el diseño. Los pormenores de la construcción no deben cubrir el objetivo fundamental del diseñado, es decir, el aumento del efecto económica de la máquina.

Se debe tender al abaratamiento de fabricación, pero no limitar los gastos de fabricación en elementos que son claves para el correcto funcionamiento del equipo.

Tendiendo al abaratamiento de la construcción de la máquina lo que se obtiene es una economía en una sola dirección, esto es, obtener un prototipo barato pero con una disminución del rendimiento económico futuro de la misma.

Para la fabricación se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- Costo de herramientas y maquinas herramientas.- Son todos los gastos que se deben realizar en cuanto al alquiler de herramientas y maquinas herramientas para la construcción y montaje del prototipo.
- Costos de material y elementos normalizados.- Son todos los gastos a realizar por la compra de material y elementos normalizados necesarios para

la construcción y montaje del prototipo. Son de mucha importancia por ser el eje central de un buen diseño.

- Costos de mano de obra.- Son los gastos realizados por mano de obra en la construcción y montaje del prototipo.

#### **3.6.3.1.2 Facilidad de construcción y Montaje**

Para facilitar la construcción y montaje de la máquina hay que considerar los siguientes aspectos:

- La unificación.- Consiste en el empleo reiterado de unos mismos elementos en la construcción, cosa que contribuye a reducir la nomenclatura de las piezas y obviamente a disminuir los costos de fabricación, a simplificar la explotación y mantenimiento de la máquina.

La unificación de los elementos constructivos permite reducir la nomenclatura de las herramientas para trabajar dichos elementos, de los instrumentos de medir y de los útiles de montaje.

- La normalización.- Es de suma importancia porque es la reglamentación de la construcción y las dimensiones tipo de las piezas de la máquina, lo cual facilita ampliamente la construcción y montaje.

#### **3.6.3.1.3 Facilidad de manejo**

La persona que maneje este prototipo no necesita mayor conocimiento tecnológico por lo que puede ser manejado por cualquier persona.

#### **3.6.3.1.4 Capacidad de operación**

La máquina debe ser construida de acuerdo a las exigencias de la industria y con una capacidad de producción adecuada.

#### **3.6.3.1.5 Mantenimiento**

El mantenimiento es también un factor a tomar en cuenta en vista que influye en el buen funcionamiento de la máquina. Con el tiempo los elementos y accesorios se

desgastan por lo que hay que cambiarlos, así que debe haber facilidad para cambiarlos de la máquina.

#### **3.6.3.1.6 Peso y volumen metálico**

La disminución del peso de la máquina significa la reducción del consumo de metal, esta disminución máxima del peso de las piezas puede lograrse dando a éstas una resistencia totalmente equivalente. El caso ideal es cuando son iguales las tensiones en cada sección de las piezas según su eje longitudinal y en cada punto de esta sección.

Hay que hacer la restricción de que la disminución del peso de la construcción no es un objetivo propio incondicional. Los gastos en material componen en general una parte insignificante de la suma de los gastos durante todo el tiempo de explotación de la máquina, cuya magnitud depende fundamentalmente de la fiabilidad y de la vida útil de ésta. Si la disminución del peso está vinculada con el peligro de que baje la resistencia mecánica, la rigidez, y la fiabilidad de la máquina, entonces suele ser racional, particularmente, en la construcción de maquinaria general, que se contenga la tendencia a disminuir el peso.

#### **3.6.3.2 Sistema de Calificación**

Para la selección de la alternativa más adecuada que cumpla con los objetivos y requisitos de la máquina a diseñar, se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados<sup>10</sup>.

Este método se basa en la confrontación de criterios entre las alternativas, ponderándolos de la siguiente manera:

- 1 si el criterio de las filas es superior al de las columnas.
- 0,5 si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas.
- 0 si el criterio de las filas es inferior al de las columnas.

---

<sup>10</sup> Diseño Concurrente, Carles Riba, Pág. 57

A continuación se realiza la correspondiente valoración de cada criterio en relación a los criterios restantes, al cual se añade la unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula).

**Tabla 3.2** Valoración de los parámetros para la selección de la mejor alternativa

Parámetro	Costos	construcción y montaje	manejo	Capacidad de Operación	Mantenimiento	Peso y Volumen metálico	Suma+1	Ponderación [A]
Costos		1	0	0,5	0	0,5	3	0,15
construcción y montaje	0		0	0,5	0	0,5	2	0,1
Manejo	1	1		0,5	1	0	3,5	0,2
Capacidad de operación	0,5	0,5	0,5		1	1	4,5	0,3
Mantenimiento	1	1	0	0		1	4	0,2
Peso y Volumen Metálico	0,5	0,5	1	0	0		3	0,15
							20	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.3** Valoración del parámetro costo

Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación [B]
Alternativa 1		1	2	0,7
Alternativa 2	0		1	0,3
			3	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.4** Valoración parámetro de construcción y montaje

Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación [C]
Alternativa 1		1	2	0,7
Alternativa 2	0		1	0,3
			3	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.5** Valoración parámetro facilidad de manejo

Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación [D]
Alternativa 1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1,5	0,5
			3	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.6** Valoración parámetro capacidad de operación

Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación [E]
Alternativa 1		1	2	0,7
Alternativa 2	0		1	0,3
			3	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.7** Valoración parámetro mantenimiento

Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación [F]
Alternativa 1		0,5	1,5	0,5
Alternativa 2	0,5		1,5	0,5
			3	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.8** Valoración parámetro peso y volumen metálico

Construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación [G]
Alternativa 1		1	2	0,7
Alternativa 2	0		1	0,3
			3	1

Fuente: Propia

**Tabla 3.9** Conclusión de la alternativa más óptima

Conclusión	Costos [A*B]	construcción y montaje [A*C]	manejo [A*D]	Capacidad de Operación [A*E]	Mantenimiento [A*F]	Peso y Volumen metálico [A*G]	Suma	Prioridad
Alternativa1	0,105	0,07	0,1	0,21	0,1	0,105	0,69	1
Altenativa2	0,045	0,03	0,1	0,09	0,1	0,045	0,41	2

Fuente: Propia

Una vez finalizado el análisis de las ventajas y desventajas de las dos alternativas propuestas se llegó a la conclusión que la alternativa 2 obtuvo un mayor puntaje al culminar con todos los pasos previos al método ordinal corregido de criterios ponderados.

Se diseñara y construirá una máquina afiladora de cuchillas planas de hasta un metro de longitud cuyo principio es obtener altos factores de productividad, explotación y que dé a la empresa un aumento del efecto económico.

### 3.7 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Una vez que se haya finalizado la construcción de la máquina es necesario realizar pruebas que aseguren su buen funcionamiento y que cumpla satisfactoriamente con los parámetros y especificaciones de diseño.

Los principales aspectos constitutivos del protocolo de pruebas están conformados por los siguientes documentos:

#### 3.7.1 DATOS DE LA EMPRESA

En este documento deben constar los aspectos principales de la empresa que necesita este prototipo.

### **3.7.2 CONTROL DE DIMENSIONES**

Una vez ensamblada la máquina afiladora de cuchillas planas, se debe comparar las dimensiones establecidas en el diseño, tales como altura, longitud, tamaño, peso.

### **3.7.3 VERIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES**

Se debe verificar los componentes principales que por su importancia deben ser primero verificados antes de poner en marcha la máquina tales como, motor eléctrico, muela, rodamientos, chumaceras.

### **3.7.4 TRABAJO SIN CARGA**

Se verifica que la máquina funcione correctamente sin carga, se verifica que todos sus componentes funcionen bien y que sigan su secuencia de acuerdo al diseño de la máquina.

### **3.7.5 TRABAJO CON CARGA**

En esta prueba se verifica la capacidad de funcionamiento de todos los componentes de la máquina cuando ésta trabaja con carga. Se verifica el afilado de la cuchilla, así como su capacidad de trabajo por día.

El formato de protocolo de pruebas se lo detalla en el ANEXO A

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL PROTOTIPO**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se realiza el diseño de cada uno de los elementos constitutivos de la máquina afiladora, se toma en consideración los parámetros requeridos por la empresa que solicita esta máquina así como también que la máquina dé su mayor fiabilidad de operación. Los elementos normalizados se escogerán de acuerdo al trabajo que realicen y con los cálculos debidamente respaldados.

En el diseño de cada uno de los elementos se debe asegurar la resistencia mecánica por medio de procedimientos que no exijan aumentar el peso (dando a las piezas formas racionales con la mejor utilización del material, empleo de materiales de resistencia elevada, etc.); prestando particular atención al aumento de la resistencia mecánica cíclica de las piezas; dando a las piezas formas racionales de resistencia a la fatiga y eliminando la concentración de tensiones.

#### **4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AFILADO**

##### **4.2.1 SELECCIÓN DE LA MUELA ABRASIVA**

Para comenzar con el proceso de diseño es necesario realizar la selección de la muela adecuada para trabajar. La muela a elegirse debe poseer las características adecuadas para que la herramienta no sufra desperfectos en su composición y que la muela abrasiva no se desgaste rápidamente.

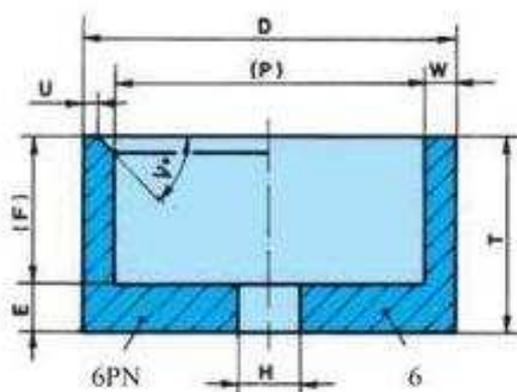
En la tabla (4.1) se muestra los diferentes campos de aplicación de las muelas para el afilado de herramientas.

**Tabla 4.1** Selección de muelas abrasivas para afilado de herramientas

Campo de aplicación	Recomendaciones				
	Tipo de abrasivo	Granulación	Dureza	Estructura	Aglomerante
Aceros para herramientas	2A,4A	46-60	J-K	6 - 7	V
		70-80	I-K	8	V
Aceros rápidos	2A,4A 8A	46-60	J-K	6 - 7	V
		70-80		8	V
Fresadoras (muelas de forma 3)	2A, 42A	46-60	J-K	7	V
Cuchillas cortadoras y cepilladoras de aceros rápidos (formas 2,6)	2A, 42A	46-60	I-K	7	V
Fresas para la elaboración de la madera, de aceros rápidos (forma 12)	2A	54-80	I-K	7	V

Fuente: [www.swaty.com.si](http://www.swaty.com.si)

El tipo de muela que se va utilizar es del tipo de vaso o copa (figura 4.1), este tipo de muelas están bajo la forma ISO 525-6. Este tipo de muela son idoneas para el afilado a máquina de herramientas de acero HSS de todo tipo así como también las herramientas de corte de metal duro.



**Figura 4.1** Muela tipo vaso o copa

Fuente: [www.swaty.com.si](http://www.swaty.com.si)

La tabla (4.2) muestra las dimensiones comunes para este tipo de muelas abrasivas.

**Tabla 4.2** dimensiones normales muelas de la forma ISO 6 en mm

D	T	W	E	P	H
40	25	4	6	32	13,16,20,25
50	32	5	8	40	13,16,20,25,30
63	40	5	8	53	16,20,25,30
75	40	6	10	63	16,20,25,30
80	40	6	10	68	16,20,25,30,35,40
100	50	8	10	84	16,20,25,30,35,40,50,60
125	63	8	13	109	16,20,25,30,32,35,40,50,60
150	80	10	16	130	16,20,25,30,32,35,40,50,60,75,85

Fuente: [www.swaty.com.si](http://www.swaty.com.si)

Debido a los requerimientos de diseño el tipo de muela que se escoge según la tabla 4.2 es la de 125 mm de diámetro exterior.

En el ANEXO B se indica la designación de las formas de las herramientas abrasivas (ISO 525) sus formas básicas y sus limitaciones.

#### 4.2.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Para la selección del motor es necesario estimar los requerimientos de potencia mediante las fuerzas que intervienen en el sistema de afilado.

Primero se calcula la rapidez de remoción del material (RRM) de acuerdo a la ecuación (1.6) como sigue:

$$RRM = d \cdot a \cdot v$$

Donde:

$d$ = Profundidad de corte. La cual de acuerdo a la tabla (1.3) es igual a 0.03 [mm].

$a$ = Ancho de corte. Por la tabla (4.2) es igual a 8[mm]

$v$ = Velocidad de avance de la pieza. De acuerdo a la tabla (1.2) se escoge 12 [m/min].

$$RRM = 0.03 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-3} \times 12 = 2.88 * 10^{-6} \left[ m^3 / min \right]$$

La potencia consumida de acuerdo a la ecuación (1.5) es:

$$P_c = u * RRM$$

Donde:

$u$ = Energía específica, obtenida de la tabla (1.6). La cual se escoge de 50 [W\*s/mm<sup>3</sup>]

$$P_c = 24 \left[ \frac{W * s}{mm^3} \right] \times \frac{1mm^3}{1 \times 10^{-9}m^3} \times \frac{1min}{60s} 2.88 \times 10^{-6} \left[ m^3 / min \right] = 1152[W]$$

Tomando en cuenta que 1[hp] es igual a 745.7 [W]<sup>11</sup>, se tiene:

$$P_c = 1.5 [hp]$$

La potencia necesaria del motor eléctrico de la unidad de la muela abrasiva es igual a la potencia consumida debido a que la muela abrasiva se conecta directamente al eje de salida de potencia del motor eléctrico.

$$n = \frac{P_r}{P_c} \tag{4.1}$$

$$P_r = 1 [hp]$$

El par producido se calcula de la ecuación [1.4]:

$$P = T \times \omega$$

$$T = \frac{P}{W} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot N}$$

---

<sup>11</sup> Yanus , Cengel; Termodinámica, Quinta Edición, Ed.McGraw Hill, México, 2007

Teniendo en cuenta que  $1 \text{ hp} = 396000 \text{ pulg} \cdot \text{lb} / \text{min}$  se tiene:

$$T = \frac{1,5 \times 369000}{2 \times \pi \times 3000} = 31,51 [\text{lb} \cdot \text{pulg}]$$

### 4.2.3 SELECCIÓN DEL MOTOR

Se selecciona un motor con las siguientes características técnicas (ver ANEXO C):

Potencia: 1 [hp]

Velocidad: 3600 [rpm]

Voltaje: 220-440 [V]

Frecuencia: 60 [Hz]

Número de fases. Trifásico

### 4.2.4 DISEÑO DE LOS EJES GUÍAS

Los ejes guías son los que soportan al cabezal porta muela, el cual se debe desplazar libremente por estos ejes.

Para el diseño de los ejes se realiza a través de diseño estático debido a que no transmiten ningún tipo de movimiento o carga.

#### 4.2.4.1 DISEÑO DEL EJE GUÍA 1

Se considera que en este eje descansa la mitad del peso del cabezal porta muela. El eje está apoyado por dos soportes a los extremos (figura 4.2). Para empezar con el dimensionamiento del eje se conoce que la flexión máxima está en el centro del mismo.



**Figura 4.2** Disposición de los ejes guías

Fuente: Propia

De acuerdo a la figura 4.2 el eje está sometido a las siguientes fuerzas:

$F_{2y}$ : Fuerza de rozamiento

$W$ : Peso del cabezal porta muela.

$R_{Az}$ : Reacción en el apoyo A en el eje z.

$R_{Bz}$ : Reacción en el apoyo B en el eje z.

La carga debido al motor es de 11.4 [kg].

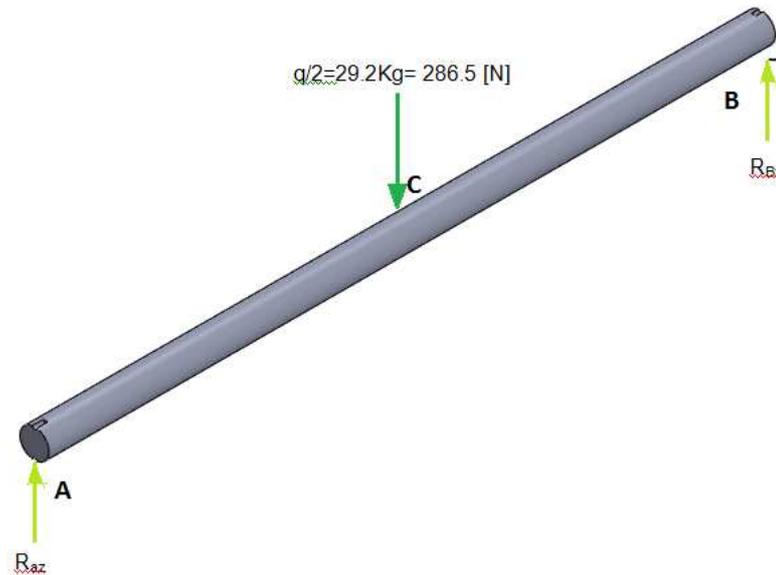
La carga correspondiente a la piedra abrasiva es de 2 [Kg]

La carga correspondiente debido al sistema de cola de milano es 45[kg].

La carga total que soportan los ejes es de  $q = 58.4$  [Kg] y se considera aplicada en el centro de la misma.

La fuerza de rozamiento es insignificante por lo que no interviene en los cálculos de diseño de los ejes.

