

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESBASTE PARA PROBETAS METALGRÁFICAS”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

CARLOS ANDRÉS NARANJO MENDOZA

canaram@hotmail.com

RICARDO ENRIQUE RACINES MENDOZA

racine820@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. PATRICIO ESTUPIÑÁN MSc.

patricio.estupinan@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Carlos Andrés Naranjo Mendoza y Ricardo Enrique Racines Mendoza, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Carlos Andrés Naranjo Mendoza

Ricardo Enrique Racines Mendoza

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Andrés Naranjo Mendoza y Ricardo Enrique Racines Mendoza, bajo mi supervisión.

Ing. Patricio Estupiñán, Msc.
Director del Proyecto

AGRADECIMIENTO

A Dios, y la Virgen de Agua Santa en quienes siempre he puesto mi fe.
Al Ing. Patricio Estupiñán cuyo aporte fue fundamental en el desarrollo del presente proyecto, su correcta dirección no sólo sirvió para cumplir con el objetivo sino también para darnos cuenta que siempre se puede aportar con algo más para mejorar.

A los profesores de la facultad de mecánica, que durante estos 5 años impartiendo sus conocimientos han logrado hacer de mi lo que ahora soy a ellos les dejo un agradecimiento eterno.

A mi querido primo el androide, que sin su dedicación la demora hubiese sido más.

Carlos Naranjo Mendoza.

Al Ing. Patricio Estupiñán por su acertada dirección y generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a sus extraordinarios conocimientos en medio de amistad, respeto y confianza.

A René Jame por su importante aporte y participación activa en la ejecución del presente proyecto.

A todos aquellos maestros que pasaron por las aulas de mecánica y cuyos conocimientos impartidos forman parte de mi formación y mi futuro.

Ricardo Racines Mendoza.

DEDICATORIA

Sin duda las personas a quien debo todo son mis padres, quienes han estado para darme su apoyo y su comprensión, gracias a su lucha constante por querer hacer de mí una mejor persona es que ahora puedo sentirme tan cerca de cumplir un sueño,
a ellos se los dedico.

A mis hermanos Santiago y Mariaugusta, han estado ahí actuando como verdaderos amigos y consejeros y a quienes siempre encontraré en los momentos que lo necesite.

A mi familia tan grande que ha estado y estará siempre para darme su apoyo.

A ti, por llenarme de paz cuando siento que lo pierdo todo.

A mis amigos quienes me han hecho siempre ver el lado alegre de la vida.

Carlos Naranjo Mendoza.

A mis padres Enrique Racines y Marilyn Mendoza, pilares fundamentales en mi vida, por su tenacidad, ejemplo y lucha constante que me ha permitido alcanzar mis metas.

A mi segunda madre, mi abuelita María Albán cuyo amor, bondad, e infinita paciencia han sido la clave de mi entusiasmo y éxito.

A mis hermanas Verónica, Mishell y Cynthia por transmitirme su fortaleza y apoyo incondicional.

A mis compañeros cuya motivación y apoyo continuo me han servido de aliento.

Ricardo Racines Mendoza.

CONTENIDO

INDICE

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
INDICE	VI
SIMBOLOGÍA.....	XIX
RESUMEN	XXIII
PRESENTACIÓN	XXIV
CAPITULO 1. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. EVOLUCIÓN DE LA METALOGRAFÍA	1
1.3. PROCESO DE PULIDO METALOGRAFICO	2
1.3.1. FINALIDAD.....	2
1.3.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
1.3.2.1. ABRASIVIDAD.....	3
1.3.2.2. PROCESO ABRASIVO.....	3
1.3.2.3. MALLADO.....	3
1.3.2.4. TIPOS DE PAPEL ABRASIVO	4
1.3.2.5. MATERIALES ABRASIVOS.....	6
1.3.2.6. REFRIGERACIÓN	8

1.3.2.7. PULIDO ELECTROLÍTICO	8
1.3.3. ETAPAS DEL PULIDO METALOGRÁFICO	8
1.3.3.1. TOMA DE MUESTRAS (EXTRACCIÓN DE LA PROBETA).....	8
1.3.3.2. DESBASTE GRUESO	10
1.3.3.3. DESBASTE FINO	10
1.3.3.4. PULIDO PRELIMINAR.....	11
1.3.3.5. PULIDO FINAL	11
1.3.3.6. ATAQUE QUÍMICO.....	12
1.3.3.7. CONSIDERACIONES EN EL ATAQUE QUÍMICO	14
1.4. SISTEMAS EMPLEADOS PARA EL PULIDO MECANICO.....	15
1.4.1. DESBASTADORAS CON PAPEL ABRASIVO	15
1.4.2. DISCOS CON PARAFINA	16
1.4.3. DISCOS DE PLOMO	16
CAPITULO 2. PLANTEAMIENTO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	18
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PARÁMETROS DE DISEÑO	18
2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	18
2.2.2. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS	19
2.2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO.....	20
2.3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	21
2.3.1. SISTEMA DE DESBASTE	21
2.3.1.1. ALTERNATIVA 1: DESBASTADORA DE CINTA.....	21
2.3.1.2. ALTERNATIVA 2: DESBASTADORA DE DISCO ROTATIVO.....	22

2.3.1.3. ALTERNATIVA 3: PLACA DE MOVIMIENTO ALTERNATIVO	23
2.3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN	25
2.3.2.1. ALTERNATIVA 1: ENGRANAJES	25
2.3.2.2. ALTERNATIVA 2: CADENA.....	25
2.3.2.3. ALTERNATIVA 3: BANDA	26
2.4. ANÁLISIS DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS	26
2.4.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DESBASTE.....	27
2.4.1.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN	27
2.4.1.2. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO	27
2.4.1.3. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO INTERCAMBIO DE PAPEL ABRASIVO	28
2.4.1.4. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO COSTO.....	29
2.4.1.5. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO MONTAJE	29
2.4.1.6. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO MANTENIMIENTO	29
2.4.1.7. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO FABRICACIÓN	30
2.4.1.8. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO CALIDAD DE PULIDO.....	30
2.4.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	30
2.4.2.1. CRITERIOS DE EVALUACIÓN	30
2.4.2.2. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO	31
2.4.2.3. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO MANTENIMIENTO	31
2.4.2.4. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO COSTO.....	32
2.4.2.5. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO MONTAJE	32

2.4.2.6. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO BAJA GENERACIÓN DE RUIDO	32
2.4.2.7. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO VIDA ÚTIL	33
2.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	33
2.5.1. CONCLUSIONES SISTEMA DE DESBASTE	33
2.5.2. CONCLUSIONES SISTEMA DE TRANSMISIÓN	34
2.5.3. PROTOTIPO FINAL	34
2.5.4. ESQUEMA DEL PROTOTIPO FINAL.....	34
CAPITULO 3. DISEÑO DE LA MÁQUINA DE DESBASTE.....	36
3.1. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	36
3.1.1. DIMENSIÓN DE LA PROBETA.....	36
3.1.2. RUGOSIDAD Y COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE LA BANDA ABRASIVA Y LA PROBETA	36
3.1.3. PRESIÓN DE PULIDO	41
3.1.4. VELOCIDAD NECESARIA PARA EL PULIDO.....	42
3.1.5. TENSIÓN DE LA BANDA DE LIJA.....	43
3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	43
3.2.1. DISPOSICIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	43
3.2.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA Y SELECCIÓN DEL MOTOR ...	44
3.2.2.1. MOTOR SELECCIONADO	47
3.2.3. SELECCIÓN DE LA BANDA DE TRANSMISIÓN	47
3.2.4. SELECCIÓN DE POLEAS.....	48
3.2.5. FUERZA GENERADA POR LA BANDA DE TRANSMISIÓN	51
3.2.6. AJUSTE DE LA BANDA	54

3.2.7. DIMENSIONAMIENTO DE LA CHAVETA.....	55
3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESBASTE CON PAPEL ABRASIVO	59
3.3.1. DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS EN EL SISTEMA DE DESBASTE CON EL PAPEL ABRASIVO.....	59
3.3.2. CÁLCULOS DEL RODILLO MOTRIZ.....	60
3.3.2.1. REACCIÓN DE LOS RODAMIENTOS SOBRE EL RODILLO MOTRIZ	63
3.3.2.2. REACCIÓN DEL TORQUE SOBRE EL RODILLO MOTRIZ.....	66
3.3.2.3. CONSIDERACIÓN DE LOS POSIBLES PUNTOS CRÍTICOS DEL RODILLO MOTRIZ.....	67
3.3.2.4. DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS.....	67
3.3.2.5. ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS Y DETERMINACIÓN DEL PUNTO MÁS CRÍTICO	74
3.3.2.6. ANÁLISIS DE FALLA A CARGA VARIABLE EN EL PUNTO MÁS CRÍTICO	82
3.3.3. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	83
3.3.4. CÁLCULO DE LAS BARRAS TENSORAS.....	85
3.3.4.1. DISPOSICIÓN DE LAS BARRAS TENSORAS	86
3.3.4.2. FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA PLACA Y LAS BARRAS TENSORAS	86
CAPITULO 4. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y MANTENIMIENTO.....	93
4.1. REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	93
4.1.1. MAQUINARIA Y EQUIPOS	93
4.1.2. HERRAMIENTAS	93
4.1.3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	94
4.1.4. MATERIA PRIMA	94

4.1.5. ELEMENTOS ADICIONALES	94
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESBASTE	95
4.2.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS RODILLOS MOTRIZ Y CONDUCTIDO	95
4.2.1.1. FABRICACIÓN.....	95
4.2.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	97
4.2.2.1. FABRICACIÓN.....	97
4.2.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS GUÍAS DEL RODILLO CONDUCTIDO..	98
4.2.3.1. MATERIA PRIMA.....	98
4.2.3.2. FABRICACIÓN.....	98
4.2.4. CONSTRUCCIÓN DE LAS BARRAS DE SOPORTE.....	99
4.2.4.1. MATERIA PRIMA.....	99
4.2.4.2. FABRICACIÓN.....	99
4.2.5. ACOPLÉ DE PERFILES.....	99
4.2.5.1. MATERIA PRIMA.....	99
4.2.5.2. ACOPLÉ	99
4.2.6. CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS DE REFUERZO	100
4.2.6.1. MATERIA PRIMA.....	100
4.2.6.2. FABRICACIÓN.....	100
4.3. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	100
4.4. ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO	101
4.5. ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TENSIÓN Y PARALELISMO DE LOS RODILLOS	102
4.5.1. MATERIALES.....	102
4.5.2. CONSTRUCCIÓN	103

4.5.3. MONTAJE	103
4.6. ENSAMBLE DE MISCELÁNEOS	103
4.7. PROTECCIÓN ANTIVORROSIVA	105
4.8. MANTENIMIENTO.....	106
4.8.1. MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO	106
4.8.1.1. SECUENCIA PARA CAMBIO DE LA CINTA ABRASIVA.	107
4.8.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	108
4.8.2.1. CAMBIO DE RODAMIENTOS Y BANDA DE TRANSMISIÓN.....	108
4.8.2.2. LUBRICACIÓN, LIMPIEZA DE LAS GUÍAS DEL RODILLO Y EL SISTEMA DE ALINEACIÓN.....	109
4.8.2.3. ALINEACIÓN DEL RODILLO CONDUcido.....	110
4.8.2.4. INSPECCIÓN TOTAL	110
4.8.3. HOJA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO.....	112
4.9. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	112
4.9.1. PLANICIDAD	112
4.9.2. TIEMPO DE CAMBIO DEL PAPEL ABRASIVO	113
4.9.3. TIEMPO DE DESBASTE EN PAPEL ABRASIVO N°120	114
4.9.4. CALIDAD DE PULIDO.....	115
4.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS	120
CAPITULO 5.ANÁLISIS DE COSTOS	123
5.1. COSTOS DIRECTOS.....	123
5.1.1. COSTO DE MÁQUINAS-HERRAMIENTAS	123
5.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA.....	125
5.1.3. COSTO DE MATERIALES	126

5.1.4. COSTO DE DISEÑO E INVESTIGACION.....	130
5.2. COSTOS INDIRECTOS	131
5.3. COSTO TOTAL	131
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
6.1. CONCLUSIONES.....	132
6.2. RECOMENDACIONES.....	133
BIBLIOGRAFÍA	134
ANEXOS	135
ANEXO A CATÁLOGO DEL MOTOR SIEMENS	136
ANEXO B CATÁLOGO DE BANDAS EN V DAYCO	138
ANEXO C CATÁLOGO DE RODAMIENTOS SKF.....	148
ANEXO D PROTOCOLO DE PRUEBA.....	155
ANEXO E CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA	157

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Banda Abrasiva R-98	4
Figura 1.2 Banda Abrasiva X-88	5
Figura 1.3 Banda Abrasiva R-88	5
Figura 1.4 Banda Abrasiva X-86	6
Figura 1.5 Unidad para el desbaste y pulido metálico de probetas metalográficas... 15	15
Figura 1.6 Pulidora de Cinta Abrasiva	16
Figura 1.7 Disco de Plomo	17
Figura 2.1 Desbastadora de Cinta Abrasiva.....	21
Figura 2.2 Pulidora con Disco Rotatorio.....	22
Figura 2.3 Pulidora con Placa de movimiento alternativo.....	24
Figura 2.4 Vista Isométrica del Prototipo Final.....	34
Figura 2.5 Vista Angular Superior del Prototipo Final.....	35
Figura 3.1 Plano Inclinado para determinar el coeficiente de rozamiento estático....	37
Figura 3.2 Simulación de la fuerza de pulido sobre balanza de precisión.....	41
Figura 3.3 Parámetros de la maquina pulidora del laboratorio de metalografía	43
Figura 3.4 Disposición del sistema de transmisión de potencia	44
Figura 3.5 Área máxima de desbaste.....	44
Figura 3.6 Diagrama de fuerzas actuantes en la probeta.....	45
Figura 3.7 Iteración de los diámetros primitivos de las poleas para correas AP de relación de velocidad 2 y 1160 RPM	50
Figura 3.8 Disposición de las poleas y distancia entre centros	52
Figura 3.9 Deflexión en la longitud libre de la banda	54
Figura 3.10 Forma de la chaveta.....	56
Figura 3.11 Dimensión del eje y la chaveta.....	56
Figura 3.12 Dimensión del eje y altura del chavetero.....	57
Figura 3.13 Dimensión del chavetero en la polea.	57
Figura 3.14 Disposición del sistema de desbaste	60
Figura 3.15 Esquema del rodillo motriz.....	61
Figura 3.16 Esquema de las fuerzas actuantes sobre el rodillo motriz.	62
Figura 3.17 Disposición de los planos en el análisis.	63

Figura 3.18 Fuerza ejercida sobre el asiento de la polea.....	63
Figura 3.19 Vista radial del rodillo y la tensión de la banda abrasiva.....	64
Figura 3.20 Vista radial del rodillo y las reacciones en el rodamiento A.....	65
Figura 3.21 Vista radial del rodillo y las reacciones en el rodamiento B.....	66
Figura 3.22 Torque actuante sobre el rodillo motriz.....	66
Figura 3.23 Diagrama de fuerzas en el plano y-z y los puntos críticos.....	67
Figura 3.24 Análisis de fuerzas cortante en el primer tramo.....	68
Figura 3.25 Análisis de fuerzas cortante en el segundo tramo.....	68
Figura 3.26 Diagrama de Cortante y Momento para el plano y-z.....	69
Figura 3.27 Diagrama de fuerzas en el plano x-z y los puntos críticos.....	70
Figura 3.28 Análisis de fuerzas cortantes en el primer tramo.....	70
Figura 3.29 Análisis de fuerzas cortantes en el segundo tramo.....	71
Figura 3.30 Análisis de fuerzas cortantes en el tercer tramo.....	71
Figura 3.31 Análisis de fuerzas cortantes en el cuarto tramo.....	72
Figura 3.32 Diagrama de Cortante y Momento en el plano x-z.....	73
Figura 3.33 Dimensión del rodamiento de bolas.....	85
Figura 3.34 Disposición de las barras tensoras en la estructura.....	86
Figura 3.35 Actuación de las fuerzas sobre la placa exterior.....	86
Figura 3.36 Diagrama de fuerzas del rodillo conducido.....	87
Figura 3.37 Diagrama de fuerzas del rodillo motriz.....	87
Figura 3.38 Placa exterior de la estructura determinando el centro de gravedad con Autodesk Inventor Professional 2009.....	89
Figura 3.39 Diagrama de fuerzas aplicadas en la tapa exterior de la estructura.....	89
Figura 3.40 Fuerza resultante y reacción de las barras tensoras.....	90
Figura 3.41 Diagrama de Cuerpo libre de la tapa exterior de las estructura.....	90
Figura 4.1 Tubo para Rodillos.....	96
Figura 4.2 Ejes para Rodillos.....	96
Figura 4.3 Tubos y Tapas soldadas.....	96
Figura 4.4 Ejes Soldados a Tubos.....	97
Figura 4.5 Ensayo de tintas penetrantes para verificar la calidad de soldadura.....	97
Figura 4.6 Estructura principal.....	98

Figura 4.7 Placas guías y tornillos de tracción	98
Figura 4.8 Barras tensoras de soporte soldadas.....	99
Figura 4.9 Estructura soldada con los ángulos de soporte.....	100
Figura 4.10 Sistema de transmisión de potencia montado.....	101
Figura 4.11 Bomba dentro de la bandeja de almacenamiento de agua	102
Figura 4.12 Rodillos en proceso de alineación.....	103
Figura 4.13 Pulido de probeta utilizando la tapa de protección de la desbastadora	104
Figura 4.14 Desbastadora cubierta con la carcasa y con los controles de mando..	104
Figura 4.15 Prueba de Desbaste.....	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.4.1 Evaluación del peso de cada criterio	28
Tabla 2.4.2 Evaluación del peso de criterio para intercambio de papel abrasivo	28
Tabla 2.4.3 Evaluación del peso de criterio para costo	29
Tabla 2.4.4 Evaluación del peso de criterio para montaje	29
Tabla 2.4.5 Evaluación del peso de criterio para mantenimiento	29
Tabla 2.4.6 Evaluación del peso de criterio para fabricación	30
Tabla 2.4.7 Evaluación del peso de criterio para calidad de pulido	30
Tabla 2.4.8 Evaluación del peso específico de cada criterio	31
Tabla 2.4.9 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento	31
Tabla 2.4.10 Evaluación del peso específico del criterio costo	32
Tabla 2.4.11 Evaluación del peso específico del criterio montaje	32
Tabla 2.4.12 Evaluación del peso específico del criterio baja generación de ruido... ..	32
Tabla 2.4.13 Evaluación del peso específico del criterio vida útil	33
Tabla 2.5.1 Selección del Sistema de Desbaste	33
Tabla 2.5.2 Selección de Sistema de Transmisión	34
Tabla 2.5.3 Prototipo Final	34
Tabla 3.1.1 Datos experimentales de coeficiente de rozamiento para el material 1..	38
Tabla 3.1.2 Datos experimentales de coeficiente de rozamiento para el material 2..	39
Tabla 3.1.3 Datos experimentales de coeficiente de rozamiento para el material 3..	40
Tabla 3.1.4 Datos de la Probeta 1 (Simulación con movimiento circular)	41
Tabla 3.1.5 Datos de Probeta 2 (Simulación con movimiento circular)	42
Tabla 3.1.6 Datos de Probeta 3 (Simulación con movimiento circular)	42
Tabla 3.2.1 Especificación de las características de motores Siemens de 1200 rpm	47
Tabla 3.2.2 Potencia efectiva para motores trifásicos Siemens de 1200 rpm	47
Tabla 3.2.3 Diámetro primitivo de las poleas en función de la potencia, para correas AP de relación de velocidad 2 y 1160 RPM.	49
Tabla 4.8.1 Inspección Total llevada a cabo cada año	111
Tabla 4.8.2 Control de Mantenimiento.	112
Tabla 4.9.1 Tiempo necesario para eliminar rayaduras del desbaste inicial.	113

Tabla 4.9.2 Tiempo de Intercambio de papel abrasivo en desbastadora de disco y de cinta.....	113
Tabla 4.9.3 Probetas empleadas para desbaste	114
Tabla 4.9.4 Tiempo de desbaste inicial	115
Tabla 4.9.5 Calidad de pulido en papel abrasivo N° 120 en la desbastadora de disco y de cinta, 20X de aumento, área aproximada 100 [mm ²]	116
Tabla 5.1.1 Desglose de Costo de Máquinas-Herramientas	124
Tabla 5.1.2 Desglose del costo de la mano de obra	126
Tabla 5.1.3 Desglose de Costo de Materiales.....	127
Tabla 5.1.4 Tiempo dedicado a investigación y diseño.	130
Tabla 5.3.1 Desglose de todos los costos	131

SIMBOLOGÍA

μ = Coeficiente de rozamiento estático

k_s = Coeficiente de rozamiento estático en superficie ferrosa con óxido

k_c = Coeficiente de rozamiento estático en superficie desbastada

f_r = Fuerza generada por la fricción entre probeta y papel abrasivo

N = Normal

P = Presión de diseño para desbaste

A = Área máxima de desbaste

F = Fuerza máxima aplicada sobre la probeta metalográfica

F_1 = Fuerza necesaria para el desbaste

P_n = Potencia necesaria para el desbaste

V_1 = Velocidad de desbaste

ω_1 = Velocidad angular del rodillo motriz

r_1 = Radio del rodillo motriz donde se encuentra la cinta abrasiva

n = Factor de seguridad

P_r = Potencia requerida para el desbaste

P_m = Potencia del motor

ω_o = Velocidad angular del eje del motor

P_d = Potencia de diseño

f_s = Factor de servicio

D = Diámetro primitivo de la polea conducida

d = Diámetro primitivo de la polea motriz

C = Distancia entre centros de las poleas

t = Longitud libre de la correa

T_s = Tensión estática de la banda

K = Factor de arco

Q = Número de bandas

$$S = \text{Velocidad de la banda} \frac{\left[\frac{ft}{mi} \right]}{1000}$$

T_c = Tension centrifuga de la banda

r_0 = Radio primitivo de la polea motriz

V_0 = Velocidad lineal de la banda de transmisión

Q_c = Carga en línea de centros de las poleas

F_θ = Ángulo de dirección de la banda de transmisión

P_e = Empuje efectivo

D_f = Deflexión

F_v = Fuerza verdadera aplicada en el asiento de la polea

a = Altura de la chaveta

b = Espesor de la chaveta

l = Longitud de la chaveta

e = Altura de la chaveta dentro del eje

h_1 = Diámetro del eje menos la altura de la chaveta dentro del eje

h = Altura del eje incluyendo la chaveta

f = Altura de la chaveta dentro de la polea

T_0 = Torque ejercido por el motor

T_m = Torque máximo ejercido por el motor

F_{pr} = Fuerza cortante generada en la chaveta de la polea del rodillo

r_p = Radio del asiento de la polea del rodillo

S_y = Esfuerzo a la fluencia

S_{sy} = Esfuerzo a la fluencia en corte

τ_c = Esfuerzo cortante de la chaveta

A_c = Área del corte de la chaveta

R_A = Reacción del rodamiento A sobre el rodillo

R_B = Reacción del rodamiento B sobre el rodillo

T_B = Tensión de la banda abrasiva

τ = Torque generado por el motor y la reacción de la banda

$V =$ Cortante

$M =$ Momento

$M_{A1} =$ Momento en el punto A, en el plano $x - z$

$M_{A2} =$ Momento en el punto A, en el plano $y - z$

$M_{B1} =$ Momento en el punto B, en el plano $x - z$

$M_{B2} =$ Momento en el punto B, en el plano $y - z$

$M_{C1} =$ Momento en el punto C, en el plano $x - z$

$M_{C2} =$ Momento en el punto C, en el plano $y - z$

$M_{D1} =$ Momento en el punto D, en el plano $x - z$

$M_{D2} =$ Momento en el punto D, en el plano $y - z$

$M_R =$ Momento resultante

$\sigma =$ Esfuerzo de flexión

$c =$ Distancia al eje neutro

$I =$ Momento de inercia del cilindro

$k_f =$ Factor de concentracion de tensión en carga variable

$q =$ Sensibilidad de la muesca

$k_t =$ Factor de concentracion de tension en carga estatica

$\tau_{xy} =$ Esfuerzo de torsion

$r_{se} =$ Radio de la superficie exterior del rodillo

$J =$ Momento polar de inercia del cilindro

$k_{fs} =$ Factor de concentracion de torsion por carga variable

$q_s =$ Sensibilidad de la muesca en torsion

$k_{ts} =$ Factor de concentracion de tension

$S_e =$ Resistencia a la fatiga

$S_e =$ Resistencia a la fatiga en una probeta rotatoria

$k_a =$ Factor de modificación de la condición superficial

$k_b =$ Factor de modificación del tamaño

$k_c =$ Factor de modificación de la carga

$k_d =$ Factor de modificación de la temperatura

$k_e =$ Factor de modificación de efectos varios

F_R = Fuerza resultante radial crítica

P_T = Peso total actuante sobre la tapa frontal

L_h = Vida nominal del rodamiento

d_1 = Diámetro interno del rodamiento

D_1 = Diámetro externo del rodamiento

P_1 = Fuerza resultante radial del rodamiento

n_1 = Velocidad angular del rodillo motriz [rpm]

C_1 = Capacidad de carga dinámica del rodamiento

a_1 = Factor de confiabilidad del rodamiento

a_2 = Factor de material adecuado

a_3 = Factor de lubricación del rodamiento

RM = Reacción de la barra M

RN = Reacción de la barra N

d_N = Diámetro de la barra tensora N

τ_N = Esfuerzo cortante de la barra N

τ_{Nadm} = Esfuerzo cortante admisible en N

A_N = Área transversal de la barra N

M_{Nmax} = Momento máximo en la barra tensora N

L_N = Longitud de la barra N donde se aplica la carga RN

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir una máquina desbastadora de probetas metalográficas para el laboratorio de Metalografía de la Escuela Politécnica Nacional, la máquina ayudará al operario a reducir los tiempos y esfuerzos de desbaste debido a que el proceso es de tipo manual.

Con la finalidad de entender cómo se realiza el proceso de pulido y desbaste el Capítulo I brinda información básica, general y esencial sobre las características, elementos, técnicas, funciones del pulido metalográfico.

En el capítulo II se analizan las diferentes alternativas consideradas para el diseño y la construcción del sistema de desbaste así como para la transmisión de potencia, posteriormente se seleccionan las alternativas que cumplan de mejor manera los objetivos y necesidades del proyecto.

El capítulo III contempla el diseño, para la cual se recurre a numerosas técnicas, teorías, métodos y ecuaciones que transforman parámetros en elementos y sistemas que cumplen una función específica en el proyecto.

Después de definir un diseño, se establece un proceso de producción, construcción y montaje, presentes en el Capítulo IV, además de establecer el proceso de mantenimiento que permita a la máquina operar en buenas condiciones.

Un factor determinante en un proyecto es el costo, del cual dependerán importantes decisiones, por lo cual en el Capítulo V se detallan los costos involucrados en la creación del prototipo, los costos han sido divididos en directos e indirectos para un mejor entendimiento y desglose.

En base a las experiencias y resultados en la ejecución del proyecto se detalla dentro del Capítulo VI las conclusiones y recomendaciones.

Finalmente se presentan anexos, en los cuales se puede encontrar información adicional como fotografías, protocolos de ensayo, catálogos, los planos de construcción, entre otros.

PRESENTACIÓN

Actualmente la industria ecuatoriana se encuentra en crecimiento y busca apoyo en las universidades y centros de investigación, el Laboratorio de Metalografía de la Escuela Politécnica Nacional proporciona una valiosa ayuda al sector productivo, razón por la cual el mismo requiere un mejor equipamiento para poder mejorar su servicio e impartir de mejor manera el conocimiento en sus instalaciones, además que particularmente la elaboración de probetas metalográficas es una actividad esencial en el análisis de las fallas que ocurren en la industria nacional y la investigación

En la preparación de probetas metalográficas es necesario de un pulido de desbaste, y procesos de pulido de mayor finura consecutivamente. Para realizar el desbaste se emplea papel abrasivo con tamaño de grano 120 y 180 siendo una labor específicamente manual, razón por la cual el presente proyecto pretende ayudar al operador con esta tarea, la desbastadora de probetas metalográficas contempla tamaños máximos de probetas de 25 [cm²] (4 in²) de área a pulir.

El desarrollo del diseño y construcción sigue una metodología en la cual se identifican alternativas, se escogen las mejores propuestas, consecutivamente se realiza el dimensionamiento de los elementos, selección de materiales, cálculos a partir de los parámetros iniciales identificados. Adicionalmente se establece un procedimiento para la construcción, montaje de los elementos, mantenimiento de la máquina y un análisis de costos.

El presente proyecto pretende aportar al desarrollo del laboratorio de metalografía y de esta manera participar en el crecimiento industrial del país.

CAPITULO 1.

GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCIÓN

La metalografía, por más de un siglo, ha sido una valiosa herramienta en el progreso de la humanidad, ha contribuido al avance tecnológico en el desarrollo de nuevos materiales, aporta significativamente con información necesaria para conocer las propiedades físicas y mecánicas, microestructura y composición química, además de ser de gran utilidad para el análisis de falla de los materiales. La metalografía en sí, es el estudio de la composición, estructura y constitución de los metales, aleaciones y diferentes materiales, con la finalidad de relacionar dichas características con las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

En metalografía, la inspección de los materiales se la puede realizar de manera macroscópica y microscópica, para lo cual, se debe magnificar la escala visual en un rango que va desde 20X a 1000000X, incluyendo el análisis de estructuras cristalinas por medio de técnicas como la difracción de Rayos X. Sin embargo la herramienta más empleada en la metalografía es el microscopio liviano, con rangos de magnificación que oscilan entre 50X y 5000X.

De igual manera, el análisis microscópico puede brindar escasa información si la probeta metalográfica no es preparada adecuadamente, para lo cual se necesita de métodos y técnicas especiales.

1.2.EVOLUCIÓN DE LA METALOGRAFÍA

Henry Clifton Sorby, en 1863, fue la primera persona en examinar bajo el microscopio un metal correctamente pulido y atacado químicamente. Esta aplicación del microscopio apareció 2 siglos más tarde que el microscopio biológico, esto se debe a que los metales requieren una cuidadosa preparación de la superficie. A diferencia de las muestras biológicas, los metales son opacos, lo que requiere que el microscopio trabaje con luz reflejada, es decir que la luz se refleje desde la superficie del metal. Sorby comprendió que necesitaba una superficie limpia que pueda reflejar

la luz del microscopio, además notó que el pulido final no debe dar brillo pero debe estar perfectamente pulido para destacar todas las irregularidades del material.

Otro aspecto importante dentro del análisis metalográfico es el ataque químico de las probetas metálicas. Una superficie extremadamente pulida no presenta rasgos distintivos al ser examinada con el microscopio ya que la luz se refleja uniformemente en la superficie y presenta un contraste uniforme y no distintivo para el ojo humano. Por ello se necesitan técnicas adecuadas para incrementar el contraste entre las diferentes fases que constituyen el metal, estas técnicas incluyen el ataque químico, e iluminación especial del microscopio. La técnica del ataque químico es una de las técnicas más antiguas.

Sorby fue el primero en atacar probetas metálicas y observar la verdadera microestructura con un microscopio. Sorby primero cortó y pulió completamente sus probetas con el fin de remover al máximo todos los rasgos de rugosidad de las mismas, luego del pulido, empleó ácido nítrico diluido en agua para atacar las probetas y siguió con este procedimiento hasta encontrar el ataque adecuado.

Sorby no pudo descifrar las razones exactas para el éxito de su método de ensayo, pero las estructuras reportadas por él siguen siendo aceptadas como las correctas.

1.3.PROCESO DE PULIDO METALOGRAFICO

1.3.1. FINALIDAD

El objetivo de emplear probetas con un pulido metalográfico es poder analizar correctamente su estructura y composición en el microscopio. Dichas inspecciones pueden dar amplia información sobre el material, como el tamaño de grano; el tamaño y la distribución de fases de una aleación; la presencia de inclusiones no metálicas y de segregaciones; y, otras heterogeneidades, que pueden modificar el comportamiento del material y sus propiedades. La preparación de las probetas metalográficas es determinante para revelar información acertada y valiosa. Una preparación incorrecta de la probeta podría eliminar las inclusiones importantes, destruir los bordes de grano, revenir a un acero templado, lo que, en resumen, puede indicar una estructura completamente diferente a la original del material, al menos en

la superficie de éste y, en conclusión, esto generaría una interpretación incorrecta del material. Es por ello que se realiza el pulido metalográfico con la finalidad de obtener una superficie pulimentada por eliminación o corte de material superficial tratando de eliminar al mínimo la deformación o flujo del mismo. Esta situación es contraria a los procesos de abrillantado, en las cuales el brillo se logra principalmente por la fluencia del metal superficial.

La correcta preparación de la probeta consiste en la obtención de una superficie completamente plana, para ello se emplea papeles de esmeril de finura de grano creciente para realizar un semipulido, y finalmente terminar con un pulido fino sobre discos provistos de paños. De esa manera, se puede obtener una superficie idónea para, posteriormente, realizar el ataque y observar su estructura.

1.3.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.3.2.1. Abrasividad

Es el proceso mediante el cual se remueve material superficial, producto del corte, en un proceso de deslizamiento, donde la dureza es la generadora de resistencia a dicho corte.

1.3.2.2. Proceso abrasivo

El proceso de abrasión ocurre al eliminar, por corte, material en la superficie de pulido, donde el material fluye y se distorsiona por el contacto entre la superficie pulida y las partículas abrasivas de dureza relativamente alta, las cuales tienen aristas y vértices agudos que facilitan el corte del material; además, estas partículas abrasivas deben tener la cualidad de generar nuevas aristas y vértices cortantes, el momento de la ruptura.

1.3.2.3. Mallado

Se identifica el papel abrasivo de acuerdo con el tamaño de grano que también se denomina mallado. El mallado es el número promedio de partículas abrasivas por pulgada cuadrada, cuanto menor es el número de grano o mallado, mayor es el tamaño de grano, y por tanto más vasto será el pulido.

1.3.2.4. Tipos de papel abrasivo

El soporte, es la base sobre la cual se adhieren las partículas abrasivas, entre los cuales tenemos:

Papel. Es el soporte mayormente utilizado y más económico. Tiene resistencia y flexibilidad y se utiliza sobre todo, en hojas de lija, para el lijado manual de maderas. En el lijado húmedo (lijas al agua) se impregna con una sustancia resistente al agua. La lija al agua se utiliza para acabados muy finos de metales y plásticos. Llegan hasta 1200 granos por pulgada cuadrada.

Fibra vulcanizada. Tiene más rigidez pero máxima resistencia. Se utiliza mucho en las hojas de lija de metales para amoladoras angulares, debido al alto número de revoluciones por minuto que alcanzan.

Tejido de algodón o poliéster. Es más resistente y flexible, pero también más caro. Se utiliza mucho en lijas manuales para metales y es imprescindible en las lijadoras de banda.⁽¹³⁾

En el mercado nacional se puede encontrar bandas de diferentes líneas:

- La línea R•Y-98 por su estructura y componentes, es una versión adecuada en el desbaste y está conformado de metales suaves y no ferrosos, como el aluminio o el bronce, el respaldo es de tela poliéster algodón, de elevada resistencia e impermeable, soporta graduaciones ANSI que van del P40 al P120 y el grano es de carburo de silicio.



Figura 1.1 Banda Abrasiva R-98 ⁽¹⁾.

- La línea X-88 optimiza la capacidad de remoción de material y alarga la vida de la banda. Es de mayor rigidez y larga vida, además presenta versatilidad

de usos, es apropiada en el tratamiento de superficies de metal; acabado gradual de superficies; recomendable también en madera y en metales no ferrosos. El respaldo es de algodón rígido, la graduación ANSI va del 24 al 120 y utiliza como grano abrasivo óxido de aluminio.



Figura 1.2 Banda Abrasiva X-88 ⁽¹⁾.

- La línea R•Y- 88 está diseñada para el sector industrial y de tareas muy demandantes, particularmente la Industria Metalmeccánica. El respaldo junto con el abrasivo brindan una elevada capacidad de remoción de material y acabados homogéneos que la hacen recomendable en el conformado de superficies. Ofrece un buen desempeño en el caso de metales no ferrosos. Permiten acabado gradual en superficies con elevada resistencia, tenacidad y superficies de gran calidad, el respaldo es de poliéster o algodón lavable, la graduación en R-88 va del P050 al P120 en Y-88 va del P024 al P040, el grano abrasivo es óxido de aluminio.



Figura 1.3 Banda Abrasiva R-88 ⁽¹⁾.

- La línea J•X-86 (Roja) es de usos generales en la industria, el taller o la carpintería, buena para trabajar sobre metales o madera, brinda un balance ideal entre rendimiento y costo, para el lijado de madera en blanco o no tratada; metales ferrosos y no ferrosos; permite un afinado gradual de grandes superficies. Es la línea más extensa en códigos disponibles por la universalidad de usos, el respaldo es de tela algodón (X semi-rígida, J flexible), la graduación ANSI J-86 es para granos medios a finos, en X-86 es para granos gruesos y el grano abrasivo es de óxido de aluminio.⁽¹⁾



Figura 1.4 Banda Abrasiva X-86 ⁽¹⁾.

Otro elemento necesario para adherir las partículas abrasivas al soporte, es el aglutinante, el cual puede ser una resina sintética (mayor resistencia) o cola natural (muy utilizada en hojas de lija manuales).

1.3.2.5. Materiales abrasivos

En lo que respecta a la física y propiedades mecánicas de un abrasivo, éste debe poseer una dureza relativamente alta, además, en su forma externa, las partículas deben presentar numerosas aristas agudas y vértices cortantes, inclusive si las partículas abrasivas se rompen o se fracturan durante el proceso, deben hacerlo de tal manera que se generen nuevas aristas agudas y vértices cortantes; por último, la naturaleza del abrasivo debe permitir su fácil clasificación, según el tamaño de grano, luego de realizado el proceso de pulverización.

Los abrasivos cuyas partículas son esféricas o que, fácilmente, se redondean durante el proceso de pulido y desbaste, no son recomendados para metalografía, ya

que éstas pueden rodar entre el material a ser inspeccionado y el soporte del abrasivo haciendo fluir el material en la superficie.

Entre los principales abrasivos empleados en metalografía, se pueden citar los siguientes:

Polvo de Diamante.- Es el abrasivo que más se aproxima al ideal, se lo emplea tanto para el pulido de metales comunes, como para el de materiales extremadamente duros. El polvo de diamante comercial, se lo encuentra en tamaños comprendidos entre 120 a 0.5 micras. Es común al trabajar con polvo de diamante el empleo de aceite de oliva, de lavanda, o aceites minerales como lubricantes.

Alúndum.- Es muy usado para el pulido intermedio o preliminar de las probetas, el alúndum es óxido de aluminio fundido, su tamaño varía entre 500 y 600 mallas, se emplean en forma de una suspensión acuosa, que se agrega al paño de pulido. Es común el empleo de carborundo (carburo de silicio) o el carburo de boro en este paso del pulido.

Óxido de Magnesio.- Este tipo de abrasivo es muy recomendable para el pulido final de materiales blandos, como el aluminio y magnesio. El óxido de magnesio se caracteriza por poseer partículas octaédricas de tamaño uniforme, dureza alta y de aristas bien definidas. El óxido de magnesio expuesto a la humedad del aire o al contacto con agua común, reacciona lentamente, formando hidróxidos que a la larga inutilizan el producto, por ello, es recomendable la utilización de óxido de magnesio nuevo, o que no haya estado expuesto al aire y que su suspensión sea en agua destilada.

Alúmina (Óxido de Aluminio).- Es el abrasivo más universal y satisfactorio dentro de la metalografía, comercialmente, se lo puede encontrar en forma de polvo seco (alúmina levigada), o en formas de pasta o acuosas. La alúmina existe en 3 formas cristalográficas: alfa, beta y gamma, de las cuales las que se emplean como abrasivos, son las formas alfa y gamma. La alúmina alfa, tiene una forma cristalina hexagonal y se la emplea en tamaños aproximados de partícula de 0.3 micras, mientras que la alúmina gamma, tiene una forma cristalina cúbica y se lo emplea en tamaños aproximados de partícula de 0.1 micras.

Otros abrasivos.- Otros abrasivos que se han empleado con éxito en el pulido metalográfico, son el óxido de cromo y el óxido de hierro, comúnmente llamado rojo de joyeros. Sin embargo, este último tiende a hacer fluir demasiado el metal superficial.

