

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PIN SOBRE DISCO (PIN
ON DISK), PARA REALIZAR ENSAYOS DE DESGASTE.

CÉSAR DAMIÁN REY MERLO
GERMAN JAIR VILLAR HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

2009

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PIN SOBRE DISCO (PIN
ON DISK), PARA REALIZAR ENSAYOS DE DESGASTE.

CÉSAR DAMIÁN REY MERLO

GERMAN JAIR VILLAR HERNÁNDEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingenieros Mecánicos

DIRECTOR: Ing. Isnardo González Jaimes

CODIRECTOR: Ph.D, M.Sc Ing. Darío Yesid Peña Ballesteros

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

2009

A Dios

Quien siempre esta a mi lado

A mis padres Rosa y Ovidio

Por darme muchas veces más de lo que debían

A mi hermana Judith

Con quien siempre pude pelear

A mis amigos

Quienes me quitaron el tiempo para trabajar en este proyecto

A la mujer a mi lado

Por escucharme, regañarme, aguantarme y sobre todo quererme

César Damián Rey Merlo

*A Dios por permitirme
Ser alguien en la vida*

*A mis padres German y Dilia
Por darme lo necesario
Para ser alguien en la vida*

*A mis hermanas Julieth y Monica
Por ser un apoyo incondicional
Para ser alguien en la vida*

*A mis familiares y amigos
Por acompañarme
En ser alguien en la vida*

*A ti mujer sublime
Por enseñarme lo importante
Que es ser alguien en la vida*

German Jair Villar Hernández

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto agradecen a todas las personas involucradas en el correcto desarrollo del mismo, pero especialmente a:

Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico, director del proyecto, por ser una guía en el cumplimiento de los objetivos propuestos en este proyecto.

Darío Yesid Peña Ballesteros, ingeniero Metalúrgico, codirector, por su apoyo y asesoría, a través del grupo GT UIS.

Docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica y de la facultad de Físico-Mecánicas, por su labor de formación integral para nosotros como ingenieros, a lo largo de nuestra trayectoria por la Universidad Industrial de Santander.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	28
1. TRIBOLOGÍA Y DESGASTE.....	31
1.1. GRUPO DE TRIBOLOGÍA Y SUPERFICIES DE LA UIS.....	31
1.1.1. Generalidades.....	31
1.1.2. Misión.....	31
1.1.3. Visión.....	31
1.1.4. Líneas de investigación.....	32
1.2. TRIBOLOGÍA.....	32
1.2.1. Antecedentes e importancia de los estudios tribológicos	32
1.2.2. Fricción.....	33
1.3. DESGASTE	40
1.3.1. Tipos de desgaste	40
1.3.2. Experimentos de fricción y desgaste.....	42
2. DISEÑO DE LA MÁQUINA PIN ON DISK.....	48
2.1. DESPLIEGUE DE LA FUNCION CALIDAD (QFD).....	48
2.1.1. Requerimientos del consumidor.....	48
2.1.2. Organización de requerimientos.....	49
2.1.3. Planteamiento de alternativas	51
2.1.4. Evaluación de las opciones de diseño.....	53
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS.....	55
2.2.1. Sistema motriz.....	55
2.2.2. Sistema de desplazamiento.....	55
2.2.3. Sistema de carga	56
2.2.4. Sistema de medición de fricción	57

2.3.	CÁLCULOS ESTRUCTURALES	58
2.3.1.	Consideraciones Generales	58
2.3.2.	Pin	59
2.3.3.	Brazo	65
2.3.4.	Tornillo de desplazamiento.	73
2.3.5.	Soporte para el disco	77
2.3.6.	Conjunto mesa superior y mesa inferior	81
2.4.	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	85
2.4.1.	Consideraciones	85
2.4.2.	Cálculo de cargas	86
2.4.3.	Cálculo de la vida	88
3.	SELECCIÓN DEL MOTOR	90
3.1.	SELECCIÓN DEL MOTOR	90
3.1.1.	Motor tipo jaula de ardilla.	90
3.1.2.	Servomotor AC	91
3.1.3.	Selección.	92
3.2.	CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SERVOMOTOR	92
3.2.1.	Análisis de las cargas en el motor	93
3.2.2.	Torque en el motor	93
3.2.3.	Carga axial y momento flector.	100
4.	CONSTRUCCIÓN	104
4.1.	REQUERIMIENTOS	104
4.2.	MATERIALES	105
4.3.	PLANIFICACIÓN DEL PROCESO	106
4.4.	MESA SUPERIOR Y MESA INFERIOR	108
4.5.	SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO	110
4.6.	EJES	112
4.7.	BRAZO	113

4.8. YUGO DEL BRAZO	113
4.9 PRESUPUESTO	114
5. PRUEBAS.....	116
5.1. PRECISIÓN DEL SERVO	116
5.2. PRUEBAS PIN ON DISK.....	119
5.2.1. Objetivo de la prueba.....	119
5.2.2. Materiales utilizados.....	119
5.2.3. Preparación de las muestras.	120
5.2.4. Metodología	120
5.2.5. Resultados.	122
6. CONCLUSIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	130

LISTA FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fricción entre dos superficies.	33
Figura 2. Contacto entre asperezas de superficies al elevarse la carga.	35
Figura 3. Contacto producido en unas cuantas asperezas, a_1 , a_2 y a_3	36
Figura 4. Fricción por adhesión.	37
Figura 5. Fricción por remoción.	38
Figura 6. Fricción por deformación.	40
Figura 7. Desgaste por adherencia.	41
Figura 8. Desgaste por abrasión.	41
Figura 9. Desgaste por fatiga.	42
Figura 10. Esquema de un aparato para medir la fricción con cargas ligeras.	43
Figura 11. Máquina de pin y buje.	43
Figura 12. Cilindro cruzado.	44
Figura 13. Barra de carga con calibradores de deformación montados sobre la sección reducida.	45
Figura 14. Máquina de pin y disco.	45
Figura 15. Barra de carga con bisagra.	46
Figura 16. Patrón de una curva de desgaste típica.	46
Figura 17. Máquina con plano de desgaste vertical.	51
Figura 18. Máquina con plano de desgaste horizontal.	52
Figura 19. Sistema motriz de la máquina.	56
Figura 20. Sistema de desplazamiento de la máquina.	57
Figura 21. Sistema de carga de la máquina.	57
Figura 22. Sistema de medición de fricción de la máquina.	58
Figura 23. Cargas sobre el pin y diagrama de cuerpo libre.	59

Figura 24. Cargas sobre el brazo.....	65
Figura 25. Diagrama de cuerpo libre.....	66
Figura 26. Cargas sobre el tornillo.....	73
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre del tornillo.....	74
Figura 28. Cargas sobre el disco.....	78
Figura 29. Cargas aplicadas al soporte del disco.....	79
Figura 30. Esfuerzos en el soporte del disco.....	79
Figura 31. Deformaciones en el soporte del disco.....	80
Figura 32. Factor de seguridad en el soporte del disco.....	80
Figura 33. Apoyos de la placa.....	82
Figura 34. Cargas aplicadas al conjunto.....	83
Figura 35. Esfuerzos en la placa.....	84
Figura 36. Deformaciones en el conjunto.....	84
Figura 37. Factor de seguridad en el conjunto.....	85
Figura 38. Rodamiento de la serie NKIA59.....	86
Figura 39. Cargas sobre el eje de giro del disco.....	87
Figura 40. Diagrama de cuerpo libre del eje del disco.....	87
Figura 41. Esquema del montaje del servomotor.....	92
Figura 42. Inercia de la base del motor.....	97
Figura 43. Inercia del disco base.....	97
Figura 44. Inercia del anillo de fijación.....	98
Figura 45. Curva de velocidad - Corriente del servomotor BSM80C - 375 ..	100
Figura 46. Capacidad de carga de empuje.....	101
Figura 47. Esquema del momento flector producto de la fuerza de fricción.	102
Figura 48. Capacidad de carga radial.....	102
Figura 49. Mesa superior y mesa inferior mecanizadas.....	109
Figura 50. Taller CNC UIS sede Guatiguará.....	109
Figura 51. Centro de mecanizado Hermle U630S.....	110

Figura 52. Sistema de desplazamiento	110
Figura 53. Fresadora IMOMILL	111
Figura 54. Taladro fresador IMODRILL	111
Figura 55. Torno IMOTURN.....	112
Figura 56. Torno CNC Weiler E35	114
Figura 57. Gráfica % de velocidad vs tiempo.....	117
Figura 58. Ampliación de la gráfica % de velocidad vs tiempo	117
Figura 59. Gráfica % de velocidad vs tiempo.....	118
Figura 60. Ampliación de la gráfica % de velocidad vs tiempo	119
Figura 61. Pin de teflón.....	120
Figura 62. Máquina lista para empezar la prueba.....	122
Figura 63. Resultados de la prueba pin teflón.	125
Figura 64. Resultados prueba pin de teflón.....	125
Figura 65. Muestra de material del pin en el disco	126
Figura 66. Grafica de variación de velocidad en la prueba con el pin 6.....	126

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Matriz de calidad	50
Cuadro 2. Evaluación de las opciones de diseño.....	54
Cuadro 3. Selección de servomotor por torque.	95
Cuadro 4. Especificaciones técnicas del servomotor.....	95
Cuadro 5. Identificación de procesos de manufactura.	106
Cuadro 6. Principales características del Teflón	120
Cuadro 7. Resultados de la prueba.....	123

LISTA DE ANEXOS

- A. Norma ASTM G99-95
- B. Planos de fabricación
- C. Ficha técnica de los rodamientos
- D. Ficha técnica del servomotor
- E. Manual de instalación y operación
- F. Manual de mantenimiento

GLOSARIO

Desgaste: El desgaste es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo. Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie

Fricción: La fricción se define como la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse sobre otro con el cual está en contacto. Esta resistencia al movimiento depende de las características de las superficies.

Encoder: El encoder es un dispositivo electromecánico, que convierte la posición angular de su eje en una señal digital eléctrica. Conectado a la electrónica adecuada y a través de los apropiados vínculos mecánicos, el encoder permite medir desplazamientos angulares, movimientos lineales y circulares, y velocidades rotacionales y aceleraciones. Varias técnicas pueden ser utilizadas para la detección de un movimiento angular, capacitiva, inductiva, potenciométrica o fotoeléctrica.

Ergonomía: estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina.

Mantenimiento: conjunto de acciones, operaciones y actitudes tendientes a poner o restablecer un bien a un estado específico que le permitan asegurar un servicio determinado.

Mtto. correctivo: consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla.

Mtto. preventivo: se realiza a los equipos de una planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas y debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminada a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas intempestivas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de los equipos.

Mecanizado: conjunto de todos los procesos mecánicos necesarios para transformar una masa metálica en una pieza funcional, ya sea para crear herramientas, elementos de otras máquinas, o cualquier tipo de elemento metálico con una finalidad concreta, útil para el hombre.

Metalistería: Es el arte e trabajar los metales, mediante cualquiera de los procesos de transformación de forma.

Lubricación: Acción y efecto de la separación de dos superficies con desplazamiento relativo entre sí, de tal manera que no se produzca daños en ellas; se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible.

QFD: (Quality Function Deployment) Es un sistema que busca focalizar el diseño de los productos y servicios en dar respuesta a las necesidades de los

clientes. Esto significa alinear lo que el cliente requiere con lo que la organización produce.

Tacogeneradores: Es un dispositivo para medir la velocidad angular. Su funcionamiento es sencillo: convertir la energía rotacional del eje en cuestión, en energía eléctrica, proporcional a la rotacional y que puede ser fácilmente medida. Para generar la corriente a partir del giro se acopla al motor o eje que se va a medir, una espira situada dentro de un campo magnético fijo (creado por los dos imanes). Al girar el motor, la espira girará en el interior del campo magnético, lo que producirá una corriente eléctrica.

Tacómetros: El tacómetro óptico mide con precisión la velocidad rotatoria (RPM) usando un haz de luz visible, puede ser usado a una distancia de hasta 8 m en un elemento rotatorio. La construcción robusta, portabilidad y características notables del tacómetro óptico, lo hacen la opción ideal para el departamento de mantenimiento, operadores de máquinas y varias otras aplicaciones en maquinarias. El tacómetro de contacto mide con precisión la velocidad rotatoria y de superficies, así como longitud. El interruptor incorporado del selector permite que el usuario exhiba lecturas en una amplia variedad de unidades de medidas. La medición con contacto se lleva a cabo por medio de un adaptador mecánico con cabeza o con rueda de medición.

Tribología: ciencia que estudia la interacción entre superficies en movimiento y los problemas relacionados con ellos: desgaste, fricción, adhesión y lubricación

Scuffing: desgaste abrasivo a causa de deslizamiento con cargas de impacto.

Servomotor: Un servomotor está conformado por un motor y un circuito de control, el cual le permite una continua retroalimentación de su posición o velocidad y así comparar el estado de referencia con el real, y realizar las correcciones necesarias. Un servomotor tiene integrado o adosado al menos un detector que permita conocer su posicionamiento y/o velocidad.

NOMENCLATURA

F_f	Fuerza de fricción entre el pin y el disco, $[N]$.
F_n	Fuerza normal entre el pin y el disco, $[N]$.
M_p	Momento flector en el pin, $[N \cdot m]$.
M_{rp}	Momento reactivo en el pin, $[N \cdot m]$.
l_p	Longitud libre del pin, $[m]$.
l_{ep}	Longitud equivalente del pin, $[m]$.
rgp	Radio de giro de la sección transversal del pin, $[m]$.
D_p	Diámetro del pin, $[m]$.
σ_{fp}	Esfuerzo normal por flexión en el pin, $[Pa]$.
σ_{ap}	Esfuerzo normal por compresión en el pin, $[Pa]$.
σ_{Tp}	Esfuerzo axial total del pin, $[Pa]$.
τ_p	Esfuerzo por cortante directo en el pin, $[Pa]$.
E	Módulo de elasticidad del material, $[Pa]$.
S_y	Esfuerzo de fluencia del material, $[Pa]$.
N	Factor de seguridad.
S_{ys}	Esfuerzo de fluencia por cortante en el material, $[Pa]$.
$\sigma_{1,2}$	Esfuerzos normales principales, $[Pa]$.
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo, $[Pa]$.
N_σ	Factor de seguridad por esfuerzo normal.

N_τ	Factor de seguridad por esfuerzo cortante.
I_p	Momento de inercia del pin, $[kg \cdot m^2]$.
δ_p	Deformación por flexión del pin, $[m]$.
θ_p	Ángulo de rotación del pin por flexión, $[^\circ]$.
T_{rb}	Torque reactivo en el brazo, $[N \cdot m]$.
l_b	Longitud libre del brazo, $[m]$.
l_t	Distancia entre la superficie de contacto y el centroide del brazo, $[m]$.
σ_b	Esfuerzo por flexión en el brazo, $[Pa]$.
τ_b	Esfuerzo por cortante directo en el brazo, $[Pa]$.
V_b	Cortante directo en el brazo, $[Pa]$.
h_f	Ancho de la sección transversal del brazo por flexión, $[m]$.
h_v	Ancho de la sección transversal del brazo por cortante directo, $[m]$.
σ_{fb}	Esfuerzo normal por flexión en el brazo, $[Pa]$.
τ_{Tb}	Esfuerzo cortante por torsión en el brazo, $[Pa]$.
τ_{vb}	Esfuerzo cortante por cortante directo en el brazo, $[Pa]$.
I_b	Momento de inercia del brazo, $[kg \cdot m^2]$.
δ_b	Deformación por flexión del brazo, $[m]$.
θ_b	Ángulo de rotación del brazo por flexión, $[^\circ]$.
T_T	Torque aplicado en el tornillo, $[N \cdot m]$.
T_{RT}	Torque reactivo en el tornillo, $[N \cdot m]$.
F_A	Fuerza de arrastre ejercida por el tornillo, $[N]$.

R_A	Reacción en la tuerca del tornillo, $[N]$.
D_m	Diámetro medio del tornillo, $[m]$.
W	Peso de la mesa superior a ser deslizado, $[N]$.
f_s	Coefficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo.
θ	Ángulo del filete del tornillo, $[^\circ]$.
α	Ángulo de la hélice de la rosca, $[^\circ]$.
D_{ext}	Diámetro exterior del tornillo, $[m]$.
D_r	Diámetro de raíz del tornillo, $[m]$.
A_r	Área de raíz del tornillo, $[m^2]$.
L_{eqT}	Longitud equivalente del tornillo, $[m]$.
r_{gT}	Radio de giro de la sección transversal del tornillo, $[m]$.
σ_{col}	Esfuerzo de columna en el tornillo, $[Pa]$.
Re	Relación de esbeltez del tornillo.
τ_T	Esfuerzo cortante por torsión en el tornillo, $[Pa]$.
σ_{eq}	Esfuerzo equivalente de Von Mises en el tornillo, $[Pa]$.
T_m	Torque necesario del motor, $[N \cdot m]$.
W_m	Peso del motor, $[N]$.
W_{sd}	Peso de las piezas del soporte del disco, $[N]$.
M_{fs}	Momento flector debido a la fricción en el anclaje del motor, $[N \cdot m]$.
W_{sc}	Peso de las piezas del soporte del disco, $[N]$.
M_{fc}	Momento flector debido a la fricción en el anclaje del soporte de la celda de carga, $[N \cdot m]$.

W_{sb}	Peso de las piezas del soporte del brazo, $[N]$.
M_N	Momento flector producido por la fricción y la distancia entre la superficie de contacto y el centro de apoyo de los rodamientos, $[N \cdot m]$.
l_1	Distancia entre la superficie de contacto y el primer rodamiento (A), $[m]$.
l_2	Distancia entre el primer y el segundo rodamiento, $[m]$.
R_A	Reacción en el primer rodamiento, $[N]$.
R_B	Reacción en el segundo rodamiento, $[N]$.
R_N	Reacción a la fuerza normal en los rodamientos, $[N]$.
L_{10}	Vida de los rodamientos con una confiabilidad del 90%, $[rev]$.
C	Carga dinámica del rodamiento, $[N]$.
P	Carga que actúa en el rodamiento, $[N]$.
T_{acc}	Torque de arranque del motor, $[N \cdot m]$.
T_i	Torque de aceleración del motor, $[N \cdot m]$.
S_m	Velocidad del motor, $[rev/min]$.
S_1	Velocidad de la carga, $[rev/min]$.
J_t	Inercia total del sistema, $[kg \cdot m^2]$.
J_c	Inercia de la carga, $[kg \cdot m^2]$.
J_m	Inercia del motor, $[kg \cdot m^2]$.
J_1	Inercia de la base, $[kg \cdot m^2]$.
J_2	Inercia del disco base, $[kg \cdot m^2]$.

J_3	Inercia del anillo de fijación, $[kg \cdot m^2]$.
V	Velocidad del motor, $[rad/s]$.
A_{cc}	Aceleración de la carga, $[rad/s^2]$.
I_{acc}	Corriente necesaria para la aceleración de la carga, $[A]$.
M_F	Momento flector en el eje del motor, $[N \cdot m]$.
x	Distancia entre la superficie de carga y el primer rodamiento del motor, $[m]$.

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PIN SOBRE DISCO (PIN ON DISK), PARA REALIZAR ENSAYOS DE DESGASTE.*

AUTORES:

César Damián Rey Merlo

German Jair Villar Hernández**

PALABRAS CLAVES:

Desgaste de materiales, fricción en máquinas, QFD en diseño mecánico, Pin on Disk, ASTM.

DESCRIPCIÓN:

Ante la inminente necesidad de mejorar el entendimiento que se tiene de los fenómenos del desgaste de materiales y la fricción, este proyecto busca satisfacer los requerimientos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales para profundizar su comprensión y los procesos de aprendizaje en sus estudiantes; además de tener la posibilidad de brindar un servicio externo a la industria.

Para el desarrollo del proyecto se empleó el despliegue de función de calidad (QFD), con el objetivo de enfocar el diseño a la satisfacción de las verdaderas necesidades de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, y considerando los lineamientos que presenta la norma G99 de la ASTM para el desarrollo de Ensayos de desgaste tipo "Pin on disk".

Adicionalmente se dedicó particular atención a la rigidez de la máquina y a su durabilidad, considerando aspectos como su resistencia a la corrosión y su poca necesidad de mantenimiento, haciéndola más independiente y sencilla para el operario.

El mantenimiento y la operación del equipo no fueron olvidados dentro del proceso de diseño; las condiciones en las cuales se trabaja en un laboratorio, el cual no posee mucha herramienta y a veces el tiempo para atender imprevistos, llevaron a un diseño de alta fiabilidad, pocos requerimientos de mantenimiento, y sencillo para operar.

* Tesis

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Isnardo Gonzalez J.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF MACHINE PIN ON DISK, FOR WEAR TEST*

AUTHORS:

César Damián Rey Merlo

German Jair Villar Hernández**

KEYWORDS:

Material wear, friction in machinery, QFD in mechanical design, Pin on Disk, ASTM.

DESCRIPTION:

Faced with the imminent need to improve understanding of the phenomena is the wear and friction materials, this project aims to meet the requirements of the School of Metallurgical Engineering and Materials Science to deepen the understanding and learning processes in their students as well as be able to provide a service outside the industry.

For the development of the project is the use of quality function deployment (QFD), to focus the design to meet the real needs of the School of Metallurgical Engineering, and considering the guidelines presented by the ASTM standard G99 Trials for the development rate of attrition "Pin on disk."

Additionally devote particular attention to the rigidity of the machine and its durability, considering issues such as resistance to corrosion and low maintenance requirements, making it more independent and simple for the operator.

Maintenance and the operation of the equipment were not forgotten within the designing process; The conditions which it is worked up in in a laboratory, that which does not have a lot of tool in and sometimes the time to take care of incidentals, they took a design of high reliability, few requests of maintenance, and small change to operate.

* Degree Work

** Physical-Mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Isnardo Gonzalez J.

INTRODUCCIÓN

El desgaste es un efecto inevitable en cualquier elemento que se halle en contacto deslizante con otro; desde elementos tan simples como los zapatos, hasta una prótesis de cadera de última generación que se le implanta a un paciente. Su presencia es tan común y en ciertos casos, necesario; que pasa desapercibida para muchos. No obstante, el desgaste y la fricción son sin lugar a dudas los dos eventos que más ocasionan pérdidas a toda la industria en el mundo, y lo continuará haciendo indefinidamente, mientras no se comprendan mejor gracias a estudios tribológicos, que ayuden a reducir su impacto negativo.

Es por esto que la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, enfocada en el estudio de los materiales, ha implementado un laboratorio de tribología y superficies, para facilitar a los estudiantes de la universidad, e incluso a la industria nacional; el estudio de temas importantes como la fricción, el desgaste y la lubricación.

Con el desarrollo de este proyecto se desea construir una máquina pin sobre disco para la Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Esta máquina será implementada en dicho laboratorio, cuyo fin será formar estudiantes competentes en este campo y prestar asesoría al sector industrial, particularmente en el área del desgaste por deslizamiento en biomateriales. Es importante destacar que un fenómeno tan importante como el desgaste, sus características, variaciones e influencia de los diversos materiales son

claves en la operación y mantenimiento de las máquinas industriales, y en el desempeño de elementos utilizados como implantes en bioingeniería.

Para el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo varios procesos; el primero fue un estudio teórico sobre los fenómenos que estudia la tribología, con el fin de conocer el interés particular de esta ciencia. Conociendo sus intereses generales el estudio se enfocó en conocer a profundidad la prueba que debía desarrollar la máquina y todos sus lineamientos.

Para poder decantar los requisitos esenciales y el camino por el cual se enfocaría el diseño, se realizó un estudio QFD, que permitió encontrar los pilares fundamentales del diseño e iniciar un diseño conceptual de la máquina.

En este punto se tenían las ideas generales del diseño pero era necesario escoger el camino a seguir y corroborar con herramientas de ingeniería los resultados de dicho diseño. Con el fin de darle la mayor fiabilidad a éste, se emplearon herramientas CAD y CAE que simplificaron partes del proceso de diseño, pero a la vez, dándole más precisión a los resultados.

Con el diseño completamente definido el siguiente paso era realizar un estudio de la fabricación. En él se tuvo en cuenta los procesos de fabricación a los cuales se debía someter cada pieza y la importancia que revestía dentro de la máquina.

Finalmente se concluyó con la búsqueda de los materiales necesarios para la construcción de la máquina, más las partes que debían ser importadas como eran el servomotor, su controlador y partes anexas.

Luego de finalizada la fabricación y montaje de la máquina, así como la compra de los elementos del servomotor, se procedió a realizar pruebas a la máquina, con el fin de verificar que la máquina cumplía con las especificaciones que se habían planteado desde un inicio.

Como es evidente, la máquina fue producto de un proceso cuidadoso de diseño y fabricación, siempre en búsqueda de satisfacer los requerimientos de un cliente; la razón de ser, de todos los procesos de diseño.

1. TRIBOLOGÍA Y DESGASTE

1.1. GRUPO DE TRIBOLOGÍA Y SUPERFICIES DE LA UIS

1.1.1. **Generalidades.** En el año 2005 fue fundado el laboratorio de Tribología y superficies de la UIS, bajo la dirección del profesor Ph.D, M.Sc Darío Yesid Peña B, y con la colaboración de los Ingenieros Metalúrgicos, Custodio Vásquez, Wilson Vesga y Hugo Estupiñán. Actualmente funciona en el salón 008 del edificio Jorge Bautista Vesga en la sede principal de la UIS, y dentro del Grupo de investigaciones en corrosión de la UIS en su sede en Guatiguará.

1.1.2. **Misión.** El grupo de Tribología y Superficies de la UIS tiene como propósito promover y estimular el avance del conocimiento y aplicación de la Tribología, en todas sus ramas; fricción, desgaste y lubricación, prestar servicios de asesoría, asistencia tecnológica y capacitación a la industria para impulsar la innovación, mejorar el desempeño de los productos, conservar los recursos y proteger el medio ambiente.

1.1.3. **Visión.** La visión del Grupo es la de consolidar convenios de asistencia tecnológica con empresas líderes en las diferentes áreas de competencia, tanto nacional como internacional, con el fin de ofrecer servicios especializados, suministrando soluciones que ayuden a reducir los costos de las diferentes áreas del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en los equipos tanto estacionarios como móviles.

1.1.4. Líneas de investigación.

- Erosión de Materiales
- Desgaste adhesivo y abrasivo
- Fricción de materiales
- Desgaste y corrosión de biomateriales
- Lubricación

1.2. TRIBOLOGÍA

La palabra “tribología” viene del griego *tribos* (frotamiento) y *logos* (estudio). Por tanto, significa “estudio de la fricción”

1.2.1. **Antecedentes e importancia de los estudios tribológicos.** La palabra “tribología” fue utilizada por primera vez el 9 de marzo de 1966, en un informe elaborado por la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de Gran Bretaña. En este informe se señalaba que los estudios tribológicos estaban relacionados con la física, la química, la metalurgia, la ciencia de materiales, la matemática y la informática; dejando ver el gran carácter multidisciplinario de esta ciencia¹. También, se mencionaba que el hacer un estudio tribológico sobre los materiales permite economizar recursos financieros y materias primas.

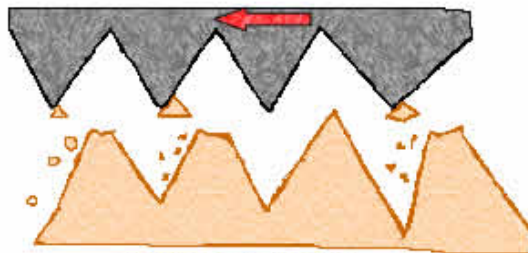
En la industria de la construcción de maquinarias se estima que entre el desgaste y la fatiga se produce el 95% de las causas de salida de servicio de los elementos de máquina, no considerando aquí, aquellos que estando desgastados continúan trabajando; siendo causales de pérdida de eficiencia

¹ MARTÍNEZ PÉREZ, Francisco. La tribología, ciencia y técnica para el mantenimiento. México: Limusa, 1997. p. 9 – 28.

en mecanismos y máquinas. Es importante tener presente que en toda industria hay elementos en movimiento (pares de fricción), donde la fricción y el desgaste están presentes.

1.2.2. **Fricción.** Cuando una superficie se coloca sobre otra, es necesario aplicar una fuerza horizontal finita para iniciar el deslizamiento; esta fuerza horizontal es la fricción estática entre las dos superficies; cuya magnitud depende, entre otras cosas, de la limpieza de la interfase, de modo que la fricción entre dos cuerpos es alta en el vacío. La fuerza necesaria para mantener el deslizamiento debe ser mayor que la fricción cinética entre las dos superficies. La resistencia al deslizamiento bajo tracción tangencial se explicó durante mucho tiempo mediante la hipótesis de la rugosidad, que sugiere que las crestas de una superficie descansan sobre los valles de la otra, y la resistencia al movimiento es el esfuerzo que deben realizar estas crestas para salir de los valles de contacto.

Figura 1. Fricción entre dos superficies.



La teoría actual de la fricción parte de la premisa básica de que el contacto ocurre en unos cuantos puntos aislados, debido a la naturaleza ondulatoria de las superficies. Las áreas de contacto forman uniones metálicas debido a la

deformación plástica o elástica, de manera que la resistencia friccional es la fuerza necesaria para destruir estas uniones.²

➤ **Interacción de las superficies.** El estudio de la fricción y el desgaste puede ser considerado como un nuevo capítulo en el estudio de la resistencia de los cuerpos sólidos, o más bien, de la ruptura de las capas superficiales de estos cuerpos.¹

Los estudios realizados en la última década han demostrado que en los procesos tribológicos es esencial considerar no sólo la interacción entre sólidos, sino también la de éstos con el medio ambiente, lo cual puede variar totalmente las propiedades de las superficies.

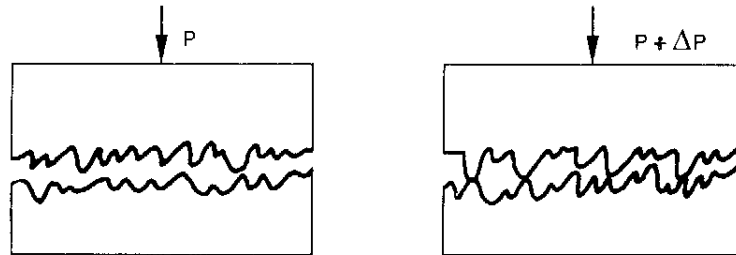
Los dos principales procesos que tienen lugar en la superficie de fricción (o sea, la formación de puntos de contactos que surgen de la penetración mutua de las asperezas, y la formación en estos contactos de “puentes soldados”) ocurren bajo grandes presiones locales. Estas presiones son suficientemente grandes aún cuando la carga total en el par deslizante sea pequeña, ya que el área total de los puntos de contacto es muy pequeña.

Como la rugosidad presenta diferentes niveles al elevarse la carga, las asperezas más sobresalientes van entrando en contacto sucesivamente.

El contacto sucesivo entre asperezas de superficies al elevarse la carga P (a) a $P + \Delta P$ (b), se muestra en la figura 2.

² SARKAR, A.D. Desgaste de metales. México: Limusa. 1990. p. 19 -48

Figura 2. Contacto entre asperezas de superficies al elevarse la carga.



Así el incremento en el área real de contacto tiene lugar principalmente, debido al aumento del número de puntos de contacto y no dependiendo de las dimensiones de estos puntos.

➤ **Área de contacto.** Considérese una superficie que descansa sobre otra (figura 3), ambas con protuberancias, como es el caso de las superficies ingenieriles.³ No puede existir un contacto en toda el área aparente de la interfase y los dos sólidos solo se ponen en contacto en aquellas asperezas que se aproximan en posición favorable. Entonces, las áreas de contacto a_1 , a_2 , etc. serán las que conformen el área real de contacto de manera que:

$$A_r = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n \quad \text{Ecuación 1}$$

La medición de la conductividad eléctrica de las superficies estacionarias muestra que el área real de contacto es una fracción del área aparente⁴. Por ejemplo, para superficies de acero, $A_r = (A/10000)$, donde A es el área aparente de contacto que es la superficie medida en la interfase. Un área de

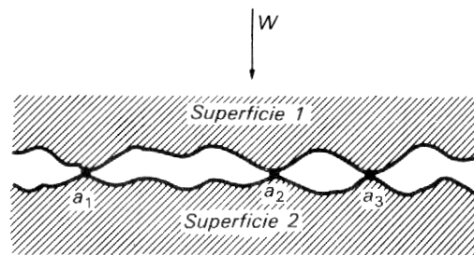
³ BOWDEN F P Y TABOR D. Proc Roy A, (1939), p. 169, 391.

⁴ STOLARSKI, T.A. Tribology in machine design. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2000.

contacto pequeña significa que la carga es soportada en unos cuantos puentes aislados.

Esto produce un esfuerzo normal intensificado en la interfase y se ha establecido que el material en $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ fluye plásticamente y forma fuertes uniones entre las superficies 1 y 2 (figura 3). Obviamente, la suma de las áreas interfaciales de todas las uniones es el área real de contacto y éstas deben romperse para que una superficie pueda deslizarse en relación con la otra.

Figura 3. Contacto producido en unas cuantas asperezas, a_1, a_2 y a_3 .



➤ **Fricción por adhesión.** Uno de los componentes más importantes de la fricción se origina en la formación y la ruptura de los puntos interfaciales adhesivos. Se han realizado estudios teóricos y experimentales para explicar la naturaleza de interacción adhesiva, especialmente en el caso de superficies metálicas limpias. El énfasis principal estaba en la estructura electrónica de los cuerpos en contacto friccional. Desde un punto de vista teórico, las fuerzas de atracción dentro de la zona de contacto incluye a todas esas fuerzas de atracción que contribuyen a la fuerza cohesiva de un sólido, como son las metálicas, covalentes e iónicas, fuerzas de rango pequeñas, así como fuerzas de adherencia secundarias de Van der Waals; la cuál es clasificada como

fuerzas de largo rango. Es justificable decir que la adhesión interfacial es tan natural como la cohesión que determina la fuerza de la masa de los materiales.⁴

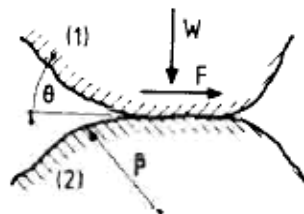
El componente de adhesión de la fricción está generalmente dado como: el cociente de la resistencia al corte interfacial de las uniones adhesivas o el límite elástico de las aspereza del material.

$$f_a = \frac{F_a}{W} \approx \frac{\tau_{12}}{P_y} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde f_a es la fuerza interfacial de adhesión y W la fuerza normal aplicada.

Para la mayoría de materiales de ingeniería esta proporción está por el orden de 0.2, lo quiere decir que el coeficiente de fricción puede ser del mismo orden de la magnitud. En caso de metales limpios, donde el crecimiento del empalme es más probable que se realice, el componente de fricción de adhesión puede aumentar cerca de 10%. La presencia de cualquier tipo de lubricante desestabiliza la formación del enlace adhesivo dramáticamente, y reduce la magnitud del componente de fricción de adhesión.

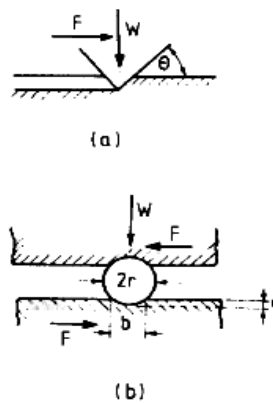
Figura 4. Fricción por adhesión.



➤ **Fricción por remoción.** La remoción ocurre cuando dos cuerpos en contacto tienen una dureza diferente⁴.

Las asperezas de la superficie más dura pueden penetrar en la superficie más suave lo que produce surcos si hay movimiento relativo. A causa de la remoción se requiere una cierta fuerza para mantener el movimiento. En ciertas circunstancias esta fuerza puede constituir una componente principal en un conjunto friccional observado. Hay dos motivos básicos de remoción conocidos, remoción de las asperezas de la superficie y remoción por desgaste de partículas duras presentes en la zona de contacto (figura 5). El caso de remoción cónica de asperezas duras se observa en la figura 5(a).

Figura 5. Fricción por remoción.



Las propiedades de los materiales como la dureza a la fractura, el módulo elástico y la dureza se usan para estimar el coeficiente de fricción, el cual está dado por:

$$f_p = \frac{F_p}{W} \approx C \frac{K_{IC}^2}{E(HW)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde K_{IC} es la dureza a la fractura, E es el módulo elástico y H la dureza.

La remoción por la presencia de partículas duras de desgaste en la zona de contacto ha recibido bastante atención por su importancia práctica. Se encontró que la fuerza friccional producida por la remoción es muy sensible a la proporción del radio de curvatura de la partícula y la profundidad de penetración de la misma. La fórmula para estimar el coeficiente de fricción en este caso tiene la siguiente forma:

$$f_p = \frac{2}{\pi} \left[\left(\frac{2r}{b} \right)^2 \sin^{-1} \frac{b}{2r} - \left\{ \left(\frac{2r}{b} \right) - 1 \right\}^{1/2} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

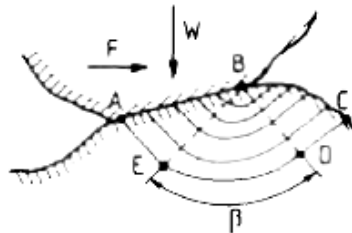
➤ **Fricción por deformación.** La energía mecánica es disipada a través de las deformaciones de cuerpos en contacto que se produce durante su deslizamiento. La técnica usual para analizar la deformación de una sola aspereza en la superficie es la teoría de campo de la línea de deslizamiento para un material rígido, perfectamente plástico.

El modelo de fricción por deformación de la línea de deslizamiento, mostrado en la figura 6, se basan en un análisis de esfuerzos de dos dimensiones de Prandtl. Tres regiones distintas del material plástico deformado pueden desarrollarse y, en la figura 6, se muestran como líneas de flujo ABE, BED y BDC. El esfuerzo al corte de flujo del material define el esfuerzo al corte máximo que se desarrolló en estas regiones. El coeficiente de fricción está dado por la expresión:

$$f_d = \frac{F}{W} \lambda \tan \left\{ \arcsin \left[\frac{\sqrt{2} (2 + \beta)}{4 (1 + \beta)} \right] \right\} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: $\lambda(E; H)$ es la porción plástica que soportó la carga, E es el módulo elástico y H es la dureza.

Figura 6. Fricción por deformación.



1.3. DESGASTE

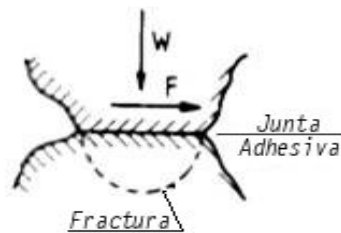
Siempre que hay movimiento relativo entre dos sólidos que soportan una carga existe una situación potencial de desgaste. En términos generales, se sabe que el movimiento puede ser unidireccional o de vaivén, ya sea deslizante o de rodamiento. Puede existir una combinación de estos dos últimos, o el desgaste puede deberse a un movimiento oscilatorio de pequeñas amplitudes. Un metal puede interactuar con un no metal, o con líquidos, como aceite lubricante o agua de mar. Los tipos de desgaste se clasifican de la siguiente manera, dependiendo de la naturaleza del movimiento o de los medios que intervienen en una interacción de metales bajo carga.²

1.3.1. Tipos de desgaste

➤ **Desgaste por adherencia.** En este caso, el movimiento relativo puede ser deslizamiento unidireccional o de vaivén, o bien la interacción ocurre bajo carga en un contacto oscilatorio de pequeña amplitud. Se sabe que los picos

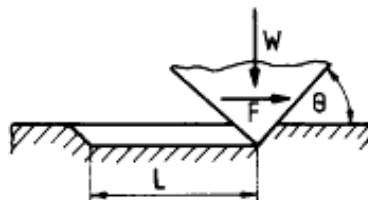
superficiales que coinciden fluyen plásticamente y forman fuertes uniones endurecidas por el trabajo. A medida que éstos se rompen bajo la tracción tangencial impuesta, los sólidos van perdiendo material (figura 7).

Figura 7. Desgaste por adherencia.



➤ **Desgaste por abrasión.** Las partículas abrasivas producidas por los residuos del desgaste o por partículas extrañas de arena y polvo circundante permanecen atrapadas en la superficie deslizante y eliminan material principalmente por formación de surcos (figura 8).

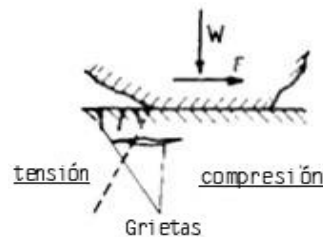
Figura 8. Desgaste por abrasión.



➤ **Otras formas de desgaste.** El desgaste por ludimiento aparece como resultado del movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración entre las partes. El desgaste por fatiga surge como resultado de las cargas cíclicas; por ejemplo, en los rodamientos con rodillos que produce pérdida de material al desbastarse las capas superficiales. Cuando las partículas duras inciden sobre los sólidos, se

produce desgaste por erosión, y cuando un componente rota en un medio fluido, habrá erosión por cavitación (figura 9).

Figura 9. Desgaste por fatiga



1.3.2. **Experimentos de fricción y desgaste.** Aunque se cuenta con datos sobre el desgaste obtenidos en pruebas llevadas a cabo en máquinas reales, los estudios de laboratorio se realizan en condiciones controladas que simulan los movimientos observados en las situaciones reales. Con frecuencia, en la misma máquina se obtienen resultados sobre fricción y desgaste.²

Existen varias máquinas para evaluar la fricción y el desgaste y a continuación se presentarán los principios de operación de algunas de ellas. El primer requisito es diseñar un par metálico que proporcione una interfase de frotamiento. Esto se puede hacer fijando un pin sobre una barra de carga, con la forma de una varilla o una esfera. La barra de carga se diseña para soportar la carga normal, pero se mide la deflexión debida al arrastre friccional entre el pin y las superficies opuestas; una calibración adecuada proporciona el valor de la fricción.

En las figuras 10 a 13, donde el pin corre sobre una mesa oscilante (figura 10) o sobre un buje (figura 11), se ilustran algunos principios representativos de

posibles diseños. La figura 12 muestra el pin en forma de un cilindro colocado a través de otro cilindro mayor. En la figura 13 aparece un pin cilíndrico o hemisférico que rota sobre un buje o un cilindro. La deflexión de la barra de carga se mide por medio de transductores o calibradores de deformación. Barra de carga a) con calibradores de deformación montados sobre la sección reducida b) La flexión de la barra debido a la fricción desequilibra un circuito puente.

Figura 10. Esquema de un aparato para medir la fricción con cargas ligeras.

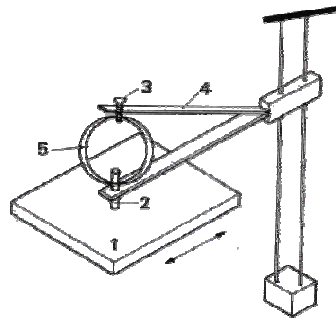
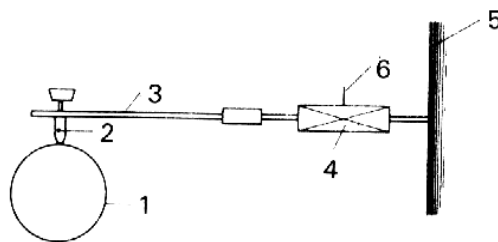
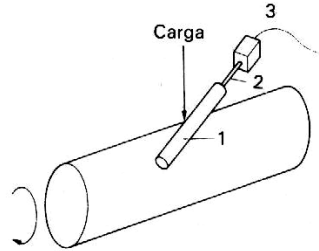


Figura 11. Máquina de pin y buje.



La configuración de cilindro cruzado que se muestra en la figura 12 también se usa para experimentos de desgaste. La huella de desgaste sobre el cilindro es elíptica y los ejes mayor y menor se miden con un microscopio.

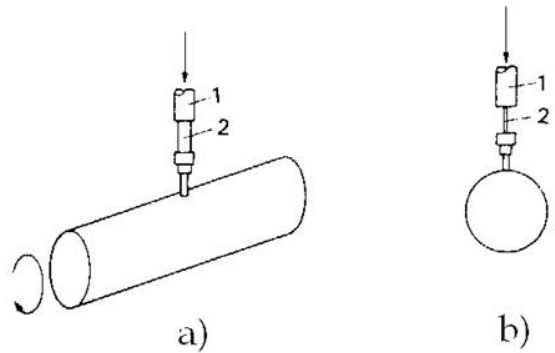
Figura 12. Cilindro cruzado.