En la figura 4.3 se indica el diagrama de cuerpo libre del eje 1



**Figura 4.3** Diagrama de cuerpo libre del eje 1

**Fuente:** Propia

Del diagrama del cuerpo libre de la figura 4.3 se determinan las magnitudes de las reacciones en los apoyos.

$$\sum F_z = 0$$

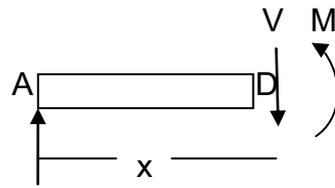
$$R_{az} + R_{Bz} = q$$

$$2R_{az} = q$$

$$R_{az} = \frac{q}{2}$$

$$R_{bz} = \frac{q}{2} = \frac{286.5}{2} = 143.3 [N]$$

A continuación se calcula el momento cortante y flector, para este cálculo se corta el eje en un punto D entre A y C



$$R_{Az} = \frac{1}{2} * q$$

**Figura 4.4** Diagrama de cortante y Momento Flector del eje 1

Fuente: Propia

$$\sum F_z = 0$$

$$V = \frac{1}{2} q = 143.3 \text{ [N]}$$

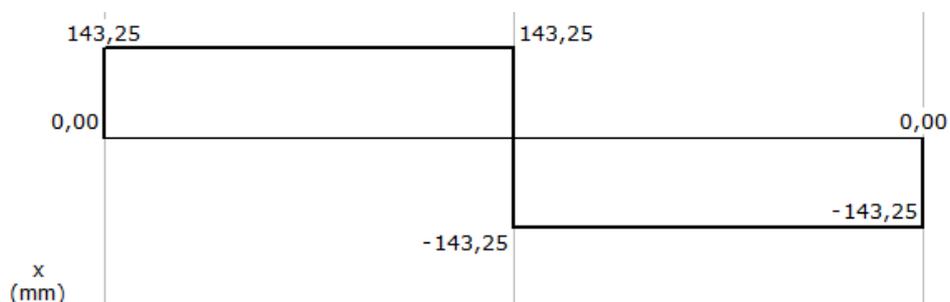
$$\sum M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} * q * x \tag{4.1}$$

El mayor momento flector se encuentra en  $x=L/2$ , reemplazando este valor en la ecuación 4.1 se tiene:

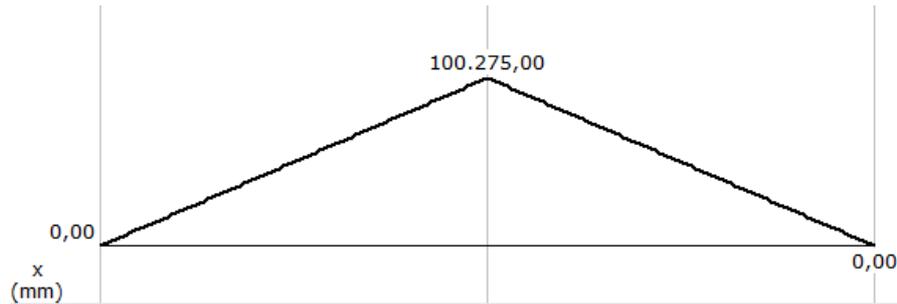
$$M = \frac{1}{2} * 286.5 * \frac{1.4}{2} = 100.28 \text{ [N * m]}$$

A continuación se representa el diagrama de fuerzas cortantes (Figura 4.5) y de momento flector (Figura 4.6) a lo largo del eje.



**Figura 4.5** Diagrama de fuerza cortante del eje 1

Fuente: Propia



**Figura 4.6** Diagrama de momento flector del eje 1

**Fuente:** Propia

Para el diseño estático se considera como material el acero A-36 donde:

$$S_y = 250 \text{ [Mpa]}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la fluencia

$n$ : Factor de seguridad

$\sigma$ : Esfuerzo Máximo

Se considera un factor de seguridad de 10 por recomendaciones en experiencias profesionales.

$$\sigma = \frac{S_y}{n} \tag{4.2}$$

$$\sigma = \frac{250}{10} = 25 \text{ [Mpa]}$$

Se obtiene:

$$\sigma = \frac{32 * M}{\pi * d^3} \tag{4.3}$$

$$25 = \frac{32 * 100.28}{\pi * d^3}$$

Despejando d se obtiene al diámetro adecuado para el eje 1

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 100.28}{\pi * 25 * 10^6}}$$

$$d = 35 [mm]$$

#### 4.2.4.2 DISEÑO DEL EJE GUÍA 2

Se considera que en este eje descansa la mitad restante del peso del cabezal porta muela. El eje está apoyado por dos soportes a los extremos del mismo (figura 4.2). Para empezar con el cálculo del eje se conoce que la flexión máxima está en el centro del eje guía.

El eje está sometido a las siguientes fuerzas:

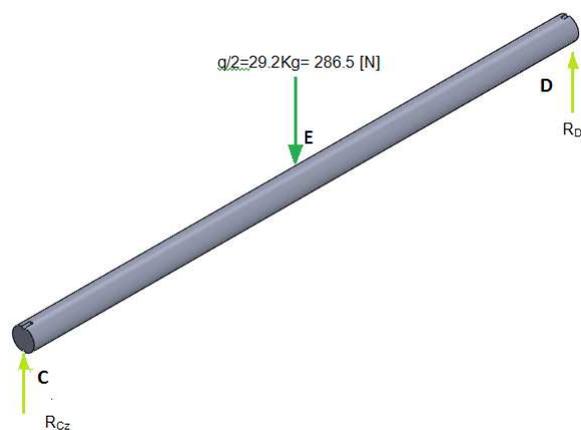
$F_{3y}$ : Fuerza de rozamiento (despreciable).

$W$ : Peso del cabezal porta muela.

$R_{Cz}$ : Reacción en el apoyo C en el eje z.

$R_{Dz}$ : Reacción en el apoyo D en el eje z.

En la figura 4.7 se indica el diagrama de cuerpo libre del eje 2



**Figura 4.7** Diagrama de cuerpo libre del eje 2

Fuente: Propia

Del diagrama del cuerpo libre de la figura 4.7 se determinan las magnitudes de las reacciones en los apoyos.

$$\sum F_z = 0$$

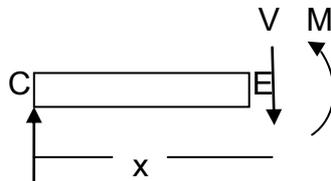
$$R_{Cz} + R_{Dz} = q$$

$$2R_{Cz} = q$$

$$R_{Cz} = \frac{q}{2}$$

$$R_{Cz} = \frac{q}{2} = \frac{286.5}{2} = 143.3 \text{ [N]}$$

A continuación se calcula el momento cortante y flector, para este cálculo se corta el eje en un punto E entre C y D



$$R_{Az} = \frac{1}{2}q$$

**Figura 4.8** Diagrama de cortante y Momento Flector

Fuente: Propia

$$\sum F_z = 0$$

$$V = \frac{1}{2}q = 143.3 \text{ [N]}$$

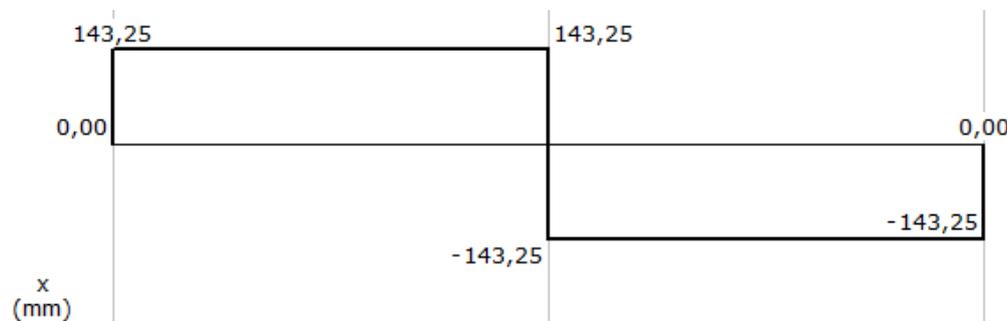
$$\sum M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} * q * x$$

El mayor momento flector se encuentra en  $x=L/2$  reemplazando este valor en la ecuación 4.1 se tiene:

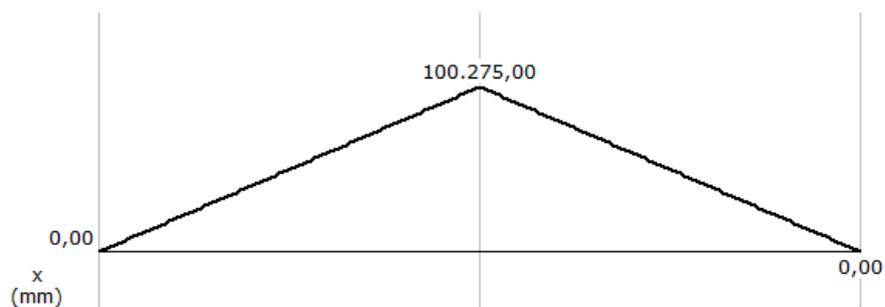
$$M = \frac{1}{2} * 286.5 * \frac{1.4}{2} = 100.28 [N * m]$$

A continuación se representa el diagrama de fuerzas cortantes (Figura 4.9) y de momento flector (Figura 4.10) a lo largo del eje.



**Figura 4.9** Diagrama de fuerza cortante del eje 2

Fuente: Propia



**Figura 4.10** Diagrama de momento flector del eje 2

Fuente: Propia

Para el diseño estático se considera como material el acero A-36 donde:

$$S_y = 250 [Mpa]$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la fluencia

$n$ : Factor de seguridad

$\sigma$ : Esfuerzo Máximo

Se considera un factor de seguridad de 10 por recomendaciones en experiencias profesionales.

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma = \frac{250}{10} = 25 \text{ [Mpa]}$$

Se obtiene:

$$\sigma = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3}$$

$$25 = \frac{32 \times 136.1}{\pi \times d^3}$$

Despejando  $d$  se obtiene al diámetro adecuado para el eje 2

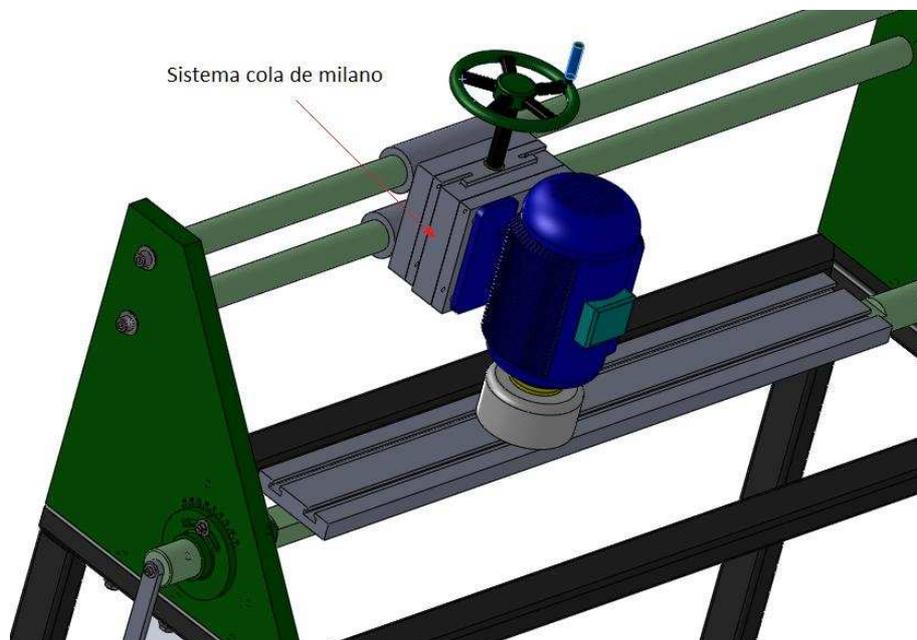
$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 100.28}{\pi \times 25 \times 10^6}}$$

$$d = 35 \text{ [mm]}$$

#### 4.2.5 DISEÑO DEL SISTEMA COLA DE MILANO

El sistema cola de milano consiste en la fijación de dos piezas metálicas entre sí, no por soldadura sino por calce. Una unión en cola de milano, es una forma de unión mecánica, en la cual ambas piezas tienen un resalte en forma de trapecio o también recto, en un lado está el macho y en otro lado está el hembra, de modo que ambas

piezas se deslizan y se fijan. La corredera permite que se desplace el macho logrando dar la profundidad de corte de la muela. El movimiento se lo trasmite por medio de un tornillo de potencia (figura4.11).



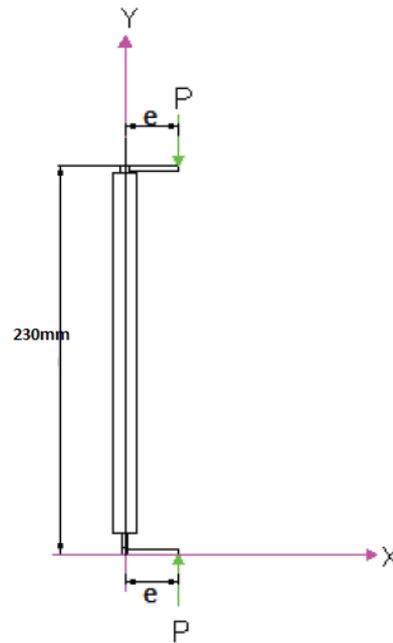
**Figura 4.11** Esquema cola de milano

**Fuente:** Propia

#### 4.2.5.1 DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA

El tornillo de potencia es uno de los elementos más importantes dentro de este sistema, puesto que de éste depende que la profundidad de corte se desplace con normalidad. Dentro del diseño se analiza la resistencia estática y dinámica del tornillo (figura 4.12).

Para el diseño del tornillo de potencia se usa como material un acero AISI 1045 debido a que el tornillo no tendrá que elevar grandes cargas y considerando recomendaciones emitidas por catálogos de aceros. El elemento que se conjuga al tornillo, la tuerca, se la fabricará de bronce fosfórico o también llamado bronce SAE 65 debido a recomendaciones dadas para aplicaciones como ésta.



**Figura 4.12** Diagrama del cuerpo libre del tornillo de potencia

**Fuente:** Propia

Las dimensiones consideradas para la fabricación del tornillo de potencia son las siguientes:

Diámetro exterior: 16 [mm]

Paso: 2 [mm]

Con estos datos se proceden a realizar los siguientes cálculos:

Diámetro medio:

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad (4.4)$$

Donde:

$d_m$ : Diámetro medio [m]

$d$ : Diámetro exterior del tornillo= 0.016 [m]

$p$ : Paso = 0.002 [m]

Reemplazando los valores en la ecuación (4.4) se tiene:

$$d_m = 0.016 - \frac{0.002}{2}$$

$$d_m = 0.015 \text{ [m]}$$

Diámetro menor:

$$d_r = d - p \tag{4.5}$$

Donde:

$d_r$ : Diámetro menor [m]

$d$ : Diámetro exterior del tornillo = 0.016 [m]

$p$ : Paso = 0.002 [m]

Se reemplazan los datos en la ecuación (4.5):

$$d_r = 0.016 - 0.002$$

$$d_r = 0.014 \text{ [m]}$$

Avance:

$$l = n \times p \tag{4.6}$$

Donde:

$l$ : Avance [mm]

$n$ : Número de entradas = 1

$p$ : Paso = 0.002 [m]

Reemplazando los datos en la ecuación (4.6) se tiene:

$$l = 1 * 0,002$$

$$l = 2 \text{ [mm]}$$

#### 4.2.5.1.1 Cálculo del torque para subir la herramienta (muela abrasiva)

Para poder desplazar hacia arriba a la muela abrasiva se necesita vencer el rozamiento en la rosca, mediante la ecuación:

$$T_s = \frac{F \times d_m}{2} \times \frac{(\mu \times \pi \times d_m + l)}{(\pi \times d_m - \mu \times l)} \quad (4.7)$$

Donde:

$T_s$ : Torque de subida

$F$ : Peso de la estructura a subir

$d_m$ : Diámetro medio del tornillo de potencia

$\mu$ : Coeficiente de rozamiento entre el material del tornillo y la tuerca = 0.08

$l$ : Avance

La carga a levantar es el peso del motor más el peso de la muela abrasiva.

$F = \text{peso del motor} + \text{peso del abrasivo}$

$$F = 8.4 + 5 = 13.4 * 9.8 = 131.32 [N]$$

Reemplazando los datos en la ecuación (4.7) se obtiene el torque de subida:

$$T_s = \frac{131.32 \times 0.015}{2} \times \frac{0.08 \times \pi \times 0.015 + 0.002}{\pi \times 0.015 - 0.08 \times 0.002}$$

$$T_s = 0.12 [N.m]$$

#### 4.2.5.1.2 Cálculo del torque necesario para bajar la herramienta (muela abrasiva)

El torque requerido para poder hacer descender la carga viene dado por la siguiente ecuación:

$$T_b = \frac{F \cdot d_m}{2} \times 1 \frac{(\mu \cdot \pi \cdot d_m - l)}{(\pi \cdot d_m + \mu \cdot l)} \quad (4.8)$$

Donde:

$T_b$ : Torque necesario para vencer la fricción de bajada

$F$ : Peso de la estructura a bajar = 131.32 [N]

$d_m$ : Diámetro medio del tornillo de potencia = 0.0225 [m]

$\mu$ : Coeficiente de rozamiento entre el material del tornillo y la tuerca = 0.08

$l$ : Avance = 0.003 [m]

Reemplazando los datos en la ecuación (4.8) se tiene:

$$T_b = \frac{131.32 \times 0.015}{2} \times \frac{0.08 \times \pi \times 0.015 - 0.002}{\pi \times 0.015 + 0.08 \times 0.002}$$

$$T_b = 0.036 \text{ [N.m]}$$

#### 4.2.5.1.3 Cálculo del Autoseguro

Este cálculo es de importancia puesto que permite que el tornillo no gire sin acción externa:

$$\mu \cdot \pi \cdot d_m > l \quad (4.9)$$

Donde:

$\mu$ : Fricción entre el tornillo de potencia y la tuerca = 0.08

$d_m$ : Diámetro medio del tornillo = 15 [mm]

$l$ : Avance = 2 [mm]

Se reemplazan los datos en la ecuación y se obtiene que:

$$0.08 * \pi * 15 > 2$$

$$3.76 > 2$$

Con lo que se llega a la conclusión que el tornillo es auto bloqueante.

#### 4.2.5.1.4 Diseño Estático

Para el diseño estático es necesario considerar los esfuerzos a corte y compresión.

##### 4.2.5.1.4.1 Diseño a Corte

Para el diseño a corte en los tornillos de potencia se considera el esfuerzo cortante medio, el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{2.F}{\pi.d_r.h} \quad (4.10)$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo de corte ( $N/m^2$ )

F: Peso de la estructura (N) = 131.32 [N]

$d_r$ : Diámetro menor del tornillo de potencia (m) = 0.014 [m]

h: altura de la tuerca (m).