1.3.2.6. Refrigeración

El proceso de refrigeración es necesario para mantener las propiedades estructurales de la probeta metalográfica, en la zona donde se realiza el corte, sin la refrigeración, el análisis metalográfico puede arrojar falsos valores producidos por cambios estructurales en la superficie, provocados por la variación de temperatura, además, la refrigeración continua, ayuda a remover las partículas producto del desbaste del material y desgaste del papel abrasivo, que pueden provocar rayaduras profundas en la superficie de la probeta.

1.3.2.7. Pulido electrolítico

Este tipo de pulido, disminuye muchas dificultades que se presentan en el pulido mecánico, ya que se evita la formación de capas de metal distorsionado. Es muy empleado para materiales blandos y aleaciones que fácilmente se endurecen por deformación en frío, como es el caso del acero inoxidable austenítico. El acabado que se consigue por medio del pulido electrolítico, es el mismo que se da en un pulido mecánico bien hecho, pero con la diferencia, que no se genera metal distorsionado, ahorrando tiempo en la examinación. La principal desventaja de este método, es la destrucción, parcial o total, de las inclusiones no metálicas del material, por reacción química con el electrolito.

1.3.3. ETAPAS DEL PULIDO METALGRÁFICO

1.3.3.1. Toma de muestras (Extracción de la probeta)

Es de suma importancia, la elección de la muestra que va a ser analizada, ya que se debe tomar en cuenta que proporcione la información que se requiere, por ejemplo, en el caso de analizar un material de un elemento fracturado, lo recomendable es extraer la muestra de una sección próxima al lugar de falla, ya que es de éste de

donde se podrá obtener una información más amplia. Como complemento a ello se puede seleccionar una muestra de una zona normal sin falla, para que se puedan realizar comparaciones y así obtener conclusiones más detalladas. Al analizar piezas laminadas, es recomendable extraer muestras transversales y longitudinales a la dirección de laminación, ya que podrían existir inclusiones que no se indiquen claramente, sobre probetas tomadas en una sola dirección. De igual manera, es de gran importancia, sobretodo en elementos forjados y laminados, el examen de los bordes de los materiales, ya que de esta forma se puede determinar si existen zonas decarburadas.

Si la sección a tomarse como muestra, es relativamente blanda se puede realizar su extracción por medio de corte manual o mecánico, con una sierra. Cuando las aleaciones son demasiado frágiles, como fundiciones y ciertas clases de bronce, se puede romper el material con un martillo y seleccionar una muestra adecuada.

Las muestras de materiales muy duros, como los aceros templados, que no pueden ser serrados con facilidad, por lo general, se pueden cortar con la utilización de discos abrasivos, los mismos que son delgados, de alrededor de 1.5mm de espesor y son un conglomerado de un abrasivo adecuado que puede ser esmeril, carborundo, o polvo de diamante. El método de corte, consiste en que el disco gira a velocidad relativamente alta, efectuando el desprendimiento de material por medio de los elementos abrasivos, pero se debe tener precaución en emplear refrigeración en el momento de corte, con el fin de evitar cambios estructurales en el material, a causa de la elevada temperatura y, además, de ser posible, las probetas, deben tener un tamaño cómodo para manejar. Las probetas de superficie relativamente grande requieren de mayores tiempos de pulido, mientras que, las probetas muy pequeñas, tienden a redondearse durante el desbaste. Las probetas de manejo más cómodo, son aquellas con dimensiones en la superficie a pulir no mayores a 5 [cm²] (0.78 in²).

1.3.3.2. Desbaste grueso

El desbaste grueso, se lo realiza con la finalidad de obtener la planicidad necesaria en la superficie de trabajo de una manera rápida. Los métodos más comunes para este tipo de desbaste, son por medio de una desbastadora de cinta o una de disco, las cuales emplean papeles abrasivos con tamaños entre 80 y 120 granos por pulgada cuadrada, existen otros métodos de desbaste grueso como son discos abrasivos pero dichos métodos no son muy empleados ya que la superficie final no obtiene la planicidad adecuada. Para no alterar la estructura del material, se lo debe sumergir a éste en agua cada cierto tiempo, en caso de que la desbastadora no posea un sistema de refrigeración propio. También se debe considerar la presión de desbaste, ya que, si la misma es demasiado elevada, además de producirse rayaduras difíciles de eliminar después, puede producir alteraciones en la estructura. Cuando la superficie de la probeta a ser examinada, se encuentra completamente plana y se han eliminado las irregularidades notorias, se da por terminado el desbaste grueso.

1.3.3.3. Desbaste fino

La finalidad del desbaste fino, es eliminar las rayas producidas anteriormente, por el desbaste grueso. Este desbaste, comúnmente, se lo realiza con papeles abrasivos o papeles de esmeril, cuyos tamaños oscilan entre 240 y 600 granos por pulgada cuadrada. El desbaste fino, se lo realiza, por lo general, a mano, colocando el papel sobre una superficie totalmente plana como por ejemplo, sobre una luna de vidrio y realizando el desbaste en una sola dirección, ejerciendo una presión relativamente baja. El final de la operación sobre un papel, viene determinado por la desaparición de las rayas producidas en el desbaste grueso o, con el papel anteriormente empleado; para poder reconocerlo, se opera de manera que las nuevas rayas sean perpendiculares a las anteriores y de esa manera es muy sencillo ver cuando las nuevas rayas más finas sustituyen a las anteriores más gruesas.

Para desbastar probetas de aleaciones tratadas térmicamente o, en general, de muchos metales blandos, es necesario el empleo de un lubricante sobre el papel abrasivo que, entre otros, puede ser aceite, gasolina, agua, o mezclas de glicerina.

En casos especiales, como el desbaste de magnesio y sus aleaciones, o de plomo y sus aleaciones se recomienda continuar el proceso de desbaste fino, empleando papeles de mayor número de granos por pulgada cuadrada.

1.3.3.4. Pulido preliminar

El pulido preliminar, se lo realiza para desaparecer las rayas producidas durante la última operación de desbaste. Para ésta operación, se emplea un disco de pulido, cubierto con paño de lana, paño de billar o lona de peso relativamente bajo; se emplea como abrasivo alúndum o carborundo de 600 mallas (granos por pulgada cuadrada) suspendido en agua. La cantidad recomendada es de 15 [g] de abrasivo por cada 100 [cm³] de agua.

El pulido preliminar, ahorra grandes tiempos en la obtención de superficies altamente pulimentadas. Para la realización de este tipo de desbaste, se mantiene firmemente la probeta a ser desbastada, sobre el disco que gira y, durante la operación, se mueve la probeta, del borde al centro, con el fin de desgastar uniformemente el abrasivo.

Se debe tomar en cuenta la humedad del paño; si ésta es excesiva, tarda mucho el proceso de pulido, mientras que, si es muy baja, se corre el riesgo de manchar la probeta. La humedad óptima, se la puede notar al separar la probeta del paño y notar que la capa de humedad se debe evaporar entre 1 a 5 segundos.

1.3.3.5. Pulido final

La finalidad de este proceso, es eliminar las rayas producidas durante el pulido preliminar y dar lugar a una superficie libre de rayas y con el pulido adecuado.

El pulido final, se lo realiza colocando sobre disco de pulir, un paño de pelo largo, como el terciopelo. Según el material a pulir, se emplea el abrasivo y según la experiencia, el que mejores resultados brinda, es la alúmina levigada. Durante el pulido final, se presiona moderadamente la probeta sobre el disco, moviéndolo continuamente de la periferia al centro del disco; al finalizar éste proceso, es recomendable, girar la probeta en sentido contrario al de la rotación del disco, con el

fin de eliminar las llamadas “colas de cometa”. Dichas formaciones, son inevitables cuando se pule en una sola dirección.

Una vez finalizado el proceso de pulido, hay que tomar en cuenta algunas indicaciones. La superficie pulida no debe tener contacto con objetos extraños, tampoco debe manipularse directamente con los dedos, ya que puede producir un ataque desigual.

La probeta pulida, puede atacarse inmediatamente después del pulido o se puede guardar para un ataque posterior, siempre y cuando, se considere que no esté expuesta a corrosión, ni a manipulaciones inadecuadas.

1.3.3.6. Ataque químico

Debido a que, el fin de una inspección metalográfica, es determinar la estructura de una probeta, es necesario, que los diferentes elementos estructurales se encuentren delineados completamente, y esto se consigue gracias al ataque químico.

En las distintas aleaciones compuestas de varias fases, los constituyentes se hacen visibles por el ataque diferencial, es decir, el manchado de uno o varios componentes, puesto que estos reaccionan a diferentes velocidades.

Al realizar la preparación de una probeta metalográfica, se genera una fina capa de metal deformado en frío, llamado también metal distorsionado, debido al contacto de la superficie con el abrasivo y a los cambios de temperatura que se den, haciendo fluir al metal más superficial. Esta formación de metal distorsionado es inevitable, por más cuidadosamente que se trate a la probeta. Los estudios realizados en metalografía, han demostrado que se puede eliminar dicha fluencia, por interacción atómica, mediante una disolución química durante el ataque; es por esto que, la superficie observada después del ataque, no se encuentra bajo la influencia de esta distorsión.

La cantidad de metal distorsionado, depende de varios factores entre los cuales se puede citar:

- La composición química y estructural de la probeta;
- Los métodos empleados en el desbaste y el pulido;
- El cuidado puesto en la preparación; y
- La naturaleza de los abrasivos empleados en el pulido.

La manera recomendada para eliminar, mayoritariamente, la cantidad de metal distorsionado, y evitar que la probeta indique una pseudoestructura, es realizando varios ataques y pulidos alternados; el tiempo de pulido alternante, debe ser menor del pulido final y con una presión sumamente suave, para evitar la formación de nuevo metal distorsionado.

Los reactivos adecuados para el ataque metalográfico, se componen de ácidos orgánicos e inorgánicos, álcalis y otras sustancias más complejas, disueltas en solventes apropiados como agua, alcohol, glicerina, entre otros. El apropiado ataque de una probeta, depende de la composición del reactivo, es decir, el reactivo debe responder apropiadamente a la estructura del material, es por ello, que se emplean distintos tipos de reactivos según la composición de material.

El nital y el picrato sódico hirviente, se recomiendan para el ataque del acero. Éste último es un reactivo específico que permite distinguir claramente entre la ferrita y el carburo de hierro; por el contrario, el nital no es un reactivo recomendado para diferenciar las fases anteriormente citadas, pero es muy adecuado, para delinear los bordes de grano en la ferrita.

Al aplicar un reactivo sobre una superficie pulida, los detalles estructurales se manifiestan, en una parte, por destrucción selectiva de la superficie, esto se debe a que las diferentes fases en una aleación polifásica, tienen diferentes velocidades de disolución con el reactivo; y, en otra parte, porque los reactivos, de alguna manera, colorean o manchan diferentes fases, como es el caso del picrato sódico hirviente, que ennegrece el carburo de hierro existente en el acero.

El mecanismo de ataque de las aleaciones polifásicas, es de naturaleza electroquímica; eso, se debe a la diferencia de potencial que se crea entre las fases

del material y el reactivo, lo que, en consecuencia, hace que las fases de mayor potencial, se comporten anódicamente y se disuelvan más fácilmente, que las fases de bajo potencial que actúan catódicamente. La diferencia de potencial entre las fases anódicas y catódicas es, por lo general, lo suficientemente elevada para que la fase más electropositiva se disuelva con rapidez; sin embargo, hay que tener cuidado en el manejo de los tiempos de ataque para evitar un sobre ataque.

Como consecuencia del ataque, las fases disueltas (fases anódicas) se encuentran relativamente más profundas en relación a la superficie de pulido y, microscópicamente, se las ve más oscuras y viceversa para las fases catódicas.

El mecanismo de ataque de las aleaciones monofásicas, es completamente diferente al de las aleaciones polifásicas, por lo tanto, resulta difícil explicar el fenómeno del ataque diferencial que se presenta en éstas, ya que la diferencia de potencial entre los bordes de grano y los granos propiamente dichos; y, entre las inclusiones no solubles y el metal base, es demasiado baja. En este tipo de aleaciones, la diferenciación se da, debido a la diferente facilidad de disolución de cada grano, por la dirección cristalográfica propia del mismo, en consecuencia el ataque es diferente para cada grano.

1.3.3.7. Consideraciones en el ataque químico

La consideración preliminar, antes de realizar el ataque químico, es la selección del reactivo adecuado, tomando en cuenta que, cada reactivo, tiene un uso específico e instrucciones diferentes, en lo que respecta a temperatura de trabajo y tiempo de ataque.

Los reactivos se aplican, por lo general, por inmersión de la probeta en el reactivo o poniendo en contacto la superficie pulida, con un algodón impregnado de reactivo.

El tiempo de ataque, es otro factor muy importante para obtener un procedimiento adecuado; éste tiempo dependerá del material de la probeta y el tipo de reactivo empleado, oscilando entre pocos segundos y más de 30 minutos.

1.4. SISTEMAS EMPLEADOS PARA EL PULIDO MECANICO

Debido a que, el desbaste a mano de una probeta, es un trabajo muy pesado y requiere mucho tiempo, sobre todo, cuando se requiere pulir más de una probeta, se idearon sistemas automáticos y semiautomáticos de desbaste, gracias a dichos sistemas, se ha logrado reducir notoriamente el tiempo de preparación de una probeta.

A continuación, se citan algunos de los sistemas más comunes que se emplean para el desbaste de probetas metalográficas.

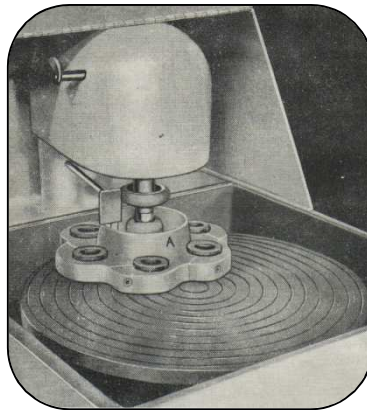


Figura 1.5 Unidad para el desbaste y pulido metálico de probetas metalográficas ⁽²⁾.

1.4.1. DESBASTADORAS CON PAPEL ABRASIVO

Son los sistemas de desbaste más conocidos y más empleados; dentro de ellos, se tiene el sistema de desbastadora de cinta o de banda, el cual consiste en una cinta de papel abrasivo que tiene un movimiento longitudinal rotatorio, por medio de rodillos que se encargan de poner la cinta en movimiento. Se debe tener facilidad de intercambio del papel abrasivo. Otro sistema de desbaste con papel abrasivo, es el que se realiza empleando un disco giratorio, el cual se cubre con papel abrasivo por medio de un anillo de fijación; el disco debe girar entre 400 y 600 [rpm].

Se debe tomar mucha precaución en no exagerar la presión de desbaste, para no producir un calentamiento excesivo en las probetas.

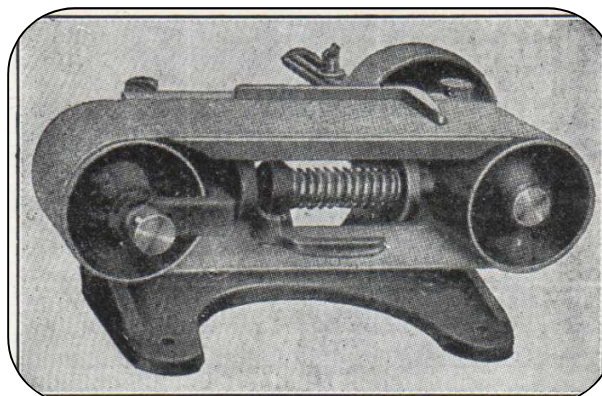


Figura 1.6 Pulidora de Cinta Abrasiva ⁽³⁾.

1.4.2. DISCOS CON PARAFINA

Este sistema es muy eficaz, emplea discos giratorios recubiertos con parafina en lugar de papel abrasivo. Este sistema presenta la ventaja de producir menos metal distorsionado en las probetas tratadas.

Un disco con parafina, es simplemente un disco de pulidora, cubierto con una capa de parafina de alto punto de fusión, o con un paño de billar o lona, impregnado con parafina. En el primer caso, se maquina una capa de parafina con el fin de que ésta quede plana o, si es posible, se graba un espiral en ella, con la finalidad de retener una mayor cantidad de suspensión de abrasivo durante el desbaste. Dichos discos se cargan, antes y durante la operación de desbaste, con suspensiones de polvos abrasivos en una solución acuosa de jabón, cuyas finuras oscilan entre 200 y 600 mallas.

1.4.3. DISCOS DE PLOMO

Consiste en el empleo de una serie de discos de plomo, cargados con abrasivos adecuados de tamaño decreciente de partículas. La ventaja de este método, al igual que el método de los discos con parafina, es que produce menor cantidad de metal distorsionado, se preservan las inclusiones no metálicas y se prepara rápidamente la probeta. Debido a la poca distorsión producida en el metal, este método es adecuado para la preparación de probetas de materiales que se deforman rápidamente en frío, como es el caso de los aceros inoxidable austeníticos.

Un disco de plomo, es un disco de pulidora cubierto con una capa de plomo, incluso

de una aleación de 50% plomo y 50% estaño para obtener mayor dureza del disco; en dicho disco, se graba una espiral en sentido contrario al de la rotación, el objetivo de esta espiral, es retener la mayor cantidad posible de la suspensión acuosa del abrasivo.

El principio de funcionamiento de este sistema, consiste en que, las partículas de material abrasivo, se incrustan temporalmente sobre la matriz de plomo, estas partículas sobresalen del disco y actúan como material cortante. Durante el desbaste, muchas de estas partículas, se arrancan y son arrastradas hacia los residuos, por tanto, es necesaria, la aplicación de una mayor cantidad de suspensión durante el desbaste. La suspensión del abrasivo tiene una relación de 25 [g] de polvo de esmeril por cada 500 [cm³] de agua.

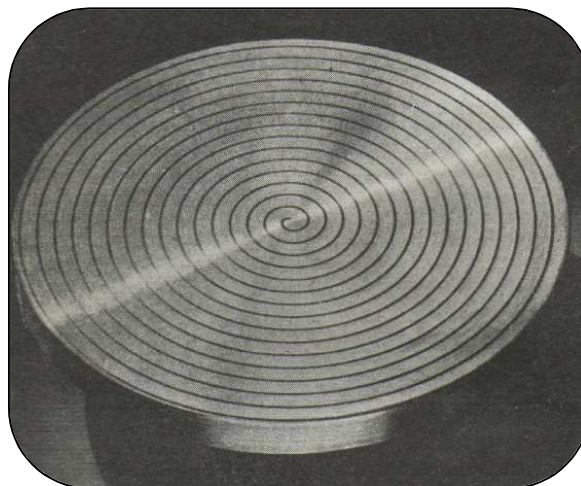


Figura 1.7 Disco de Plomo ⁽²⁾.

CAPITULO 2.

PLANTEAMIENTO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En vista de las dificultades que se presentan en el proceso de pulido de probetas metalográficas, tales como el exceso de tiempo y el esfuerzo realizado por el operador, sobre todo durante el desbaste intermedio, en el cual se emplea papel abrasivo de entre 180 y 240 granos por pulgada cuadrada, se ha generado la necesidad de implementar un sistema de desbaste intermedio, que se caracterice por el ahorro de tiempo y facilidad para el operador en el momento de realizar el trabajo; dicho sistema, debe presentar facilidad de cambio de papel abrasivo, facilidad de operación, mantenimiento económico y óptimo desempeño.

Además, un equipo que presente facilidad en el cambio de papel abrasivo en el mercado nacional, es escaso, de costo elevado y de difícil mantenimiento, lo cual incrementa, aún más, la necesidad de diseño de un sistema mejorado, empleando materiales de sencilla obtención y procesos de producción no complejos.

2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

Cuando se diseña una máquina de cualquier componente, el diseño, además de cumplir con el objetivo general, debe mantener un nivel de uniformidad y la reproducibilidad de los resultados en una determinada gama de variables externas, y debe tener en cuenta factores importantes como la seguridad, el costo y la estética.

2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

- **Estructura y Rigidez.-** Es necesario que el sistema presente estabilidad, baja vibración, y que su estructura sea capaz de soportar el apoyo del operador.
- **Fuente de Energía.-** Dada la facilidad presentada en los laboratorios y talleres, el sistema empleará energía eléctrica como fuente de alimentación.

- **Control de Operación.-** El operario deberá accionar la máquina de una manera sencilla, por medio de un pulsador de encendido y apagado.
- **Protección Anticorrosiva.-** En vista que el sistema trabajará en contacto con el agua, deberá presentar una alta protección anticorrosiva en los elementos mayormente expuestos a corrosión y contacto con el agua.
- **Mantenimiento.-** El sistema, por motivo de optimización de trabajo, requerirá de mantenimiento sencillo, económico y poco frecuente.
- **Operación.-** El sistema de operación no deberá presentar dificultades al usuario.

2.2.2. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS

- **Velocidad del proceso de desbaste.-** Se debe considerar la velocidad de operación de sistemas similares, además de las recomendaciones dadas en libros, manuales y por personas conocedoras del tema.
- **Fricción.-** Para un correcto diseño se debe tomar muy en cuenta la energía necesaria para el desbaste generado por el rozamiento entre el papel abrasivo y la probeta.
- **Sistema de Potencia.-** El sistema empleará un motor para la transformación de energía eléctrica en mecánica y, además, se deberán considerar los medios de regulación de velocidad.
- **Tamaño de la probeta.-** El diseño se realizará tomando en cuenta una dimensión máxima de probeta a pulir de 25 [cm²] (4 in²).
- **Presión de Desbaste.-** Se diseñará el sistema tomando en cuenta la presión más crítica de desbaste.
- **Refrigeración.-** Se debe tomar en cuenta que, en todo pulido para metalografía, es necesaria la constante refrigeración de la probeta con el fin de no alterar mayormente las propiedades de la probeta.
- **Planicidad.-** Se debe considerar que, para el análisis metalográfico el desbaste y pulido de la probeta, debe realizarse sobre una superficie completamente plana.

2.2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO

Empresa: Laboratorio de Metalografía de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN		Producto: Máquina de pulido de desbaste para probetas metalográficas.		Fecha inicial: 14/12/2009 Última revisión: 23/07/2010
				Página 1/1
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	14/12/2009	C	R	Realizar desbaste en probetas empleadas para análisis metalográfico.
Materiales	14/12/2009	C	R	Materiales a desbastar, metales ferrosos y no ferrosos.
Velocidad lineal	14/12/2009	D	R	Entre 2 y 6 [m/s]
Dimensiones	14/12/2009	C	D	Probeta: máx 25 [cm ²]
Fuente de Energía	14/12/2009	D	D	Eléctrica, 220 [V], trifásica.
Control	14/12/2009	C	D	Encendido y apagado de motor y bomba.
Montaje	14/12/2009	C	D	Facilidad de montaje e Intercambio de papel abrasivo.
Seguridad y Ergonomía	14/12/2009	C	D	Carcasa de protección
	14/12/2009	C	D	Espacio para desbaste delimitado
Refrigeración	14/12/2009	C	R	Sistema de enfriamiento de probetas con agua recirculante).

Propone: C = Cliente; D = Diseño

R/D: D = Deseo; R = Requerimiento

2.3.PROPUUESTA DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

2.3.1. SISTEMA DE DESBASTE

En base a la observación de máquinas similares existentes en el mercado, se ha logrado proponer tres diferentes sistemas para desbaste de probetas metalográficas, los cuales serán posteriormente evaluados, con el fin de realizar el diseño de la propuesta idónea.

2.3.1.1. Alternativa 1: Desbastadora de Cinta

Es un sistema que realiza el desbaste de las probetas metalográficas, por medio del movimiento longitudinal rotatorio, de una cinta abrasiva tensada por dos rodillos, los cuales transmiten el movimiento rotacional de un motor.

ESQUEMA

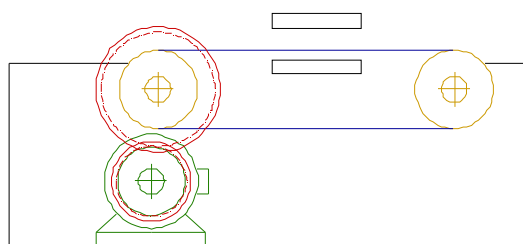


Figura 2.1 Desbastadora de Cinta Abrasiva

CARACTERÍSTICAS

- La potencia del motor se transmite a un rodillo motriz.
- El papel abrasivo tiene forma de banda.
- La tensión de la banda se fija por medio del desplazamiento del rodillo conducido.
- El movimiento se transmite al rodillo, conducido por medio de la banda de lija.
- Transformación del movimiento rotativo a lineal por medio de los rodillos.
- Dirección de aplicación de la fuerza de la probeta, perpendicular a la superficie abrasiva.
- Una placa de apoyo, sirve para mantener plana la superficie de desbaste.

FORTALEZAS

- Facilidad de adquirir las lijas de banda en el mercado.
- Aprovechamiento de todo el material abrasivo de la lija.
- Facilidad de mantenimiento.
- Facilidad para trabajar cualquier geometría.
- Facilidad en el cambio de papel abrasivo.

DEBILIDADES

- La banda tiende a salirse en operación.
- Dificultad de diseño.
- Necesidad de paralelismo entre rodillos.
- El líquido de refrigeración tiende a salir tangencialmente en los rodillos.

2.3.1.2. Alternativa 2: Desbastadora de Disco Rotativo

Consiste en un sistema en el cual el desbaste se realiza mediante el movimiento rotacional de un disco sobre el cual se coloca el papel abrasivo, el disco es movido a través de un motor.

ESQUEMA

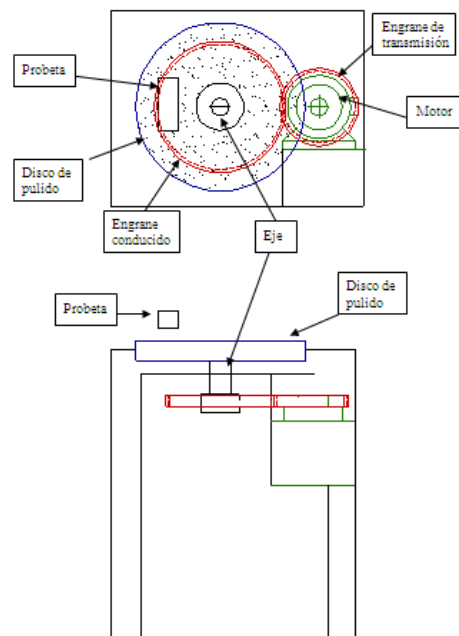


Figura 2.2 Pulidora con Disco Rotatorio

CARACTERÍSTICAS

- Se transmite la potencia del motor al eje de un disco.
- Papel abrasivo en forma de disco.
- Dirección de aplicación de la fuerza de la probeta perpendicular a la superficie abrasiva.
- Papel abrasivo fijo al disco.

FORTALEZAS

- Simplicidad de diseño.
- Menor número de piezas.
- Facilidad para obtener planicidad.

DEBILIDADES

- No se aprovecha toda la superficie del papel abrasivo.
- Dificultad de posicionamiento de probetas.
- La lija debe ser cortada para que adquiera la geometría de disco.
- Dificultad de medir con precisión la velocidad relativa entre probeta y la lija.
- Problemas de desbalance en el disco.
- El motor debe tener condición para posición de trabajo vertical.

2.3.1.3. Alternativa 3: Placa de Movimiento Alternativo

Consiste en un sistema en el cual el desbaste, se realiza por medio del movimiento longitudinal alternativo de una placa, sobre la cual se coloca papel abrasivo, dicho movimiento simula la técnica manual del operador.

ESQUEMA

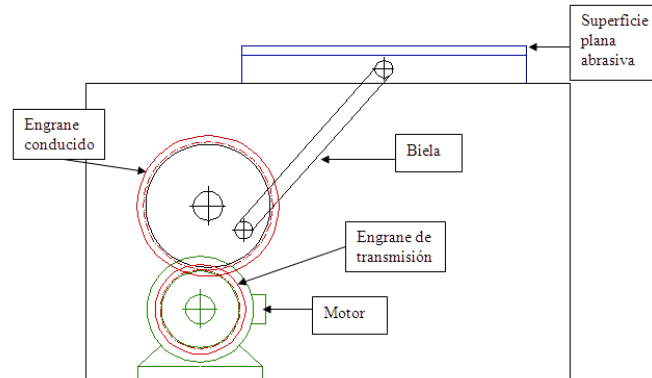


Figura 2.3 Pulidora con Placa de movimiento alternativo

CARACTERÍSTICAS

- Movimiento alternativo del papel abrasivo.
- Transforma el movimiento rotativo en lineal alternativo por medio de un mecanismo biela – manivela.
- Emplea un mecanismo de rieles para el apoyo de una superficie base para el papel abrasivo.
- La longitud de la carrera depende de las dimensiones de la biela y manivela.

FORTALEZAS

- Se puede intercambiar la superficie base de la lija.
- Facilidad de mantenimiento del sistema.
- Permite trabajar probetas de distintas geometrías.

DEBILIDADES

- Inestabilidad del mecanismo.
- Dificultad en manipulación de la probeta.
- Vibración.
- Dificultad para alcanzar grandes velocidades.
- Velocidad relativa no puede permanecer constante entre la probeta y el papel abrasivo.
- La lija debe ser cortada para que adquiera la geometría de la base.
- Necesidad de determinar la longitud de recorrido del papel abrasivo.

2.3.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para transmitir el movimiento del motor al sistema de pulido es necesario un mecanismo de transmisión además de proveer la velocidad necesaria al papel abrasivo, se analizan los tres sistemas más usuales para el mecanismo de transmisión.

2.3.2.1. Alternativa 1: Engranajes

Consiste en ruedas dentadas que transmiten la potencia de un eje al otro por medio del contacto entre sus dientes generando un movimiento circular.

CARACTERÍSTICAS

- Movimiento rotacional.
- Rodadura de los engranajes por contacto entre dientes.

FORTALEZAS

- La vida útil de los engranajes es larga.
- Bajo mantenimiento.
- Relación de transmisión es exacta, no hay problemas de deslizamiento.

DEBILIDADES

- Costo alto.
- Generación de ruido.
- Limitaciones en la transmisión a distancia.

2.3.2.2. Alternativa 2: Cadena

Consiste en el movimiento rotacional de una catalina la cual transmite el movimiento hacia un piñón a través de una cadena cerrada.

CARACTERÍSTICAS

- Movimiento rotacional.
- Rodadura de las catalinas por contacto con la cadena.

FORTALEZAS

- La vida útil es larga.
- Relación de transmisión es exacta, no hay problemas de deslizamiento.

- Se puede transmitir el movimiento a distancia.
- Costo mediano.

DEBILIDADES

- Generación de ruido.
- Desgaste de la cadena.
- Necesidad de tensión en la cadena.

2.3.2.3. Alternativa 3: Banda

Es un sistema en el cual se transmite el movimiento de una polea a otra a través de una banda o correa que envuelve ambas poleas.

CARACTERÍSTICAS

- Movimiento rotacional.
- Rodadura de las poleas por contacto con la banda.

FORTALEZAS

- Bajo costo.
- Sencilla instalación.
- Se puede transmitir el movimiento a distancia.

DEBILIDADES.

- Posible deslizamiento entre polea y banda.
- Necesidad de tensión en la banda.
- Desgaste de la banda.

2.4. ANÁLISIS DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS ⁽¹⁴⁾

Para el análisis de las alternativas propuestas con el fin de determinar la solución más adecuada se ha empleado el *Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados* el cual se basa en tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.

0.5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (igual; =) al de las columnas.

0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

2.4.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DESBASTE

2.4.1.1. Criterios de Evaluación

- Facilidad de Intercambio de papel abrasivo
- Costo
- Montaje
- Mantenimiento
- Fabricación
- Calidad de Pulido

2.4.1.2. Evaluación del peso específico de cada criterio

Calidad de pulido = Intercambio de papel abrasivo > Costo > Mantenimiento = Fabricación > Montaje

Tabla 2.4.1 Evaluación del peso de cada criterio

CRITERIO	Intercambio papel abrasivo	Costo	Montaje	Mantenimiento	Fabricación	Calidad de Pulido	$\Sigma + 1$	Ponderación
Intercambio papel abrasivo		1	1	1	1	0.5	5.5	0.2619
Costo	0		1	1	1	0	4	0.1905
Montaje	0	0		0	0	0	1	0.0476
Mantenimiento	0	0	1		0.5	0	2.5	0.1190
Fabricación	0	0	1	0.5		0	2.5	0.1190
Calidad de Pulido	0.5	1	1	1	1		5.5	0.2619
						suma	21	1

2.4.1.3. Evaluación del peso específico del criterio Intercambio de papel abrasivo

Tabla 2.4.2 Evaluación del peso de criterio para intercambio de papel abrasivo

Banda > Plano Alternativo > Disco

INTERCAMBIO DE PAPEL ABRASIVO	Banda	Plano Alternativo	Disco	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda		1	1	3	0.50
Plano Alternativo	0		1	2	0.33
Disco	0	0		1	0.17
			Suma	6	1.00

2.4.1.4. Evaluación del peso específico del criterio Costo

Tabla 2.4.3 Evaluación del peso de criterio para costo

Disco > Plano Alternativo > Banda

COSTO	Banda	Plano Alternativo	Disco	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda		0	0	1	0.17
Plano Alternativo	1		0	2	0.33
Disco	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.1.5. Evaluación del peso específico del criterio Montaje

Tabla 2.4.4 Evaluación del peso de criterio para montaje

Disco > Banda > Plano Alternativo

MONTAJE	Banda	Plano Alternativo	Disco	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda		1	0	2	0.33
Plano Alternativo	0		0	1	0.17
Disco	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.1.6. Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

Tabla 2.4.5 Evaluación del peso de criterio para mantenimiento

Disco > Plano Alternativo > Banda

MANTENIMIENTO	Banda	Plano Alternativo	Disco	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda		0	0	1	0.17
Plano Alternativo	1		0	2	0.33
Disco	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.1.7. Evaluación del peso específico del criterio Fabricación

Tabla 2.4.6 Evaluación del peso de criterio para fabricación

Disco > Plano Alternativo = Banda

FABRICACIÓN	Banda	Plano Alternativo	Disco	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda		0.5	0	1.5	0.25
Plano Alternativo	0.5		0	1.5	0.25
Disco	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.1.8. Evaluación del peso específico del criterio Calidad de Pulido

Tabla 2.4.7 Evaluación del peso de criterio para calidad de pulido

Banda > Plano Alternativo > Disco

CALIDAD DE PULIDO	Banda	Plano Alternativo	Disco	$\Sigma+1$	Ponderación
Banda		1	1	3	0.50
Plano Alternativo	0		1	2	0.33
Disco	0	0		1	0.17
Suma				6	1.00

2.4.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

2.4.2.1. Criterios de Evaluación

- Mantenimiento
- Costo
- Montaje
- Baja Generación de Ruido
- Vida Útil

2.4.2.2. Evaluación del peso específico de cada criterio

Montaje > Costo = Vida Útil > Mantenimiento > Bajo Ruido

Tabla 2.4.8 Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIO	Mantenimiento	Costo	Montaje	Bajo Ruido	Vida Útil	$\Sigma + 1$	Ponderación
Mantenimiento		0	0	1	0	2	0.1333
Costo	1		0	1	0.5	3.5	0.2333
Montaje	1	1		1	1	5	0.3333
Bajo Ruido	0	0	0		0	1	0.0666
Vida Útil	1	0.5	0	1		3.5	0.2333
					suma	15	1

2.4.2.3. Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

Tabla 2.4.9 Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Engranajes > Cadena = Banda

MANTENIMIENTO	Engranajes	Cadena	Banda	$\Sigma+1$	Ponderación
Engranajes		1	1	3	0.50
Cadena	0		0.5	1.5	0.25
Banda	0	0.5		1.5	0.25
			Suma	6	1.00

2.4.2.4. Evaluación del peso específico del criterio Costo

Tabla 2.4.10 Evaluación del peso específico del criterio costo

Banda > Cadena > Engranajes

COSTO	Engranajes	Cadena	Banda	$\Sigma+1$	Ponderación
Engranajes		0	0	1	0.17
Cadena	1		0	2	0.33
Banda	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.2.5. Evaluación del peso específico del criterio Montaje

Tabla 2.4.11 Evaluación del peso específico del criterio montaje

Banda > Engranajes > Cadena

MONTAJE	Engranajes	Cadena	Banda	$\Sigma+1$	Ponderación
Engranajes		1	0	2	0.33
Cadena	0		0	1	0.17
Banda	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.2.6. Evaluación del peso específico del criterio Baja Generación de Ruido

Tabla 2.4.12 Evaluación del peso específico del criterio baja generación de ruido

Banda > Engranajes > Cadena

BAJO RUIDO	Engranajes	Cadena	Banda	$\Sigma+1$	Ponderación
Engranajes		1	0	2	0.33
Cadena	0		0	1	0.17
Banda	1	1		3	0.50
Suma				6	1.00

2.4.2.7. Evaluación del peso específico del criterio Vida Útil

Tabla 2.4.13 Evaluación del peso específico del criterio vida útil

Engranajes > Cadena > Banda

VIDA ÚTIL	Engranajes	Cadena	Banda	$\Sigma+1$	Ponderación
Engranajes		1	1	3	0.50
Cadena	0		1	2	0.33
Banda	0	0		1	0.17
Suma				6	1.00

2.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para escoger la solución adecuada de cada sistema, se procede a calcular las tablas de conclusiones respectivas, en las cuales se conocerá la prioridad de cada una tomando la número uno, como la alternativa a diseñar.

2.5.1. CONCLUSIONES SISTEMA DE DESBASTE

Tabla 2.5.1 Selección del Sistema de Desbaste

Calidad de pulido = Intercambio de papel abrasivo > Costo > Mantenimiento = Fabricación > Montaje

CONCLUSIÓN	Calidad de Pulido	Intercambio de papel abrasivo	Costo	Mantenimiento	Fabricación	Montaje	Σ	PRIORIDAD
Banda	0.1310	0.1310	0.0324	0.0202	0.0300	0.0080	0.6226	1
Plano Alternativo	0.0864	0.0864	0.0629	0.0393	0.0300	0.0154	0.3204	3
Disco	0.0445	0.0445	0.0952	0.0595	0.0595	0.0233	0.3265	2

2.5.2. CONCLUSIONES SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Tabla 2.5.2 Selección de Sistema de Transmisión

Montaje > Costo = Vida Útil > Mantenimiento > Bajo Ruido

CONCLUSIÓN	Montaje	Costo	Vida Útil	Mantenimiento	Bajo Ruido	Σ	PRIORIDAD
Engranajes	0.1100	0.0396	0.1167	0.0666	0.0220	0.3549	2
Cadena	0.0566	0.0770	0.0770	0.0333	0.0113	0.2552	3
Banda	0.1665	0.1167	0.0396	0.0333	0.0333	0.3894	1

2.5.3. PROTOTIPO FINAL

Para obtener el prototipo final, se escoge la mejor alternativa de cada sistema según las tablas de conclusiones resultantes; por lo tanto, la constitución del prototipo final se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2.5.3 Prototipo Final

SISTEMA	ALTERNATIVA SELECCIONADA
De Desbaste	Papel Abrasivo en Banda
De Transmisión	Polea y Banda

2.5.4. ESQUEMA DEL PROTOTIPO FINAL

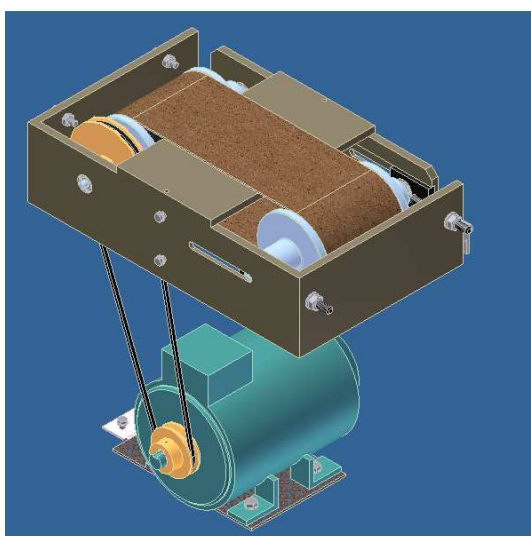


Figura 2.4 Vista Isométrica del Prototipo Final

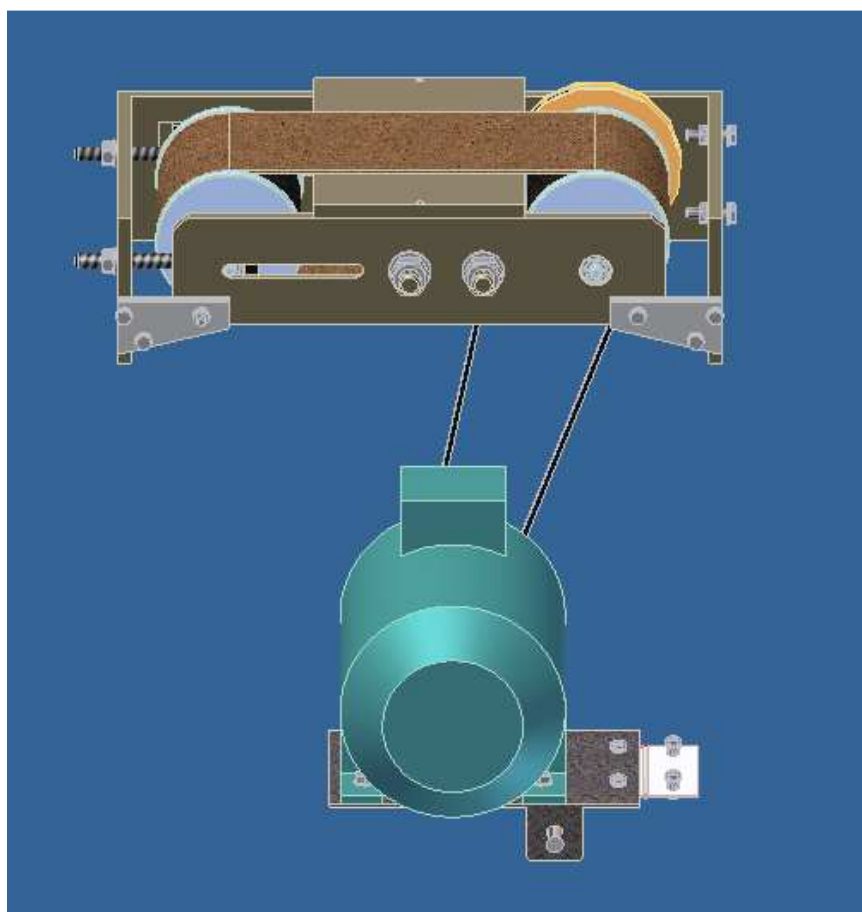


Figura 2.5 Vista Angular Superior del Prototipo Final

CAPITULO 3.