La fricción y el desgaste también se miden en una máquina de cuatro bolas o por medio de pruebas con discos. El propósito principal de la primera es evaluar las propiedades antiadherentes de los aceites, pero también puede utilizarse como probador de desgaste. En un anillo se colocan tres bolas de acero de 12.5 mm de diámetro que están en contacto entre sí, y una cuarta bola se fija al extremo de una flecha vertical poniéndola en contacto con las otras tres bolas inferiores. Una palanca que soporta un peso ajustable comprime a las tres bolas estacionarias sobre la cuarta y el momento de torsión que se transmite se mide durante la rotación de la flecha vertical. El coeficiente de fricción se registra durante la prueba y se miden las huellas causadas por el desgaste sobre las tres bolas.

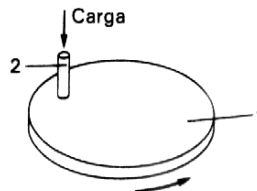
En la máquina de discos, se hace rotar un disco bajo carga contra otro, como normalmente se hace para simular estudios de diseño de engranajes. Un disco se encuentra sobre un balero rígido, mientras que el otro se sujeta en un dispositivo oscilante.

Figura 13. Barra de carga con calibradores de deformación montados sobre la sección reducida.



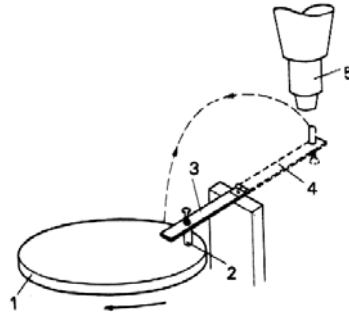
La máquina de pin - disco es un aparato muy usado para pruebas de desgaste (figura 14) en el que el pin se monta en forma normal. Las variables son la carga normal, la velocidad de deslizamiento, la atmósfera y la temperatura ambiente.

Figura 14. Máquina de pin y disco.



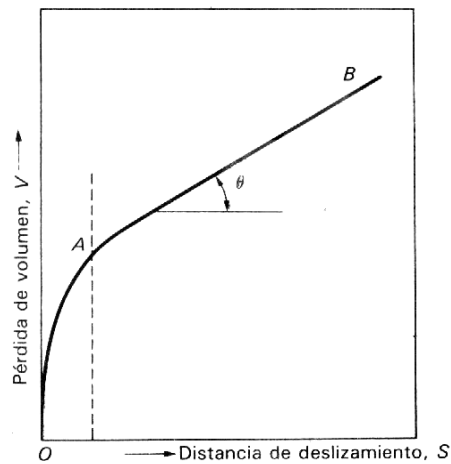
Es importante trabajar en condiciones de estricta limpieza química y el método requiere extremo cuidado. Un método alternativo es utilizar un pin cónico y montarlo sobre una barra de carga con bisagras. Se hace correr la espiga y, después de detener la máquina, la barra de carga se corre haciéndola oscilar 180° (figura 15) y se mide el diámetro de la huella de desgaste de manera que, sabiendo el ángulo del cono, se puede calcular la pérdida en volumen.

Figura 15. Barra de carga con bisagra.



La cantidad de desgaste puede establecerse pesando el pin en una microbalanza. Una prueba de desgaste completa requiere el registro de la pérdida de pesos en relación con los intervalos de deslizamiento para obtener el desgaste inicial durante el arranque y en el estado estacionario, como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Patrón de una curva de desgaste típica.



El patrón de una curva de desgaste típica OA es curvilíneo y es el desgaste inicial de acoplamiento (desgaste en el arranque inicial). AB es lineal y es el desgaste en estado estacionario. La razón de desgaste durante la pérdida de

volumen por unidad de distancia de deslizamiento se mide con la tangente de θ .

La configuración de cilindro cruzado que se muestra en la figura 12 también se usa para experimentos de desgaste. La huella de desgaste sobre el cilindro es elíptica y los ejes mayor y menor se miden con un microscopio.

2. DISEÑO DE LA MÁQUINA PIN ON DISK

Para el diseño y selección de las diferentes piezas que conforman la máquina, se realizó el estudio de alternativas por medio del despliegue de la función de calidad (QFD).

2.1. DESPLIEGUE DE LA FUNCION CALIDAD (QFD)

2.1.1. Requerimientos del consumidor.

A continuación se establecen las demandas básicas de los interesados en el desarrollo del producto:

- Precisa
- Baja vibración
- Durable
- Sencilla
- Fácil operación
- Segura
- Económica
- Resistente
- Fácil mantenimiento
- Resistente a la oxidación
- Buen aspecto
- Reproducible
- Esté dentro de los lineamientos de la norma G99-90 (Ver Anexo A)

2.1.2. **Organización de requerimientos.** Los requerimientos se ordenaron en subgrupos de acuerdo a sus relaciones:

- Construcción: Sencilla
 Económica
 Buen aspecto

- Operación: Precisa
 Baja vibración
 Fácil operación
 Segura
 Reproducible

- Prolongado servicio: Resistente
 Durable
 Resistente a la oxidación
 Fácil mantenimiento

Con la solución de la matriz se obtienen los requerimientos que se deben satisfacer para el diseño y la construcción de la máquina.

Cuadro 1. Matriz de calidad

		Tolerancias	Pocas piezas	Mecanizado	Materiales resistentes	Montaje	Piezas estándar	Ergonomía	Materiales económicos	Materiales de alta dureza	Recubrimiento	Pintura	Guardas de seguridad
Precisa	9	9	3	3	0	3	3	1	3	0	0	0	0
	81	27	27	0	27	27	9	27	0	0	0	0	0
Baja vibración	9	0	9	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0
	0	81	27	0	27	0	0	0	0	27	0	0	0
Durable	8	3	1	1	9	3	3	0	1	9	0	1	1
	24	8	8	72	24	24	0	8	72	0	8	8	8
Sencilla	8	9	9	3	3	0	9	0	0	0	0	0	1
	72	72	24	24	0	72	0	0	0	0	0	0	8
Fácil operación	7	0	1	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
	0	7	0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0
Segura	6	0	0	0	3	0	0	9	0	0	0	0	9
	0	0	0	18	0	0	54	0	0	0	0	0	54
Económica	5	3	9	3	3	1	9	3	9	3	3	0	0
	15	45	15	15	5	45	15	45	15	15	15	0	0
Resistente	5	0	0	0	9	0	0	0	3	3	3	1	0
	0	0	0	45	0	0	0	15	15	15	5	0	0
Fácil mantenimiento	4	0	3	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
	0	12	0	0	0	12	12	0	0	0	0	0	0
Resistente a la oxidación	3	3	0	0	3	0	0	0	3	1	3	3	0
	9	0	0	9	0	0	0	9	3	9	9	0	0
Buen aspecto	3	0	0	3	0	0	0	1	1	0	3	9	3
	0	0	9	0	0	0	3	3	0	9	27	9	9
TOTAL		201	252	110	183	83	180	156	107	105	75	49	79

2.1.3. **Planteamiento de alternativas.** A continuación se plantearán las posibilidades de solución para tres aspectos importantes para el proyecto como lo son: el tipo de máquina a construir, vertical u horizontal; el sistema de desplazamiento para variar el punto de aplicación de la carga; y la forma de aplicar la carga a la probeta. Posteriormente se realizará la selección de la solución teniendo como base los requerimientos obtenidos del QFD.

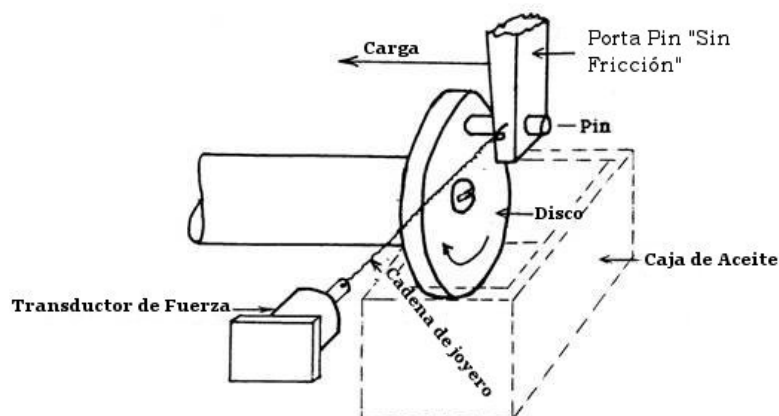
➤ **Tipo de máquina a construir**

❖ **Opción 1: Máquina vertical**

Este tipo de máquina presenta un plano de desgaste vertical, por ello el motor es montado de forma horizontal (figura 17). Como la probeta posee una disposición horizontal, la carga aplicada a ella debe ser aplicada también horizontalmente, por lo cual debe descartarse el uso de masas directas como método de carga, para implementar otro método como el neumático o masas con palancas.

Figura 17. Máquina con plano de desgaste vertical

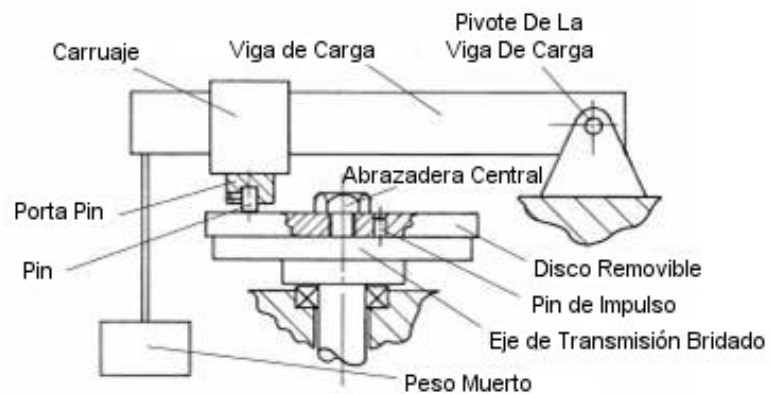
Diagrama Esquemático De Un Tribómetro De Pin Sobre Disco



❖ Opción 2: Máquina horizontal

La disposición horizontal permite un plano de desgaste horizontal, y un sistema de desplazamiento en el cual no esté interviniendo el peso propio de la estructura, por esto es posible un desplazamiento bastante preciso (figura 18).

Figura 18. Máquina con plano de desgaste horizontal.



➤ Sistema de desplazamiento

❖ Opción 1: Cremallera

La cremallera consigue un movimiento similar al del tornillo sin fin pero con un poco menos de precisión, además involucra algo más de costo en su fabricación.

❖ Opción 2: Tornillo

El desplazamiento con tornillo permite una buena precisión para conseguir puntos exactos para ubicar el pin, esto gracias a que un desplazamiento

angular considerable produce solo un poco de desplazamiento axial, claro está, según se haya previsto la geometría del tornillo.

➤ **Sistema de carga**

❖ **Opción 1: Carga con sistema neumático**

Al aplicar el sistema de carga neumático, es posible obtener un amplio rango de cargas, las cuales están condicionadas a las posibilidades de una válvula de control de presión, la cual es la encargada de mantener la carga constante. Este sistema implica un mayor número de componentes y una inversión mayor para la instalación del equipo neumático. A diferencia del sistema de masas, es posible su uso en máquinas de disposición vertical.

❖ **Opción 2: Carga con masas**

Este sistema de carga consiste en ubicar masas en una guía vertical colineal con la probeta, las cuales se deben asegurar para evitar su desplazamiento. Debido a que son masas no se pueden modificar las cargas tan fácilmente, ya que están condicionadas a las posibilidades del juego de masas que se disponga.

2.1.4. **Evaluación de las opciones de diseño.** Para tomar la decisión final se aplica una ponderación para evaluar el comportamiento de cada una de las alternativas y se llega a la conclusión, como se ve, que las alternativas 2 son las que alcanzan mayor puntaje, por lo tanto cumplen de manera global con los requerimientos de diseño.

Los criterios de evaluación son una poca cantidad de piezas que reduzcan su complejidad y costo, piezas estándar de fácil obtención, pocas tolerancias entre piezas y una buena ergonomía que permita un adecuado manejo.

Cuadro 2. Evaluación de las opciones de diseño.

			Tipo de máquina				Sistema de desplazamiento				
			Opción 1		Opción 2		Opción 1		Opción 2		
Criterios de evaluación	Parámetros	Pond	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	
Pocas piezas	0.43	Baja vibración	0.176	4	0.704	4	0.704	4	0.704	4	0.704
		Sencillo	0.155	4	0.62	5	0.775	4	0.62	4	0.62
		Económico	0.099	4	0.396	4	0.396	3	0.297	4	0.396
Piezas estándar	0.07	Fácil mantenimiento	0.07	4	0.0924	5	0.1155	4	0.0924	5	0.1155
Tolerancias		Precisa	0.177	4	0.708	5	0.885	2	0.354	4	0.708
		0.23	Durable	0.053	4	0.212	4	0.212	4	0.212	4
Ergonomía	0.27	Fácil operación	0.135	3	0.405	4	0.54	4	0.54	5	0.675
		Segura	0.116	4	0.464	4	0.464	4	0.464	4	0.464
		Buen aspecto	0.019	4	0.076	4	0.076	5	0.095	5	0.095
TOTAL			3.6774		4.1675		3.3784		3.9895		

				Sistema de carga			
				Opción 1		Opción 2	
Criterios de evaluación	Parámetros	Pond	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	
Pocas piezas	0.43	Baja vibración	0.176	4	0.704	3	0.528
		Sencillo	0.155	2	0.31	4	0.62
		Económico	0.099	2	0.198	5	0.495
Piezas estándar	0.07	Fácil mantenimiento	0.07	3	0.069	5	0.1155
Tolerancias		Precisa	0.177	4	0.708	4	0.708
		0.23	Durable	0.053	4	0.212	5
Ergonomía	0.27	Fácil operación	0.135	4	0.54	4	0.54
		Segura	0.116	4	0.464	5	0.58
		Buen aspecto	0.019	4	0.076	4	0.076
TOTAL				3.281		3.9275	

Notas	1	Deficiente
	5	Optimo

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

Para facilitar el análisis y diseño de la máquina, ésta se dividió en sistemas de acuerdo a las necesidades que se debían suplir. La máquina debe cumplir con las siguientes necesidades para el diseño:

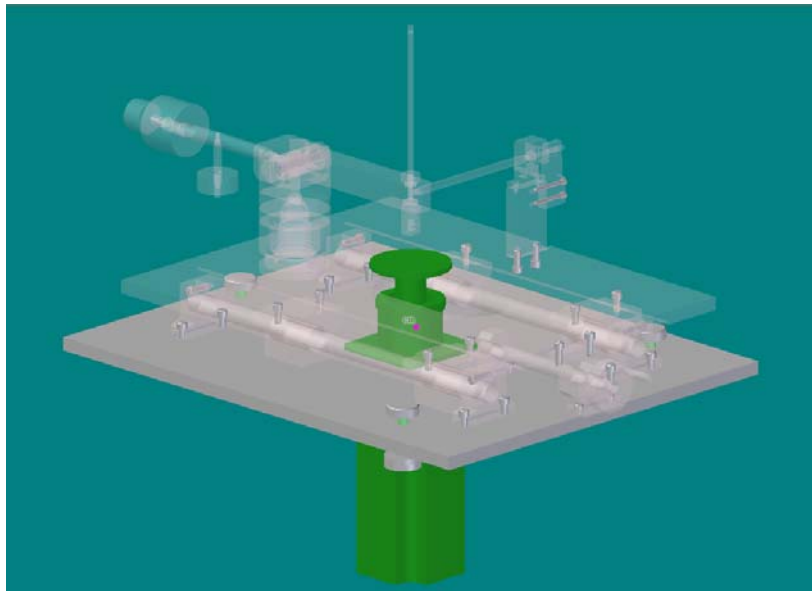
- Un sistema motriz de disposición vertical, que tenga una alta fiabilidad
- Un sistema de desplazamiento que le permita modificar el punto de aplicación de la carga sobre el disco
- Un sistema de carga que permita que la única fuerza que actúe sobre el disco sea la de la carga.
- Un sistema que le permita medir la fuerza de fricción que se presenta entre los materiales durante la prueba

2.2.1. **Sistema motriz.** El sistema motriz suministra el movimiento rotacional de la máquina y permita tanto la salida de movimiento como su configuración (figura 19). Para el diseño de la máquina se seleccionó un servomotor sin escobillas con su propio controlador y programado por PC. Por la disposición de la prueba es necesario que el motor sea de montaje vertical, además, el eje del mismo estará cargado axialmente.

2.2.2. **Sistema de desplazamiento.** Las pruebas de desgaste de materiales requieren de un variado rango de velocidades, una de las opciones para poder obtener dicho rango es variar la posición del pin respecto al disco

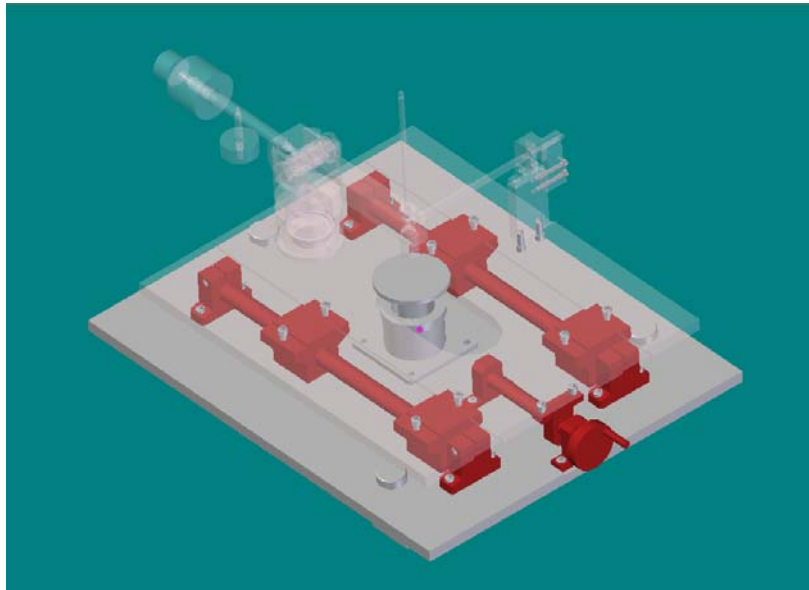
(figura 20). Para lograr esto la máquina posee dos niveles; en un primer nivel se halla anclado el motor, en el segundo nivel está el brazo portaprobetas y la celda de carga, que se encarga de medir la fuerza de fricción. Para conseguir que el desplazamiento sea alineado, la placa superior posee dos canales que sirven de guía para él, de manera que los cuatro apoyos que la conectan con las guías de desplazamiento se mueven siguiendo esta trayectoria.

Figura 19. Sistema motriz de la máquina.



2.2.3. **Sistema de carga.** La carga que actúa sobre el disco debe ser exclusivamente la carga dispuesta para la prueba, por ello, se trabaja con un brazo articulado en cuyo extremo opuesto al de la probeta posee unos contrapesos que equilibran el peso del brazo (figura 21). La carga para la prueba se aplica sobre un vástago vertical que se halla alineado con el pin-probeta.

Figura 20. Sistema de desplazamiento de la máquina.



2.2.4. Sistema de medición de fricción

Para medir la fuerza de fricción se emplea una celda de carga, a la cual se le transmite la fuerza de fricción por medio de una barra, que a su vez transmite la fuerza de fricción que se imprime al pin y que trata de hacer rotar el brazo (figura 22).

Figura 21. Sistema de carga de la máquina.

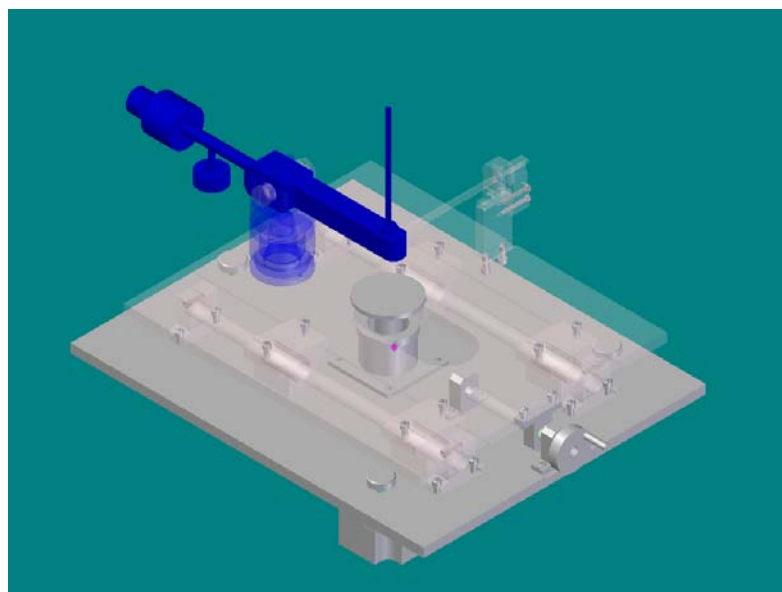
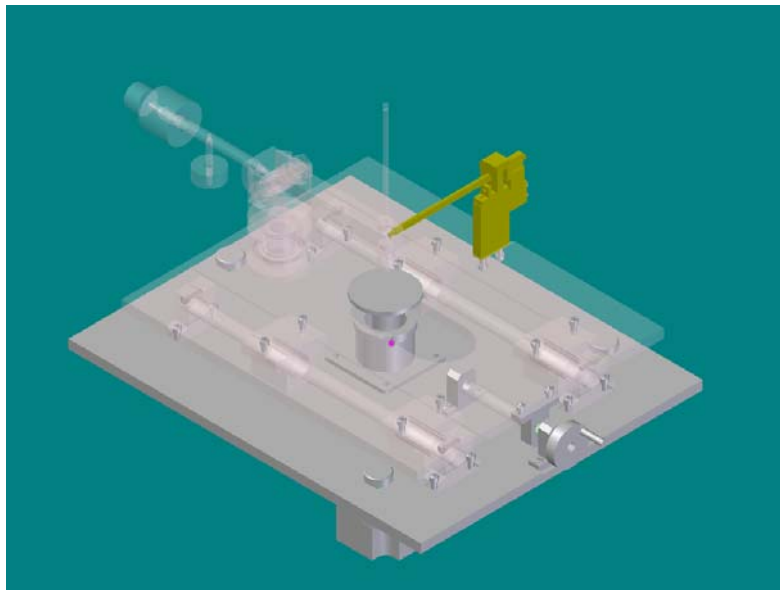


Figura 22. Sistema de medición de fricción de la máquina.



2.3. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

2.3.1. Consideraciones Generales

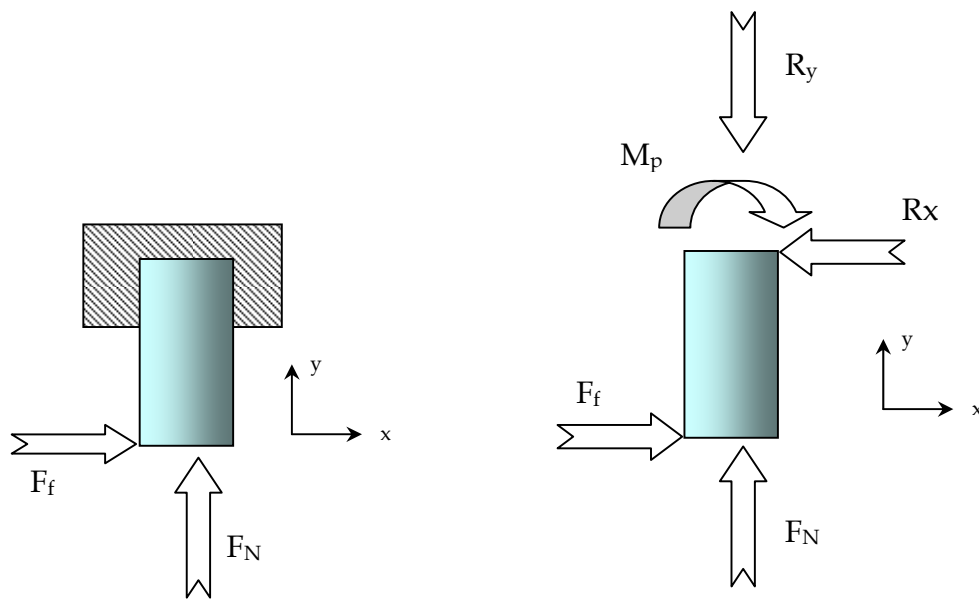
- Los ensayos de desgaste requieren de una única carga, esta carga es axial y se debe aplicar sobre el pin para crear una fuerza normal de contacto; producto de esta carga se generan las demás.
- La rotación del disco agrega el componente necesario para que haya desgaste entre las piezas, dicho movimiento está marcado por un momento resistivo producto de la fricción entre las superficies.
- La máxima carga que se aplica es de 5kg, es decir, 49.05N. Partiendo de esta carga se analizan todas las demás.
- Para realizar un cálculo de cargas conservativo se tomará un coeficiente de fricción de 1.

2.3.2. **Pin.** El comportamiento del pin, es similar al de una viga empotrada de sección circular, la cual está sometida a esfuerzos de flexión, corte y deformaciones, como se puede apreciar en la figura 23. Como condición inicial se tiene que la longitud libre (l_p) es de 10 mm entre la superficie de contacto y el apoyo del pin.

➤ **Cargas generales**

Como cualquier elemento que se comporta como una viga, su punto crítico es el apoyo, por ser el lugar donde el momento flector es mayor.

Figura 23. Cargas sobre el pin y diagrama de cuerpo libre.



➤ **Cálculo de fuerzas**

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N = R_y = 49.05 \text{ N}$$

$$R_y = 49.05 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_f = R_x = \mu \times F_N = 1 \times 49.05 \text{ N}$$

$$R_x = 49.05 \text{ N}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$M_p = F_f \times l_p = 49.05 \times 0,010$$

$$M_p = 0,4905 \text{ N} \cdot \text{m}$$

➤ Cálculo de esfuerzos

❖ **Compresión.** Intuitivamente se puede concluir que siendo el pin tan corto, se comportará como en elemento a compresión y no como una columna, sin embargo, se verificará para mayor seguridad empleando una aleación de magnesio ASTM-AZ91 de baja resistencia mecánica y rigidez. El diámetro del pin se tomará de 6mm, por ser un valor próximo a 1/4" el cual es altamente comercial, para así facilitar la obtención de las probetas.

$$\frac{L_{eq}}{r_g} \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{S_y}}$$

Ecuación 6

$$r_{gp} = \frac{D_p}{4} = \frac{0.006}{4} = 0.0015 \text{ m}$$

Para una sección circular.

$$\frac{0.020}{0.0015} \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 44,82 \times 10^9}{158,58 \times 10^6}}$$

$$13,33 \leq 74,7$$

La desigualdad no se cumple

Así se demuestra que el pin es un elemento corto a compresión, y por ser su carga tan baja, se optará por no tener en cuenta el efecto de columna.

❖ Flexión-Compresión

$$\sigma_{fp} = \frac{32 \times M}{\pi \times D_p^3} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\sigma_{ap} = \frac{P}{\pi \times D_p^2 / 4} \quad \text{Ecuación 8}$$

En donde, σ_f = Esfuerzo flector

M = Momento flector

D_p = Diámetro del pin

σ_{ap} = Esfuerzo de normal por compresión en el pin

P = Carga axial = F_N

Ahora se tiene que $\sigma_T = \frac{S_y}{N}$; en donde S_y = esfuerzo de fluencia y N = factor de seguridad.

Tomando un $S_y = 158,579$ MPa (ASTM AZ91)

$$\sigma_{Tp} = \sigma_{fp} + \sigma_{ap}$$

$$\sigma_{Tp} = \frac{32 \times M}{\pi \times D^3} + \frac{P}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

$$\sigma_{Tp} = \frac{32 \times 0,4905}{\pi \times 0,006^3} + \frac{49,05}{\frac{\pi \cdot 0,006^2}{4}}$$

$$\sigma_{Tp} = 23130518,4 + 1734788,88 = 24865305,28 \text{ Pa}$$

$$N = \frac{Sy}{\sigma_T}$$

$$N = \frac{158579000}{24865305,28} = 6,38$$

❖ Corte

$$\tau_p = \frac{v}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

Ecuación 9

En donde, τ_p = Esfuerzo Cortante

v = Fuerza de corte

D = Diámetro de la viga

$$\tau_p = \frac{49,05}{\frac{\pi}{4} \times 0,006^2}$$

$$\tau_p = 1734788,88 \text{ Pa}$$

Ahora se tiene que $\tau_p = \frac{S_{ys}}{N}$; en donde S_{ys} = esfuerzo de fluencia cortante

($S_{ys} = 0,4 \times S_y$) y N = factor de seguridad

Tomando un $S_y = 158,579$ MPa (ASTM AZ91)

$$N = \frac{S_{ys}}{\tau_p}$$

$$N = \frac{158579000 \times 0,4}{1734788,88} = 36,56$$

❖ Carga combinada

Para analizar el pin considerando al mismo tiempo tanto los esfuerzos cortantes como los esfuerzos normales, se analizará el pin bajo carga combinada. Debido a que el pin solo tiene cargas uniaxiales, σ_y es igual a cero.

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

Ecuación 10

$$\sigma_{1,2} = \frac{24865305,28}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{24865305,28}{2}\right)^2 + 1734788,88_{xy}^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 12432652,64 \pm 12553100,98 \text{ Pa}$$

$$\sigma_1 = 24985753,62 \text{ Pa}$$

$$\sigma_2 = -120448,34 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\tau_{\max} = \frac{24985753,62 - 120448,34}{2}$$

$$\tau_{\max} = 12432652,64 \text{ Pa}$$

Empleando la ecuación de Von Mises se puede el esfuerzo equivalente:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\sigma_e = \sqrt{24985753,62^2 + 120448,34^2 + 24985753,62 \cdot 120448,34}$$

$$\sigma_e = 25046195 \text{ Pa}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$N = \frac{158579000}{25046195} = 6,33$$

➤ Cálculo de deformaciones

El comportamiento del pin es similar al de una viga empotrada por tanto la deformación y el ángulo de rotación son los siguientes:

$$\delta_p = \frac{P \times l_p^3}{3 \times E \times I_p} \quad \text{Ecuación 13}$$

En donde,

$$I_p = \frac{\pi \times D_p^4}{64} = \frac{\pi \times (6 \times 10^{-3} m)^4}{64} = 6,362 \times 10^{-11} m^4 ,$$

y $E = 44,816 \text{ GPa}$

$$\delta_p = \frac{49,05 N \times (0,010 m)^3}{3 \times 44,816 GPa \times 6,362 \times 10^{-11} m^4} = 5,73 \times 10^{-6} m$$

Y el ángulo de rotación es

$$\theta_p = \frac{P \times l_p^2}{2 \times E \times I_p}$$

Ecuación 14

Remplazando

$$\theta_b = \frac{49,05 N \times (0,010 m)^2}{2 \times 44,816 GPa \times 6,362 \times 10^{-11} m^4} = 0,8601 \times 10^{-5} \text{ rad} = 0,0492^\circ$$

2.3.3. **Brazo.** El comportamiento del brazo, es similar al de una viga pivotada, la cual sufre esfuerzos de flexión, corte y deformaciones, como se puede apreciar en el montaje (figura 24). Por no ser cargas tan altas, la carga de compresión que ejercen los pesos aplicados para la prueba de desestimarán (figura 25).

Figura 24. Cargas sobre el brazo.

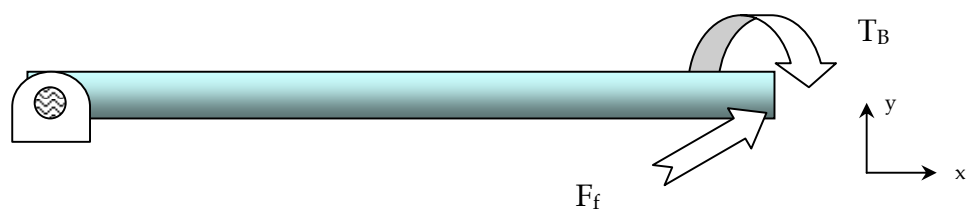
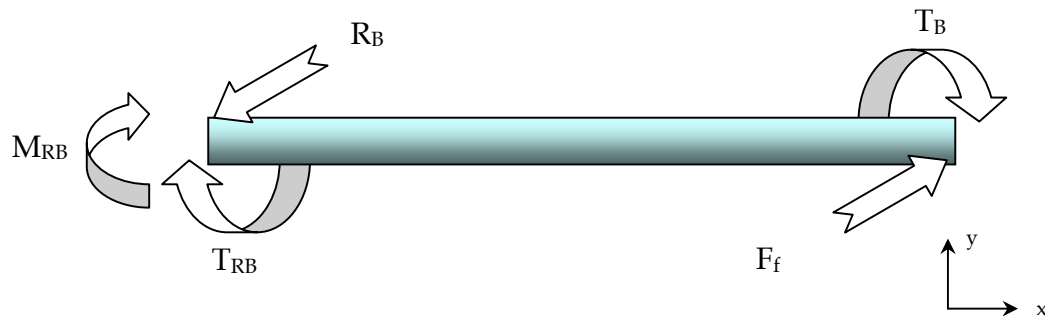


Figura 25. Diagrama de cuerpo libre



➤ Cálculo de fuerzas

$$\sum F_z = 0$$

$$F_f = R_B = \mu \times F_N = 1 \times 49.05 \text{ N}$$

$$R_B = 49.05 \text{ N}$$

$$\sum M_y = 0$$

$$M_{RB} = F_f \times l_b = 49.05 \text{ N} \times 0.086 \text{ m}$$

$$M_{RB} = 4.2183 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sum M_x = 0$$

$$T_{RB} = F_f \times l_T = 49.05 \text{ N} \times 0.056 \text{ m}$$

$$T_{RB} = 2.7468 \text{ N} \cdot \text{m}$$

➤ **Cálculo de esfuerzos**

❖ **Flexión**

$$\sigma_b = \frac{M \times C}{I} \quad \text{Ecuación 15}$$

En donde, σ_b = Esfuerzo flector

M = Momento flector

C = Centroide

I = Momento de inercia

Ahora se tiene que $\sigma_b = \frac{S_y}{N}$; en donde S_y = esfuerzo de fluencia para AISI

304L y N = factor de seguridad es igual a 3; $C = \frac{h}{2}$ y $I = \frac{1}{12}bh^3$, asumiendo que la barra es de perfil rectangular.

Reemplazando,

$$\frac{S_y}{N} = \frac{M \times \frac{h}{2}}{\frac{1}{12} \times b \times h^3}$$

Haciendo $b=h$ para un perfil cuadrado y despejando h se obtiene:

$$h_f = \sqrt{\frac{6 \times M \times N}{S_y}}$$

Tomando un $S_y = 210$ MPa (SAE AISI 304L)

$$h_f = \sqrt{\frac{6 \times 4,2183 \text{ Nm} \times 3}{210 \text{ MPa}}}$$

Luego la altura mínima por flexión será $h = 8,85 \text{ mm}$

❖ **Corte**

$$\tau_b = \frac{v_b}{A_b} \quad \text{Ecuación 16}$$

En donde, $\tau_p = \text{Esfuerzo Cortante}$

$v_b = \text{Fuerza de corte}$

$A_b = \text{Área de la sección transversal}$

Ahora se tiene que $\tau_b = \frac{S_{ys}}{N}$; en donde S_{ys} es el esfuerzo de fluencia cortante

($S_{ys} = 0,4 \times S_y$) y $N = \text{factor de seguridad}$; $A = b \times h$ asumiendo un perfil rectangular.

Reemplazando,

$$\frac{S_{ys}}{N} = \frac{v}{b \times h}$$

Haciendo $b=h$ para un perfil cuadrado y despejando h se obtiene:

$$h_v = \sqrt{\frac{v \times N}{0,4 \times S_y}}$$

Tomando un $S_y = 210 \text{ MPa}$ (SAE AISI 304L)

$$h_v = \sqrt{\frac{49,05 \text{ N} \times 3}{0,4 \times 210 \text{ MPa}}}$$

Resolviendo la altura mínima será $h = 1,06 \text{ mm}$

Para proporcionar las piezas de la máquina el brazo se elaborará con una sección de 25x25mm de manera que no sea ni muy delgado, ni muy robusto, y a partir de esta dimensión se realizará el análisis de carga combinada y deformaciones.

❖ Carga combinada

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_{fb} = \frac{M \times \frac{h_b}{2}}{\frac{1}{12} \times b \times h_b^3}$$

$$\sigma_{fb} = \frac{M \times \frac{h_b}{2}}{\frac{1}{12} \times h_b^4}$$

$$\sigma_{fb} = \frac{4,2183 \times \frac{0,025}{2}}{\frac{1}{12} \times 0,025^4}$$

$$\sigma_{fb} = 1619827,2 \text{ Pa}$$

Esfuerzo por torsión

$$\tau_{Tb} = \frac{T_b}{\alpha \times b \times c^2}$$

Ecuación 17

Donde T_b = Momento torsor en el brazo
 α = Factor en función de la relación de lados b/c^5
 b = Lado mayor
 c = Lado menor

$$\tau_{Tb} = \frac{2,7468}{0,208 \times 0,025 \times 0,025^2}$$

$$\tau_{Tb} = 845168,23 \text{ Pa}$$

Esfuerzo por cortante directo

$$\tau_{vp} = \frac{v}{A} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\tau_{vp} = \frac{v}{b \times c}$$

$$\tau_{vp} = \frac{49,05}{0,025 \times 0,025}$$

$$\tau_{vp} = 78480 \text{ Pa}$$

Esfuerzos por carga combinada

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{1619827,2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1619827,2}{2}\right)^2 + 923648,23^2}$$

⁵ SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería mecánica. México: Ed. Mc Graw Hill. 6° Edición. 2002. p.125.

$$\sigma_{1,2} = 809913,6 \pm 1228448,65 \text{ Pa}$$

$$\sigma_1 = 2038362,25 \text{ Pa}$$

$$\sigma_2 = -418535,05 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

Ecuación 11

$$\tau_{\max} = \frac{2038362,25 - (-418535,05)}{2}$$

$$\tau_{\max} = 809913,6 \text{ Pa}$$

Empleando la ecuación de Von Mises se puede el esfuerzo equivalente:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

Ecuación 12

$$\sigma_e = \sqrt{24985753,62^2 + 120448,34^2 + 24985753,62 \cdot 120448,34}$$

$$\sigma_e = 25046195 \text{ Pa}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$N = \frac{210000000}{2276668,24} = 92,24$$

Como era previsible los factores de seguridad en esta pieza son bastante elevados, no obstante, las medidas de la pieza son adecuadas para poder alojar el portaprobetas y contribuir con su rigidez.

➤ **Cálculo de deformaciones**

El comportamiento del brazo es similar al de una viga empotrada por tanto la deformación y el ángulo de rotación son los siguientes:

$$\delta_b = \frac{P \times l_b^3}{3 \times E \times I_b} \quad \text{Ecuación 18}$$

En donde,

$$I_b = \frac{1}{12} h_b^4 = \frac{1}{12} \times 0.025^4 = 3.255 \times 10^{-8} m^4$$

$$E = 207 \text{ GPa}$$

Resolviendo,

$$\delta_b = \frac{49,05N \times (0,15m)^3}{3 \times 207GPa \times 3,255 \times 10^{-8} m^4} = 1.6697 \times 10^{-7} m$$

Y el ángulo de rotación es

$$\theta_b = \frac{P \times l_b^2}{2 \times E \times I_b} \quad \text{Ecuación 19}$$

Remplazando

$$\theta_b = \frac{49.05N \times (0,15m)^2}{2 \times 207GPa \times 3,255 \times 10^{-8}m^4} = 1.6852 \times 10^{-6} rad = 9.655 \times 10^{-5}^\circ$$

La deformación que sufre el brazo bajo estas cargas es muy pequeña, lo cual es ideal bajo las consideraciones de diseño tomadas.

2.3.4. Tornillo de desplazamiento. El tornillo de desplazamiento se encarga de arrastrar la mesa superior sobre las barras guía para así poder modificar el punto de aplicación de la carga sobre el disco (figura 26). Considerando ésto, el tornillo actúa bajo dos cargas, una carga torsional para hacerlo girar, y una carga axial de compresión ó tensión producto de la fricción resultante del deslizamiento (figura 27).

Para el análisis de esfuerzos por carga combinada se considerará como situación crítica la carga a compresión del tornillo junto con el torque de trabajo, además, el coeficiente de fricción en las guías se asumirá igual a uno.

Figura 26. Cargas sobre el tornillo

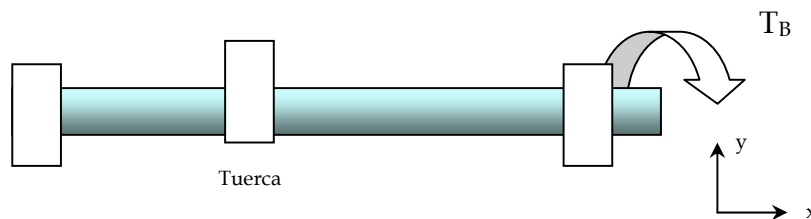
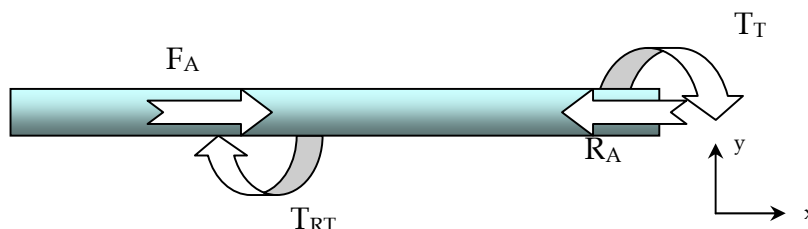


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre del tornillo



➤ **Cálculo de fuerzas**

❖ **Fuerza axial**

El tornillo está sometido a una carga axial producida por la resistencia de la mesa superior a deslizarse; dicha resistencia es producto de la masa a desplazar, y del coeficiente de fricción entre los bujes de bronce y las barras guía sobre las cuales se deslizan.

Para realizar un cálculo conservativo se asumirá que el coeficiente de fricción entre los bujes y las barras es de uno. La masa a ser desplazada se obtuvo con la herramienta de propiedades físicas de Solid Edge y es igual a 25,3kg o 248,19N.