Se considera que la altura de la tuerca a construir es de 0.170 (m).

Los datos se reemplazan en la ecuación (4.10):

$$\tau = \frac{2 * 131.32}{\pi * 0.014 * 0.170}$$

$$\tau = 35126.42 \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

Para calcular el factor de diseño producido por el esfuerzo de corte se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Ssy}{\tau} = \frac{0,577 * Sy}{\tau} \quad (4.11)$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia ( $\text{N/m}^2$ ) =  $340 \times 10^6$  ( $\text{N/m}^2$ )

$\tau$ : Esfuerzo de corte ( $\text{N/m}^2$ ) =  $35126.42$  ( $\text{N/m}^2$ )

Reemplazando los datos en la ecuación (4.11) se obtiene el factor de diseño:

$$n = \frac{0,577 * 340 * 10^6}{132699,85}$$

$$n = 1478,37$$

Con los datos obtenidos se concluye que el diseño del perno está sobredimensionado y se asegura que no va a fallar.

#### 4.2.5.1.4.2 Diseño a Compresión.

En el diseño a compresión se considera el esfuerzo a compresión medio representado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{(-)} = \frac{F}{A} \quad (4.12)$$

$$\sigma_{(-)} = \frac{4 * p * F}{\pi * (d^2 - d_r^2) * h} \quad (4.13)$$

Donde:

$\sigma_{(-)}$ : Esfuerzo a compresión medio ( $\text{N/m}^2$ ).

$p$ : Paso del tornillo (m) =  $0.002$  [m]

$F$ : Peso de la estructura (N) =  $131.32$  [N]

$d$ : Diámetro del tornillo (m) =  $0.016$  [m]

$d_r$ : Diámetro menor (m) =  $0.014$  [m]

$h$ : Altura de la tuerca (m) =  $0.170$  [m]

Reemplazando los datos en la ecuación (4.13) se tiene:

$$\sigma_{(-)} = \frac{4 \times 0.002 \times 131.32}{\pi \times (0.016^2 - 0.014^2) \times 0.170}$$

$$\sigma_{(-)} = 78221.85 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

El factor de diseño para el esfuerzo de compresión se da por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{(-)}}$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia ( $N/m^2$ ) =  $340 \times 10^6$  ( $N/m^2$ )

$\sigma_{(-)}$ : Esfuerzo de compresión ( $N/m^2$ ) =  $78221.85 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$

Por lo que el factor de seguridad para compresión es:

$$n = \frac{340 \times 10^6}{78221.85}$$

$$n = 4346$$

Los factores de seguridad para el diseño estático son muy elevados lo que indica que el tornillo de potencia está sobredimensionado.

#### 4.2.5.2 DISEÑO DE LA TUERCA

El material con el que se construye la tuerca será de bronce fosfórico o bronce SAE 65 recomendado para este tipo de aplicaciones.

La tuerca posee las siguientes dimensiones:

$d$ : Diámetro [m] = 0.016 [m]

$p$ : Paso [m] = 0.002 [m]

$h$ : Altura de la tuerca (m) = 0.030 [m]

#### 4.2.5.2.1 Diseño Estático

Para el diseño estático de la tuerca se consideran los esfuerzos a corte y compresión.

##### 4.2.5.2.1.1 Diseño a Corte

Para el diseño de la rosca a corte hay que considerar el esfuerzo cortante medio. Este esfuerzo medio viene dado por la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{2 * F}{\pi * d * h} \quad (4.14)$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo de corte [N/m<sup>2</sup>]

$h$ : Altura de la tuerca [m] = 0.030 [m]

$d$ : Diámetro de la tuerca [m] = 0.016 [m]

$F$ : Peso de la estructura [N] = 131.32 [N]

Los datos se reemplazan en la ecuación (4.14) y se tiene:

$$\tau = \frac{2 * 131.32}{\pi * 0.016 * 0.030}$$

$$\tau = 174168.55 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

El factor de diseño para el esfuerzo de corte se da por la ecuación (4.15):

$$n = \frac{Ssy}{\tau} = \frac{0,577 * Sy}{\tau} \quad (4.15)$$

Donde:

$Sy$ : Esfuerzo de fluencia (N/m<sup>2</sup>) = 200x10<sup>6</sup> (N/m<sup>2</sup>)

$\tau$ : Esfuerzo de corte (N/m<sup>2</sup>) = 174168.55 [N/m<sup>2</sup>]

Con la que el factor de seguridad es:

$$n = \frac{0,577 * 200 * 10^6}{174168.55}$$

$$n = 662.5$$

#### 4.2.5.2.1.2 Diseño a Compresión

Para el diseño a compresión de la rosca en la tuerca se considera el esfuerzo a compresión medio representado por la ecuación:

$$\sigma_{(-)} = \frac{F}{A} = \frac{4 * p * F}{\pi * (d^2 - d_r^2) * h} \quad (4.12)$$

Donde:

$\sigma_{(-)}$ : Esfuerzo a compresión medio (N/m<sup>2</sup>).

$p$ : Paso del tornillo (m) = 0.002 [m]

$F$ : Peso de la estructura (N) = 131.32 [N]

$d$ : Diámetro del tornillo (m) = 0.016 [m]

$d_r$ : Diámetro menor (m) = 0.014 [m]

$h$ : Altura de la tuerca (m) = 0.030 [m]

Reemplazando los datos en la ecuación (4.13) se tiene:

$$\sigma_{(-)} = \frac{4 \times 0.002 \times 131.32}{\pi \times (0.016^2 - 0.014^2) \times 0.030}$$

$$\sigma_{(-)} = 185779.79 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

El factor de diseño para el esfuerzo de compresión se da por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{(-)}}$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia ( $N/m^2$ ) =  $200 \times 10^6$  ( $N/m^2$ )

$\sigma_{(-)}$ : Esfuerzo de compresión ( $N/m^2$ ) =  $185779.79 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$

Por lo que el factor de seguridad para compresión es:

$$n = \frac{200 \times 10^6}{185779.79}$$

$$n = 1076$$

Los factores de seguridad para el diseño estático son muy elevados lo que indica que la tuerca está sobredimensionada.

#### **4.2.5.3 SELECCIÓN DE LOS BOCINES**

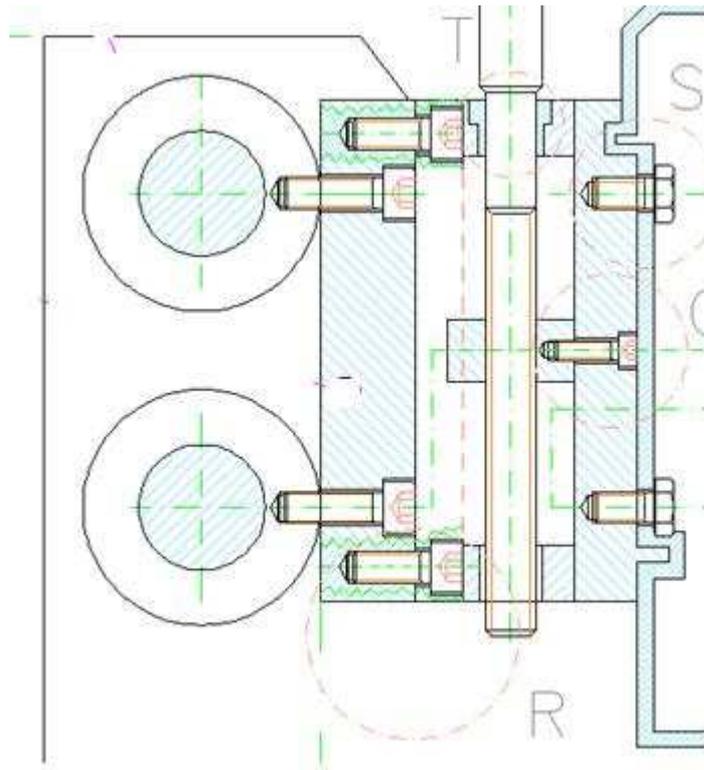
Los bocines tienen la tarea de desplazar al cabezal porta muela el cual va sujeto a los bocines mediante juntas empernadas. Estos bocines se los construirá de bronce fosfórico por sus buenas propiedades de resistencia al desgaste, a pesar de que no trabajan a altas velocidades.

Las condiciones de tolerancias superficiales se las especifica en los planos de montaje.

#### **4.2.5.4 DISEÑO DE JUNTAS EMPERNADAS ESTRE LOS BOCINES Y EL SISTEMA COLA DE MILANO**

La función de estos pernos es unir al cabezal porta muela con los bocines, esta unión permite que el cabezal porta muela se desplace a lo largo de los ejes guías y así lograr el avance longitudinal en el proceso de afilado. Los pernos que se van a utilizar son de acero grado 8.8.

La figura 4.13 se indica la disposición de los pernos entre los bocines y el cabezal porta muela.



**Figura 4.13** Diagrama disposición de los pernos entre los bocines y el cabezal porta-muela

**Fuente:** Propia

Puesto que son dos bocines, la carga que soportaran será la mitad del cabezal porta muela. En cada bocín existen 2 pernos sometidos a corte puro flexión.

La fuerza que actúa sobre los pernos es la siguiente:

$$F_P = \frac{\text{Peso cabezal porta muela}}{2}$$

$$F_P = \frac{572.32}{2} = 286.16[N]$$

La carga de cada perno es:

$$F_u = \frac{F_P}{2} = \frac{286.16}{2} = 143.08 [N]$$

#### 4.2.5.4.1 Diseño a corte puro

Para este tipo de junta se selecciona un perno M12 clase 8.8 el mismo que debe soportar la carga asignada. Entonces las propiedades son las siguientes<sup>12</sup>:

$S_p$ : Resistencia a la prueba: 228 [MPa]

$S_{UT}$ : Resistencia a la Tensión: 413.68[MPa]

$S_y$ : Resistencia a la fluencia 248 [MPa]

$d_p$ : Diámetro nominal del perno 12 [mm.]

$A_t$ : Área del diámetro menor del perno 76.3 [mm.<sup>2</sup>]

Para la falla por cortante puro en el perno, es esfuerzo esta dado por la siguiente ecuación:

$$\tau_r = \frac{F}{A} \quad (4.13)$$

Donde:

$\tau_r$ : Esfuerzo a corte [N/m<sup>2</sup>]

F: Fuerza cortante [N] =143.08 [N]

Los datos se reemplazan en la ecuación (4.13):

$$\tau_r = \frac{143.08}{7.63 \times 10^{-5}} = 1875229.36 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

El factor de seguridad es:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_r}$$

Donde  $S_{sy}$  es la resistencia de fluencia al cortante  $0.5S_y$

---

<sup>12</sup> Shigley J; 2005; Diseño en Ingeniería Mecánica; 6ta edición; pág. 477.

$$n = \frac{0.5 \times 248 \times 10^6}{1875229.36}$$

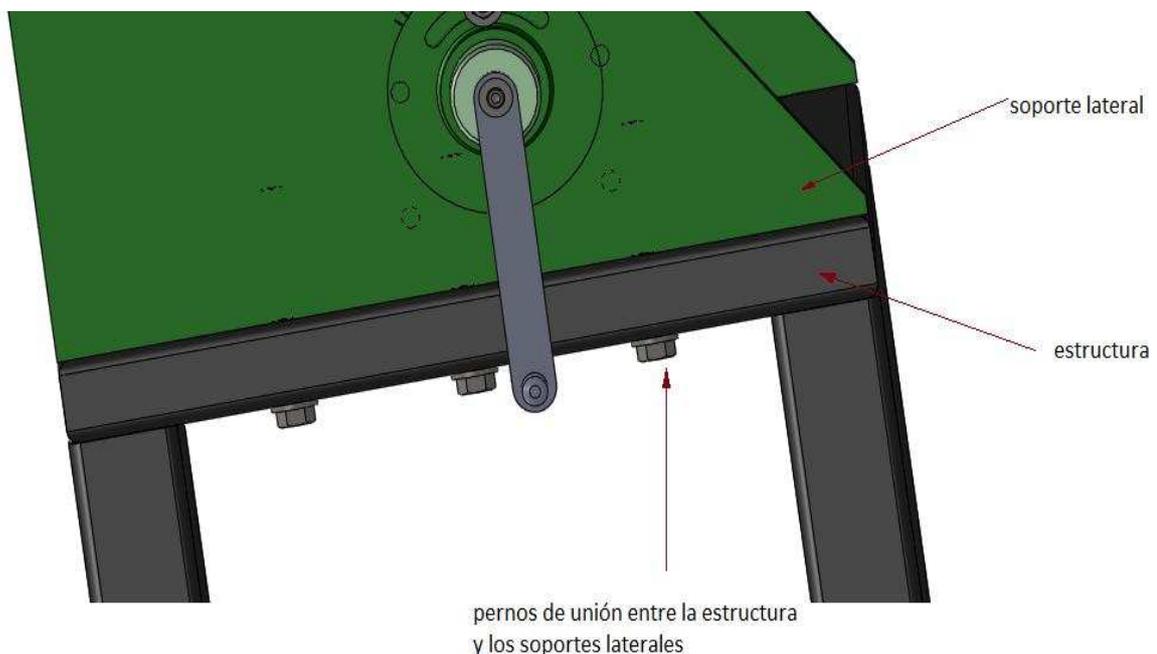
$$n = 66.1$$

#### 4.2.6 SELECCIÓN DE LOS SOPORTES LATERALES

Los soportes laterales son donde se apoyan los ejes guías del carro porta-muela y todo este conjunto está montado sobre la estructura metálica. Debido a que no soportan una carga considerable el espesor que se elige es de 30 mm.

#### 4.2.7 DISEÑO DE PERNOS DE UNIÓN ENTRE LOS SOPORTES Y LA ESTRUCTURA

Para dimensionar los pernos de sujeción, se observa en la figura 4.14 la unión entre el soporte lateral y la estructura metálica.



**Figura 4.14** Pernos de unión entre los soportes laterales y la estructura

Fuente: Propia

Se utiliza pernos UNC  $1/2 \times 1 1/2$  Grado 1 cuyo equivalente métrico es M12; con las siguientes propiedades mecánicas:

Resistencia mínima de prueba:  $S_p = 65$  [Kpsi]

Esfuerzo de fluencia:  $S_y = 100$  [Kpsi]

Esfuerzo de rotura:  $S_{ut} = 115$  [Kpsi]

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = k_e S'_e \quad (4.14)^{13}$$

Donde:

$$k_e = \frac{1}{k_f} = 0.3333^{14}$$

$$S'_e = 19.2 + 0.314 \cdot S_{ut} \quad (4.15)^{15}$$

$$S'_e = 55.31 \text{ [Kpsi]}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (4.14) se tiene:

$$S_e = 18.43 \text{ [Kpsi]}$$

La precarga debido al apriete antes de aplicar  $p$  es:

$$F_i = A_t \times S_{ut} - \frac{C \times n \times P}{2 \times N} \left( \frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right) \quad (4.16)^{16}$$

Donde:

$n$ : Factor de seguridad.

$$A_t: \text{Área de tracción}^{17} \text{ [in}^2\text{]} = 0.182 \text{ [in}^2\text{]}$$

<sup>13</sup> SHIGLEY, J.; Manual de Diseño Mecánico; 205; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 315

<sup>14</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, tabla 8-6 diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 408.

<sup>15</sup> SHIGLEY, J.; Manual de Diseño Mecánico; 205; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 408

<sup>16</sup> SHIGLEY, J.; Manual de Diseño Mecánico; diseño de tornillos, sujetadores y uniones, 2005; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 407

<sup>17</sup> SHIGLEY, J.; Diseño en ingeniería mecánica; 2005; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 456

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia [Kpsi]

$F_i$ : Precarga del perno debido al apriete y que existe antes de aplicar p

C: Constante de carga estática =  $\frac{k_b}{k_b - k_m}$

P: Carga externa sobre la unión del perno.

Se calcula el factor C:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (4.17)^{18}$$

En donde  $k_b$  representa:

$$k_b = \frac{A.E}{l} \quad (4.18)^{19}$$

Donde:

A: Área del perno= 0.196 [pulg<sup>2</sup>]

E: Módulo de elasticidad del perno (acero al carbono)=  $30 \times 10^6$  [psi]

l: Longitud de agarre = 1 [pulg]

Se reemplazan los datos en la ecuación (4.18) y se tiene:

$$k_b = \frac{0,196 \times 30 \times 10^6}{1}$$

$$k_b = 5,89 \times 10^6 [Lb/pulg]$$

$K_m$  representa la rigidez de los elementos a unirse y es:

$$k_m = \frac{\pi.E.d}{2 \ln \left[ 5 \frac{l+0,5d}{l+2,5d} \right]} \quad (4.19)^{20}$$

<sup>18</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 409.

<sup>19</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 409.

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero=  $30 \times 10^6$  [psi]

d: Diámetro del perno= 0,5 [in]

l: Longitud de agarre= 1 [in]

Los datos se reemplazan en la ecuación (4.19) y se tiene que:

$$k_m = \frac{\pi \times 30 \times 10^6 \times 0,5}{2 \ln \left[ 5 \frac{(0,01 + 0,5 \times 0,012)}{(0,01 + 2,5 \times 0,012)} \right]}$$

$$k_m = 23,1 \times 10^6 [Lb/in]$$

Se reemplaza los valores de  $k_b$  y  $k_m$  en la ecuación (4.17) y se obtiene:

$$C = \frac{5,89 \times 10^6}{5,89 \times 10^6 + 23,1 \times 10^6}$$

$$C = 0,203$$

La precarga a aplicar en el perno se debe encontrar entre los siguientes valores:

$$0,6F_p \leq F_i \leq 0,9F_p$$

$F_p$  representa:

$$F_p = A_t \times S_p \tag{4.20}$$

Donde:

$F_p$ : Fuerza de prueba [psi].

$A_t$ : Área de tracción [in<sup>2</sup>]= 0,182[in<sup>2</sup>].

$S_p$ : Resistencia mínima de prueba = 65 [Kpsi]<sup>21</sup>

<sup>20</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 409.

<sup>21</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones, precarga de pernos; 6<sup>ta</sup> edición, pag 403.