DISEÑO DE LA MÁQUINA DE DESBASTE

3.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para comenzar el diseño, es necesario partir de valores específicos que influirán directamente en los cálculos, dimensionamiento de los elementos de máquinas, selección de los materiales y sistemas a emplear; de esta manera, se asegurará que el diseño cumpla con los requerimientos del cliente, así como las exigencias propias del método común de desbaste.

3.1.1. DIMENSIÓN DE LA PROBETA

De acuerdo a los trabajos realizados en el Laboratorio de Metalografía de la Escuela Politécnica Nacional, las probetas que se extraen para realizar análisis metalográfico, tanto para micrografía como para macrografía, no sobrepasan los 5 [cm] (2 in) en su máxima longitud, es por ello que, como parámetro de diseño, se establece un área máxima de 25 [cm²] (4 in²).

3.1.2. RUGOSIDAD Y COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE LA BANDA ABRASIVA Y LA PROBETA

El valor del coeficiente de rozamiento entre el papel abrasivo y la probeta a ser examinada, es un parámetro fundamental, para determinar la potencia necesaria que requiere la máquina, dichos valores fueron determinados en base a pruebas, con el fin de obtener los parámetros más próximos a las condiciones reales de trabajo en desbaste.

Para determinar los valores más críticos de coeficientes de rozamiento, se emplearon en las pruebas los materiales más comunes con los que se trabaja, en este caso, materiales ferrosos de diferente dureza y de la misma manera papeles abrasivos de diferentes tamaños de grano, concluyendo que el papel abrasivo número 80 es el que genera mayor coeficiente de rozamiento con los distintos materiales.

Como procedimiento para determinar los valores de coeficiente de rozamiento, se empleó el método del plano inclinado, obteniendo de ésta manera el valor del coeficiente estático, al cual se lo consideró como parámetro de diseño con el fin de dar un factor de seguridad añadido, lo cual no sucedería al considerar el coeficiente de rozamiento dinámico.

Cabe recalcar que las pruebas fueron realizadas en seco, es decir sin lubricación, debido a que, en el diseño, el operador tiene la posibilidad de regular la lubricación, siendo lo más crítico el desbaste en seco.

Otro factor importante en la medición del coeficiente de rozamiento, es la condición superficial de la probeta, para lo cual, se realizaron pruebas con la superficie previamente pulida y de la superficie con partículas de óxido, como suele ocurrir al iniciar el pulido, para este análisis se realizaron 20 mediciones, con el fin de obtener una media que refleje con mayor precisión las condiciones reales.

Se tabuló la medida del ángulo, el momento que el acero comienza a deslizarse sobre el plano inclinado.

$$\mu = k_s = k_c = \operatorname{tg} \theta \quad (3.1)$$

Donde:

μ = Coeficiente de rozamiento estático

k_s = Coeficiente de rozamiento estático en superficie ferrosa con óxido

k_c = Coeficiente de rozamiento estático en superficie pulida



Figura 3.1 Plano Inclinado para determinar el coeficiente de rozamiento estático

Tabla 3.1.1 Datos experimentales de coeficiente de rozamiento para el material 1

Material 1 Acero 1020 (29,9 H_{RC})				
Prueba	oxido		pulido	
	Ángulo (°)	ks	Ángulo(°)	kc
1	38	0,781	32	0,625
2	34	0,674	30	0,577
3	36	0,727	31	0,601
4	34	0,674	30	0,577
5	35	0,700	32	0,625
6	37	0,754	32	0,625
7	35	0,700	30	0,577
8	34	0,674	30	0,577
9	36	0,727	31	0,601
10	34	0,674	32	0,625
11	33	0,649	31	0,601
12	36	0,727	32	0,625
13	35	0,700	30	0,577
14	34	0,674	31	0,601
15	37	0,754	32	0,625
16	36	0,727	32	0,625
17	34	0,674	31	0,601
18	37	0,754	33	0,649
19	35	0,700	32	0,625
20	34	0,674	31	0,601
PROMEDIO		0,706		0,607

Tabla 3.1.2 Datos experimentales de coeficiente de rozamiento para el material 2

Material 2 Acero A36 (33,2 H_{RC})				
Prueba	oxido		pulido	
	Ángulo (°)	ks	Ángulo(°)	kc
1	37	0,754	25	0,466
2	36	0,727	26	0,488
3	35	0,700	25	0,466
4	35	0,700	24	0,445
5	34	0,674	26	0,488
6	37	0,754	26	0,488
7	35	0,700	26	0,488
8	38	0,781	25	0,466
9	37	0,754	25	0,466
10	36	0,727	24	0,445
11	36	0,727	24	0,445
12	38	0,781	24	0,445
13	38	0,781	26	0,488
14	36	0,727	25	0,466
15	35	0,700	25	0,466
16	35	0,700	24	0,445
17	36	0,727	25	0,466
18	38	0,781	26	0,488
19	36	0,727	26	0,488
20	36	0,727	25	0,466
PROMEDIO		0,732		0,469

Tabla 3.1.3 Datos experimentales de coeficiente de rozamiento para el material 3

Material 3 Acero 1040 (48,5 H_{RC})				
Prueba	oxido		pulido	
	Ángulo (°)	ks	Ángulo(°)	kc
1	29	0,554	22	0,404
2	28	0,532	23	0,424
3	30	0,577	24	0,445
4	30	0,577	23	0,424
5	29	0,554	24	0,445
6	29	0,554	25	0,466
7	31	0,601	24	0,445
8	29	0,554	25	0,466
9	30	0,577	22	0,404
10	29	0,554	22	0,404
11	29	0,554	24	0,445
12	30	0,577	25	0,466
13	30	0,577	24	0,445
14	30	0,577	23	0,424
15	31	0,601	26	0,488
16	31	0,601	25	0,466
17	29	0,554	24	0,445
18	28	0,532	25	0,466
19	29	0,554	25	0,466
20	30	0,577	26	0,488
PROMEDIO		0,567		0,446

Como parámetro de diseño se consideró un coeficiente de rozamiento de 0,732 (máximo valor) entre el papel abrasivo y la probeta.

$$\mu = 0.732$$

3.1.3. PRESIÓN DE PULIDO

La presión de pulido se la obtuvo en base a pruebas en el laboratorio, para lo cual se realizó la simulación, con tres probetas de formas y tamaños diferentes, sobre un papel abrasivo y con la ayuda de una balanza de precisión, para determinar la fuerza ejercida por el operador.



Figura 3.2 Simulación de la fuerza de pulido sobre balanza de precisión

Como operador, se necesitó la ayuda de una persona familiarizada en el pulido de probetas para simular la presión, el movimiento y la técnica de manera más precisa. El valor considerado en cada prueba fue la fuerza instantánea máxima en cada probeta, para lo cual, se necesitó la ayuda de una cámara fotográfica capaz de realizar varios disparos consecutivamente y así poder registrar los valores.

A continuación se indican los valores para cada probeta:

Tabla 3.1.4 Datos de la Probeta 1 (Simulación con movimiento circular)

Forma	Circular
Diámetro [mm]	35
Área [mm²]	962,1
Fuerza máxima [Kg]	2,81
Presión [KPa]	28,6

Tabla 3.1.5 Datos de Probeta 2 (Simulación con movimiento circular)

Forma	Rectangular
Dimensiones [mm]	102x52
Área [mm²]	5304
Fuerza máxima [Kg]	2,8
Presión [KPa]	5,2

Tabla 3.1.6 Datos de Probeta 3 (Simulación con movimiento circular)

Forma	Circular
Diámetro [mm]	80
Área [mm²]	5026,5
Fuerza máxima [Kg]	3,7
Presión [KPa]	7,2

Como parámetro de diseño en la presión de pulido, se ha tomado el mayor valor del cálculo en las tres probetas 28,62 [KPa].

P= Presión de pulido de diseño

$$P = 28.62 \text{ [KPa]}$$

3.1.4. VELOCIDAD NECESARIA PARA EL PULIDO

Las desbastadoras de disco, trabajan a velocidades rotacionales comprendidas entre 400 y 600 [rpm] ⁽²⁾, lo cual transformado a velocidad lineal, considerando una posición de la probeta entre 5 y 10 [cm] del centro de rotación, es similar a valores entre 2 y 6 [m/s], por lo tanto se deberá tener precaución de dicho rango, al momento de la selección del sistema de transmisión de potencia.

Además de ello, se analizó antes del diseño la velocidad tangencial a la cual se pule una probeta en la máquina de laboratorio de Metalografía, considerando una velocidad de 450 [rpm] del disco de pulido y una posición de la probeta a 5 [cm] de radio, con lo cual, la velocidad tangencial es de 2.36 [m/s], otro factor importante es que, conforme se realiza un desbaste más fino, la velocidad baja, por lo cual no se considera una alta velocidad dentro de este rango para fines de diseño.

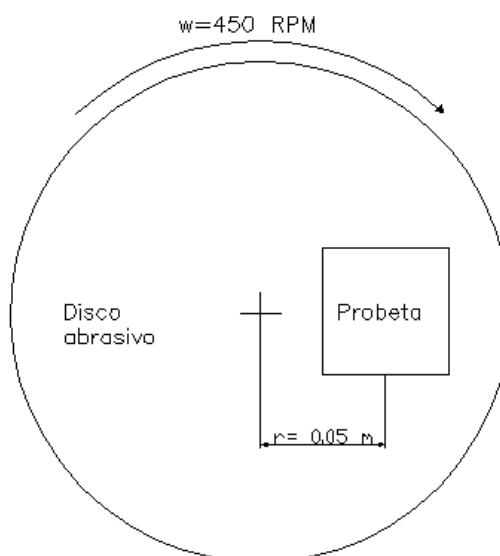


Figura 3.3 Parámetros de la maquina pulidora del laboratorio de metalografía

3.1.5. TENSIÓN DE LA BANDA DE LIJA

La tensión de la cinta abrasiva es variable, según la información obtenida del fabricante, debido a que los diferentes tipos de máquinas existentes en el mercado no consideran un valor constante, sin embargo, según la experiencia, se puede dar un valor máximo recomendable en la tensión de la cinta abrasiva por unidad de longitud de 8.77 [N/cm] (5 lbf/in), parámetro en el cual, se basará el diseño, sin embargo la tensión a la que se encontrará sometida la cinta abrasiva, será menor en la práctica.

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

3.2.1. DISPOSICIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

El sistema de transmisión de potencia, empleará un motor trifásico con la finalidad de transformar la energía eléctrica a mecánica y proveer la energía necesaria para el proceso de desbaste; el motor transmitirá el movimiento rotacional a un rodillo a través de una correa y se variará la velocidad rotacional a través de dos poleas de diferente diámetro; la cinta abrasiva realizará su movimiento a través de un rodillo motriz y un conducido que fijará la tensión.

Adicionalmente, se proveerá al motor de un sistema de tensión, con la finalidad de poder controlar la tensión de la correa.

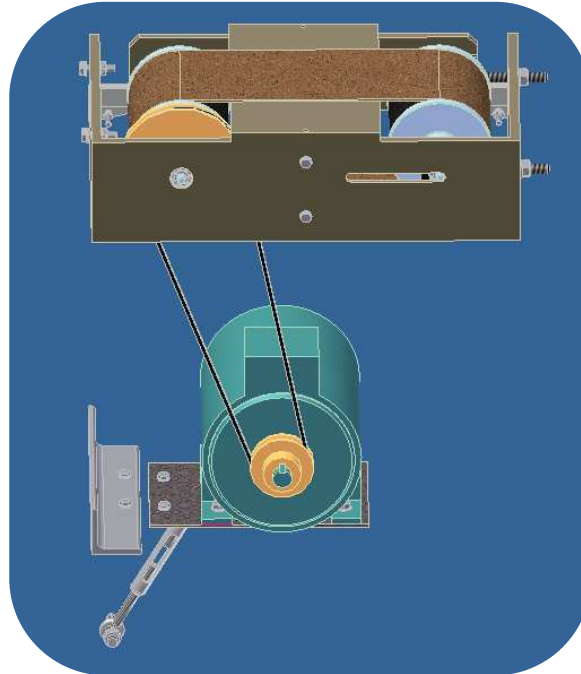


Figura 3.4 Disposición del sistema de transmisión de potencia

3.2.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA Y SELECCIÓN DEL MOTOR

Con el parámetro de diseño de presión mayor, ejercida sobre la probeta metalográfica, (28.623 [KPa]) se determina la máxima fuerza que se aplicaría en un área máxima de un cuadrado de 5.08 [cm] (2 in) por lado, que tendría la probeta de mayor superficie para la cual está diseñada la máquina.

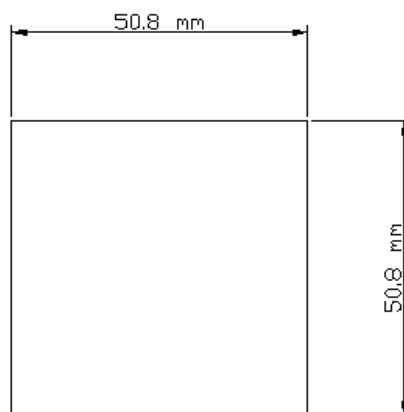


Figura 3.5 Área máxima de desbaste

(3.2)

Donde:

F = Fuerza máxima aplicada sobre la probeta metalográfica

P = Presión de desbaste de diseño

A = Área máxima de desbaste

Reemplazando valores en (3.2):

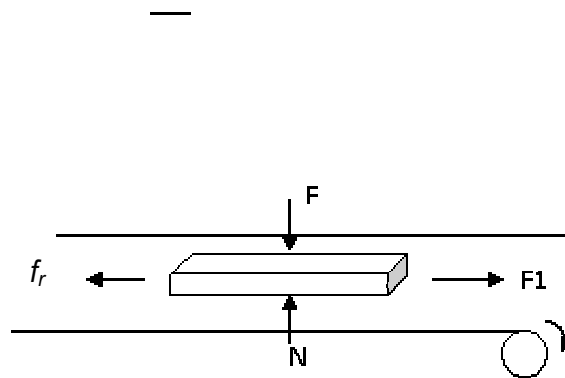


Figura 3.6 Diagrama de fuerzas actuantes en la probeta

(3.3)

Donde:

f_r = Fuerza generada por la fricción entre la probeta y el papel abrasivo

N = Normal

F_1 = Fuerza necesaria para el desbaste

Reemplazando valores en (3.3):

Para determinar la potencia necesaria para el desbaste, es necesario conocer la velocidad lineal de la cinta abrasiva y la fuerza necesaria para el desbaste.

Donde:

P_n = Potencia necesaria para el desbaste

V_1 = Velocidad de desbaste

ω_1 = Velocidad angular del rodillo motriz

r_1 = Radio del rodillo motriz donde se encuentra la cinta abrasiva

$$V = \omega \times r \quad (3.4)$$

$$V_1 = \omega_1 \times r_1$$

La velocidad tangencial de los rodillos, se debe acercar a la velocidad tangencia de la máquina pulidora de probetas del Laboratorio de Metalografía, a la cual se ha tomado como referencia, sin embargo, el rodillo fue fabricado a partir de un segmento de tubería disponible en el laboratorio.

$$\omega_1 = 537.5 [rpm] = 56.23 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$r_1 = 0.0425 [m]$$

Reemplazando valores en (3.4)

$$V_1 = 56.23 \left[\frac{rad}{s} \right] \times 0.0425 [m] = 2.39 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$Pn = F_1 \times V_1 \quad (3.5)$$

$$Pn = 54.07 [N] \times 2,39 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$Pn = 129.23 [W] = 0.176 [HP]$$

Para determinar la potencia requerida, se considera un factor de seguridad de 2.5, considerando que se tiene pérdida de energía en rodamientos, rozamiento de la banda en el motor, sobreesfuerzos realizados por el operario, necesidad de mayor fuerza en el arranque, etc.

$$n = \frac{P_r}{P_n}$$

(3.6)

Donde:

n = Factor de seguridad

P_r = Potencia requerida para el desbaste

Desarrollando (3.6):

$$P_r = P_n \times n$$

$$P_r = 129.23 [W] \times 2.5$$

$$P_r = 323 [W] = 0.44 [HP]$$

3.2.2.1. Motor Seleccionado

Tabla 3.2.1 Especificación de las características de motores Siemens de 1200 rpm ⁽¹¹⁾.

HP	KW	rpm	Eficiencia [%]	Torque Nominal [Nm]
0.4	0.29	1090	65.0	2.61
0.5	0.37	1020	61.0	3.70
0.6	0.45	1080	63.0	3.96
0.75	0.56	1075	62.0	4.97
0.9	0.66	1080	66.0	5.94
1.0	0.74	1090	67.0	6.54

Tabla 3.2.2 Potencia efectiva para motores trifásicos Siemens de 1200 rpm

HP	Eficiencia %	HP efectivo
0.4	65	0.26
0.5	61	0.305
0.6	63	0.378
0.75	62	0.465
0.9	66	0.594

Se selecciona el motor de 560 [W] (0.75 HP) el cual presenta una potencia efectiva de 347 [W] (0.465 HP) siendo dicha potencia la más cercana a la potencia requerida que fue calculada 323 [W] (0.44 HP).

3.2.3. SELECCIÓN DE LA BANDA DE TRANSMISIÓN

Para la selección de la banda se emplea el catálogo de DAYCO.

Los datos de los cuales se parte son los siguientes:

P_m = Potencia del motor = 560 [W] (0.75 HP)

ω_0 = Velocidad angular del eje del motor = 1075 [rpm] (cercana a 1160 [rpm] en catálogos de bandas)

ω_1 = Velocidad angular del rodillo motriz = 537.5 [rpm].

Para la selección del tipo de banda, es necesario determinar el factor de servicio; el factor de servicio se lo obtiene en una matriz representada con letras y números (tabla 1, Anexo B), la letra seleccionada B (tabla 2, Anexo B) se la considera en base a ser una máquina herramienta principal, el número seleccionado 2 (tabla 3, Anexo B) se determina en base a su motor jaula de ardilla de 1200 [rpm] con un torque inicial de 150% del torque nominal según los datos del motor (Anexo A).

Con estos valores en la matriz, se puede escoger factores de servicio (f_s) entre 1.2, 1.3 y 1.4, para lo cual, se selecciona 1.3 por ser un factor mediano en este rango.

Donde:

P_d = Potencia de diseño

f_s = Factor de servicio

$$P_d = P_m \times f_s \quad (3.7)$$

$$P_d = 560 [W] \times 1.3$$

$$P_d = 728 [W] = 0.98[HP]$$

Según la figura 2 (Anexo B) para la selección de bandas se determina que, para 1075 [rpm] en la polea de mayor velocidad y 728 [W] (0.98 HP) la banda ideal es la AP.

3.2.4. SELECCIÓN DE POLEAS

Para la selección de las poleas, se necesita ayuda de las tablas de selección de diámetro Classical Section Pre-Engineered (Anexo B), en la cual, se considera una velocidad de la polea motriz de 1160 [rpm], relación de velocidad entre 1.94 y 2.44 y la potencia variante.

En el diseño de la máquina, se considera un valor en la relación de velocidad de 2, como es deseado para alcanzar una velocidad de la polea conducida, que gire a 537.5 [rpm] mientras que la polea del motor giraría a 1075 [rpm] como se muestra en

el catálogo del motor, sin embargo, en la tabla se considera una velocidad de giro del motor de 1160 [rpm] velocidad cercana al diseño, la relación de velocidad de 2, y se busca el diámetro de la polea motriz y conducida, realizando una iteración en base a la potencia de diseño de selección de banda de 728 [W] (0.98 [HP]).

La distancia entre los centros de las poleas, depende de la disposición de las poleas en el diseño, para una banda AP de baja potencia 1119 [W] (1.5 HP) con una relación de velocidad de 2 (similar al diseño) se recomiendan bandas desde 66 [cm] (26 in) de perímetro a 352 [cm] (128 in), y la distancia entre centros recomendada va de 16 [cm] (6.4 in) a 146 [cm] (57.6 in), escogiendo, para efectos de diseño, una distancia entre centros de 34 [cm] (13.4 in) por funcionalidad, y ajustándose a esta geometría una banda AP 37 (37 in de perímetro) que, además, es fácil de conseguir en el mercado.

Si la distancia entre los centros de las poleas es demasiado pequeña, se presentan problemas de patinamiento, disminuyendo la vida útil de la correa y las poleas, por otra parte, si la distancia entre ejes es muy grande, a pesar de existir un mejor agarre, las vibraciones de la correa, aumentan agotando la correa y permitiendo la falla prematuramente.

Tabla 3.2.3 Diámetro primitivo de las poleas en función de la potencia, para correas AP de relación de velocidad 2 y 1160 RPM ⁽⁵⁾.

Potencia (HP)	Diámetro de polea conducida (in)	Diámetro de polea motriz (in)
1,55	6	3
1,73	6,4	3,2
2,26	7,6	3,8
4,11	12	6
4,58	13,2	6,6

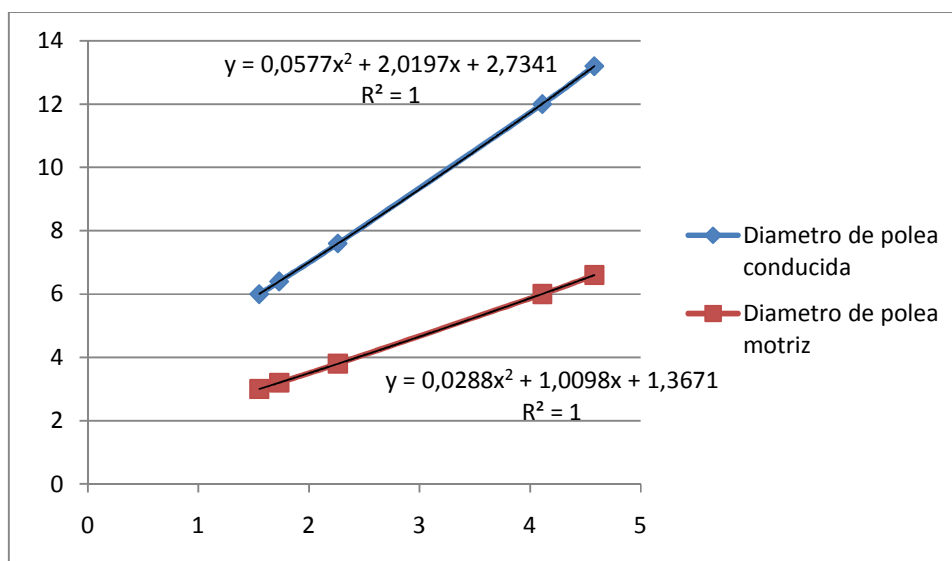


Figura 3.7 Iteración de los diámetros primitivos de las poleas para correas AP de relación de velocidad 2 y 1160 RPM ⁽¹¹⁾.

Donde:

D= Diámetro primitivo de la polea conducida

d= Diámetro primitivo de la polea motriz

P_d = Potencia de diseño

$$D = 0.0577P_d^2 + 2.0197P_d + 2.7341 \quad (3.8)$$

$$d = 0.0288P_d^2 + 1.0098P_d + 1.3671 \quad (3.9)$$

Reemplazando valores en (3.8):

$$D = 0.0577 \times 0.98^2 + 2.0197 \times 0.98 + 2.7341$$

$$D = 12.1 [cm](4.77 in)$$

Reemplazando valores en (3.9):

$$d = 0.0288 \times 0.98^2 + 1.0098 \times 0.98 + 1.3671$$

$$d = 6 [cm](2.38 in)$$

Las poleas que mayormente se aproximan a estas dimensiones en el mercado son:

$$D = 12.7 [cm](5 in)$$

$$d = 6.35 [cm](2.5 in)$$

Al trabajar una correa de transmisión de potencia, la velocidad real de transmisión se realiza por medio de los diámetros primitivos de las poleas, por lo cual, se emplean estos diámetros para el cálculo.

3.2.5. FUERZA GENERADA POR LA BANDA DE TRANSMISIÓN

Para determinar la fuerza generada en la correa, es necesario determinar la longitud libre de la correa (Anexo B)

$$t = \sqrt{C^2 - \left(\frac{D-d}{2}\right)^2} \quad (5) \quad (3.10)$$

Donde:

t= Longitud libre de la correa

C= Distancia entre centros de las poleas

D= Diámetro primitivo de la polea conducida

d= Diámetro primitivo de la polea motriz

$$t = \sqrt{13.4^2 - \left(\frac{5 - 2.5}{2}\right)^2}$$

$$t = 33.88 [cm](13.34 in)$$

Para determinar la tensión estática de la banda tenemos:

$$T_s = \frac{Design\ HP \times K}{Q \times S} + T_c \quad (5) \quad (3.11)$$

Donde:

Ts= Tensión estática de la banda

K= Factor de Arco

Q= Número de bandas

S= Velocidad de la banda (ft/min)/1000

Tc= Tensión Centrifuga de la banda

Antes de obtener los factores, es necesario conocer el arco de contacto de la polea con la banda, que se lo puede conocer a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{D - d}{C} \quad (5) \quad (3.12)$$

En base a la tabla 46 (Anexo B) se determina el ángulo.

$$\frac{D - d}{C} = \frac{5 - 2.5}{13.4} = 0.186 \rightarrow 169^\circ$$

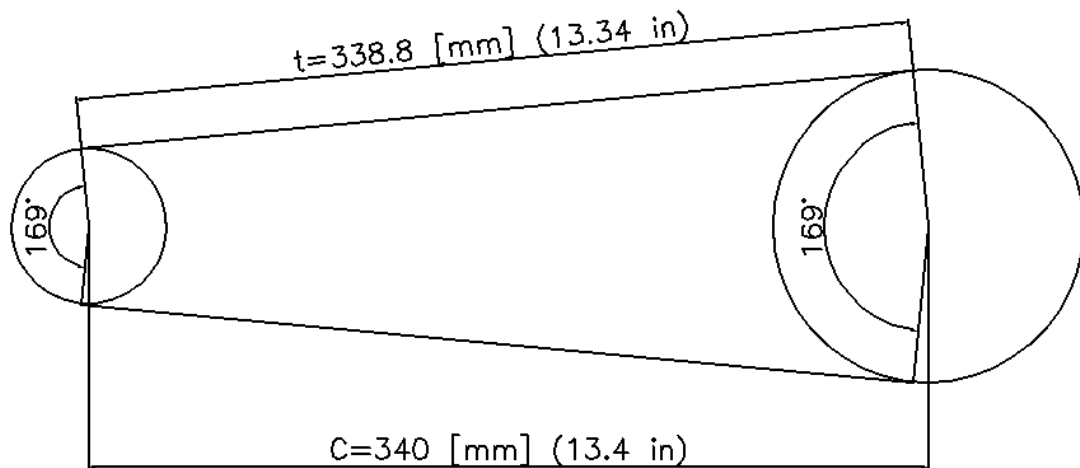


Figura 3.8 Disposición de las poleas y distancia entre centros

A partir de arco se puede conocer el factor K de arco (Tabla 46 Anexo B).

$$K=25.844$$

La máquina cuenta solo con una banda de transmisión de potencia.

$$Q=1$$

$$\omega_0 = 1075 \left[\frac{rev}{min} \right] \times \left[\frac{2\pi rad}{1 rev} \right] \times \left[\frac{1 min}{60 s} \right] = 112.57 [rad/s]$$

Donde:

ω_0 = Velocidad angular del eje del motor

r_0 = Radio primitivo de la polea motriz

V_0 = Velocidad lineal de la banda de transmisión

Reemplazando valores en (3.4)

$$V_0 = \omega_0 \times r_0 = 112.57 \left[\frac{rad}{s} \right] \times 1.25 [in] = 140.7 in/s$$

$$V_0 = 140.7 \left[\frac{in}{s} \right] \times \left[\frac{1 ft}{12 in} \right] \times \left[\frac{60 s}{1 min} \right] = 703.5 [fpm]$$

$S=0.7$ (fpm/1000)

La tensión centrífuga (T_c) se calcula conociendo el tipo de banda y la velocidad S (Tabla 48 Anexo B)

$T_c= 0.19$ [Lb] siendo el valor al que más se aproxima 0.75 (fpm/1000)

Reemplazando valores en (3.11)

$$T_s = \frac{0.98 \times 25.844}{1 \times 0.7} + 0.19$$

$$T_s = 162 [N](36.4 Lb)$$

Para determinar la fuerza ejercida en el asiento de la polea tenemos:

$$Q_c = T_s \times Q \times Factor H \quad (5) \quad (3.13)$$

Donde:

Q_c = Carga en línea de centros de las poleas

El factor H se lo obtiene a partir del arco (Tabla 46 Anexo B).

$$Q_c = 36.4 [Lb] \times 1 \times 1.99$$

$$Q_c = 322.8 [N](72.43 Lb)$$

$$P_e = \left(\frac{33000 \times HP}{V_o} \right) \quad (5) \quad (3.14)$$

Donde:

P_e = Empuje efectivo

F_θ = Ángulo de dirección de la banda de transmisión

$$P_e = \left(\frac{33000 \times 0.98}{703.5 fpm} \right)$$

$$P_e = 204.8 [N](45.97 Lb)$$

$$F_\theta = \tan^{-1} \left[\frac{P}{2T_s \times Q} \times \tan \left(90 - \frac{Arco \ de \ contacto}{2} \right) \right] \quad (5) \quad (3.15)$$

$$F_{\theta} = \tan^{-1} \left[\frac{45.97}{2 \times 36.37 \times 1} \times \tan \left(90 - \frac{169}{2} \right) \right]$$

$$F_{\theta} = 3.48^{\circ}$$

$$F_v = \frac{Q_c}{\cos F} \quad (5) \quad (3.16)$$

Donde:

F_v = Fuerza verdadera aplicada en el asiento de la polea

$$F_v = \frac{72.43 \text{ [Lb]}}{\cos 3.48^{\circ}}$$

$$F_v = 323 \text{ [N]} = 72.56 \text{ [Lb]}$$

3.2.6. AJUSTE DE LA BANDA

Para determinar si la banda está adecuadamente ajustada, se genera una deflexión determinada en el medio de la longitud libre de la correa y se constata si la fuerza aplicada para generar dicha deflexión esta dentro de un rango.

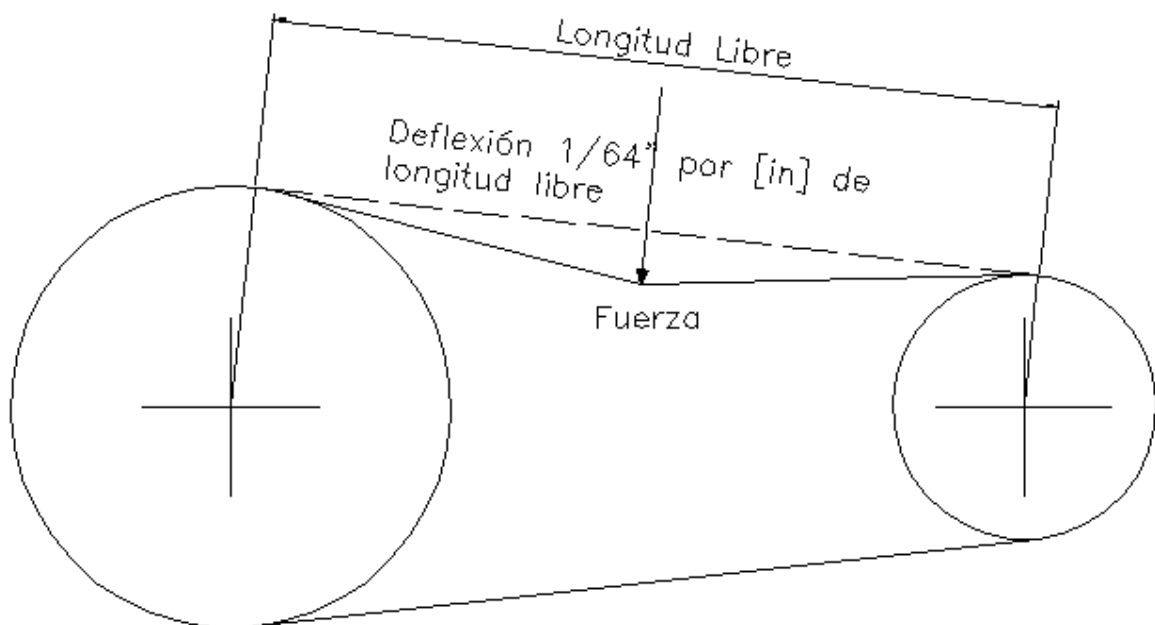


Figura 3.9 Deflexión en la longitud libre de la banda ⁽⁵⁾.

$$D_f = \frac{1}{64} \times t \quad (3.17)$$

Donde:

D_f = Deflexión

$$D_f = \frac{1}{64} \times 13.34[in] = 0.21 [in]$$

$$D_f = 5.33 [mm](0.21 in)$$

Las fuerzas máxima y mínima de deflexión se establecen:

$$P_{min} = \frac{T_s + Y}{16} \quad (5) \quad (3.18)$$

Donde:

P_{min} = Fuerza mínima de deflexión

P_{max} = Fuerza máxima de deflexión

Y= Factor Y (Tabla 47, Anexo B)

$$P_{min} = \frac{36.37 + 6}{16}$$

$$P_{min} = 11.8 [N] = 2.65 [Lb]$$

$$P_{max} = \frac{(1.5 \times T_s) + Y}{16} \quad (5) \quad (3.19)$$

$$P_{max} = \frac{(1.5 \times 36.37) + 6}{16}$$

$$P_{max} = 16.8 [N] = 3.78 [Lb]$$

3.2.7. DIMENSIONAMIENTO DE LA CHAVETA

Para ejes de diámetro de 20 [mm] se tienen las siguientes dimensiones ⁽⁸⁾:

a=6 [mm]

b=6 [mm]

Donde:

a= Altura de la chaveta

b= Espesor de la chaveta

l= Longitud de la chaveta

e= Altura de la chaveta dentro del eje

f= Altura de la chaveta dentro de la polea

h_1 = Diámetro del eje menos la altura de la chaveta dentro del eje

h= Altura del eje incluyendo la chaveta

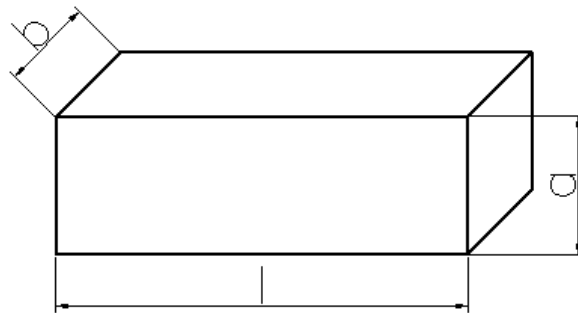


Figura 3.10 Forma de la chaveta

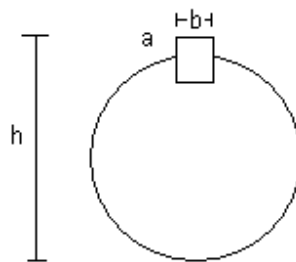


Figura 3.11 Dimensión del eje y la chaveta

El chavetero en el eje ocupa las siguientes dimensiones:

$e=3,5$ [mm]

$$h_1 = d - e \quad (3.20)$$

$$h_1 = 20 \text{ [mm]} - 3,5 \text{ [mm]}$$

$$h_1 = 16.5 \text{ [mm]}$$

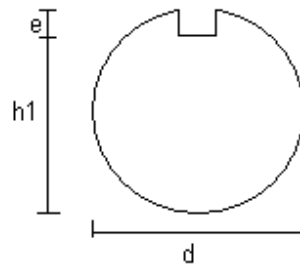


Figura 3.12 Dimensión del eje y altura del chavetero.

El chavetero en la polea ocupa las siguientes dimensiones:

$$f=2,5 \text{ [mm]}$$

$$h = d + f \quad (3.21)$$

$$h = 20 \text{ [mm]} + 2.5 \text{ [mm]}$$

$$h = 22.5 \text{ [mm]}$$

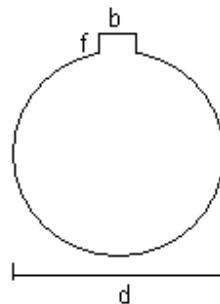


Figura 3.13 Dimensión del chavetero en la polea.

$$T_m = T_o \times f_t \quad (3.22)$$

Donde :

T_o = Torque nominal ejercido por el motor (Anexo A)

T_m = Torque máximo ejercido por el motor

f_t = Factor de incremento del torque nominal (Anexo A)

$$T_m = 4.97 \text{ [N - m]} \times 1.5$$

$$T_m = 7.45 \text{ [N - m]}$$

$$T_m = F_{pr} \times r_p \quad (3.23)$$

Donde:

F_{pr} = Fuerza cortante máxima generada en la chaveta entre la polea y el rodillo

r_p = Radio del asiento de la polea del rodillo

Desarrollando la ecuación (3.23):

$$F_{pr} = \frac{T_m}{r_p} = \frac{7,455 [N \cdot m]}{0,01 [N]} = 745,5 [N]$$

El acero a utilizar para la chaveta es el acero A36 cuya propiedad es:

S_y = 250 [Mpa] (36 Kpsi)

Donde:

S_y = Esfuerzo a la fluencia

S_{sy} = Esfuerzo a la fluencia en corte

n = Factor de seguridad

τ_c = Esfuerzo cortante de la chaveta

A_c = Area de corte de la chaveta

$$S_{sy} = 0,577 \times S_y \quad (7) \quad (3.24)$$

$$S_{sy} = 0,577 \times 250 = 144,25 [MPa]$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_c} \quad (3.25)$$

$$\tau_c = \frac{F_{pr}}{A_c} \quad (3.26)$$

Igualando (3.25) con (3.26)

$$\tau_c = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{F_{pr}}{A_c}$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F_{pr}}{b \times l} \quad (3.27)$$

Se asume un factor de seguridad para la chaveta de 2,5.

Reemplazando valores en (3.27):

$$\frac{144,25 \times 10^6}{2,5} = \frac{745,5}{0,006 \times l}$$

$$0,006 \times l = \frac{745,5 \times 2,5}{144,25 \times 10^6}$$

$$l = 0,00215 [m]$$

$$l = 2,15 [mm]$$

En este caso, la longitud de la chaveta es demasiado pequeña y se escoge una longitud (l) de 10 [mm]. Con ello se calcula un factor de seguridad.

Reemplazando valores en (3.26):

$$\tau_c = \frac{F_{pr}}{A_c}$$

$$\tau_c = \frac{745.5}{0,006 \times 0,010}$$

$$\tau_c = 12425000 [Pa]$$

Reemplazando valores en (3.25)

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_c} = \frac{144,25 \times 10^6}{12425000} = 11.6$$

$$n = 11.6$$

3.3.DISEÑO DEL SISTEMA DE DESBASTE CON PAPEL ABRASIVO

3.3.1. DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS EN EL SISTEMA DE DESBASTE CON EL PAPEL ABRASIVO

El sistema de desbaste, consiste en el movimiento de una banda de papel abrasivo por medio de dos rodillos, uno motriz, que se encarga de transmitir el movimiento y otro conducido.