❖ **Torque de arrastre**

Ecuación 20

$$T_T = \frac{D_m \times W}{2} \times \left[\frac{f_s + \text{Cos } \theta_n \times \text{Tan } \alpha}{\text{Cos } \theta_n - f_s \times \text{Tan } \alpha} \right]$$

Donde: Dm = Diámetro medio del tornillo

W = Peso de la mesa superior a ser deslizado

fs = Coeficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo

θ = Ángulo de la rosca

α = Ángulo de la hélice de la rosca

El tornillo se tomará de 5/8" en acero inoxidable y rosca UNC, y la tuerca también será de acero inoxidable, con esta información se obtendrán los datos.⁶

Como $\alpha = 2,93^\circ$ que es bastante pequeño, entonces $\text{Cos } \alpha \approx 1$, y es posible asumir $\text{Cos } \theta_n = \text{Cos } \theta$.

$$T = \frac{0,0144585 \times 248,19}{2} \times \left[\frac{0,2 + \text{Cos } 30 \times \text{Tan } 2,927^\circ}{\text{Cos } 30 - 0,2 \times \text{Tan } 2,927^\circ} \right]$$

$$T = 0,5121 N \cdot m$$

➤ Cálculo de esfuerzos

❖ Esfuerzo por compresión

Primero se evaluará si el tornillo puede sufrir falla por pandeo.

$$D_{ext} = 0,015875 m$$

$$D_r = 0,013042 m$$

$$A_r = \frac{\pi \times D_r^2}{4} = \frac{\pi \times 0,013042^2}{4} = 1,336 \times 10^{-4} m^2$$

Siendo:

$$S_y = 210 \times 10^6 Pa$$

$$E = 193 \times 10^9 Pa$$

⁶ DEUTSCHMAN, Aaron. Diseño de máquinas. México: Ed. Continental. 1994. p.830.

$$L_{eqT} = 0,65 \cdot L = 0,65 \cdot 0,115 = 0,07475 \text{ m}$$

$$r_{gT} = \frac{D_r}{4} = \frac{0,013042}{4} = 0,0032605 \text{ m}$$

Entonces:

$$\frac{L_{eqT}}{r_{gT}} \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\frac{0,07475}{0,0032605} \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 193 \times 10^9}{210 \times 10^6}}$$

$$22,93 \leq 134,7$$

El tornillo se comporta como una columna intermedia entonces se empleará la ecuación de Johnson para evaluar su carga:

$$\sigma_{Col} = \frac{F_A}{A_r} \times \left[\frac{1}{1 - \frac{S_y \times Re^2}{4 \times \pi \times E}} \right] \quad \text{Ecuación 21}$$

$$\sigma_{Col} = \frac{248,193}{1,336 \times 10^{-4}} \times \left[\frac{1}{1 - \frac{210 \times 10^6 \times 22,93^2}{4 \times \pi \times 193 \times 10^9}} \right]$$

$$\sigma_{Col} = 1885171,37 \text{ Pa}$$

❖ Esfuerzo cortante

$$\tau_T = \frac{16 \times T}{\pi \times D_r^3} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\tau_T = \frac{16 \times 0,5031}{\pi \times 0,013042^3}$$

$$\tau_T = 1175793,92 \text{ Pa}$$

Como el tornillo está sometido a dos tipos de esfuerzos, se empleará el esfuerzo equivalente de Von Mises para analizar su resistencia.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{col}^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

Ecuación 23

$$\sigma_{eq} = \sqrt{1885171,37^2 + 3 \cdot 1175793,92^2}$$

$$\sigma_{eq} = 2775129,75 \text{ Pa}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

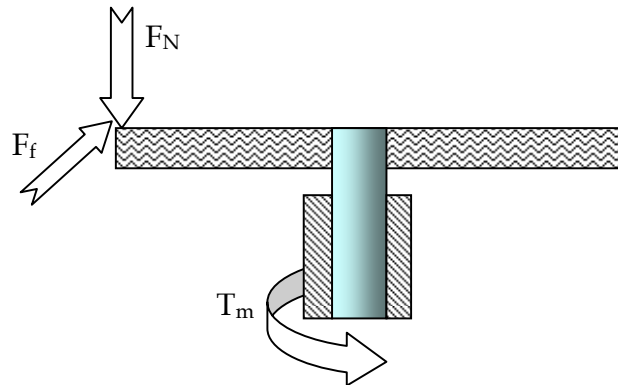
$$N = \frac{210 \times 10^6}{2775129,75}$$

$$N = 75,67$$

2.3.5. Soporte para el disco. El soporte para el disco se ve sometido a la carga aplicada durante la prueba, con un brazo igual al radio al cual se efectúa la misma (figura 28). Esta combinación genera un momento flector en el eje, que al combinarse con el movimiento rotacional de la pieza produce esfuerzos alternativos propicios para la fatiga de la pieza. Como consecuencia es necesario calcular la pieza teniendo en cuenta estas condiciones.

Para efectos de cálculo se tomarán la máxima carga permitida de 49.05 N y el máximo radio posible que es de 70 mm.

Figura 28. Cargas sobre el disco



Las cargas F_N y F_f ya fueron calculadas en el análisis de piezas anteriores, con ellas se puede calcular el torque que debe aplicar el motor, teniendo en cuenta el máximo radio posible para aplicar la carga:

$$F_N = 49,05 N$$

$$F_f = 49,05 N$$

$$T_m = F_f \times r_c$$

$$T_m = 49,05 \times 0,07 = 3,4335 N \cdot m$$

Con las cargas definidas es posible acudir al software Ansys Workbench, la pieza es importada de Solid Edge. El único apoyo del cual dispone el soporte son los rodamientos, los cuales actúan como un soporte cilíndrico que son responsables de absorber todas las cargas a las cuales se ve sometido el soporte (figura 29). El soporte se construye totalmente en Acero inoxidable 304L.

Figura 29. Cargas aplicadas al soporte del disco

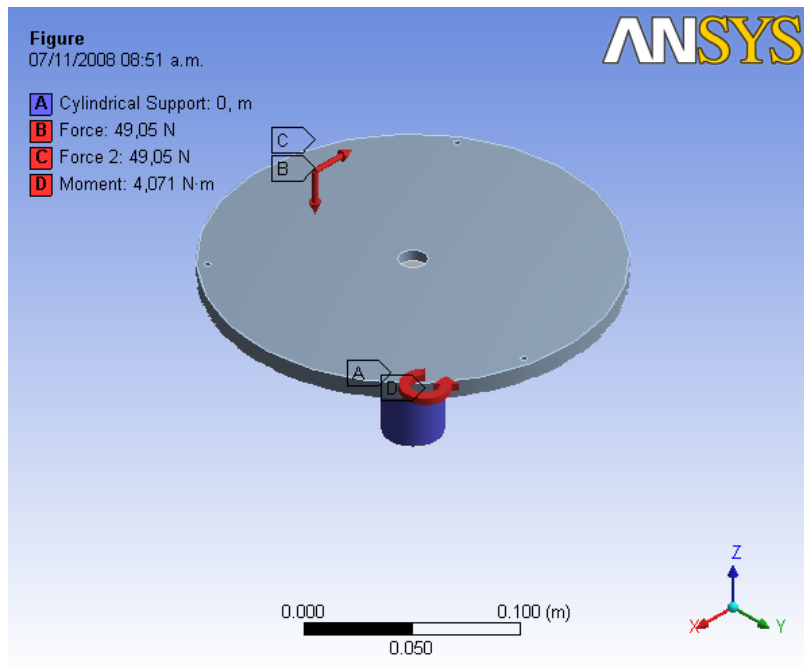


Figura 30. Esfuerzos en el soporte del disco

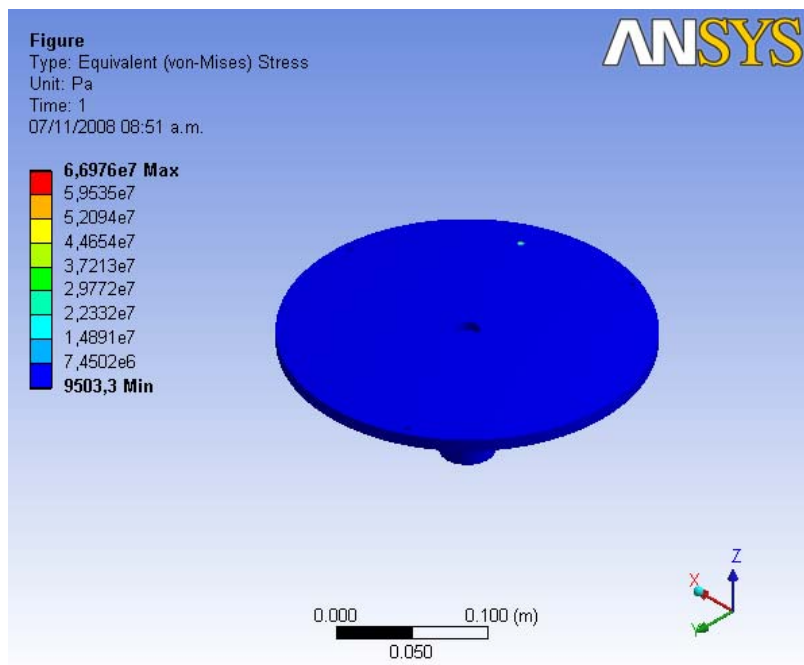


Figura 31. Deformaciones en el soporte del disco

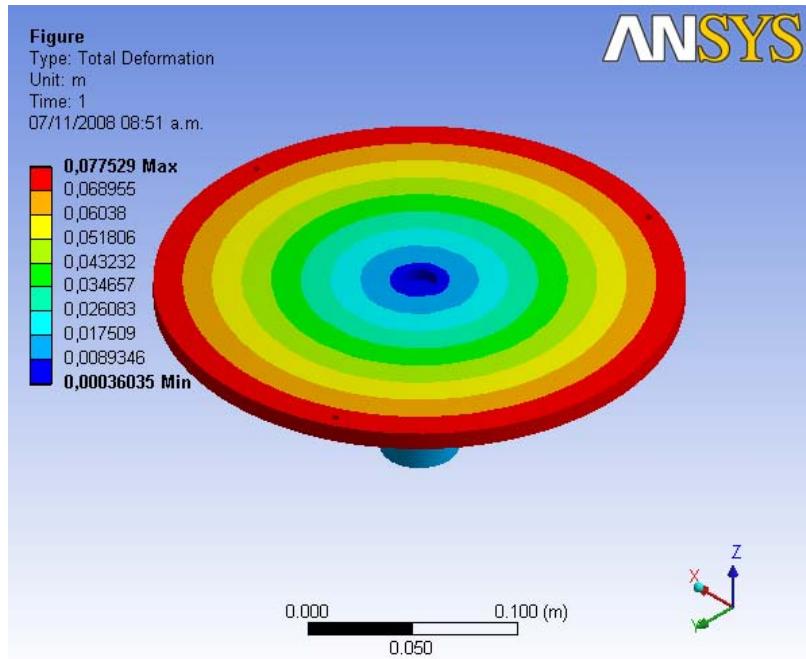
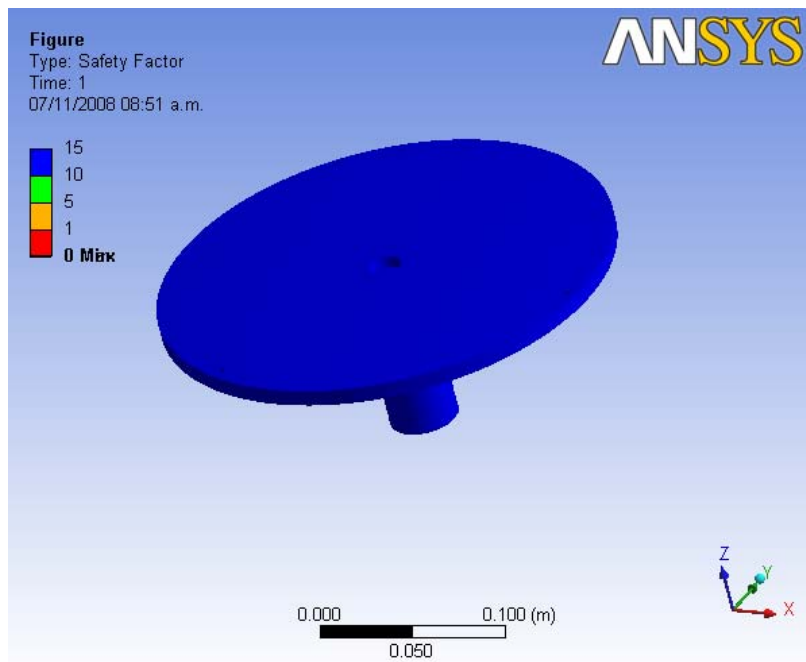


Figura 32. Factor de seguridad en el soporte del disco



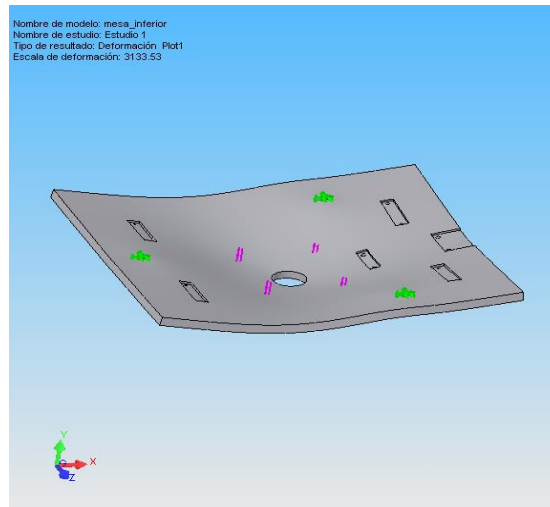
2.3.6. **Conjunto mesa superior y mesa inferior.** Es notorio en los cálculos que las cargas no son representativas en el diseño de las piezas, sin embargo hay que tener en cuenta que uno de los aspectos más importante en este diseño es la alineación de las piezas; como consecuencia, la máquina debe tener las mínimas deformaciones posibles.

Las dos piezas que revisten de mayor importancia en el alineamiento de la máquina son la mesa superior y la mesa inferior, haciendo prioritario su análisis para deformaciones.

Dado que la mesa superior se halla conectada a la mesa inferior por cuatro soportes y unas barras guías, analizar dicha interacción demandaría una serie de cálculos extensos. Empleando el software Ansys Workbench es posible obtener resultados más precisos y más fáciles de interpretar. Con el fin de aligerar un poco el análisis se aplicaran las cargas reactivas en la placa superior producto de desmontar las piezas que trabajan sobre ella.

La placa inferior posee tres agujeros roscados sobre los cuales se montan las patas niveladoras, adicionalmente tiene cuatro agujeros sobre los cuales va sujeto el motor. En estos agujeros se aplican el peso del motor, más los de las piezas del soporte, el disco de pruebas y la carga aplicada al mismo, también el momento flector producido por la fuerza de fricción y la distancia entre la superficie de contacto y la de la placa, Por último se debe incluir el torque que aplica el motor para vencer la fricción en el disco (figura 33).

Figura 33. Apoyos de la placa.



Peso del motor, $W_m = 5\text{kg} = 49,05\text{N}$

Peso de las piezas del soporte del disco, $W_{sd} = 3,996\text{kg} = 39,201\text{N}$

Torque del motor, $T_m = 49,05 \times 0,07 = 3,4335\text{N.m}$

Momento flector debido a la fricción, $M_{fs} = 49,05 \times 0,0935\text{N} = 4,586\text{N.m}$

La celda de carga se halla montada sobre un soporte y recibe la carga por medio de una barra; como consecuencia de la distancia que hay desde el punto en el cual la celda recibe la fuerza de fricción hasta el punto de anclaje de su soporte, se genera un momento flector, lo cual se traduce en tres cargas que se deben aplicar en el anclaje del soporte (figura 34).

Peso de las piezas del soporte de la celda, $W_{sc} = 0,470\text{kg} = 4,6107\text{N}$

Fuerza de fricción, $F_f = 49,05\text{N}$

Momento flector debido a la fricción, $M_{fc} = 49,05 \times 0,0913\text{N} = 4,478\text{N.m}$

Las cargas que se presentan en el soporte del brazo ya fueron calculadas previamente:

Peso de las piezas del soporte del brazo, $W_{sb} = 4,4\text{kg} = 43,164\text{N}$

Fuerza de fricción, $F_f = 49,05\text{N}$

Torque debido a la fricción, $T_b = 2,7468\text{N.m}$

Todos los pesos y las distancias para el análisis se obtuvieron del software Solid Edge, considerando como material de las piezas Acero inoxidable 304L.

Siendo una placa de acero inoxidable 304L, los esfuerzos a los cuales se somete la placa se hallan muy por debajo del límite de fluencia; este comportamiento era previsible pues este diseño no se halla limitado por esfuerzos, sino por deformaciones.

Las deformaciones en la placa son del orden de $8,1449 \times 10^{-3}\text{mm}$ lo cual es ideal para mantener el alineamiento de las piezas durante las pruebas.

Figura 34. Cargas aplicadas al conjunto

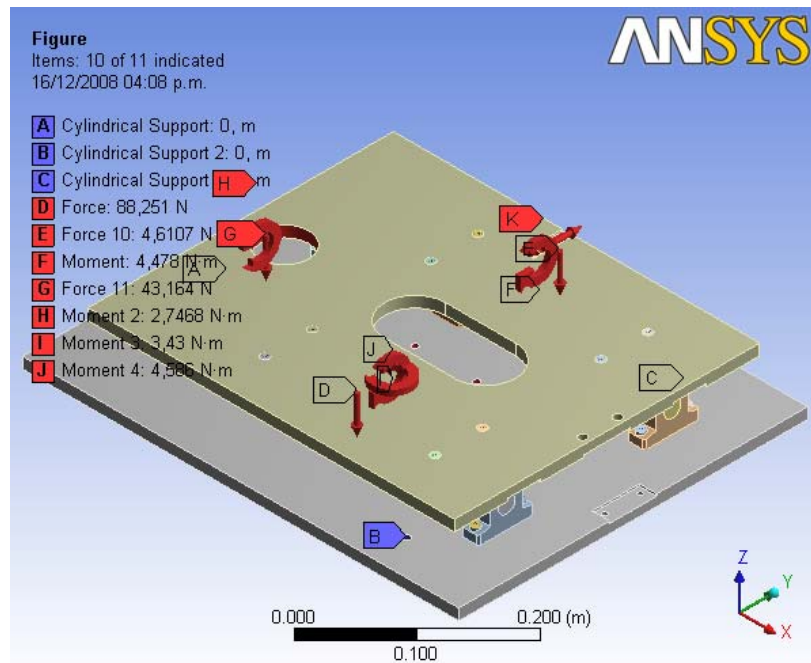


Figura 35. Esfuerzos en la placa.

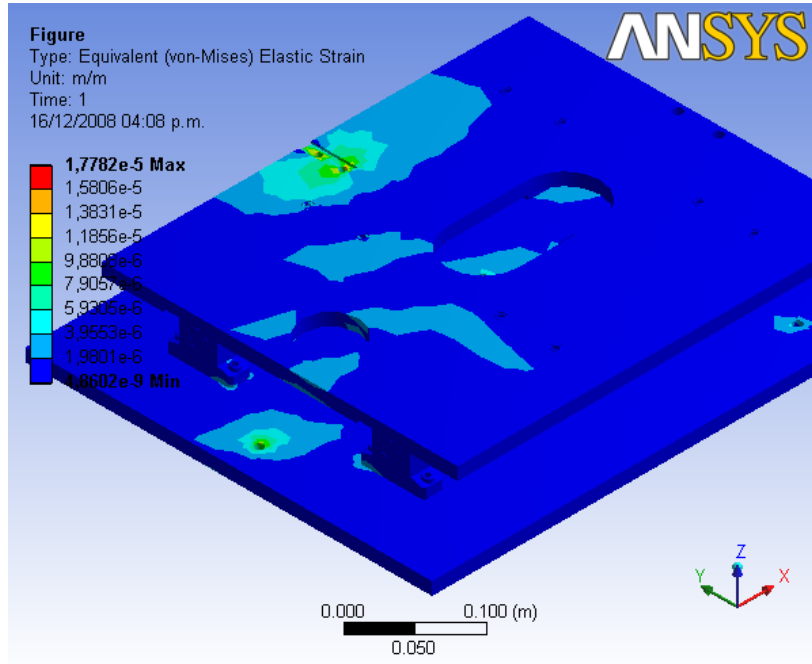


Figura 36. Deformaciones en el conjunto

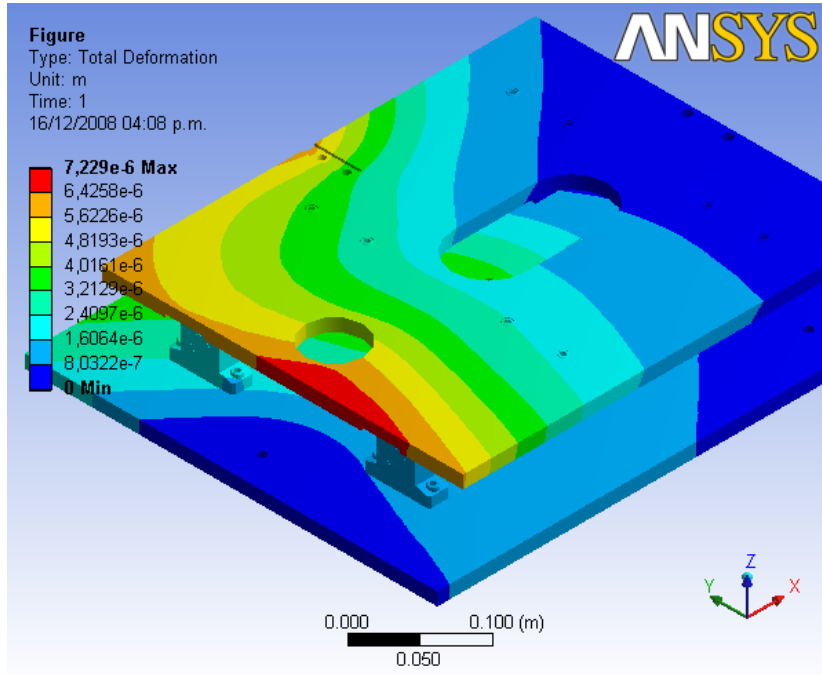
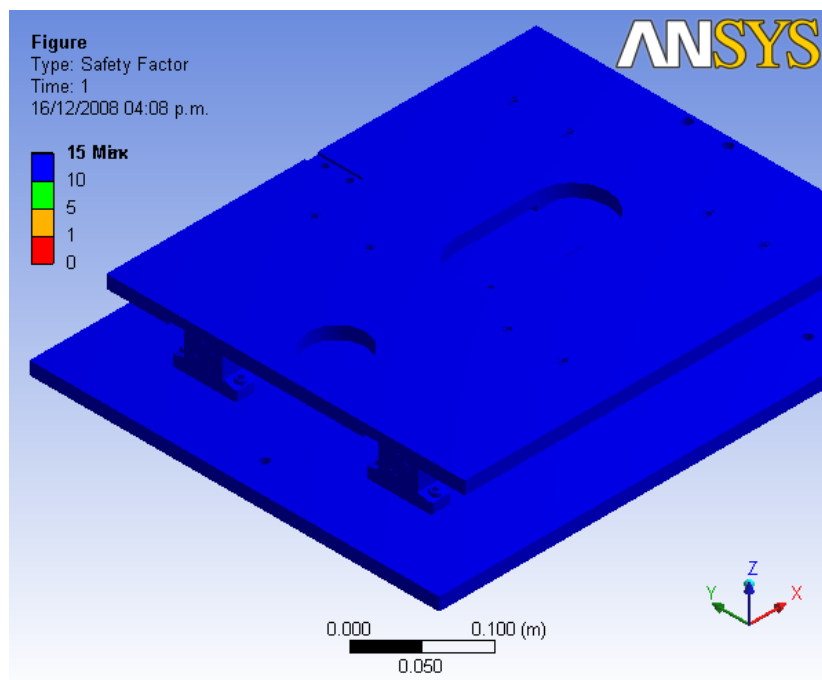


Figura 37. Factor de seguridad en el conjunto



2.4. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

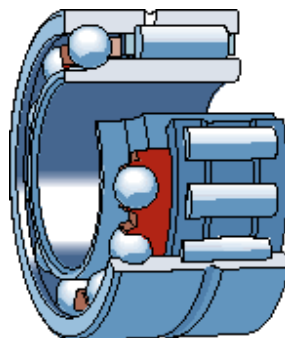
2.4.1. **Consideraciones.** El motor requiere de un apoyo adicional para evitar cualquier tipo de flexión en el eje que genere desalineamiento de las probetas durante la prueba. Como el eje está sometido a cargas tanto axiales como radiales, es necesario un tipo de rodamiento que soporte ambos tipos de carga; sin embargo, debe ser compacto pues la máquina no es muy grande para poderlos alojar.

Por estas razones se decide emplear rodamientos combinados de agujas con bolas de contacto angular, los cuales toleran ambos tipos de carga, son altamente compactos, y además poseen bajas tolerancias, lo cual es ideal para este caso, donde la rigidez de los componentes juega un papel importante.

Este tipo de rodamiento presenta dos versiones, la serie NKIB 59 que puede fijar un eje en ambos sentidos con un juego axial de 0,08 a 0,25 mm; para facilitar el montaje, el aro interior está dividido en dos piezas. Y para el apoyo de los ejes cortos, en los que durante el funcionamiento no se producen alteraciones en su longitud causadas por los cambios de temperatura, se pueden utilizar dos rodamientos de la serie NKIA 59 en una disposición cara a cara o espalda con espalda.

Como el eje del motor relativamente corto, y se necesita que esté lo más rígido posible, se optará por la serie NKIA59 en su disposición espalda con espalda (figura 38).

Figura 38. Rodamiento de la serie NKIA59



Dado el diámetro del eje en el cual se montarán los rodamientos, (30mm), el NKIA5906 queda preseleccionado, a continuación se verificarán las cargas para ellos:

2.4.2. **Cálculo de cargas.** La carga axial es producto del peso de la base del disco, del anillo de fijación, del disco de prueba y la carga de la prueba (figura

39). Empleando el software Solid Edge se calculan las masas de las piezas y son iguales a 5.02kg, más los 5kg como carga máxima de la prueba.

$$F_a = F_N = (5.02 + 5)kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 98.3N$$

La carga radial es producto de un momento flector generado al trasladar la fuerza normal al eje, más la carga radial producida por la fuerza de fricción; este momento flector lo absorberán los rodamientos como dos fuerzas radiales opuestas, las cuales se asumen en el centro de los rodamientos. Así es posible resolver el diagrama de cuerpo libre del eje (figura 40):

Figura 39. Cargas sobre el eje de giro del disco

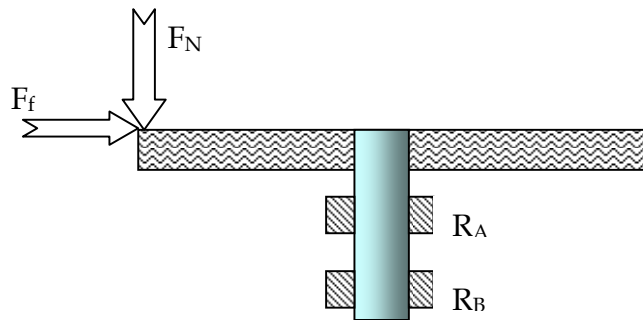
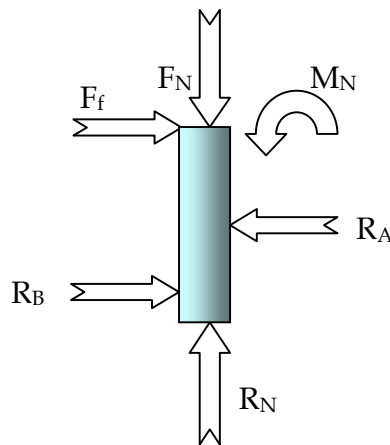


Figura 40. Diagrama de cuerpo libre del eje del disco



$$M_N = 49.05 N \times 0.08 m = 3.924 N \cdot m$$

$$l_B = 0,024 m$$

$$l_A = 0,072 m$$

$$\Sigma M_{Z,B} = R_A \times l_1 + F_f \times l_2 - M_N$$

$$R_A = 16,35 N$$

$$\Sigma F_x = F_f - R_A + R_B$$

$$R_B = 32,7 N$$

$$\Sigma F_y = R_N - F_N$$

$$R_N = 98,3 N$$

Las cargas dinámicas para este tipo de rodamiento son:

Axiales: $C = 15.9 \text{ kN}$

Radiales: $C = 28.5 \text{ kN}$

Es notorio que las cargas son sumamente bajas respecto a los límites de los rodamientos (ver anexo C), por ello se hace necesario garantizar la precarga de los rodamientos con una tuerca en la parte superior del soporte que permita poco juego en los rodamientos.

2.4.3. **Cálculo de la vida.** La vida de los rodamientos se calcula por separado para bolas y agujas, tomando carga axial pura para las bolas y radial pura para las agujas:

➤ **Axial**

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^{\frac{10}{3}}$$

Ecuación 24

$$L_{10} = \left(\frac{15,9}{0,0983} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10} = 23'057.489,61rev$$

Trabajando 600rpm la duración sería de 38429,15 horas.

➤ **Radial**

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

Ecuación 25

$$L_{10} = \left(\frac{28,5}{0,0327} \right)^3$$

$$L_{10} = 662'050.811,2rev$$

Trabajando 600rpm la duración sería de 1'103.418 horas.

3. SELECCIÓN DEL MOTOR

3.1. SELECCIÓN DEL MOTOR

La selección del motor presenta varios requerimientos para tener en cuenta:

- El motor debe tener la posibilidad de variar su velocidad, y que dicho cambio se pueda hacer fácilmente por quien opere la máquina.
- La velocidad del motor no debe diferir más de 1% bajo plena carga, de la velocidad nominal.
- Para evitar alteraciones en las pruebas, el motor debe generar pocas vibraciones.
- Su velocidad de trabajo debe estar entre 60 y 600rpm.

Para esta selección se consideraron dos opciones, un motor convencional tipo jaula de ardilla controlado por un variador de velocidad, el cual posee la capacidad de realizar control de velocidad por medio de un tacómetro; y un servomotor programado por PC, con un encoder incremental para poder realizar el control de velocidad.

3.1.1. **Motor tipo jaula de ardilla.** Un motor jaula de ardilla puede ser controlado fácilmente por un variador de velocidad en lazo abierto; bajo estas condiciones el motor posee una precisión en su velocidad del 3%, sin

embargo, para esta prueba no es suficiente, siendo el requerimiento una precisión del 1%, por lo cual se debe recurrir al control en lazo cerrado.

Los variadores de velocidad comunes admiten entradas análogas de tacómetros, pero, la precisión de los mismos no siempre es la mejor. Hay gamas más altas de estos variadores que poseen entradas digitales para encoders, sin embargo, su precio se incrementa notablemente así como sus prestaciones.

Otro punto a tener en cuenta es la velocidad de trabajo tan baja. Los motores se diseñan para operar a una velocidad nominal; alterar la velocidad de trabajo produce efectos notables en la refrigeración del mismo, pues el flujo de aire suministrado por su ventilador se ve reducido apreciablemente, lo que puede ocasionar daños.

3.1.2. **Servomotor AC.** Los servomotores son motores controlados por medio de un lazo cerrado, para verificar la velocidad del motor se emplean generalmente encoders incrementales como una entrada digital al controlador. En esencia operan igual que un variador de velocidad, modificando la frecuencia de la corriente que suministran al motor. La precisión de los encoders depende del número de pulsos por revolución que posean. A pesar de esto son muchos más precisos que los tacogeneradores.

Los servomotores se pueden programar desde una pantalla propia, o desde un computador, según la conveniencia o complejidad del proceso. Además de ser empleados para controlar el servomotor, comúnmente el controlador viene equipado con funciones para operar no solo en función del motor, sino

también para trabajar con otro tipo de entradas o salidas tanto análogos como digitales que involucre el proceso.

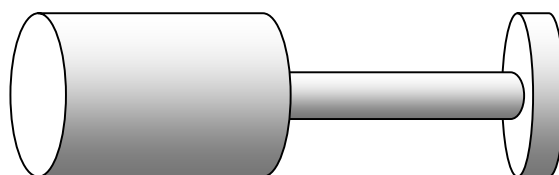
Por último se puede agregar que la ventilación de los servomotores no es un inconveniente pues estos se hallan diseñados para trabajar en amplios rangos de velocidad, desde muy bajas hasta muy altas.

3.1.3. **Selección.** A la luz de lo anteriormente expuesto, la decisión fue el servomotor. Primaron para esta decisión consideraciones de tipo técnico sobre aspectos económicos pues la proporción de precios de una opción contra la otra es casi de 3 a 1. A pesar de ello se obtienen las siguientes ventajas.

- Un equipo altamente fiable para el control de la velocidad de la máquina.
- Un amplio rango de trabajo para operar la máquina sin ningún tipo de inconveniente.
- Programación de velocidad desde un PC para mayor control y seguridad de la máquina.
- Baja vibración de la máquina pues su núcleo es mucho más compacto
- Menos piezas de desgaste pues el servomotor carece de escobillas.

3.2. CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SERVOMOTOR

Figura 41. Esquema del montaje del servomotor



3.2.1. **Análisis de las cargas en el motor.** La carga a la cual se halla sometido el motor es producto de la carga axial impuesta para la prueba, la cual es aplicada excéntricamente; además hay un movimiento relativo entre superficies y la inercia de las piezas a rotar. Bajo estas consideraciones se tienen las siguientes cargas:

- Una carga axial equivalente a la carga aplicada para la prueba.
- Una carga tangencial producto de la fricción.
- Un momento torsor originado por la fuerza de fricción y la distancia desde el punto de aplicación de la carga al centro del eje.
- Un momento flector producto de la carga aplicada para la prueba y la distancia desde el punto de aplicación de la carga al centro del eje.
- Un momento torsor producto de la inercia que poseen las piezas a mover y presentes en el momento de arranque.

3.2.2. **Torque en el motor.** El torque a analizar para la selección del motor es el de arranque, pues es el más crítico dentro del proceso de selección del mismo.

$$T_{acc} = T_m + T_i \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde

T_{acc} = Torque de aceleración del motor

T_m = Torque de la carga por fricción

La primera parte de la ecuación, determina la fricción de la carga, la cual puede ser estimada con la carga máxima permitida para la prueba que en este caso es de 5kg, y un coeficiente de fricción. Como el rango del coeficiente de fricción está comprendido entre 0 y 1, conservativamente se asumirá el valor de 1. La máxima distancia a la cual se puede aplicar la carga es de 7cm, pues el disco tiene un diámetro máximo de 14cm; con esta información es posible calcular el torque de fricción que debe superar el motor.

$$T_f = F_N \times \mu \times r_c$$

Ecuación 27

$$T_f = (5 \times 9,81) \times 1 \times 0,07 = 3,4335 N \cdot m$$

La segunda parte determina la inercia, la inercia es la resistencia de un objeto a ser acelerado o desacelerado, y en el control del movimiento, la inercia es un parámetro importante con el cual se define el torque requerido para acelerar la carga y llegar a la velocidad de trabajo.

Con el torque constante de trabajo se recurre al catálogo del fabricante y se obtiene las posibilidades que se muestran en el cuadro 3. Estos servomotores difieren entre su velocidad, consumo de amperaje, inercia y eficiencia.

La mejor elección no es la más robusta sino la más adecuada a la situación, en este punto es claro que cualquiera de los servomotores listados cumple con los requisitos de precisión, velocidad, y baja inercia (cuadro 4).

A continuación se presentan las especificaciones técnicas de los tres modelos para poder realizar una selección de una manera más acertada.

Cuadro 3. Selección de servomotor por torque.

AC Servo Motors - C-Series

Continuous Stall Torque		Continuous Stall Amps	Speed RPM @ 320V ①	Motor Number ②	Motor Inertia	
Lb-in	Nm				Lb-in-S ²	Kg - cm ²
10.6	1.2	2.7 1.9	6000 4000	BSM80C-150AX BSM80C-175AX	0.0016	1.81
21.2	2.4	5.2 3.2 1.6	6000 4000 2000	BSM80C-250AX BSM80C-275AX BSM80C-2150AX	0.0033	3.73
23.0	2.1	2.1	2000	BSM90C-1150AX	0.0039	4.4
31.8	3.6	7.8 6.3 3.2	6000 4000 2000	BSM80C-350AX BSM80C-375AX BSM80C-3150AX	0.0049	5.61
38.0	4.3	6.3 3.1	4000 2000	BSM80C-475AX BSM80C-4150AX	0.0066	7.45
44.3	5.0	4.0 2.3	2400 1200	BSM100C-1150AX BSM100C-1250AX	0.0149	16.82
46.0	5.2	9.0 4.7 2.5	4000 2000 1200	BSM90C-275AX BSM90C-2150AX BSM90C-2250AX	0.0078	8.81
69.0	7.8	12.0 6.0 3.4	4000 2000 1200	BSM90C-375AX BSM90C-3150AX BSM90C-3250AX	0.0117	13.2
88.5	10.0	8.0 4.9	2400 1200	BSM100C-2150AX BSM100C-2250AX	0.0299	33.7
125.7	14.2	11.4 6.9	2400 1200	BSM100C-3150AX BSM100C-3250AX	0.0448	50.6
177.0	20.0	16.8 10.6	2400 1200	BSM100C-4150AX BSM100C-4250AX	0.0598	67.5
221.3	25.0	21.0 13.0	2000 1000	BSM100C-5150AX BSM100C-5250AX	0.0747	84.4
265.5	30.0	24.0 14.1	2000 1000	BSM100C-6150AX BSM100C-6250AX	0.0897	101.2

NOTE: ① Nominal rpm shown at 320 VDC bus for convenience. For 640 VDC double the speed. Reference motor table to

Cuadro 4. Especificaciones técnicas del servomotor.

Model Number		BSM80C-375	BSM80C-3150	BSM80C-475
General				
Continuous Stall Torque	lb-in	31.9	31.9	38.1
	N-m	3.6	3.6	4.3
Continuous Current	amps	6.29	7.8	6.3
Peak Torque	lb-in	95.6	95.6	114.2
	N-m	10.8	10.8	12.9
Peak Current	amps	16.0	8.1	17.0
Thermal Resistance	°C/watt	1.00	1.00	1.00
Mechanical Time Constant	msec	2.7	2.7	2.42
Electrical Time Constant	msec	3.73	3.69	3.16
Rated Speed @300 volts	rpm	4000	2000	4000
Rated Speed @600 volts	rpm	8000	4000	8000
Electrical				
Torque Constant	lb-in/amp	6.0	11.8	6.7
	N-m/amp	0.67	1.33	0.76
Voltage Constant	Vpk/krpm	57.5	113.8	68.3
	Vrms/krpm	40.7	80.5	48.3
Resistance	ohms	2.2	8.9	1.9
Inductance	mH	8.2	32.8	6
Mechanical				
Inertia	lb-in-s ²	0.00497	0.00497	0.0066
	Kg-cm ²	5.53	5.53	7.45
Maximum Speed	rpm	10,000	10,000	10,000
Number of Motor Poles		4	4	4
Weight	lbs/Kg	11/5.0	11/5.0	13/5.9

Analizando la primera opción que es la más básica, se observa que no tiene ningún problema. La selección inicial será el BSMC80C-375 conectado a 220V trifásico, lo que permite usar un bus de alimentación de 300V y obtener una velocidad máxima de 4000rpm.

Teniendo esta preselección se analizarán las cargas sobre el motor y el torque de arranque. Por ser una transmisión directa, la velocidad de la carga es igual a la del motor:

$$S_m = S_1 \quad \text{Ecuación 28}$$

La carga en este caso posee dos componentes que son la fricción del sistema y la inercia que debe ser acelerada, a su vez la inercia se compone tanto de la inercia de la carga como la del motor:

$$J_t = J_c + J_m \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde

S_m = Velocidad del motor (rpm)

S_1 = Velocidad de la carga (rpm)

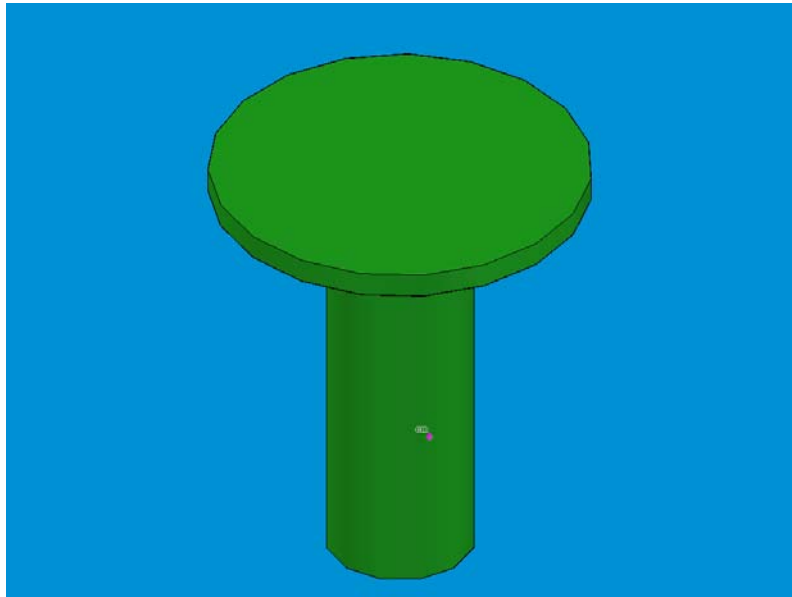
J_t = Inercia total (kg-m²)

J_c = Inercia de la carga (kg-m²)

J_m = Inercia del motor (kg-m²)

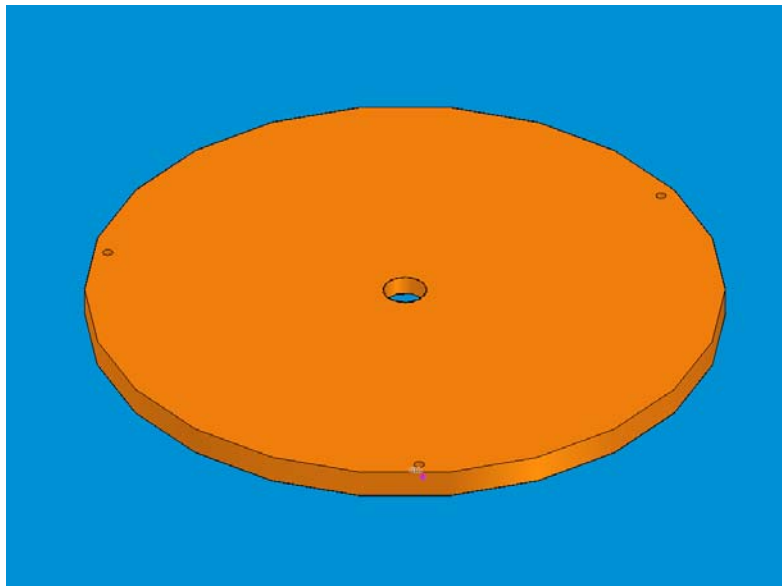
La inercia puede calcularse si el peso y el radio son conocidos, o ya sea la densidad, radio, y longitud; en este caso se cuenta con la herramienta de Solid Edge, para determinar los valores de los momentos de inercia se tomarán de éste. Las piezas de las cuales se requiere esta información son:

Figura 42. Inercia de la base del motor



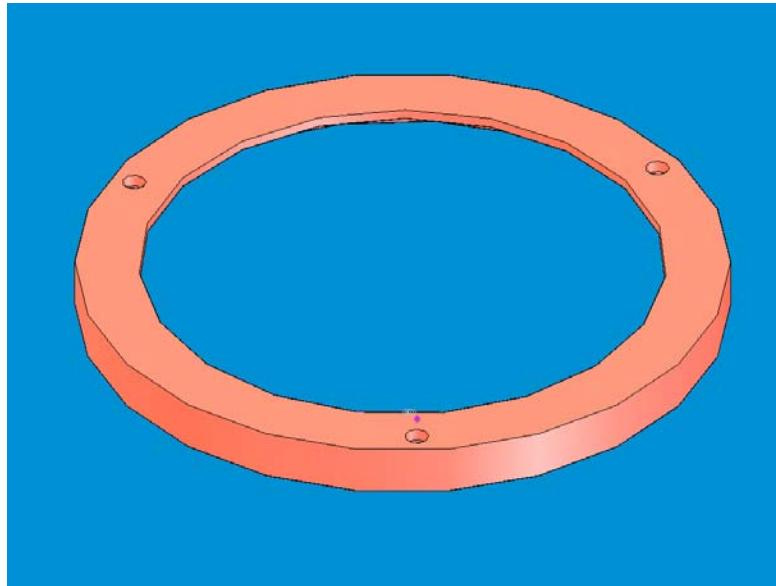
Base $J_1 = 0.00018 \text{ kg-m}^2$

Figura 43. Inercia del disco base



Disco base $J_2 = 0.01112 \text{ kg-m}^2$

Figura 44. Inercia del anillo de fijación



Anillo de fijación $J_3 = 0.005726 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

La inercia total de la carga respecto al eje de movimiento, es la suma de los momentos de inercia de cada una de las partes:

$$J_c = J_1 + J_2 + J_3$$

Ecuación 30

$$J_c = 0.00018 + 0.01112 + 0.005726 = 0.017026 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

La densidad empleada para calcular la información, es proporcionada por el distribuidor y es de $7930 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Conociendo la inercia del sistema a mover, es necesario saber el tipo de aceleración a la cual se verá sometida la carga, en este caso, la prueba no demanda ningún tipo específico de aceleración, sin embargo, la prueba comienza y termina con el motor detenido, lo cual produce estados

transitorios para la prueba que no es lo mas conveniente, y por ello se deben reducir lo más posible.