Se reemplazan los datos en la ecuación (4.20) y se obtiene:

$$F_p = 11,83[Kpsi]$$

Por lo tanto la precarga a aplicar en el perno debe encontrarse entre los valores:

$$7,1[Kpsi] \leq F_i \leq 10,65[Kpsi]$$

Se utiliza la ecuación (4.16) para un factor de seguridad  $n=3$

$$F_i = A_t \times S_{ut} - \frac{C \times n \times P}{2 \times N} \left( \frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right)$$

Donde:

$F_i$ : Precarga del perno debido al apriete y que existe antes de aplicar  $p$

$A_t$ : Área de tracción [ $in^2$ ]= 0,182[ $in^2$ ]

$S_{ut}$ : Esfuerzo de rotura= 115[Kpsi]

$C$ : Constante de carga estática=0,203

$n$ : Factor de seguridad= 3

$P$ : Carga externa sobre la unión del perno= 19,1 [Kips]

$S_e$ : limite de resistencia a la fatiga= 18, 43 [Kpsi]

$N$ : Número de pernos

Reemplazando los valores en la ecuación (4.16) se tiene que:

$$F_i = 20,93 - \frac{0,203 \times 3 \times 19,1}{2 \times N} \left( \frac{115}{18,43} + 1 \right)$$

$$F_i = 20,93 - \frac{42,1}{N} \tag{4.21}$$

Realizando una iteración de la ecuación (4.22) en la tabla se tiene:

**Tabla 4.3** Iteración del número de pernos necesarios entre los soportes laterales y la estructura

<b>N</b>	<b>Fi</b>
1	-21,67
2	-0,62
3	6,396667
4	9,905
5	12,01

**Fuente:** Propia

En base al resultado obtenido se concluye que se necesitan 4 pernos para la sujeción con una fuerza de:

$$C_p = \frac{P}{N}$$

$$C_p = \frac{19.1}{4}$$

$$C_p = 4.76 \text{ [Kips] por tornillo}$$

Para comprobar la falla estática, se confirma el factor de seguridad correcto:

$$n = \frac{A_t \times S_t - F_i}{C \times P}$$

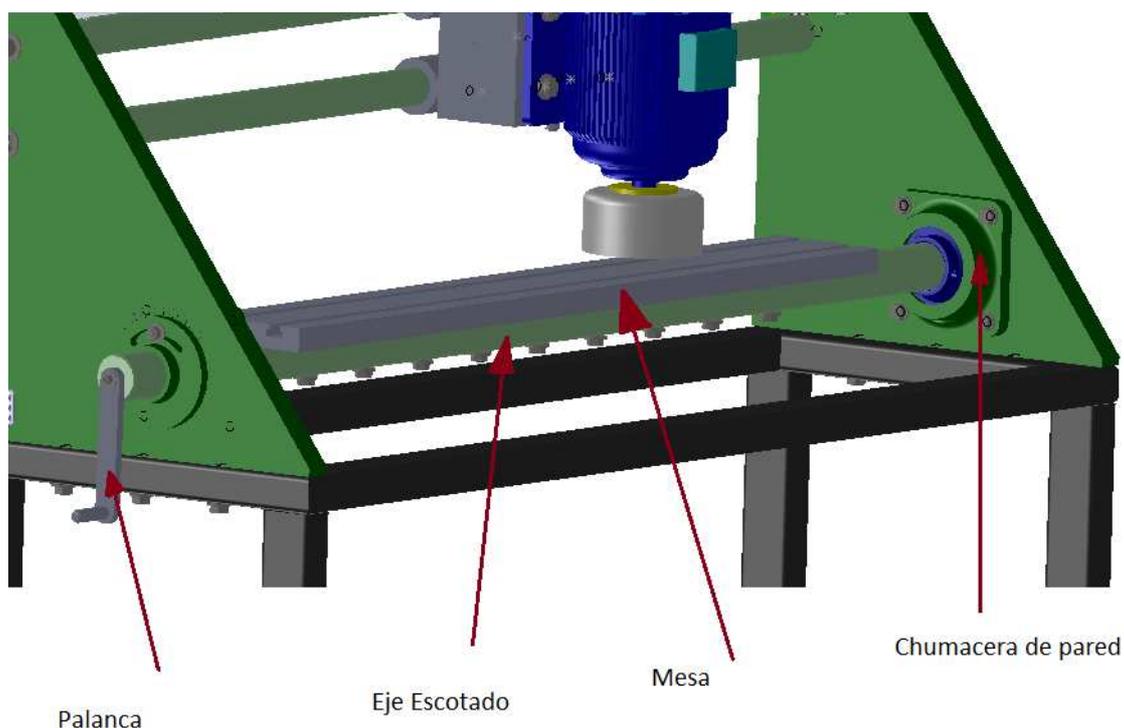
$$n = \frac{0.182 \times 100 - 9.9}{0.203 \times 4.76}$$

$$n = 8.5$$

Entonces se concluye que la utilización de 4 pernos UNC grado 1es una solución satisfactoria para la sujeción por cada soporte lateral a la estructura del prototipo.

### 4.3 DISEÑO DEL SISTEMA PORTA-CUCHILLAS

El porta-cuchillas esencialmente se caracteriza porque se constituye a partir de un eje el cual va montado en los soportes laterales, el eje tiene una escotadura longitudinal en el que va situada una mesa, la mesa se una al eje mediante pernos, que está dotada de bridas para la fijación de las cuchillas. Todo este sistema es regulable en inclinación y fijable en cualquier posición angular (figura 4.15).



**Figura 4.15** Sistema Porta-cuchillas.

Fuente: Propia

#### 4.3.1 DISEÑO DEL EJE ESCOTADO

El eje soporta el peso de la mesa y la fuerza de corte de la piedra abrasiva. La flexión máxima se encuentra en el centro del eje, se realiza un diseño estático debido a que no transmiten ningún tipo de movimiento o carga.

#### 4.3.1.1 Diseño Estático

La carga que soporta el eje escotado es:

$$F_e = F_n + F_{\text{mesa}}$$

Donde:

$F_n$ : Fuerza de empuje de la piedra abrasiva (normal a la superficie)

$F_{\text{mesa}}$ : Carga de la mesa= 392 [N]

Calculando  $F_n$  de la ecuación (1.7):

$$F_n = F_c \cdot 1.3$$

De la ecuación (1.3) se calcula la fuerza de corte  $F_c$ :

$$T = (F_c)(D/2)$$

Donde:

$T$ : Par producido = 31.51 [lb-pulg]

$D$ : Diámetro de la muela = 125 [mm]= 4.92 [pulg]

$F_c$ : Fuerza de corte

$$F_c = \frac{2 \times T}{D}$$

$$F_c = \frac{2 \times 31,51}{4,92} = 12,8 \text{ [lb]}$$

$$F_c = 56,97 \text{ [N]}$$

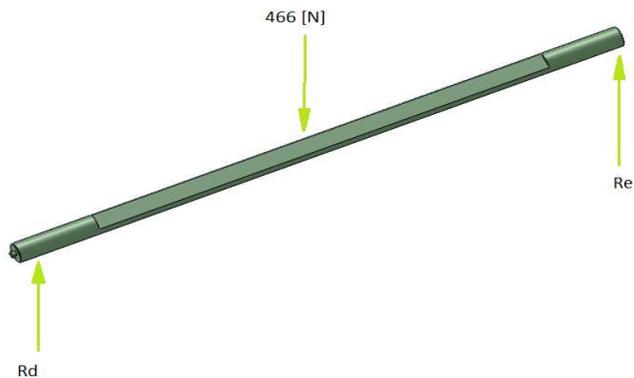
Por lo tanto  $F_n$  es:

$$F_n = 56,97 \cdot 1,3 = 74,1 \text{ [N]}$$

Finalmente sumando  $F_n$  más  $F_{\text{mesa}}$  se obtiene la carga total que soporta el eje:

$$F_e = 74,1 + 392 = 466 \text{ [N]}$$

En la figura 4.14 se indica el diagrama de cuerpo libre.



**Figura 4.16** Diagrama de cuerpo libre eje escotado

**Fuente:** Propia

Del diagrama del cuerpo libre de la figura 4.3 se determinan las magnitudes de las reacciones en los apoyos.

$$\sum F_z = 0$$

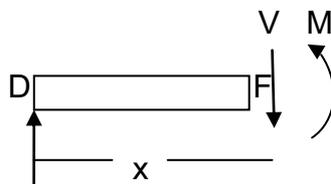
$$R_{dz} + R_{ez} = q$$

$$2R_{dz} = q$$

$$R_{dz} = \frac{q}{2}$$

$$R_{dz} = \frac{q}{2} = \frac{466}{2} = 233 \text{ [N]}$$

A continuación se calcula el momento cortante y flector, para este cálculo se corta el eje en un punto D entre D y E



$$R_{dz} = \frac{1}{2} \cdot q$$

**Figura 4.17** Diagrama de cortante y Momento Flector del eje escotado

**Fuente:** Propia

$$\sum F_z = 0$$

$$V = \frac{1}{2} 466 = 233 \text{ [N]}$$

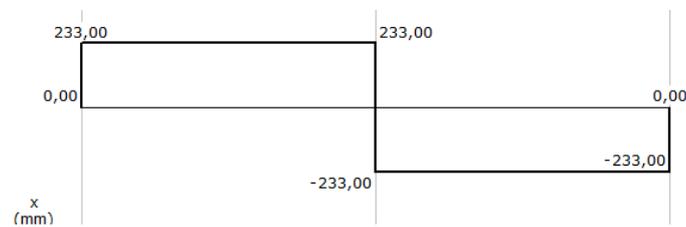
$$\sum M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} * q * x \tag{4.22}$$

El mayor momento flector se encuentra en  $x=L/2$ , reemplazando este valor en la ecuación 4.22 se tiene:

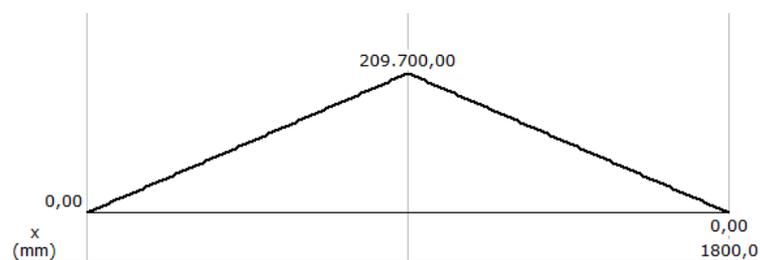
$$M = \frac{1}{2} * 466 * \frac{1.8}{2} = 209,7 \text{ [N * m]}$$

A continuación se representa la distribución de las fuerzas (4.18) y de momentos flectores (4.19) a lo largo del eje:



**Figura 4.18** Diagrama de fuerza cortante del eje escotado

Fuente: Propia



**Figura 4.19** Diagrama de momento flector del eje escotado

Fuente: Propia

Para el diseño estático se considera como material el acero A-36 donde:

$$S_y = 250 \text{ [Mpa]}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la fluencia

$n$ : Factor de seguridad

$\sigma$ : Esfuerzo Máximo

Se considera un factor de seguridad de 10 por recomendaciones en experiencias profesionales.

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma = \frac{250}{10} = 25 \text{ [Mpa]}$$

Se obtiene:

$$\sigma = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3}$$

$$25 = \frac{32 \times 209,7}{\pi \times d^3}$$

Despejando  $d$  se obtiene al diámetro adecuado para el eje escotado

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 209,7}{\pi \times 25 \times 10^6}}$$

$$d = 45 \text{ [mm]}$$

### 4.3.2 DISEÑO DE JUNTAS EMPERNADAS ENTRE EL EJE ESCOTADO Y LA MESA

Se utiliza pernos UNC  $1/2 \times 1 1/2$  Grado 1 cuyo equivalente métrico es M12; con las siguientes propiedades mecánicas:

Resistencia mínima de prueba:  $S_p = 65$  [Kpsi]

Esfuerzo de fluencia:  $S_y = 100$  [Kpsi]

Esfuerzo de rotura:  $S_{ut} = 115$  [Kpsi]

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = k_e S'_e \quad (4.23)^{22}$$

Donde:

$$k_e = \frac{1}{k_f} = 0,3333^{23}$$

$$S'_e = 19,2 + 0,314 \cdot S_{ut} \quad (4.24)^{24}$$

$$S'_e = 55,31 \text{ [Kpsi]}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (4.14) se tiene:

$$S_e = 18,43 \text{ [Kpsi]}$$

La precarga debido al apriete antes de aplicar  $p$  es:

$$F_i = A_t \times S_{ut} - \frac{C \times n \times P}{2 \times N} \left( \frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right) \quad (4.25)^{25}$$

Donde:

$n$ : Factor de seguridad.

<sup>22</sup> SHIGLEY, J.; Manual de Diseño Mecánico; 205; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 315

<sup>23</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, tabla 8-6 diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 408.

<sup>24</sup> SHIGLEY, J.; Manual de Diseño Mecánico; 205; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 408

<sup>25</sup> SHIGLEY, J.; Manual de Diseño Mecánico; diseño de tornillos, sujetadores y uniones, 2005; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 407

$A_t$ : Área de tracción<sup>26</sup> [in<sup>2</sup>]= 0,182[in<sup>2</sup>]

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia [Kpsi]

$F_i$ : Precarga del perno debido al apriete y que existe antes de aplicar p

C: Constante de carga estática =  $\frac{k_b}{k_b - k_m}$

P: Carga externa sobre la unión del perno.

Se calcula el factor C:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (4.26)^{27}$$

En donde  $k_b$  representa:

$$k_b = \frac{A \cdot E}{l} \quad (4.27)^{28}$$

Donde:

A: Área del perno= 0,196 [pulg<sup>2</sup>]

E: Módulo de elasticidad del perno (acero al carbono)=  $30 \times 10^6$  [psi]

l: Longitud de agarre = 1 [pulg]

Se reemplazan los datos en la ecuación (4.27) y se tiene:

$$k_b = \frac{0,196 \times 30 \times 10^6}{1}$$

$$k_b = 5,89 \times 10^6 [Lb/pulg]$$

$K_m$  representa la rigidez de los elementos a unirse y es:

<sup>26</sup> SHIGLEY, J.; Diseño en ingeniería mecánica; 2005; 6<sup>ta</sup> edición, pag. 456

<sup>27</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 409.

<sup>28</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 409.

$$k_m = \frac{\pi \cdot E \cdot d}{2 \ln \left[ 5 \frac{l+0,5d}{l+2,5d} \right]} \quad (4.28)^{29}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero=  $30 \times 10^6$  [psi]

d: Diámetro del perno= 0,5 [in]

l: Longitud de agarre= 1 [in]

Los datos se reemplazan en la ecuación (4.28) y se tiene que:

$$k_m = \frac{\pi \times 30 \times 10^6 \times 0,5}{2 \ln \left[ 5 \frac{(0,01 + 0,5 \times 0,012)}{(0,01 + 2,5 \times 0,012)} \right]}$$

$$k_m = 23,1 \times 10^6 \text{ [Lb/in]}$$

Se reemplaza los valores de  $k_b$  y  $k_m$  en la ecuación (4.26) y se obtiene:

$$C = \frac{5,89 \times 10^6}{5,89 \times 10^6 + 23,1 \times 10^6}$$

$$C = 0,203$$

La precarga a aplicar en el perno se debe encontrar entre los siguientes valores:

$$0,6F_p \leq F_i \leq 0,9F_p$$

$F_p$  representa:

$$F_p = A_t \times S_p \quad (4.29)$$

Donde:

$F_p$ : Fuerza de prueba [psi].

$A_t$ : Área de tracción [ $\text{in}^2$ ]= 0,182 [ $\text{in}^2$ ].

---

<sup>29</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones; 6<sup>ta</sup> edición, pag 409.

$S_p$ : Resistencia mínima de prueba = 65 [Kpsi]<sup>30</sup>

Se reemplazan los datos en la ecuación (4.29) y se obtiene:

$$F_p = 11,83[\text{Kpsi}]$$

Por lo tanto la precarga a aplicar en el perno debe encontrarse entre los valores:

$$7,1[\text{Kpsi}] \leq F_i \leq 10,65[\text{Kpsi}]$$

Se utiliza la ecuación (4.25) para un factor de seguridad  $n=3$

$$F_i = A_t \times S_{ut} - \frac{C \times n \times P}{2 \times N} \left( \frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right)$$

Donde:

$F_i$ : Precarga del perno debido al apriete y que existe antes de aplicar  $p$

$A_t$ : Área de tracción [ $\text{in}^2$ ] = 0,182 [ $\text{in}^2$ ]

$S_{ut}$ : Esfuerzo de rotura = 115 [Kpsi]

$C$ : Constante de carga estática = 0.203

$n$ : Factor de seguridad = 3

$P$ : Carga externa sobre la unión del perno = 50 [Kips]

$S_e$ : límite de resistencia a la fatiga = 18.43 [Kpsi]

$N$ : Número de pernos

Reemplazando los valores en la ecuación (4.25) se tiene que:

$$F_i = 20.93 - \frac{0.203 \times 3 \times 50}{2 \times N} \left( \frac{115}{18.43} + 1 \right)$$

$$F_i = 20.93 - \frac{110.2}{N} \tag{4.30}$$

---

<sup>30</sup> SHIGLEY, J.; Manual de diseño Mecánico, diseño de tornillos, sujetadores y uniones, precarga de pernos; 6<sup>ta</sup> edición, pag 403

Realizando una iteración de la ecuación (4.30) en la tabla se tiene:

**Tabla 4.4** Iteración para la de los pernos entre la mesa y el eje escotado

N	Fi
6	2,563333
7	5,187143
8	7,155
9	8,685556
10	9,91

Fuente: Propia

En base al resultado obtenido se concluye que se necesitan 4 pernos para la sujeción con una fuerza de:

$$C_p = \frac{P}{N}$$

$$C_p = \frac{50}{10}$$

$$C_p = 5[\text{Kips}] \text{ por tornillo}$$

Para comprobar la falla estática, se confirma el factor de seguridad correcto:

$$n = \frac{A_t \times S_t - F_i}{C \times P}$$

$$n = \frac{0.182 \times 100 - 9.91}{0.203 \times 5}$$

$$n = 8.2$$

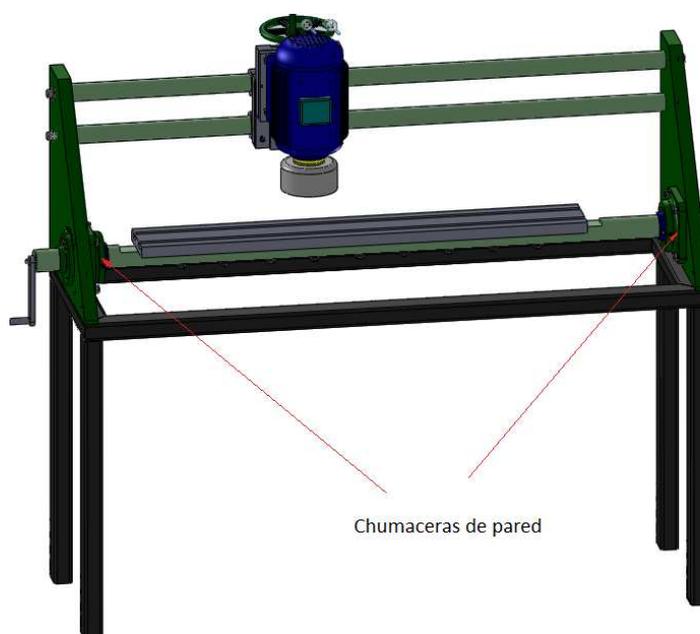
Entonces se concluye que la utilización de 11 pernos UNC grado 1 es una solución satisfactoria para la sujeción por cada soporte lateral a la estructura del prototipo.