Los rodillos serán revestidos con lámina de caucho, para garantizar un buen agarre entre el rodillo y el papel abrasivo.

Como se puede observar en la Figura 3.15, el rodillo conducido es el encargado de tensionar el papel abrasivo, por lo tanto, presenta, además, de un movimiento rotacional, un desplazamiento longitudinal.

La estructura del sistema de desbaste presenta dos barras de soporte, las cuales mantienen firme la estructura, adicional a ello, el sistema dispone de 2 placas de

refuerzo con la finalidad de minimizar vibraciones y ayudar a distribuir la carga que soporta la estructura.

Para obtener una planicidad adecuada en el momento del desbaste, el sistema dispone de una placa plana, sobre la cual se asienta el papel abrasivo en el momento del desbaste, obteniendo así la planicidad adecuada en las probetas.

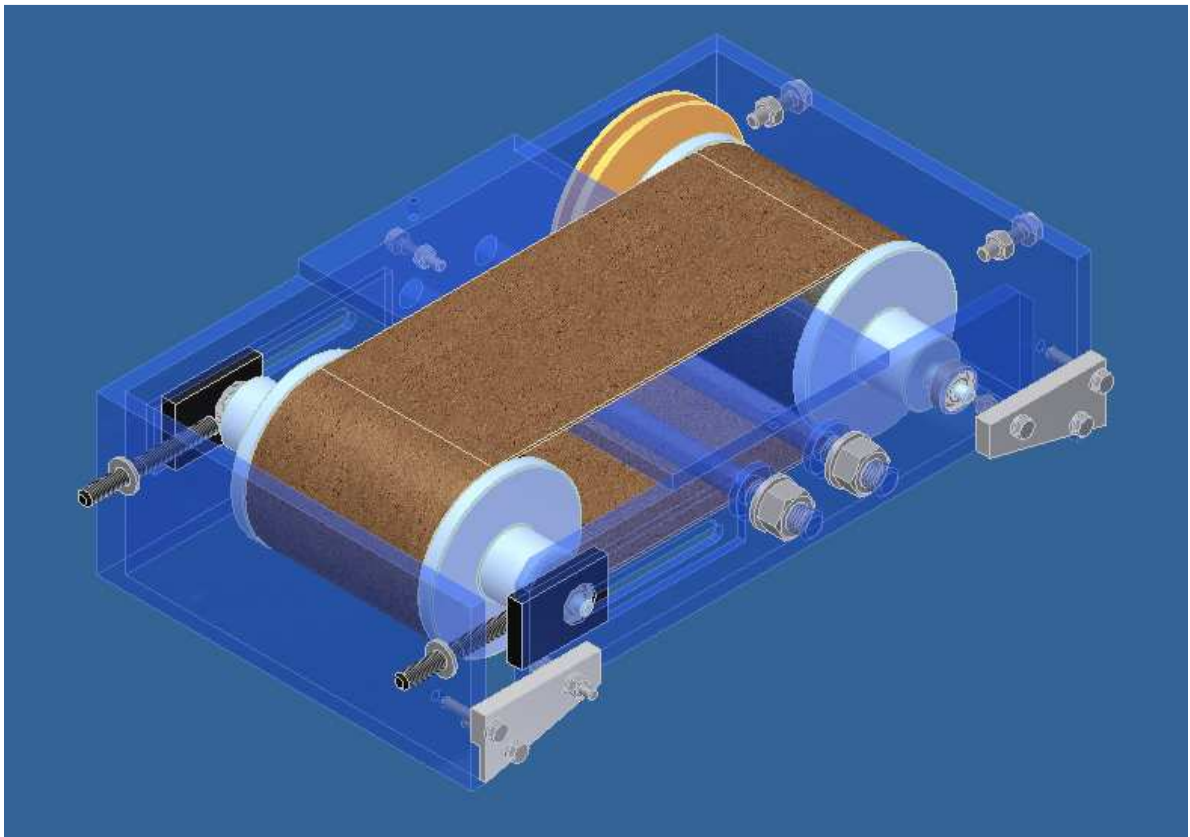


Figura 3.14 Disposición del sistema de desbaste

3.3.2. CÁLCULOS DEL RODILLO MOTRIZ

El rodillo motriz, se encuentra sometido a fuerzas como la tensión generada por el papel abrasivo; la tensión actuante de la correa de transmisión sobre la polea; las reacciones de los rodamientos sobre el rodillo; el peso del mismo rodillo al cual se desprejará en los cálculos, debido a su pequeña magnitud; adicionalmente, se tomará en cuenta el torque necesario para realizar el pulido.

Cabe mencionar que se establecieron las dimensiones de los rodillos motriz y conducido, según máquinas similares existentes en el mercado (el diámetro donde se asienta la lija debe poseer una gran área de contacto) y en base a la velocidad lineal que tiene la cinta abrasiva (a partir de una velocidad rotacional constante en los rodillos).

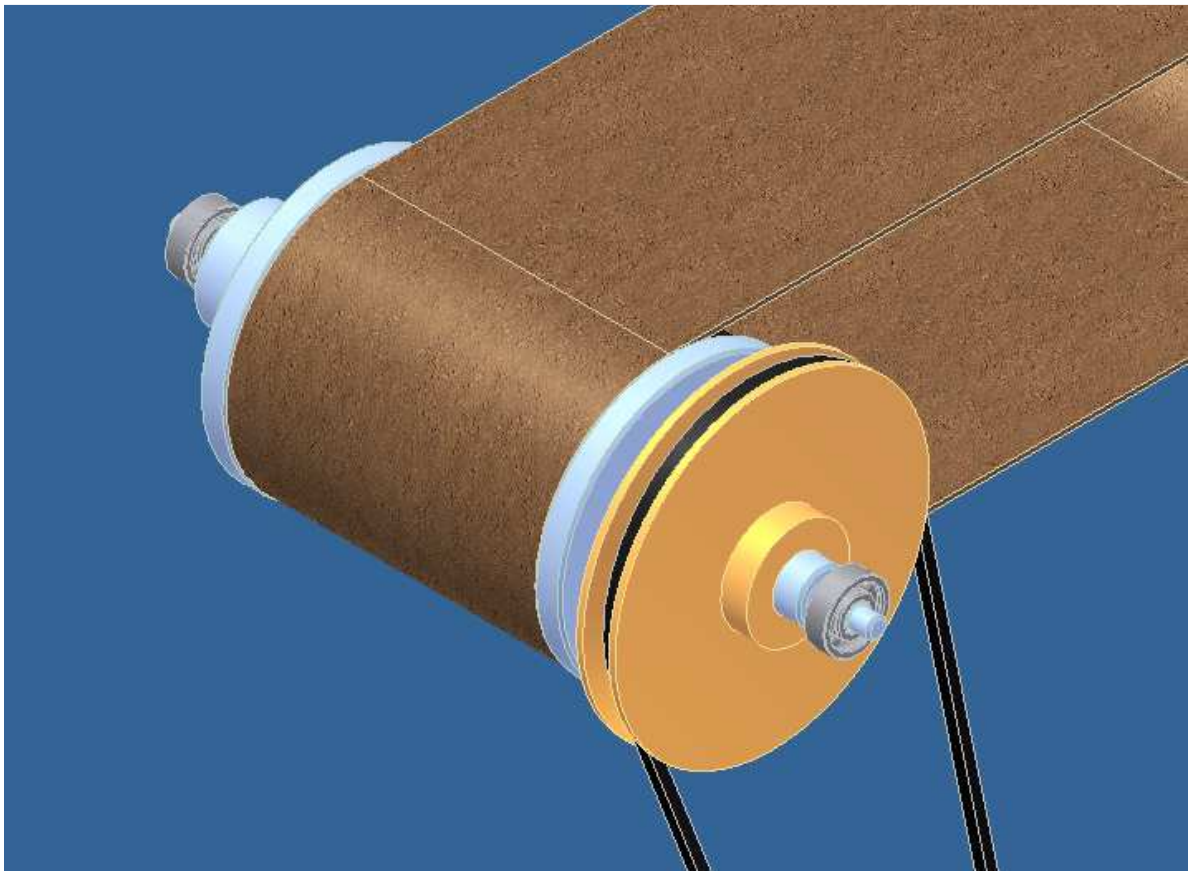


Figura 3.15 Esquema del rodillo motriz

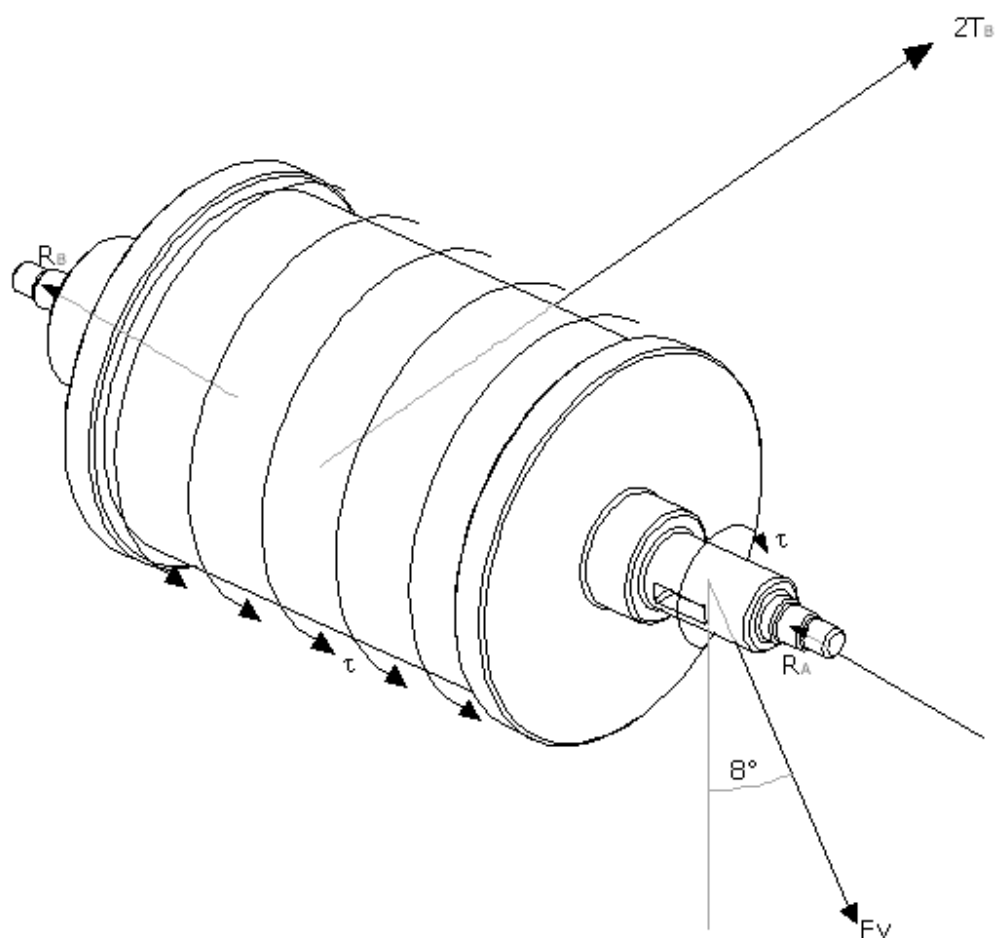


Figura 3.16 Esquema de las fuerzas actuantes sobre el rodillo motriz.

Donde:

R_A = Reacción de rodamiento A sobre el rodillo

R_B = Reacción de rodamiento B sobre el rodillo

T_B = Tensión de la banda abrasiva

F_V = Fuerza ejercida en el asiento de la polea

τ = Torque generado por el motor y la reacción de la banda

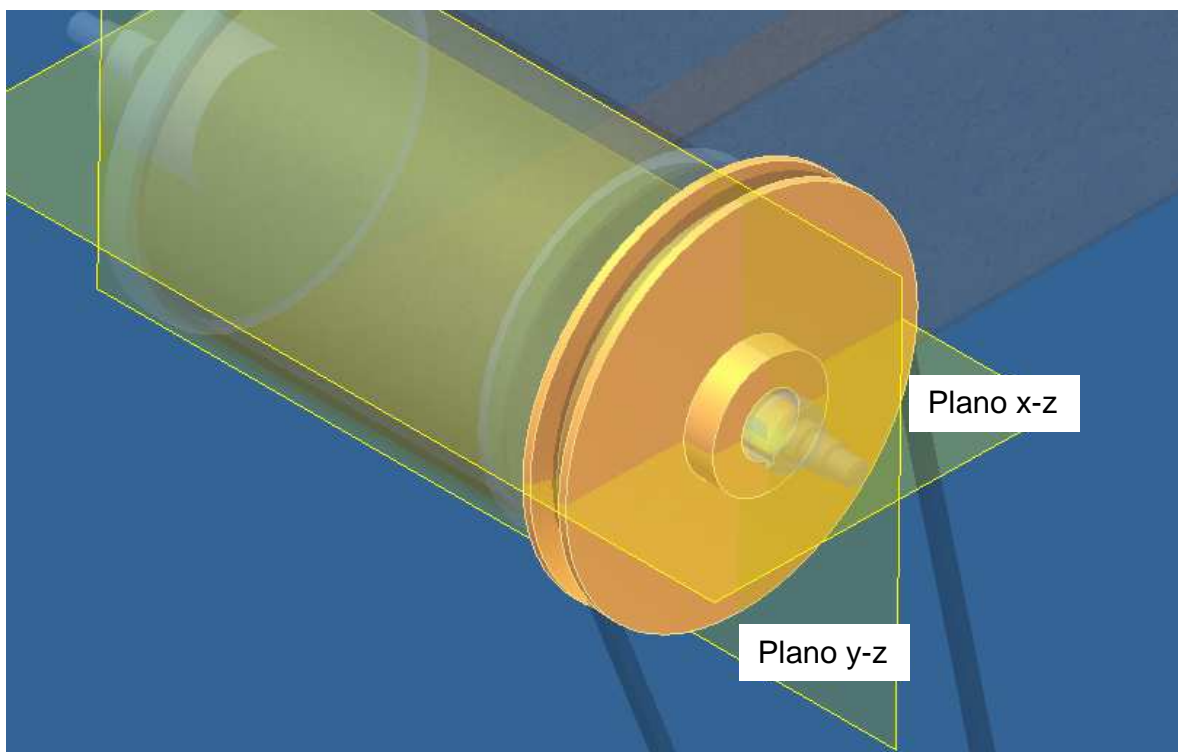


Figura 3.17 Disposición de los planos en el análisis.

3.3.2.1. Reacción de los Rodamientos sobre el rodillo motriz

Para determinar las reacciones de los rodamientos sobre el rodillo motriz, se debe partir de la descomposición en los planos x-z y y-z de las fuerzas que actúan sobre el rodillo motriz como son:

Fuerza ejercida en el asiento de la polea (F_v)

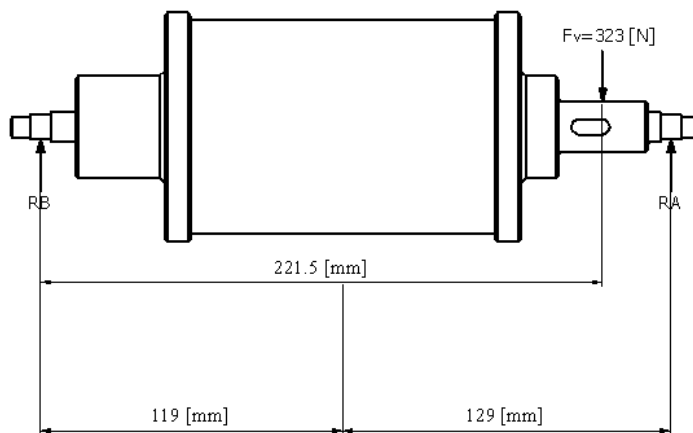


Figura 3.18 Fuerza ejercida sobre el asiento de la polea

Tensión de la banda abrasiva (T_B).- Considerando el valor máximo recomendable de tensión por unidad de longitud de 8.77 [N/cm] (5 Lbf/in), para una banda de 11.43 [cm] (4.5 in) de longitud sobre el rodillo, se obtiene una tensión de 100 [N] (22.5 Lbf) lo cual genera una tensión sobre el rodillo de 200 [N].

Para los cálculos, se transformará esta fuerza en una carga distribuida 1666 [N/m].

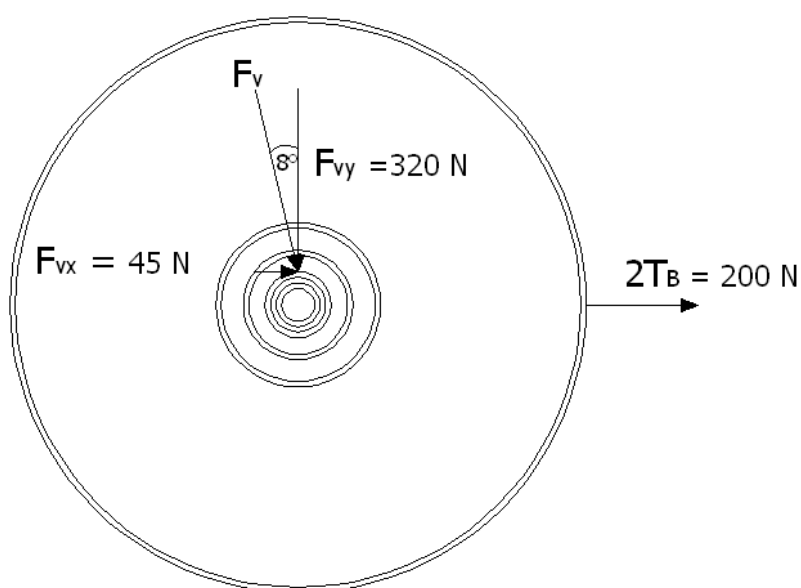


Figura 3.19 Vista radial del rodillo y la tensión de la banda abrasiva.

Rodamiento A

Plano x-z

$$\sum \tau + \sum M_B = 0$$

$$\left(1666 \left[\frac{N}{m}\right] \times 0.12[m] \times 0.119[m]\right) + (45[N] \times 0.2215[m]) - (R_{Ax} \times 0.248[m]) = 0$$

$$R_{Ax} = 136.2 [N]$$

Plano y-z

$$\sum \tau + \sum M_B = 0$$

$$(320[N] \times 0.2215[m]) - (R_{Ay} \times 0.248[m]) = 0$$

$$R_{Ay} = 285.8 [N]$$

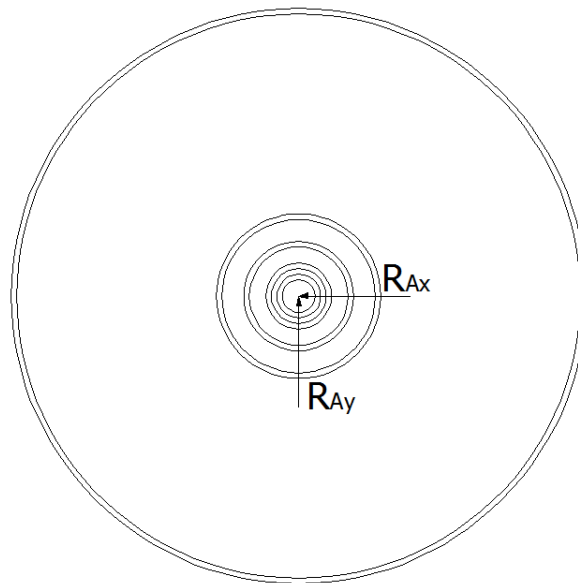


Figura 3.20 Vista radial del rodillo y las reacciones en el rodamiento A.

Rodamiento B

Plano x-z

$$\mathcal{U} + \sum M_A = 0$$

$$(1666 \text{ N/m} \times 0.12\text{m} \times 0.129\text{m}) + (45\text{N} \times 0.0265\text{m}) - (R_{Bx} \times 0.248\text{m}) = 0$$

$$R_{Bx} = 108.8 \text{ [N]}$$

Plano y-z

$$\mathcal{U} + \sum M_A = 0$$

$$(320\text{N} \times 0.0265\text{m}) - (R_{By} \times 0.248\text{m}) = 0$$

$$R_{By} = 34.2 \text{ [N]}$$

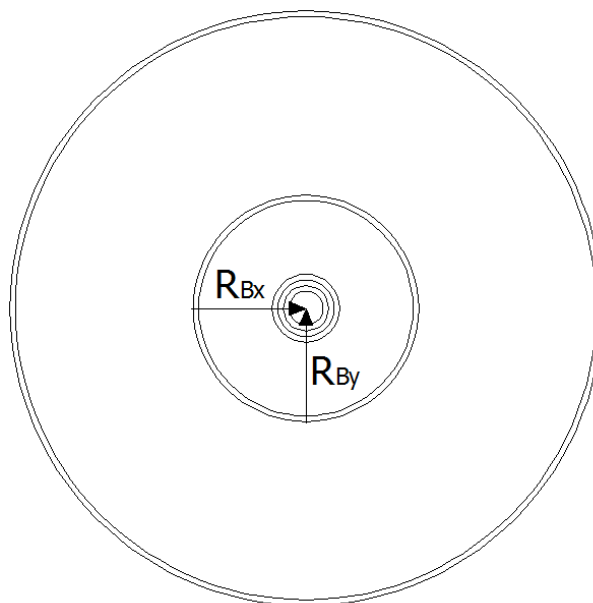


Figura 3.21 Vista radial del rodillo y las reacciones en el rodamiento B.

3.3.2.2. Reacción del Torque sobre el rodillo Motriz

Dada la información del motor, el torque nominal es de 4.97 [N-m] (Anexo A), sin embargo, para efectos de diseño, se considera el torque máximo de arranque 7.5 [Nm].

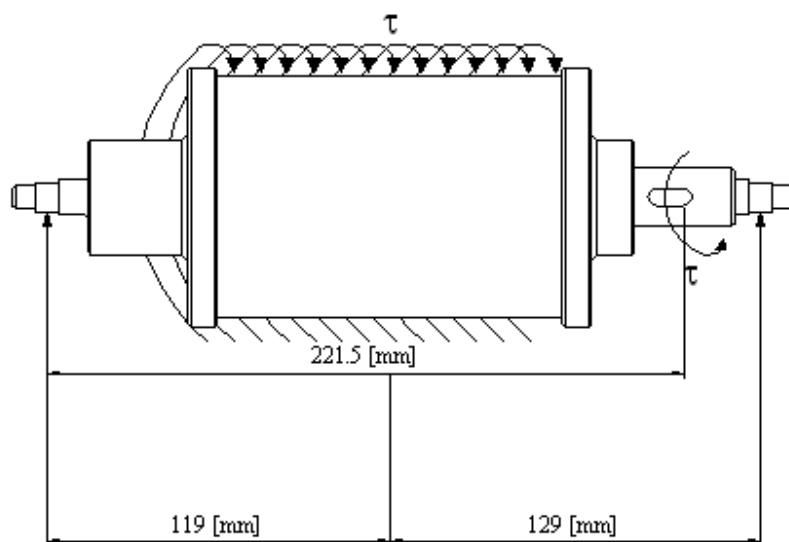


Figura 3.22 Torque actuante sobre el rodillo motriz.

3.3.2.3. Consideración de los posibles puntos críticos del rodillo motriz

Para considerar los puntos críticos, se debe tomar en cuenta los valores de las fuerzas actuantes cercanas a dichos puntos, además, se debe considerar los cambios de secciones.

Según los valores obtenidos de las reacciones en los apoyos, en el extremo donde actúa la fuerza de la polea del rodillo motriz, los puntos más críticos serán los puntos A, B, C y D.

3.3.2.4. Diagrama de Fuerzas Cortantes y Momentos

Para un análisis de los esfuerzos generados en el rodillo

3.3.2.4.1. Plano y-z

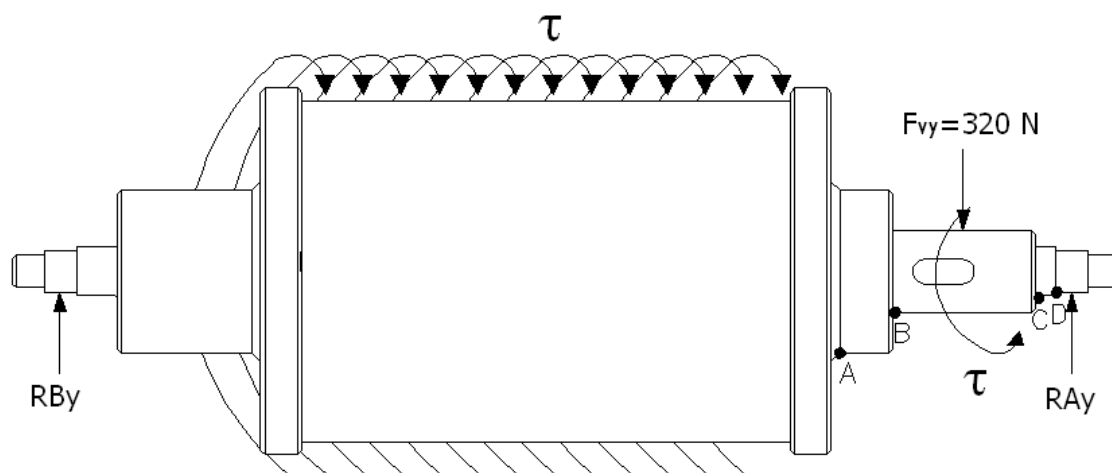


Figura 3.23 Diagrama de fuerzas en el plano y-z y los puntos críticos.

Tramo 1

$$0 < z < 0.2215 \text{ [m]}$$

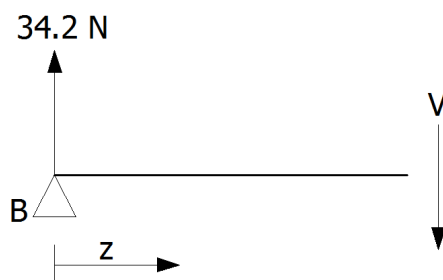


Figura 3.24 Análisis de fuerzas cortante en el primer tramo.

Donde:

V= Cortante

M= Momento

$$V = R_{By} = 34.2 \text{ N}$$

$$M = R_{By} \times z = 34.2 \times z \quad (3.28)$$

$$\text{si } z = 0.2215 \text{ [m]}$$

$$M = 34.2 \times 0.2215 = 7.6 \text{ [Nm]}$$

Tramo 2

$$0.2215 < z < 0.248 \text{ [m]}$$

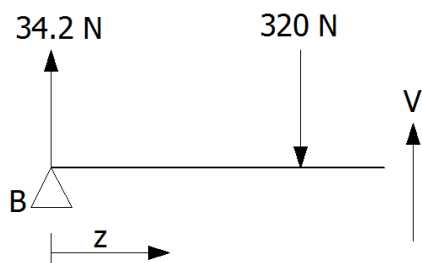


Figura 3.25 Análisis de fuerzas cortante en el segundo tramo.

$$V = -R_{By} + 320$$

$$M = -R_{By} \times z + 320 \times (z - 0.2215) \quad (3.29)$$

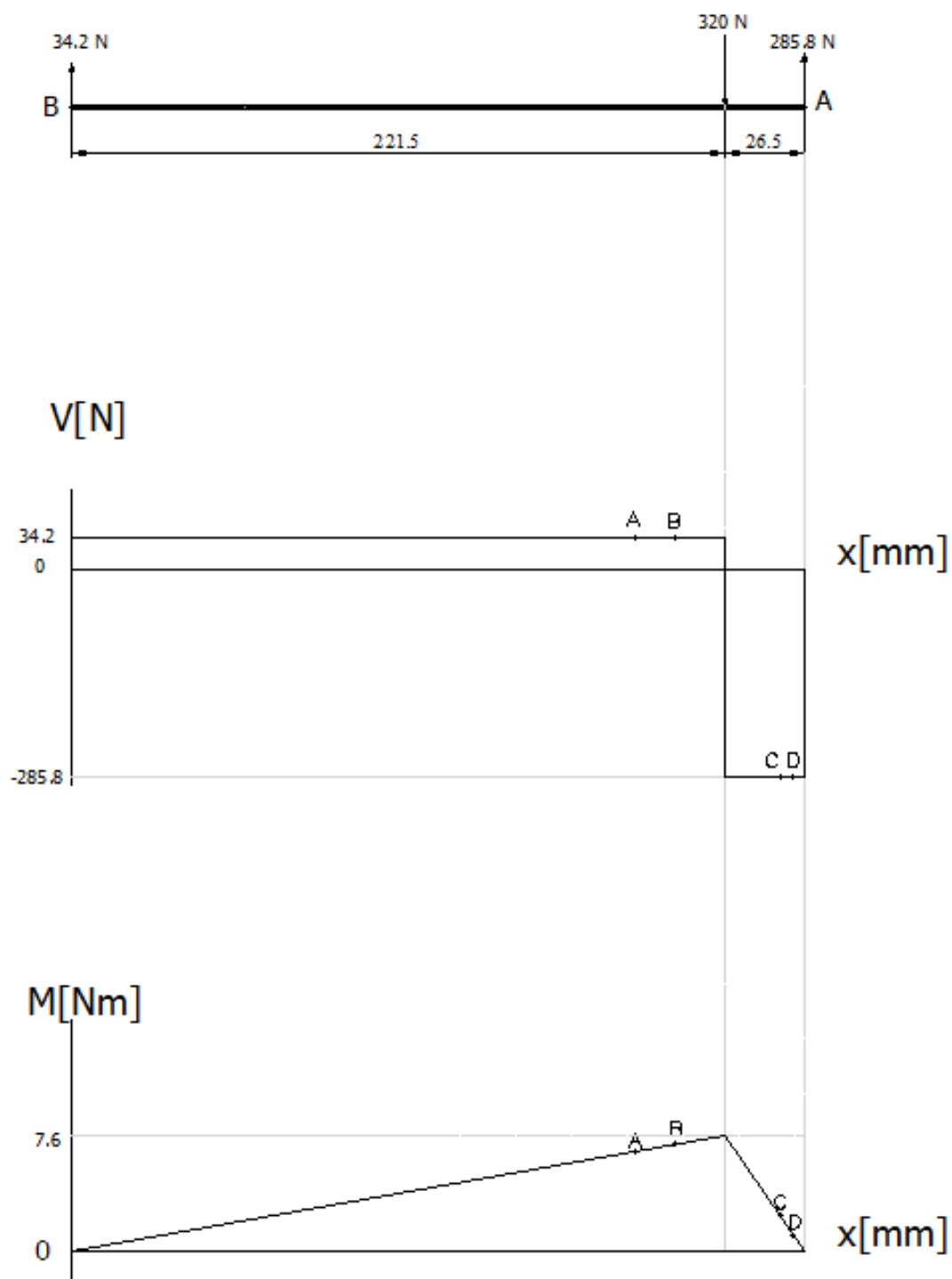


Figura 3.26 Diagrama de Cortante y Momento para el plano y-z.

3.3.2.4.2. Plano x-z

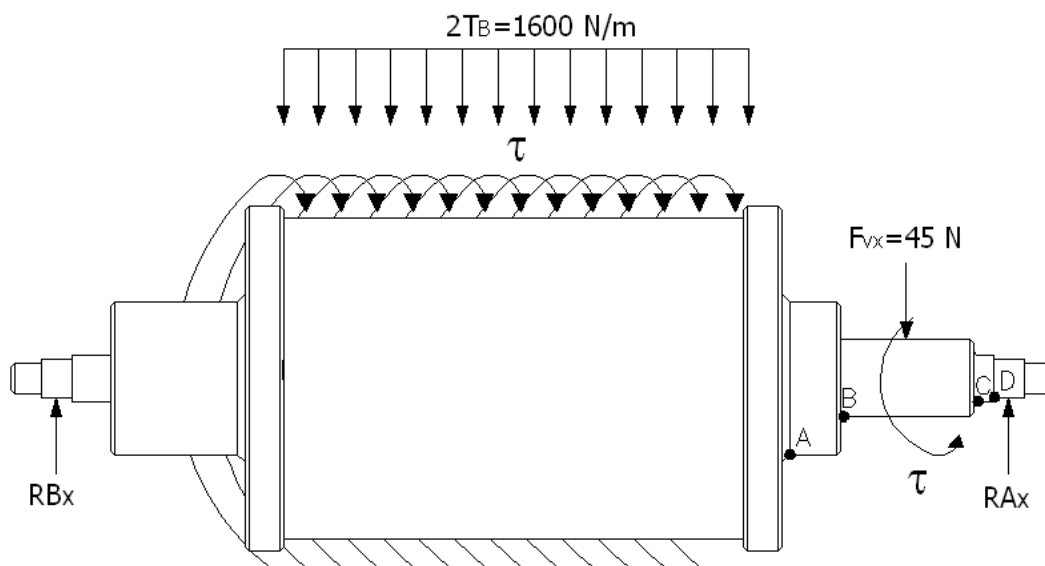


Figura 3.27 Diagrama de fuerzas en el plano x-z y los puntos críticos.

Tramo 1

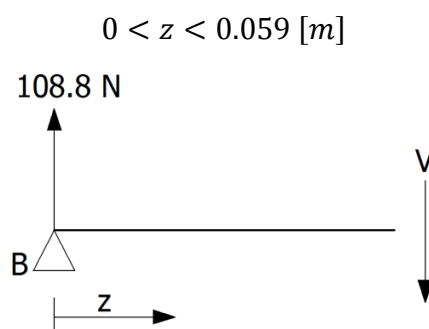


Figura 3.28 Análisis de fuerzas cortantes en el primer tramo

$$V = R_{Bx} = 108.8 \text{ N}$$

$$M = R_{Bx} \times z = 108.8 \times z \quad (3.30)$$

$$\text{si } z = 0.059 \text{ [m]}$$

$$M = 108.8 \times 0.059 = 6.42 \text{ [Nm]}$$

Tramo 2

$$0.059 < z < 0.179 \text{ [m]}$$

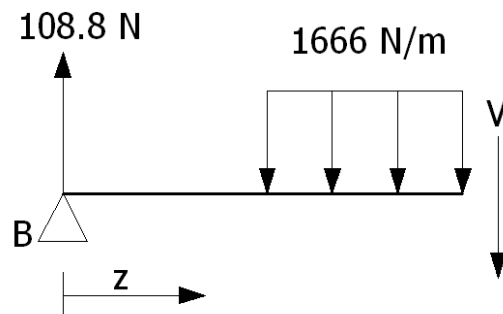


Figura 3.29 Análisis de fuerzas cortantes en el segundo tramo

$$V = R_{Bx} - 1666 \times (z - 0.059)$$

$$M = R_{Bx} \times z - \frac{1666 \times (z - 0.059)^2}{2} \quad (3.31)$$

$$\text{si } V = 0 \rightarrow M = \text{m}á\text{x}$$

$$0 = 108.8 - 1666 \times (z - 0.059)$$

$$z = 0.124 \text{ [m]}$$

$$M_{\text{m}á\text{x}} = 108.0 \times 0.124 - \frac{1666 \times (0.12)^2}{2} = 9.93 \text{ [Nm]}$$

Tramo 3

$$0.179 < z < 0.2215 \text{ [m]}$$

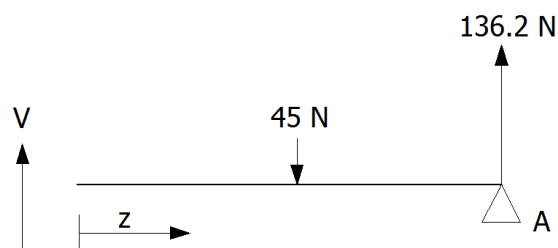


Figura 3.30 Análisis de fuerzas cortantes en el tercer tramo

$$\begin{aligned}
 V &= -R_{Ax} + 45 \text{ N} \\
 M &= -R_{Ax} \times (0.248 - z) + 45 \times (0.2215 - z) \quad (3.32) \\
 \text{si } z = 0.179 &\rightarrow M = 136.2 \times (0.248 - 0.179) + 45 \times (0.2215 - 0.179) \\
 M &= 7.48 \text{ [Nm]}
 \end{aligned}$$

Tramo 4

$$0.2215 < z < 0.248 \text{ [m]}$$

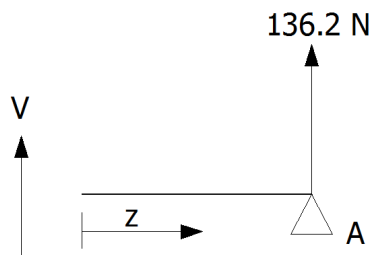


Figura 3.31 Análisis de fuerzas cortantes en el cuarto tramo.

$$\begin{aligned}
 V &= R_{Ax} \\
 M &= R_{Ax} \times (0.248 - z) \quad (3.33) \\
 \text{si } z = 0.2215 &\rightarrow M = R_{Ax} \times (0.248 - 0.2215) \\
 M &= 3.61 \text{ [Nm]}
 \end{aligned}$$

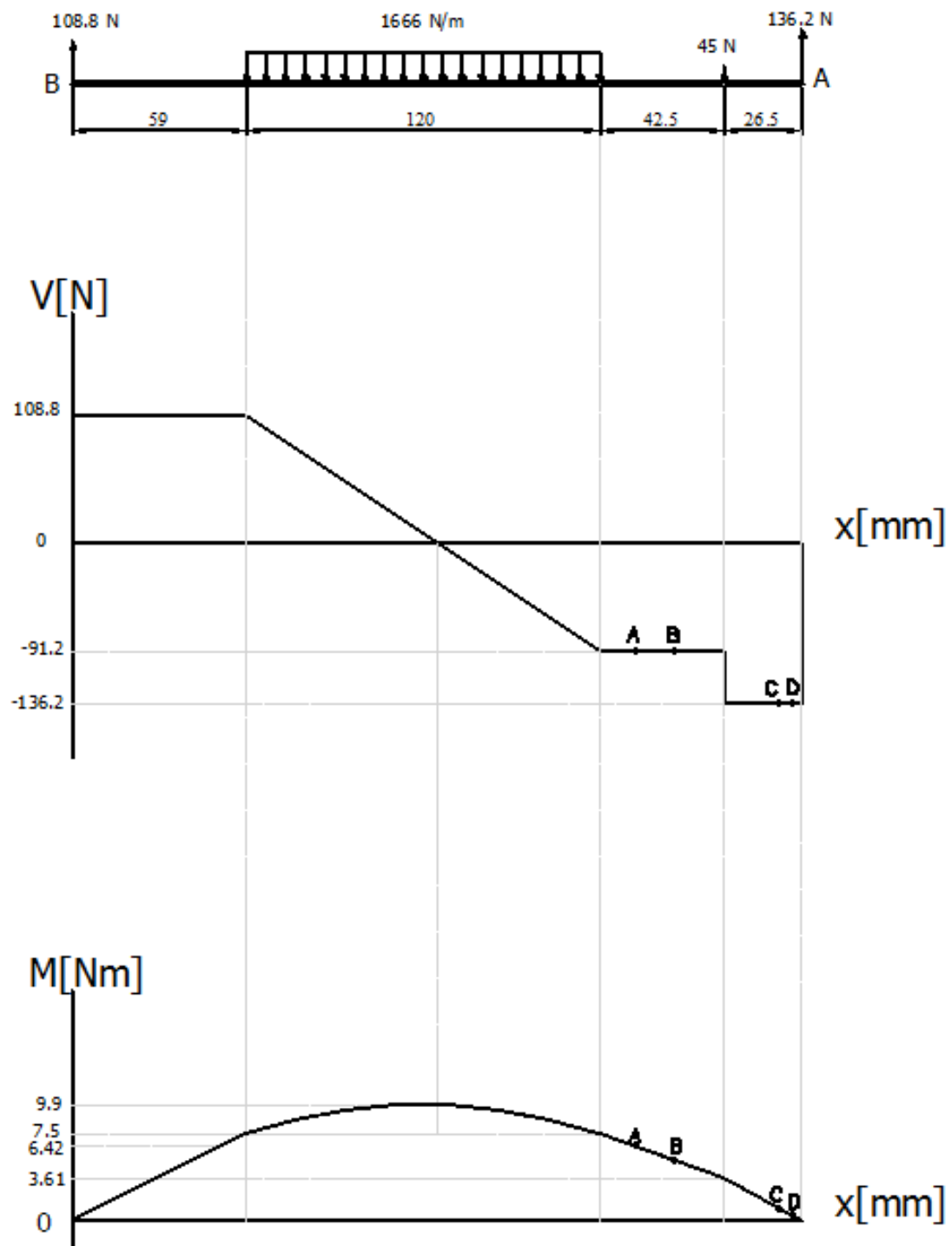


Figura 3.32 Diagrama de Cortante y Momento en el plano x-z.