La máxima velocidad de trabajo que presentará el motor es de 600 rpm, y se utilizará esta velocidad como caso extremo de trabajo para encontrar la máxima aceleración que tendrá el sistema.

Teniendo en cuenta que las velocidades de trabajo son bajas, que la inercia tanto del motor como de la carga también es baja, se asumirá un tiempo de aceleración de 3s, que en primera instancia parecería poco pero en realidad es más que suficiente. Con esto se obtiene:

$$V = 600 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60s} \times \frac{2\pi rad}{rev} = 62.827 rad / s$$

$$Acc = \frac{\Delta Vel}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$Acc = \frac{62,827 rad / s}{3s} = 20,942 rad / s^2$$

$$T_{acc} = T_f + J_T \cdot Acc \quad \text{Ecuación 32}$$

$$T_{acc} = 3,4335 + 0.017026 \cdot 20,942 = 3,79 N \cdot m$$

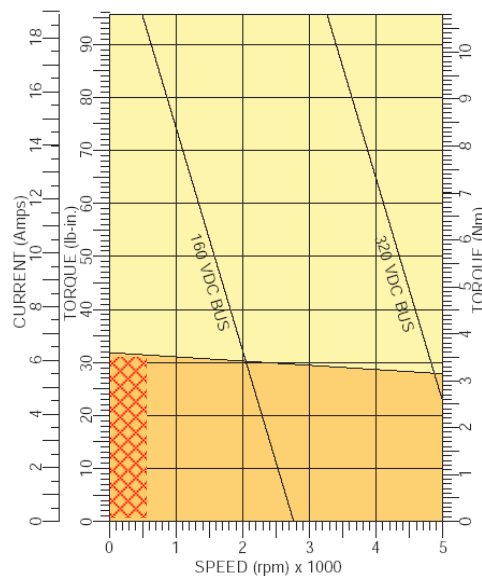
El torque de aceleración es de 3,79 m, y se halla por debajo del torque pico que proporciona el servomotor, lo que comprueba que la elección es adecuada. Teniendo seleccionado el servomotor, es necesario seleccionar el controlador del mismo.

Para poder seleccionar el tipo de control a emplear para el motor, se debe conocer su magnitud de corriente, para ello se emplea la corriente que se consume durante la aceleración:

$$I_{acc} = \frac{T_{acc}}{K_T} = \frac{3,79 N \cdot m}{0.67 N \cdot m / A} = 5,66 A$$

Entonces el controlador del motor debe estar en capacidad de suministrar un mínimo de 5,66 Amperios de corriente durante el arranque. Del catálogo de Baldor se escoge la opción FMH2A03TR-EN23 (figura 45).

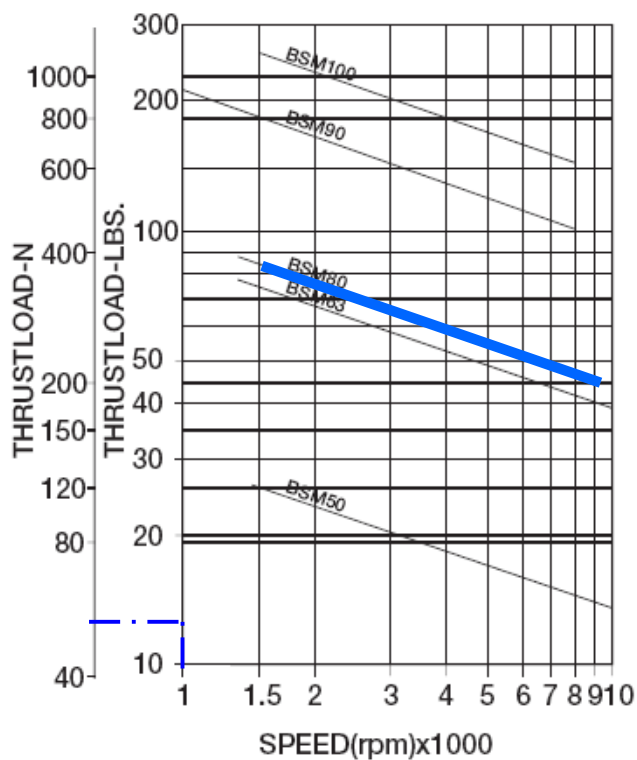
Figura 45. Curva de velocidad - Corriente del servomotor BSM80C - 375



3.2.3. **Carga axial y momento flector.** Durante la prueba el motor se verá afectado por una fuerza axial y un momento flector, estas cargas pueden llegar a afectar la vida útil del motor, por ello, el fabricante suministra tablas que permiten verificar la capacidad del motor para tolerar dicho tipo de cargas.

➤ **Carga axial.** La carga axial será igual a la carga que sea aplicada al brazo en la prueba, y en este caso sería de un máximo de 5kg, lo que equivaldría a 49.05N. Con este valor se puede entrar a la figura 46 y verificar que cualquiera de los servomotores se pueden seleccionar, para nuestro caso se seleccionó el BSM80.

Figura 46. Capacidad de carga de empuje

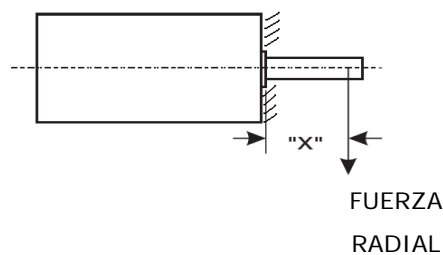


Como se ve el valor de 49,05N está muy por debajo de la capacidad de carga axial del servomotor, que oscila los 400N a 1000rpm, en tanto para este diseño la carga girará a un máximo de 600rpm.

➤ **Momento flector.** El momento flector es producto de la fuerza de fricción y de la distancia que hay entre la superficie de contacto y el primer apoyo del

motor (figura 47). La máxima fuerza de fricción que se puede presentar en teoría es la misma fuerza normal a la superficie, bajo la condición de un coeficiente de fricción de 1. Bajo esta consideración y sabiendo que la distancia máxima que habrá entre la superficie de contacto y el apoyo del motor es de 110mm, se tiene que el momento flector es de:

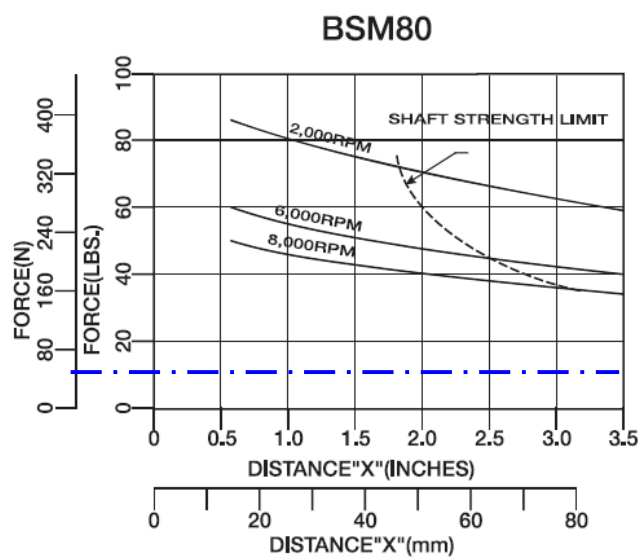
Figura 47. Esquema del momento flector producto de la fuerza de fricción.



$$M_F = F_f \cdot x = 49.05 \cdot 0.11 = 5.3955 N \cdot m$$

Con los valores de carga y distancia del punto de aplicación de la carga se verifica en la figura 48.

Figura 48. Capacidad de carga radial.



La distancia a la cual está aplicada la carga, excede los valores que proporciona la gráfica, sin embargo, es notorio que la carga aplicada a esta velocidad no superará el límite de carga del eje.

Con el fin de no sobrecargar la máquina sobrepasando los límites recomendables, se realizó la consulta directa al departamento de soporte técnico de Consorcio Industrial, representantes de la marca Baldor en Colombia; y estos aseguraron que no hay ningún inconveniente con las cargas antes mencionadas.

4. CONSTRUCCIÓN

La construcción de la estructura de la máquina se llevó a cabo en el taller FELMAQ, que dirige el Ingeniero Alejandro Sierra. Allí se dispone de las máquinas herramientas básicas para la fabricación de las piezas. Por algunas necesidades particulares se requirieron de los servicios de talleres externos, tal es el caso de el Centro de mecanizado de la UIS, sede Guatiguará.

4.1. REQUERIMIENTOS

Para la construcción de la máquina fue necesario considerar los siguientes aspectos:

- La máquina debe tener una excelente alineación de las piezas.
- La máquina debe tener el mínimo de juego posible entre sus piezas.
- Aunque la máquina no esté expuesta a altas cargas de desgaste, debe tener una alta durabilidad.
- Como un requisito planteado por la escuela de ingeniería metalúrgica, la máquina debe tener una buena presentación.
- Por ser el material de fabricación acero inoxidable 304L, este producirá un alto desgaste en las herramientas durante su fabricación.

4.2. MATERIALES

Los principales materiales para la fabricación de la máquina fueron adquiridos en la Compañía General de Aceros. Estos consistían en:

Placas de acero inoxidable 304L de $\frac{1}{2}$ " de 420x350 y 500x400mm para las mesas superior e inferior respectivamente. PL 01 y 06.

Bloques de acero inoxidable 304L para los apoyos de las guías 52x66x22mm. PL 28.

Bloques de acero inoxidable 304L para las correderas 52x72x50mm. PL 26.

Bloques de acero inoxidable 304L para los apoyos de arrastre 56x47x17mm PL 07.

Ejes de $\frac{3}{4}$ " de acero inoxidable 304L para las guías. PL 31.

Un bloque de acero inoxidable 304L de 40x38x207 para el brazo. PL 15.

Placa de $\frac{1}{2}$ " de 205x205mm para el disco base. PL 05.

Eje de 3" x 90mm de acero inoxidable 304L para la base del disco. PL 05.

Ejes de 2", 1 $\frac{1}{2}$ " y 1 $\frac{1}{4}$ " de acero inoxidable 304L para los contrapesos. PL

Eje de acero inoxidable 304L de 1 $\frac{1}{2}$ " x 55mm para el eje vertical del brazo. PL 14.

Eje de acero inoxidable 304L de 1" x 70mm para el eje del brazo. PL 23.

Eje de acero inoxidable 304L de 2 $\frac{1}{2}$ " x 56mm para la horquilla. PL 13.

Eje de acero inoxidable 304L de 2 $\frac{1}{2}$ " x 40mm para el soporte de brazo. PL 11.

Esto para mencionar sólo los más importantes.

Con el fin de reducir los juegos de las piezas al mínimo se empleará tornillería milimétrica estándar, en tanto, no es posible emplear tornillería de rosca fina por no ser comercial en acero inoxidable, lo que obligaría a fabricarla, encareciendo tanto su fabricación como su mantenimiento.

4.3. PLANIFICACIÓN DEL PROCESO

El producto del proceso de diseño detallado son los planos de fabricación y montaje. Con base en estos planos se procede a realizar una planificación de producción.

Cuadro 5. Identificación de procesos de manufactura.

Nº	Pieza	Cant	Material	Plano	T	F	t	R	E	S
1	Servomotor Baldor BSM80C-375AF	1		PL 00					x	
2	Mesa inferior	1	Inox 304	PL 01		x	x	x		
3	Soporte para el eje del motor	1	Inox 304	PL 02	x	x	x	x		
4	Tornillos para soporte disco	4	Inox 304	PL 00					x	
5	Rodamiento NKIA 5906	3		PL 00					x	
6	Anillo separador vertical	1	Inox 304	PL 03	x					
7	Tuerca soporte disco	1	Inox 304	PL 04	x			x		
8	Base del disco	1	Inox 304	PL 05	x		x			x
9	Mesa superior	1	Inox 304	PL 06		x	x			
10	Apoyo de arrastre	2	Inox 304	PL 07		x	x			
11	Tornillo de desplazamiento	1	Inox 304	PL 08	x	x	x	x		
12	Tuerca de desplazamiento	1	Inox 304	PL 09	x	x	x	x		
13	Anillo de retención D=12mm	1		PL 00					x	
14	Manivela	1	Inox 304	PL 00	x	x	x			
15	Tornillos M6x15	12	Inox 304	PL 00					x	
16	Tuerca del soporte del brazo	1	Inox 304	PL 10	x		x	x		
17	Prisioneros soporte vertical	2	Inox 304	PL 00					x	
18	Soporte del brazo	1	Inox 304	PL 11	x			x		
19	Tuerca del eje vertical	1	Inox 304	PL 12	x			x		
20	Horquilla	1	Inox 304	PL 13	x	x	x	x		
21	Eje vertical	1	Inox 304	PL 14	x			x		
22	Brazo	1	Inox 304	PL 15		x	x	x		x
23	Portaprobetas	1	Inox 304	PL 16	x	x	x	x		

24	Base de carga axial	1	Inox 304	PL 17	x		x	x			x
25	Guía de carga axial	1	Inox 304	PL 18	x						
26	Prisionero del portaprobetas M3	1	Inox 304	PL 00							x
27	Tuerca de la barra de enganche M8 x 1	1	Inox 304	PL 00							x
28	Barra de transmisión	1	Inox 304	PL 19	x				x		
29	Herradura	1	Inox 304	PL 20		x	x	x			
30	Tornillo transmisor	1	Inox 304.	PL 21	x				x		
31	Tope de seguridad	1	Inox 304	PL 22		x			x		
32	Celda de carga	1	Inox 304	PL 00							x
33	Tornillos tope de seguridad	2	Inox 304	PL 00							x
34	Tornillos celda de carga	2	Inox 304	PL 00							x
35	Tornillo de M6x15	10	Inox 304	PL 00							x
36	Prisioneros tope de seg.	2	Inox 304	PL 00							x
37	Eje del brazo	1	Inox 304	PL 23	x	x			x		
38	Rodamiento NKIA 5901	2		PL 00							x
39	Anillo separador horizontal	1	Inox 304	PL 03	x						
40	Tuerca del eje del brazo	1	Inox 304	PL 24	x	x			x		
41	Arandela elástica	1	Caucho	PL 25	x						
42	Corredera	4	Inox 304	PL 26		x	x	x			
43	Buje de deslizamiento	4	Bronce Fosf.	PL 27	x						
44	Guía	2	SAE 1020	PL 31	x						
45	Apoyo de guía	4	Inox 304	PL 28		x	x	x			
46	Tornillo M6x20	4	Inox 304	PL 00							x
47	Base del amortiguador	3	Inox 304	PL 29	x						x
48	Tornillo nivelador	3	Inox 304	PL 30	x						x
49	Amortiguador	3	Caucho	PL 25	x						
50	Base de la celda de carga	1	Inox 304	PL 32		x	x	x			
51	Soporte contrapeso horizontal	1	Inox 304	PL 38	x				x		
52	Soporte contrapeso vertical	1	Inox 304	PL 39	x				x		
53	Contrapeso vertical	1	Inox 304	PL 35	x				x		
54	Contrapeso horizontal	1	Inox 304	PL 36	x				x		
55	Contrapeso fino	1	Inox 304	PL 37	x				x		

CLAVE DE PROCESO		
MECANIZADO	T	TORNEADO
	F	FRESADO
	t	TALADRADO
	R	ROSCADO
	E	ESTANDAR
METALISTERÍA	S	SOLDADURA

4.4. MESA SUPERIOR Y MESA INFERIOR

Las placas adquiridas vienen con un acabado mate y no son totalmente planas. A raíz de esto, es necesario mecanizar las placas para garantizar el paralelismo entre sus caras y su horizontalidad.

Además fue necesario tener en cuenta que las guías para el desplazamiento de la máquina tienen que estar labradas, por lo cual se convierten en las dos piezas más importantes en el proceso de mecanizado.

El trabajo con las placas se dividió en tres, la primera parte fue el planeado para darle la horizontalidad entre caras, la segunda parte fue el dimensionamiento de sus bordes para darle presentación. Y finalmente la manufactura de las cajas que posicionan todos los elementos de la máquina (figura 49).

Figura 49. Mesa superior y mesa inferior mecanizadas.



Para poder darle a estas piezas la exactitud necesaria, se recurrió al centro de mecanizado de la UIS sede Guatiguará (figura 50), en donde se llevó a cabo la fabricación de estas piezas. Se empleó un centro de mecanizado Hermle U630S (figura 51).

Figura 50. Taller CNC UIS sede Guatiguará



Figura 51. Centro de mecanizado Hermle U630S



4.5. SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

Para el desplazamiento de la máquina se requiere de cuatro puntos de apoyo fijos en la mesa inferior, dos barras que sirvan de guías, y otros cuatro apoyos móviles que se desplacen por los canales mecanizados en la mesa superior.

Figura 52. Sistema de desplazamiento



Al igual que en el mecanizado de las placas, el primer paso es garantizar el paralelismo entre las caras (figura 53), y luego se efectúa el dimensionamiento, y el mecanizado de la forma de la pieza, para finalizar con los procesos de taladrado y roscado que sean necesarios (figura 54).

Figura 53. Fresadora IMOMILL



Figura 54. Taladro fresador IMODRILL



Las piezas principales son los apoyos de las guías y los apoyos de arrastre, estas piezas son de similar mecanizado, estando conformado por procesos de fresado y taladrado.

4.6. EJES

El mecanizado de los ejes se efectúa casi en su totalidad en el torno. Partiendo de un diámetro comercial aproximado, por medio del torno se efectúan pasos de desbaste con alta profundidad en el mecanizado, para luego hacer una o dos pasadas de acabado con poca profundidad y alta velocidad en el torno (figura 55).

Figura 55. Torno IMOTURN



Las piezas más representativas en esta área de los ejes son el eje vertical del brazo, el soporte del brazo, los ejes de guía, el tornillo de desplazamiento, el portaprobetas y el soporte del disco con su aro.

4.7. BRAZO

Para la fabricación del brazo fue necesario recurrir a procesos de fresado, tanto de planeado como de escariado; así como a taladrado y roscado. El primer paso fue dimensionar el bloque inicial y garantizar el paralelismo entre caras. A continuación se desbastó la figura que debía tener la pieza, dejando una pasada final para darle un buen acabado. Luego de tener la forma de la pieza se taladran las perforaciones donde se ubicarán el portaprobetas, el eje del brazo y el eje de los contrapesos.

4.8. YUGO DEL BRAZO

El yugo del brazo es otra de las piezas fundamentales, pues al soportar el brazo es la pieza responsable del alineamiento del mismo. Considerando esto, se decidió fabricarlo en el Centro de Mecanizado de la UIS en Guatiguará.

Los dos procesos claves en su fabricación son el fresado de las dos orejas que sirven de guía al eje de rotación del brazo, y las perforaciones que marcan dicho eje. Cualquier tipo de desalineamiento en estos trabajos implicaría desalineamiento entre el disco y el pin.

La fabricación se inicio con un proceso de torneado en la máquina Weiler E35 para darle la dimensión exterior a la pieza, a continuación, se montó la pieza en el centro de mecanizado, en la cual se perforó el agujero sobre el cual va el eje del brazo (figura 56).

Figura 56. Torno CNC Weiler E35



Cumplida esta fase solo hacía falta fresar el espacio que ocuparía el cubo del brazo, proceso que se dejó para el final, pues de realizarse en un principio habría debilitado la pieza y el proceso de taladrado no hubiera garantizado un correcto alineamiento entre las dos orejas.

4.9 PRESUPUESTO

Para el desarrollo de este proyecto se invirtió una considerable suma de dinero, representada en materiales, mano de obra, y trabajo de Ingeniería. A continuación se relacionan los costos involucrado durante el proceso de construcción, ensamble y pruebas de la máquina.

Nº	DESCRIPCIÓN	V/UNITARIO	CANT	V/TOTAL
1	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE MAQUINA PIN ON DISK	\$ 5,960,000	1	\$ 5,960,000
2	MECANIZADO CNC DE LAS MESAS	\$ 200,000	2	\$ 400,000
3	RODAMIENTOS NKIA5901	\$ 56,000	2	\$ 112,000
4	RODAMIENTOS NKIA5906	\$ 92,600	3	\$ 277,800
5	SERVOMOTOR BALDOR REF BSM 80C 375AF	\$ 2,383,800	1	\$ 2,383,800
6	CONTROLADOR FMH 2A03TR-EN23 MICROFLEX	\$ 5,420,750	1	\$ 5,420,750
7	CABLE DE POTENCIA CBL015SP-12	\$ 235,805	1	\$ 235,805
8	CABLE DE COMUNICACIÓN CBL015SF-E2	\$ 457,830	1	\$ 457,830
9	RESISTENCIA REGENERATIVA RG39	\$ 367,720	1	\$ 367,720
10	FUENTE RR DR-240-24	\$ 1,339,800	1	\$ 1,339,800
11	VENTILADOR FAN001-024	\$ 209,960	1	\$ 209,960
12	CONEXIONES ELECTRICAS	\$ 100,000	1	\$ 100,000
13	PROBETAS SAE AISI 1020 TIPO PIN	\$ 5,240	5	\$ 15,720
14	PROBETA SAE AISI 1020 TIPO DISCO	\$ 20,743	1	\$ 20,743
15	PROBETAS SAE AISI 304 TIPO PIN	\$ 5,240	5	\$ 15,720
16	PROBETA SAE AISI 304 TIPO DISCO	\$ 45,050	1	\$ 45,050
TOTAL				\$ 17,362,698

5. PRUEBAS DE DESGASTE

5.1. PRECISIÓN DEL SERVO

Para el diseño de la máquina fue necesario considerar como uno de los requisitos principales la precisión en la velocidad para la realización de la prueba, por esto, se realizó una prueba del servomotor en vacío y con carga para así corroborar que su precisión es lo suficientemente buena para emplearlo en el desarrollo de pruebas de desgaste.

La norma ASTM G99 plantea como necesidad que el motor no puede variar más del 1% su velocidad, cuando está sometido a toda la carga de la prueba; es decir, el motor debe mantener su velocidad con variaciones menores al 1% mientras gira con la máxima carga.

La primera prueba fue la del motor teniendo como única carga la base para el disco, esta prueba se desarrollo durante media hora y a una velocidad de 588rpm, es decir el 98% de la velocidad máxima de la prueba; los resultados se muestran en las figuras 57 y 58, en donde es evidente la precisión que brinda el servomotor.

Los picos más altos son de 0,6% respecto al valor de referencia. La línea azul representa la velocidad medida por el encoder del servomotor, y la línea verde es la velocidad de referencia suministrada como entrada al motor. El valor promedio de la velocidad fue de 97,997%.

Figura 57. Gráfica % de velocidad vs tiempo

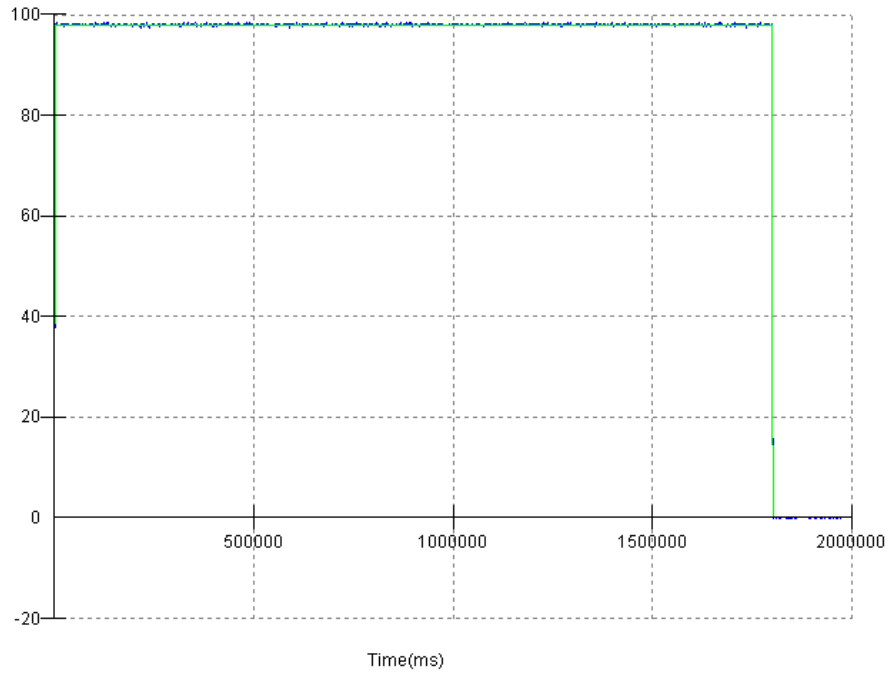
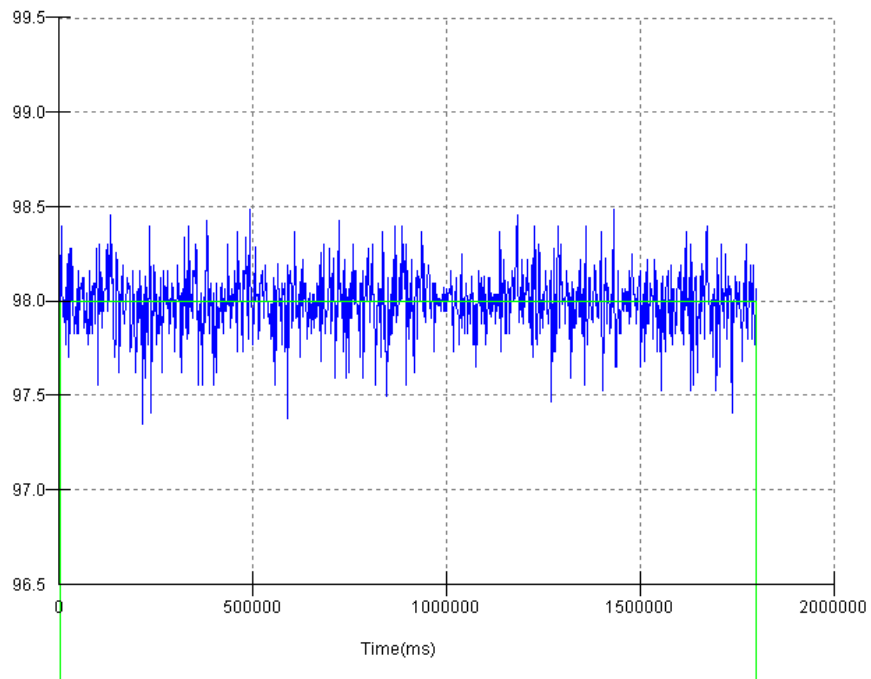
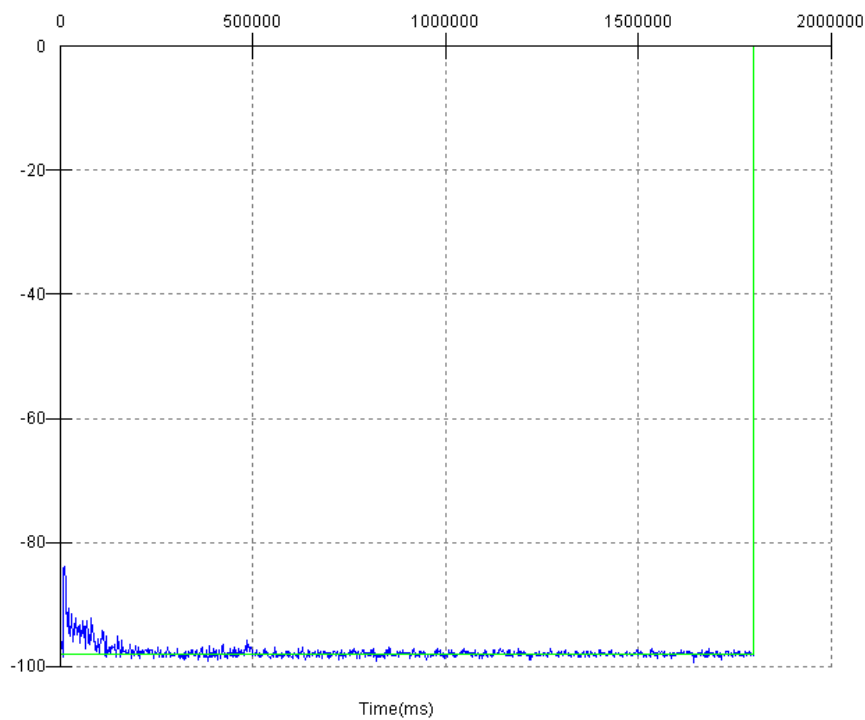


Figura 58. Ampliación de la gráfica % de velocidad vs tiempo



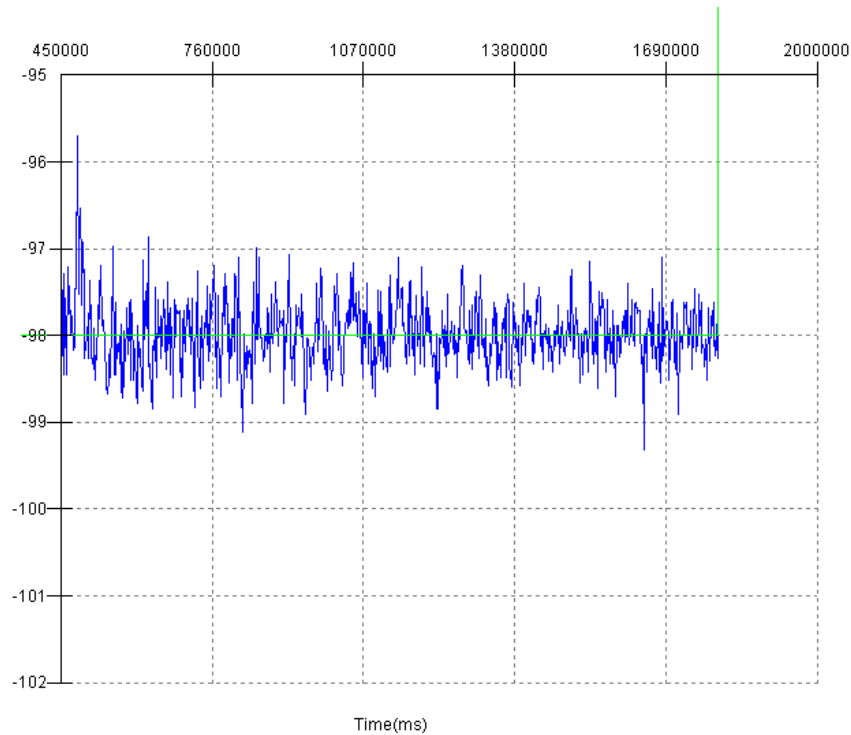
Es evidente que la precisión del servomotor en vacío es bastante buena; a continuación se verificó la precisión del servomotor, trabajando a la misma velocidad, pero con la máxima carga que llevaría, y empleando como probetas un pin y un disco de acero AISI 1020 (figura 59). Al inicio de la prueba se evidencia una zona de transición resultado de un alto desgaste adhesivo entre las superficies.

Figura 59. Gráfica % de velocidad vs tiempo



Los resultados para el mismo lapso de tiempo fueron muy similares, siendo la precisión en la velocidad del mismo orden que durante la prueba en vacío. Con estos resultados se puede concluir que el servomotor cumple con las especificaciones de precisión en la velocidad que exige la norma (figura 60).

Figura 60. Ampliación de la gráfica % de velocidad vs tiempo



5.2. PRUEBAS PIN ON DISK

5.2.1. **Objetivo de la prueba.** El objetivo de la prueba es comprobar la repetitividad de los resultados obtenidos tras cada prueba, por medio de una prueba de desgaste en seco de materiales plásticos, y así validar los parámetros establecidos en la norma ASTM G99 .

5.2.2. **Materiales utilizados.** El disco utilizado para la prueba es un acero AISI 304L, el cual presenta una dureza de 215 HB o 15 Rockell -C. En los pines se utilizó teflón cuyas propiedades se muestran en el cuadro 6. Debido a la gran diferencia de durezas entre el pin sobre el disco, solo se tendrá en cuenta la pérdida de material del pin.

Cuadro 6. Principales características del Teflón ⁷

	<i>Teflón</i>
Nombre comercial	TEFLON [®]
Nomenclatura	PTFE
Unidad monomérica	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$
Cristalinidad	50-70%
Temperat. de fusión (T _m)	327 °C
Transición vítrea (T _g)	-110 °C
Resistencia a la tracción	24-31 MPa
Elongación en ruptura	200-400 %
Módulo elástico	400-550 MPa
Resistencia al impacto (Izod)	3 ft-lb/in
Coefficiente de fricción seco	.04-.08
lubricado	.04-.08
Dureza	55-59 Shore D

5.2.3. **Preparación de las muestras.** Se pulió las caras planas del pin de tal forma que estas quedaran lo más rectas posibles (figura 61). El disco se pulió hasta obtener una superficie lisa.

Figura 61. Pin de teflón



5.2.4. **Metodología de la prueba.** La metodología utilizada para la ejecución de las pruebas se basó en lo descrito por la norma ASTM G99.

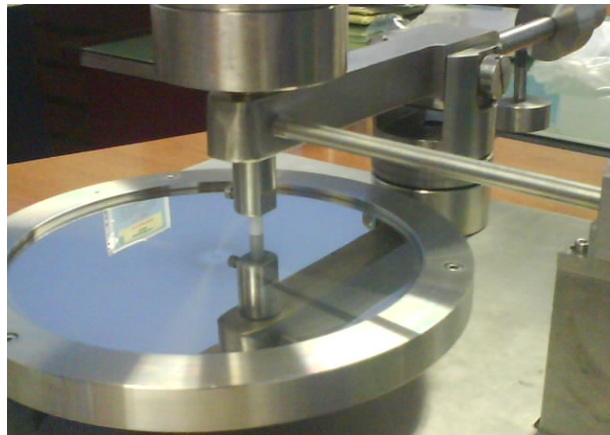
⁷ Askeland, 1993; Callister, 1996.

- Limpieza de las probetas. Antes de comenzar cada prueba se debe verificar que estas estén libres de cualquier elemento extraño. Para la limpieza del disco y del pin se utilizó alcohol, dando el respectivo tiempo para su secado.
- Peso de las probetas. Para esta prueba en particular se tuvo en cuenta sólo el peso de los pines. La medición se llevo a cabo en una balanza marca Sartorius con una precisión de 0.1 mg.
- Montaje del disco. Se realizó el montaje del disco de tal manera que esté paralelo al disco de apoyo, el cual a su vez es perpendicular al eje de la máquina.
- Montaje del pin. Antes de realizar el montaje del pin se verificó que el brazo estuviera equilibrado. Con la ayuda de un nivel se buscó que la cara del pin estuviera perpendicular a la cara del disco.
- Medición del radio. Con la ayuda de un calibrador se posicionó el pin con el centro de disco, para obtener la medida del radio para cada una de las pruebas.
- Carga de la máquina. Se agregó la carga requerida para cada prueba introduciendo las masas en la guía de carga ubicada en la parte superior del brazo (figura 62).
- Configuración velocidad y tiempo. Con la ayuda del software WorkBench, se introdujeron estos parámetros, teniendo en cuenta que

existe una proporcionalidad entre el tiempo y la cantidad de vueltas para cada una de las pruebas con los valores establecidos.

- Retiro del pin. Una vez finalizada la prueba se procedió a retirar el pin para su respectiva limpieza, nuevamente utilizando alcohol. Además se observó la presencia de virutas o residuos en el disco.
- Remedición del pin. Luego de limpiar el pin se procedió nuevamente a pesarlo, obteniendo así la pérdida de peso.

Figura 62. Máquina lista para empezar la prueba.



5.2.5. **Resultados.** Con la ayuda de una hoja de cálculo y utilizando la correspondientes formulas matemáticas, se obtuvo las condiciones de operación del servomotor para las diferentes pruebas.

En el cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 7. Resultados de la prueba

CONDICIONES DE LA PRUEBA				
CARGA [N]		17,1675	17,1675	17,1675
VELOCIDAD ANGULAR [RPM]		239	318	318
RADIO [cm]		4	3	3
VELOCIDAD LINEAL [m/s]		1	1	1
DISTANCIA [km]		0,25	0,75	1
N° DE VUELTAS		99	398	531
TIEMPO [HORAS]		0,01	0,02	0,03
TIEMPO [MINUTOS]		0,42	1,25	1,67
RESULTADOS				
DISTANCIA [m]	0 m	250 m	750 m	1000 m
PESO [g]				
TEFLON PIN 1	1.3001	1.2999		
DESGASTE PIN 1		0.0002		
TEFLON PIN 2	1.2887	1.2885		
DESGASTE PIN 2		0.0002		
TEFLON PIN 3	1.2828	1.2827		
DESGASTE PIN 3		0.0001		
TEFLON PIN 4	1,441		1,4395	
DESGASTE PIN 4			0,0015	
TEFLON PIN 5	1,4073		1,4057	
DESGASTE PIN 5			0,0016	
TEFLON PIN 6	1,399		1,3974	
DESGASTE PIN 6			0,0016	
TEFLON PIN 7	1,3997			1,3973
DESGASTE PIN 7				0,0024
TEFLON PIN 8	1,3736			1,3712
DESGASTE PIN 8				0,0024
TEFLON PIN 9	1,3475			1,3451
DESGASTE PIN 9				0,0024

COMPENDIO DE LOS RESULTADOS				
DISTANCIA	DESGASTE	DESVIACIÓN	REGRESIÓN	FUNCIÓN LINEA
[m]	[mg]	ESTÁNDAR	LINEAL	DE TENDENCIA
250	0.2	0.057735027	-0.05	$y = 0.0022x$ $R^2 = 0.9227$
	0.2			
	0.1			
750	1.5	0.057735027	0.05	
	1.6			
	1.6			
1000	2.4	0	0	
	2.4			
	2.4			

Como se puede observar se realizaron tres diferentes pruebas, con condiciones diferentes, mostrando repetitividad en los resultados, encontrándose poca desviación en las pruebas de 250 m y 750 m. y nula para la de 1000 m.

La figura 64 muestra los resultados de una prueba realizada por el grupo de tribología y superficies de la Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín, en donde se aplican parámetros muy similares a los utilizados en la prueba. Si se compara la figura 63 y 64, se puede observar que las líneas de tendencia son muy parecidas, y particularmente con la que presenta la prueba de un disco con una rugosidad de 0,14 micras.

Figura 63. Resultados de la prueba pin teflón UIS.

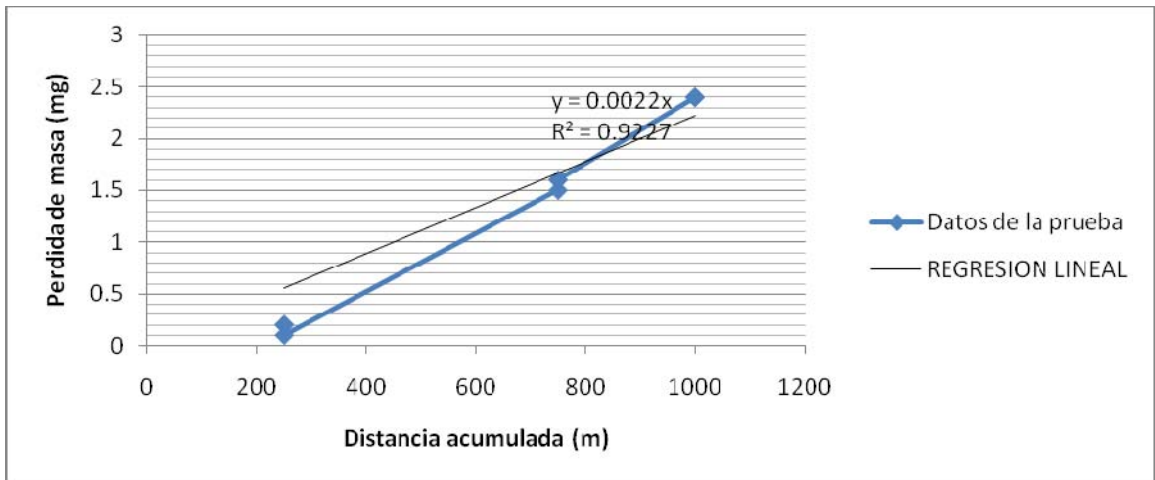
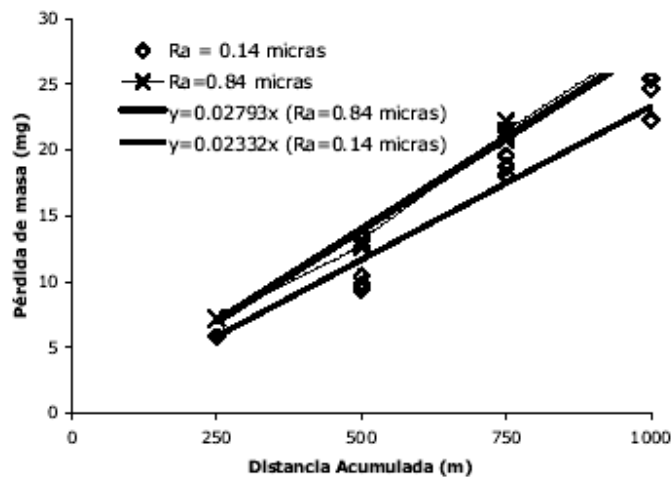


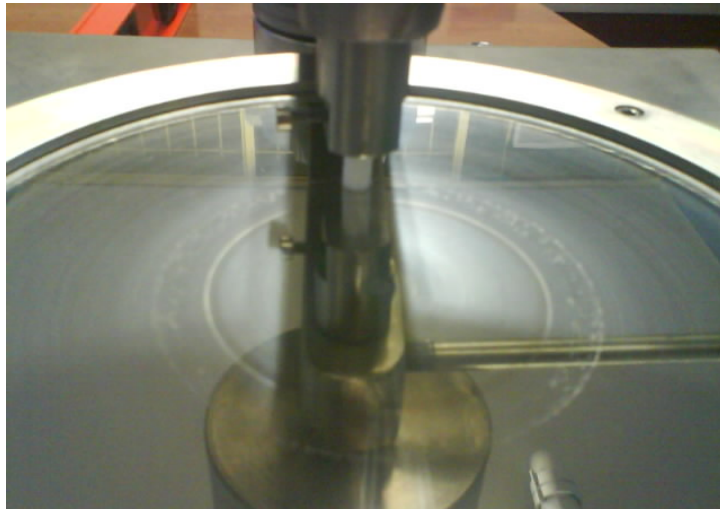
Figura 64. Resultados prueba pin teflón Universidad Nacional⁸



En la figura 65 se puede observar que el pin de teflón ha dejado una huella con el material desprendido.

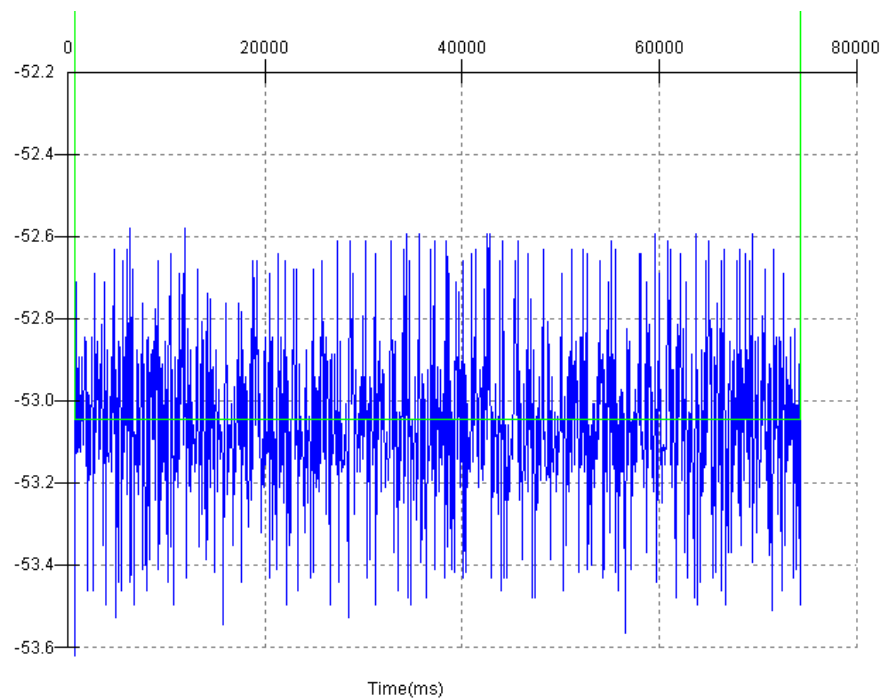
⁸ Giraldo Diego, Vélez Juan; Estudio De Desgaste De Deslizamiento En Seco De Algunos Plásticos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 2002

Figura 65. Muestra de material del pin en el disco



En la figura 66 se muestra la variación que presenta la velocidad en la prueba, en donde se observa que se encuentra entre el $\pm 1\%$ la cual está dentro de los parámetros permitidos por la norma.