#### 4.4 SELECCIÓN DE CHUMACERAS

Se eligen chumaceras de pared que van en los soportes laterales (figura 4.20). La función de estas chumaceras de pared es de poder regular la inclinación del sistema de porta chuchillas y así lograr el ángulo deseado para el afilado de las cuchillas.

Las chumaceras no trabajan a ningún tipo de esfuerzos por lo que no es necesario realizar algún tipo de cálculo.

Las chumaceras que se eligen son de acuerdo al ANEXO D



**Figura 4.20** Ubicación de las chumaceras  
Fuente: Propia

#### 4.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

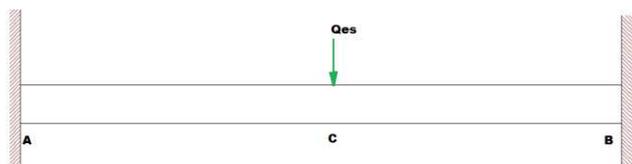
Las cargas que soportan la estructura son el peso de los soportes laterales que son de 65 [Kg] cada soporte lateral.

Para todos los perfiles de la estructura metálica se utiliza tubo cuadrado de 30x30x2 cuyo material es del tipo ASTM A 500 (ver ANEXO E), con las siguientes características:

- $S_y = 230$  [MPa]
- $S_{ut} = 310$  [MPa]

#### 4.5.1 DISEÑO DEL PERFIL 1

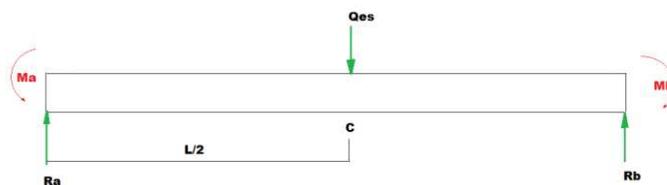
Para el cálculo del primer perfil se considera que esta empotrada en los extremos como se indica en la figura 4.21



**Figura 4.21** Diagrama de cargas sobre el perfil 1

Fuente: Propia

##### 4.5.1.1 Cálculo del Perfil 1



**Figura 4.22** Diagrama de cuerpo libre del perfil 1

Fuente: Propia

Para el cálculo de las reacciones en los extremos y los momentos en los extremos se realizan mediante las siguientes ecuaciones de acuerdo a la figura 4.22.

$$R_a = R_b = \frac{Q_{es}}{2} \quad (4.31)$$

Donde:

$R_a$  = Reacción en el apoyo a.

$R_b$  = Reacción en el apoyo b.

$Q_{es}$  = Carga del soporte lateral.

$$R_a = R_b = \frac{637 [N]}{2} = 318.5 [N]$$

$$M_a = M_b = -\frac{Q_{es} \times L}{8} \tag{4.32}$$

Donde:

$M_a$  = Momento en el apoyo a.

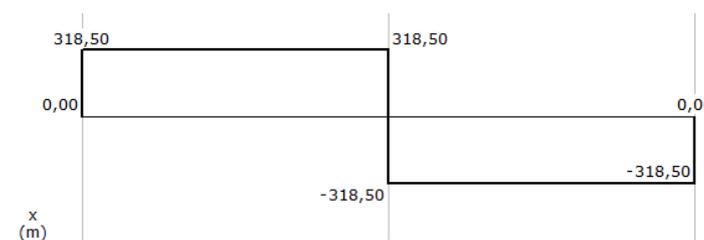
$M_b$  = Momento en el apoyo b.

$Q_{es}$  = Carga del soporte lateral.

$L$  = Longitud del perfil.

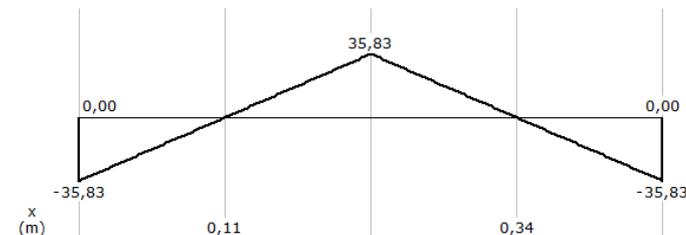
$$M_a = M_b = -\frac{637[N] \times 0.450[m]}{8} = -35.83 [N \cdot m]$$

Las figuras (4.23) y (4.24) muestran los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector.



**Figura 4.23** Diagrama de esfuerzo cortante.

Fuente: Propia



**Figura 4.24** Diagrama de momento flector.

Fuente: Propia

Calculo del esfuerzo cortante y momento flector por partes.

$$V_{ab} = -V_{bc} = \frac{F}{2}$$

$$M_{ab} = \frac{F}{8}(4 \cdot x - L)$$

$$\rightarrow x = 0 \quad M_{ab} = \frac{637}{8}(4 \times 0 - 0.450) = -35.83 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\rightarrow x = 0.225 \quad M_{ab} = \frac{637}{8}(4 \times 0.225 - 0.450) = 35.83 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$M_{bc} = \frac{F}{8}(3 \cdot L - 4 \cdot x)$$

$$\rightarrow x = 0.225 \quad M_{bc} = \frac{637}{8}(3 \times 0.450 - 4 \times 0.225) = 35.83 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$\rightarrow x = 0.450 \quad M_{bc} = \frac{637}{8}(3 \times 0.450 - 4 \times 0.450) = -35.83 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Utilizando la ecuación (4.33) se calcula el esfuerzo máximo:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_{xx}} \quad (4.33)$$

Donde:

$M_{max}$ : Momento flector máximo = 35.83 [N·m]

$S_{xx}$ : Momento de inercia o módulo de la sección =  $1.81 \times 10^{-6}$  [m<sup>3</sup>]

$\sigma$ : Esfuerzo Máximo.

$$\sigma = \frac{35.83}{1.81 \times 10^{-6}}$$

$$\sigma = 19.79 \text{ [MPa]}$$

Con la ecuación (4.34) se calcula el factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad (4.34)$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia = 230 [MPa]

$\sigma$ : Esfuerzo máximo = 19.79 [MPa]

$n$ : Factor de seguridad.

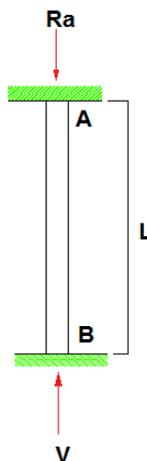
$$n = \frac{230}{19.79}$$

$$n = 12$$

Se tiene un factor de seguridad aceptable con lo cual es aceptado el perfil cuadrado escogido.

#### 4.5.1.2 Cálculo del Perfil Vertical

Para realizar este cálculo se considera que el perfil está empotrado en los extremos como se indica en la figura 4.25 y se lo realiza mediante estabilidad.



**Figura 4.25** Diagrama de cargas sobre el perfil vertical

Fuente: Propia

El perfil a ser utilizado es tubo cuadrado de 30 x 30 x 2.

Utilizando la ecuación (4.35) la esbeltez es:

$$\lambda = \frac{K \times L}{r_{min}} \quad (4.35)$$

Donde:

$\lambda$ : Esbeltez.

$K$ : Coeficiente de apoyo = 0.5

$L$ : Longitud de la columna = 550 [mm]

$r_{min}$ : radio mínimo = 11.3 [mm]

Con la tabla 4.5 se determina el coeficiente de apoyo.

**Tabla 4.5** Tabla para determinar el coeficiente de apoyo

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						
						Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free

Fuente: AISC, Manual of Steel Construction, Eighth Edition, Página 5-124

Reemplazando los datos en la ecuación (4.35) se tiene que:

$$\lambda = \frac{0.5 \times 550}{11.3}$$

$$\lambda = 24$$

Con el valor obtenido de la esbeltez nos vamos a la tabla que se encuentra en el manual de la AISC y nos da el valor de  $F_a = 20.35$  [Ksi]. Ver ANEXO F

Utilizando la ecuación (4.36) se obtiene la fuerza real de compresión:

$$f_a = \frac{R_A}{A} \quad (4.36)$$

Donde:

$f_a$ : Esfuerzo real de compresión.

$R_A$ : Fuerza de compresión = 318 [N]

$A$ : Área = 2.14 [cm<sup>2</sup>]

Reemplazando los datos en la ecuación (4.36) se obtiene que:

$$f_a = \frac{318}{2.14 \times 10^{-6}} = 297 \text{ [MPa]} = 21.57 \text{ [Ksi]}$$

Con la ecuación (4.37) que es el factor de trabajo se obtiene la condición para que no falle el perfil.

$$l_a = \frac{f_a}{F_a} \leq 1$$

$$l_a = \frac{21.57}{20.35}$$

$$l_a = 1$$

Con este resultado obtenido se concluye que el perfil no va a fallar ya que la condición nos indica que  $l_a > 1$  para que falle

#### **4.6 SELECCIÓN DE SOLDADURAS**

La totalidad de soldaduras realizadas se encuentran en la estructura metálica, es decir, los perfiles metálicos son unidos mediante la selección de electrodos ASTM A 233 E-6011 de diámetro 1/8" como electrodo de penetración realizando una pasada, de acuerdo a la norma AISC, y por último se realiza una soldadura de acabado estético con un electrodo E-6013 de diámetro 1/8".

#### **4.7 PLANOS DE TALLER Y MONTAJE**

La construcción de los planos de taller y montaje, elaborados para la maquina afiladora de cuchillas planas de hasta un metro de longitud se presentan en el ANEXO J

Los planos fueron elaborados de acuerdo a la Norma INEN; Código de Dibujo Técnico-Mecánico, además del Prontuario de Metales.

## **CAPITULO 5**

### **CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se especifican los diferentes procesos utilizados para la construcción y montaje de los sistemas que conforman la máquina afiladora de cuchillas planas, así como el protocolo de pruebas; de acuerdo a las hojas de procesos de cada uno de los elementos a ser construidas incluidas en el ANEXO I.

La construcción de los elementos que conforman el prototipo se lo realiza de acuerdo a los planos de taller y el listado de todos estos elementos se lo encuentra desarrollado en los planos de montaje (Ver ANEXO J)

El taller mecánico-industrial debe contar con todos los equipos que requieran los operarios para la fabricación de cada uno de los elementos que forman parte del prototipo. Se debe tener en cuenta que el taller debe tener un lugar de almacenamiento de la materia prima y los elementos que conforman la afiladora para un acceso rápido. El recurso humano debe estar en la capacidad de interpretar los planos de taller para llevar a cabo la construcción de la afiladora de cuchillas planas.

Para la construcción se debe tener en consideración que en el mercado local exista la materia prima, así como los elementos que conforman la máquina afiladora de cuchillas planas.

#### **5.2 REQUERIMIENTOS PARA LA CONTRUCCIÓN**

El lugar donde se va a llevar a cabo la construcción y montaje del prototipo de una máquina afiladora de cuchillas planas será en las instalaciones de la empresa M.C.S y Plastimag que posee de las siguientes secciones:

- Sección Fresadora.
- Sección Torno.
- Sección de Ajuste.
- Sección de Montaje.
- Sección Plásticos.
- Bodega.

Por lo que la empresa posee toda la maquinaria necesaria para la realización de este proyecto.

Se requiere analizar la mano de obra, herramientas, máquinas y otros componentes involucrados en la construcción de cada elemento que conforman la máquina afiladora.

### **5.2.1 MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS**

Para la construcción de este prototipo de máquina afiladora de cuchillas planas, es necesario del uso de diferentes maquinas-herramientas y herramientas que se detallan a continuación:

Herramientas:

- Juego de brocas.
- Útiles para Tornear.
- Escuadras.
- Juego de limas.
- Martillo.
- Juego de llaves.
- Rayador.
- Sierra de Arco
- Mesa de trabajo
- Pistola de pintura.
- Juego de machuelos M 12, M 10
- Discos de corte y desbaste

- Juego de desarmadores
- Entenalla

Máquinas y Equipos:

- Esmeril.
- Cizalla.
- Fresadora.
- Taladradora.
- Amoladora.
- Torno de precisión.
- Rectificadora.
- Soldadora Eléctrica.
- Equipo de Pintura.

### **5.2.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN**

- Calibrador Pie de Rey.
- Goniómetro
- Micrómetro.
- Compás.
- Nivel.
- Flexómetro.
- Escuadra.
- Graduador.

### **5.2.3 MATERIA PRIMA**

- Tubo cuadrado ASTM A-500 de 30 x 30 x2 [mm].
- Eje Acero A-36 de diámetro 50 [mm]
- Plancha de acero al carbono ASTM- A36, espesor 30 [mm].
- Ejes de acero ASTM-A36, diámetro 50[mm].
- Eje de bronce fosfórico, diámetro 70 [mm].

#### 5.2.4 ELEMENTOS A CONSTRUIR

El prototipo de la maquina afiladora de cuchillas planas tiene diferentes elementos que tienen que ser construidos los cuales se detallan en la tabla 5.1:

**Tabla 5.1** Lista de los diferentes elementos a construir para la maquina afiladora de cuchillas planas

Elemento	Cantidad
Ejes Guías	2
Eje Escotado	1
Tornillo de potencia	1
Tuerca	1
Bocín	2
Soportes Laterales	2
Estructura Metálica	1
Volante	1
Mango	1
Mesa	1

Fuente: Propia

#### 5.2.5 ACCESORIOS DE SEGURIDAD

- Casco del soldador
- Antiparras y guantes
- Overol
- Zapatos de seguridad.

#### 5.2.6 ELEMENTOS NORMALIZADOS

- Pernos Cabeza Hexagonal
- Pernos Cabeza Allen.
- Arandelas
- Piedra Abrasiva.
- Chumaceras.
- Tuercas.

### **5.2.7 ELEMENTOS SELECCIONADOS**

- Motor Eléctrico.

### **5.2.8 PERSONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

En la construcción del prototipo intervienen 4 personas, que son:

- Director del proyecto.
- Dos trabajadores de la sección de montaje encargados del mecanizado de piezas y del montaje.
- Un trabajador de la sección de ajuste encargado de la soldadura y de la pintura.
- El estudiante de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, encargado de diseñar el prototipo.

## **5.3 DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA EN LA COSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS A CONSTRUIR**

Para la construcción de cada uno de los elementos mencionados anteriormente del prototipo se cumple la siguiente secuencia:

1. Compra de la materia prima.
2. Trazo de la forma a elaborar.
3. Realización de las fases de trabajo a seguir de acuerdo a las hojas de procesos.
4. Eliminación de rebabas y escorias de los procesos realizados
5. Verificación de los elementos construidos.
6. Montaje.
7. Pruebas de campo.

## 5.4 HOJAS DE PROCESOS

Para la construcción del prototipo de una máquina afiladora de cuchillas planas, se realiza una guía de procedimientos, por lo que se elaboran hojas de procesos para el maquinado de los elementos a ser construidos, éstas y los planos de taller nos dan una metodología adecuada para el proceso de fabricación y montaje del prototipo.

Las hojas de procesos para la construcción de los principales elementos constitutivos de la máquina se encuentran en el ANEXO I

## 5.5 FOTOGRAFÍAS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En las fotografías 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 se muestran algunos pasos en la construcción de los distintos elementos mecánicos y estructurales del prototipo de la máquina afiladora de cuchillas planas.



**Fotografía 5.1** Fabricación de los soportes laterales

**Fuente:** Propia



**Fotografía 5.2** Fabricación de la estructura  
**Fuente:** Propia



**Fotografía 5.3** Fabricación de los ejes guías  
**Fuente:** Propia



**Fotografía 5.4** Elaboración de los agujeros en los soportes laterales

**Fuente:** Propia

## **5.6 MONTAJE DEL PROTOTIPO**

El montaje consiste en el procedimiento ordenado para ensamblar la máquina afiladora de cuchillas planas, por medio de una secuencia lógica, garantizando un adecuado acople entre elementos y su perfecto funcionamiento; optimizando los recursos empleados y aprovechando la mano de obra calificada.

La denominación empleada en el procedimiento de montaje de la máquina para cada uno de los elementos corresponde a los establecidos en el plano de conjunto 2.795.001.