3.3.2.5. Análisis de los esfuerzos y determinación del punto más crítico

Para determinar el punto más crítico, se analizarán los esfuerzos actuantes sobre los puntos A, B, C y D. Se debe considerar que los puntos A y B se encuentran sometidos, además del momento flector, a un momento torsor, provocado por la reacción entre la polea y la banda de lija.

$$T_m = 7.5 [Nm]$$

Punto A

$$z = 0.189 [m]$$

Plano x-z

Reemplazando valores en (3.32)

$$\begin{aligned} M_{A1} &= -R_{Ax} \times (0.248 - z) + 45 \times (0.2215 - z) \\ M_{A1} &= -136.2 \times (0.248 - 0.189) + 45 \times (0.2215 - 0.189) \\ M_{A1} &= 6.57 [Nm] \end{aligned}$$

Donde M_{A1} = Momento en el punto A en el plano x-z

Plano y-z

Reemplazando valores en (3.28)

$$\begin{aligned} M_{A2} &= R_{By} \times z = 34.2 \times 0.189 \\ M_{A2} &= 6.46 [Nm] \end{aligned}$$

Donde M_{A2} = Momento en el punto A en el plano y-z

Se determina el momento flector resultante:

$$\begin{aligned} M_R &= \sqrt{M_1^2 + M_2^2} & (3.34) \\ M_{RA} &= \sqrt{M_{A1}^2 + M_{A2}^2} \\ M_{RA} &= \sqrt{6.57^2 + 6.46^2} \\ M_{RA} &= 9.21 [Nm] \end{aligned}$$

Esfuerzo generado por el momento flector:

$$\begin{aligned} \sigma &= k_f \frac{M_R \times c}{I} \quad (7) & (3.35) \\ \sigma_A &= k_f \frac{M_{RA} \times c}{I} \end{aligned}$$

Donde:

σ_A = esfuerzo de flexión en el punto A

c = distancia al eje neutro

I = Momento de Inercia del cilindro

k_f = Factor de concentración de tensión en carga variable

Dicha ecuación se reduce a:

$$\sigma = k_f \frac{32 \times M_R}{\pi \times d^3} \quad (7) \quad (3.36)$$

$$\sigma_A = k_f \frac{32 \times M_{RA}}{\pi \times d^3} \quad (7)$$

$$\sigma_A = k_f \frac{32 \times 9.21}{\pi \times 0.04^3}$$

$$\sigma_A = k_f \times 1.47 \text{ [MPa]}$$

El factor de concentración de tensiones k_f para carga variable, viene dado por la ecuación:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (7) \quad (3.37)$$

Donde:

q = sensibilidad a la muesca

k_t = Factor de concentración de tensión en carga estática

Con un radio de acuerdo de 3mm en el punto A y con acero 1020:⁽⁷⁾

$$q = 0.75$$

$$\text{si } \frac{D}{d} = \frac{90}{40} = 2.25 \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{3}{40} = 0.075$$

$$k_t = 2.117$$

Reemplazando en (3.37):

$$k_f = 1 + 0.75(2.117 - 1)$$

$$k_f = 1.84$$

$$\sigma_A = 1.84 \times 1.47 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_A = 2.70 \text{ [MPa]}$$

Esfuerzo generado por el momento torsor:

$$\tau_{xy} = k_{fs} \frac{T_m \times r_{se}}{J} \quad (7) \quad (3.38)$$

$$\tau_{xyA} = k_{fs} \frac{T_m \times r_{se}}{J}$$

Donde:

τ_{xyA} = esfuerzo de torsión en el punto A

r_{se} = radio de la superficie exterior del rodillo

J = Momento Polar de Inercia del cilindro

k_{fs} = factor de concentración de torsión por carga variable

Dicha ecuación se reduce a:

$$\tau_{xy} = k_{fs} \frac{16 \times T_m}{\pi \times d_{se}^3} \quad (7) \quad (3.39)$$

$$\tau_{xyA} = k_{fs} \frac{16 \times T_m}{\pi \times d_{se}^3}$$

$$\tau_{xyA} = k_{fs} \frac{16 \times 7.5}{\pi \times 0.04^3}$$

$$\tau_{xyA} = k_{fs} \times 0.59 \text{ [MPa]}$$

El factor de concentración de tensiones k_{fs} para carga variable, viene dado por la ecuación:

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante} (k_{ts} - 1) \quad (7) \quad (3.40)$$

Donde:

$q_{cortante}$ = sensibilidad de la muesca en torsión ⁽⁷⁾

k_{ts} = Factor de concentración de tensión por torsor en carga estática ⁽⁷⁾

Con un radio de acuerdo de 3mm en el punto A y con acero 1020:

$$q_{cortante} = 0.93$$

$$\text{si } \frac{D}{d} = \frac{90}{40} = 2.25 \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{3}{40} = 0.075$$

$$k_{ts} = 1.53$$

Reemplazando valores en (3.40):

$$k_{fs} = 1 + 0.93(1.53 - 1)$$

$$k_{fs} = 1.5$$

$$\tau_{xyA} = 1.5 \times 0.59 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{xyA} = 0.885 \text{ [MPa]}$$

A continuación se determinan los esfuerzos principales que se generan en el punto A. ⁽⁷⁾

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (7) \quad (3.41)$$

$$\sigma_{A1}, \sigma_{A2} = \frac{\sigma_A}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{2}\right)^2 + (\tau_{xyA})^2}$$

$$\sigma_{A1}, \sigma_{A2} = \frac{2.70}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2.70}{2}\right)^2 + (0.885)^2}$$

$$\sigma_{A1} = 2.96 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{A2} = -0.26 \text{ [MPa]}$$

El esfuerzo efectivo aplicando la teoría de Von Mises es: ⁽⁷⁾

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_1)^2 - \sigma_1\sigma_2 + (\sigma_2)^2} \quad (7) \quad (3.42)$$

$$\sigma_A' = \sqrt{(\sigma_{A1})^2 - \sigma_{A1}\sigma_{A2} + (\sigma_{A2})^2}$$

$$\sigma_A' = \sqrt{(2.96)^2 - 2.96 \times -0.26 + (-0.26)^2}$$

$$\sigma_A' = 3.1 \text{ [MPa]}$$

Punto B

$$z = 0.204 \text{ [m]}$$

Plano x-z

Reemplazando valores en (3.32)

$$M_{B1} = -R_{Ax} \times (0.248 - z) + 45 \times (0.2215 - z)$$

$$M_{B1} = -136.2 \times (0.248 - 0.204) + 45 \times (0.2215 - 0.204)$$

$$M_{B1} = 5.2 \text{ [Nm]}$$

Plano y-z

Reemplazando valores en (3.28)

$$M_{B2} = R_{By} \times z$$

$$M_{B2} = R_{By} \times z = 34.2 \times 0.204$$

$$M_{B2} = 6.97 \text{ [Nm]}$$

Se determina el momento flector resultante reemplazando valores en (3.34):

$$M_{RB} = \sqrt{M_{B1}^2 + M_{B2}^2}$$

$$M_{RB} = \sqrt{5.2^2 + 6.97^2}$$

$$M_{RB} = 8.7 \text{ [Nm]}$$

Esfuerzo generado por el momento flector reemplazando valores en (3.36):

$$\sigma_B = k_f \frac{32 \times M_{RB}}{\pi \times d^3} \quad (7)$$

$$\sigma_B = k_f \frac{32 \times 8.7}{\pi \times 0.02^3}$$

$$\sigma_B = k_f \times 11.077 \text{ [MPa]}$$

Con un radio de acuerdo de 1mm en el punto B y con acero 1020:

$$q = 0.65$$

$$\text{si } \frac{D}{d} = \frac{40}{20} = 2 \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{1}{20} = 0.05$$

$$k_t = 2.388$$

Reemplazando valores en (3.37):

$$k_f = 1 + 0.65(2.388 - 1)$$

$$k_f = 1.90$$

$$\sigma_B = 1.90 \times 11.077 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_B = 21.070 \text{ [MPa]}$$

Esfuerzo generado por el momento torsor reemplazando valores en (3.39):

$$\tau_{xyB} = k_{fs} \frac{16 \times T}{\pi \times d^3} \quad (7)$$

$$\tau_{xyB} = k_{fs} \frac{16 \times 7.5}{\pi \times 0.02^3}$$

$$\tau_{xyB} = k_{fs} \times 4.7 \text{ [MPa]}$$

Con un radio de acuerdo de 1mm en el punto B y con acero 1020:

$$q_{cortante} = 0.72$$

$$k_{ts} = 1.647$$

Reemplazando valores en (3.40):

$$k_{fs} = 1 + 0.72(1.647 - 1)$$

$$k_{fs} = 1.46$$

$$\tau_{xyB} = 1.46 \times 4.7 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{xyB} = 6.9 \text{ [MPa]}$$

A continuación, se determinan los esfuerzos principales que se generan en el punto B, reemplazando valores en (3.41)

$$\sigma_{B1}, \sigma_{B2} = \frac{\sigma_B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_B}{2}\right)^2 + (\tau_{xyB})^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{B1}, \sigma_{B2} = \frac{21.07}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{21.07}{2}\right)^2 + (6.9)^2}$$

$$\sigma_{B1} = 23.12 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{B2} = -2.058 \text{ [MPa]}$$

El esfuerzo efectivo aplicando la teoría de Von Mises reemplazando valores en (3.42) es:

$$\sigma_B' = \sqrt{(\sigma_{B1})^2 - \sigma_{B1}\sigma_{B2} + (\sigma_{B2})^2} \quad (7)$$

$$\sigma_B' = \sqrt{(23.12)^2 - 23.12 \times -2.058 + (-2.058)^2}$$

$$\sigma_B' = 24.21 \text{ [MPa]}$$

Punto C

$$z = 0.239 \text{ [m]}$$

Plano x-z

Reemplazando valores en (3.33)

$$M_{C1} = R_{Ax} \times (0.248 - 0.239)$$

$$M_{C1} = 136.2 \times (0.009)$$

$$M_{C1} = 1.23 \text{ [Nm]}$$

Plano y-z

Reemplazando valores en (3.29)

$$M_{C2} = -R_{By} \times z + 320 \times (z - 0.2215)$$

$$M_{C2} = -34.2 \times 0.239 + 320 \times (0.239 - 0.2215)$$

$$M_{C2} = 2.57 \text{ [Nm]}$$

Se determina el momento flector resultante, reemplazando valores en (3.34):

$$M_{RC} = \sqrt{M_{C1}^2 + M_{C2}^2}$$

$$M_{RC} = \sqrt{1.23^2 + 2.57^2}$$

$$M_{RC} = 2.85 \text{ [Nm]}$$

Esfuerzo generado por el momento flector, reemplazando valores en (3.36):

$$\sigma_c = k_f \frac{32 \times M_{RC}}{\pi \times d^3} \quad (7)$$

$$\sigma_c = k_f \frac{32 \times 2.85}{\pi \times 0.012^3}$$

$$\sigma_c = k_f \times 16.8 \text{ [MPa]}$$

Con un radio de acuerdo de 1mm en el punto C y con acero 1020:

$$q = 0.65$$

$$\text{si } \frac{D}{d} = \frac{20}{12} = 1.66 \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{1}{12} = 0.08$$

$$k_t = 2.061$$

Reemplazando valores en (3.37):

$$k_f = 1 + 0.65(2.061 - 1)$$

$$k_f = 1.69$$

$$\sigma_c = 1.69 \times 16.8 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_c = 28.38 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{esfuerzo principal}$$

En este punto no existe momento generado por el torsor.

El esfuerzo efectivo aplicando la teoría de Von Mises reemplazando valores en (3.42) es:

$$\sigma_c' = \sigma_c = 28.38 \text{ [MPa]}$$

Punto D

$$z = 0.244 \text{ [m]}$$

Plano x-z

Reemplazando valores en (3.33)

$$M_{D1} = R_{Ax} \times (0.248 - 0.244)$$

$$M_{D1} = 136.2 \times (0.004)$$

$$M_{D1} = 0.55 \text{ [Nm]}$$

Plano y-z

Reemplazando valores en (3.29)

$$M_{D2} = -R_{By} \times z + 320 \times (z - 0.2215)$$

$$M_{D2} = -34.2 \times 0.239 + 320 \times (0.244 - 0.2215)$$

$$M_{D2} = 1.14 \text{ [Nm]}$$

Se determina el momento flector resultante, reemplazando valores en (3.34):

$$M_{RD} = \sqrt{M_{D1}^2 + M_{D2}^2}$$

$$M_{RD} = \sqrt{0.55^2 + 1.14^2}$$

$$M_{RD} = 1.26 \text{ [Nm]}$$

Esfuerzo generado por el momento flector, reemplazando valores en (3.36):

$$\sigma_D = k_f \frac{32 \times M_{RD}}{\pi \times d^3} \quad (7)$$

$$\sigma_D = k_f \frac{32 \times 1.26}{\pi \times 0.010^3}$$

$$\sigma_D = k_f \times 12.83 \text{ [MPa]}$$

Con un radio de acuerdo de 0.3mm en el punto D y con acero 1020:

$$q = 0.57$$

$$\text{si } \frac{D}{d} = \frac{12}{10} = 1.2 \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{1}{10} = 0.03$$

$$k_t = 2.71$$

Reemplazando valores en (3.37):

$$k_f = 1 + 0.57(2.71 - 1)$$

$$k_f = 1.97$$

$$\sigma_D = 1.97 \times 12.83 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_D = 25.35 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{esfuerzo principal}$$

En este punto no existe momento generado por el torsor.

El esfuerzo efectivo aplicando la teoría de Von Mises reemplazando valores en (3.42)

es:

$$\sigma_D' = \sigma_D = 25.35 \text{ [MPa]}$$

Se concluye que el punto más crítico es el punto C, debido al esfuerzo σ' generado en dicho punto.

3.3.2.6. Análisis de falla a carga variable en el punto más crítico

$\sigma_C' = \sigma_C = 28.38 \text{ [MPa]}$ Esfuerzo máximo en el punto C

Material del rodillo ACERO SAE 1020 HR

$$S_{ut} = 380 \text{ [MPa]}$$

$$S_y = 210 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e' \quad (7) \quad (3.43)$$

Donde:

S_e = Resistencia a la fatiga

S_e' = Resistencia a la fatiga en una viga rotatoria

k_a = Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

k_c = Factor de modificación de la carga

k_d = Factor de modificación de la temperatura

k_e = Factor de modificación de efectos varios

$$S_e' = S_{ut} \times 0.506 \text{ [MPa]} \quad (7) \quad (3.44)$$

$$S_e' = 380 \times 0.506 \text{ [MPa]}$$

$$S_e' = 192.28 [MPa]$$

El factor de superficie para un acero maquinado es: ⁽⁷⁾

$$k_a = 0.55 \quad (3.45)$$

El factor de tamaño se evalúa según la condición:

$$k_b = 1.24 \times d^{-0.107} \text{ si } 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad (7) \quad (3.46)$$

$$k_b = 0.95$$

Los factores de carga, temperatura y varios, son iguales a la unidad.

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

Reemplazando valores den (3.43):

$$S_e = 0.55 \times 0.95 \times 1 \times 1 \times 1 \times 192.28 [MPa]$$

$$S_e = 100.74 [MPa]$$

Factor de seguridad de fatiga:

$$n_f = \frac{S_e}{\sigma'_c} \quad (7) \quad (3.47)$$

$$n_f = \frac{100.74}{28.38}$$

$$n_f = 3.55$$

Con esto se concluye que, el rodillo más crítico en su punto más crítico y carga máxima,, presenta un factor de seguridad de fatiga de 3.55 por lo tanto no hay riesgo de falla por carga variable.

3.3.3. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos radiales de bolas, poseen muy buenas características para trabajos de alta velocidad, exactitud de giro, funcionamiento silencioso además de ser indicados en tanto a la carga radial a la que serán sometidos como soporte de los rodillos, además, por el medio de trabajo, estarán expuestos a contacto con el agua en el trabajo, por lo que, son necesarias, placas de protección de tipo RS en ambos lados de cada rodamiento, además que este tipo de rodamientos vienen lubricados de fábrica, con una grasa de base lítica que tiene propiedades antioxidantes y permite usar los rodamientos, a temperaturas de funcionamiento comprendidas entre

-30 y +110°C, estos rodamientos están lubricados de por vida y no requieren mantenimiento.

Para la selección de rodamiento, como no todos los rodamientos soportan la misma carga radial, se realiza el enfoque en el rodamiento que soportará la mayor carga.

La mayor carga radial, la soporta el rodillo motriz, en el rodamiento más cercano a la banda de transmisión, el rodamiento soportará únicamente carga radial.

Carga radial

$$F_R = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} \quad (6) \quad (3.48)$$

Donde:

F_R = Fuerza Resultante Radial Crítica

$$F_R = \sqrt{(136.2)^2 + (285.8)^2} = 316.6 [N]$$

$$F_R = 316.6 [N]$$

Según las características del rodillo y las demás condiciones se tiene:

$d_1=10$ mm (diámetro interno del rodamientos)

$P_1=316.6$ N (F_R)

$L_h=3000$ horas (Vida nominal de la vida de los rodamientos para cada tipo de maquinaria, Anexo C Tabla 4)

$$Lh = \frac{1000000}{60(n_1)} \left(\frac{C_1}{P_1}\right)^E \times a_1 \times a_2 \times a_3 \quad (6) \quad (3.49)$$

Donde:

n_1 = Velocidad del rodillo [rpm]

$a_1= 1$ (la confiabilidad es del 90% ⁽⁶⁾)

$a_2=1$ (material adecuado ⁽⁶⁾)

$a_3=1$ (lubricación adecuada ⁽⁶⁾)

$E=3$ (rodamiento de bolas ⁽⁶⁾)

C_1 (capacidad de carga dinámica)

Reemplazando valores en (3.49):

$$3000 = \frac{1000000}{60(537.5)} \left(\frac{C_1}{316.6} \right)^3 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$C = 1453.4 \text{ N}$$

Se selecciona el rodamiento 6000 en base a su capacidad de carga dinámica, debido a que su diámetro interior, se acopla al rodillo motriz diseñado, y su ancho es ideal para insertar en una placa de 10 mm de espesor.

$d_1=10$ (diámetro interno del rodamiento)

$D_1=26$ (diámetro exterior del rodamiento)

$B_1=8$ (espesor del rodamiento)

$C=4620$ (capacidad de carga dinámica)

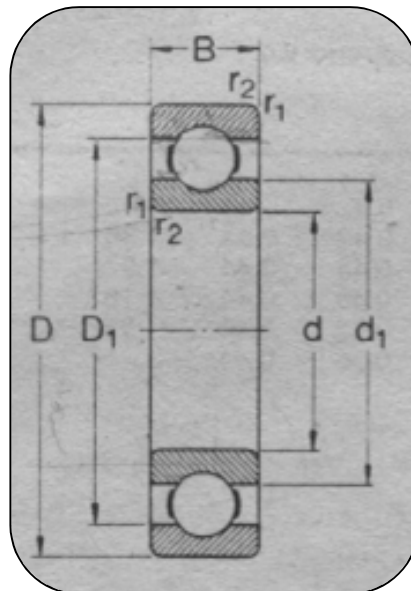


Figura 3.33 Dimensión del rodamiento de bolas ⁽⁶⁾.

3.3.4. CÁLCULO DE LAS BARRAS TENSORAS

Para dar la posibilidad de retirar el papel abrasivo, se ha diseñado una estructura principal, en la cual, dos barras sostienen todo el peso en un extremo de la estructura el momento de cambiar el papel abrasivo, por ello, es necesario, determinar la ubicación y el diámetro de las barras, adicionalmente, para ayudar a soportar la carga y disminuir vibraciones, se ha considerado la introducción de dos placas de refuerzo, que no son consideradas en el análisis de fuerzas.

3.3.4.1. Disposición de las barras tensoras

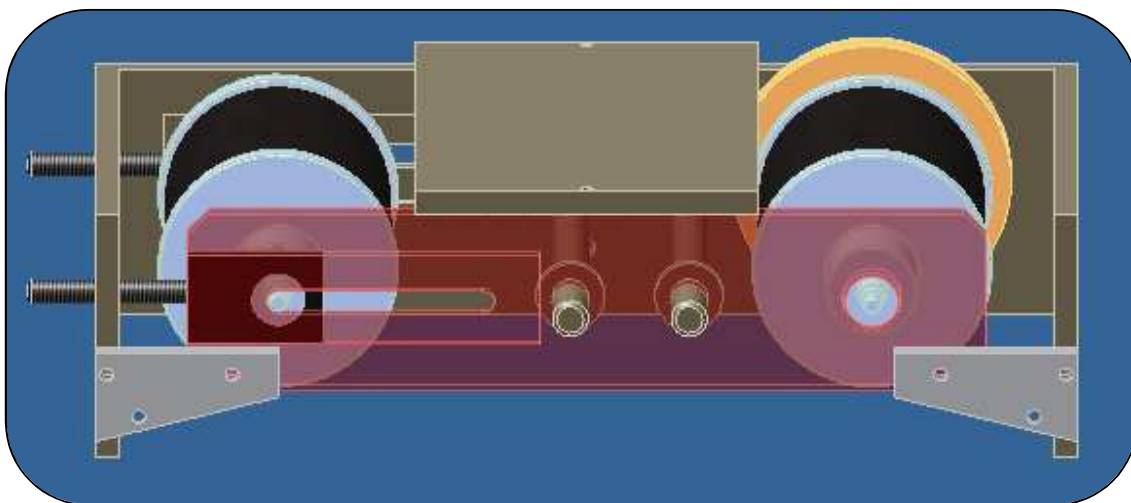


Figura 3.34 Disposición de las barras tensoras en la estructura

3.3.4.2. Fuerzas actuantes sobre la placa y las barras tensoras

Las fuerzas actuantes se las considera únicamente en el eje debido a que son significativas, mientras que, en el eje x se las puede despreciar.

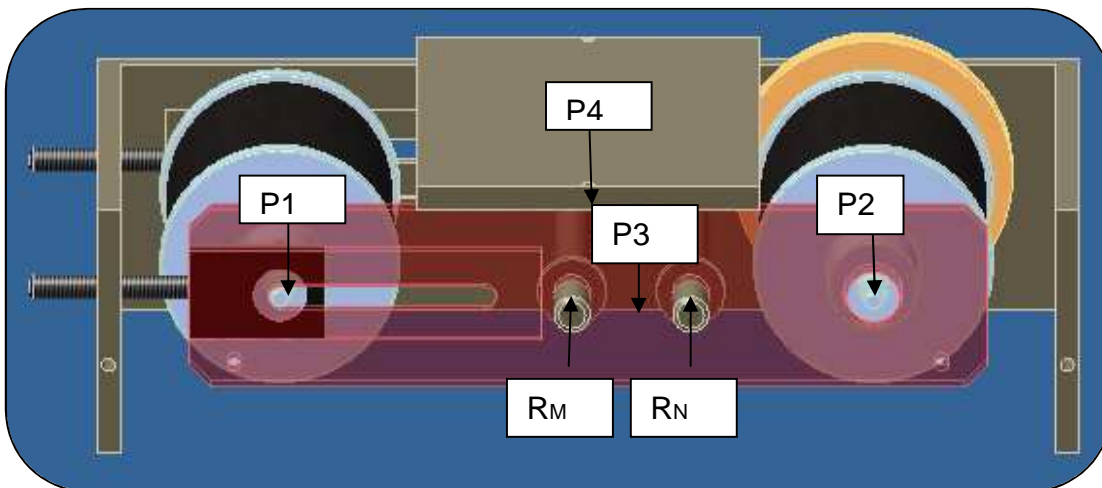


Figura 3.35 Actuación de las fuerzas sobre la placa exterior

Se determina la reacción sobre la placa ejercida por el rodillo conducido, que se considerará la mitad del peso por su forma muy similar a la simétrica.

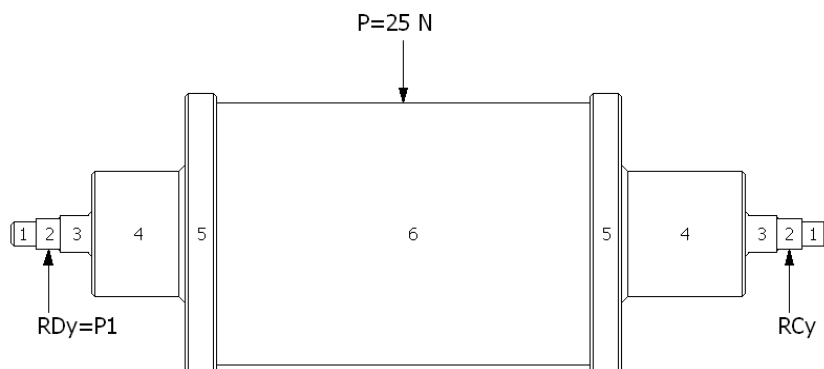


Figura 3.36 Diagrama de fuerzas del rodillo conducido.

Para determinar el peso del rodillo (P):

$$P = \{[(r1^2 \times \pi \times l1) + (r2^2 \times \pi \times l2) + (r3^2 \times \pi \times l3) + (r4^2 \times \pi \times l4) + (r5^2 \times \pi \times l5) + ((r61^2 - r62^2) \times \pi \times l6)] \times \delta\} / 2 \quad (3.50)$$

$$P = \{[(0.004^2 \times \pi \times 0.016) + (0.005^2 \times \pi \times 0.016) + (0.006^2 \times \pi \times 0.02) + (0.018^2 \times \pi \times 0.09) + (0.0435^2 \times \pi \times 0.016) + ((0.0435^2 - 0.0385^2) \times \pi \times 0.104)] \times 7850\} / 2$$

$$P = 2.55 \text{ Kg} = 25 \text{ [N]}$$

$$P1 = \frac{P}{2}$$

$$P1 = 12.5 \text{ [N]}$$

Se determina la reacción sobre la placa ejercida por el rodillo motriz:

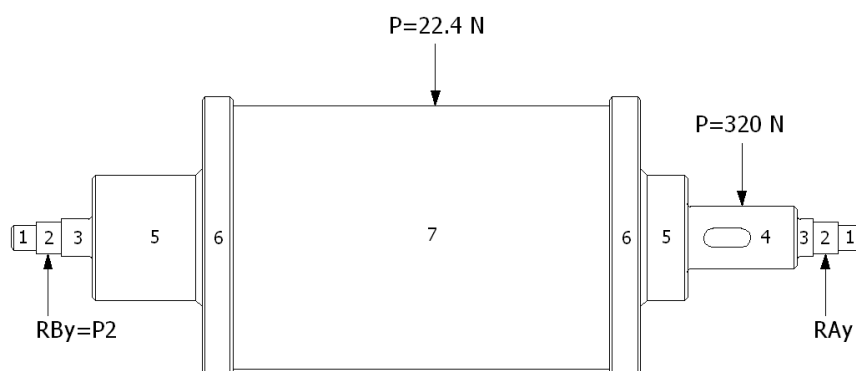


Figura 3.37 Diagrama de fuerzas del rodillo motriz.

Para determinar el peso del rodillo (P)

$$P = \{[(r1^2 \times \pi \times l1) + (r2^2 \times \pi \times l2) + (r3^2 \times \pi \times l3) + (r4^2 \times \pi \times l4) + (r5^2 \times \pi \times l5) + (r6^2 \times \pi \times l6) + ((r71^2 - r72^2) \times \pi \times l7)] \times \delta\} / 2 \quad (3.51)$$

$$P = \{[(0.004^2 \times \pi \times 0.016) + (0.005^2 \times \pi \times 0.016) + (0.006^2 \times \pi \times 0.013) + (0.01^2 \times \pi \times 0.025) + (0.018^2 \times \pi \times 0.05) + (0.0435^2 \times \pi \times 0.016) + ((0.0435^2 - 0.0385^2) \times \pi \times 0.104)] \times 7850\} / 2$$

$$P = 2.287 [kg]$$

$$P = 22.4 [N]$$

Para determinar la reacción sobre la placa:

$$\sum M_{Ay} = 0 \quad (3.52)$$

$$0.0215m \times 320N + 0.123m \times 22.4N - 0.246m \times P2 = 0$$

$$P2 = 39.17 [N]$$

Se determina la reacción generada por el peso de la placa:

Se calcula el área de la placa, con ayuda de la herramienta informática Inventor Professional y se obtiene la reacción.

A=Área de la placa

e= Espesor

δ = Densidad

$$P3 = (A \times e) \times \delta \quad (3.53)$$

$$P3 = (0.025947m^2 \times 0.01m) \times 7850 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

$$P3 = 2.042 [kg]$$

$$P3 = 20 [N]$$

La reacción generada por el operario, el momento del pulido, se determina en base a la máxima fuerza ejercida sobre la probeta:

$$P4 = 73.87/2$$

$$P4 = 36.94 [N]$$

P_T es la sumatoria de los pesos ejercidos sobre la placa

$$P_T = P1 + P2 + P3 + P4 \quad (3.54)$$

$$P_T = 108.6 [N]$$

A continuación se determina el lugar donde actúa la fuerza resultante en la placa

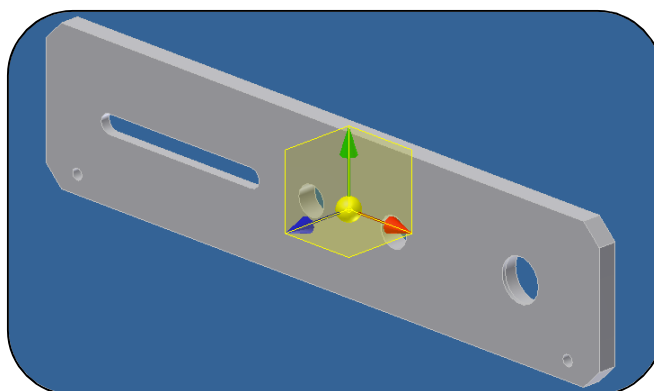


Figura 3.38 Placa exterior de la estructura, determinando el centro de gravedad con Autodesk Inventor Professional 2009.

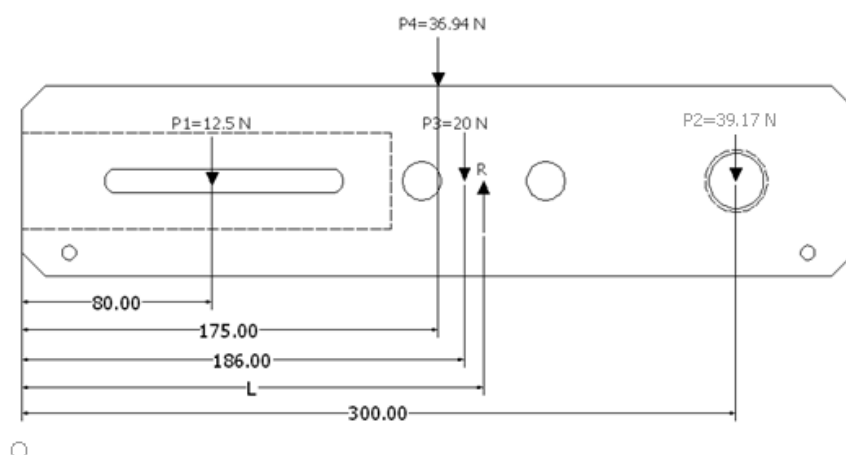


Figura 3.39 Diagrama de fuerzas aplicadas en la tapa exterior de la estructura

$$\sum M_o = 0 \quad (3.55)$$

$$P_T \times L = P_1 \times d_1 + P_2 \times d_2 + P_3 \times d_3 + P_4 \times d_4$$

$$108.6N \times L = 12.5N \times 0.080m + 39.17N \times 0.3m + 20N \times 0.186m + 36.94N \times 0.175m$$

$$L = 0.21 [m]$$

A partir de la fuerza resultante, se colocan dos barras igualmente espaciadas horizontalmente 52 [mm] para que soporten el peso, estas barras son ubicadas funcionalmente donde no ocasionen molestia para los rodillos, ni el intercambio de papel abrasivo.

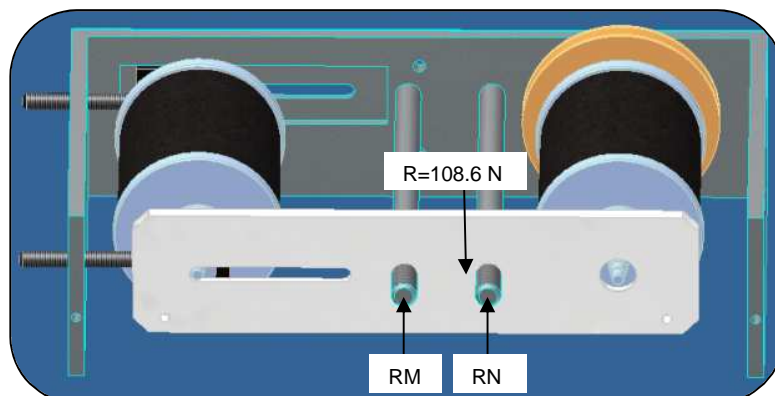


Figura 3.40 Fuerza resultante y reacción de las barras tensoras

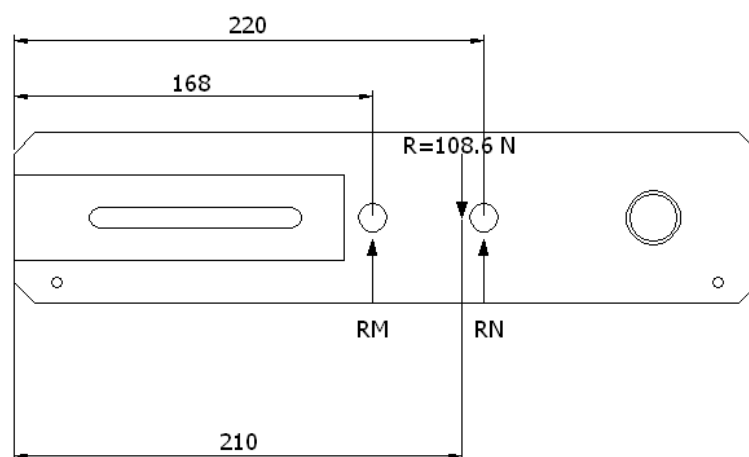


Figura 3.41 Diagrama de Cuerpo libre de la tapa exterior de las estructura

(3.56)

Donde:

RM= Reacción de la barra M

RN= Reacción de la barra N

Se considera la barra tensora con mayor carga para los cálculos, el diámetro se lo obtiene analizando la falla por cortante y por flexión

Para el acero A36

$$S_y = 36000 \text{ [psi]} = 248.21 \text{ [MPa]}$$

$n=2.5$ debido a que el operario podría trabajar sin las placas de refuerzo y generaría sobreesfuerzos en la estructura, además de transmitir otras fuerzas como la tensión de la cinta de papel abrasivo.

Cortante:

Reemplazando valores en (3.26):

$$\tau_N = \frac{RN}{A_N} \quad (7)$$

Donde:

τ_N = Esfuerzo cortante generado en la barra N

A_N = Área transversal de la barra N

d_N = Diámetro de la barra tensora N

τ_{Nadm} = Esfuerzo cortante admisible en N

$$\tau_N = \frac{87.7}{\frac{d_N^2 \pi}{4}} = \frac{111.66}{d_N^2}$$

Reemplazando valores en (3.24):

$$S_{S_y} = 0.577 \times S_y \quad (7)$$

$$S_{S_y} = 0.577 \times 248.21 = 143.21 \text{ [MPa]}$$

Reemplazando valores en (3.25):

$$\tau_{Nadm} = \frac{S_{S_y}}{n} = \frac{143.21}{2.5} = 57.284 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{Nadm} = \tau_N$$

$$\tau_N = \frac{111.66}{d_N^2} = 57284000$$

$$d_N = 0.00139 = 1.39 \text{ [mm]}$$

Flexión:

$$M_{Nmax} = RN \times L_N \quad (3.57)$$

$$M_{Nmax} = 111.66 \times 0.25 = 27.91 \text{ [Nm]}$$

Donde:

M_{Nmax} = Momento máximo en la barra N

L_N = Longitud de la barra N donde se aplica la carga RN

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (7) \quad (3.58)$$

$$\sigma = \frac{32 \times 27.91}{\pi d_N^3} = \frac{284.28}{d_N^3}$$

$$S = \frac{S_y}{n} \quad (3.59)$$

$$S = \frac{248.21}{2.5} = 99.29 [MPa]$$

$$\sigma = S$$

$$\sigma = \frac{284.28}{d_N^3} = 99.29$$

$$d_N = 0.0142 \approx 0.014 [m] = 14 [mm]$$

Por lo tanto, se escoge el mayor diámetro para las barras M y N; $d_N=14 [mm]$

CAPITULO 4.

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y MANTENIMIENTO

Para la construcción de la máquina desbastadora de probetas metalográficas, se requiere de un taller metalmecánico equipado con máquinas y herramientas apropiadas para la construcción. Adicional a ello, para ciertas partes de la maquinaria que requieren acabados de precisión, personal altamente capacitado con el fin de obtener los componentes mecánicos necesarios.

4.1.REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Dentro de lo que cabe en el ámbito de la construcción del sistema de desbaste, se requieren los planos de taller de la máquina y herramientas, que se detallan a continuación.

4.1.1. MAQUINARIA Y EQUIPOS

- Torno
- Limadora
- Fresadora
- Soldadora Eléctrica distintos procesos (SMAW, GMAW, GTAW)
- Taladro de Pedestal
- Taladro Manual
- Amoladora
- Compresor de Pintura
- Dobladora
- Prensa Eléctrica
- Cierra Alternativa
- Esmeril

4.1.2. HERRAMIENTAS

- Cuchillas y útiles para tornear
- Fresas

- Brocas
- Discos de corte y desbaste
- Sierras
- Limas
- Punto de marcado y rayador
- Llaves de Tuercas
- Machuelos
- Dados para roscar
- Entenalla
- Prensa de mesa

4.1.3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- Calibrador Pie de Rey
- Flexómetro
- Escuadras
- Nivel

4.1.4. MATERIA PRIMA

- Tubería de Acero de 3 ½"
- Ejes de Acero 1020 de distintos diámetros
- Planchas de Acero estructural de distintos espesores
- Tol de Acero Inoxidable de distintos espesores
- Pletinas de acero de distintos espesores
- Ángulos de 2 ½" x 2 ½" x 1/8"
- Tubería de Cobre de 5/16"
- Eje roscado distintos diámetros

4.1.5. ELEMENTOS ADICIONALES

- Motor Trifásico de 6 polos y 1200 rpm
- Poleas
- Banda

- Rodamientos 6000 2RS
- Tornillería
- Pernos tuercas y arandelas
- Acoples y Accesorios para la tubería
- Lija de diversos tamaños de grano
- Tensor
- Bomba de agua de bajo caudal
- Filtro de Bomba
- Cauchos para protección
- Interruptores

4.2.CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DESBASTE

La construcción de cualquier elemento del sistema de desbaste, debe hacerse en base a los planos de taller, en dichos planos se encuentra la ingeniería del detalle, es decir los requerimientos dimensionales, tolerancias, de materia prima y acabados; por lo tanto, es de suma importancia, que el fabricante disponga de dichos planos previo a la construcción de cualquier elemento.

4.2.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS RODILLOS MOTRIZ Y CONDUCIDO

4.2.1.1. Fabricación

Para la fabricación, se parte de tubería de acero 1020 de 3 ½ “ de diámetro (40 cm de longitud), eje de acero 1020 de 40 mm de diámetro (30 cm de longitud), eje de acero 1020 de 3 ½ “ de diámetro (5 cm).

Los rodillos fueron construidos con tubería de acero, con el fin de disminuir peso a los rodillos y de esta forma, reducir la inercia que generan los mismos durante el movimiento y el arranque, los segmentos de tubería, son acoplados a los ejes por medio de unas tapas, las cuales se sueldan tanto al eje como a la tubería.

Una vez acoplado, se procede a torneear los rodillos, según se indica en los planos de taller, con el fin de obtener las dimensiones y acabados de diseño.



Figura 4.1 Tubo para Rodillos



Figura 4.2 Ejes para Rodillos



Figura 4.3 Tubos y Tapas soldadas



Figura 4.4 Ejes Soldados a Tubos



Figura 4.5 Ensayo de tintas penetrantes para verificar la calidad de soldadura

4.2.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

4.2.2.1. Fabricación

Para la fabricación de la estructura de la máquina desbastadora, se parte de una plancha de acero A36 de 10 mm de espesor, cortada mediante proceso de oxicorte para obtener placas de diferentes tamaños necesarios y, posteriormente, se les da los acabados necesarios según los planos de taller; la estructura se acopla por medio de soldadura, tomando en cuenta la perpendicularidad que ésta debe tener, por lo tanto, las soldaduras se realizan con personal calificado, se deben tomar muy en cuenta los acabados y tolerancias dimensionales de la estructura.