Figura 66. Gráfica de variación de velocidad en la prueba con el pin 6



Adicionalmente se comprobó la relación entre el tiempo y la cantidad de vueltas necesarias para cumplir con la distancia requerida.

En las pruebas es posible observar que la máquina posee un alta homogeneidad en su operación, lo cual garantiza una muy buena repetitividad de las pruebas, siendo esta una de las demandas del laboratorio de tribología para el desarrollo de sus pruebas.

6. CONCLUSIONES

- Se cumplió el objetivo general del presente proyecto con la construcción de una máquina “Pin On Disc” la cual permite hacer investigación en el tema de desgaste y mejorar la competencia de los estudiantes en la comprensión de los temas de tribología.
- La herramienta QFD permitió enfocar el diseño a la satisfacción de las necesidades establecidas por la norma ASTM G99 y el Laboratorio de Tribología y Superficies de la UIS.
- La máquina construida cumple con los requisitos establecidos en la norma ASTM G-99 de velocidad, carga y disposiciones generales para el desarrollo de la prueba “Pin on disk”.
- El diseño de la estructura se realizó dejando las tolerancias más bajas posibles y empleando tornillería milimétrica que proporcione una alta rigidez a esta.
- La construcción colineal entre el pin y el eje de carga del brazo permite una eficiente aplicación de la carga sobre el pin, sin emplear piezas complejas ni sistemas auxiliares.
- El motor es un elemento servo-controlado que garantiza un alto nivel de fiabilidad en las pruebas, dada su continua retroalimentación para corroborar el cumplimiento de los parámetros de operación programados.

- La máquina está construida en acero inoxidable 304L garantiza una alta durabilidad por sus resistencia a la corrosión y una buena presentación.
- Los ensayos “Pin on Disk” desarrolladas evidencian una alta repetitibilidad en sus resultados, hecho que valida su uso en el desarrollo de investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM NORMA G 99-95a (2000) e1 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. ASTM Copyright. United States. 2000.

DEUTSCHMAN, Aaron. Diseño de máquinas. México: Continental. 1994. 973p.

FAIRES, Virgil. Diseño de elementos de máquinas. México: Limusa. 1998. 802p.

MARTÍNEZ, Francisco. La tribología, ciencia y técnica para el mantenimiento. México: Limusa, 1997. 325p

SARKAR A.D. Desgaste de metales. México: Limusa, 1990. 436p.

STOLARSKI, T.A. Tribology in machine design. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2000. 453p.

SHIGLEY, Joseph. Diseño en Ingeniería mecánica. México: Ed. Mc Graw Hill. 6° Edición. 2002. 944p.

SKF. Catálogo de rodamientos especiales. Berlín: SKF. 2003. 340p.

TORRES Weissleder Jenny. BARAJAS Oscar M. Diseño e implementación de equipo para medición de desgaste por el método PIN on DISK. Tesis de Grado Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 1995.



Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation G 99; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (€) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

€¹ NOTE—Editorial corrections were made throughout in May 2000.

1. Scope

1.1 This test method describes a laboratory procedure for determining the wear of materials during sliding using a pin-on-disk apparatus. Materials are tested in pairs under nominally non-abrasive conditions. The principal areas of experimental attention in using this type of apparatus to measure wear are described. The coefficient of friction may also be determined.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process²

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 178 Practice for Dealing with Outlying Observations²

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion³

2.2 Other Standard:⁴

DIN-50324 Testing of Friction and Wear

3. Summary of Test Method

3.1 For the pin-on-disk wear test, two specimens are required. One, a pin with a radiused tip, is positioned perpendicular to the other, usually a flat circular disk. A ball, rigidly held, is often used as the pin specimen. The test machine causes either the disk specimen or the pin specimen to revolve about the disk center. In either case, the sliding path is a circle on the disk surface. The plane of the disk may be oriented

either horizontally or vertically.

NOTE 1—Wear results may differ for different orientations.

3.1.1 The pin specimen is pressed against the disk at a specified load usually by means of an arm or lever and attached weights. Other loading methods have been used, such as, hydraulic or pneumatic.

NOTE 2—Wear results may differ for different loading methods.

3.2 Wear results are reported as volume loss in cubic millimetres for the pin and the disk separately. When two different materials are tested, it is recommended that each material be tested in both the pin and disk positions.

3.3 The amount of wear is determined by measuring appropriate linear dimensions of both specimens before and after the test, or by weighing both specimens before and after the test. If linear measures of wear are used, the length change or shape change of the pin, and the depth or shape change of the disk wear track (in millimetres) are determined by any suitable metrological technique, such as electronic distance gaging or stylus profiling. Linear measures of wear are converted to wear volume (in cubic millimetres) by using appropriate geometric relations. Linear measures of wear are used frequently in practice since mass loss is often too small to measure precisely. If loss of mass is measured, the mass loss value is converted to volume loss (in cubic millimetres) using an appropriate value for the specimen density.

3.4 Wear results are usually obtained by conducting a test for a selected sliding distance and for selected values of load and speed. One set of test conditions that was used in an interlaboratory measurement series is given in Table 1 and Table 2 as a guide. Other test conditions may be selected depending on the purpose of the test.

3.5 Wear results may in some cases be reported as plots of wear volume versus sliding distance using different specimens for different distances. Such plots may display non-linear relationships between wear volume and distance over certain portions of the total sliding distance, and linear relationships over other portions. Causes for such differing relationships include initial “break-in” processes, transitions between regions of different dominant wear mechanisms, etc. The extent of such non-linear periods depends on the details of the test system, materials, and test conditions.

3.6 It is not recommended that continuous wear depth data

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G02 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.40 on Non-Abrasive Wear.

Current edition approved Nov. 10, 1995. Published January 1996. Originally published as G 99–90. Last previous edition G 99 – 95.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

⁴ Available from Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 6, 1000 Berlin 30, Germany.

TABLE 1 Characteristics of the Interlaboratory Wear Test Specimens

NOTE 1—See Note 4 in 10.4 for information.

	Composition (weight%)	Microstructure	Hardness (HV 10)	Roughness ^A	
				R_z (mean) (μm)	R_a (mean) (μm)
Steel ball (100 Cr6) (AISI 52 100) ^B Diameter 10 mm	1.35 to 1.65 Cr ← 0.95 to 1.10 C 0.15 to 0.35 Si 0.25 to 0.45 Mn	martensitic with minor carbides and austenite	838 ± 21	0.100	0.010
Steel disc (100 Cr6) (AISI 52 100) ^C Diameter 40 mm	← <0.030 P ← <0.030 S	martensitic with minor carbides and austenite	852 ± 14	0.952	0.113
Alumina ball, diameter = 10 mm ^D	← 95 % Al ₂ O ₃ (with addi- tives of TiO ₂ ,	equi-granular alpha alumina with very minor secondary	1610 ± 101 (HV 0.2)	1.369	0.123
Alumina disc, diameter = 40.6 mm ^D	← MgO and ZnO)	phases	1599 ± 144 (HV 0.2)	0.968	0.041

^A Measured by stylus profilometry. R_z is maximum peak-to-valley roughness. R_a is arithmetic average roughness.

^B Standard ball-bearing balls (SKF).

^C Standard spacers for thrust bearings (INA).

^D Manufactured by Compagnie Industrielle des Ceramiques Electroniques, France.

TABLE 2 Results of the Interlaboratory Tests^A

NOTE 1— See Note 4 in 10.4.

NOTE 2—Numbers in parentheses refer to all data received in the tests. In accordance with Practice E 178, outlier data values were identified in some cases and discarded, resulting in the numbers without parentheses. The differences are seen to be small.

NOTE 3—Values preceded by ± are one standard deviation.

NOTE 4—Between eleven and twenty laboratories provided these data.

NOTE 5—Calculated quantities (for example, wear volume) are given as mean values only.

NOTE 6—Values labeled “NM” were found to be smaller than the reproducible limit of measurement.

NOTE 7—A similar compilation of test data is given in DIN-50324.

Results (ball) (disk)	Specimen Pairs			
	Steel-steel	Alumina-steel	Steel-alumina	Alumina-alumina
Ball wear scar diameter (mm)	2.11 ± 0.27 (2.11 ± 0.27)	NM	2.08 ± 0.35 (2.03 ± 0.41)	0.3 ± 0.06 (0.3 ± 0.06)
Ball wear volume (10 ⁻³ mm ³)	198 (198)	...	186 (169)	0.08 (0.08)
Number of values	102 (102)	...	60 (64)	56 (59)
Disk wear scar width (mm)	NM	0.64 ± 0.12 (0.64 ± 0.12)	NM	NM
Disk wear volume (10 ⁻³ mm ³)	...	480 (480)
Number of values	...	60 (60)
Friction coefficient	0.60 ± 0.11	0.76 ± 0.14	0.60 ± 0.12	0.41 ± 0.08
Number of values	109	75	64	76

^A Test conditions: $F = 10\text{ N}$; $v = 0.1\text{ ms}^{-1}$, $T = 23^\circ\text{C}$; relative humidity range 12 to 78 %; laboratory air; sliding distance 1000 m; wear track (nominal) diameter = 32 mm; materials: steel = AISI 52 100; and alumina = $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

obtained from position-sensing gages be used because of the complicated effects of wear debris and transfer films present in the contact gap, and interferences from thermal expansion or contraction.

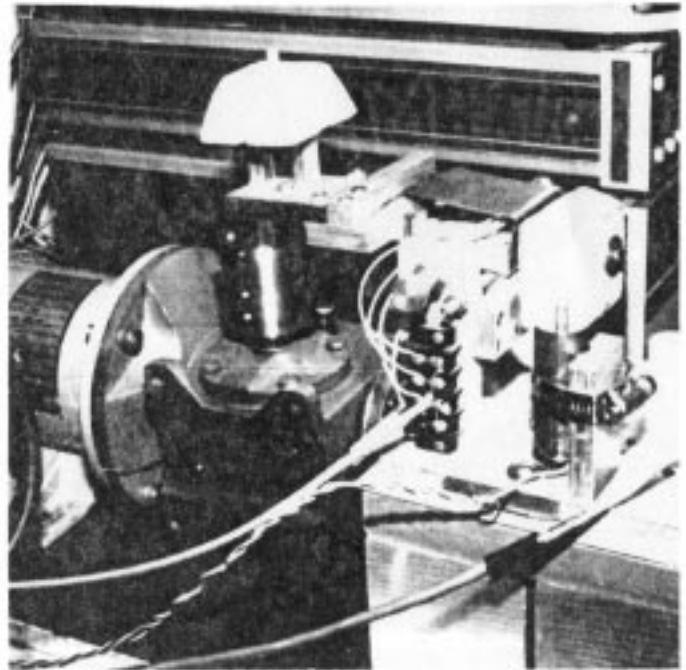
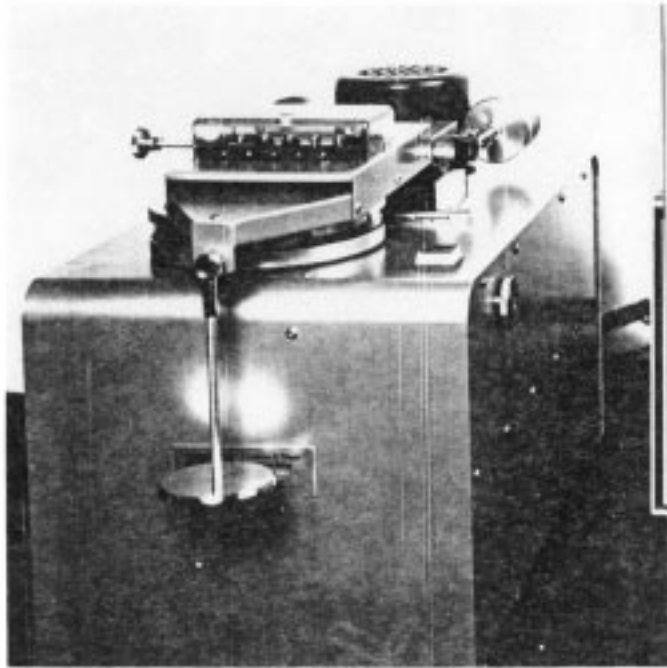
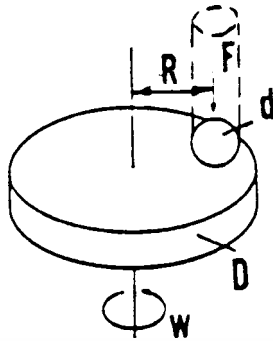
4. Significance and Use

4.1 The amount of wear in any system will, in general, depend upon the number of system factors such as the applied load, machine characteristics, sliding speed, sliding distance, the environment, and the material properties. The value of any wear test method lies in predicting the relative ranking of material combinations. Since the pin-on-disk test method does not attempt to duplicate all the conditions that may be experienced in service (for example; lubrication, load, pressure, contact geometry, removal of wear debris, and presence of corrosive environment), there is no assurance that the test will predict the wear rate of a given material under conditions differing from those in the test.

5. Apparatus

5.1 *General Description*—Fig. 1 shows a schematic drawing of a typical pin-on-disk wear test system, and photographs of two differently designed apparatuses.⁵ One type of typical system consists of a driven spindle and chuck for holding the revolving disk, a lever-arm device to hold the pin, and attachments to allow the pin specimen to be forced against the revolving disk specimen with a controlled load. Another type of system loads a pin revolving about the disk center against a stationary disk. In any case the wear track on the disk is a

⁵ A number of other reported designs for pin-on-disk systems are given in “A Catalog of Friction and Wear Devices,” American Society of Lubrication Engineers (1973). The sole source of supply of commercially built machines known to the committee at this time is Falex Corp., 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, ¹ which you may attend.



NOTE 1— F is the normal force on the pin, d is the pin or ball diameter, D is the disk diameter, R is the wear track radius, and w is the rotation velocity of the disk.

FIG. 1 (a) Schematic of pin-on-disk wear test system. (b) Photographs of two different designs.

circle, involving multiple wear passes on the same track. The system may have a friction force measuring system, for example, a load cell, that allows the coefficient of friction to be determined.

5.2 *Motor Drive*—A variable speed motor, capable of maintaining constant speed ($\pm 1\%$ of rated full load motor speed) under load is required. The motor should be mounted in such a manner that its vibration does not affect the test. Rotating speeds are typically in the range 0.3 to 3 rad/s (60 to 600 r/min).

5.3 *Revolution Counter*—The machine shall be equipped with a revolution counter or its equivalent that will record the number of disk revolutions, and preferably have the ability to shut off the machine after a pre-selected number of revolutions.

5.4 *Pin Specimen Holder and Lever Arm*— In one typical system, the stationary specimen holder is attached to a lever arm that has a pivot. Adding weights, as one option of loading, produces a test force proportional to the mass of the weights applied. Ideally, the pivot of the arm should be located in the plane of the wearing contact to avoid extraneous loading forces

due to the sliding friction. The pin holder and arm must be of substantial construction to reduce vibrational motion during the test.

5.5 *Wear Measuring Systems*—Instruments to obtain linear measures of wear should have a sensitivity of 2.5 μm or better. Any balance used to measure the mass loss of the test specimen shall have a sensitivity of 0.1 mg or better; in low wear situations greater sensitivity may be needed.

6. Test Specimens and Sample Preparation

6.1 *Materials*—This test method may be applied to a variety of materials. The only requirement is that specimens having the specified dimensions can be prepared and that they will withstand the stresses imposed during the test without failure or excessive flexure. The materials being tested shall be described by dimensions, surface finish, material type, form, composition, microstructure, processing treatments, and indentation hardness (if appropriate).

6.2 *Test Specimens*—The typical pin specimen is cylindrical or spherical in shape. Typical cylindrical or spherical pin

specimen diameters range from 2 to 10 mm. The typical disk specimen diameters range from 30 to 100 mm and have a thickness in the range of 2 to 10 mm. Specimen dimensions used in an interlaboratory test with pin-on-disk systems are given in Table 1.

6.3 *Surface Finish*—A ground surface roughness of 0.8 μm (32 $\mu\text{in.}$) arithmetic average or less is usually recommended.

NOTE 3—Rough surfaces make wear scar measurement difficult.

6.3.1 Care must be taken in surface preparation to avoid subsurface damage that alters the material significantly. Special surface preparation may be appropriate for some test programs. State the type of surface and surface preparation in the report.

7. Test Parameters

7.1 *Load*—Values of the force in Newtons at the wearing contact.

7.2 *Speed*—The relative sliding speed between the contacting surfaces in metres per second.

7.3 *Distance*—The accumulated sliding distance in meters.

7.4 *Temperature*—The temperature of one or both specimens at locations close to the wearing contact.

7.5 *Atmosphere*—The atmosphere (laboratory air, relative humidity, argon, lubricant, etc.) surrounding the wearing contact.

8. Procedure

8.1 Immediately prior to testing, and prior to measuring or weighing, clean and dry the specimens. Take care to remove all dirt and foreign matter from the specimens. Use non-chlorinated, non-film-forming cleaning agents and solvents. Dry materials with open grains to remove all traces of the cleaning fluids that may be entrapped in the material. Steel (ferromagnetic) specimens having residual magnetism should be demagnetized. Report the methods used for cleaning.

8.2 Measure appropriate specimen dimensions to the nearest 2.5 μm or weigh the specimens to the nearest 0.0001 g.

8.3 Insert the disk securely in the holding device so that the disk is fixed perpendicular ($\pm 1^\circ$) to the axis of the resolution.

8.4 Insert the pin specimen securely in its holder and, if necessary, adjust so that the specimen is perpendicular ($\pm 1^\circ$) to the disk surface when in contact, in order to maintain the necessary contact conditions.

8.5 Add the proper mass to the system lever or bale to develop the selected force pressing the pin against the disk.

8.6 Start the motor and adjust the speed to the desired value while holding the pin specimen out of contact with the disk. Stop the motor.

8.7 Set the revolution counter (or equivalent) to the desired number of revolutions.

8.8 Begin the test with the specimens in contact under load. The test is stopped when the desired number of revolutions is achieved. Tests should not be interrupted or restarted.

8.9 Remove the specimens and clean off any loose wear debris. Note the existence of features on or near the wear scar such as: protrusions, displaced metal, discoloration, microcracking, or spotting.

8.10 Remeasure the specimen dimensions to the nearest 2.5 μm or reweigh the specimens to the nearest 0.0001 g, as appropriate.

8.11 Repeat the test with additional specimens to obtain sufficient data for statistically significant results.

9. Calculation and Reporting

9.1 The wear measurements should be reported as the volume loss in cubic millimetres for the pin and disk, separately.

9.1.1 Use the following equations for calculating volume losses when the pin has initially a spherical end shape of radius R and the disk is initially flat, under the conditions that only one of the two members wears significantly:

$$\begin{aligned} \text{pin (spherical end) volume loss, mm}^3 & \quad (1) \\ &= \frac{\pi (\text{wear scar diameter, mm})^4}{64 (\text{sphere radius, mm})} \end{aligned}$$

assuming that there is *no significant disk wear*. This is an approximate geometric relation that is correct to 1 % for (wear scar diameter/sphere radius) < 0.3, and is correct to 5 % for (wear scar diameter/sphere radius) < 0.7. The exact equation is given in Appendix X1.

$$\begin{aligned} \text{disk volume loss, mm}^3 & \quad (2) \\ &= \frac{\pi (\text{wear track radius, mm})(\text{track width, mm})^3}{6 (\text{sphere radius, mm})} \end{aligned}$$

assuming that there is *no significant pin wear*. This is an approximate geometric relation that is correct to 1 % for (wear track width/sphere radius) < 0.3, and is correct to 5 % for (wear track width/sphere radius) < 0.8. The exact equation is given in Appendix X1.

9.1.2 Calculation of wear volumes for pin shapes of other geometries use the appropriate geometric relations, recognizing that assumptions regarding wear of each member may be required to justify the assumed final geometry.

9.1.3 Wear scar measurements should be done at least at two representative locations on the pin surfaces and disk surfaces, and the final results averaged.

9.1.4 In situations where both the pin and the disk wear significantly, it will be necessary to measure the wear depth profile on both members. A suitable method uses stylus profiling. Profiling is the only approach to determine the exact final shape of the wear surfaces and thereby to calculate the volume of material lost due to wear. In the case of disk wear, the average wear track profile can be integrated to obtain the track cross-section area, and multiplied by the average track length to obtain disk wear volume. In the case of pin wear, the wear scar profile can be measured in two orthogonal directions, the profile results averaged, and used in a figure-of-revolution calculated for pin wear volume.

9.1.5 While mass loss results may be used internally in laboratories to compare materials of equivalent densities, this test method reports wear as volume loss so that there is no confusion caused by variations in density. Take care to use and report the best available density value for the materials tested when calculating volume loss from measured mass loss.

9.1.6 Use the following equation for conversion of mass loss to volume loss.

$$\text{volume loss, mm}^3 = \frac{\text{mass loss, g}}{\text{density, g/cm}^3} \times 1000. \quad (3)$$

9.2 If the materials being tested exhibit considerable transfer between specimens without loss from the system, volume loss may not adequately reflect the actual amount or severity of wear. In these cases, this test method for reporting wear should not be used.

9.3 Friction coefficient (defined in Terminology G 40) should be reported when available. Describe the conditions associated with the friction measurements, for example, initial, steady-state, etc.

9.4 Adequate specification of the materials tested is important. As a minimum, the report should specify material type, form, processing treatments, surface finish, and specimen preparation procedures. If appropriate, indentation hardness should be reported.

10. Precision and Bias ⁶

10.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test method will depend upon the test parameters chosen.

10.2 The reproducibility of repeated tests on the same material will depend upon material homogeneity, machine and material interaction, and careful adherence to the specified procedure by the machine operator.

10.3 Normal variations in the procedure will tend to reduce the accuracy of the test method as compared to the accuracy of such material property tests as hardness, density, or thermal expansion rate. Properly conducted tests should, however, maintain a within-laboratory coefficient of variation of 20 % or less for wear loss values. Table 2 contains wear data obtained

from interlaboratory tests (see Note 4). Standard deviation values are given for the measured quantities. Limits of 95 % repeatability can be obtained by multiplying those standard deviation values by the factor 2.8 ×. Reproducibility limits (between laboratories) are not available but are estimated to be twice as large as the repeatability limits.

10.4 No bias can be assigned to these results since there are no absolute accepted values for wear.

NOTE 4—The interlaboratory data given in Table 1 and Table 2 resulted through the cooperation of thirty one institutions in seven countries with the help of national representatives within the Versailles Advanced Materials and Standards (VAMAS) working party on wear test methods.⁷

10.5 In any test series, all data must be considered in the calculation, including outliers (data exceeding the obvious range); they are treated according to Practice E 178.

10.6 While two or more laboratories may develop test data that is within the acceptable coefficient of variation for their own individual test apparatus, the actual data of each laboratory may be relatively far apart. The selection of sample size and the test method for establishing the significance of the difference in averages shall be agreed upon between laboratories and shall be based on established statistical methods of Practice E 122, Practice E 177, and STP 15D.⁸

11. Keywords

11.1 ceramic wear; friction; metal wear; non-abrasive; pin-on-disk; wear

⁷ Czichos, H., Becker, S., and Lexow, J., *Wear*, Vol 114, 1987, pp 109–130 and *Wear*, Vol 118, 1987, pp 379–380.

⁸ Manual on Quality Control of Materials, ASTM STP 15D, ASTM, 1951.

⁶ Additional data are available at ASTM Headquarters.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. EQUATIONS

X1.1 Exact equations for determining wear volume loss are as follows for:

X1.1.1 A spherical ended pin:

$$\text{pin volume loss} = (\pi h/6)[3d^2/4 + h^2] \tag{X1.1}$$

Assuming no significant disk wear.

X1.1.2 A disk:

$$\text{disk volume loss} = 2\pi R [r^2 \sin^{-1}(d/2r) - (d/4)(4r^2 - d^2)^{1/2}] \tag{X1.2}$$

where:

R = wear track radius, and
 d = wear track width.

Assuming no significant pin wear.

where:

h = $r - [r^2 - d^2/4]^{1/2}$
 d = wear scar diameter, and
 r = pin end radius.

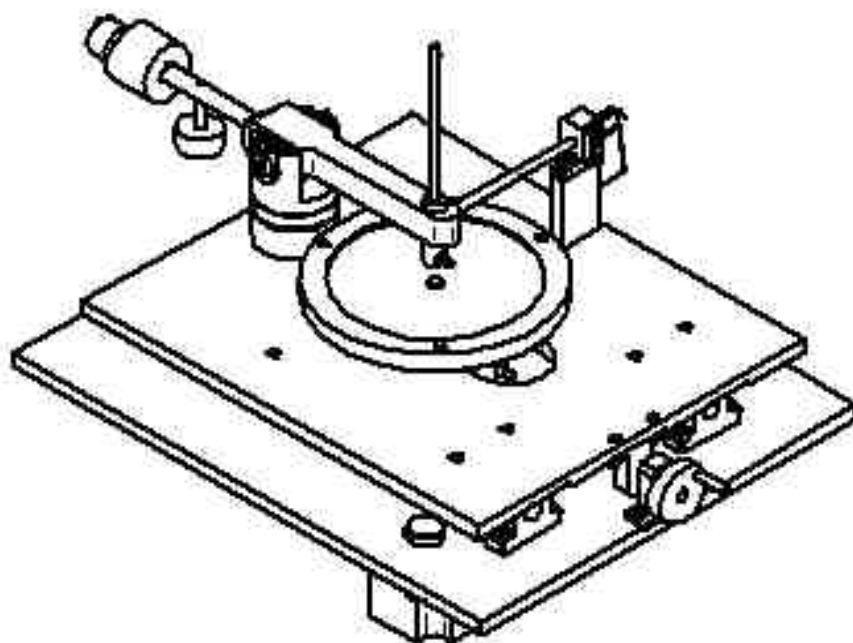
The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.



G 99

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZAN° 00 *Planos generales*

Diseño y dibujo: *BERNARDO JAR VILLAR HERNÁNDEZ*
CÉSAR DAMIÁN REY MERLO

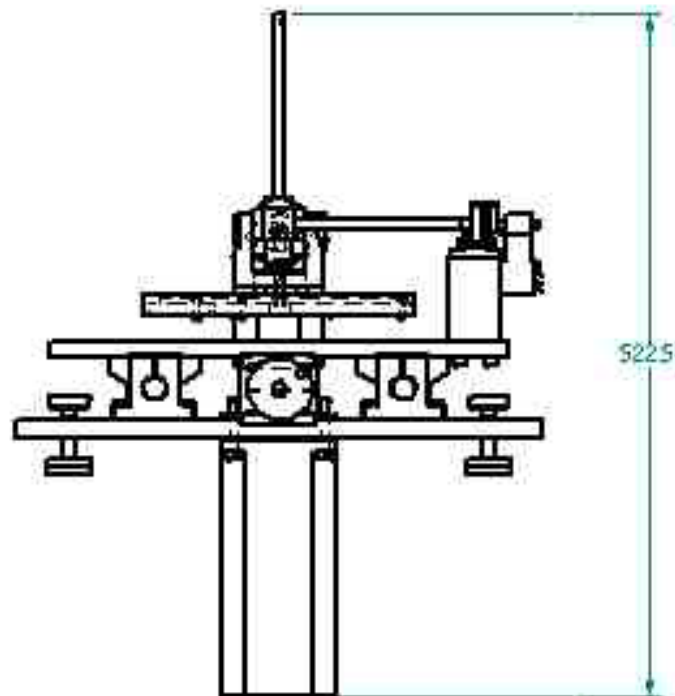
MATERIAL: CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: *MS. ENRIQUE GONZÁLEZ*

FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:4 PLANO N°: 00_0



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 00 Planos generales

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: CANTIDAD: 1

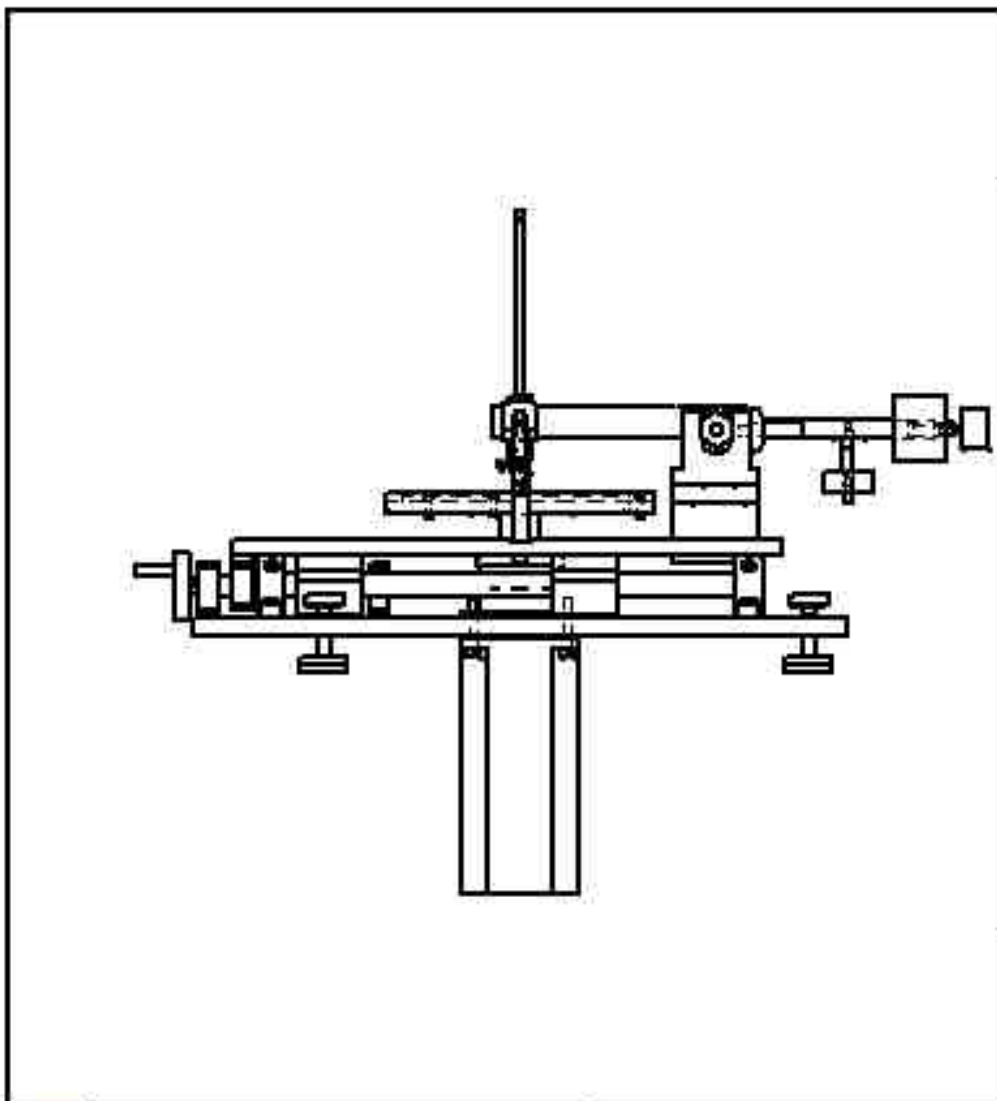
OBSERVACIONES:

Aprobó: ING. ISMAEL GONZALEZ

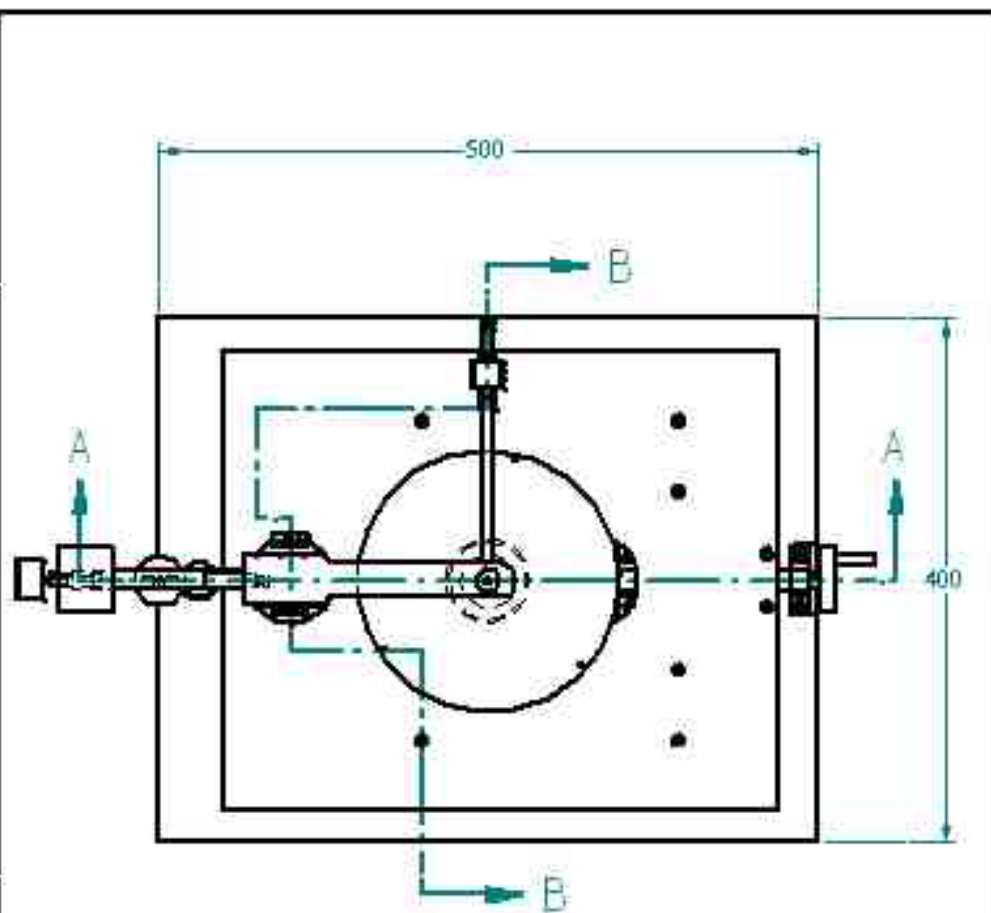
FECHA: 06/2007


ESCALA: 1:4

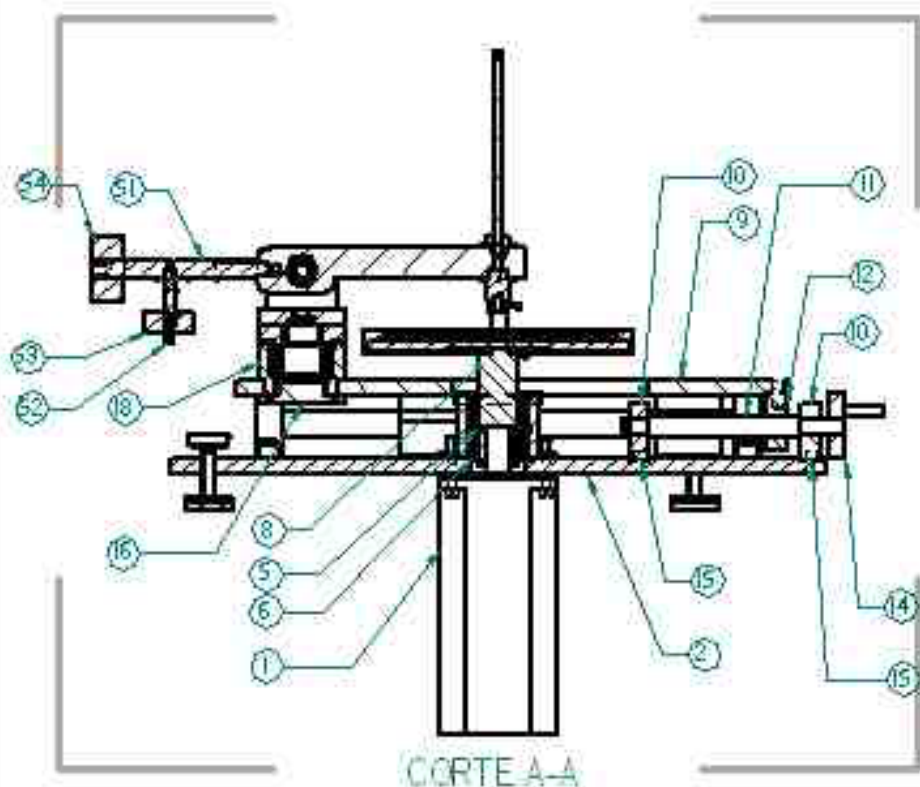
PLANO N°: 00_2



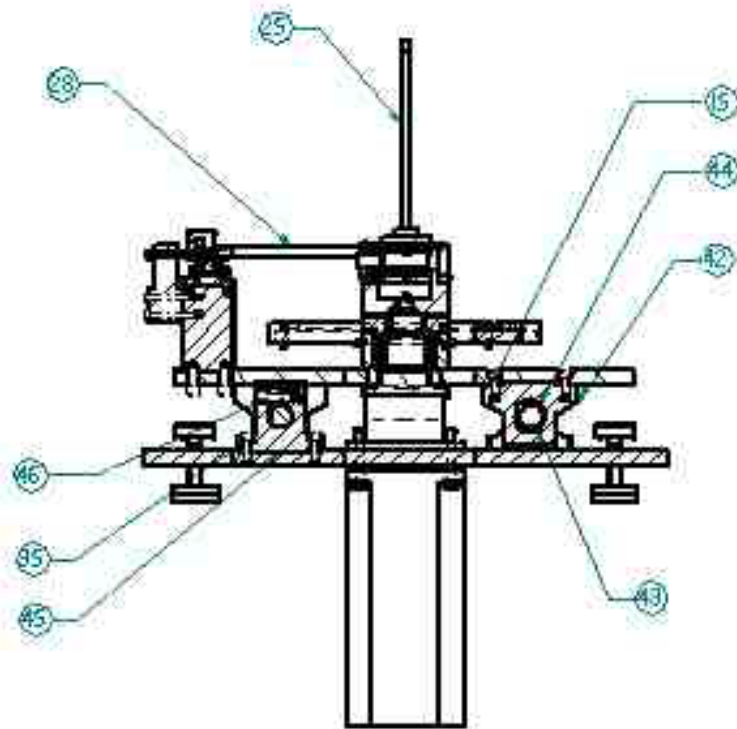
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
	PEZAN° 00		Planos generales	
Diseñó y dibujó: GERMÁN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MERLO		MATERIAL:	CANTIDAD: 1	
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		OBSERVACIONES:		
FECHA: 06/2007		ESCALA: 1:4	PLANO N°: 00-1	



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MELO		PEZAN° 00: <i>Planos generales</i>	
aprobó: ING. ENRIQUE GONZÁLEZ		MATERIAL:	CANTIDAD: 1	
FECHA: 06/2007		OBSERVACIONES:		
		ESCALA: 1:4	PLANON°: 00-1	



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
			PEZAN 00 <i>Planos generales</i>	
Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ ÉSAR DAMIÁN REY MERLO		MATERIAL:	CANTIDAD: 1	
Aprobó: DR. IGNACIO GONZÁLEZ		OBSERVACIONES:		
FECHA: 06/2007		ESCALA: 1:4	PLANO N°: 00_4	



CORTE E-B-U



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZANº 00 Planos generales

Diseño y dibujo: GERMAN JARVILAR HERNÁNDEZ
CÉSAR DAMIÁN REY MERLO

MATERIAL: CANTIDAD: 1

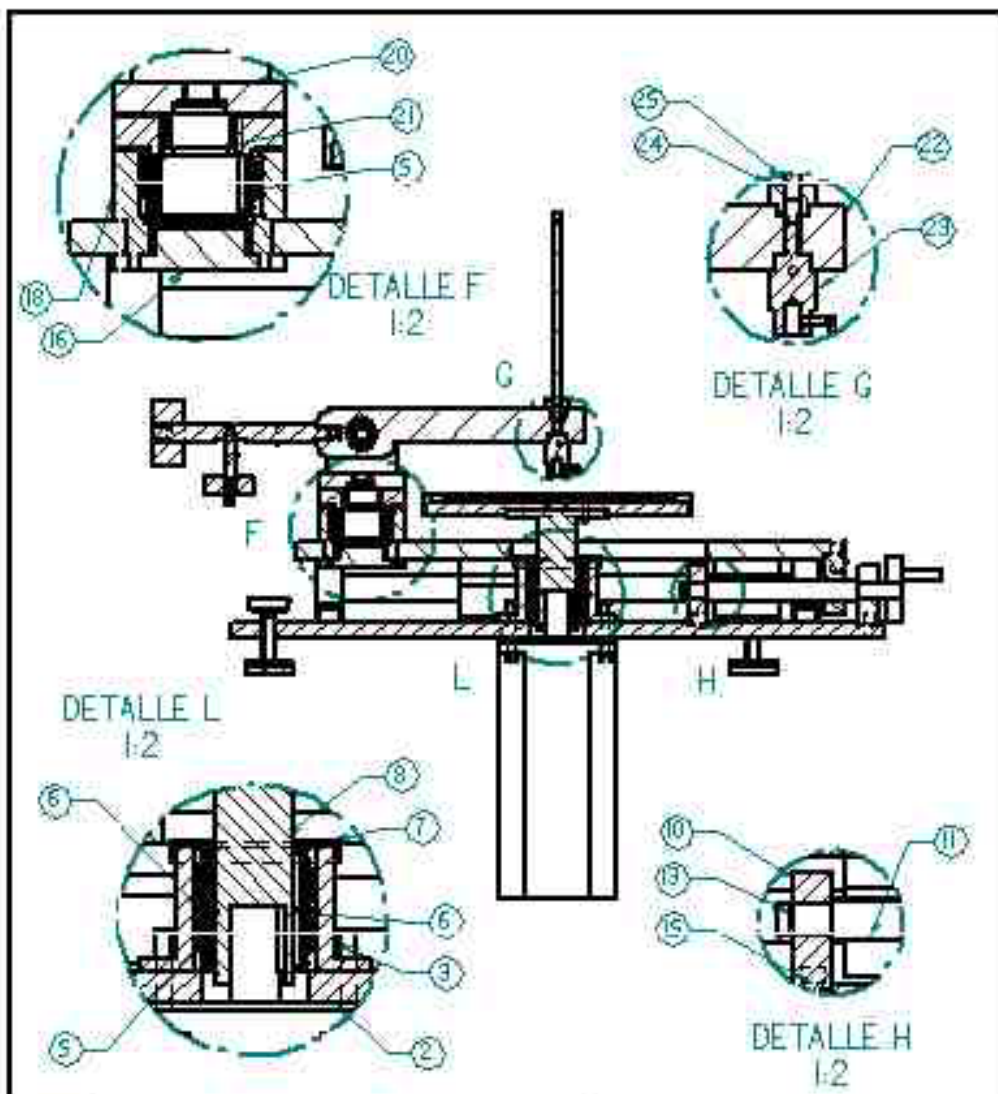
OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