El montaje se lo realiza mediante las siguientes actividades específicas descritas a continuación en la tabla 5.2:

**Tabla 5.2** Tabla con la secuencia de ensamble del prototipo

<b>Actividad Específica</b>	<b>Secuencia</b>
Verificación de los elementos de sujeción: pernos, tuercas, etc.	1
Ensamble del sistema cola de milano y la tuerca	2
Colocación de la placa soporte al sistema cola de milano	3
Colocación de los bocines a los ejes guías	5
Instalación de los ejes guías en las placas soportes	6
Instalación de las chumaceras de pared en las placas laterales	7
Ensamble del eje escotado a las chumaceras de pared de los soportes laterales	8
Ensamble de la mesa sobre el eje escotado	9
Anclaje de las placas laterales sobre la estructura metálica	10
Ensamble del sistema cola de milano sobre los bocines de bronce	11
Instalación del motor sobre el sistema cola de milano	12
Colocación del tornillo de potencia en la tuerca	13
Instalación en la pared externa de la placa lateral derecha el disco con divisiones para dar el ángulo adecuado de afilado	14
Ensamble del maguito en la parte derecha del eje escotado	15
Colocación de la piedra abrasiva en el motor	16
Instalación de bases con nivelador en las patas de la estructura metálica	17
Pintura del prototipo	18

Fuente: Propia

## 5.7 PRUEBAS DE CAMPO

Luego de la construcción y montaje se realizan las pruebas de campo de acuerdo al protocolo de pruebas descrito en el capítulo 3. Estas tienen como objetivo verificar las condiciones de diseño y el correcto funcionamiento de la máquina afiladora de cuchillas planas.

En la fotografía 5.4 se presenta la máquina afiladora de cuchillas planas, en la cual se realizó las pruebas de reconocimiento de la máquina y las debidas inspecciones visuales con la colaboración del director del proyecto.

Los resultados finales de las pruebas de campo se presentan en la tabla de los Anexos H



**Fotografía 5.5** Inspección de la máquina afiladora de cuchillas planas con el director del proyecto

**Fuente:** Propia

### **5.7.1 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO**

Con los resultados del Anexo G, se concluye que las diferentes partes y elementos que conforman la máquina afiladora de cuchillas planas funcionan correctamente con y sin carga, el funcionamiento lo realiza sin ningún problema en el afilado de las cuchillas planas. Es importante recalcar que los resultados obtenidos en la calidad de filo de la cuchilla son los esperados.

## **CAPITULO 6**

### **ANÁLISIS DE COSTOS**

#### **6.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se realiza un estudio que tiene como finalidad determinar el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, para lo cual es necesario describir todos aquellos que se consideran costos directos e indirectos puesto que del total de estos rubros se obtendrá el costo total de la máquina afiladora de cuchillas planas.

Costos Directos:

- Costo de los Materiales directos para la construcción del prototipo.
- Costo de los Elementos Normalizados.
- Costos de Maquinado
- Costos de Montaje

Costos Indirectos:

- Costo de Materiales Indirectos.
- Costos de Ingeniería.
- Costos de Imprevistos.

Para determinar el Costo total de la máquina afiladora de cuchillas planas se suma el total de los Costos Directos con los Costos Indirectos.

#### **6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS**

##### **6.2.1 COSTO DE MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

La materia prima (materiales) que se necesitan para la fabricación del prototipo se presenta en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1** Costo de materiales en la construcción del prototipo

<b>MATERIAL</b>	<b>DIMENSIONES (mm)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO ( USD)</b>	<b>COSTO TOTAL ( USD)</b>
Tubo estructural cuadrado ASTM A500	6000 x30x30x2	1	26.70	26.70
Planchas de Acero A 36	450 x 450 x 30	2	92.85	185.70
Eje de Acero A-36	1500 x $\varnothing$ 2"	2	32.50	65
Eje de Acero A-36	1600 x $\varnothing$ 2"	1	42.50	42.50
Plancha de Acero A 36	1000 x 127 x 24	1	192.60	192.60
Bocín de bronce fosfórico	$\varnothing_{ext}51$ x $\varnothing_{int}32$ x 200	2	27.41	54.82
Bocín de bronce fosfórico	$\varnothing_{ext}60$ x $\varnothing_{int}15$ x 40	1	31.27	31.27
Bocín de bronce fosfórico	$\varnothing_{ext}28$ x $\varnothing_{int}15$ X 20	1	15	15
Eje de Acero A-36	$\varnothing$ 18 x 55	1	3.42	3.42
Placa de acero A-36	110 x 20 x 10	1	5.20	5.20
Eje de acero AISI 1045	$\varnothing$ 1" x 250	1	19.87	19.87
			<b>Subtotal</b>	<b>642.08</b>

**Fuente:** Propia

### 6.2.2 COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

Son aquellos elementos que se encuentran disponibles en el mercado de libre comercialización en el mercado y sin alteración alguna para su uso

Los Costos de los elementos normalizados se indican en la Tabla 6.2

**Tabla 6.2** Costos de Elementos Normalizados

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario [usd]</b>	<b>Valor total [usd]</b>
Chumacera CBM pared 205-16	2	5.15	10.3
Motor eléctrico	1	286.32	286.32
Piedra Abrasiva de copa	1	60.85	60.85
Pernos Allen Grado 8.8 M 10 x 30 x 1.5	8	0.30	2.4
Pernos Cabeza Hexagonal Grado 8.8 M 12 x 30 x 1.75	18	0.25	4.5
Pernos Allen Grado 8.8 M 12 x 30 x 1.75	8	0.36	2.88
Arandela Plana 1/2"	25	0.03	0.75
Arandela Plana 3/8"	8	0.01	0.08
Cable 16	1	1.6	1.6
Volante de plástico	1	12.50	12.50
<b>Subtotal</b>			<b>382.18</b>

Fuente: Propia

### 6.2.3 COSTO DE MAQUINADO

Estos costos se refieren al valor respecto a la mano de obra directa empleada en las máquinas herramientas y equipamiento eléctrico para la fabricación de piezas del prototipo. Estos valores se presentan en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3** Costo de Maquinado

OPERACIÓN	TIEMPO TOTAL DE TRABAJO [h]	COSTO (USD/h)	COSTO TOTAL ( USD)
Fresado	5	9.00	45
Torneado	3	7.00	21
Taladrado	1	11.50	11.50
Rectificado	2	5.50	11.00
Soldadura	2	9.00	9.00
Machuelado	2.5	5	12.5
		<b>Subtotal</b>	<b>110</b>

**Fuente:** taller de máquinas herramientas "M.C.S y Plastimag"

### 6.2.4 COSTOS DE MONTAJE

Estos Costos están relacionados con la mano de obra requerida para el armado de y ensamblado de cada una de las partes y la máquina. Para el montaje se considera el trabajo de 2 personas durante 1 días, por 8 horas diarias de trabajo con un costo de 3 USD hora/hombre. El costo de la mano de obra se muestra en la tabla 6.4

**Tabla 6.4** Costos de montaje

DETALLE	HORAS DE TRABAJO	PERSONAL REQUERIDO	COSTO HORA(USD)	COSTO TOTAL(USD)
Mecánico	8	1	3.00	24
Ayudante	8	1	2.00	16
			<b>Subtotal</b>	<b>40</b>

**Fuente:** Propia

### 6.2.5 COSTO DIRECTO TOTAL

En la tabla 6.5 se indica la cantidad total del costo directo

**Tabla 6.5** Costo directo total

<b>COMPONENTE DE COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL(USD)</b>
Materiales Directos	642.08
Elementos Directos	382.18
Costo de Maquinado	110
Costo de Montaje	40
<b>Subtotal</b>	<b>1174.16</b>

**Fuente:** Propia

## 6.3 ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos se deben tomar en cuenta de algunos rubros que son empleados para la fabricación de la máquina, para lo cual se debe tomar en cuenta.

- Costos de Materiales indirectos.
- Costos de Ingeniería.
- Gastos Indirectos.

### 6.3.1 COSTOS DE MATERIALES INDIRECTOS

En la Tabla 6.6 se detallan los materiales ocupados, la cantidad y el costo de cada uno de los materiales utilizados para hacer posible la construcción.

**Tabla 6.6** Costo de Materiales Indirectos

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario [usd]</b>	<b>Valor total [usd]</b>
Electrodos 6011-1/8"	2[Kg]	3.50	7.00
Sierra de mano-Stanley-12"	1	5.50	5.50
Pintura anticorrosiva	1[L]	3.00	3.00
Pintura de acabado	1[L]	4.00	4.00
Thiñer acrílico	2[L]	1.70	3.40
Guaype	4	0.20	0.80
Varios		10.00	10.00
<b>Subtotal</b>			<b>33.70</b>

**Fuente:** Ferretería Bravo

### 6.3.2 COSTOS DE INGENIERÍA

Corresponde al costo debido al conocimiento y al tiempo que los ingenieros han dedicado para el diseño de la máquina.

Este costo constituye el valor económico debido al valor conocimiento del ingeniero para diseñar y seleccionar los elementos de la máquina.

Las funciones a desarrollarse se muestran en la tabla 6.7.

**Tabla 6.7** Costos de ingeniería

<b>Tarea</b>	<b>Tiempo[h]</b>
Definición del problema	2
Presentación de Alternativas	3
Selección de alternativas	5
Diseño y selección de elementos de máquinas	20
Supervisión y control en la construcción	10
Supervisión y control en el montaje del prototipo	5
<b>Total Tiempo[h]</b>	<b>45</b>

**Fuente:** Propia

Un ingeniero con experiencia en diseño de Maquinaria debe percibir un mínimo de 10 dólares por hora. El tiempo necesario para el diseño es aproximadamente 45 horas, por lo tanto el costo por diseño es: 450 dólares.

### 6.3.3 GASTOS IMPREVISTOS

**Tabla 6.8** Gastos de Imprevistos

<b>Imprevisto</b>	<b>Valor(usd)</b>
Papelería	15
Movilización	25
Impresión de documentos	10
Impresión de planos	10
Varios	20
<b>Subtotal</b>	<b>80</b>

**Fuente:** Propia

### 6.3.4 COSTO TOTAL INDIRECTO

En la tabla 6.9 se indica la cantidad total del costo indirecto.

**Tabla 6.9** Costo Total indirecto

<b>COSTO DEL COMPONENTE</b>	<b>VALOR (USD)</b>
Materiales Indirectos	33.70
Costo de Ingeniería	450
Gastos Imprevistos	80
<b>Subtotal</b>	<b>563.7</b>

**Fuente:** Propia

## 6.4 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

Es resultado de la suma de los subtotales de los costos directos con los costos con los costos indirectos, estos se indican en la tabla 6.10.

**Tabla 6.10** Costo Final de la máquina

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR(USD)</b>
COSTOS DIRECTOS	1174.16
COSTOS INDIRECTOS	563.7
<b>TOTAL</b>	<b>1737.86</b>

**Fuente:** Propia

Como se observa en la tabla 6.10, el costo total del prototipo de una afiladora de cuchillas planas de hasta 1 metro de longitud es de 1737.86 usd. Este valor es muy aceptable en comparación con maquinaria importada, además el valor es acorde a lo esperado inicialmente en el proyecto de titulación.

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- El proyecto de titulación cumple con el objetivo principal, este es diseñar y construir la máquina afiladora de cuchillas planas de hasta 1m de longitud de forma satisfactoria de acuerdo a los requerimientos establecidos por la empresa M.C.S y Plastimag.
- La máquina afiladora posee las exigencias de la estética industrial, es decir, el aspecto exterior es agradable, comodidad de operabilidad, facilidad al montaje y de desmontaje de cada uno de los elementos que componen el prototipo y de acabado fino.
- El prototipo es adecuado para afilar todo tipo de cuchillas planas de acero rápido de hasta 1 metro de longitud comúnmente usadas en la industria del reciclaje plástico.
- El ángulo que se puede dar al afilar comprende entre 0 a 45°, por lo que se logra un ángulo de corte adecuado y se evita un desgaste excesivo durante el triturado del plástico.
- Por la simplicidad en el diseño, se facilita el proceso de construcción y montaje, la construcción de la máquina se la realizó con procesos y materiales que existen en el Ecuador.
- El costo del prototipo es un 30% menor al de sus equivalentes en el mercado. Lo que permitió a la empresa M.C.S y Plastimag un ahorro significativo.

- La versatilidad de la máquina la hace de fácil manejo por lo que se requiere de un solo operador con preparación mínima. Además es de fácil mantenimiento.
- En base a los resultados obtenidos en el protocolo de pruebas se observa que la máquina cumple con los parámetros de diseño, con un pequeño margen de error el cual no afecta a la capacidad de trabajo de la máquina.
- Al realizarse el estudio de campo se puede determinar las condiciones a las que estará sometida la máquina para su normal funcionamiento, la cual permitirá obtener facilidades para ingresar al mercado industrial, optimizando todos los recursos necesarios en la fase de diseño.
- Los planos de taller y montaje están elaborados con normas de dibujo técnico lo que permite facilidad en su construcción y montaje.
- En nuestro país no se fabrican este tipo de máquinas; puesto que en el mercado los que existen son importados en su totalidad, la diferencia de costos de una máquina realizada localmente a una importada es realmente baja.
- El proyecto expuesto en esta memoria se pudo realizar gracias al valioso aporte de los conocimientos adquiridos por parte de los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica y el apoyo de la empresa privada.
- La duración del filo de las cuchillas varía en función del tipo de material y el grado de suciedad que este tenga, los materiales que generan un mayor desgaste en las cuchillas de los molinos son proveniente de tiraderos, ya que contienen un alto contenido de tierra, lo que genera un acelerado desgaste en las cuchillas con la gran posibilidad de decaer la producción del equipo de molienda en un periodo de tiempo muy corto.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Es imprescindible respetar las tolerancias establecidas en los planos de montaje y de taller para la construcción de cada uno de los elementos mecánicos que conforman la máquina afiladora de cuchillas planas.
- Al afilar una cuchilla es suma importancia conservar el ángulo original de corte, con lo que se evita el desgaste excesivo durante triturado el plástico.
- Por seguridad del operario se recomienda usar antiparras, guantes y tapones para los oídos para evitar cualquier accidente o imprevisto.
- La máquina produce gran cantidad de polvo metálico en el proceso de afilado, por lo se recomienda ser instalada en un lugar espacioso y que posea la ventilación adecuada para evitar la inhalación de estos polvos en cantidades excesivas.
- El proyecto queda abierto a mejoras que solucionen problemas que no fueron consideradas en este, como por ejemplo: desplazamiento mecánico del carro porta-muela.
- Se debe cumplir con las normas básicas de seguridad industrial cuando se vaya a realizar la construcción y montaje de la máquina afiladora de cuchillas planas; para prevenir cualquier tipo de inconveniente o accidente.
- Mantener lubricados los ejes guías.
- La superficie del disco abrasivo se deberá rectificar con un rectificador de diamante.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ORBE Esteban, RIVADENEIRA Iván; “*Diseño de una rectificadora cilíndrica sin centros como accesorios de un esmeril*”; EPN; Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, 1999.
2. ROSSI Mario, “*Máquinas Herramientas Modernas*”, Editorial Hopeli, Barcelona, 1971.
3. ORLOV P, “*Ingeniería de Diseño*”, Editorial MIR, Segunda edición, Moscú, 1985.
4. LOSCUTOV, “*Rectificación de Metales*”, Editorial MIR, Moscú, 1982
5. SHIGLEY. J, “*Diseño en Ingeniería Mecánica*”, Editorial McGraw-Hill, 5ta Edición, México, 1995.
6. LEYENSETTER, “*Tecnología de los Oficios Metalúrgicos*”, Editorial Reverté, Barcelona, 1979.
7. GURIE, Komissarhevskaya, “*Estructura de las Rectificadoras*”, Editorial MIR, Moscú, 1987
8. ASME. HANDBOOK; “*Metals Propieties*”; McGraw-Hill; New York, 1954.
9. SHIGLEY-MISCHKE, “*Diseño en Ingeniería Mecánica*”; Editorial Mc Graw-Hill, Quinta Edicion; México; 1989.
10. ESTRONEO Y CONSORTI, “*El Dibujo Mecánico*”; Segunda Edición; Editorial Montaner y Simón S.A; Barcelona; 1975.
11. INEN, “*Código de Dibujo Técnico Mecánico*”; Quito; 1981.

**ANEXO A:**  
**FORMATO PROTOCOLO DE PRUEBAS**

DATOS DE LA EMPRESA Y PERSONAL ENCARGADO DE LA INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO			
Nombre de la Empresa	Teléfonos		Fecha:
	Oficina	Celular	
Nombre de la persona Autorizada:			
Cargo u Ocupación:			
Máquina a Inspeccionar:			
Capacidad de la máquina:	Peso de la máquina (Kg):		
Firma de persona responsable	Firma Gerente	Sello de la empresa	

FORMATO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE AFILADORA DE CUCHILLAS PLANAS						
EMPRESA						
AVALUADOR						
FECHA						
LUGAR						
PRUEBA	DISEÑO		PROTOTIPO		ACEPTACIÓN	
					SI	NO
Dimensiones Básicas	Peso: [Kg]		Peso: [Kg]			
	Ancho Total: [mm]		Ancho Total [mm]			
	Altura Total: [mm]		Alto Total [mm]			
	Largo Total: [mm]		Largo Total: [mm]			

FORMATO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO							
<b>EMPRESA</b>							
<b>AVALUADOR</b>							
<b>FECHA</b>							
<b>LUGAR</b>							
<b>PRUEBA</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>FUNCIONAMIENTO</b>					
		<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>			
<b>Verificación de los componentes principales</b>	<b>Motor eléctrico.</b>						
	<b>Chumaceras</b>						
	<b>Bocines de Desplazamiento</b>						
	<b>Piedra Abrasiva</b>						
<b>Trabajo en vacío de la máquina Afiladora de cuchillas planas</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Motor Eléctrico.</b>		<b>Bocines de desplazamiento</b>		<b>Piedra Abrasiva</b>	
		<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>	<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>	<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>
	<b>10</b>						
	<b>20</b>						
	<b>30</b>						
	<b>40</b>						

FORMATO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO							
EMPRESA							
AVALUADOR							
FECHA							
LUGAR							
Trabajo con cargade la máquina afiladora de cuchillas planas	Número de cuchillas afiladas	Motor Eléctrico.		Bocines de desplazamiento		Piedra Abrasiva	
		Falla	No Falla	Falla	No Falla	Falla	No Falla
	1						
	2						
	3						
4							
Conclusiones:							
Observaciones:						Se Aprueba el prototipo:	
						Si	No
Firma Responsable		Firma Autorización				Sello de la Empresa	

**ANEXO B:**  
**DESIGNACIÓN HERRAMIENTAS ABRASIVAS ISO 525**



## DESIGNACIÓN DE LAS FORMAS DE LAS HERRAMIENTAS ABRASIVAS (ISO 525)

### Formas básicas de las muelas abrasivas y sus limitaciones

(Las flechas en los croquis indican la zona activa de contacto de la muela con el objeto a esmerilar.)