Figura 4.6 Estructura principal

4.2.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS GUÍAS DEL RODILLO CONDUcido

4.2.3.1. Materia Prima

- Placa de acero de 10 mm de espesor
- Eje roscado de 11 mm de diámetro

4.2.3.2. Fabricación

Las placas guías del rodillo conducido, deben ser fabricadas a partir de placas de 10 mm de espesor, tomando en cuenta las tolerancias, tanto dimensionales como geométricas, debido a que son vitales para el movimiento longitudinal del rodillo conducido, es por ello que la soldadura del eje roscado con la placa guía, debe ser realizado con personal calificado, además, los asientos de los rodamientos deben cumplir con estrictas tolerancias, para que el rodamiento entre en apriete.



Figura 4.7 Placas guías y tornillos de tracción

4.2.4. CONSTRUCCIÓN DE LAS BARRAS DE SOPORTE

4.2.4.1. Materia Prima

- Eje de diámetro 20 mm

4.2.4.2. Fabricación

Las barras de soporte deben ser construidas en el torno y no requieren de grandes exigencias de acabado, sin embargo, su soldadura, debe ser realizada lo más perpendicular a la estructura, para garantizar su correcto acople.



Figura 4.8 Barras tensoras de soporte soldadas

4.2.5. ACOPLA DE PERFILES

4.2.5.1. Materia Prima

- Ángulos de 2 ½" x 2 ½" x 1/8"

4.2.5.2. Acople

Los perfiles se sueldan a la estructura principal y a ellos se acoplan 2 bisagras industriales para soporte del motor; se debe tomar en cuenta la distancia donde se sitúan las barras transversales, con el fin de evitar errores al momento del montaje, en especial, a la altura del motor.



Figura 4.9 Estructura soldada con los ángulos de soporte

4.2.6. CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS DE REFUERZO

4.2.6.1. Materia Prima

- Placas de 10 mm de espesor

4.2.6.2. Fabricación

Debido a la complejidad de su forma, su fabricación se la encarga a personal calificado; se debe tomar en cuenta la correcta ubicación de los alojamientos según los planos de taller.

4.3. ENSAMBLE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

El ensamble del sistema de transmisión de potencia, debe hacerse en conjunto con la construcción del sistema de desbaste.

Al motor se le acopla la polea de 2 ½" por medio de la chaveta propia del eje del motor y además, se refuerza con un prisionero.

El rodillo motriz debe acoplarse a la polea de 5", por medio de una chaveta previamente diseñada, y se la refuerza con un prisionero.

El motor, empernado sobre una placa, se acopla a los perfiles de la estructura por medio de bisagras industriales, tomando en cuenta la altura a la cual debe situarse

según la longitud de la banda; es importante realizar la adecuada conexión trifásica para evitar problemas, en el caso del motor, en la cámara de conexión, se indica cómo realizar el empate de cables.

La banda de transmisión se coloca en la polea del rodillo motriz, y una vez montado el mismo sobre la estructura, se coloca la banda de transmisión sobre la polea del motor.

Adicionalmente se coloca un tensor bajo la placa del motor, el cual, además, de tensionar a la banda de transmisión, reduce las vibraciones durante el funcionamiento del motor.



Figura 4.10 Sistema de transmisión de potencia montado

4.4.ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para el enfriamiento de la probeta, mientras se realiza el proceso de desbaste, es necesaria la disponibilidad de líquido refrigerante, en este caso, agua, la cual es bombeada de un reservorio y recircula en el sistema; para la construcción de este sistema, es necesario, construir una bandeja a partir de laminas de 1mm de espesor de acero inoxidable, se realiza el doblado y la soldadura de dos placas, se realizan pruebas de llenado de agua para corregir fugas.

La bomba sumergible multifuncional empleada, disponible en el mercado, es la HIDON SP-1000S con caudal máximo de 1100 l/h, de 18 watt y con una altura máxima de 1 m, el impulsor es cerámico.

El caudal necesario para la refrigeración en el pulido, es muy bajo, apenas se necesita un goteo constante sobre el papel abrasivo, para lo cual, se dará la posibilidad de regular el caudal con una válvula de globo.

Además, la bomba se encuentra protegida por una malla de acero inoxidable y papel filtro, para no introducir partículas abrasivas al pulido.

En el ensamble, se instala primero la bandeja de acero inoxidable; se coloca la bomba dentro de la malla y el papel filtro; y, se realizan las conexiones de mangueras, válvulas de globo y capilar, empleando elementos adecuados de acople; el capilar de cobre, se debe perforar para dar salida al flujo de refrigerante y debe ponerse un tapón para distribuir de mejor manera la presión dentro del capilar.

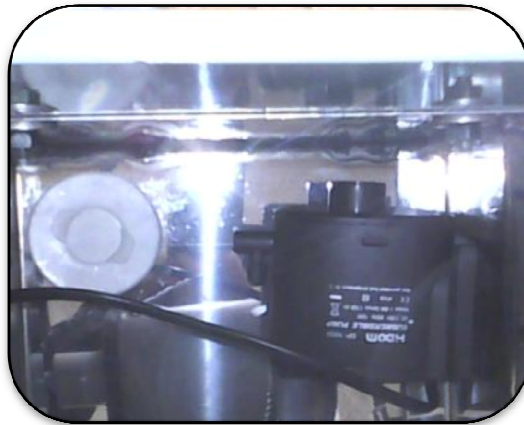


Figura 4.11 Bomba dentro de la bandeja de almacenamiento de agua

4.5.ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE TENSIÓN Y PARALELISMO DE LOS RODILLOS

4.5.1. MATERIALES

- Eje de 1/2"
- Pletina de 1/4"
- Pletina de 3/16"
- Prensa mediana
- Placa de 1/4"
- Placa de 1/2"
- Pasadores

4.5.2. CONSTRUCCIÓN

De acuerdo a los planos de taller, se construyen los ejes guías de la placa deslizante a partir del eje; el acabado debe dejar una superficie apta para deslizamiento, luego de ello se realizan los alojamientos en las pletinas y placas según los planos de taller para permitir el deslizamiento y paralelismo del sistema, luego se extrae de la prensa mediana, el tornillo que se instala en el nuevo sistema para transmitir fuerza y se acopla una manivela al sistema.

4.5.3. MONTAJE

El sistema de tracción paralela, se instala sobre la placa lateral de la estructura de la desbastadora, para ello, es necesario calibrar el sistema; se ponen placas de espesor muy delgado sobre la base del sistema de alineación, hasta verificar que la banda de lija permanece estable durante el giro de los rodillos, entonces, el sistema queda calibrado y listo para su uso.

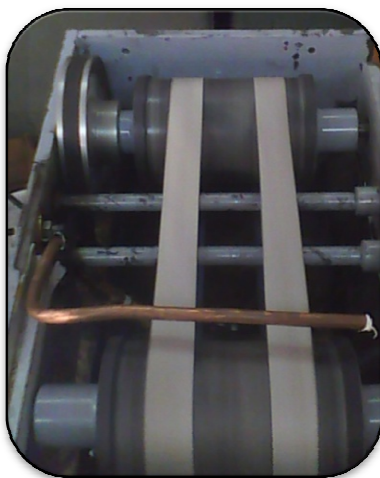


Figura 4.12 Rodillos en proceso de alineación

4.6. ENSAMBLE DE MISCELÁNEOS

A parte de los anteriores sistemas, es necesario instalar varios elementos como la carcasa de protección, que se construye de acero inoxidable, a partir de planchas de 0.7 mm según los planos de taller; la tapa de la desbastadora es construida, igualmente, de planchas de acero inoxidable y soldada por puntos, el piso del

compartimento de almacenamiento de objetos es de aluminio, adicionalmente, se instalan los controles para el encendido y apagado de la bomba y el motor.



Figura 4.13 Pulido de probeta utilizando la tapa de protección de la desbastadora



Figura 4.14 Desbastadora cubierta con la carcasa y con los controles de mando

4.7.PROTECCIÓN ANTIVORROSIVA

La máquina para desbaste de probetas, está sometida a contacto continuo con el agua, debido a la necesidad de remover las partículas residuales y refrigerar las probetas con agua, para ello, se ha seleccionado al acero inoxidable, como principal material de los elementos en contacto directo como la bandeja que almacena el agua y la tapa de protección de la máquina; además, el sistema de tubería y los accesorios son de cobre, acero galvanizado, bronce, vinil y plástico, con la finalidad de minimizar la corrosión; por otra parte, los demás elementos que, eventualmente, estarán sometidos a contacto con el agua están protegidas con pintura anticorrosiva.

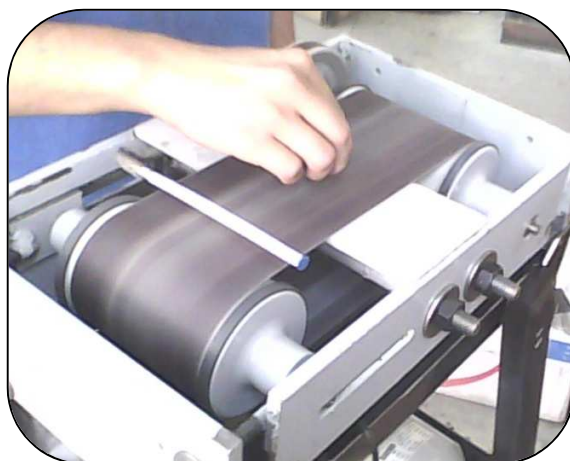


Figura 4.15 Prueba de Desbaste

4.8.MANTENIMIENTO

4.8.1. MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Para operar el equipo, es necesario conocer la función de sus mecanismos, la manera de operarlo, y los riesgos a los que está expuesto el operador.

El equipo cuenta con un rodillo móvil que puede desplazarse libremente sobre dos canales, los cuales deben estar libres de impurezas y engrasados, ello se verifica por inspección visual y por la facilidad de movimiento.

Además, la estructura principal está reforzada con dos placas, las cuales se deben desmontar el momento de cambiar la cinta abrasiva.

Como mecanismo de tensión del papel abrasivo, se tiene una manivela que desplaza una placa, la cual se encuentra sujeta al rodillo móvil, por medio de dos pasadores. Este mecanismo tiene dos guías, que son dos cilindros, los cuales, deben estar siempre engrasados y se verifica visualmente, por el sencillo deslizamiento de la placa sobre éstos; por otra parte, cuando se realiza la rotación de la manivela para dar la tensión a la cinta abrasiva, es necesario conocer que no se debe dar demasiada tensión, ya que el papel abrasivo podría deformarse, romperse, o se puede forzar a la banda a salir de los rodillos; la correcta tensión de la cinta es verificada aplicando una fuerza aproximada de 1 [Kg] en el medio de la banda, notando que el desplazamiento de la misma sea de aproximadamente 1[cm].

La alineación del rodillo conducido, es esencial para la estabilidad de la cinta abrasiva; una mala alineación, provocará un desplazamiento de la banda a uno de los extremos del rodillo, lo que podría causar la salida de la cinta de papel abrasivo y causar su destrucción.

La regulación del sistema de refrigeración, es importante; se utiliza como fluido de refrigeración agua; para regular el caudal del líquido refrigerante se cuenta con una válvula de globo; no es recomendable abrir toda la válvula debido a que se tendrán problemas de salpicaduras internas, el fluido se encuentra en un sistema de recirculación, se tiene una bandeja con agua como sistema de almacenamiento, en la cual el nivel de agua debe estar entre las dos línea de referencia, si está bajo estas líneas, la bomba podría absorber aire y dañarse; si el nivel está sobre las dos

líneas se podría fácilmente desbordar o regar el agua. Como el líquido de refrigeración está en recirculación, las partículas producto del pulido y del medio se acumularán en el agua, dificultando la facilidad de bombeo, por lo cual es necesario proteger a la bomba con una jaula hecha de malla metálica de acero inoxidable, para retener las partículas más grandes, y debajo de la malla cuenta con papel filtro para retener partículas más pequeñas, por lo cual, es recomendable cambiar el agua cada semana, además de dar el respectivo mantenimiento al sistema de filtro de la bomba. Igualmente, si se observa un flujo anormal del líquido de refrigeración, es recomendable verificar el estado de las tuberías.

El sistema de transmisión de potencia, también debe ser inspeccionado regularmente, para evitar pérdida de potencia, desgaste prematuro de los elementos, ruido, etc. Se debe verificar la tensión de la banda de transmisión de potencia, que se regula por medio de un tensor bajo el motor, además de dar el mantenimiento a los elementos del sistema.

4.8.1.1. Secuencia para cambio de la cinta abrasiva.

1. Desconectar el motor y la bomba, verificar que los controles estén en off.
2. Retirar la tapa de la máquina.
3. Retirar la placa de soporte de la cinta abrasiva.
4. Retirar las dos placas de refuerzo de la estructura.
5. Girar la manivela en sentido anti horario, para recorrer el tornillo de tensión y destensar la cinta abrasiva.
6. Retirar los pasadores de los ejes en el sistema de alineación.
7. Mover el rodillo conducido a su máximo desplazamiento en el interior de la estructura.
8. Retirar la cinta abrasiva, removiéndola fuera del sistema, primero en el extremo del rodillo motriz.
9. Verificación del nivel de líquido en la bandeja, inspección de fugas, especialmente en la bandeja, chequeo de la malla y filtro de la bomba y cambio de agua si es necesario.

10. Revisión de la tensión de la banda de transmisión y chequeo del estado de las poleas, alineación, estado del motor.
11. Ubicar la nueva cinta abrasiva, comenzando por el extremo del rodillo conducido.
12. Poner las placas de refuerzo de la estructura.
13. Mover el rodillo conducido, hacia el exterior de la estructura verificando que sobre salgan los ejes en la placa de tensión.
14. Poner los pasadores
15. Girar la manivela en sentido horario, para tensar la banda; verificar que la banda se tense hasta que en el punto medio de la cinta abrasiva, al aplicar 1 [kg] se desplace 1 [cm] aproximadamente, la manivela queda de preferencia hacia abajo.
16. Colocar la placa de soporte de la cinta abrasiva, verificando que se posicione en las ranuras de los extremos.
17. Prender el motor, para verificar el buen ajuste de la banda y el correcto cambio de papel abrasivo.
18. Prender la bomba y regular la refrigeración, por medio de la válvula, sin que esta produzca demasiadas salpicaduras.
19. Poner la tapa de la máquina verificando su ajuste.

4.8.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO

El manual de mantenimiento, ayuda a llevar un control de mantenimiento, sin embargo, algunas operaciones de mantenimiento pueden traer mayor complejidad, por lo que se detalla la operación.

4.8.2.1. Cambio de rodamientos y banda de transmisión

Para realizar el cambio de rodamientos y banda de transmisión, debe enfocarse principalmente en el estado de los rodamientos, debido a su menor tiempo de vida útil, y se recomienda, además, un cambio simultáneo de la banda de transmisión y los rodamientos, para no tener complicaciones en un futuro cambio, que requiera solo el reemplazo de la banda de transmisión.

Para desmontar la estructura, es necesario remover las placas de refuerzo de la estructura, retirar el papel abrasivo; desajustar y sacar las tuercas de las barras de soporte de la estructura; destensar la banda de transmisión y aislar el motor; los rodamientos se encuentran en ajuste, por lo que es necesario, aplicar una fuerza que puede ser una prensa para sacar el rodillo motriz con los rodamientos, tanto de la estructura, como de la placa, mientras que, el rodillo conducido sale sin mayor complejidad de la estructura, pero es necesario remover las placas guías, igualmente, con la ayuda de una prensa,

Una vez los que los rodillos están libres, solo con los rodamientos, se utiliza una prensa hidráulica para remover los rodamientos, en ésta, se presiona el extremo del rodillo y se colocan ayudas para retener el rodamiento y dar una distancia de desplazamiento al rodillo.

Para el montaje de los nuevos rodamientos, se puede utilizar una prensa manual o hidráulica, ubicando los rodamientos, primero, en los alojamientos de las placas y, finalmente, se montan los rodillos, igualmente, con ayuda de una prensa manual o hidráulica.

No se deben golpear los rodamientos en el montaje, ni ejercer fuerzas axiales demasiado grandes.

En el caso de la banda de transmisión, se efectuará el cambio con los rodamientos, a pesar de notarse un buen estado de la banda. Para realizar el cambio de banda, es necesario sacar la bandeja para almacenamiento de líquido refrigerante.

4.8.2.2. Lubricación, limpieza de las guías del rodillo y el sistema de alineación

Para lubricar estos sistemas, se empleará grasa; en las guías de los rodillos, es conveniente remover las impurezas y el residuo de grasa, luego poner nueva grasa y hacer recorrer a las placas sobre las guías, varias veces, en movimientos alternativos, para que ésta remueva las impurezas que no pudieron ser removidas anteriormente, luego se limpia el residuo de grasa y se vuelve a poner grasa nueva.

En el caso de las guías en el sistema de alineación, simplemente, se limpia la grasa y se coloca nueva grasa en la superficie de los cilindros, verificando que la placa móvil corra libremente.

4.8.2.3. Alineación del rodillo conducido

El sistema de alineación, cuenta con un mecanismo de manivela, sobre cuya base, a los extremos, se ponen hojas delgadas metálicas, para regular el paralelismo de los rodillos. En este sistema, es necesario solo un ajuste y el sistema queda alineado, pero por efectos del uso, podría el sistema perder algo de paralelismo, por lo cual, es recomendable, verificar la alineación según el cronograma de mantenimiento.

4.8.2.4. Inspección Total

Se cuenta con una hoja de verificación del correcto funcionamiento y estado de las partes y sistemas de la máquina, para realizar cambios o ajustes. En el caso de encontrar un mal estado, es necesario su rápida corrección, cambio, mantenimiento o reparación; en caso de encontrar un estado regular, es necesario, realizar la actividad de mantenimiento más adecuada o planear un próximo mantenimiento, para lo cual, se puede utilizar el campo de observaciones, además que, las tareas de corrección, cambio, mantenimiento o reparación, deben ser registradas y detalladas como observaciones.

Una inspección total, debe llevarse a cabo todos los años, para asegurar el buen funcionamiento de la máquina.

Lugar:

Fecha:

Persona que realizó la Inspección Total:

Anterior Inspección Total:

Próxima Inspección Total:

Tabla 4.8.1 Inspección Total llevada a cabo cada año.

	Estado			Observaciones
	Malo	Regular	Bueno	
Ajuste de la banda de transmisión				
Banda de transmisión				
Alineación de las poleas				
Motor				
Rodamientos				
Alineación de los rodillos				
Lubricación de las guías del rodillo conducido				
Lubricación de las guías del sistema de alineación				
Bomba				
Malla protectora de la bomba				
Papel Filtro				
Tubería y conexiones				
Válvula de globo				
Válvula de desagüe				
Bandeja				
Caucho de los rodillos				
Ajuste de tuercas en la estructura				
Pasadores				
Manivela				
Ajuste de la placa soporte de la cinta abrasiva				
Interruptor de Motor				
Interruptor de Bomba				
Enchufe y cable de la bomba				
Enchufe y cable del motor				

4.8.3. HOJA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO

I= Inspección, se ejecuta la actividad si se considera necesaria.

E= Ejecutar actividad o tarea.

Tabla 4.8.2 Control de Mantenimiento.

Actividades	Semanal	Mensual	Semestral	Anual	Cuatrianual
Lubricación y limpieza de las guías del rodillo conducido	I	E			
Lubricación y limpieza de los ejes del sistema de alineación	I	E			
Cambio de liquido refrigerante y limpieza de la bandeja	E				
Cambio de rodamientos				I	E
Cambio de la banda de transmisión				I	E
Ajuste de la banda de transmisión		I			
Alineación de rodillos		I			
Cambio de papel filtro	I	E			
Cambio de caucho en rodillos		I	E		
Inspección total				E	

4.9. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Con la finalidad de analizar el desempeño de la máquina desbastadora, es necesaria la realización de pruebas, evaluando los parámetros más importantes. Durante la etapa del desbaste de probetas metalográficas, es necesario, tomar en cuenta que los resultados obtenidos por medio de la máquina de desbaste de cinta, sean comparados con los resultados de la máquina desbastadora de disco, que se emplea actualmente en el laboratorio; dichos resultados deben ser cuantificados, con el fin de tener una evaluación más precisa.

Los criterios o parámetros a ser evaluados son los siguientes:

4.9.1. PLANICIDAD

Para evaluar la planicidad presente en el acabado de la máquina de cinta, se cuantifica el tiempo que tarda en borrar de las probetas, en papel abrasivo N° 240, las rayas dejadas por el acabado del papel abrasivo N° 120 tanto por la desbastadora de disco como la de cinta; los tiempos deben ser similares o menores

en la máquina de cinta, para tener una planicidad adecuada. El desbaste manual con papel abrasivo N° 240, garantiza planicidad por la superficie donde asienta el papel abrasivo.

Tabla 4.9.1 Tiempo necesario para eliminar rayaduras del desbaste inicial.

N° de Probeta	Desbastadora de Disco	Desbastadora de cinta
1	92 seg	117 seg
2	105 seg	98 seg
3	132 seg	122 seg
4	110 seg	128 seg
5	156 seg	119 seg
6	168 seg	146 seg
7	164 seg	179 seg
8	319 seg	377 seg
9	115 seg	108 seg
10	92 seg	107 seg
11	75 seg	80 seg
12	98 seg	89 seg
13	97 seg	139 seg
14	79 seg	64 seg
15	49 seg	38 seg

4.9.2. TIEMPO DE CAMBIO DEL PAPEL ABRASIVO

Se cuantifica el tiempo que tarda en cambiar un papel abrasivo desgastado, por uno nuevo, en la máquina de disco y en la de cinta.

Tabla 4.9.2 Tiempo de Intercambio de papel abrasivo en desbastadora de disco y de cinta

N° de Prueba	Desbastadora de Disco	Desbastadora de cinta
1	18 min	2 min 48 seg
2	16 min	3 min
3	23 min	3 min 18 seg
4	21 min	3 min 34 seg
5	18 min	3 min 15 seg
Promedio	19 min	3 min 14 seg

4.9.3. TIEMPO DE DESBASTE EN PAPEL ABRASIVO N° 120

Se cuantifica el tiempo que se tarda en desbastar diferentes probetas en la máquina de disco, y las mismas probetas en la máquina de cinta, empleando papel abrasivo N° 120; se parte de una superficie inicial propia del corte con sierra, para extraer las muestras o probetas.

Tabla 4.9.3 Probetas empleadas para desbaste


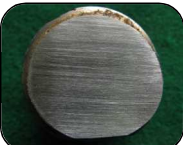

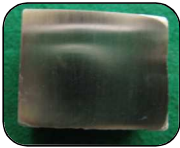


Probeta: 1 	Probeta: 2 	Probeta: 3 
Probeta: 4 	Probeta: 5 	Probeta: 6 
Probeta: 7 	Probeta: 8 	Probeta: 9 
Probeta: 10 	Probeta: 11 	Probeta: 12 
Probeta: 13 	Probeta: 14 	Probeta: 15 

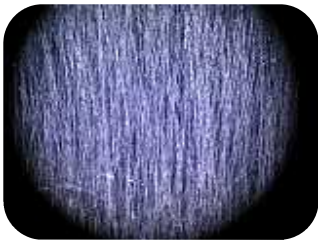
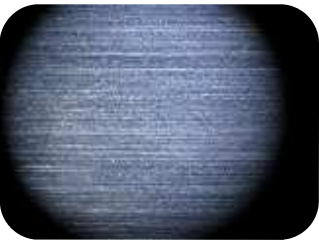
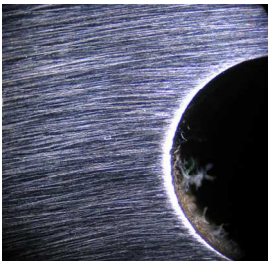



Tabla 4.9.4 Tiempo de desbaste inicial

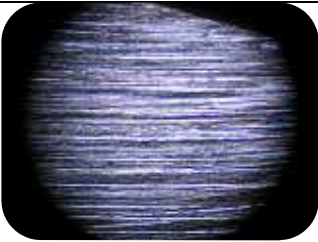





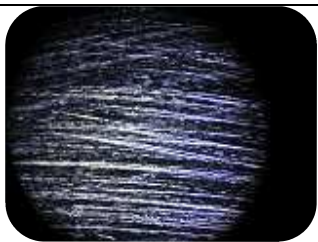

N°de Probeta	Área aproximada [mm²]	Desbastadora de Disco	Desbastadora de cinta
1	395	179 seg	162 seg
2	430	137 seg	152 seg
3	440	181 seg	175 seg
4	375	205 seg	228 seg
5	380	167 seg	156 seg
6	780	208 seg	187 seg
7	625	269 seg	288 seg
8	2000	505 seg	422 seg
9	250	123 seg	131 seg
10	175	101 seg	120 seg
11	110	129 seg	98 seg
12	120	95 seg	88 seg
13	85	112 seg	109 seg
14	78	78 seg	69 seg
15	40	65 seg	59 seg

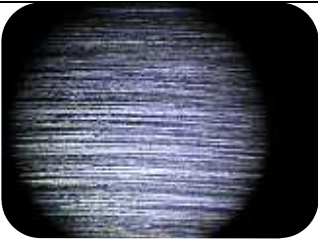




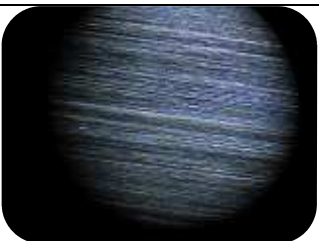
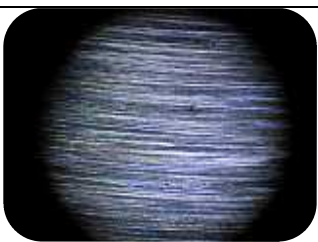

4.9.4. CALIDAD DE PULIDO









Se cuantifica la calidad de pulido, por medio del conteo de rayas poco profundas, homogéneas y profundas no homogéneas, dejadas por el desbaste en ambas máquinas, con el mismo número de papel abrasivo en este caso con papel N° 120.

Tabla 4.9.5 Calidad de pulido en papel abrasivo N° 120 en la desbastadora de disco y de cinta, 20X de aumento, área aproximada 100 [mm²]

N° de Probeta	Desbastadora de Disco	Desbastadora de cinta
1	 <p data-bbox="515 913 818 992">Porcentaje de rayas no uniformes: 11%</p>	 <p data-bbox="890 913 1337 992">Porcentaje de rayas no uniformes: 2.8%</p>
2	 <p data-bbox="515 1312 818 1391">Porcentaje de rayas no uniformes: 6%</p>	 <p data-bbox="890 1323 1337 1402">Porcentaje de rayas no uniformes: 1.5%</p>
3	 <p data-bbox="515 1715 818 1794">Porcentaje de rayas no uniformes: 5%</p>	 <p data-bbox="890 1715 1337 1794">Porcentaje de rayas no uniformes: 1%</p>

4	 <p data-bbox="515 568 818 656">Porcentaje de rayas no uniformes: 8%</p>	 <p data-bbox="890 568 1332 656">Porcentaje de rayas no uniformes: 3%</p>
5	 <p data-bbox="515 920 818 1008">Porcentaje de rayas no uniformes: 5%</p>	 <p data-bbox="890 920 1332 1008">Porcentaje de rayas no uniformes: 5%</p>
6	 <p data-bbox="515 1272 818 1359">Porcentaje de rayas no uniformes: 7%</p>	 <p data-bbox="890 1272 1332 1359">Porcentaje de rayas no uniformes: 2%</p>
7	 <p data-bbox="515 1624 818 1711">Porcentaje de rayas no uniformes: 13%</p>	 <p data-bbox="890 1624 1332 1711">Porcentaje de rayas no uniformes: 4%</p>

8	 <p data-bbox="517 568 817 654">Porcentaje de rayas no uniformes: 10%</p>	 <p data-bbox="890 568 1331 654">Porcentaje de rayas no uniformes: 5%</p>
9	 <p data-bbox="517 920 817 1005">Porcentaje de rayas no uniformes: %4</p>	 <p data-bbox="890 920 1331 1005">Porcentaje de rayas no uniformes: 2.5%</p>
10	 <p data-bbox="517 1272 817 1357">Porcentaje de rayas no uniformes: 6%</p>	 <p data-bbox="890 1272 1331 1357">Porcentaje de rayas no uniformes: 4.5%</p>
11	 <p data-bbox="517 1624 817 1709">Porcentaje de rayas no uniformes: 6%</p>	 <p data-bbox="890 1624 1331 1709">Porcentaje de rayas no uniformes: 3.5%</p>

12	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 4%</p>	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 2%</p>
13	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 5%</p>	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 3.5%</p>
14	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 7%</p>	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 4.5%</p>
15	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 7.5%</p>	 <p>Porcentaje de rayas no uniformes: 3.5%</p>

4.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede notar claramente que el tiempo que toma el cambio del papel abrasivo con la desbastadora de cinta, es mucho menor que con la desbastadora de disco; eso se debe a la serie de pasos que se debe seguir para el cambio de papel abrasivo con la desbastadora de cinta, se inicia con el corte del papel abrasivo para obtener la forma circular; remoción del papel abrasivo desgastado, con la ayuda de thinner y espátula; pegar el nuevo papel abrasivo con cemento de contacto y esperar que seque; por otra parte, el cambio de papel abrasivo en la desbastadora de cinta, implica solamente destensar el rodillo tensor, sacar el papel abrasivo desgastado, colocar el nuevo papel abrasivo y tensar nuevamente moviendo el rodillo móvil.

El tiempo que tarda en desbastar la máquina de cinta las 15 probetas en papel abrasivo N° 120, partiendo de una superficie cortada con sierra, es ligeramente superior al tiempo que tarda la máquina de disco, realmente, no se puede apreciar una diferencia significativa, y algunas mediciones pueden arrojar valores erróneos, debido a que la superficie irregular, en algunos casos, dejada por el corte a sierra tiene rayas profundas, que toman mayor cantidad de tiempo eliminarlas, sin que esto represente una característica propia del proceso de desbaste empleado, otro aspecto que se debe tomar en cuenta, es que el papel abrasivo se desgaste demasiado rápido y constituye un problema, porque el tiempo empleado en desbastar una probeta con un papel abrasivo desgastado, es muy superior al tiempo que tomaría con un papel abrasivo nuevo; además, una característica importante que influye es la técnica de desbaste debido a que un operario sin destrezas de desbaste tardará mucho más que un operario experimentado en la técnica de desbaste. La diferencia en los tiempos, porcentualmente, realizando una sumatoria total es de un 3.2 % con respecto a la desbastadora de disco; ello indica que la máquina se encuentra en un rango aceptable de tiempo de desbaste, en comparación con la máquina que se emplea actualmente.

Según los resultados obtenidos, el tiempo que tardan en borrarse, en papel abrasivo N° 240, las rayas dejadas por la desbastadora de cinta con papel N° 120, es menor

al que se tarda en borrar las rayas dejadas por la desbastadora de disco; esto es bastante lógico, debido a que, la mayor velocidad de rotación del disco, implica que se necesita una mayor presión de desbaste y, como consecuencia, se obtienen rayaduras más profundas que las dejadas por la desbastadora de cinta. Este fenómeno, es apreciable en la tabla de calidad de pulido, dichas rayaduras son más difíciles de borrar en el papel N°240.

Según las imágenes y los resultados obtenidos de la calidad de pulido, se observa que la desbastadora de cinta, genera un mejor acabado que la de disco, debido a la velocidad de desbaste en la máquina de disco, que es superior que en la desbastadora de cinta, por lo tanto, la presión es mayor para estabilizar la probeta sobre la superficie y esto genera rayaduras más profundas y menos uniformes, que las que se obtienen al desbastar en la máquina de cinta.

Mediante los resultados obtenidos del Protocolo de Pruebas (Anexo D) se puede notar que el sistema de transmisión de potencia de la desbastadora de cinta, funciona adecuadamente; no se presentaron irregularidades en su funcionamiento, lo cual implica un correcto diseño del mismo, de la misma manera, el sistema de desbaste presentó un correcto funcionamiento; no se observaron fallas en el diseño, ni irregularidades en el trabajo de los elementos del sistema de desbaste; no se presentan errores en los ajustes de elementos, ni en la lubricación de los mismos; se consideró el contacto con el agua y es por ello, que el sistema lleva un recubrimiento de pintura anticorrosiva, inclusive, en las arandelas; mediante las pruebas realizadas en el sistema de bombeo, se pudo notar que funciona tal y como lo previsto; el caudal de caída del agua, puede ser fácilmente regulado por el operario, mediante una válvula y se pudo notar que la bomba trabaja adecuadamente, sin embargo, es necesaria, una malla metálica que actúa como filtro, con el fin de no dejar pasar elementos que puedan tapar o dañar la bomba.

Mediante el análisis de las pruebas de funcionamiento, se pudo verificar que la desbastadora de cinta, trabajó correctamente en todos sus sistemas, durante más de 30 minutos consecutivos que duró la prueba; en adición se puede decir que, para el análisis de la calidad de desbaste con las probetas previamente estudiadas, la desbastadora trabajó correctamente.

Por medio de las pruebas que se realizaron, fue necesario como medida preventiva verificar la alineación de los rodillos, observando que la lija presente un movimiento estable con los rodillos y no exista maltrato de la misma.

Adicionalmente, se puede agregar que la desbastadora de cinta, da muy buenos resultados al emplearse como desbaste intermedio con papel abrasivo N° 180, es decir, que se lo emplee luego del desbaste en la máquina de disco con papel N° 120 y antes del desbaste fino con papel N° 240, empleando esta secuencia se tiene un gran ahorro de tiempo en todo el proceso de desbaste y pulido de probetas metalográficas.

CAPITULO 5.

ANÁLISIS DE COSTOS

El costo es un factor determinante para la ejecución de un proyecto, este puede ser un motivo por el cual el proyecto no es factible. Para realizar el análisis de costos en el presente proyecto se consideran dos tipos de costos:

5.1.COSTOS DIRECTOS

Son los costos más representativos, y relacionados con la máquina. Dentro de lo que son los costos directos se considera principalmente:

- Costos de Máquinas Herramientas
- Costos de Mano de Obra
- Costos de Materia Prima
- Costos de Elementos Normalizados
- Costos de Diseño

5.1.1. COSTO DE MÁQUINAS-HERRAMIENTAS

Para realizar algunos procesos en la construcción, es necesario disponer de ciertas herramientas, máquinas y útiles, con el fin de intervenir directamente en la construcción y el ensamble. A continuación, se detallan las máquinas y herramientas empleadas en la construcción.

Disponible significa que la máquina o herramienta es prestada en los laboratorios, para lo cual se descartarán estos valores de costo.

Tabla 5.1.1 Desglose de Costo de Máquinas-Herramientas

	Artículo	Unidad Comercial	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
				USD	USD	
1	Taladro manual	unidades	1	30	30	
2	Amoladora	unidades	1	50	50	
3	Llave ajustable de tuercas	unidades	2	8	16	
4	Juego de destornilladores	unidades	1	10	10	
5	Dobladora de capilar	unidades	1	8	8	
6	Cortadora de tubería	unidades	1		0	Disponible
7	Soldadora SMAW	unidades	1		0	Disponible
8	Oxicorte	unidades	1		0	Disponible
9	Sierra automática	unidades	1		0	Disponible
10	Cuchilla de acero rápido 3/8x3"	unidades	3	6,5	19,5	
11	Fresa de 1 in	unidades	1	28	28	
12	Taladro de pedestal	unidades	1		0	Disponible
13	Torno	unidades	1		0	Disponible
14	Limadora automática	unidades	1		0	Disponible
15	Broca 1 mm	unidades	1	0,33	0,33	
16	Broca 1,5 mm	unidades	1	0,33	0,33	
17	Brocas de 1/4 in	unidades	5	1,8	9	
18	Brocas de 1/8 in	unidades	6	0,79	4,74	
19	Brocas de 1/16	unidades	2	0,85	1,7	
20	Brocas de 10 mm	unidades	1	1,9	1,9	
21	Brocas de 14 mm	unidades	1	4,5	4,5	
22	Disco de desbaste	unidades	3	1,19	3,57	
23	Disco de corte de amoladora	unidades	3	1,38	4,14	
24	Cepillo para taladro	unidades	1	1,47	1,47	
25	Electrodos 6011	kg	1	7	7	
26	Electrodos 7018	kg	1	8	8	
27	Flexómetro	unidades	1	3	3	
28	Medidor de nivel	unidades	1		0	Disponible
29	Juego de limas	unidades	1		0	Disponible
30	Martillo	unidades	1		0	Disponible
31	Juego de llaves allen	unidades	1		0	Disponible
32	Calibrador	unidades	1		0	Disponible
33	Escuadra	unidades	1		0	Disponible
34	Sierra manual	unidades	1		0	Disponible
35	Entenalla	unidades	1		0	Disponible
36	Esmeril	unidades	1		0	Disponible
37	Grata	unidades	1		0	Disponible
38	Prensa hidráulica	unidades	1		0	Disponible
39	Soldadora de puntos	unidades	1		0	Disponible
40	Cizalla	unidades	1		0	Disponible
41	Dobladora de tol	unidades	1		0	Disponible
42	Equipo Soldadura TIG	unidades	1		0	Disponible
SUBTOTAL					211,18	

5.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA

En la construcción de la máquina se necesitan dos operadores, un soldador calificado, un pintor, un tornero y un fresador, los operadores se encargan de tareas diversas en la construcción como amolar, ensamblar, cortar, transportar la maquina, atornillar, limpiar, lubricar, etc.

Un trabajador con poca experiencia gana un promedio 300 usd mensuales, que sumando aportes al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldos está costando a la empresa 379 usd mensuales.

$$\text{Valor hora por operador} = \frac{379 \text{ usd}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{21 \text{ dias laborables}} \times \frac{1 \text{ dias}}{8 \text{ horas}} = 2,25 \text{ usd/horas}$$

Un soldador dependiendo de la calificación puede ganar un promedio 600 usd mensuales con la suficiente experiencia, que sumando aportes al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldos, está costando a la empresa 742 usd mensuales.

$$\text{Valor hora por soldador} = \frac{742 \text{ usd}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{21 \text{ dias laborables}} \times \frac{1 \text{ dias}}{8 \text{ horas}} = 4,41 \text{ usd/horas}$$

Un pintor gana un promedio de 400 usd mensuales, que sumando aportes al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldos, está costando a la empresa 501 usd mensuales.

$$\text{Valor hora por pintor} = \frac{501 \text{ usd}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{21 \text{ dias laborables}} \times \frac{1 \text{ dias}}{8 \text{ horas}} = 2,98 \text{ usd/horas}$$

Un tornero gana un promedio 400 usd mensuales, que sumando aportes al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldos, está costando a la empresa 501 usd mensuales.

$$\text{Valor hora por tornero} = \frac{501 \text{ usd}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{21 \text{ dias laborables}} \times \frac{1 \text{ dias}}{8 \text{ horas}} = 2,98 \text{ usd/horas}$$

Un fresador gana un promedio 500 usd mensuales, que sumando aportes al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldos, está costando a la empresa 620 usd mensuales.

$$\text{Valor hora por fresador} = \frac{620 \text{ usd}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{21 \text{ dias laborables}} \times \frac{1 \text{ dias}}{8 \text{ horas}} = 3,7 \text{ usd/horas}$$

Tabla 5.1.2 Desglose del costo de la mano de obra

Personal	Cantidad	Costo por hora	Horas trabajadas	Costo Total
Operador	2	2,25	120	540
Soldador Calificado	1	4,41	10	44,1
Pintor	1	2,98	6	17,88
Tornero	1	2,98	24	71,52
Fresador	1	3,7	24	88,8
SUBTOTAL				762,3

5.1.3. COSTO DE MATERIALES

Es el costo generalmente más tomado en cuenta en una construcción, debido a que constituyen la materia prima, a estos productos se los transformará en un nuevo producto elaborado; en esta sección también se ha incluido el costo de elementos normalizados. Para realizar el desglose, se ha separado cada uno de los materiales, en base a su unidad comercial de venta; por otra parte, algunos de los materiales, tienen un menor costo al comprar al por mayor, lo cual en una producción en serie, reduce el costo significativamente respecto a materiales.

Tabla 5.1.3 Desglose de Costo de Materiales.