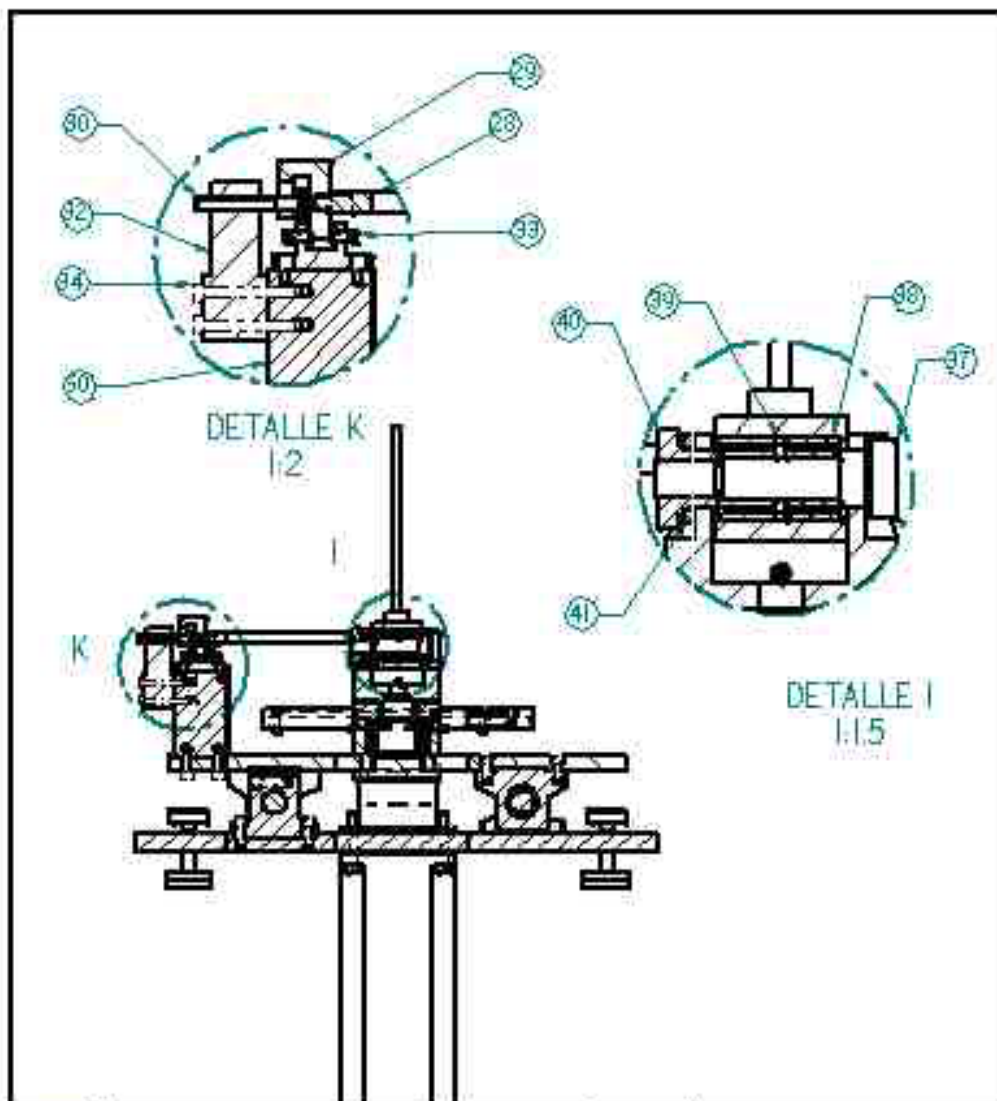
FECHA: 06.2007

ESCALA: 1:4

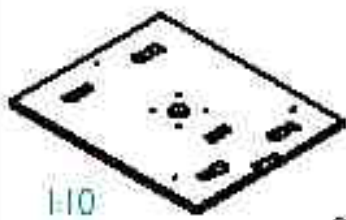
PLANO Nº: 00_5



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
		PEZANº 00 <i>Planos generales</i>	
Diseñó y dibujó: GERMÁN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MERLO		MATERIAL:	CANTIDAD: 1
aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		OBSERVACIONES:	
FECHA: 06.2007		ESCALA: 1:4	PLANO Nº: 00-6

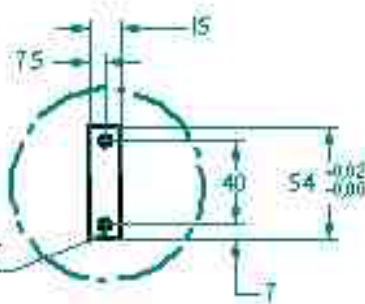


	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
			PEZAN° 00 <i>Planos generales</i>	
Diseñó y dibujó: GERMÁN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MERLO		MATERIAL:	CANTIDAD: 1	
Aprobó: MS. ISABELO GONZÁLEZ		OBSERVACIONES:		
FECH: 06/2007		ESCALA: 1:4	PLANO N°: 00_7	



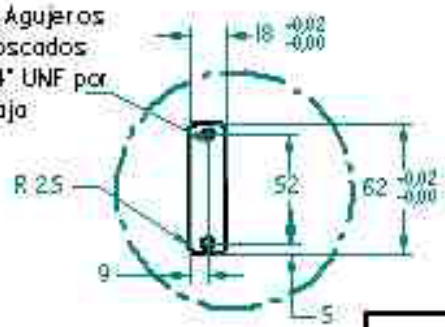
1:10

2 Agujeros roscados 1/4 UNF



DETALLE B
1:2.5

2 Agujeros roscados 1/4 UNF por caja

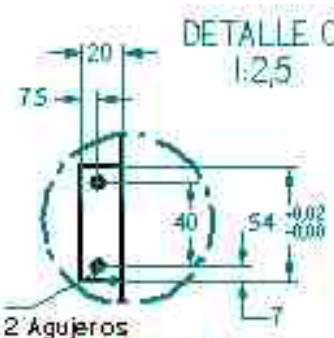


DETALLE A
1:2.5

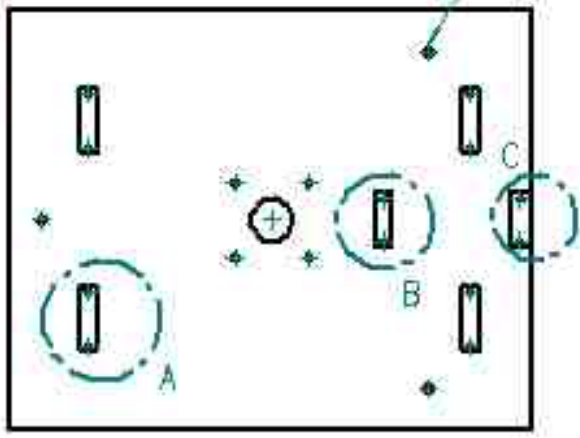
Nota: Profundidad de todas las cajas 2.5 mm

3 Agujeros roscados Ø1/4 UNF

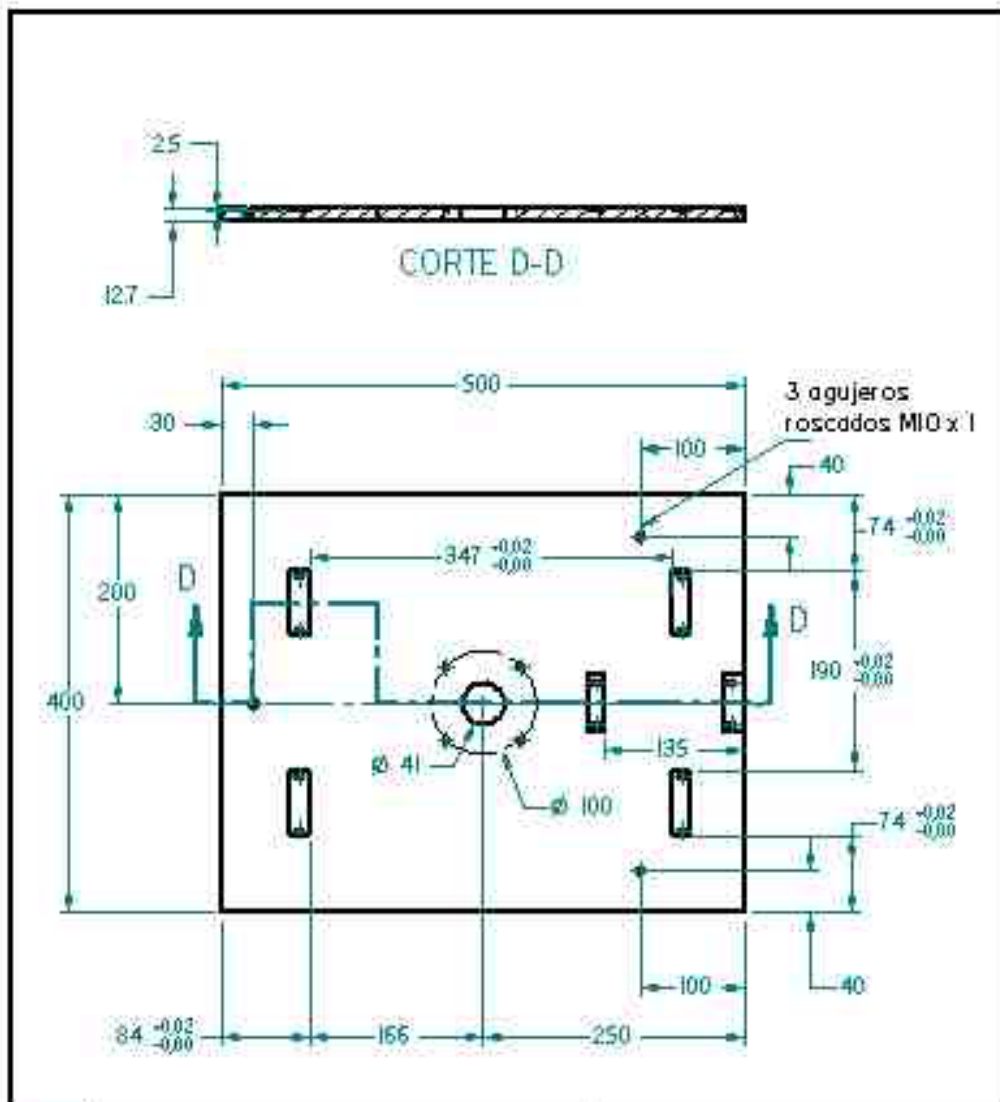
DETALLE C
1:2.5



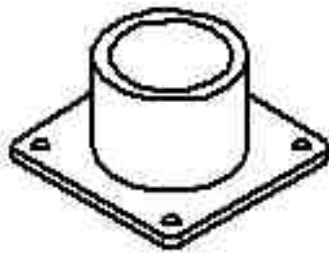
2 Agujeros roscados 1/4 UNF



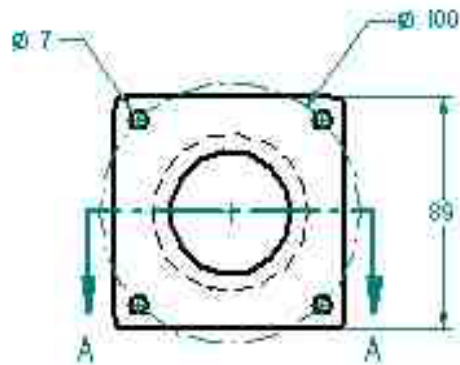
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PUN SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ CÉSAR DANIVAN REY MERLO	PEZAN° 02: <i>Mesa inferior</i>	MATERIAL: INOX 304
aprobó: MS. EMARDO GONZALEZ	FECHA: 06/02/07	OBSERVACIONES:	
		ESCALA: 1:5	PLANON°: 01-3



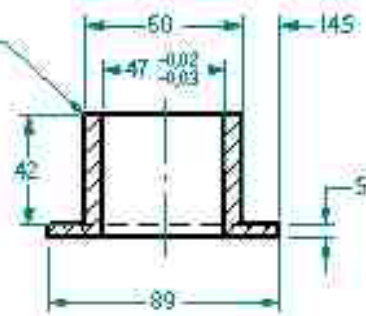
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PIV SOBRE DISCO	
			PEZAN° 02: Mesa inferior
Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ LEÓBAR DAMIÁN REY MELO		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		OBSERVACIONES:	
FECHA: 06/02/07		ESCALA: 1:5	PLAN N°: 01-2



1:2



Rosca M60X2
Prof: 10mm



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PDI SOBRE DISCO

PEZAN° 03: Soporte del motor

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

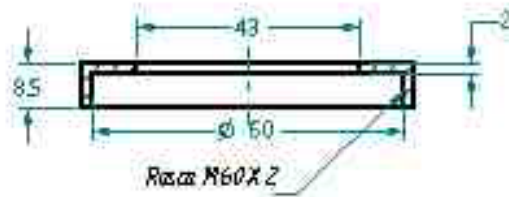
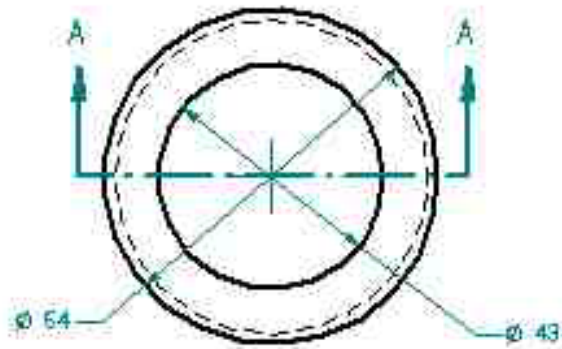
FECHA: 06.2007

ESCALA: 1:2

PLANON°: 02



1/2



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZAN° 07: Tuerca del soporte del motor

Diseñó y dibujó: **SERRAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ**
LEISAR DAMIAN REY MERLO

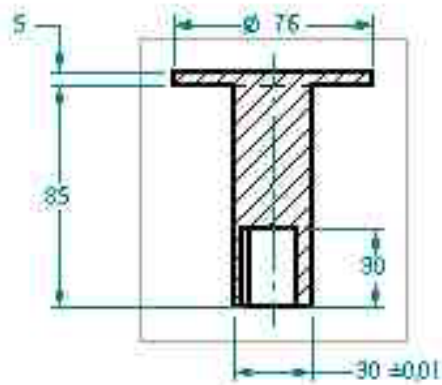
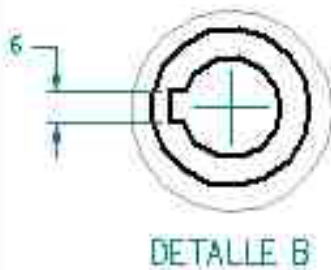
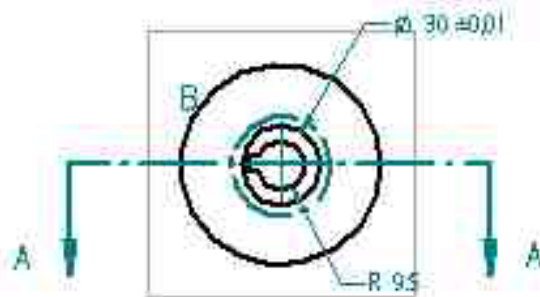
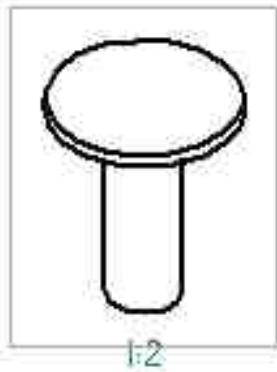
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

OBSERVACIONES:

FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:1 PLANO N°: 04



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZA N° 08 Base del disco

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DANIEL REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

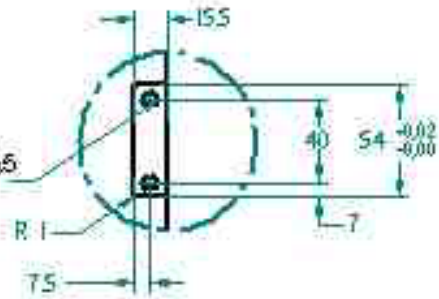
FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:2 PLAN N°: 05



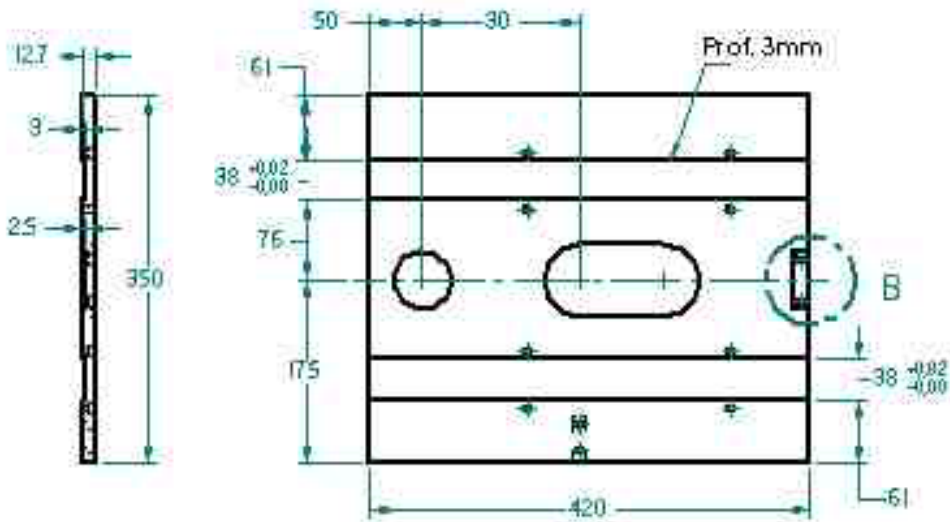
1110

2 Agujeros pasantes \varnothing 6,5



Nota: Profundidad de la caja 2,5 mm.

DETALLE B
1:2,5



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 09: Mesa superior

Diseño y dibujo: SERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
LÉJAR DANIVAN REY MERLO

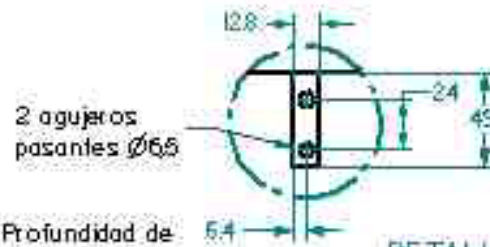
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

FECHA: 06/2007

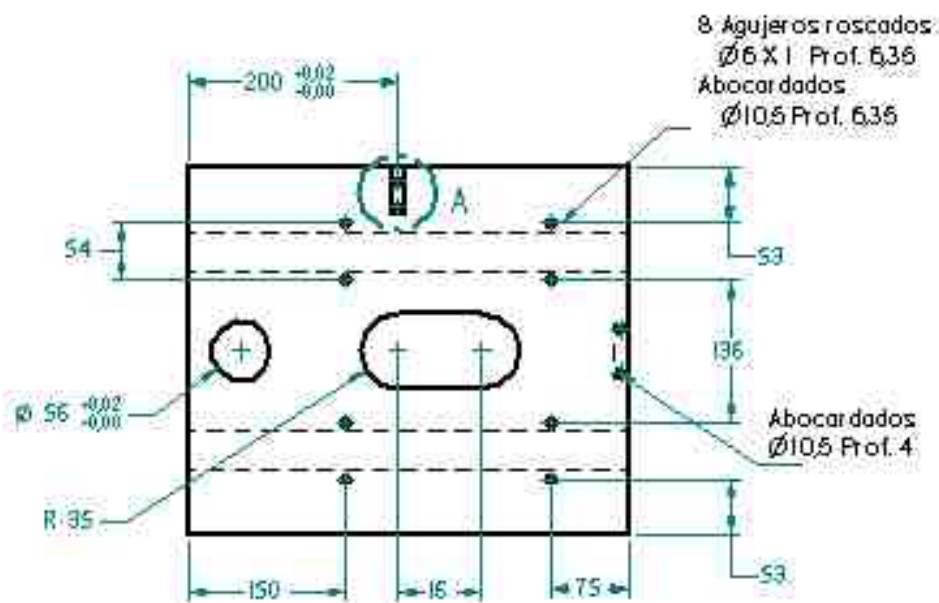
ESCALA: 1:5 PLANO N°: 05-1



2 agujeros pasantes $\varnothing 6.5$

Nota: Profundidad de la caja 2.5 mm.

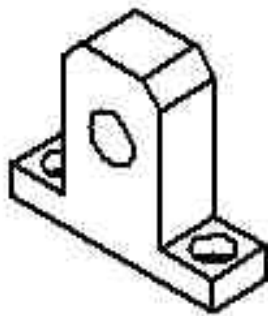
DETALLE A



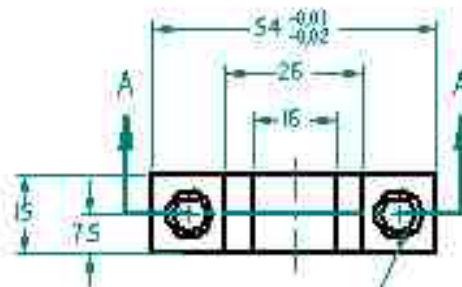
8 Agujeros roscados:
 $\varnothing 6 \times l$ Prof. 6.35
Abocardados
 $\varnothing 10.5$ Prof. 6.35

Abocardados
 $\varnothing 10.5$ Prof. 4

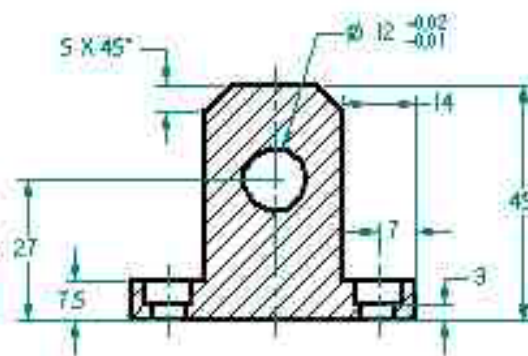
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PDM SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: BERNARDO JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMYAN REY MELO		PEZAN° 09: <i>Mesa superior</i>	
aprobó: MS. IGNACIO GONZÁLEZ		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1	
FECHA: 06.12.07		OBSERVACIONES:	ESCALA: 1:5	
			PEZAN°: 05-2	



1:1



2 Agujeros $\varnothing 6,5$
Abocadados $\varnothing 10 \times 4,5$



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 10 Apoyo para arrastre

Diseño y dibujo: **BERNARDO VILLAR HERNÁNDEZ**
LEÓBAR DANUVI REY MERLO

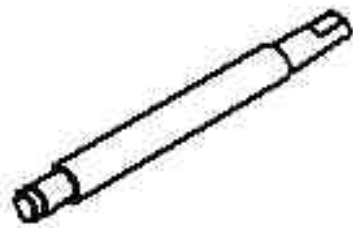
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 2

OBSERVACIONES:

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

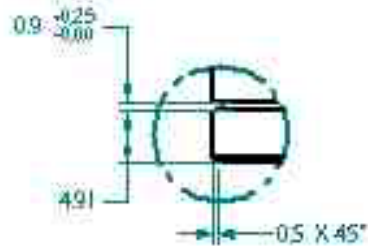
FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:1 PLANO N°: 07

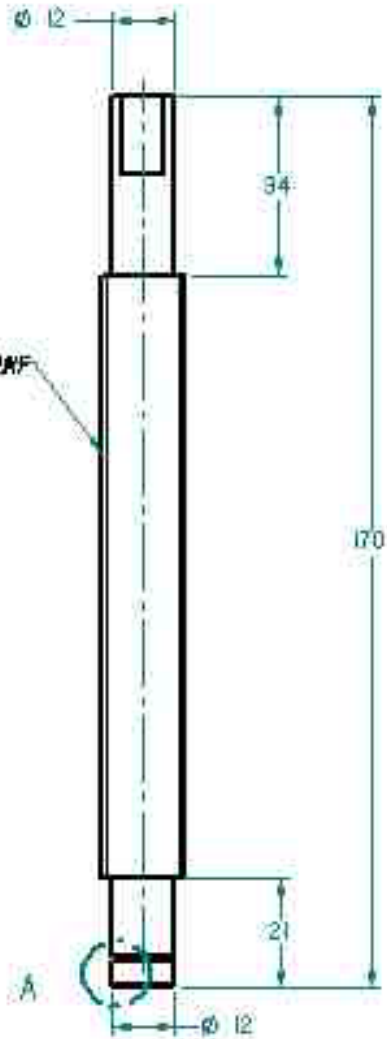


1:2

Rosca: 5/8" UNF



DETALLE A
2:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZAN° 11: Tornillo de desplazamiento

Diseño y dibujo: BERNAR JAR VILLAR HERNÁNDEZ
CÉSAR DAMIÁN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

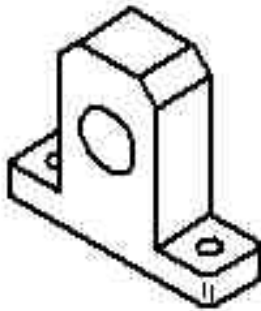
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

OBSERVACIONES:

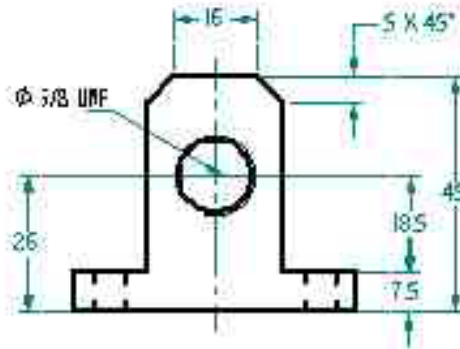
FECHA: 02.2.2007

ESCALA: 1:1

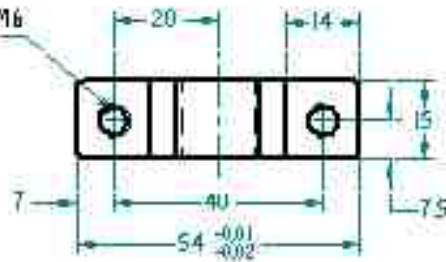
PLANO N°: 08



iii



2 Agujeros roscados M6



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIV SOBRE DISCO

PEZAN° 2: Tuerca de desplazamiento

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

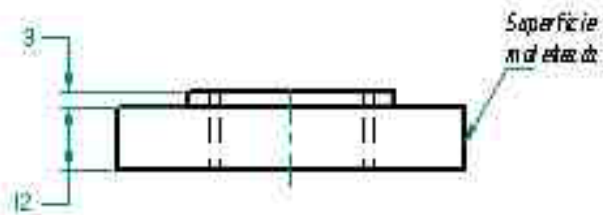
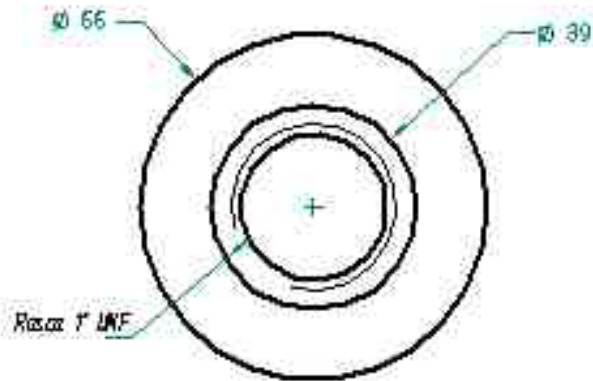
FECHA: 02/02/07

ESCALA: 1:1

PLAN N°: 07



1:2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZAN° 19: Tuerca del eje vertical

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 3

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

FECHA: 06/2007

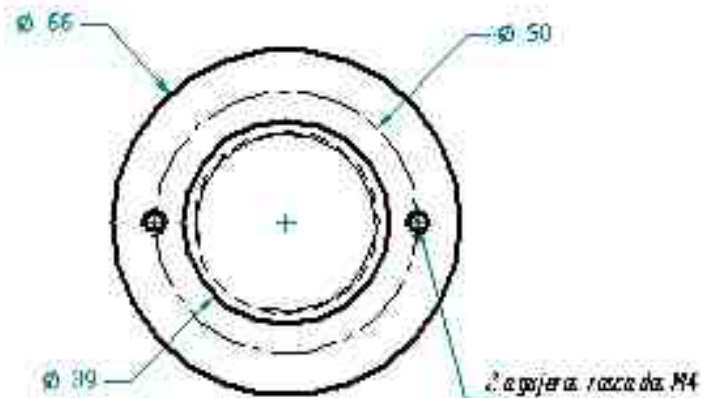
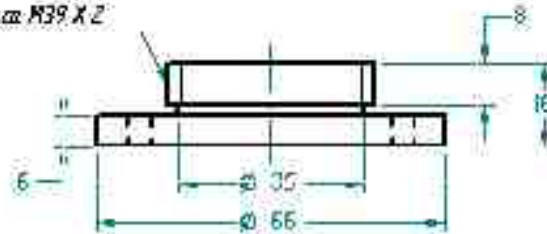
ESCALA: 1:1

PLAN O°: 12



12

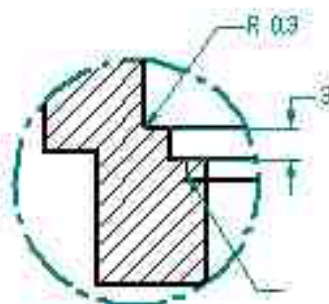
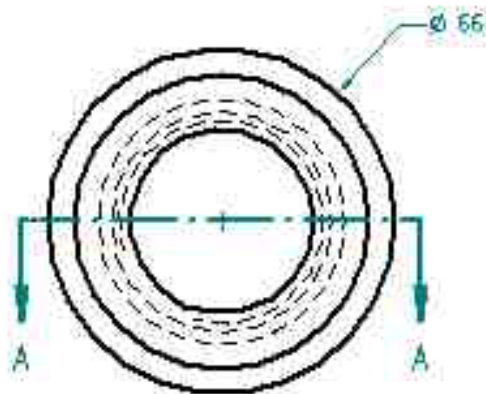
Rosca M39 X 2



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
		PEZA N° 16: Tuerca soporte del brazo	
Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ LEISAR DAMIAN REY MERLO		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		OBSERVACIONES:	
FECHA: 02/02/007		ESCALA: 1:1	PLAN N°: 10

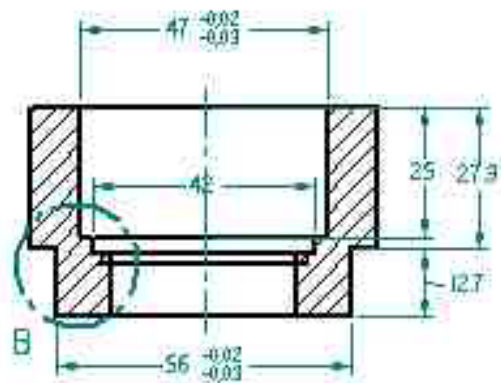


1:2



DETALLE B
2:1

Rosca M39 x 2



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZA N° 18: Soporte del brozo

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

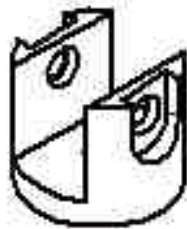
OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

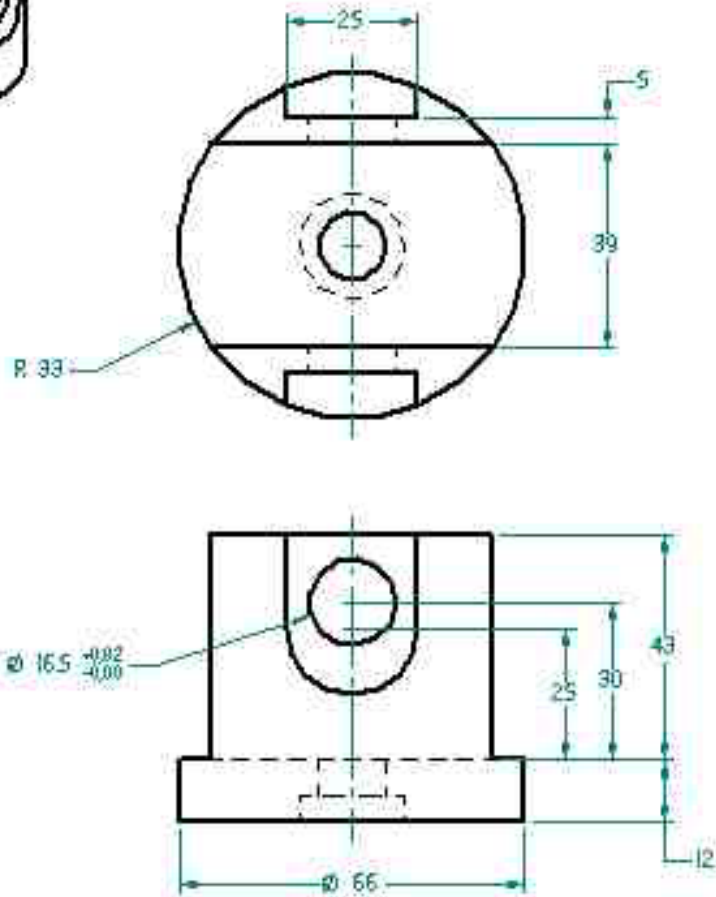
FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:1

PLANO N°: 11



1:2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 20 Horquilla

Diseño y dibujo: BERMAN JAR VILAR HERNÁNDEZ
CÉSAR DAMIÁN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

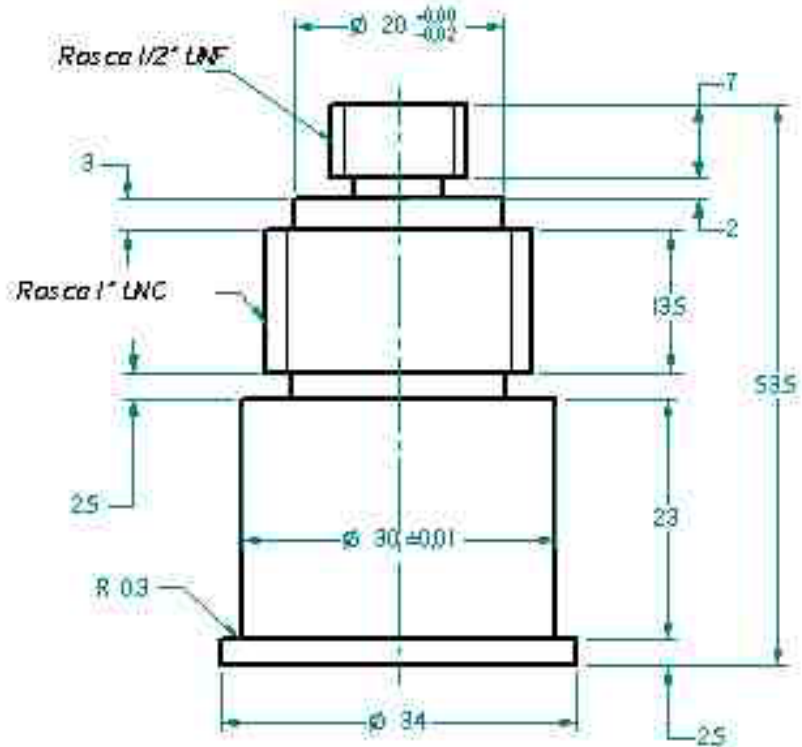
OBSERVACIONES:

FECHA: 06/2/007

ESCALA: 2:1 PLANO N°: B-1



1:2

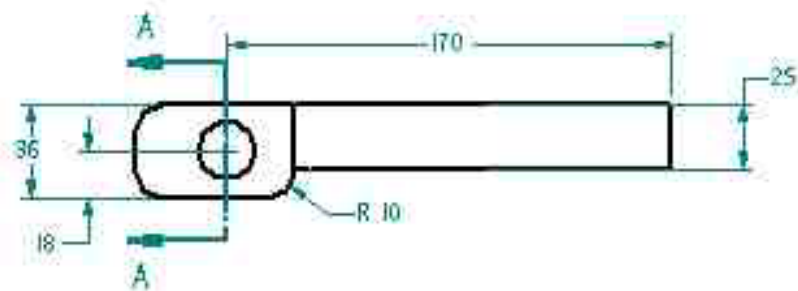
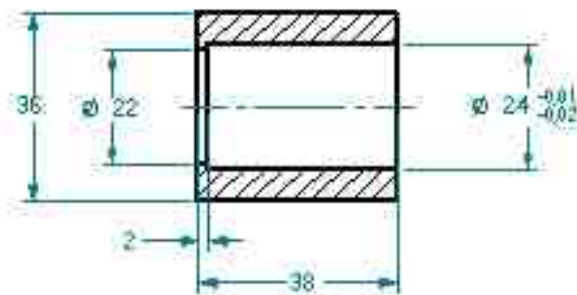


	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PUN SOBRE DISCO	
		PEZANº 21:	Eje vertical
Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ CESAR DAMIAN REY MERLO		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ		OBSERVACIONES:	
FECHA: 06/2007		ESCALA: 1:1	PLANO Nº: 14



1:5

CORTE A-A
1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 22

BRUNO

Diseño y dibujo: **SEMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ**
ÉSAR DANVIN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304

CANTIDAD: 1

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

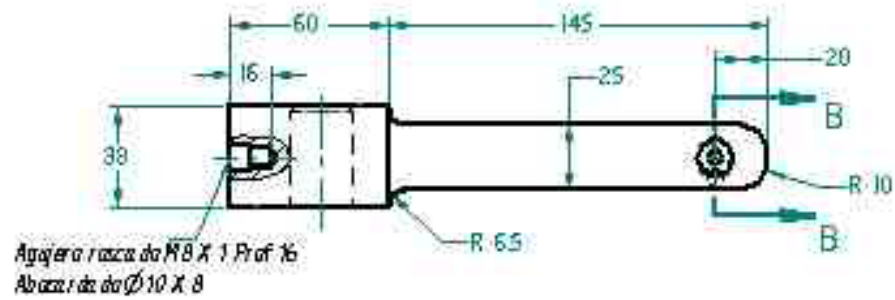
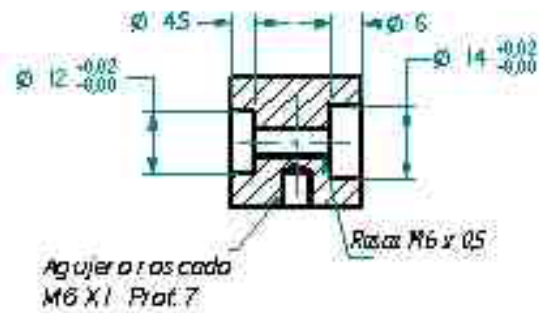
OBSERVACIONES:

FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:2

PLANO N°: 15-1

CORTE B-B
1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIV SOBRE DISCO

PEZAN 22.

BRZO

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MELO

MATERIAL: INOX 304

CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENARDO GONZALEZ

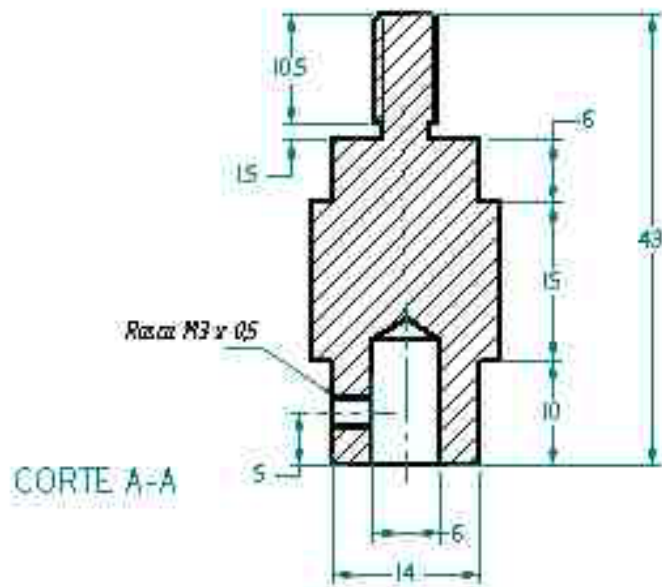
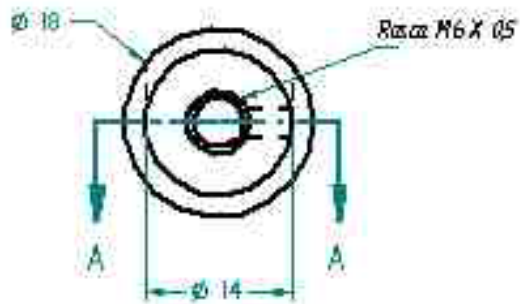
FECHA: 06/02/07

ESCALA: 1:2

PLAN/Nº: 15-2



1:1



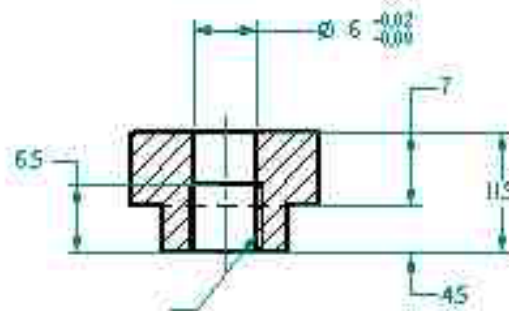
CORTE A-A

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
		PEZAN° 23: <i>Para topobetas</i>	
Diseñó y dibujó:	GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ CESAR DAMIAN REY MERLO	MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1
Aprobó:	MS. ENRIQUE GONZALEZ	OBSERVACIONES:	
FECHA: 06/2007		ESCALA: 2:1	PLANON°: 16

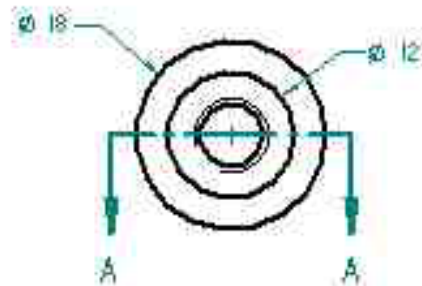


1:1

CORTE A-A



Rosca M6 x 0.5



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 24: Base de carga axial

Diseño y dibujo: SERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
LÉSCAR DANIVAN REY MERLO

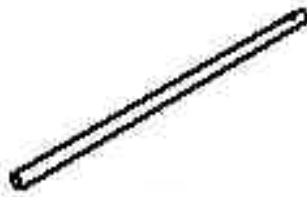
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

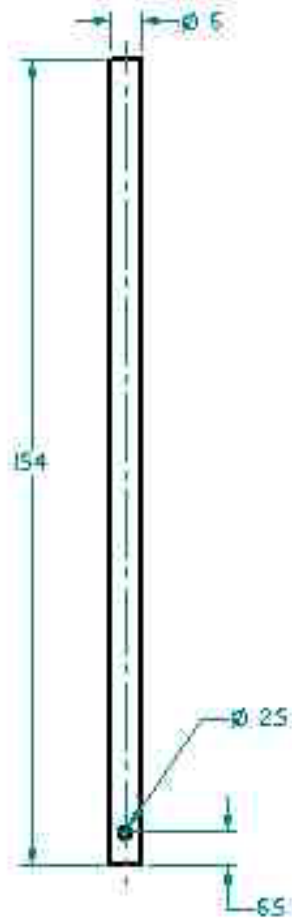
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

FECHA: 06/2007

ESCALA: 2:1 PLANO N°: 17



1:2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 25 *Guía de carga*

Diseño y dibujo: *SERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ*
LEÓBAR DANUVY REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

Aprobó: *MS. ENRIQUE GONZÁLEZ*

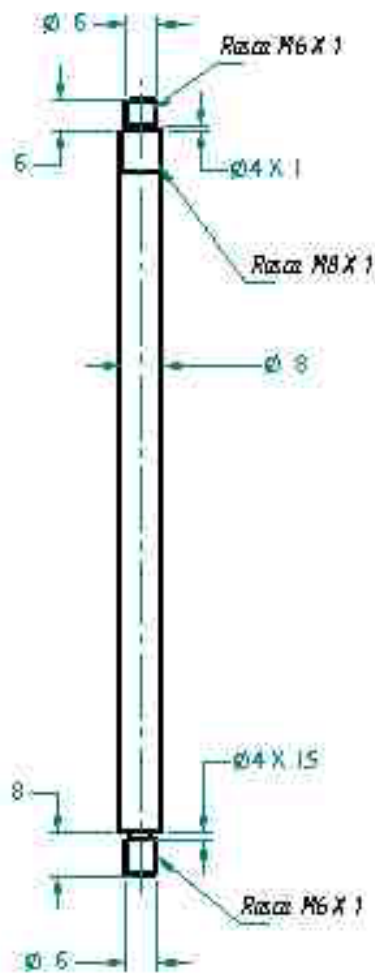
OBSERVACIONES:

FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:1 PLANO N°: 18

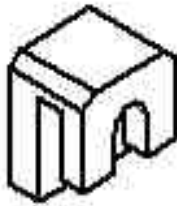


1:2

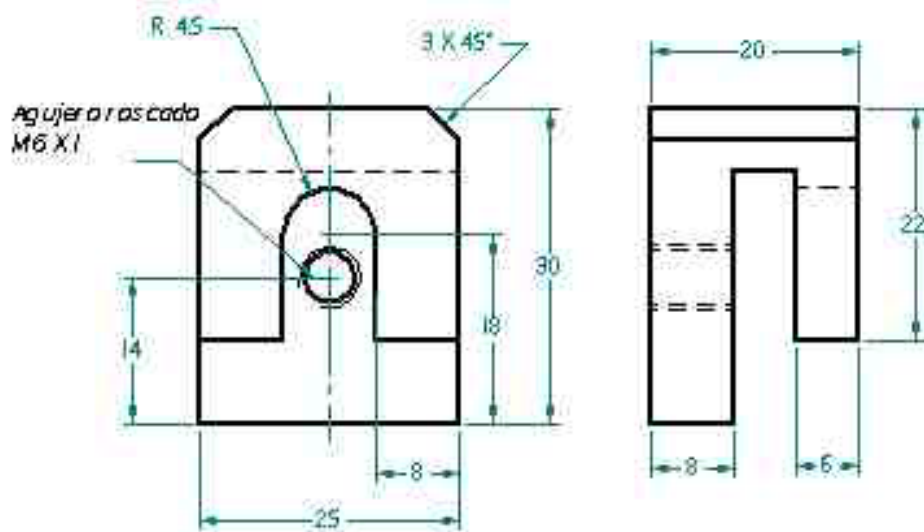


Nota: Dos Bases de Ø5 y 45°

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
		PEZAN° 28 Barra de transmisión	
Diseñó y dibujó:	GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CESAR DAMIAN REY MERLO	MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1
Aprobó:	MS. ENRIQUE GONZÁLEZ	OBSERVACIONES:	
FECHA: 06/2007		ESCALA: 1:1	PLANO N°: 18



1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZA N° 29: Herradura

Diseño y dibujo: **SERRAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ**
LEÓBAR DAMIÁN REY MERLO

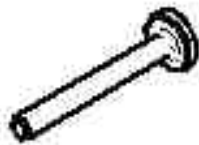
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

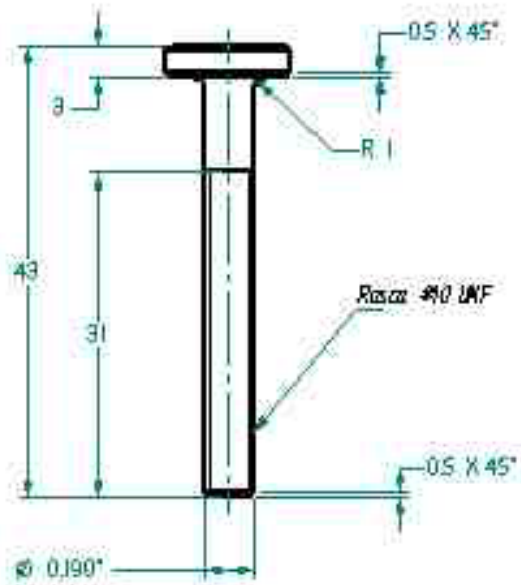
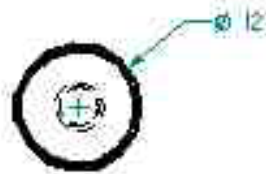
Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

FECHA: 06/2007

ESCALA: 2:1 PLANO N° 20



1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZAN 30 Tornillo de conexión

Diseño y dibujo: SERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
CÉSAR DAMIÁN REY MERLO

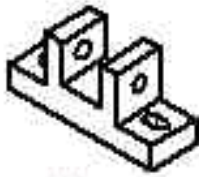
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

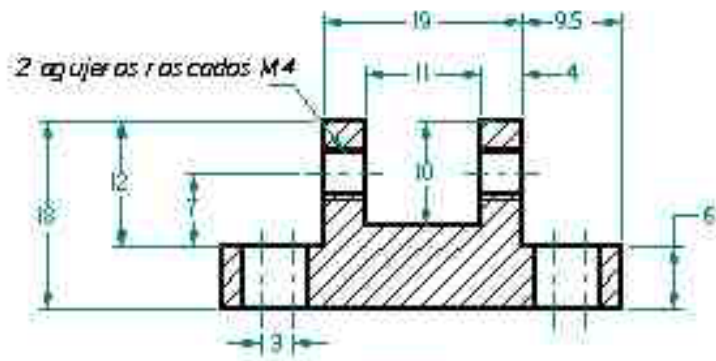
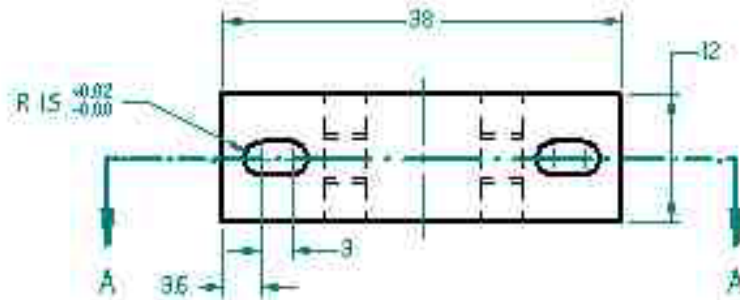
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

FECHA: 02/2007

ESCALA: 2:1 PLANO N°: 21



1:1

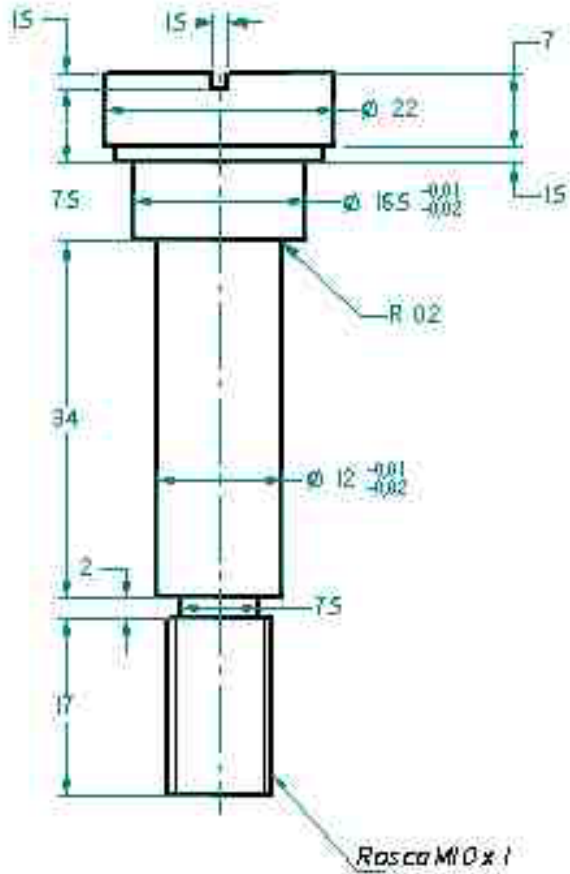


CORTE A-A

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIV SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MERLO		PEZAN: 31 Tope de seguridad	
aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1	
FECHA: 02/07/07		OBSERVACIONES:	ESCALA: 2:1	
			PLAN: N: 22	



1:2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

MÁQUINA PUN SOBRE DISCO

PEZAN 37: Eje del brazo

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

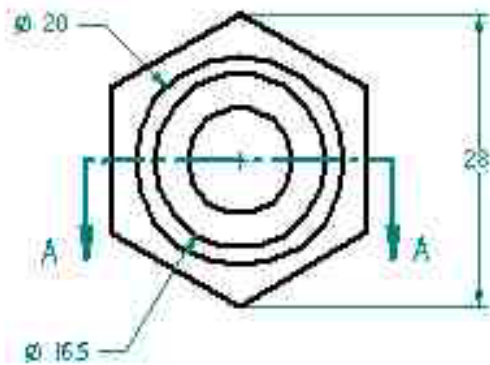
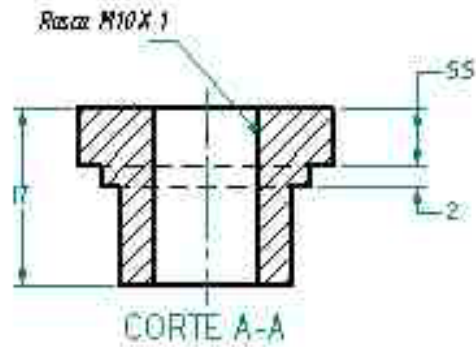
FECHA: 06.2007

ESCALA: 2:1

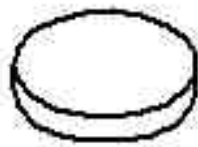
PLANO N: 23



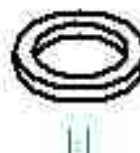
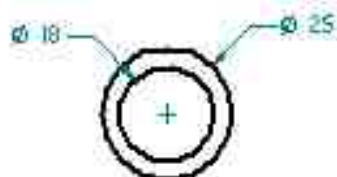
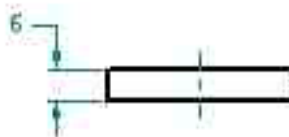
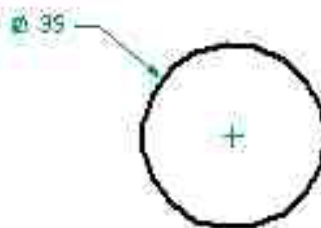
1:1



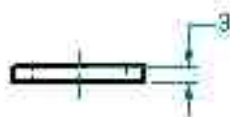
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PUNTA SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: SERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MERLO		PEZAN° 40: Tuerca del eje del brazo	
aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1	
FECHA: 02/2007		OBSERVACIONES:		
		ESCALA: 2:1	PLAN N°: 24	



1:1



1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 41 y 49.

Aro de aluminio 70 serigado

Diseño y dibujo: **GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ**
LEÓBAR DANVIN REY MERLO

MATERIAL: Caucho CANTIDAD: 1 y 3

OBSERVACIONES:

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZALEZ**

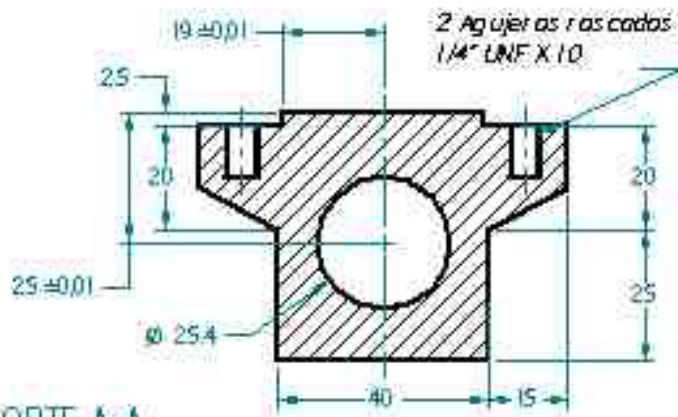
FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:1

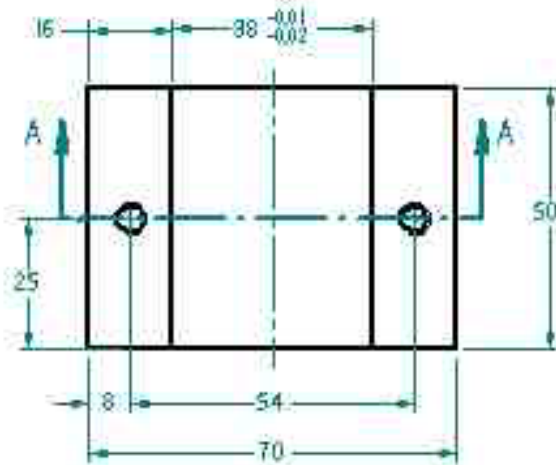
PLANO N°: 25



12



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIV SOBRE DISCO

PEZAN° 42. Corredora.

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 4

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

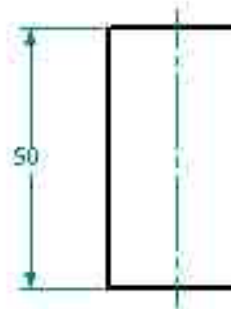
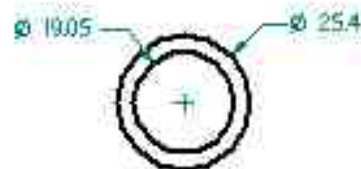
FECHA: 06/2/007

ESCALA: 1:1

PLAN N°: 26



12



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIV SOBRE DISCO

PEZAN° 43: Buje de deslizamiento

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

MATERIAL: Bronce fosf. CANTIDAD: 4

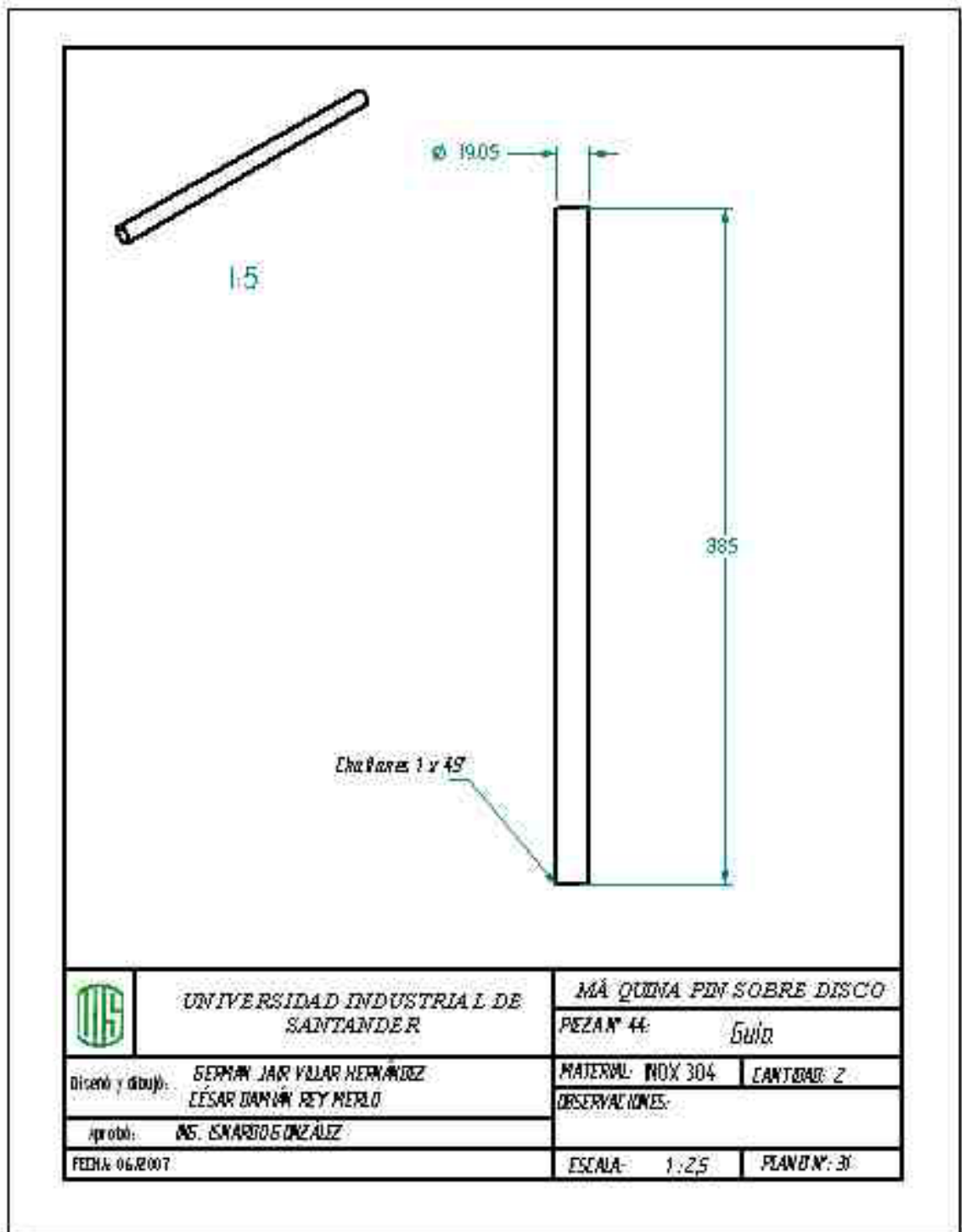
OBSERVACIONES:

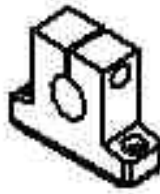
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

FECHA: 06.2007

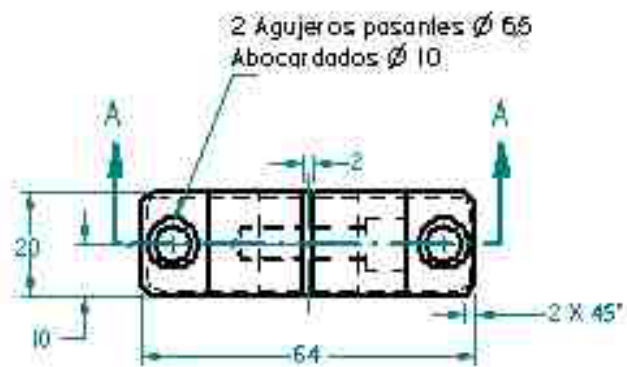
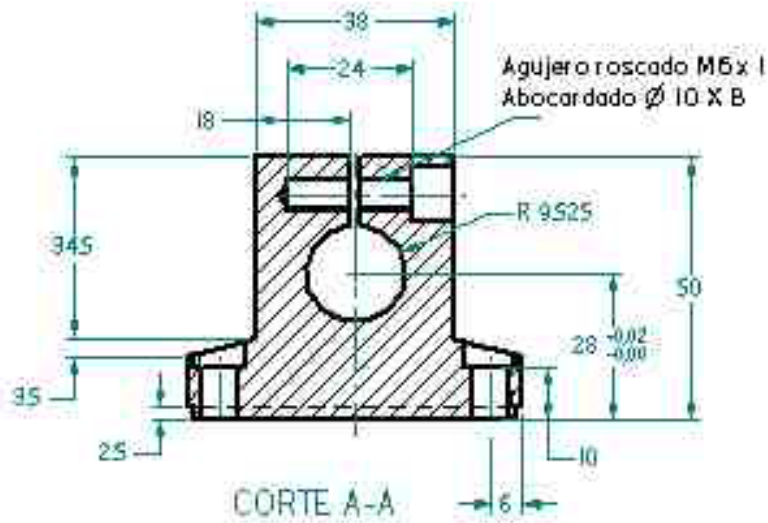
ESCALA: 1:1

PLANO N°: 27





1:2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 45: Apoyo para guías

Diseño y dibujo: **SEPMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ**
LEISAR DANVIN REY MERLO

MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 4

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

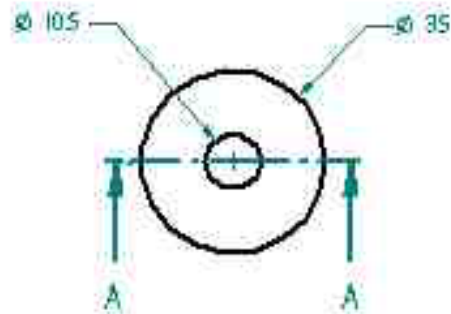
OBSERVACIONES:

FECHA: 06/2007

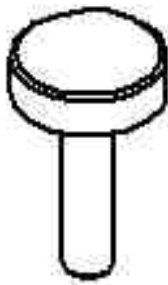
ESCALA: 1:1 PLANO N°: 28



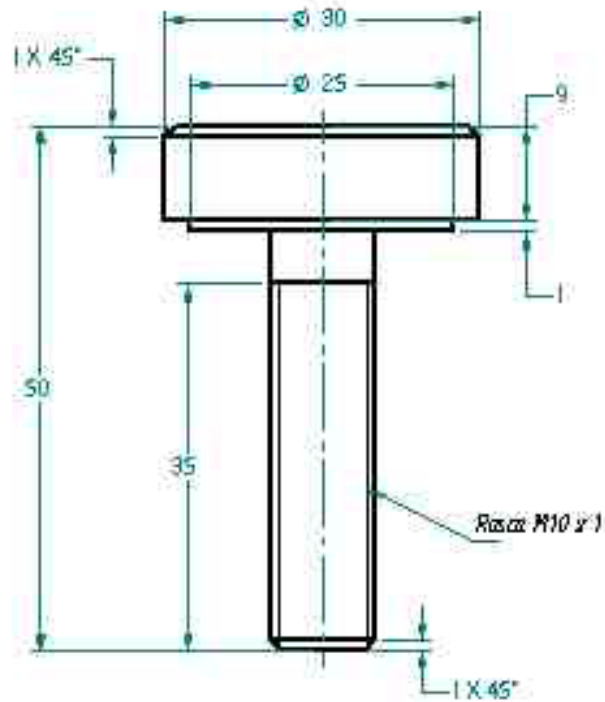
El



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
		PEZAN° 47: Base del amortiguador	
Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ CESAR DAMIAN REY MERLO		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 3
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ		OBSERVACIONES:	
FECHA: 06/2007		ESCALA: 1:1	PLANO N°: 29



1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZA N° 48 Tornillo nivelador

Diseño y dibujo: **SEPMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ**
ÉSAR DANVIN REY MERLO

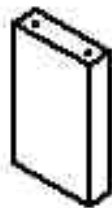
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 3

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

OBSERVACIONES:

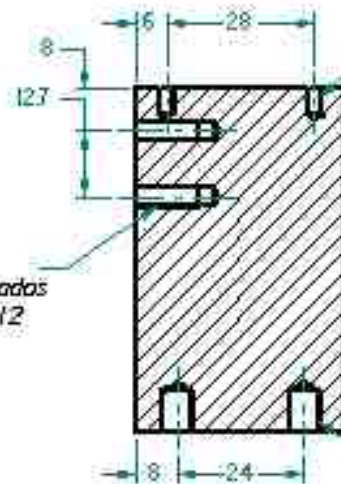
FECHA: 06/2007

ESCALA: 2:1 PLANO N°: 30



1:2

2 agujeros 1 os cada
M4 X 0.8 - Prof 12

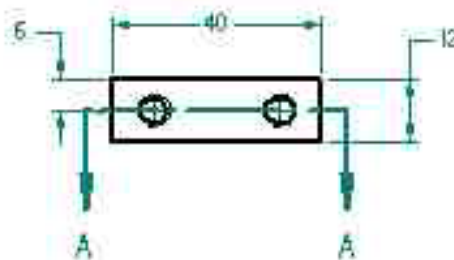


2 agujeros 1 os cada
 $\varnothing 1.8$ LNF Prof. 5

*Nota Rectificar todas las
caras que llevan
perforaciones*

2 agujeros 1 os cada
 $\varnothing 1.4$ LNF Prof. 12

CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PDI SOBRE DISCO

PEZAN[®] 50 Base de la celda de carga.

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
CESAR DAMIÁN REY MELO

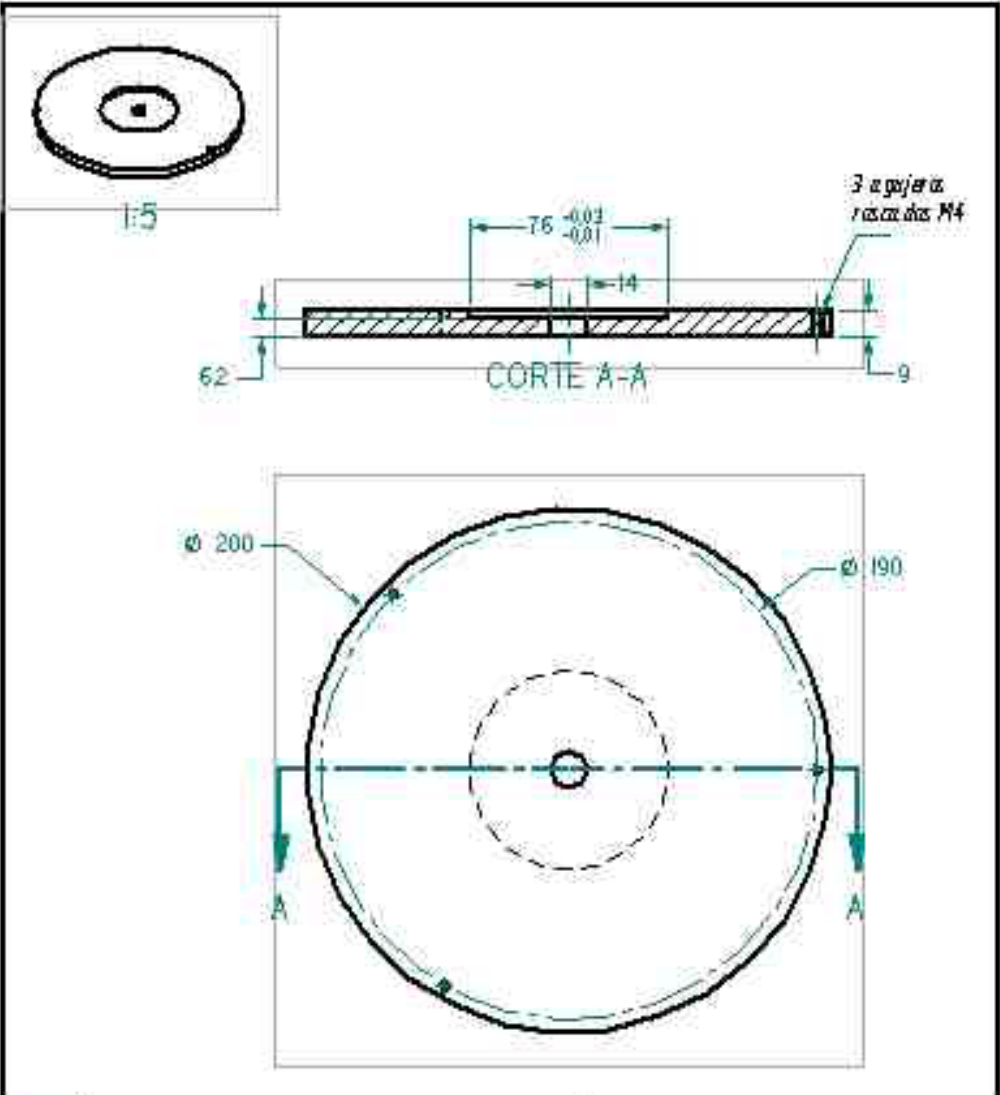
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:
Rectificar

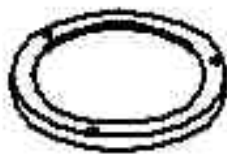
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ

FECHA: 06/07/07

ESCALA: 1:1 PLAN N.º: 32



	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ LEISAR DAMIAN REY MERLO		PEZAN° SI: Disco base	
aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1	
FECHA: 06/2/007		OBSERVACIONES:		ESCALA: 1:1
				PLAN O N°: B

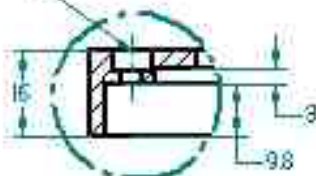


1-5

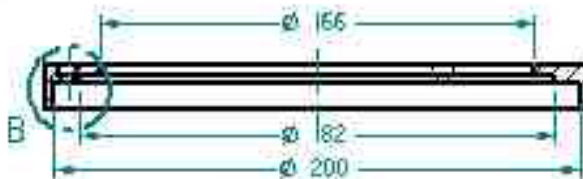
∅ 190

∅ 206

3 agujeros ∅45
abiertos de ∅75 x 4



DETALLE B



CORTE A-A



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZAN S: Anillo de fijación

Diseño y dibujo: GERMAN JAR VILLAR HERNANDEZ
CESAR DAMIAN REY MERLO

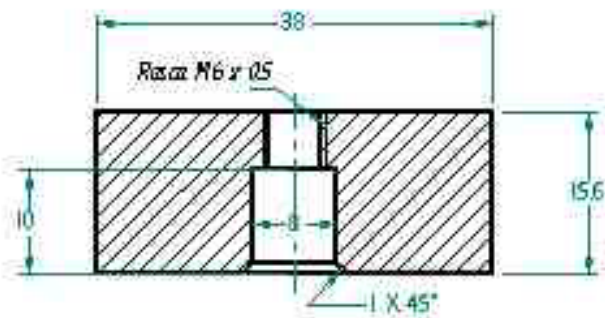
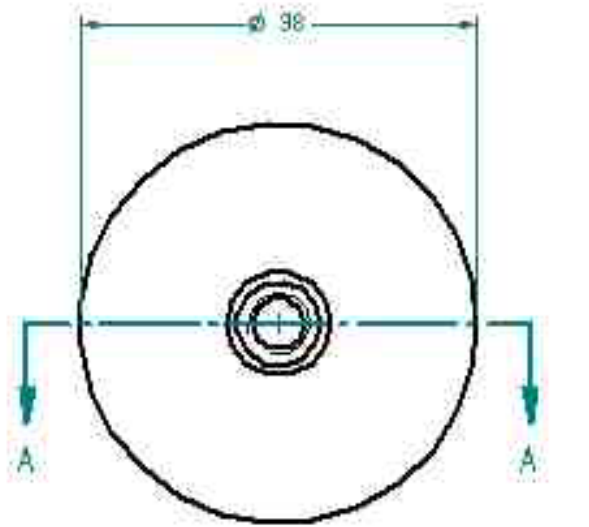
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: MS. ENRIQUE GONZALEZ

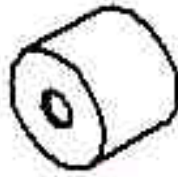
FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:2 PLANO N°: 34

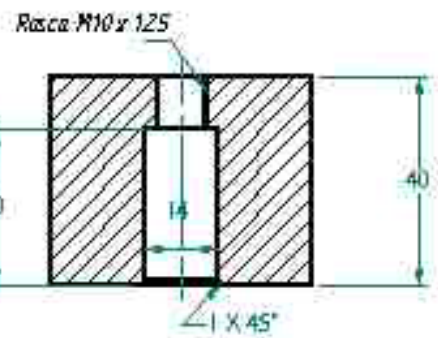
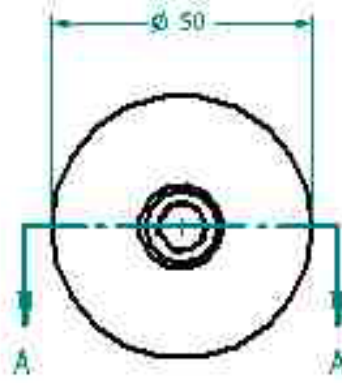


CORTE A-A

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIN SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CESAR DAMIAN REY MERLO		PEZAN° 53: Contrapeso vertical	
Aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1	
FECHA: 06.2007		OBSERVACIONES:		ESCALA: 2:1
				PLANO N°: 35



1:2

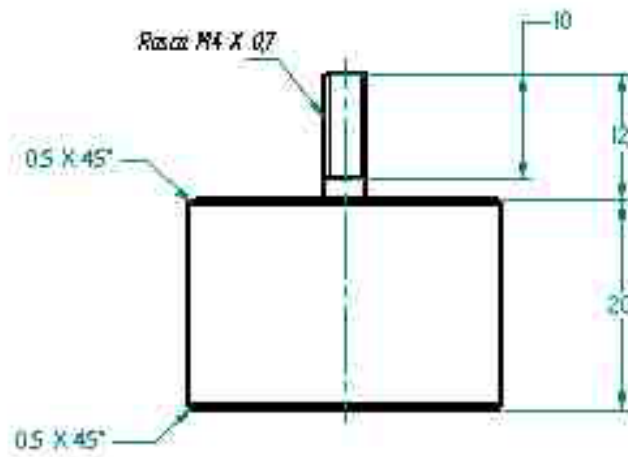
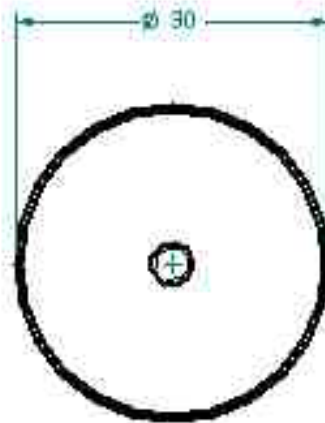


CORTE A-A

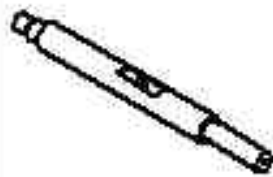
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		MÁQUINA PIV SOBRE DISCO	
	Diseñó y dibujó: GERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CÉSAR DAMIÁN REY MELO		PEZAN 54: Contrapeso horizontal	
aprobó: MS. ENRIQUE GONZÁLEZ		MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1	
FECHA: 06/2/007		OBSERVACIONES:	ESCALA: 1:1	
			PLAN N°: 36	



III

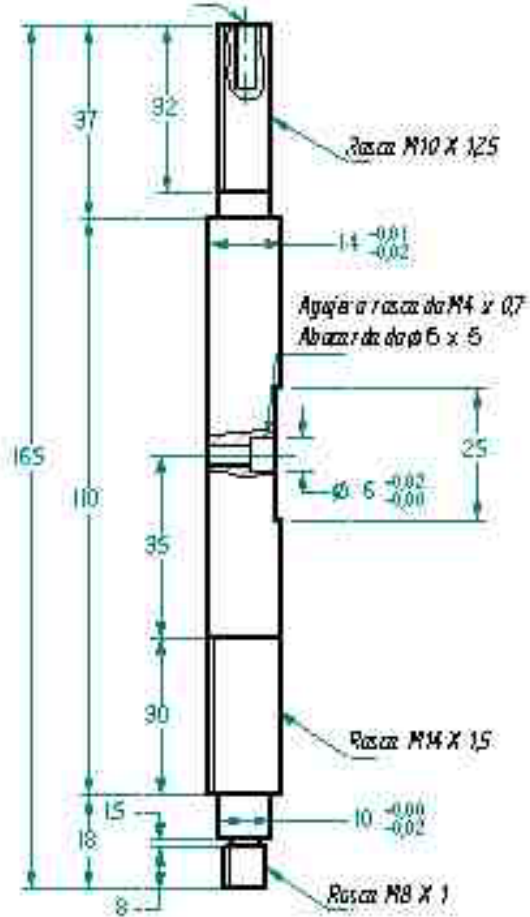


	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MÁQUINA PDM SOBRE DISCO	
		PEZAM SS Contrapeso fino	
Diseñó y dibujó:	BERHAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ CESAR DAMIAN REY MELO	MATERIAL: INOX 304	CANTIDAD: 1
aprobó:	MS. ENRIQUE GONZÁLEZ	OBSERVACIONES:	
FECHA: 06.02.07		ESCALA: 1:1	PLANO N°: 37



1:25

Agujero rosca de M4 x 07
Prof 12.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZAN^o 56: Sop. contrapeso horiz.

Diseño y dibujo: SERMAN JAR VILLAR HERNÁNDEZ
LÉSCAR DANVIN REY MERLO

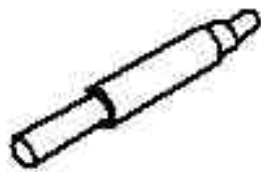
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

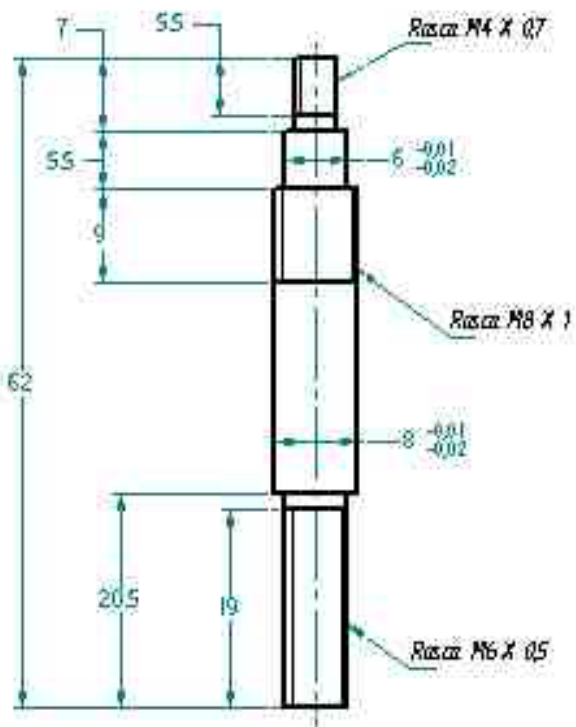
Aprobó: MS. ISMARTO GONZÁLEZ

FECHA: 06/2007

ESCALA: 1:1 PLAN^o N^o: 38



1-1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

MÁQUINA PIN SOBRE DISCO

PEZAN° 57: Sop. contrapeso vert

Diseño y dibujo: **BERNARDO VILLAR HERNÁNDEZ**
LEISAR DANVIN REY MERLO

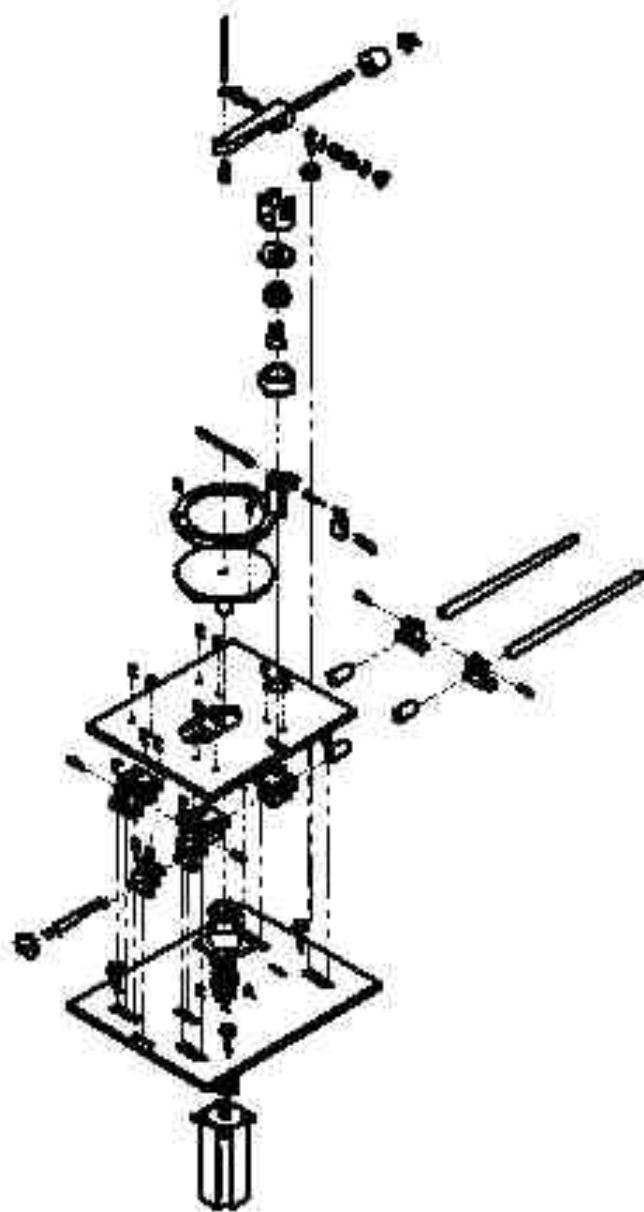
MATERIAL: INOX 304 CANTIDAD: 1

OBSERVACIONES:

Aprobó: **MS. ENRIQUE GONZÁLEZ**

FECHA: 06/2007

ESCALA: 2:1 PLANO N°: 39

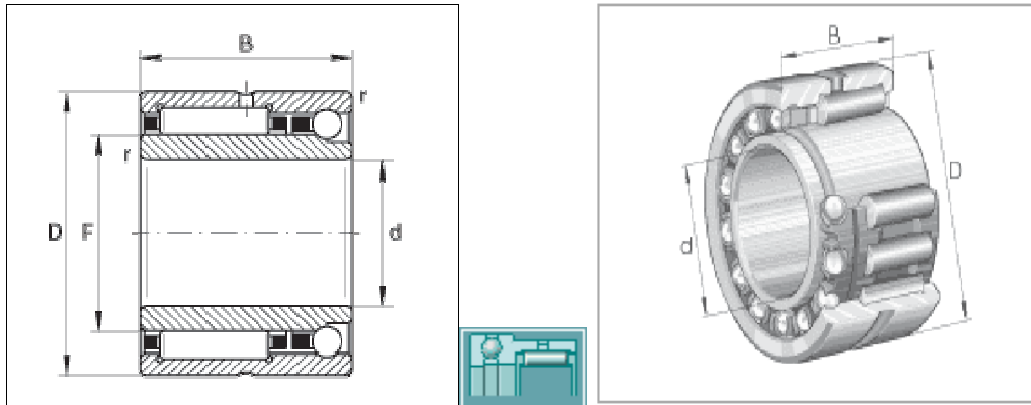


	ООО ИРРАДИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА ИРРАДИАЦИЯ		АИР КОМПАНИ КОМЕРСИАЛ <i>Magna Pro disk</i>	
	Коди / Код КОМПАН ИРАДИАЦИЯ КОД КОМПАНИОН		МАТЕРИАЛ ИРРАДИАЦИЯ	КОМПОНЕНТ ИРРАДИАЦИЯ
Имя ИРРАДИАЦИЯ		ИРАДИАЦИЯ		
ИРАДИАЦИЯ		ИРАДИАЦИЯ	ИРАДИАЦИЯ	ИРАДИАЦИЯ

ANEXO C. Ficha Técnica De Los Rodamientos

INA: Rodamientos de agujas y a bolas de contacto angular NKIA5901

parte axial de simple efecto, según DIN 5 429-2



Dimensiones

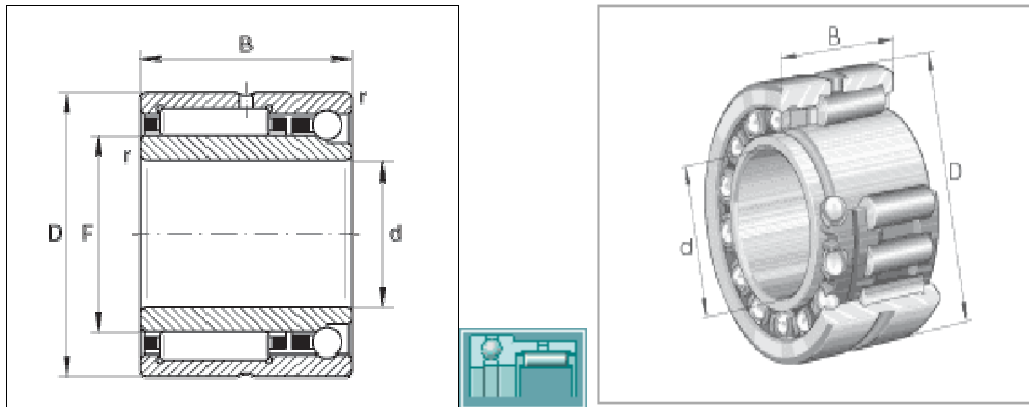
d	12 mm	
D	24 mm	
B	16 mm	
F	16 mm	
r_{min}	0,3 mm	

Características

m	40 g	Peso
C_r	10600 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C_{0r}	10900 N	Capacidad de carga estática, radial
C_a	2700 N	Capacidad de carga dinámica, axial
C_{0a}	3450 N	Capacidad de carga estática, axial
C_{ur}	1940 N	Carga límite de fatiga, radial
C_{ua}	152 N	Carga límite de fatiga, axial
n_G	23600 1/min	Velocidad límite
n_B	21000 1/min	Velocidad de referencia

INA: Rodamientos de agujas y a bolas de contacto angular NKIA5906

parte axial de simple efecto, según DIN 5 429-2



Dimensiones

d	30 mm	
D	47 mm	
B	23 mm	
F	35 mm	
r_{min}	0,3 mm	

Características

m	147 g	Peso
C_r	28500 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C_{0r}	35500 N	Capacidad de carga estática, radial
C_a	5900 N	Capacidad de carga dinámica, axial
C_{0a}	11200 N	Capacidad de carga estática, axial
C_{ur}	6400 N	Carga límite de fatiga, radial
C_{ua}	495 N	Carga límite de fatiga, axial
n_G	12700 1/min	Velocidad límite
n_B	10000 1/min	Velocidad de referencia

ANEXO D. Ficha Técnica Del Servomotor

Brushless Servo C-Series

The BSM C Series of servo motors provide higher inertia in a very economical package. These motors have a reliable magnetic design, and are used in applications needing higher inertial matching. These rugged motors provide peak torques equal to three times continuous, thus enabling rapid acceleration for the higher inertial demanding applications.

Besides a wide variety of feedback devices, other options such as brakes and cooling to extend performance, mounting, shaft and electrical windings are available for your application needs. Baldor also has stocked motors for immediate delivery for your application needs.