FORMA BÁSICA	CROQUIS	DENOMINACIÓN ESQUEMA DE LAS DIMENSIONES	LIMITACIONES		
			AGLOMERANTE	VELOCIDADES PERIFÉRICAS*1 NORMAL      EXCEPCIONES	DIMENSIONES
1..		MUELA ABRASIVA PLANA $D \times T \times H$	V B BF	40 m/s 50 m/s 80 m/s 1FK, 1VS 1A	$H \leq 0,67 D$ $T > 0,02 D^{*2}$ $T > 0,02 D$ $T > 4 \text{ mm}$
2..		ANILLO ABRASIVO $D \times T - W$	V B	32 m/s 40 m/s	$W < 0,17 D$
3..		MUELA ABRASIVA CÓNICA DE UN LADO $D/J \times T/U \times H - V..$	V B	40 m/s 50 m/s	$H \leq 0,67 D$
4..		MUELA ABRASIVA BICÓNICA $D/J \times T/U \times H - V..$	V B BF	40 m/s 50 m/s 80 m/s 4A	$H \leq 0,67 D$
5..		MUELA CON CAVIDAD CILÍNDRICA EN UN LADO $D \times T \times H - P \times F..$	V B BF	40 m/s 50 m/s 80 m/s 5A Para la forma 5G la limitación es: V 35 m/s      B 45 m/s	$H \leq 0,67 D$ $E \geq 0,5T$ $0,5T > E \geq 0,3T$
6..		MUELA DE VASO CILÍNDRICA $D \times T \times H - W..$	V B	32 m/s 40 m/s	$0,3T > E \geq 0,2T$
7..		MUELA CON CAVIDAD CILÍNDRICA EN AMBOS LADOS $D \times T \times H - P \times F/G$	V B	40 m/s 50 m/s	$H \leq 0,67 D$ $E \geq 0,5D$

\*1 En el pedido el cliente debe especificar las velocidades periféricas aumentadas !

Las velocidades periféricas normales de trabajo pueden ser más bajas para muelas con menor dureza y/o estructura más abierta.

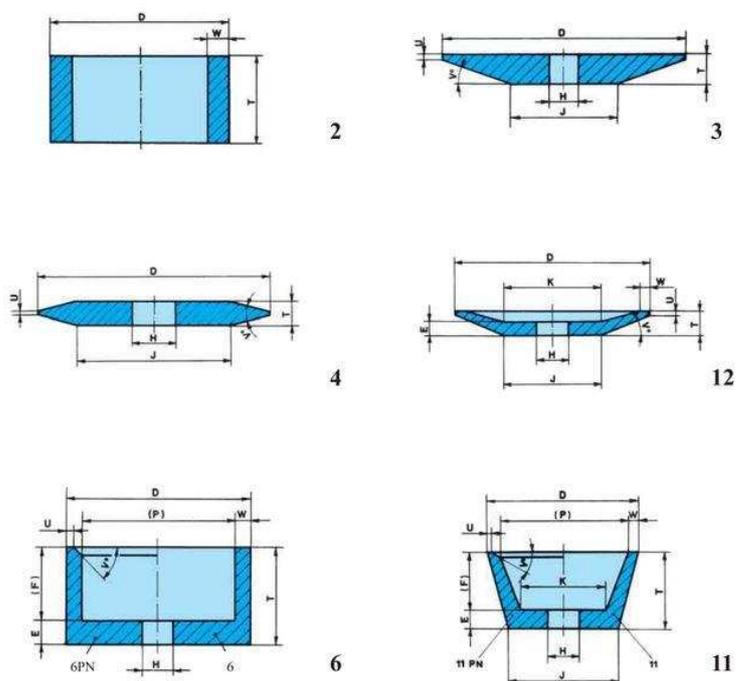
\*2  $D \leq 50 \text{ mm}$   $H \leq 0,67 D$   $T > 0,01 D$

10

.. Todos los subgrupos derivados de la forma básica



## Afilado de herramientas con muelas abrasivas de forma 2, 3, 4, 6, 11, 12 en máquinas esmeriladoras universales

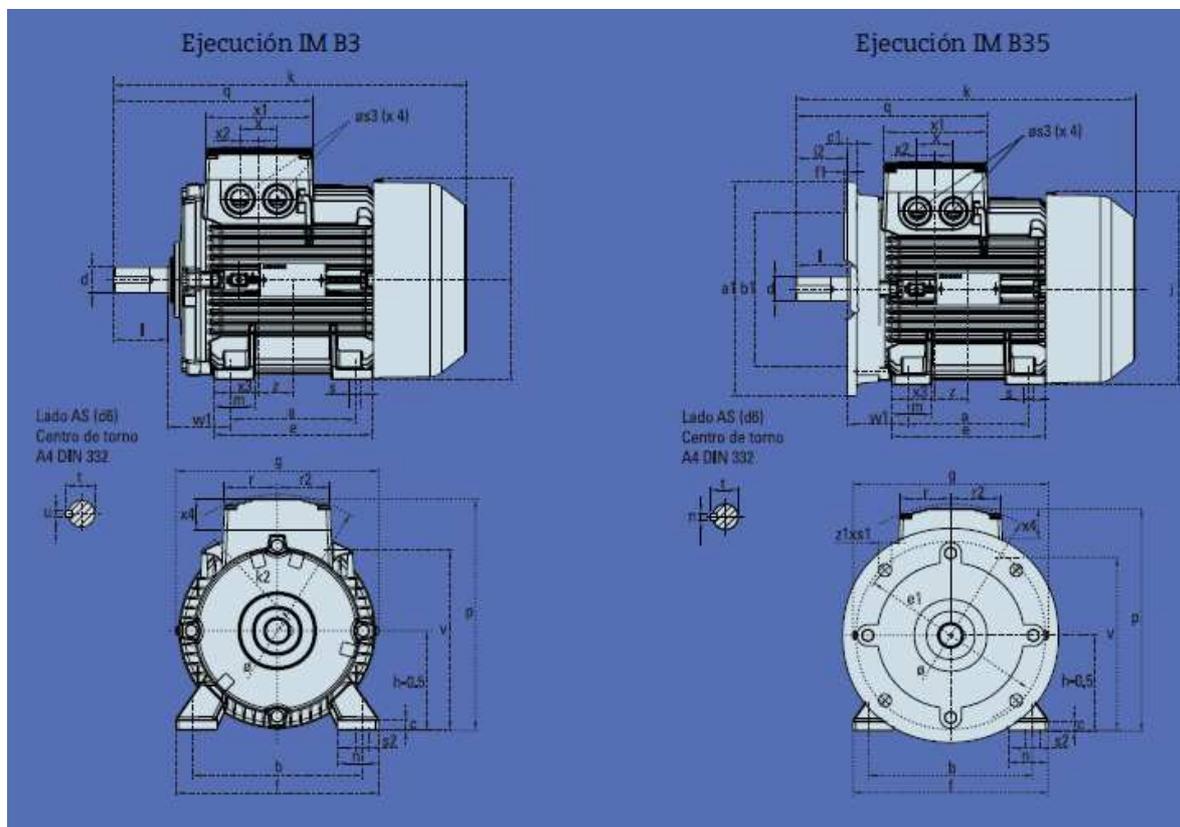


Campo de aplicación	Recomendaciones				
	Tipo de abrasivo	Granulación	Dureza	Estructura	Aglomerante
Herramientas cortantes					
- aceros para herramientas	2A, 4A	46-60 70-80	J-K I-K	6-7 8	V
- aceros rápidos	2A, 4A 8A	46-60 70-80	J-K	6-7 8	V
Fresadoras (muelas de forma 3)	2A, 42A	46-60	J-K	7-9	V
Cuchillas cortadoras y cepilladoras de aceros rápidos (formas 2,6)	2A, 42A	46-60	I-K	7	V
Fresas para la elaboración de la madera, de aceros rápidos (forma 12)	2A	54-80	I-K	7	V

**ANEXO C:  
MOTOR ELÉCTRICO**

Velocidad 3600 rpm (2 polos)															
Código Actual	Código Antigo	Tipo	Frame IEC	HP	kW	F.S.	In a		rpm	Eficiencia $\eta$ %	Torque nominal Nm	Momento de inercia Kg m <sup>2</sup>	Torque de arranque de Tn	Intensidad como fac. de In	Peso aprox. kg
							220 V Amp.	440 V Amp.							
01083	836273	1LA7 070-2YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.40	1.20	3430	79.0	1.56	0.00035	2.7	6.0	4.3
01084	836290	1LA7 072-2YA60	71	0.90	0.67	1.05	3.20	1.60	3320	66.0	1.93	0.00035	2.3	4.9	6.0
01085	836274	1LA7 073-2YA60	71	1.00	0.75	1.15	3.50	1.75	3320	65.0	2.20	0.00045	2.5	4.7	6.0
01086	836201	1LA7 080-2YC60	80	1.20	0.90	1.05	4.00	2.00	3400	68.0	2.51	0.00085	2.3	4.9	8.4
01087	836276	1LA7 080-2YA60	80	1.50	1.12	1.15	5.30	2.65	3370	69.0	3.17	0.00085	1.8	3.7	8.4
01088	836202	1LA7 082-2YA60	80	1.80	1.34	1.05	5.80	2.90	3450	72.4	3.72	0.0011	2.1	5.3	10.0
01089	836278	1LA7 083-2YA60	80	2.00	1.50	1.15	6.20	3.10	3410	74.0	4.18	0.0011	3.3	6.3	10.0
01090	836203	1LA7 090-2YC60	90	2.40	1.79	1.05	7.00	3.50	3460	79.0	4.94	0.0015	2.4	5.5	11.7
01091	836279	1LA7 090-2YA60	90	3.00	2.20	1.15	9.00	4.50	3490	76.0	6.12	0.0015	2.7	5.7	13.7
01092	836204	1LA7 094-2YA60	90	3.60	2.70	1.05	10.80	5.40	3460	79.0	7.41	0.0020	2.7	6.0	14.9
01093	836281	1LA7 096-2YA60	90	4.00	3.00	1.15	12.20	6.10	3440	82.0	8.20	0.0020	2.3	5.9	15.0
01094	836206	1LA7 112-2YA60	112	5.00	3.73	1.15	16.00	8.00	3480	71.1	10.24	0.0055	2.0	5.2	28.0
01095	836207	1LA7 113-2YA60	112	6.60	4.92	1.05	19.00	9.50	3480	79.0	13.51	0.0055	2.6	6.8	30.8
01096	836283	1LA7 114-2YA60	112	7.50	5.60	1.15	21.80	10.90	3500	77.4	15.27	0.0055	2.0	5.8	33.4
01097	836284	1LA7 130-2YA70	132S/M	10.00	7.50	1.15	28.00	14.00	3520	79.0	20.50	0.016	2.4	6.0	50.0
01098	836212	1LA7 131-2YA70	132S/M	12.00	9.00	1.05	32.00	16.00	3525	80.0	24.60	0.021	2.7	6.8	52.5
01099	836285	1LA7 132-2YA70	132S/M	15.00	11.20	1.15	41.00	20.50	3520	80.5	30.70	0.021	2.0	6.5	56.5
01100	836286	1LA5 163-2YB70	160M/L	20.00	14.90	1.05	53.00	26.50	3528	87.0	40.39	0.034	2.0	6.0	69.5
01101	836224	1LA5 164-2YB70	160M/L	25.00	18.70	1.15	70.00	35.00	3530	88.0	50.46	0.040	2.1	5.0	82.5
01102	836230	1LA5 167-2YB70	160M/L	30.00	22.40	1.05	81.00	40.50	3540	90.0	60.38	0.052	2.1	4.6	94.0

Medidas para montaje																										
Motor tamaño	Medidas comunes (IM B3, IM B5)						medidas de la forma constructiva IM B3										Medidas de la forma constructiva IM B5 / IM B35									
	l	d	t	u	g	g <sub>1</sub>	p/p <sub>1</sub>	k	a	b	h	w <sub>1</sub>	s	e	f	a1	b1	c1	e1	f1	s1	k				
071	30	14	16.1	5	148	-	178.5	240	90	112	71	45	7	107.5	132	160	110	5.5	130	3.5	10.5	231				
080	40	19	21.5	6	163	-	193.5	273.5	100	125	80	50	9.5	119.5	150	200	130	8	165	3.5	13	283				
090 S	50	24	26.9	8	181	-	211.5	331	100	140	90	56	10	114.5	165	200	130	7	165	3.5	13	324				
090 L	50	24	26.9	8	181	-	211.5	331	125	140	90	56	10	144.5	165	200	130	7	165	3.5	13	324				
112 M	60	28	31.0	8	227	-	260	393	140	190	112	70	12	176	226	250	180	11	215	4	14.5	388				
132 S	80	38	41.3	10	264.5	-	315	481	140	216	132	89	12	1218	256	300	230	14	265	4	15	481				
132 M	80	38	41	10	266	-	299	491	178	216	132	89	12	218	226	300	230	12	265	4	4.5	491				
160 M	110	42	45.0	12	320	-	365.5	629	210	254	160	109	15	300	300	350	250	20	300	5	18	628				
160 L	110	42	45.0	12	320	-	365.5	629	254	254	160	109	15	300	300	350	250	20	300	5	18	628				
180 M	110	48	51.5	14	357	499	410	653	241	279	180	121	16	301	339	350	250	13	300	5	18	653				
180 L	110	48	51.5	14	357	499	410	691	279	279	180	121	16	339	339	350	250	13	300	5	18	691				
200 L	110	55	59.0	16	403	534	460	743	305	318	200	133	20	385	398	400	300	15	350	5	18	743				
225 S	*140	*60	*64	18	447	-	569	*830	286	356	225	149	19	361	436	450	350	16	400	5	17.5	*830				
225 M	*140	*60	*64	18	447	-	569	*830	311	356	225	149	19	361	436	450	350	16	400	5	17.5	*830				
250 M	140	*65	*69	18	520	-	680	930	349	406	250	168	24	409	506	550	450	18	500	5	17.5	930				
280 S	140	*75	*79.5	*20	575	-	735	1005	368	457	280	190	24	479	557	550	450	18	500	5	17.5	1005				
280 M	140	*75	*79.5	*20	575	-	735	1005	419	457	280	190	24	479	557	550	450	18	500	5	17.5	1005				
315 S <sup>1)</sup>	140	65	69	18	645	-	-	1110	406	508	315	216	28	527	628	660	550	22	600	6	22	1110				
315 S <sup>2)</sup>	170	85	85	22	-	-	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140				
315 M <sup>1)</sup>	140	65	69	18	645	-	-	1110	406	508	315	216	28	527	628	660	550	22	600	6	22	1110				
315 M <sup>2)</sup>	170	85	85	22	-	-	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140				
315 L <sup>1)</sup>	140	65	69	18	645	-	-	1250	508	508	315	216	28	578	628	660	550	22	600	6	22	1250				
315 L <sup>2)</sup>	170	80	85	22	-	-	-	1280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1280				

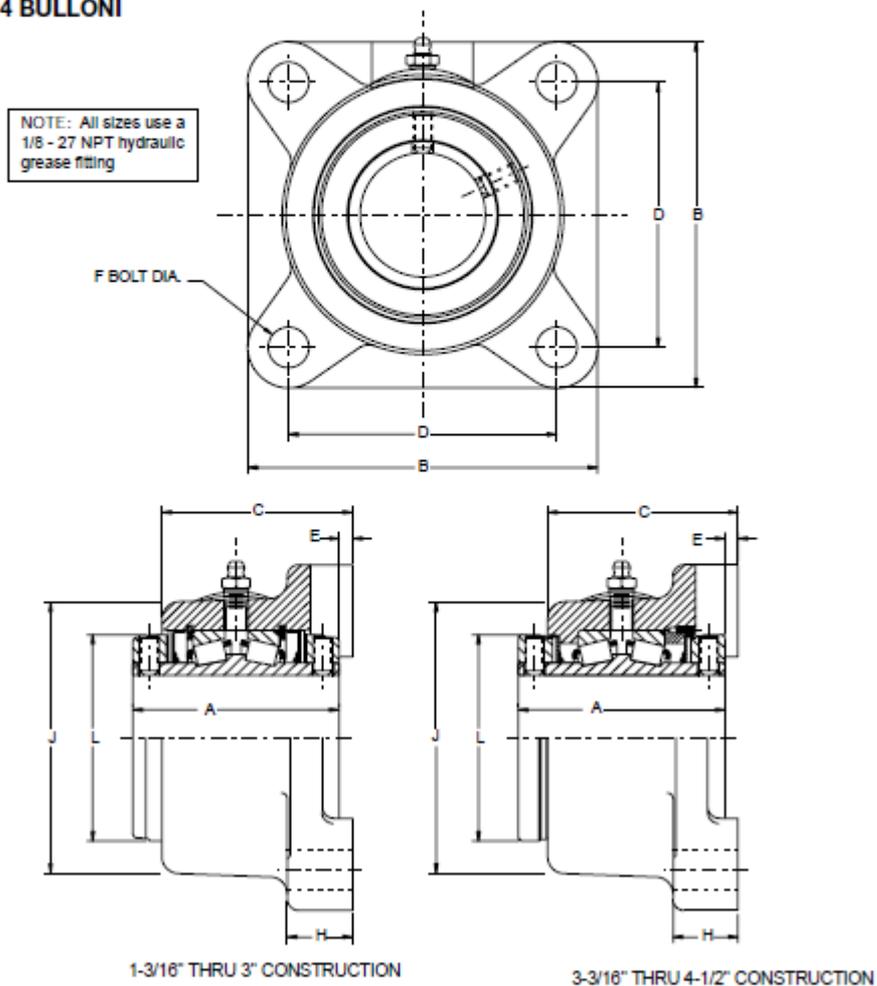


ANEXO D:  
SELECCIÓN DE CHUMACERAS



Type E FLANGE BEARING - INCH / Typ E FLANSCHLAGER - INCH / PALIER  
A FLASQUE de type E - POUCES / RODAMIENTO BRIDA Tipo E - PULGADA /  
CUSCINETTO FLANGIATO tipo E

4 BOLT FLANGE  
BASIS MIT 4 BOLZEN  
FLASQUE A 4 BOULONS  
SOPORTE BRIDA DE 4 TALADROS  
FLANGIA A 4 BULLONI





**ANEXO E:**  
**CATÁLOGO DE TUBO CUADRADO DIPAC**



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO



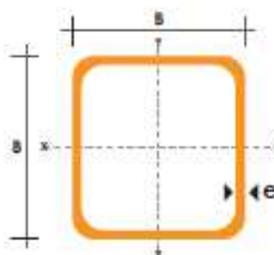
## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,36	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,66	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,55
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,59	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,45	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,89	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



**ANEXO F:**  
**VALOR DE ESBELTEZ PARA CÁLCULO DE PERFIL DE LA**  
**ESTRUCTURA**



**ANEXO G:  
MATERIALES**

**SAE 1018**
**Eje de transmisión - Tolerancias h9-h11**

**GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.

**ANÁLISIS TÍPICO %**

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2 ") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente.