	Artículo	Unidad Comercial	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
				USD	USD	
1	Plancha de acero A36 1200mmx160mmx10mm	kg	16	2,32	37,12	
2	Tol A36 3mmx0.22mx0.15m	unidades	1	1,5	1,5	
3	Tubería de 3,5"	unidades	1		0	Disponible
4	Eje 1020 1 1/2"	kg	2,8	2,3	6,44	
5	Eje 1020 7/8"	kg	2	2,3	4,6	
6	Eje 1020 3 1/4"	kg	4,4	2,65	11,66	
7	Eje 1020 1/2"	kg	0,6	2	1,2	
8	Angulo 2" x 1/8"	metros	6	1,7	10,2	
9	Templador	unidades	1	1,81	1,81	
10	Polea de 2,5"	unidades	1	2,91	2,91	
11	Polea de 5"	unidades	1	3,27	3,27	
12	Banda Dayco AP37	unidades	1	3,54	3,54	
13	Motor Trifásico, de 6 polos Siemens	unidades	1	179	179	
14	Prisionero 5/16"x1"	unidades	1	0,18	0,18	
15	Prisionero 3/8"x1"	unidades	1	0,25	0,25	
16	Cable de lámpara	unidades	1	1,25	1,25	
17	Cable No13	metros	3	2,6	7,8	
18	Enchufe trifásico grande	unidades	1	2,66	2,66	
19	Enchufe trifásico pequeño	unidades	1	3,9	3,9	
20	Rodamiento SKF 6000-RS	unidades	4	4,25	17	
21	Palanca de aluminio	unidades	1	2,25	2,25	
22	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,4mx0,43	unidades	1	7,47	7,47	
23	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,13mx0,2	unidades	2	1,35	2,7	
24	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,24mx0,44m	unidades	1	3,3	3,3	
25	Aldabas 5/2"x2"	unidades	2	1,02	2,04	
26	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,32mx0,82m	unidades	1	8,15	8,15	
27	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,18mx0,47m	unidades	2	2,63	5,26	
28	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,56mx0,5m	unidades	2	8,75	17,5	

	Artículo	Unidad Comercial	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
				USD	USD	
29	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,38mx0,5m	unidades	1	5,88	5,88	
30	Plancha de acero inoxidable 0,7 mmx0,39mx0,5m	unidades	1	6,11	6,11	
31	Adaptador 1/2" Desagüe	unidades	1	1,48	1,48	
32	Válvula de desagüe	unidades	1	1,97	1,97	
33	Bomba sumergible multifuncional	unidades	1	21,5	21,5	
34	Control de encendido-apagado	unidades	2	2,7	5,4	
35	Banda Abrasiva Fandeli 180	unidades	6	3,05	18,3	
36	Banda de grafito 6"	metros	0,26	13,39	3,4814	
37	Banda Abrasiva Fandeli 240	unidades	2	3,5	7	
38	Banda de caucho gris	metros	1	5,19	5,19	
39	Rollo de caucho 600mmx120mmx2mm	unidades	1	6,8	6,8	
40	Tornillos M6	unidades	20	0,14	2,8	
41	Pernos guías 7/16"x8"	unidades	2	2,5	5	
42	Tornillos 3/8"	unidades	0,36	4	1,44	
43	Tuercas M6	unidades	20	0,18	3,6	
44	Arandelas planas M6	unidades	40	0,05	2	
45	Arandelas de presión M6	unidades	20	0,05	1	
46	Tornillos 1/4"	unidades	12	0,08	0,96	
47	Tuercas 1/4"	unidades	8	0,18	1,44	
48	Arandelas planas 1/2"	unidades	6	0,08	0,48	
49	Arandelas planas 5/8"	unidades	2	0,08	0,16	
50	Arandelas planas 5/16"	unidades	10	0,06	0,6	
51	Arandelas planas 1/4"	unidades	5	0,26	1,3	
52	Arandela de presión 7/16"	unidades	2	0,44	0,88	
53	Perno M14	unidades	2	0,58	1,16	
54	Tuercas M14	unidades	2	0,3	0,6	
55	Arandelas planas M14	unidades	2	0,16	0,32	
56	Malla metálica de acero inoxidable	metros	1	9	9	
57	Cemento de contacto	unidades	1	1,33	1,33	
58	Pincel	unidades	1	1,3	1,3	
59	Prensa de mano	unidades	1	2,6	2,6	
60	Pletina 2"x 3/16"x 0,19 m	unidades	1	0,66	0,66	

	Artículo	Unidad Comercial	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Observación
				USD	USD	
61	Pletina 1 1/2"x 1/4"x 0,26m	unidades	1	0,8	0,8	
62	Fondo gris	litros	1	4,39	4,39	
63	Fondo multiprimer	litros	1	6,1	6,1	
64	Resina esmalte acrílico (500gr)	Kg	0,5	10	5	
65	Pintura anticorrosiva	litros	1	8,4	8,4	
66	Desoxidante Fosfatizante	litros	1	2,39	2,39	
67	Diluyente acrílico	litros	3	1,59	4,77	
68	Catalizador frasco	unidades	1	2,59	2,59	
69	Lija de agua 240	unidades	1	0,25	0,25	
70	Lija de agua 600	unidades	1	0,31	0,31	
71	Caucho de borde	metros	10	1	10	
72	Caucho plano	metros	6	1,8	10,8	
73	Seguro de puerta	unidades	1	1,75	1,75	
74	Mariposas	unidades	2	0,95	1,9	
75	Resortes	unidades	2	1,5	3	
76	Guantes de lana par	par	2	1,4	2,8	
77	Gafas de protección	unidades	2	2,2	4,4	
78	Tarro de grasa	unidades	1	1,5	1,5	
79	Teflón	unidades	1	0,3	0,3	
80	Abrazadera	unidades	2	0,36	0,72	
81	Capilar de cobre de 5/16"	metros	2	4	8	
82	Tapón 3/8"	unidades	1	2,35	2,35	
83	Manguera de vinil 3/8" transparente	metros	3	1,55	4,65	
84	Válvula de globo	unidades	1	1,8	1,8	
85	Pitón de 1/2"	unidades	1	3,52	3,52	
86	Pitón de 3/8"	unidades	2	2,2	4,4	
87	Conector capilar 5/16x3/8	unidades	1	2,35	2,35	
88	Unión 3/8"	unidades	1	2,65	2,65	
89	Placa de acrílico 260mmx80mmx6mm	unidades	1	4,95	4,95	
90	Placa de acero inoxidable 260mmx80mmx6mm	unidades	1	11,1	11,1	
91	Desagüe inicial	unidades	1	2,16	2,16	
92	Pasador 1,5 mm	unidades	2	0,4	0,8	
93	Pasador 1 mm	unidades	2	0,2	0,4	
SUBTOTAL					588,00	

5.1.4. COSTO DE DISEÑO E INVESTIGACION

Para el análisis del costo de diseño, se presenta una tabla donde se distribuye el tiempo invertido en el diseño cada mes.

Tabla 5.1.4 Tiempo dedicado a investigación y diseño.

Mes	Semana	Carlos	Ricardo	Costo por hora	Costo total
		Horas	Horas	usd	usd
Febrero	1	14	16	5	150
	2	12	12	5	120
	3	13	12	5	125
	4	10	9	5	95
Marzo	1	13	12	5	125
	2	8	8	5	80
	3	11	10	5	105
	4	13	9	5	110
Abril	1	12	11	5	115
	2	6	10	5	80
	3	12	12	5	120
	4	8	9	5	85
Mayo	1	11	10	5	105
	2	9	9	5	90
	3	13	13	5	130
	4	10	9	5	95
Junio	1	10	10	5	100
	2	12	11	5	115
	3	13	13	5	130
	4	12	12	5	120
				SUBTOTAL	2195

Costos directos

*= Costo de Maquinas~Herramientas + Costo de mano de obra
+ Costo de materiales + Costo de investigacion*

Costos directos = 211.18 USD + 588 USD + 706.8 USD + 2195USD

Costos directos = 3700.98 USD

5.2.COSTOS INDIRECTOS

Este tipo de costos no están relacionados directamente con la máquina, pero son necesarios en el proyecto, como son el transporte, rediseño, tiempos muertos, imprevistos, reprocesos, costo de energía eléctrica utilizada, etc.

Como la identificación de este tipo de costos es compleja, se establecerá como un porcentaje de los costos directos, valor que se ha considerado cercano a un 5%.

$$\text{Costos indirectos} = 0.05 \times \text{Costos directos}$$

$$\text{Costos indirectos} = 0.05 \times 3700.98 \text{ USD}$$

$$\text{Costos indirectos} = 185.05 \text{ USD}$$

5.3.COSTO TOTAL

Es la suma de los costos directos e indirectos, en este caso será el costo del prototipo.

$$\text{Costo total} = \text{Costos directos} + \text{Costos indirectos}$$

$$\text{Costo total} = 3700.98 \text{ USD} + 185.05 \text{ USD}$$

$$\text{Costo total} = 3886.03 \text{ USD}$$

El costo total presentado, es el costo al realizar el prototipo, en el caso de una construcción en serie, ya no sería necesario el costo de diseño e investigación para los posteriores construcciones, el cual es significativo; además, los costos de materiales se reducirían, debido a que resulta más económico comprar materiales al por mayor que unitariamente, además de que se podrían optimizar procesos mejorando el tiempo de producción.

Tabla 5.3.1 Desglose de todos los costos

		USD
Costos Directos	Costo de Máquinas/Herramientas	211,18
	Costo de Mano de Obra	588
	Costo de Materiales	706,8
	Costo de Diseño	2195
Costos Indirectos	Transporte, rediseño, imprevistos, etc.	185,05
Total		3886,03

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.CONCLUSIONES

- Se consigue el objetivo planteado al inicio, esto es el diseño y construcción de una máquina desbastadora de cinta para probetas metalográficas.
- La desbastadora construida resulta eficiente y ergonómica, por lo cual a no dudarlo, constituye una buena contribución al laboratorio de metalografía de la facultad de Ingeniería Mecánica.
- La facilidad que presenta la desbastadora, objeto del presente Proyecto de Titulación, tanto para la operación, mantenimiento y cambio de papel abrasivo, reduce directamente el tiempo de preparación de las probetas metalográficas.
- El costo final del prototipo es bajo, en comparación con equipos del mismo tipo importados, lo cual hace muy atractivo seguir con la construcción de este tipo de equipamiento para el laboratorio de metalografía.
- El acabado final que se dé a los equipos tal como se realizó con el presente, es muy importante porque no solamente debe ser bueno, sino que debe observarse atractivo para lo cual los acabados deben ser de primera calidad.
- Para realizar el trabajo con la máquina desbastadora de probetas metalográficas no es indispensable contar con suministro continuo de agua, debido a su sistema interno de recirculación y control del flujo de líquido refrigerante, además de ser fácil de transportar y sencilla de operar en cualquier lugar con disponibilidad de corriente eléctrica.
- La máquina en funcionamiento es silenciosa razón por lo cual no presenta molestias auditivas para el operario, ni para el resto del personal del laboratorio de metalografía.

6.2.RECOMENDACIONES

- Se podría mejorar la funcionalidad de la desbastadora para realizar otras operaciones, dando la posibilidad de regular la velocidad de la cinta abrasiva como puede ser con un variador de frecuencia, además que se podría automatizar la máquina con un sistema para la sujeción de la probeta.
- No emplear una excesiva lubricación de la probeta debido a que dificultara al operador el proceso de desbaste debido a salpicaduras de agua además de generar excesivas salpicaduras internas en la maquina.
- Se debe realizar el mantenimiento de la máquina como se muestra en el plan de mantenimiento para evitar fallas y problemas.
- Es necesario verificar que no existan fugas de agua en ninguna parte debido a que puede provocar problemas de cortocircuitos, daño del motor, corrosión, molestias para el laboratorio, etc.
- No tensar demasiado la cinta de papel abrasivo debido a que podría inducir la salida de la cinta abrasiva, destruyéndola y forzando a la máquina.
- Cambiar el agua de la bandeja de almacenamiento según la programación de mantenimiento debido a que las partículas producto del desbaste se acumulan, pudiendo afectar a la bomba.
- Proteger a la bomba debido a que está sometida a gran cantidad de contaminantes, partículas, que pueden reducir la vida de esta.
- La tapa de la pulidora es necesaria ponerla después de cambiar el papel abrasivo debido a que protege al operario de salpicaduras de agua, y da protección debido a que hay varios puntos de atrapamiento que podrían dar lugar a accidentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. http://www.fandeli.com.mx/desp_categorias.asp?id_categoria=107&nivel=1&id_categoria_sup=0
2. Kehl, George L; Fundamentos de la práctica metalográfica (The principles of metallographic laboratory practice); Segunda Edición; McGraw-Hill Book Company; USA; 1963.
3. Robert S. Williams, Cictro O. Homerberg; Principles of Metallography; Quinta Edición; McGraw-Hill Book Company; NY, USA; 1948.
4. ASM Handbook; Volume 9; Metallography and Microstructures; ASM International; USA; 2004.
5. DAYCO CPT; Engineering guide for industrial V-Belt Drives; Rochester Hills; Dayton, USA; 1986.
6. SKF; SKF Catálogo General de Rodamientos; Ed. Stamperia Artistica Nazionale; Torino, Italia; 1999.
7. Joseph E. Shigley; Diseño en Ingeniería Mecánica; Sexta Edición; McGraw-Hill; Mexico; 2002.
8. Hermann Jütz; Tablas para la Industria Metalúrgica GTZ; 3ra Edición; Editorial Reverté S.A; Barcelona, España; 1984.
9. MERIAM J.; Estática; 2da. Edición; Editorial Reverté, Barcelona, España; 1976.
10. NORTON R., Diseño de Máquinaria; McGraw-Hill; Mexico; 2000.
11. http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/motores_ind.pdf
12. Andrade J, Saavedra J; Diseño y Construcción de un Sistema Semiautomático de Desbaste y Pulido de Probetas Metalográficas; Quito; Escuela Politécnica Nacional; 1990.
13. <http://construccion-manualidades.blogspot.com/2010/02/lija.html>
14. Riba Carles; Diseño Concurrente; ETSEIB-UPC; Cataluña, España; 2002
15. <http://www.ptaustralia.com.au/pdf/Carlisle%20Tensiometer%20Instructions.pdf>

ANEXOS

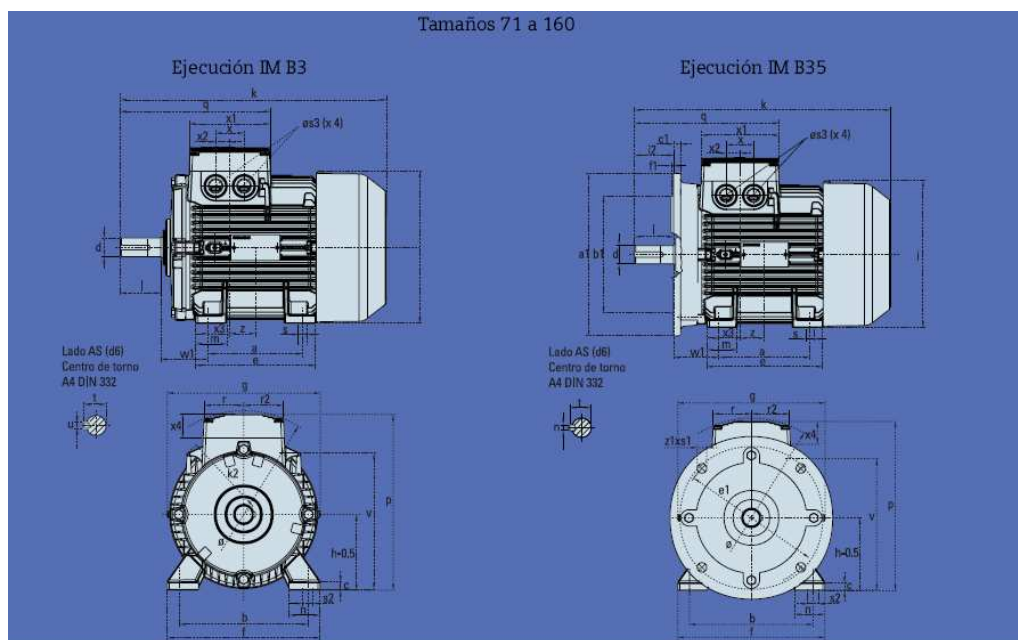
ANEXO A CATÁLOGO DEL MOTOR SIEMENS

Características de los motores trifásicos de 1200 [rpm]

Velocidad 1200 rpm (2 polos)															
Código Actual	Código Antiguo	Tipo	Frame IEC	HP	kW	F.S.	In a		rpm	Eficiencia η %	Torque nominal Nm	Momento de inercia Kg m ²	Torque de arranque de Tn	Intensidad de In como fac.	Peso aprox. kg
							220 V Amp.	440 V Amp.							
01135	836640	1LA7 072-6YA60	71	0.40	0.29	1.05	1.60	0.80	1090	65.0	2.61	0.0006	2.3	4.9	5.7
01136	836672	1LA7 073-6YA60	71	0.50	0.37	1.15	2.20	1.10	1020	61.0	3.70	0.0009	1.5	2.0	5.7
01137	836660	1LA7 080-6YC60	80	0.60	0.45	1.05	2.40	1.20	1080	63.0	3.96	0.0015	1.8	2.7	8.5
01138	836673	1LA7 080-6YA60	80	0.75	0.56	1.15	3.30	1.65	1075	62.0	4.97	0.0015	1.5	2.0	8.5
01139	836690	1LA7 082-6YA60	80	0.90	0.66	1.05	3.60	1.80	1080	66.0	5.94	0.0018	1.9	3.1	10.5
01140	836674	1LA7 083-6YA60	80	1.00	0.74	1.15	4.20	2.10	1090	67.0	6.54	0.0018	2.6	4.0	10.5
01141	836601	1LA7 090-6YC60	90	1.20	0.90	1.05	5.20	2.60	1135	67.0	7.53	0.0028	2.0	3.2	11.9
01142	836676	1LA7 090-6YA60	90	1.50	1.12	1.15	6.60	3.30	1110	69.0	9.63	0.0028	2.0	3.4	12.0
01143	836678	1LA7 096-6YA60	90	2.00	1.50	1.15	7.80	3.90	1100	72.0	12.95	0.0035	2.7	6.0	14.9
01144	836679	1LA7 112-6YA60	112	3.00	2.20	1.15	11.80	5.90	1150	72.1	18.59	0.011	1.9	4.0	26.7
01145	836681	1LA7 113-6YA60	112	4.00	3.00	1.15	15.00	7.50	1150	76.8	24.78	0.011	2.0	4.5	29.6
01146	836606	1LA7 130-6YA70	132S/M	5.00	3.73	1.15	16.40	8.20	1150	78.5	31.00	0.015	1.8	4.6	40.5
01147	836683	1LA7 133-6YA70	132S/M	7.50	5.60	1.15	26.00	13.00	1150	78.0	47.00	0.019	1.8	5.1	54.0
01148	836684	1LA7 135-6YA70	132S/M	10.00	7.50	1.05	33.00	16.50	1150	80.5	62.00	0.025	1.9	5.2	60.0
01149	836685	1LA5 164-6YB70	160M/L	15.00	11.20	1.05	44.00	22.00	1150	85.0	92.93	0.041	2.0	5.9	73.5
01150	836686	1LA5 167-6YC70	160M/L	20.00	14.90	1.05	60.00	30.00	1170	86.0	121.8	0.049	1.8	5.0	89.5

Dimensiones de los motores

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 ₁	p/p ₂	k	a	b	h	w ₁	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 ¹⁾	140	65	69	18	645	-	-	1110	406	508	315	216	28	527	628	660	550	22	600	6	22	1110
315 S ²⁾	170	85	85	22	-	-	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140
315 M ¹⁾	140	65	69	18	645	-	-	1110	406	508	315	216	28	527	628	660	550	22	600	6	22	1110
315 M ²⁾	170	80	85	22	-	-	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140
315 L ¹⁾	140	65	69	18	645	-	-	1250	508	508	315	216	28	578	628	660	550	22	600	6	22	1250
315 L ²⁾	170	80	85	22	-	-	-	1280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1280



ANEXO B CATÁLOGO DE BANDAS EN V DAYCO ⁽⁵⁾.

Factores de Servicio

DRIVE SELECTION USING PRE-ENGINEERED TABLES
(Continued)

Table 2 - SERVICE FACTORS

APPLICATION	FACTOR	APPLICATION	FACTOR	APPLICATION	FACTOR
AGITATORS paddle or propeller (Vert. or Horiz.), Screw	A	GENERATORS even load	A	PULVERIZERS hammer mill - light duty	C
BOTTLING MACHINERY	A	hoist, railway service	C	hammermill - heavy duty	D
CAR DUMPER	B	welder load	D	hog	B
CAR PULLER	B	LAUNDRY MACHINES tumbler, washer	B	roller	B
CLARIFIER	A	extractor	D	PUMPS centrifugal	A
CLASSIFIER	A	LINE SHAFTS driving processing machine	B	gear type	B
CLAY WORKING MACHINES brick press, briquette mach. pug mill	C	LUMBER INDUSTRY band resaw, circular resaw	B	Oil well pumping unit (not over 150% peak torque)	C
COMPRESSORS lobe, rotary	C	edger, head rig, hog, log haul planer	C	rotary	B
reciprocating	C	rolls - non-reversing	B	reciprocating -	D
1 cylinder - single acting	E	rolls - reversing	C	1 cylinder - single acting	D
1 cylinder - double acting	E	sawdust conveyor	A	1 cylinder - double acting	D
2 cylinder - single acting	E	slab conveyor, sorting table	B	2 cylinder - single acting	D
2 cylinder - double acting	E	debarker, chipper	D	2 cylinder - double acting	D
3 cylinder (or more) - single acting	E	MACHINE TOOLS auxiliary	A	3 cylinder (or more)	D
3 cylinder (or more) - double acting	E	main drive, notching press	A	RUBBER AND PLASTICS INDUSTRY calender, extruder, mills	D
CONVEYORS light duty	A	planer (reversing) plate planer	B	SCREENS coal and sand (rotary)	C
sand, grain	B	punch press	D	vibrating	D
screw, drag, pan	C	traverse	A	SEWAGE DISPOSAL EQUIPT. SHREDDER	A
CRANES AND HOISTS hoist - medium duty	C	METAL FORMING MACHINES draw bench, carriage	C	STEEL INDUSTRY cold mills, coiler (up or down)	B
hoist - heavy duty	D	main drive, wire drawing	C	strip, temper	B
skip hoist, travel motion	C	flattening machine	C	hot mills, coiler (up or down)	B
trolley motion, slope	C	MILLS (ROTARY TYPE) ball or pebble	C	edger drive	B
CRUSHERS gyratory, jaw, roll	D	dryer and cooler	B	feed roll (blooming), roughing	B
DREDGES cable reel, conveyor	B	rod or tube	D	mill delivery (non-reversing)	E
cutter head drive, jig drive	D	tumbling barrel	B	sheet, strip	E
pump, screen drive, stacker	B	MIXERS concrete (continuous or intermittent)	C	rod mill	D
utility wench	B	PAPER MILLS agitator	A	STOKER	B
DYNAMOMETER	A	barking drum	D	TEXTILE MACHINERY batcher, calender, dry can	C
ELEVATORS bucket, freight	C	beater and pulper	B	card machine, dyeing	C
FANS up to 10 HP	A	chipper	D	machinery, loom, mangle	C
over 10 HP	B	dryer	B	napper, soaper, spinner	C
FOOD INDUSTRY slicers	B	press	C	tenter frame	C
dough mixer, meat grinder	B	pulp grinder	C	WOODWORKING MACHINES	C
		winder	B		
		PRINTING PRESS	B		

Pre-Engineered Drive Selection

Pre-Engineered Tables

Pre-Engineered Tables

Horsepower Rating Tables
3V, 5V, 8V

Horsepower Rating Tables
A, B, C, D

Installation & Take-Up

Stock Belt Sizes

3V

5V

8V

A

B

C

D

3V, 5V, 8V

A, B, C, D

Take-Up

Sizes

7

Factores de Servicio

Table 3 - SERVICE FACTORS - DRIVING MACHINES

SOURCE OF POWER	MOMENTARY PEAK LOAD % OF RATED LOAD		
	UNDER 150%	150-250%	OVER 250%
Squirrel Cage NEMA design A 3600 RPM 1800 RPM 1200 RPM 900 RPM	40 HP up 100 HP up 15 HP up 5 HP up	1½ thru 30 HP 5 thru 75 HP ¼ thru 10 HP ½ thru 3 HP	1 thru 3 HP
NEMA Design B 3600 RPM 1800 RPM 1200 RPM 900 RPM		5 HP up 5 HP up 5 HP up 2 HP up	1½ thru 3 HP 1 thru 3 HP ¾ thru 3 HP ½ thru 1½ HP
NEMA design C 1800 RPM 1200 RPM 900 RPM		15 HP up 7½ HP up ALL	5 thru 10 HP 3 and 5 HP
NEMA design D			ALL
NEMA design F	ALL		
Wound Rotor 1800 RPM 1200 RPM 900 RPM		20 HP 15 HP 7½ HP	2 thru 15 HP 2 thru 10 HP 1 thru 5 HP
AC Motors Single phase			ALL
Synchronous		Normal torque	High torque
DC Electric Motors	Shunt	Compound	Series
Engines (Int. combust.)	8 Cyl. up	6 Cyl.	4 Cyl. or less
Line Shafts			ALL

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

COLOR KEY

Matriz de Factores de Servicio

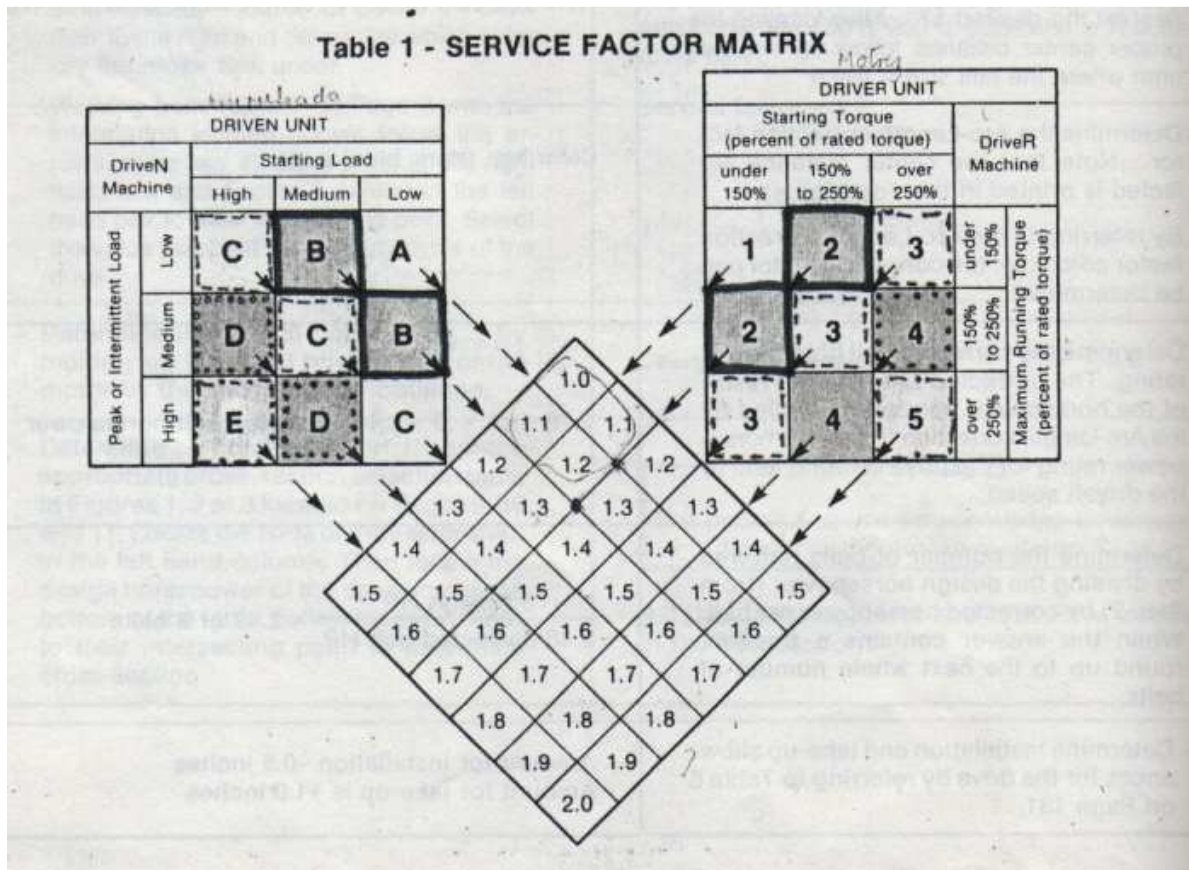


Gráfico de Selección de Banda en V

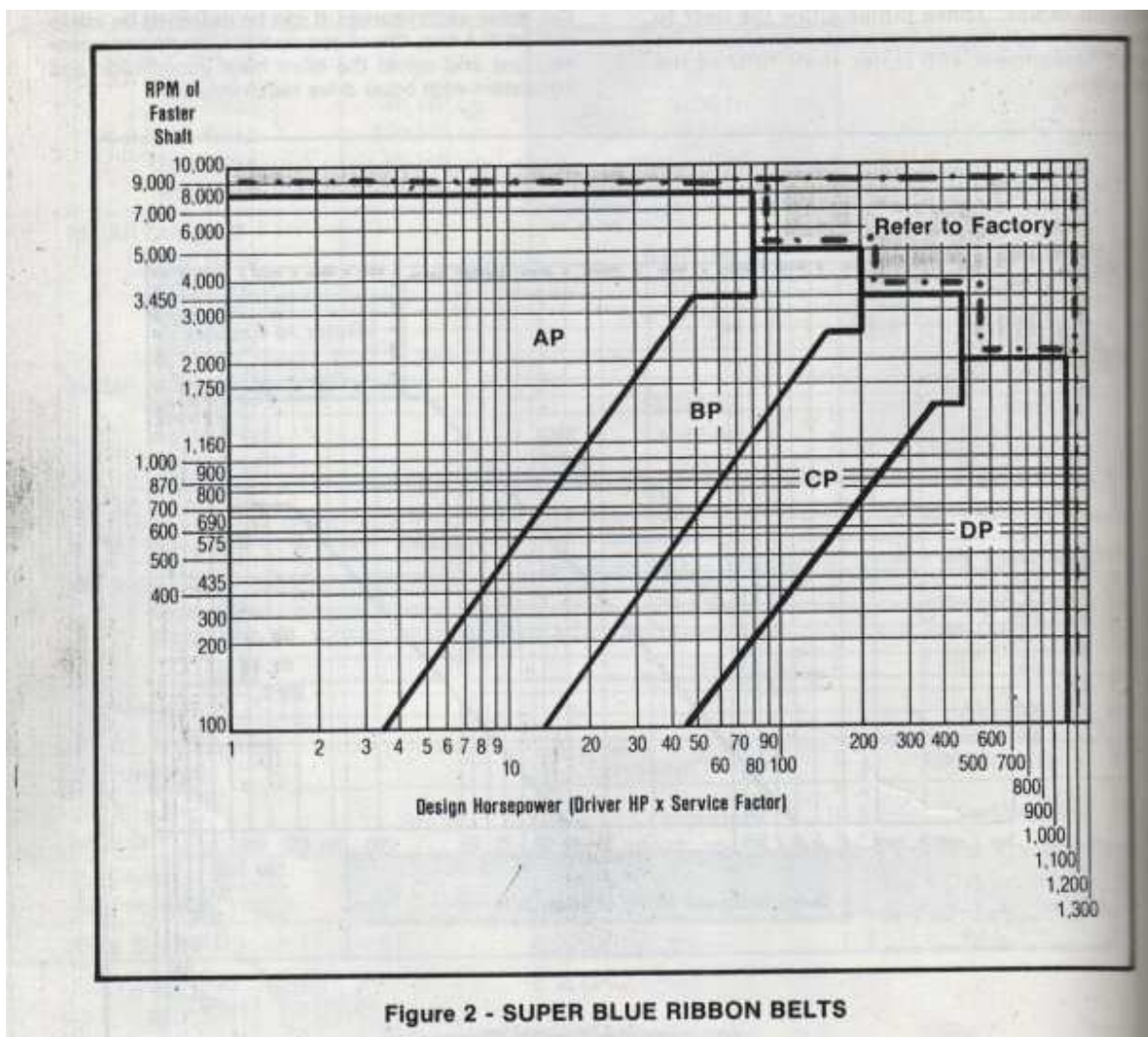


Figure 2 - SUPER BLUE RIBBON BELTS

Tabla de selección de poleas en base a la potencia y revoluciones del motor

CLASSICAL SECTION PRE-ENGINEERED

AP, AX RATIO 1.94-2.44

Speed Ratio	Sheave Pitch Diameter (Inches)		MOTOR 3500 R.P.M.				MOTOR 1750 R.P.M.				MOTOR 1160 R.P.M.						
	Motor Sheave	Driven Sheave	Driven Speed	Horsepower		Driven Speed	Horsepower		Driven Speed	Horsepower		26	31	33	35	38	42
				Super Blue Ribbon	Cog-Belt		Super Blue Ribbon	Cog-Belt		Super Blue Ribbon	Cog-Belt						
1.94	3.6	7.0	1804	4.48	5.43	902	2.84	3.58	598	2.08	2.69	—	7.6	8.7	9.7	11.2	13.2
1.94	6.2	12.0	1804	8.44	10.80	902	5.83	7.34	598	4.27	5.45	—	—	—	—	—	—
1.95	4.2	8.2	1795	5.60	6.88	897	3.57	4.50	595	2.61	3.36	—	—	—	8.2	9.7	11.7
1.96	4.6	9.0	1786	6.29	7.77	893	4.05	5.09	592	2.95	3.79	—	—	—	—	—	8.7
1.96	5.4	10.6	1786	7.49	9.40	893	4.96	6.24	592	3.62	4.63	—	—	—	—	—	—
2.00	3.0	6.0	1750	3.24	3.86	875	2.09	2.63	580	1.55	2.01	6.4	9.0	10.0	11.0	12.5	14.5
2.00	3.2	6.4	1750	3.67	4.40	875	2.34	2.95	580	1.73	2.24	5.9	8.5	9.5	10.5	12.0	14.0
2.00	3.8	7.6	1750	4.87	5.93	875	3.09	3.89	580	2.26	2.92	—	6.9	8.0	9.0	10.5	12.6
2.00	6.0	12.0	1750	8.23	10.50	875	5.62	7.07	580	4.11	5.25	—	—	—	—	—	—
2.00	6.6	13.2	1750*	8.81	11.40	875	6.25	7.87	580	4.58	5.84	—	—	—	—	—	—
2.04	5.2	10.6	1716	7.21	9.02	858	4.74	5.96	569	3.45	4.42	—	—	—	—	—	—
2.05	4.0	8.2	1707	5.24	6.41	854	3.34	4.20	566	2.44	3.14	—	—	7.3	8.3	9.8	11.9
2.05	4.4	9.0	1707	5.96	7.34	854	3.81	4.80	566	2.78	3.58	—	—	—	—	—	8.8
2.06	3.2	6.6	1699	3.67	4.40	850	2.34	2.95	563	1.73	2.24	—	8.3	9.3	10.3	11.8	13.9
2.06	3.4	7.0	1699	4.08	4.92	850	2.60	3.27	563	1.91	2.47	—	7.8	8.8	9.8	11.3	13.4
2.06	6.4	13.2	1699	8.64	11.10	850	6.05	7.61	563	4.43	5.65	—	—	—	—	—	—
2.07	3.0	6.2	1691	3.25	3.87	845	2.09	2.63	560	1.55	2.01	6.2	8.8	9.8	10.8	12.3	14.3
2.07	5.8	12.0	1691	8.00	10.10	845	5.41	6.80	560	3.95	5.04	—	—	—	—	—	—
2.11	3.6	7.6	1659	4.48	5.44	829	2.85	3.58	550	2.09	2.70	—	7.1	8.1	9.1	10.7	12.7
2.12	5.0	10.6	1651	6.92	8.62	825	4.51	5.68	547	3.29	4.22	—	—	—	—	—	9.0
2.13	3.0	6.4	1643	3.25	3.87	822	2.09	2.63	545	1.55	2.01	6.0	8.6	9.6	10.6	12.2	14.2
2.13	6.2	13.2	1643	8.45	10.80	822	5.84	7.34	545	4.27	5.45	—	—	—	—	—	—
2.14	4.2	9.0	1636	5.61	6.89	818	3.58	4.50	542	2.61	3.36	—	—	—	—	9.0	11.0
2.14	5.6	12.0	1636	7.76	9.77	818	5.19	6.53	542	3.79	4.84	—	—	—	—	—	—
2.14	7.0	15.0	1636*	9.12	11.90	818	6.66	8.39	542	4.90	6.24	—	—	—	—	—	—
2.16	3.8	8.2	1620	4.87	5.93	810	3.09	3.90	537	2.26	2.92	—	—	7.4	8.4	10.0	12.0
2.19	3.2	7.0	1598	3.68	4.41	799	2.35	2.95	530	1.73	2.25	—	7.9	8.9	10.0	11.5	13.5
2.20	3.0	6.6	1591	3.25	3.87	795	2.09	2.63	527	1.55	2.01	5.8	8.4	9.4	10.5	12.0	14.0
2.20	6.0	13.2	1591	8.24	10.50	795	5.62	7.08	527	4.11	5.25	—	—	—	—	—	—
2.21	4.8	10.6	1584	6.62	8.21	792	4.29	5.39	525	3.12	4.01	—	—	—	—	—	9.1
2.22	5.4	12.0	1577	7.50	9.41	788	4.97	6.25	523	3.62	4.63	—	—	—	—	—	—
2.23	7.0	15.6	1570	9.12	11.90	785	6.66	8.39	520	4.90	6.24	—	—	—	—	—	—
2.24	3.4	7.6	1563	4.09	4.93	781	2.60	3.27	518	1.91	2.47	—	7.2	8.2	9.3	10.8	12.8
2.25	4.0	9.0	1556	5.25	6.42	778	3.34	4.20	516	2.44	3.14	—	—	—	7.5	9.1	11.2
2.27	6.6	15.0	1542*	8.83	11.40	771	6.26	7.88	511	4.59	5.85	—	—	—	—	—	—
2.28	3.6	8.2	1535	4.49	5.44	768	2.85	3.59	509	2.09	2.70	—	—	7.5	8.6	10.1	12.2
2.28	5.8	13.2	1535	8.01	10.10	768	5.41	6.81	509	3.95	5.05	—	—	—	—	—	—
2.30	4.6	10.6	1522	6.30	7.79	761	4.05	5.10	504	2.95	3.79	—	—	—	—	—	9.2
2.31	5.2	12.0	1515	7.22	9.03	758	4.75	5.97	502	3.46	4.43	—	—	—	—	—	—
2.33	3.0	7.0	1502	3.26	3.88	751	2.09	2.64	498	1.55	2.02	—	8.1	9.1	10.1	11.6	13.7
2.34	6.4	15.0	1496	8.65	11.10	748	6.05	7.61	496	4.43	5.65	—	—	—	—	—	—
2.36	5.6	13.2	1483	7.77	9.78	742	5.19	6.53	492	3.79	4.84	—	—	—	—	—	—
2.36	6.6	15.6	1483	8.83	11.40	742	6.26	7.88	492	4.59	5.85	—	—	—	—	—	—
2.37	3.2	7.6	1477	3.68	4.41	738	2.35	2.96	489	1.73	2.25	—	7.3	8.4	9.4	11.0	13.0
2.37	3.8	9.0	1477	4.88	5.94	738	3.10	3.90	489	2.27	2.92	—	—	—	7.7	9.2	11.3
2.40	5.0	12.0	1458	6.93	8.63	729	4.52	5.68	483	3.29	4.22	—	—	—	—	—	—
2.41	3.4	8.2	1452	4.09	4.94	726	2.60	3.28	481	1.91	2.47	—	—	7.7	8.7	10.3	12.3
2.41	4.4	10.6	1452	5.97	7.35	726	3.82	4.81	481	2.79	3.58	—	—	—	—	—	9.4
2.42	6.2	15.0	1446	8.46	10.80	723	5.84	7.35	479	4.27	5.45	—	—	—	—	—	—
2.44	5.4	13.2	1434	7.50	9.42	717	4.97	6.25	475	3.62	4.64	—	—	—	—	—	—

*Dynamic balancing of sheaves is recommended for these drives as belt speeds are between 6000 and 6500 FPM.
 †Additional stock belt lengths available.