<b>Propiedad: Laminado en Frío</b>	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm <sup>2</sup>	min. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm <sup>2</sup>	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

**APLICACIONES**

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

**MEDIDAS EN STOCK**
**REDONDO**

<b>PULGADAS</b>	<b>PESO APROX. kg/m</b>
1/4	0.28
3/8	0.6
1/2	1.0
5/8	1.6
3/4	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/8	5.0
1 1/4	6.2
1 3/8	7.5
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3	35.8
3 1/4	42.0
3 1/2	48.7
3 3/4	55.9
4	63.6
4 1/2	80.5
5	99.4
5 1/2	120.2
6	143.1
7	197.0
8	255.0
9	328.5
10	397.0

**Longitudes de rosca, extremos atornillados, profundidades agujeros roscados**

Rosca	Longitud de rosca <i>b</i>		Extremo atornillado <i>a</i> para				Profundidad aguj. roscado <i>t</i> para			
	Salientes de tornillo		Acero Bronce	Fundic. gris	Metal blando	Alu- minio	Acero Bronce	Fundic. gris	Metal blando	Alu- minio
<i>d</i>	<i>b</i>	<i>v</i> <sub>1</sub>	DIN 938 (Marz. 53)	DIN 939 (Nov. 53)	DIN 940 (Dic. 55)	DIN 835 (Marz. 53)	DIN 938 (Marz. 53)	DIN 939 (Nov. 53)	DIN 940 (Febr. 54)	DIN 835 (Marz. 53)
		<i>v</i> <sub>1</sub>	$\approx 1 \cdot d$	$\approx 1,25 \cdot d$	$\approx 2,5 \cdot d$	$\approx 2 \cdot d$	<i>t</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	<i>t</i>
M 3	9	3,2	3	4	8	6	6	7		9
M 4	10	4,2	4	5	10	8	7,5	8		12
M 5	12	5,2	5	6,5	13	10	9	10	16	15
M 6	15	6,5	6	7,5	15	12	10,5	12	19	18
M 8	18	8,5	8	10	20	16	13	15	25	24
M 10	20	10	10	12	25	20	15	19	32	28
M 12	22	12	12	15	32	24	18	25	40	32
M 14	25	14	14	18	35	28	20	28	42	38
M 16	28	16	16	20	40	32	22	30	50	40
M 18	30	19	18	22	45	36	27	32	55	45
M 20	32	20	20	25	50	40	28	35	60	50
M 22	35	21	22	28	55	44	30	38	65	54
M 24	38	22,5	24	30	60	48	32	42	70	58
M 27	40	24,5	25	35	65	55	33	45	75	65
M 30	45	27	30	38	75	60	38	50	88	70
M 33	50	30	32	42	80	65	40	55	92	75
M 36	55	34	35	45	90	70	45	60	105	82
M 39	60	36	38	50	95	78	50	65	110	92
M 42	65	39	42	52	105	85	52	70	120	100

**Tornillos hexagonales — Espárragos** DIN 962

Designaciones — Formas y ejecuciones con datos adicionales para pedidos (Mar. 53)

Para torn. hexag. según DIN 931, 933, 960 y 961 y p. espárragos DIN 833 a 836, 938 y 939

 Designación de un tornillo hexagonal con rosca <i>d</i> = M 12 de lon. <i>l</i> = 50 mm, Ø vástago = Ø rosca, con extr. cón. o abombado } a elección del fabricante característ. de resistencia 4,6 (según DIN 267)	Forma	Figura	Ejemplos de designación
		B Ø vástago = Ø flancos	
	K extremo cónico		Tornillo hexagonal M 12 X 50K DIN 931 — 4,6
	L extremo abombado		Tornillo hexagonal M 12 X 50 L DIN 931 — 4,6
	S agujero para pasador		Espárrago M 12 X 50 S DIN 835 — 4,6
	SK aguj. de seguridad en la cabeza		Tornillo hexagonal M 12 X 50 SK DIN 931 — 4,6
	Sz con ranura		Tornillo hexagonal M 12 X 50 Sz DIN 931 — 4,6
	To sin saliente de plato		Tornillo hexagonal M 12 X 50 To DIN 931 — 4,6

Tornillo hexagonal  
M 12 X 50 DIN 931-4,6

Tornillos y arandelas			ARANDELAS PLANAS					TABLA 15 . 13		
Arandela			Para tornillo....		Arandela			Para tornillo....		
d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e	Métrico	Whitworth	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e	Métrico	Whitworth	
2,2	5,5	0,5	2		43	78	7	42	1 5/8"	
2,8	7	0,5	2,6		46	85	7	45	1 3/4"	
3,2	7	0,5	3		50	92	8	48		
4,3	9	0,8	4		54	98	8	52	2"	
5,3	11	1	5		58	105	9	56		
6,4	12	1,5	6		60	110	9	58	2 1/4"	
8,4	17	2	8		66	115	9	64	2 1/2"	
10,5	21	2,5	10		74	125	10	72	2 3/4"	
13	24	3	12		78	135	10	76	3"	
13,8	24	3		1/2"	82	140	12	80		
17	30	3	16	5/8"	93	160	12	90	3 1/2"	
21	36	4	20	3/4"	104	175	14	100	4"	
23	40	4	22	7/8"	114	185	14	110		
25	44	4	24		119	200	14	115	4 1/2"	
27	50	5	26	1"	124	210	16	120		
31	56	5	30	1 1/8"	129	220	16	125	5"	
33	60	5	32	1 1/4"	134	220	16	130		
36	68	6	35	1 3/8"	144	240	18	140	5 1/2"	
37	68	6	36		155	250	18	150	6"	
40	72	6	39	1 1/2"	( Concuerta con la norma DIN 127 )					

Ajuste ISO para agujero único						DIN 7154 (Agosto 66)				
Números azules = Diferencias nominales en el lado pasa		Diferencias nominales en $\mu\text{m}$ ( $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ )								
Números rojos = Diferencias nominales en el lado no pasa		Campo de medidas nominales								
	Serie según DIN 7157 <sup>1)</sup> (enero 66)	ISO Símbolo	> 1 - 3 mm		> 3 - 6 mm		> 6 - 10 mm		> 10 - 18 mm	
			Diferencia super.	Diferencia infer.	Diferencia super.	Diferencia infer.	Diferencia super.	Diferencia infer.	Diferencia super.	Diferencia infer.
Medidas inter. (agujeros)		<b>H 6</b>	+ 6	0	+ 8	0	+ 9	0	+ 11	0
Medidas exteriores (ejes)	2	<b>n 5</b>	+ 8	+ 4	+ 13	+ 8	+ 16	+ 10	+ 20	+ 12
	2	<b>k 6</b>	+ 6	0	+ 9	+ 1	+ 10	+ 1	+ 12	+ 1
	2	<b>j 6</b>	+ 4	- 2	+ 6	- 2	+ 7	- 2	+ 8	- 3
	1	<b>h 5</b>	0	- 4	0	- 5	0	- 6	0	- 8
Medidas inter. (agujeros)	1	<b>H 7</b>	+ 10	0	+ 12	0	+ 15	0	+ 18	0
Medidas exteriores (ejes)	2	<b>s 6</b>	+ 20	+ 14	+ 27	+ 19	+ 32	+ 23	+ 39	+ 28
	1	<b>r 6</b>	+ 16	+ 10	+ 23	+ 15	+ 28	+ 19	+ 34	+ 23
	1	<b>n 6</b>	+ 10	+ 4	+ 16	+ 8	+ 19	+ 10	+ 23	+ 12
	2	<b>m 6</b>	+ 8	+ 2	+ 12	+ 4	+ 15	+ 6	+ 18	+ 7
	2	<b>k 6</b>	+ 6	0	+ 9	+ 1	+ 10	+ 1	+ 12	+ 1
	2	<b>j 6</b>	+ 4	- 2	+ 6	- 2	+ 7	- 2	+ 8	- 3
	1	<b>h 6</b>	0	- 6	0	- 8	0	- 9	0	- 11
	2	<b>g 6</b>	- 2	- 8	- 4	- 12	- 5	- 14	- 6	- 17
1	<b>f 7</b>	- 6	- 16	- 10	- 22	- 13	- 28	- 16	- 34	
Medidas inter. (agujeros)	1	<b>H 8</b>	+ 14	0	+ 18	0	+ 22	0	+ 27	0
Medidas exteriores (ejes)	1	<b>x 8, u 8<sup>2)</sup></b>	+ 34	+ 20	+ 46	+ 28	+ 56	+ 34	+ 74	+ 45
	1	<b>h 9</b>	0	- 25	0	- 30	0	- 36	0	- 43
	1	<b>f 7</b>	- 6	- 16	- 10	- 22	- 13	- 28	- 16	- 34
	2	<b>e 8</b>	- 14	- 28	- 20	- 38	- 25	- 47	- 32	- 59
	2	<b>d 9</b>	- 20	- 45	- 30	- 60	- 40	- 76	- 50	- 93
Medidas inter. (agujeros)	2	<b>H 11</b>	+ 60	0	+ 75	0	+ 90	0	+ 110	0
Medidas exteriores (ejes)	1	<b>h 9</b>	0	- 25	0	- 30	0	- 36	0	- 43
	2	<b>h 11</b>	0	- 60	0	- 75	0	- 90	0	- 110
	2	<b>d 9</b>	- 20	- 45	- 30	- 60	- 40	- 76	- 50	- 93
	2	<b>c 11</b>	- 60	- 120	- 70	- 145	- 80	- 170	- 95	- 205
	2	<b>a 11</b>	- 270	- 330	- 270	- 345	- 280	- 370	- 290	- 400

<sup>1)</sup> Esta relación de ajustes tiene por objeto reducir a un mínimo el número de herramientas, aparatos de sujeción e instrumentos de medida.

Estos ajustes son los que deben usarse con preferencia. La serie 1 es la serie fundamental. La serie 2 es un complemento de la serie 1. El campo de tolerancia H 11 puede cumplirse sin mecanizado ulterior con las brocas espirales corrientes. Los ajustes de aprieto y de paso se han tomado en lo esencial del sistema agujero único, y los de juego del sistema eje único. Para los ejes se prevén, sin embargo, también los campos de tolerancia g6, f7, e8, d9, c11 y a 11, que dan ajustes de juego con los agujeros H.

Estos campos de tolerancia son empleados en aquellos talleres que prefieren el sistema agujero único o en aquellos en que no se hacen patentes las ventajas del sistema eje único por tenerse que desmontar con frecuencia.

<sup>2)</sup> Hasta medida nominal 24 mm: x 8  
por encima de 24 mm: u 8

**AJUSTES ISO para agujero único** DIN 7154  
(Agost. 66)

Diferencias nominales en  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ )

Campo de medidas nominales					
> 18 ... 30 mm	> 30 ... 50 mm	> 50 ... 80 mm	> 80 ... 120 mm	> 120 ... 180 mm	> 180 ... 250 mm
Diferencia super. infer.		Diferencia super. infer.		Diferencia super. infer.	
+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0
+24 +15	+28 +17	+33 +20	+38 +23	+45 +27	+51 +31
+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4
+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13
0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20
+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0
+48 +35	+59 +43	...65: +72 +53 ...80: +78 +59	...100: +93 +71 ...120: +101 +79	...140: +117 +92 ...160: +125 +100 ...180: +133 +108	...200: +151 +122 ...225: +159 +130 ...250: +169 +140
+41 +28	+50 +34	...65: +60 +41 ...80: +62 +43	...100: +73 +51 ...120: +76 +54	...140: +88 +63 ...160: +90 +65 ...180: +93 +68	...200: +106 +77 ...225: +109 +80 ...250: +113 +84
+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31
+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17
+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4
+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13
0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29
-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44
-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96
+33 0	+39 0	+46 0	+54 0	+63 0	+72 0
...24: +87 +54 ...30: +81 +48	...40: +99 +60 ...50: +109 +70	...65: +133 +87 ...80: +148 +102	...100: +178 +124 ...120: +198 +144	...140: +233 +170 ...160: +253 +190 ...180: +273 +210	...200: +308 +236 ...225: +330 +258 ...250: +356 +284
0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115
-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96
-40 -73	-50 -89	-60 -106	-72 -126	-85 -148	-100 -172
-65 -117	-80 -142	-100 -174	-120 -207	-145 -245	-170 -285
+130 0	+160 0	+190 0	+220 0	+250 0	+290 0
0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115
0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290
65 -117	-80 -142	-100 -174	-120 -207	-145 -245	-170 -285
110 -240	...40: -120 -280 ...50: -130 -290	...65: -140 -330 ...80: -150 -340	...100: -170 -390 ...120: -180 -400	...140: -200 -450 ...160: -210 -460	...200: -240 -530 ...225: -260 -550
-300 -430	...40: -310 -470 ...50: -320 -480	...65: -340 -530 ...80: -360 -550	...100: -380 -600 ...120: -410 -630	...140: -460 -710 ...160: -520 -770	...200: -660 -950 ...225: -740 -1030

**SELECCION DE AJUSTES (agujero único)**

De la serie:  $\frac{1}{2}$  1 1  $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{4}$  1  $\frac{1}{2}$  1

Posición y magnitud de tolerancias de ajuste representadas p. medida nominal 60 mm

Toler. ajuste = Fluctuación del juego o del aprieto entre las piezas que se acoplan

**ANEXO H:**  
**RESULTADO PROTOCOLO DE PRUEBAS**

DATOS DE LA EMPRESA Y PERSONAL ENCARGADO DE LA INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO			
Nombre de la Empresa M.C.S y Plastimag	Teléfonos		Fecha: 28-10-2011
	Oficina	Celular:	
Nombre de la persona Autorizada:			
Cargo u Ocupación:			
Máquina a Inspeccionar:	Máquina afiladora de cuchillas planas		
Capacidad de la máquina: Una cuchilla	Peso de la máquina (Kg): 540		
Firma de persona responsable	Firma Gerente		Sello de la empresa

FORMATO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE AFILADORA DE CUCHILLAS PLANAS						
EMPRESA	M.C.S y Plastimag					
AVALUADOR	Galo Bohórquez Ing. Jorge Escobar					
FECHA	28-10-2011					
LUGAR	Av Eloy Alfaro y Arupos - Quito					
PRUEBA	DISEÑO		PROTOTIPO		ACEPTACIÓN	
					SI	NO
Dimensiones Básicas	Peso: [Kg]	500	Peso: [Kg]	540	✓	
	Ancho Total: [mm]	400	Ancho Total [mm]	450	✓	
	Altura Total: [mm]	1090	Alto Total [mm]	1100	✓	
	Largo Total: [mm]	1400	Largo Total: [mm]	1389	✓	

<b>FORMATO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO</b>							
<b>EMPRESA</b>	M.C.S y Plastimag						
<b>AVALUADOR</b>	Galo Bohórquez Ing. Jorge Escobar						
<b>FECHA</b>	28-10-2011						
<b>LUGAR</b>	Av Eloy Alfaro y Arupos - Quito						
<b>PRUEBA</b>	<b>ELEMENTO</b>		<b>FUNCIONAMIENTO</b>				
			<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>		
<b>Verificación de los componentes principales</b>	<b>Motor eléctrico.</b>		✓				
	<b>Chumaceras</b>		✓				
	<b>Bocines de Desplazamiento</b>		✓				
	<b>Piedra Abrasiva</b>		✓				
<b>Trabajo en vacío de la máquina Afiladora de cuchillas planas</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Motor Eléctrico.</b>		<b>Bocines de desplazamiento</b>		<b>Piedra Abrasiva</b>	
		<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>	<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>	<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>
	<b>10</b>		✓		✓		✓
	<b>20</b>		✓		✓		✓
	<b>30</b>		✓		✓		✓
<b>40</b>		✓		✓		✓	

FORMATO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL PROTOTIPO							
<b>EMPRESA</b>	M.C.S y Plastimag						
<b>AVALUADOR</b>	Galo Bohórquez Ing. Jorge Escobar						
<b>FECHA</b>	28-10-2011						
<b>LUGAR</b>	Av Eloy Alfaro y Arupos - Quito						
<b>Trabajo con carga de la máquina Afiladora de cuchillas planas</b>	<b>Número de cuchillas afiladas</b>	<b>Motor Eléctrico.</b>		<b>Bocines de desplazamiento</b>		<b>Piedra Abrasiva</b>	
		<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>	<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>	<b>Falla</b>	<b>No Falla</b>
	1		✓		✓		✓
	2		✓		✓		✓
	3		✓		✓		✓
4		✓		✓		✓	
<b>Conclusiones:</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>De acuerdo al protocolo de pruebas seguido, se concluye que la máquina cumple con los parámetros de diseño para un funcionamiento adecuado del prototipo, lo que nos da como resultado final que, el diseño, construcción y montaje es idóneo para garantizar la producción de má maquinas de este tipo.</li> </ul>							
<b>Observaciones:</b>						<b>Se Aprueba el prototipo:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>NO</li> </ul>						<b>Si</b>	<b>No</b>
						✓	
<b>Firma Responsable</b>			<b>Firma Autorización</b>			<b>Sello de la Empresa</b>	

**ANEXO I:**  
**HOJAS DE PROCESOS**