DRIVE SELECTION TABLES

RATIO 1.94-2.44 AP, AX

CENTER DISTANCES (Inches) with STANDARD V-BELT SIZE NUMBERS†

CENTER DISTANCES (Inches) with STANDARD V-BELT SIZE NUMBERS†																		Speed Ratio			
46	48	51	53	55	60	62	64	66	68	71	75	78	80	85	90	96	105	112	120	128	
15.2	16.2	17.7	18.8	19.8	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.8	29.8	31.3	32.3	34.8	37.3	40.3	44.8	48.3	52.3	56.3	1.94
—	—	11.5	12.5	13.5	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.7	23.7	25.2	26.2	28.7	31.2	34.2	38.8	42.3	46.3	50.3	1.94
13.8	14.8	16.3	17.3	18.3	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	26.3	28.3	29.8	30.9	33.4	35.9	38.9	43.4	46.9	50.9	54.9	1.95
12.8	13.8	15.3	16.3	17.3	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	25.4	27.4	28.9	29.9	32.4	34.9	37.9	42.4	45.9	49.9	53.9	1.96
10.8	11.8	13.3	14.4	15.4	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	23.4	25.5	27.0	28.0	30.5	33.0	36.0	40.5	44.0	48.0	52.0	1.96
16.5	17.5	19.0	20.0	21.0	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5	29.0	31.1	32.6	33.6	36.1	38.6	41.6	46.1	49.6	53.6	57.6	2.00
16.0	17.0	18.5	19.5	20.6	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.6	30.6	32.1	33.1	35.6	38.1	41.1	45.6	49.1	53.1	57.1	2.00
14.6	15.6	17.1	18.1	19.1	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	27.1	29.1	30.6	31.6	34.1	36.7	39.7	44.2	47.7	51.7	55.7	2.00
—	10.1	11.6	12.7	13.7	16.2	17.3	18.3	19.3	20.3	21.8	23.8	25.3	26.3	28.9	31.4	34.4	38.9	42.4	46.4	50.4	2.00
—	—	—	11.1	12.2	14.7	15.8	16.8	17.8	18.8	20.3	22.4	23.9	24.9	27.4	29.9	32.9	37.5	41.0	45.0	49.0	2.00
10.9	11.9	13.5	14.5	15.5	18.0	19.1	20.1	21.1	22.1	23.6	25.6	27.1	28.1	30.6	33.1	36.1	40.7	44.2	48.2	52.2	2.04
13.9	14.9	16.4	17.4	18.5	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.5	28.5	30.0	31.0	33.5	36.0	39.0	43.5	47.0	51.0	55.0	2.05
12.9	13.9	15.5	16.5	17.5	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.5	27.5	29.0	30.0	32.5	35.1	38.1	42.6	46.1	50.1	54.1	2.05
15.9	16.9	18.4	19.4	20.4	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	28.4	30.4	31.9	32.9	35.4	37.9	40.9	45.4	48.9	52.9	56.9	2.06
15.4	16.4	17.9	18.9	19.9	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.9	29.9	31.4	32.4	34.9	37.4	40.4	45.0	48.5	52.5	56.5	2.06
—	—	—	11.2	12.3	14.9	15.9	16.9	17.9	19.0	20.5	22.5	24.0	25.0	27.6	30.1	33.1	37.6	41.1	45.1	49.1	2.06
16.4	17.4	18.9	19.9	20.9	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.9	30.9	32.4	33.4	35.9	38.4	41.4	45.9	49.4	53.4	57.4	2.07
—	10.2	11.8	12.8	13.8	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	22.0	24.0	25.5	26.5	29.0	31.5	34.5	39.1	42.6	46.6	50.6	2.07
14.7	15.7	17.2	18.2	19.3	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	27.3	29.3	30.8	31.8	34.3	36.8	39.8	44.3	47.8	51.8	55.8	2.11
11.0	12.1	13.6	14.6	15.7	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.7	25.8	27.3	28.3	30.8	33.3	36.3	40.8	44.3	48.3	52.3	2.12
16.2	17.2	18.7	19.7	20.7	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.7	30.7	32.2	33.2	35.7	38.2	41.2	45.7	49.2	53.2	57.2	2.13
—	—	—	11.4	12.4	15.0	16.0	17.1	18.1	19.1	20.6	22.6	24.2	25.2	27.7	30.2	33.2	37.8	41.3	45.3	49.3	2.13
13.1	14.1	15.6	16.6	17.6	20.1	21.2	22.2	23.2	24.2	25.7	27.7	29.2	30.2	32.7	35.2	38.2	42.7	46.2	50.2	54.2	2.14
—	10.3	11.9	12.9	14.0	16.5	17.5	18.6	19.6	20.6	22.1	24.1	25.6	26.6	29.2	31.7	34.7	39.2	42.7	46.7	50.7	2.14
—	—	—	—	12.7	13.8	14.8	15.9	16.9	18.4	20.5	22.0	23.0	25.6	28.1	31.1	35.7	39.2	43.2	47.2	51.2	2.14
14.1	15.1	16.6	17.6	18.6	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.6	28.6	30.1	31.2	33.7	36.2	39.2	43.7	47.2	51.2	55.2	2.16
15.5	16.5	18.0	19.0	20.1	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	28.1	30.1	31.6	32.6	35.1	37.6	40.6	45.1	48.6	52.6	56.6	2.19
16.0	17.0	18.5	19.5	20.5	23.0	24.0	25.1	26.1	27.1	28.6	30.6	32.1	33.1	35.6	38.1	41.1	45.6	49.1	53.1	57.1	2.20
—	—	—	11.5	12.6	15.1	16.2	17.2	18.2	19.2	20.8	22.8	24.3	25.3	27.8	30.4	33.4	37.9	41.4	45.4	49.4	2.20
11.2	12.2	13.8	14.8	15.8	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.9	25.9	27.4	28.4	30.9	33.4	36.4	41.0	44.5	48.5	52.5	2.21
—	10.5	12.0	13.1	14.1	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	22.2	24.3	25.8	26.8	29.3	31.8	34.8	39.4	42.9	46.9	50.9	2.22
14.9	15.9	17.4	18.4	19.4	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	27.4	29.4	30.9	31.9	34.5	37.0	40.0	44.5	48.0	52.0	56.0	2.24
13.2	14.2	15.7	16.8	17.8	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.8	27.8	29.3	30.3	32.8	35.4	38.4	42.9	46.4	50.4	54.4	2.25
—	—	—	—	13.0	14.1	15.1	16.1	17.2	18.7	20.8	22.3	23.3	25.8	28.4	31.4	35.9	39.5	43.5	47.5	51.5	2.27
14.2	15.2	16.7	17.7	18.7	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.8	28.8	30.3	31.3	33.8	36.3	39.3	43.8	47.3	51.3	55.3	2.28
—	10.6	11.6	12.7	13.7	15.3	16.3	17.3	18.4	19.4	20.9	22.9	24.5	25.5	28.0	30.5	33.5	38.1	41.6	45.6	49.6	2.28
11.3	12.4	13.9	14.9	15.9	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.0	26.0	27.6	28.6	31.1	33.6	36.6	41.1	44.6	48.6	52.6	2.30
—	10.6	12.2	13.2	14.2	16.8	17.8	18.8	19.9	20.9	22.4	24.4	25.9	26.9	29.4	32.0	35.0	39.5	43.0	47.0	51.0	2.31
15.7	16.7	18.2	19.2	20.2	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	28.2	30.2	31.7	32.7	35.2	37.7	40.8	45.3	48.8	52.8	56.8	2.33
—	—	—	—	—	13.1	14.2	15.2	16.3	17.3	18.9	20.9	22.4	23.5	26.0	28.5	31.6	36.1	39.6	43.6	47.7	2.34
—	—	10.7	11.8	12.8	15.4	16.4	17.5	18.5	19.5	21.0	23.1	24.6	25.6	28.1	30.7	33.7	38.2	41.7	45.7	49.7	2.36
—	—	—	—	12.4	13.5	14.5	15.6	16.6	18.2	20.2	21.8	22.8	25.3	27.9	30.9	35.4	39.0	43.0	47.0	51.0	2.36
15.0	16.0	17.5	18.5	19.5	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.6	29.6	31.1	32.1	34.6	37.1	40.1	44.6	48.1	52.1	56.1	2.37
13.3	14.4	15.9	16.9	17.9	20.4	21.4	22.5	23.5	24.5	26.0	28.0	29.5	30.5	33.0	35.5	38.5	43.0	46.5	50.5	54.5	2.37
9.7	10.7	12.3	13.3	14.4	16.9	18.0	19.0	20.0	21.0	22.5	24.6	26.1	27.1	29.6	32.1	35.1	39.6	43.2	47.2	51.2	2.40
14.3	15.4	16.9	17.9	18.9	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.9	28.9	30.4	31.5	34.0	36.5	39.5	44.0	47.5	51.5	55.5	2.41
11.5	12.5	14.0	15.1	16.1	18.6	19.6	20.6	21.7	22.7	24.2	26.2	27.7	28.7	31.2	33.7	36.7	41.3	44.8	48.8	52.8	2.41
—	—	—	—	13.3	14.3	15.4	16.4	17.4	19.0	21.0	22.6	23.6	26.1	28.7	31.7	36.2	39.8	43.8	47.8	51.8	2.42
—	10.8	11.9	13.0	15.6	16.6	17.6	18.6	19.7	21.2	23.2	24.7	25.8	28.3	30.8	33.8	38.3	41.9	45.9	49.9	53.9	2.44

.8 .9 1.0 1.1 1.2
Arc-Length Correction Factor Key

Pre-Engineered Drive Selection

Pre-Engineered Tables

Pre-Engineered Tables

Pre-Engineered Tables

Horsepower Rating Tables
3V, 5V, 8V

Horsepower Rating Tables
A, B, C, D

Installation & Take-Up

Stock Belt Sizes

Relación de Transmisión Aproximado al Diseño.

2.00	3.0	6.0	1750	3.24	3.86	875	2.09	2.63	580	1.55	2.01	6.4	9.0	10.0	11.0	12.5	14.5
2.00	3.2	6.4	1750	3.67	4.40	875	2.34	2.95	580	1.73	2.24	5.9	8.5	9.5	10.5	12.0	14.0
2.00	3.8	7.6	1750	4.87	5.93	875	3.09	3.89	580	2.26	2.92	—	6.9	8.0	9.0	10.5	12.6
2.00	6.0	12.0	1750	8.23	10.50	875	5.62	7.07	580	4.11	5.25	—	—	—	—	—	—
2.00	6.6	13.2	1750*	8.81	11.40	875	6.25	7.87	580	4.58	5.84	—	—	—	—	—	—

Formulas de Deflexión

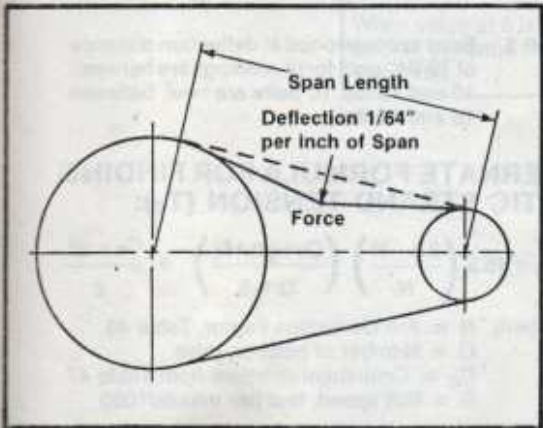
Strand Deflection - Formula Method

This method is based on the fact that the force required to deflect a given span length by a given amount is related to the tension in the belt. (Note: If drive uses banded V-Belts, use "Belt Elongation Method" - See Page 216).

STEP 1 - Install the belts per rules 1 and 2 of the "General Method" discussed previously. Measure span length (t) in inches as shown in Figure 33, or calculate as follows:

$$t = \sqrt{C^2 - \left(\frac{D-d}{2}\right)^2}$$

Where t = Span length, inches
 C = Center distance, inches
 D = Larger sheave pitch diameter, inches
 d = Smaller sheave pitch diameter, inches



STEP 2 - Calculate the deflection distance, by: $t/64$ = deflection. Note from Figure 33 that the deflection distance is always $1/64$ " per inch of span length (for example, a 32" span length would require a deflection of $32/64$ or $1/2$ inch).

STEP 3 - Calculate the Static Strand Tension (T_s) per belt by the following formula:

$$T_s = \frac{\text{Design HP} \times K}{Q \times S} + T_c$$

Where: K = value from Table 46 depending on value of $\frac{D-d}{C}$
 Q = number of belts on drive
 S = belt speed, feet per minute/1000
 T_c = add-on tension allowance for centrifugal force, from Table 48 on Page 213.

NOTE

The value of T_s is for an individual V-Belt. If a Banded V-Belt is used, refer to "Elongation Method".

STEP 4 - Calculate the recommended minimum and maximum deflection forces (P), in pounds:

$$P_{min} = \frac{T_s + Y}{16} \quad P_{max} = \frac{(1.5 \times T_s) + Y}{16}$$

Where: T_s = Static Strand Tension (from Step 3)
 Y = Constant from Table 47 on Page 212.

Figure 33 - BELT DEFLECTION DIAGRAM

Tabla de Factores de Tensión

V-BELT TENSIONING (Continued)

Table 46 - FACTORS TABLE

Arc	D-d C	Factors						
		A	B	H	K	M	N	O
180°	0.000	∞	1.000	2.000	24.750	1.000	1.00	0.75
179°	0.017	57.288	1.000	1.999	24.842	1.000	1.00	0.75
178°	0.034	28.647	1.000	1.999	24.936	1.000	1.00	0.76
177°	0.052	19.100	1.000	1.999	25.032	1.000	0.99	0.76
176°	0.069	14.326	0.999	1.998	25.128	0.999	0.99	0.76
175°	0.087	11.462	0.999	1.998	25.226	0.999	0.99	0.76
174°	0.104	9.553	0.999	1.997	25.326	0.999	0.99	0.77
173°	0.121	8.190	0.998	1.996	25.427	0.998	0.98	0.77
172°	0.139	7.168	0.998	1.995	25.529	0.998	0.98	0.77
171°	0.156	6.373	0.997	1.993	25.632	0.997	0.98	0.77
170°	0.173	5.737	0.996	1.992	25.737	0.996	0.98	0.77
169°	0.190	5.217	0.995	1.990	25.844	0.995	0.97	0.78
168°	0.207	4.783	0.995	1.989	25.952	0.995	0.97	0.78
167°	0.224	4.417	0.994	1.987	26.061	0.994	0.97	0.78
166°	0.241	4.103	0.993	1.985	26.172	0.993	0.97	0.78

Table 48 - T_C CENTRIFUGAL TENSION ADD-ON VALUES FOR CALCULATING STATIC STRAND TENSION (T_s) OF INDIVIDUAL V-BELTS. (FOR BANDED BELTS SEE TABLE 49)

S fpm 1000	Power-Wedge Cog-Belt			Super Power-Wedge		Super Blue Ribbon				Gold Label Cog-Belt			
	3VX	5VX	8VX	5V	8V	AP	BP	CP	DP	AX	BX	CX	DX
0.50	0.05	0.13	0.41	0.15	0.41	0.08	0.13	0.25	0.47	0.08	0.13	0.22	0.50
0.75	0.11	0.30	0.92	0.34	0.92	0.19	0.30	0.56	1.05	0.17	0.28	0.50	1.12
1.00	0.19	0.54	1.64	0.61	1.64	0.33	0.54	0.99	1.87	0.31	0.50	0.89	1.98
1.25	0.30	0.84	2.56	0.96	2.56	0.52	0.84	1.54	2.92	0.48	0.78	1.39	3.10
1.50	0.44	1.21	3.69	1.38	3.69	0.75	1.21	2.22	4.20	0.69	1.13	2.00	4.46
1.75	0.59	1.65	5.02	1.88	5.02	1.02	1.65	3.03	5.72	0.94	1.53	2.72	6.08
2.00	0.78	2.16	6.56	2.45	6.56	1.33	2.16	3.95	7.47	1.23	2.00	3.55	7.94
2.25	0.98	2.73	8.30	3.10	8.30	1.68	2.73	5.00	9.46	1.55	2.53	4.50	10.05
2.50	1.21	3.37	10.24	3.83	10.24	2.08	3.37	6.17	11.67	1.91	3.13	5.55	12.40
2.75	1.47	4.08	12.40	4.63	12.40	2.51	4.08	7.47	14.12	2.32	3.78	6.72	15.01
3.00	1.75	4.85	14.75	5.51	14.75	2.99	4.85	8.89	16.81	2.76	4.50	8.00	17.86
3.25	2.05	5.70	17.31	6.47	17.31	3.51	5.70	10.43	19.73	3.23	5.29	9.39	20.96
3.50	2.38	6.61	20.08	7.50	20.08	4.07	6.61	12.10	22.88	3.75	6.13	10.89	24.31
3.75	2.73	7.58	23.05	8.61	23.05	4.67	7.58	13.89	26.27	4.31	7.04	12.50	27.90
4.00	3.11	8.63	26.23	9.80	26.23	5.31	8.63	15.80	29.88	4.90	8.01	14.22	31.75
4.25	3.51	9.74	29.61	11.06	29.61	6.00	9.74	17.84	33.74	5.53	9.04	16.05	35.84
4.50	3.93	10.92	33.19	12.40	33.19	6.73	10.92	20.00	37.82	6.20	10.13	17.99	40.18
4.75	4.38	12.17	36.98	13.82	36.98	7.49	12.17	22.29	42.14	6.91	11.29	20.05	44.77
5.00	4.85	13.48	40.98	15.31	40.98	8.30	13.48	24.69	46.69	7.66	12.51	22.21	49.61
5.25	5.35	14.86	45.18	16.88	45.18	9.15	14.86	27.23	51.48	8.44	13.79	24.49	54.69
5.50	5.87	16.31	49.58	18.53	49.58	10.05	16.31	29.88	56.50	9.26	15.14	26.88	60.02
5.75	6.42	17.83	54.19	20.25	54.19	10.98	17.83	32.66	61.75	10.13	16.54	29.38	65.60
6.00	6.99	19.41	59.01	22.05	59.01	11.96	19.41	35.56	67.24	11.03	18.01	31.99	71.43
6.25	7.58	21.06	64.03	23.93	64.03	12.97	21.06	38.59	72.96	11.96	19.55	34.71	77.51
6.50	8.20	22.78	69.25	25.88	69.25	14.03	22.78	41.73	78.91	12.94	21.14	37.54	83.83
6.75	8.84	24.57	74.68	27.91	74.68	15.13	24.57	45.01	85.10	13.95	22.80	40.49	90.41
7.00	9.51	26.42	80.32	30.01	80.32	16.27	26.42	48.40	91.52	15.01	24.52	43.54	97.23

Table 47 - FACTORS C_c & Y

Belt Cross Section	C_c Single Belts	C_c Banded Belts	Y
3V	0.46	0.51	4.0
5V	1.20	1.30	12.0
8V	3.30	3.80	22.0
AP	0.66	—	6.0
BP	1.08	1.40	9.0
CP	1.98	2.30	16.0
DP	3.74	4.30	30.0
AX	0.61	—	7.0
BX	1.00	1.30	10.0
CX	1.78	2.10	28.0
DX	3.97	4.60	82.0

Determinación de la Carga en el asiento de la polea

DETERMINATION OF HUB LOAD

INTRODUCTION & PROCEDURE

Hub load and true belt pull resultant force load is defined as the resultant of the belt tensions along the drive center line. It can be used to determine the true belt pull resultant force and direction.

STEP 1 - Determine static strand tension

$$T_s = \frac{K \times \text{design HP}}{Q \times S} + T_c$$

Where: K = Value opposite $\frac{D-d}{C}$ in Table 46 on Pages 210-211.
 Q = Number of belts on drive
 S = Belt speed in FPM/1000
 T_c = "Add-on" tension opposite S in Tables 48 or 49.

STEP 2 - Determine hub load along drive center line.

Hub load along drive center line = T_s × Q × Factor H.

Where: H = Value opposite $\frac{D-d}{C}$ in Table 46 on Pages 210-211.
 Q = Number of belts on drive.

The direction of the true belt pull is given by the angle (F) it makes with the drive center line. Angle (F) is always toward the tight side strand. Angle (F) is found from the following relation:

STEP 3 - $F = \tan^{-1} \left[\frac{P}{2T_s \times Q} \times \tan \left(90 - \frac{\text{Arc of contact}}{2} \right) \right]$

Where: P = effective pull $\left(\frac{33,000 \times \text{HP}}{V} \right)$
 T_s = static strand tension (determined in Step 1.)
 Q = number of belts on drive. (Tan⁻¹ means, the angle whose tangent is...)

The magnitude of the true belt pull resultant force is given by the following relation.

STEP 4 - Resultant force = $\frac{\text{Hub load}}{\text{Cos } F}$

Where: Hub load = value determined from Step 2.
 Cos. F = cosine of angle F

True belt pull resultant force and direction may also be determined by making a layout to a convenient scale, measuring the value of the resultant, and the angle it makes with the center line of the drive. The following example problem shows the solution by both methods.

THE PROBLEM:

Find Hub Load for locked center drive with the following conditions:

Motor Sheave (d) = 5.6"

Driven Sheave (D) = 24.6"

No. of Belts (Q) = 6 (AP90)

Center Distance (C) = 19.6"

Belt Speed (V) = 5131 FPM

Design HP = 42.0 HP

THE SOLUTION: (FORMULA METHOD)

Obtain Hub Load and True Belt Pull Resultant Force

$$T_s = \frac{K \times \text{Design HP}}{Q \times S} + T_c$$

Calculate $\frac{D-d}{C} = \frac{24.6-5.6}{19.6} = 0.97$ (Arc = 104°)

K = 38.008 from Table 46 by interpolation.
 T_c = 8.7 lbs. from Table 48 opposite S.

STEP 1 - $T_s = \frac{38.008 \times 42}{6 \times 5.131} + 8.7 = 60.55 \text{ Lbs.}$

STEP 2 - Hub Load along center line = T_s × Q × FACTOR H

Factor H = 1.576 from Table 46 by interpolation.
 Hub Load = 60.55 × 6 × 1.576 = 572.6 Lbs.

STEP 3 - $F = \tan^{-1} \left[\frac{P}{2T_s \times Q} \times \tan \left(90^\circ - \frac{\text{Arc}}{2} \right) \right]$

$$F = \tan^{-1} \left(\frac{270.1}{2 \times 60.55 \times 6} \times \tan 38^\circ \right)$$

$$F = \tan^{-1} (.37173 \times .78129)$$

$$F = \tan^{-1} (.29043) = 16^\circ \text{ (rounding)}$$

STEP 4 - True Belt Pull Resultant Force = $\frac{\text{Hub Load}}{\text{Cos } F}$

$$\text{Resultant Force} = \frac{572.6}{.961262} = 595.7 \text{ Lbs.}$$

THE SOLUTION: (FORCE DIAGRAM METHOD)

STEP 1 - Determine effective pull (P) from formula:

$$P = \frac{33,000 \times \text{HP}}{V}$$

Therefore, $P = \frac{33,000 \times 42.0}{5131} = 270.1 \text{ lbs.}$

STEP 2 - Determine arc of contact on small sheave and Factor N.

Calculate $\frac{D-d}{C} = \frac{24.6 - 5.6}{19.6} = .97$

From Table 46, find opposite $\frac{D-d}{C}$ arc of contact = 104°, Factor N = .76.

219

ANEXO C CATÁLOGO DE RODAMIENTOS SKF. ⁽⁶⁾

Valores para la vida nominal de los rodamientos

Tabla 4 Guía de valores requeridos de vida nominal L_{10h} para diferentes clases de máquinas

Clase de máquinas	L_{10h} horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugas.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	≈ 100 000

Formulas de la vida del rodamiento

sino al desgaste, la corrosión, el fallo de la obturación, etc. Otro de los conceptos es el de "vida especificada" que es la determinada por una autoridad en la materia en base a datos hipotéticos de carga y velocidad suministrados por la misma autoridad. Esta vida especificada generalmente es una vida L_{10} (vida nominal) requerida, ver página 33, y se supone que la autoridad que la ha determinado lo ha hecho en base a la experiencia obtenida con máquinas similares para obtener la vida útil adecuada.

Selección del tamaño del rodamiento utilizando la fórmula de la vida

La duración de un rodamiento se puede calcular con diferentes niveles de sofisticación, que dependen de la precisión que se pueda alcanzar en la definición de las condiciones de funcionamiento.

Fórmula de la vida nominal

El método más simple para calcular la duración de un rodamiento consiste en la aplicación de la fórmula ISO de la vida nominal, es decir

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \hat{=} \frac{C}{P} = L_{10}^{-1/p}$$

donde

- L_{10} = vida nominal, en millones de revoluciones
- C = capacidad de carga dinámica, en N
- P = carga dinámica equivalente (ver página 49), en N
- p = exponente de la fórmula de la vida
 - $p = 3$ para los rodamientos de bolas
 - $p = 10/3$ para los rodamientos de rodillos

En el gráfico de la página opuesta y en la Tabla 1 se dan los valores de la seguridad de carga C/P en función de la duración L_{10} .

Para rodamientos que funcionen a velocidad constante, será más conveniente expresar la duración nominal en horas de servicio usando para ello la ecuación

$$L_{10h} = \frac{1\,000\,000}{60\,n} \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3}$$

ó

$$L_{10h} = \frac{1\,000\,000}{60\,n} L_{10}$$

donde

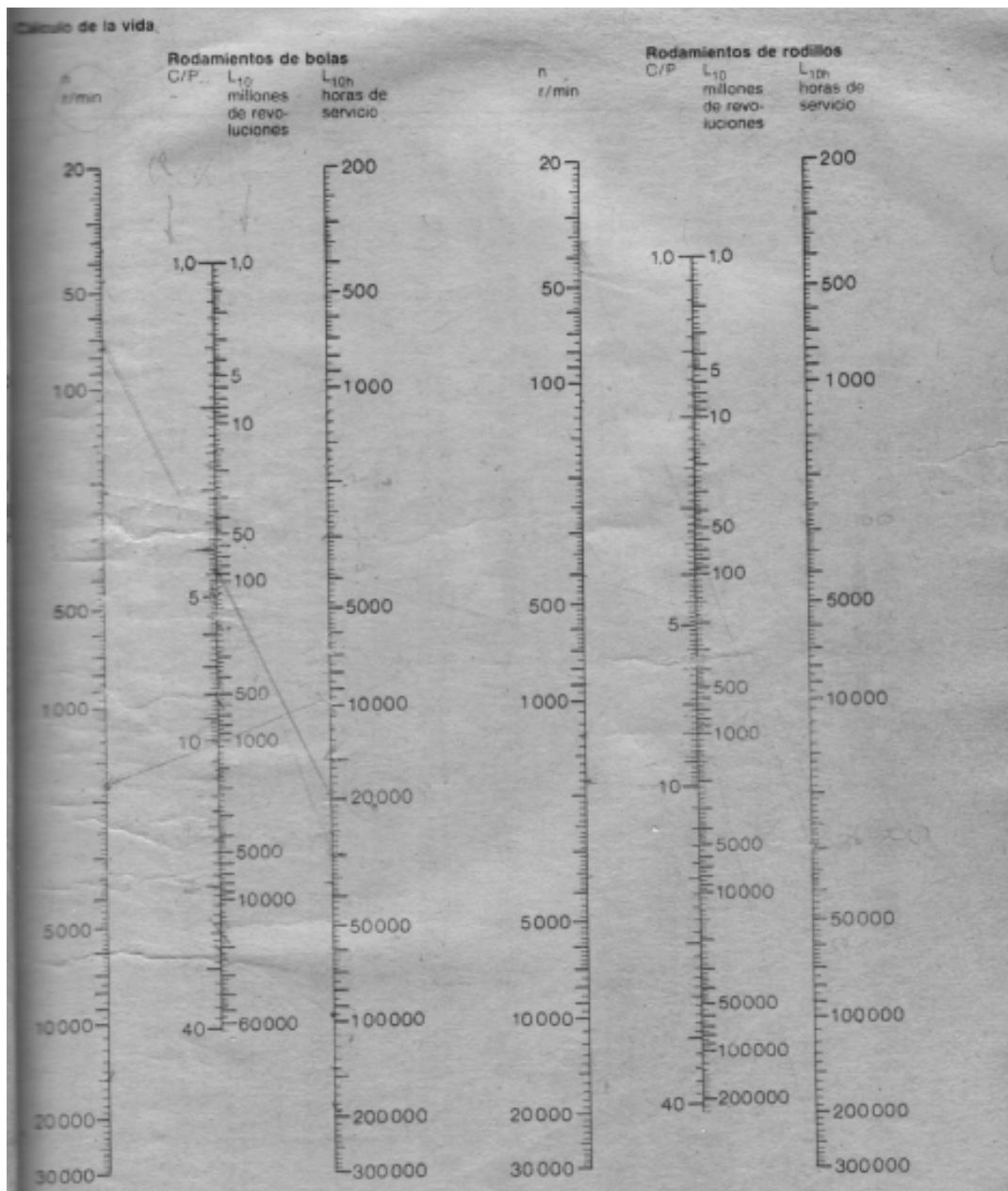
- L_{10h} = vida nominal, en horas de servicio
- n = velocidad de giro, en r/min

La vida L_{10h} en función de la seguridad de carga C/P y velocidad de rotación puede obtenerse también del gráfico de la página opuesta o en las Tablas 2 (rodamientos de bolas) y 3 (rodamientos de rodillos).

$$L_{10h} = \frac{1\,000\,000}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3}$$

$C = 30000$
 $P = 100000$

Nomograma para el cálculo de la vida del rodamiento



Determinación de las Cargas en un rodamiento de bolas

Carga dinámica equivalente
 Para rodamientos individuales y parejas de rodamientos dispuestos en tándem

$$P = F_r \quad \text{cuando } F_a/F_r \leq e$$

$$P = X F_r + Y F_a \quad \text{cuando } F_a/F_r > e$$

En los rodamientos rígidos de bolas, los factores X e Y necesarios para el cálculo de la carga dinámica equivalente, dependen de la relación entre la carga axial F_a y la capacidad de carga estática C_0 . También influye el juego radial interno; los juegos internos más amplios permiten mayores cargas axiales.

Si se montan los rodamientos con ajustes usuales (tolerancia j5 a n6 dependiendo del diámetro del eje y J7 para el alojamiento), la carga equivalente puede calcularse empleando los factores e, X e Y dados en la tabla adyacente superior.

Para parejas de rodamientos dispuestos en tándem, deben emplearse los valores que aparecen en la columna "juego interno C3". En el caso de elegirse un juego interno mayor que el Normal, debido a que con el rodamiento en funcionamiento se produce una reducción en el juego interno del mismo como resultado, por ejemplo, de un intenso calentamiento del aro interior, deben usarse entonces los valores de estos factores que aparecen en las columnas de juego interno Normal.

Para parejas de rodamientos dispuestos en tándem, F_a y F_r son las fuerzas que actúan sobre la pareja de rodamientos.

Para parejas de rodamientos dispuestos espalda con espalda o frente a frente

$$P = F_r + Y_1 F_a \quad \text{cuando } F_a/F_r \leq e$$

$$P = 0,75 F_r + Y_2 F_a \quad \text{cuando } F_a/F_r > e$$

F_r y F_a son las fuerzas que actúan sobre la pareja de rodamientos. Los valores de los factores e, Y_1 e Y_2 para los diferentes valores de F_a/C_0 están dados en la tabla adyacente inferior.

Carga estática equivalente
 • Para rodamientos individuales y de rodamientos en tándem

$$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$$

Cuando $P_0 < F_r$, tomar $P_0 = F_r$ para rodamientos apareados, F_r y F_a son las fuerzas que actúan sobre la pareja de rodamientos.

Para parejas de rodamientos espalda con espalda o frente a frente

$$P_0 = F_r + 1,7 F_a$$

F_r y F_a son las fuerzas que actúan sobre la pareja de rodamientos.

Capacidad de carga axial
 Si se someten los rodamientos de bolas a una carga puramente axial, no debe exceder el valor de 0,5 C_0 para rodamientos pequeños y en los ligeros (Series de Diámetros 8 a 17) este valor no debe exceder del 0,25 C_0 . Una carga axial excesiva puede reducir apreciablemente la duración de funcionamiento.

Dimensión de los rodamientos de bolas

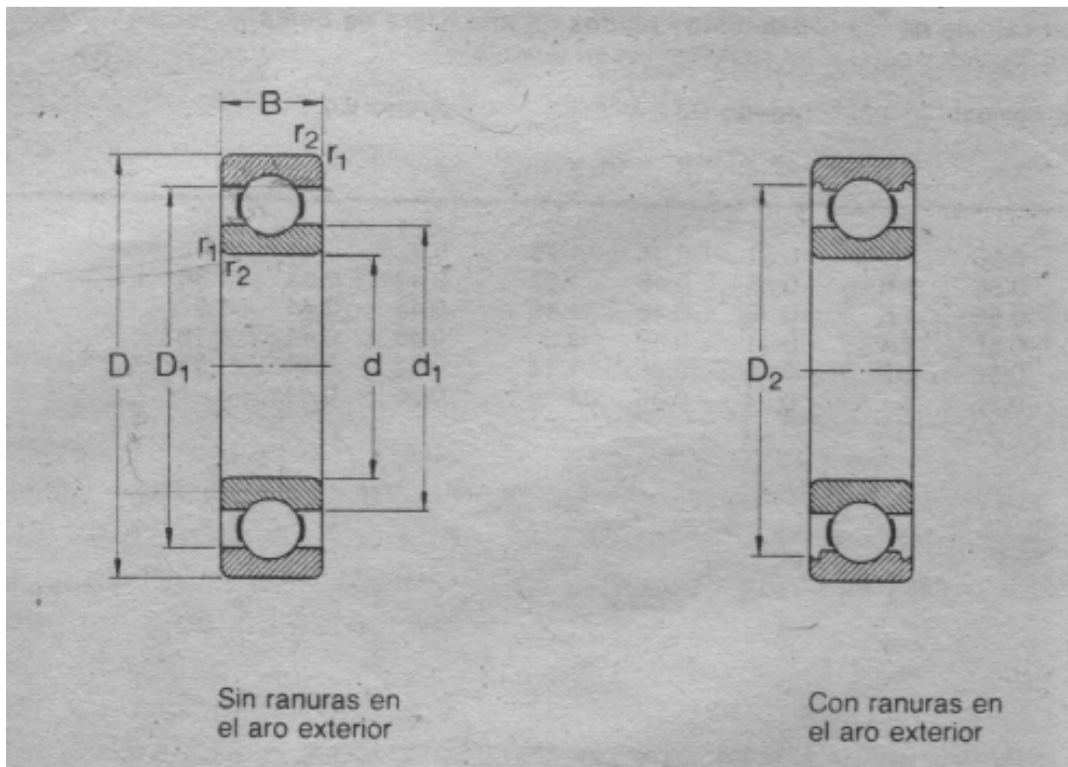


Tabla de selección del rodamiento

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidad nominal		Masa	Designación
d	D	B	C	C_0		Lubricación con			
						grasa	aceite		
mm			N		N	r/min		kg	-
2,5	8	2,8	319	106	4	67 000	80 000	0,0007	60/2.5
3	10	4	488	146	6	60 000	70 000	0,0015	623
4	9	2,5	540	180	7	63 000	75 000	0,0007	618/4
	12	4	806	280	12	53 000	63 000	0,0022	604
	13	5	975	305	14	48 000	56 000	0,0031	624
	16	5	1 110	380	16	43 000	50 000	0,0054	634
5	11	3	637	255	11	53 000	63 000	0,0012	618/5
	16	5	1 110	380	16	43 000	50 000	0,0050	625
	19	6	1 720	620	26	36 000	43 000	0,0090	635
6	13	3,5	884	345	15	48 000	56 000	0,0020	618/6
	19	6	1 720	620	26	36 000	43 000	0,0084	626
7	14	3,5	956	400	17	45 000	53 000	0,0022	618/7
	19	6	1 720	620	26	38 000	45 000	0,0075	607
	22	7	3 250	1 370	57	32 000	38 000	0,013	627
8	16	4	1 330	570	24	40 000	48 000	0,0030	618/8
	22	7	3 250	1 370	57	36 000	43 000	0,012	608
9	17	4	1 430	640	27	38 000	45 000	0,0034	618/9
	24	7	3 710	1 660	71	32 000	38 000	0,014	609
	26	8	4 620	1 960	83	28 000	34 000	0,020	629
10	19	5	1 380	585	25	36 000	43 000	0,0055	61800
	22	6	1 950	750	32	34 000	40 000	0,010	61900
	26	8	4 620	1 960	83	30 000	36 000	0,019	6000
	28	8	4 620	1 960	83	28 000	34 000	0,022	16100

Factores para la vida del rodamiento

Fórmula de la vida nominal ajustada

En la fórmula de la vida mencionada en la página 28

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

se considera la influencia que tiene la carga aplicada al rodamiento en la duración de éste. En aplicaciones convencionales donde se empleen los rodamientos relacionados en este catálogo es adecuado el cálculo según L_{10} , puesto que las recomendaciones respecto a la duración requerida están basadas en la experiencia y, de hecho, tienen en cuenta factores tales como la lubricación.

No obstante, puede ser conveniente el considerar con más detalle la influencia de otros factores en la duración del rodamiento. Para este fin, ISO introdujo en 1977, la siguiente fórmula de la vida nominal ajustada:

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

o simplemente

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10}$$

donde

L_{na} = vida nominal ajustada, en millones de revoluciones (el subíndice n representa la diferencia entre la fiabilidad¹⁾ requerida y el 100 %)

a_1 = factor de ajuste de la vida, por fiabilidad

a_2 = factor de ajuste de la vida, por el material.

a_3 = factor de ajuste de la vida, por las condiciones de funcionamiento

Un cálculo de la vida nominal ajustada presupone que las condiciones de funcionamiento están bien definidas y que las cargas sobre los rodamientos pueden ser

calculadas con exactitud, es decir, el cálculo debe considerar el espectro de cargas, flexión del eje, etc.

Para la fiabilidad del 90 % generalmente aceptada, para los materiales a los que corresponde el valor C, y en condiciones de funcionamiento normales, tenemos $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, con lo cual la fórmula de la duración nominal básica y la de la duración nominal ajustada son idénticas.

Factor a_1

Se usa el factor a_1 por fiabilidad para determinar otras vidas diferentes a la vida L_{10} , es decir, vidas que son alcanzadas o sobrepasadas con una probabilidad mayor del 90 %. En la Tabla 6 se dan los valores de a_1 .

Factor a_2

Al determinar las capacidades de carga dinámica SKF, se ha tenido en cuenta que el acero normal empleado por SKF tiene mejores propiedades de duración que el material sobre el que están basadas las fórmulas de ISO 281/I-1977. Cuando se emplean dichos valores de capacidad de carga (valores C), $a_2 = 1$. Para rodamientos SKF fabricados de aceros especiales, se pueden aplicar valores de a_2 más altos; por favor, consultar a SKF.

Tabla 6 Valor del factor a_1

Fiabilidad %	L_{na}	a_1
90	L_{10a}	1
95	L_{5a}	0.62
96	L_{4a}	0.53
97	L_{3a}	0.44
98	L_{2a}	0.33
99	L_{1a}	0.21

¹⁾ Por fiabilidad se entiende la probabilidad del rodamiento para alcanzar o sobrepasar una duración determinada.

ANEXO D PROTOCOLO DE PRUEBA

Sistema		Satisfactorio	Bueno	Deficiente	Observación
Transmisión de Potencia	Ajuste de las poleas	x			
	Tensión de la banda de transmisión	x			
	Ajuste de los pernos del motor a la placa base	x			
	Soldadura de las bisagras	x			
	Soldadura de los ganchos del tensor	x			
	Control de encendido del motor	x			
	Enchufe, cable y conexión del motor	x			
	Soldadura de los angulos	x			
Desbaste	Centricidad de los rodillos	x			
	Rodamientos	x			
	Caucho en rodillos	x			
	Agarre del papel abrasivo con los rodillos	x			
	Alineación de los rodillos	x			
	Lubricación de la riel del rodillo movil	x			
	Lubricación de la guía del sistema tensor	x			
	Pasadores	x			
	Soldadura en la estructura principal	x			
	Acople de la máquina con la tapa	x			
	Ajuste de los pernos	x			
	Calidad de pulido	x			
Bombeo	Ajuste y acople de mangueras	x			
	Regulación de caudal con la válvula	x			
	Funcionamiento de la bomba	x			
	Filtro y malla	x			
	Bandeja de agua	x			
	Válvula de desagüe	x			
	Control de encendido de la bomba	x			
	Enchufe y cable de bomba	x			
Varios	Estabilidad de la maquina	x			
	Nivelación de la maquina	x			
	Ajuste de las planchas laterales	x			
	Ajuste del piso interno	x			

Prueba de Funcionamiento

Tiempo de Funcionamiento (min)	Sistema	Estado	
		Buenas Condiciones	Malas Condiciones
5	Transmisión de Potencia	x	
	Bombeo de Refrigerante	x	
	Desbaste	x	
	Alineación de rodillos	x	
10	Transmisión de Potencia	x	
	Bombeo de Refrigerante	x	
	Desbaste	x	
	Alineación de rodillos	x	
20	Transmisión de Potencia	x	
	Bombeo de Refrigerante	x	
	Desbaste	x	
	Alineación de rodillos	x	
30	Transmisión de Potencia	x	
	Bombeo de Refrigerante	x	
	Desbaste	x	
	Alineación de rodillos	x	

ANEXO E CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA