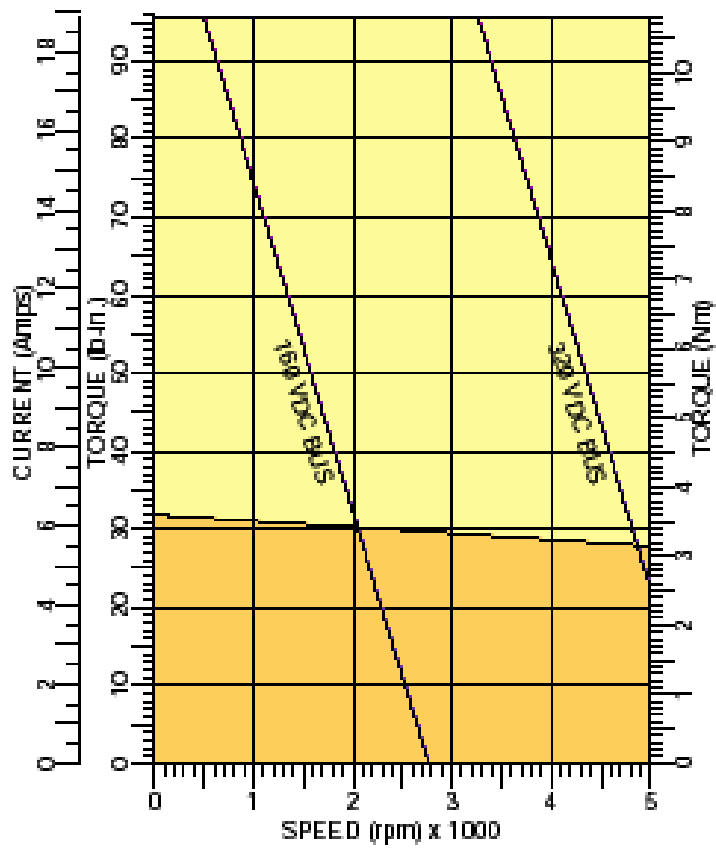
Torque Range

- > BSM80 10 lb-in (1.2 Nm) - 38 lb-in (4.3Nm)
- > BSM90 23 lb-in (2.6Nm) - 69 lb-in (7.8Nm)
- > BSM100 44 lb-in (5Nm) - 265 lb-in (30Nm)



Performance Curves

BSM80C-375



Características

Model Number	BSM80C-375
---------------------	-------------------

General

Continuous Stall Torque	lb-in	31.9
	N-m	3.6
Continuous Current	amps	6.29
Peak Torque	lb-in	95.6
	N-m	10.8
Peak Current	amps	16.0
Thermal Resistance	°C/watt	1.00
Mechanical Time Constant	msec	2.7
Electrical Time Constant	msec	3.73
Rated Speed @300 volts	rpm	4000
Rated Speed @600 volts	rpm	8000

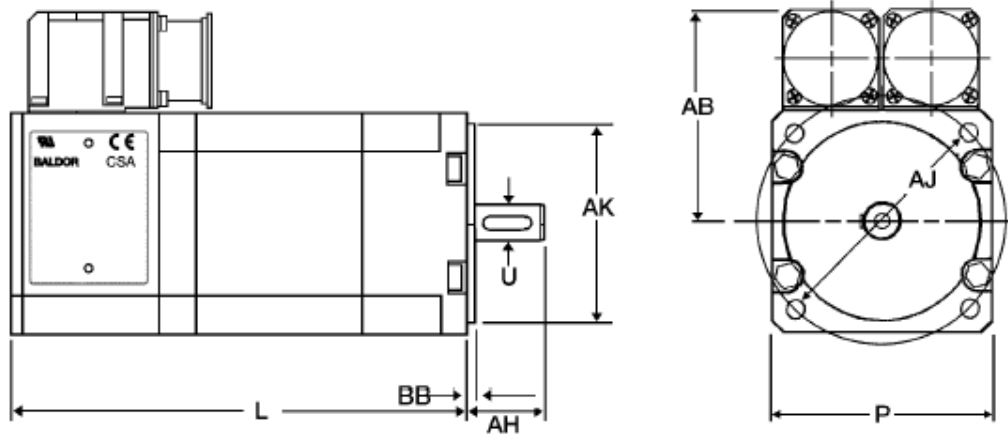
Electrical

Torque Constant	lb-in/amp	6.0
	N-m/amp	0.67
Voltage Constant	Vpk/krpm	57.5
	Vrms/krpm	40.7
Resistance	ohms	2.2
Inductance	mH	8.2

Mechanical

Inertia	lb-in-s ²	0.00497
	Kg-cm ²	5.53
Maximum Speed	rpm	10,000
Number of Motor Poles		4
Weight	lbs/Kg	11/5.0

BSM Series Dimensions - IEC Mountings

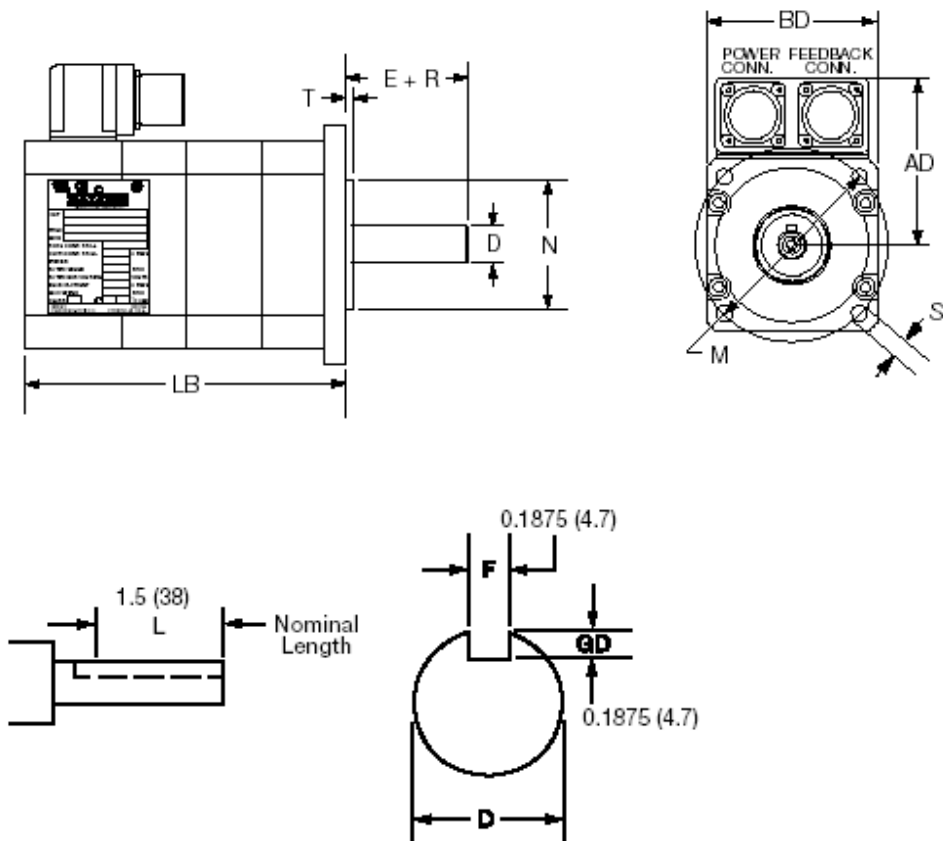


Dimensions in mm (Inch)

Motor Code	P	AB	U	AH	Key	AJ	AK	BB
BSM80N/C	89 (3.5)	76 (3.0)	19j6 (0.74)	40 (1.5)	6x6x25	7.0mm thru hole 100mm B.C.	80j6 (3.1)	3.0 (0.118)

Motor Code	Length - L	
	Resolver	Encoder
BSM80C-1	144.0 5.67	144.0 5.67
BSM80C-2	169.4 6.67	169.4 6.67
BSM80C-3	194.8 7.67	194.8 7.67

BSM Series Dimensions - NEMA Mountings



Dimensions in mm (inch)

NEMA Code	Motor Code	BD	AD	D	E + R	M	S thru hole	N	T
42	BSM8NN	4.0 (101)	3.0 (76)	0.625 (15)	2.0 (52)	4.95 B.C.	0.28 in	2.187 (55)	0.10 (2.5)

NEMA Code	Motor Code	Length - LB		Motor Code	Length - LB	
		Resolver	Encoder		Resolver	Encoder
42	BSM8NN-1	5.96 (151.3)	5.96 (151.3)	BSM8NC-1	5.67 (144.0)	5.69 (144.6)
	BSM8NN-2	7.21(183.0)	7.21 (183.0)	BSM8NC-2	6.67 (169.0)	6.69 (170.0)
	BSM8NN-3	8.46 (214.8)	8.46 (214.8)	BSM8NC-3	7.67 (194.8)	7.69 (195.4)

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



CONTENIDO

	pág.
1 INSTALACIÓN DEL WORKBENCH.....	5
1.1 INSTALACIÓN DESDE EL CD.....	5
1.2 INSTALACIÓN DEL WORKBENCH.....	6
2 ANTES DE EMPEZAR.....	10
2.1 CONEXIONES AL MICROFLEX.....	10
2.1.1 Conectando Cables.....	11
2.2 COMPROBACIONES PRELIMINARES.....	16
2.3 PODER SOBRE LOS CONTROLES.....	17
2.4 ESTADO DEL LED.....	17
3 CONFIGURACIÓN DEL WORKBENCH.....	19
3.1 CONFIGURACIÓN DEL SERVO-MOTOR EN EL SOFTWARE.....	21
3.2 CONFIGURACIÓN DEL MODO DE OPERACIÓN.....	24
3.3 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....	29
4 PREPARACIÓN DE LA MAQUINA PARA LAS PRUEBAS.....	34
4.1 MONTAJE DEL DISCO.....	34
4.2 MONTAJE DEL PIN.....	36
5 UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE EN LAS PRUEBAS.....	38
5.1 CALCULO DE LOS PARÁMETROS.....	38
5.2 ENTRADA DE PARÁMETROS AL WORKBENCH.....	40

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



LISTADO DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Conexiones generales del MicroFlex	10
Figura 2. Esquema general de las conexiones del MicroFlex.....	11
Figura 3. Conexión de entrada de alimentación.....	12
Figura 4. Conexión de salida al servo-motor.	12
Figura 5. Conexión a la resistencia regenerativa.	13
Figura 6. Configuración de los pines del cable de salida al servo-motor	13
Figura 7. Conector de alimentación 24V	14
Figura 8. Conexiones generales del conector X3.....	14
Figura 9. Conexión X3 – Drive Enable Input	14
Figura 10. Esquema general del conector X6	15
Figura 11. Configuración del cable RS232	15
Figura 12. Esquema general del conector X8	16
Figura 13. Pantalla Inicial.	19
Figura 14. Selección del puerto de comunicaciones.	20
Figura 15. Lista de controladores encontrados.	20
Figura 16. Página inicial del Commissioning Wizard.	21
Figura 17. Tipo de motor.	22
Figura 18. Selección del motor.	23
Figura 19. Información del servo-motor y el controlador.....	23
Figura 20. Tipo de Feedback.....	24
Figura 21. Pantalla de inicio configuración modo de operación.....	25

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



Figura 22. Selección del modo de operación.	25
Figura 23. Configuración del control de corriente.	26
Figura 24. Configuración del control de velocidad.	26
Figura 25. Configuración del control de paso y dirección.	27
Figura 26. Configuración de las entradas y salidas digitales.	27
Figura 27. Configuración de la entrada análoga.	28
Figura 28. Pantalla de finalización de la configuración.	28
Figura 29. Pantalla inicial del Autotune.	29
Figura 30. Opciones del Autotune.	30
Figura 31. Mensaje de Autotune completado.	31
Figura 32. Guardar parámetros del Autotune.	31
Figura 32. Cálculo de constantes de paso.	32
Figura 33. Cálculo de constantes de velocidad.	33
Figura 34. Cálculo de constantes de corriente.	33
Figura 35. Máquina Pin On Disk sin probetas.	34
Figura 36. Tornillos del anillo de fijación.	35
Figura 37. Tornillo de ajuste del porta pin.	36
Figura 38. Máquina lista para empezar pruebas.	37
Figura 39. Caja de conexiones.	37
Figura 40. Introducción de parámetros en el Workbench necesarios para ejecutar la prueba.	40
Figura 41. Mensaje de alerta antes de iniciar con la prueba.	41
Figura 42. Grafica generada por el WORKBENCH.	41

Manual de instalación y operación
Máquina pin on disk



LISTADO DE CUADROS

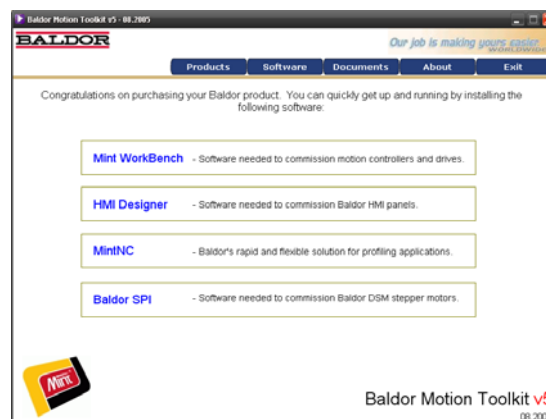
	pág.
Cuadro 1. Descripción del tipo de error generado.	17
Cuadro 2. Esquema de parámetros necesarios para una prueba.....	39

1 INSTALACIÓN DEL WORKBENCH

Para realizar el control del servo-motor por medio de un PC, se requiere la instalación de un software y un hardware que permitan dicho enlace, el cual es proporcionado por el fabricante y viene incluido en el CD-ROM que se proporciona con el servo-motor.

1.1 INSTALACIÓN DESDE EL CD

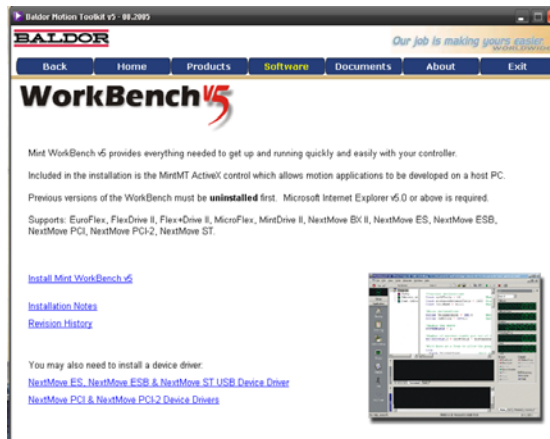
El primer paso es introducir el CD en la unidad lectora del PC, ejecutando el AUTORUN, en donde presenta el contenido del CD, tal como se observa a continuación.



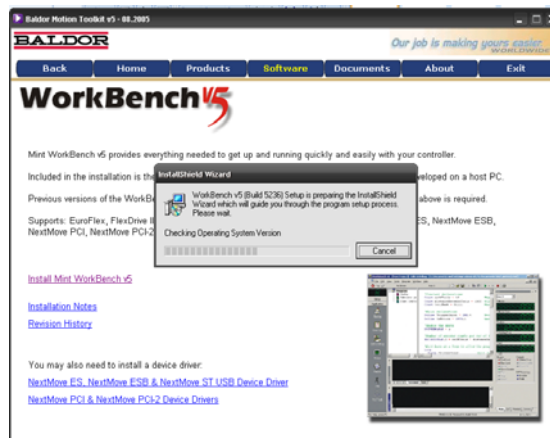
Dar click sobre la pestaña “Software”.

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



Nuevamente dar click sobre el link “Install Mint WorkBench v5” en esta nueva página, el cual da inicio a la instalación del software como se aprecia en la siguiente figura.



1.2 INSTALACIÓN DEL WORKBENCH

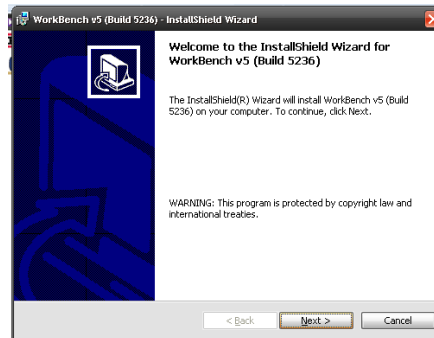
La instalación del software es relativamente sencilla, a continuación se muestra los pasos que se deben realizar para una correcta instalación:

Manual de instalación y operación

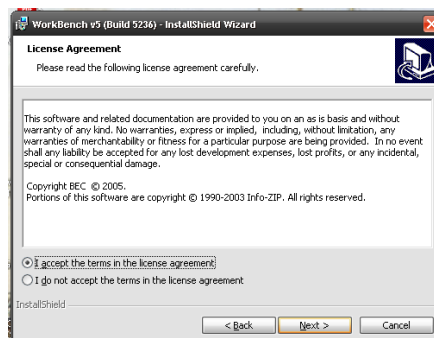
Máquina pin on disk



Una vez aparezca la siguiente ventana dar click en “Next >”



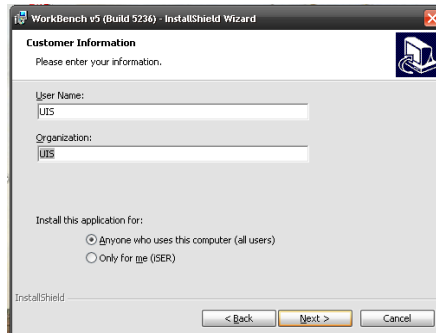
El cual muestra la página siguiente, en donde se selecciona “I accept the terms in the license agreement” para aceptar las condiciones de la licencia, y así continuar con la instalación, dar nuevamente click en “Next >”.



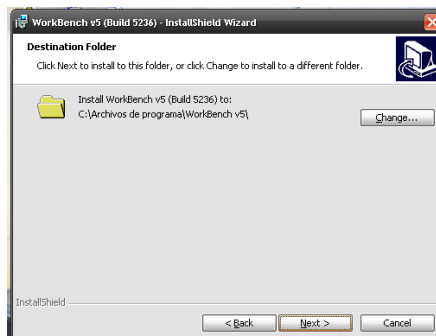
En la nueva página, Introducir en el campo “User Name:” UIS u/o el nombre que se desee, igual en el campo “Organization:”, además seleccionar “Anyone who uses this computer (all users)”, si se quiere que cualquier usuario tenga acceso al programa, nuevamente dar click en “Next >” para continuar con la instalación.

Manual de instalación y operación

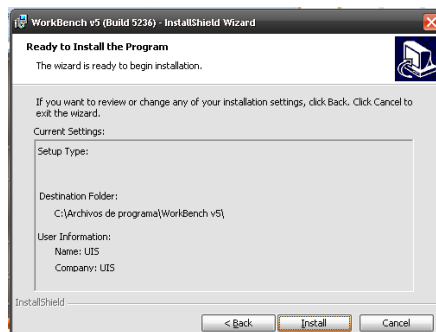
Máquina pin on disk



Como recomendación, es mejor realizar la instalación en la carpeta que trae por defecto el programa para evitar problemas en un futuro, dar click en next para continuar.



Esta nueva página muestra la información que se ha introducido en las páginas anteriores para su verificación. Si los datos son correctos dar click en "Install", para que el programa realice la instalación.

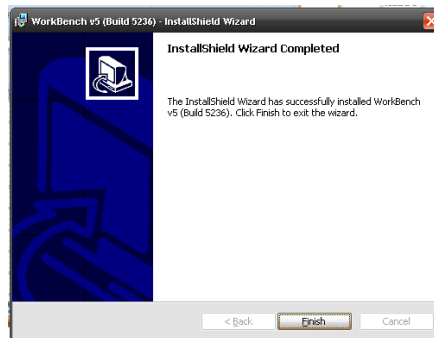


Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



Una vez haya finalizado satisfactoriamente la instalación dar click en “Finish”, para finalizar el asistente.



También es posible obtener el software en la página de internet www.baldor.com o con su distribuidor en Colombia Consorcio Industrial.

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

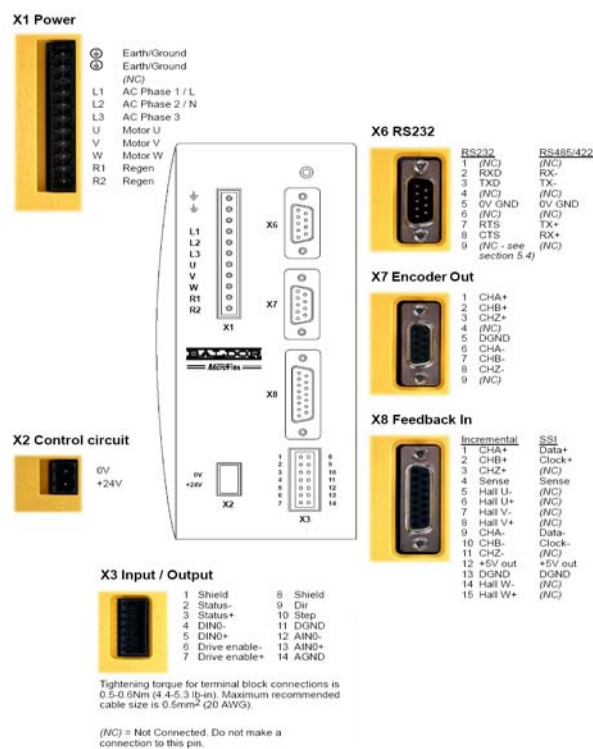
2 ANTES DE EMPEZAR

Antes de comenzar la utilización del servo-motor, se deben realizar algunas conexiones al MicroFlex, que no es más que un dispositivo electrónico que permite la transmisión de las órdenes impartidas desde el PC hacia el servo-motor, así como algunas revisiones generales a las conexiones para evitar posibles fallas.

2.1 CONEXIONES AL MICROFLEX

En la figura 1. se aprecia las conexiones con las que cuenta el controlador MicroFlex.

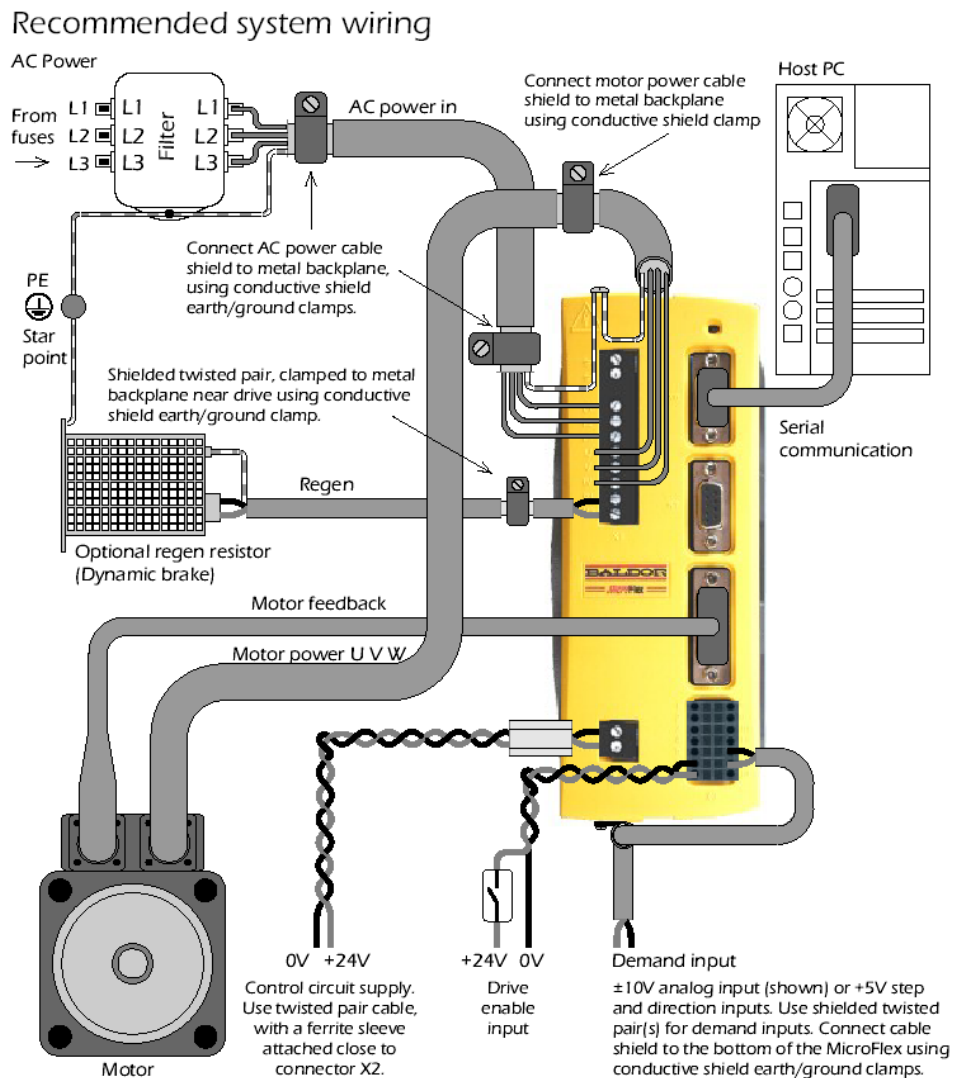
Figura 1. Conexiones generales del MicroFlex



2.1.1 Conectando Cables.

En la figura 2 se muestra el esquema general de las conexiones necesarias para el funcionamiento del MicroFlex, al igual que las necesarias para el servo-motor y otros accesorios.

Figura 2. Esquema general de las conexiones del MicroFlex.



Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

✓ **Conector X1 Power.** En este conector se encuentra la entrada de alimentación (figura 3.) y la salida (figura 4.) al servo-motor, y la conexión a la resistencia regenerativa requerida para disipar el exceso de energía del bus DC interno cuando el servo-motor está desacelerando (figura 5). El servo-motor es alimentado por una línea trifásica tal como se observa en la figura 3.

Figura 3. Conexión de entrada de alimentación.

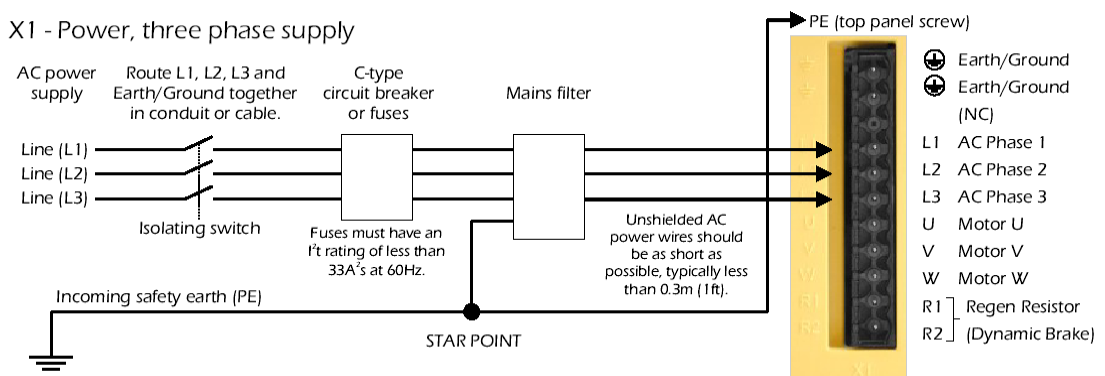


Figura 4. Conexión de salida al servo-motor.

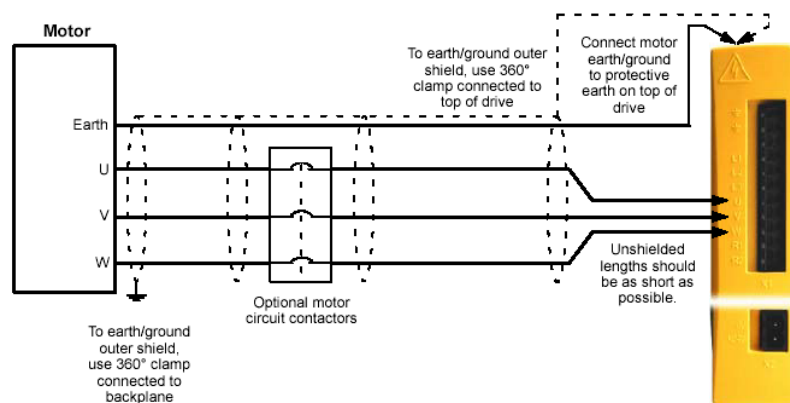
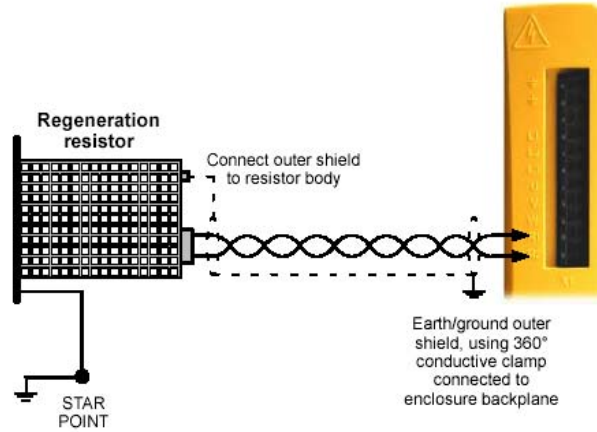


Figura 5. Conexión a la resistencia regenerativa.

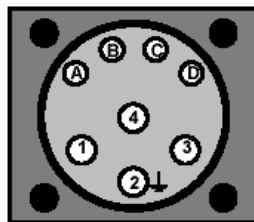


Para lograr la conexión entre el servo-motor y el MicroFlex, se cuenta con un tipo de cables especial proporcionado por el fabricante (cable de color naranja), el cual presenta la siguiente configuración.

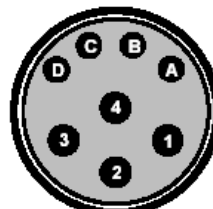
Figura 6. Configuración de los pines del cable de salida al servo-motor

Signal name	Motor / cable pin	Motor cable wire color
Motor U	1	Black, labeled '1'
Motor V	4	Black, labeled '2'
Motor W	3	Black, labeled '3'
Earth/ground	2	Green/Yellow
Thermal switch	A	Green
Thermal switch	B	White
Brake	C	Blue
Brake	D	Red

Note:
 Not all motors are fitted with a brake so pins C and D might not be connected.



Motor power connector (male)



Cable connector end view (female)

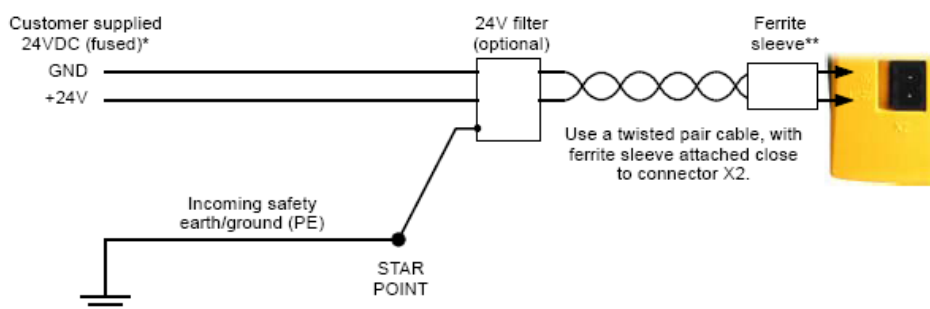


Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

✓ **Conector X2 - 24V entrada del circuito de control.** El conector permite la alimentación del controlador MicroFlex. El voltaje de alimentación es de 24V DC, tal como se puede observar en la figura 7, el cual es suministrado por la fuente de alimentación Baldor.

Figura 7. Conector de alimentación 24V



✓ **Conector X3 - Drive Enable Input.** En condiciones normales de uso la unidad permitirá a los controles de entrada establecer el estado de la unidad (figura 9). Sin embargo, cuando el MicroFlex se encuentra en línea con el Workbench v5, este permite establecer métodos de control.

Figura 8. Conexiones generales del conector X3

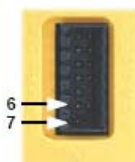
X3 - Input / Output



1	Shield	8	Shield
2	Status-	9	Dir
3	Status+	10	Step
4	DIN0-	11	DGND
5	DIN0+	12	AIN0-
6	Drive enable-	13	AIN0+
7	Drive enable+	14	AGND

- * Drive enable: Opto-isolated 24V input. Must be connected to allow drive to operate.
- * DIN0: Opto-isolated 24V input. Can be configured as a reset, error, stop or phase search input.
- * Step & Dir: +5V single-ended step and direction inputs, used as the position reference.
- * AIN0: ±10V differential input, used as the speed or torque reference.
- * Status: Opto-isolated status/error output, indicates enabled/disabled status of drive. Current sourced from pin 3 is output on pin 2.

Figura 9. Conexión X3 - Drive Enable Input



Manual de instalación y operación

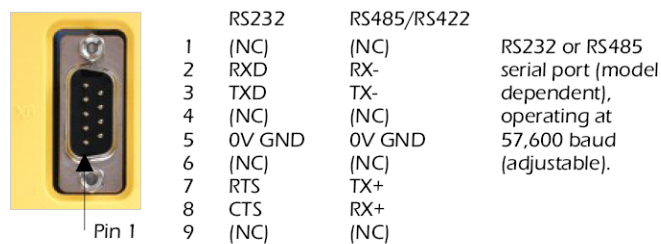
Máquina pin on disk



✓ **Conector X6 - RS232/RS485.** En este conector se ubica el cable de comunicaciones entre el MicroFlex y el PC (figura 10). Este puerto es capaz de operar hasta 57,6 KBaudios.

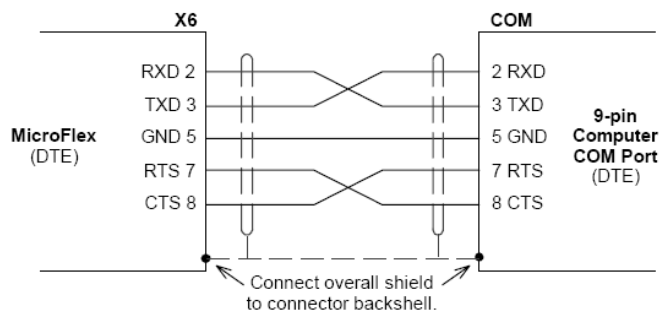
Figura 10. Esquema general del conector X6

X6 - RS232/RS485



La máxima longitud recomendada del cable es de 3m (10 pies) a 57,6 KBaudio. Al utilizar tasas de baudios más bajas, se podrá utilizar cables con longitudes hasta de 15 m (49 pies) en 9600 baudios. La figura 11, muestra la forma de conexión interna del cable RS232.

Figura 11. Configuración del cable RS232



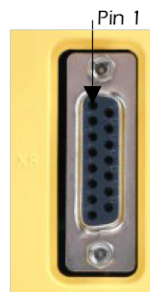
✓ **Conector X8 - Motor Feedback Input.** El Microflex puede operar con dispositivos de retroalimentación como un codificador incremental, codificador SSI, o de resolución. El tipo de dispositivo está configurado en el

software Workbench y es un encoder incremental de 2500 ppr (pulsos por revolución).

Cabe anotar que se requiere de un cable adecuado dependiendo de la aplicación, los cuales se encuentran disponibles en Baldor.

Figura 12. Esquema general del conector X8

X8 - Feedback in - encoder



Incremental encoders				SSI encoders			
1	CHA+	9	CHA-	1	Data+	9	Data-
2	CHB+	10	CHB-	2	Clock+	10	Clock-
3	CHZ+	11	CHZ-	3	(NC)	11	(NC)
4	Sense	12	+5V out	4	Sense	12	+5V out
5	Hall U-	13	DGND	5	(NC)	13	DGND
6	Hall U+	14	Hall W-	6	(NC)	14	(NC)
7	Hall V-	15	Hall W+	7	(NC)	15	(NC)
8	Hall V+			8	(NC)		

Encoder models (-EN23 / -EN43) accept incremental encoder feedback (with or without Halls), Halls-only feedback, or SSI encoder feedback. Pin 12 provides a +5V, 200mA supply for encoders requiring power.

2.2 COMPROBACIONES PRELIMINARES

Antes de encender el servo-motor por primera vez, es muy importante verificar lo siguiente:

- Desconectar la carga del motor hasta que no se le indique. Si esto no puede hacerse, Desconectar los cables del motor en el conector X1.
- Verificar que el voltaje de la línea AC coincide con la especificación del MicroFlex.
- Verificar que todo el cableado se ajusta a los códigos aplicables.
- Revisar todos los cables de señal al servo-motor.

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



2.3 PODER SOBRE LOS CONTROLES

Si en algún momento el estado del LED parpadea de color rojo, la unidad ha detectado un fallo.

1. Encienda la fuente de suministro de 24 VDC.
2. Encienda el suministro de CA.
3. Después de una breve secuencia de prueba, el LED de estado debe ser verde.
4. Si los cables del servo-motor se desconectan, apague el suministro de CA y vuelva a conectarlos. Encienda el suministro de CA.


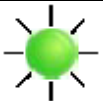
El MicroFlex está ahora listo para ser configurado usando el WorkBench v5.

2.4 ESTADO DEL LED

El estado del led indica información general del estado del MicroFlex. En el cuadro 1 se muestra los diferentes estados que puede llegar a presentar el MicroFlex, con sus respectiva causa.




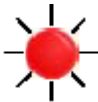

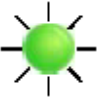
Cuadro 1. Descripción del tipo de error generado.

Estado del led	Descripción del error
	Verde Fijo: Servo-motor Habilitado
	Verde Papadeante: Firmware download en progreso

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



	<p>Rojo fijo: Servo-motor inhabilitado, pero este error no bloquea</p>																										
	<p>Rojo parpadeante: Falta de alimentación base o presenta errores. El número de parpadeos indica que error ha ocurrido. Por ejemplo para mostrar el error 3 (sobre corriente), el led parpadea 3 veces en un intervalo de tiempo de 0.1 segundos. Seguido por una pausa de 0.5 segundos. La secuencia es repetida continuamente.</p> <table border="1" data-bbox="438 734 1310 1444"> <thead> <tr> <th>Código del error (N° de parpadeos)</th> <th>significado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Caída por sobrevoltaje en el bus DC</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Caída por IPM (módulo de poder integrado).</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Caída por sobrecorriente</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Caída por sobrevelocidad</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Caída del Feedback</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Caída del motor por sobrecarga</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Caída por recalentamiento</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Caída del móvil por sobrecarga</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Caída por error de seguimiento</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Error provocado por la entrar de datos</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Error en la búsqueda de fases</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Todos los errores, incluyendo: error por alimentación interna, error por alimentación del encoder, alimentación base no reconocida</td> </tr> </tbody> </table>	Código del error (N° de parpadeos)	significado	1	Caída por sobrevoltaje en el bus DC	2	Caída por IPM (módulo de poder integrado).	3	Caída por sobrecorriente	4	Caída por sobrevelocidad	5	Caída del Feedback	6	Caída del motor por sobrecarga	7	Caída por recalentamiento	8	Caída del móvil por sobrecarga	9	Caída por error de seguimiento	10	Error provocado por la entrar de datos	11	Error en la búsqueda de fases	12	Todos los errores, incluyendo: error por alimentación interna, error por alimentación del encoder, alimentación base no reconocida
Código del error (N° de parpadeos)	significado																										
1	Caída por sobrevoltaje en el bus DC																										
2	Caída por IPM (módulo de poder integrado).																										
3	Caída por sobrecorriente																										
4	Caída por sobrevelocidad																										
5	Caída del Feedback																										
6	Caída del motor por sobrecarga																										
7	Caída por recalentamiento																										
8	Caída del móvil por sobrecarga																										
9	Caída por error de seguimiento																										
10	Error provocado por la entrar de datos																										
11	Error en la búsqueda de fases																										
12	Todos los errores, incluyendo: error por alimentación interna, error por alimentación del encoder, alimentación base no reconocida																										
	<p>Parpadeo alternado rojo/verde Atención falta voltaje (sin voltaje de AC), pero este error no bloquea</p>																										
	<p>El bus de voltaje DC ha descendido debajo del nivel de subtensión de la alimentación base (vea DRIVEBUSUNDERVOLTS). Este error sólo será generado si el móvil está en estado habilitado. Compruebe el poder de corriente alterna está conectado.</p>																										

3 CONFIGURACIÓN DEL WORKBENCH

Una vez realizadas las conexiones antes mencionadas y verificado estás, se realizará la configuración del WORKBENCH. En el escritorio del computador se busca un icono como el que se muestra a continuación para ejecutar el



programa. WorkBench v5.lnk

INICIANDO UN NUEVO PROYECTO.

✓ **Inicio del programa.** En la pantalla inicial seleccionar “Browse For Project...”, o dar doble click sobre “PIN ON DISK”. De no haberse guardado previamente un proyecto dar click sobre el botón “Start New Project...”, y continuar con la configuración.

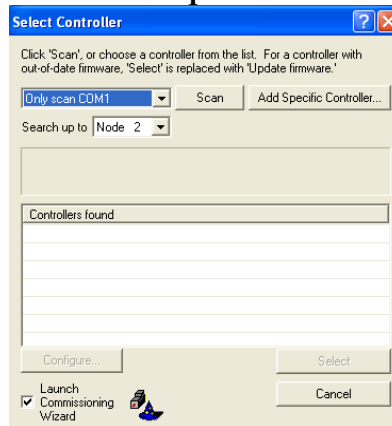
Figura 13. Pantalla Inicial.



✓ **Configuración del puerto de comunicaciones.** Al querer hacer un nuevo proyecto, el siguiente paso es configurar el puerto de comunicaciones

entre el PC y el MicroFlex. Ya que este se conecta en el PC al puerto serial se selecciona *Only scan COM1* y dar click sobre el boton *Scan* como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Selección del puerto de comunicaciones.

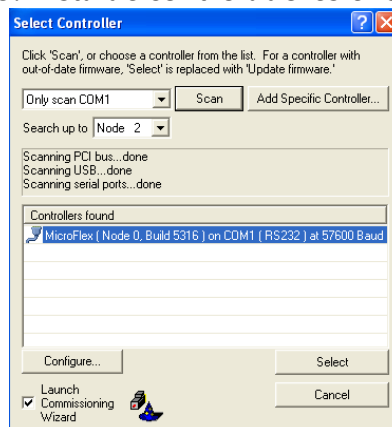


El programa ejecuta la búsqueda de los controladores atreves del puerto COM1. Al ser encontrado aparecerá en el listado de controladores encontrados, como se aprecia en la figura 15, dar click en *Select*.

Como recomendación seleccionar la opción *Launch Commissioning Wizard*.

Cabe de anotar que las velocidades de transferencia de datos tanto en la configuración del puerto serial del PC, como en el software deben ser iguales.

Figura 15. Lista de controladores encontrados.

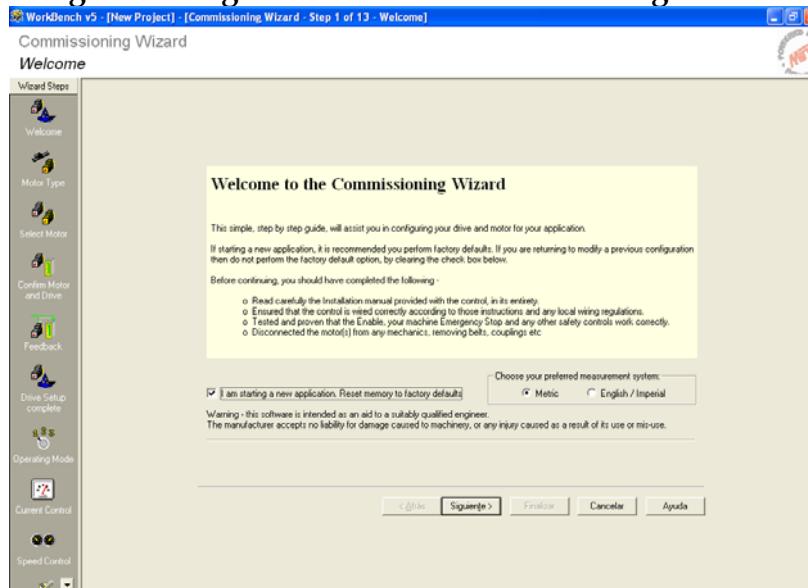


3.1 CONFIGURACIÓN DEL SERVO-MOTOR EN EL SOFTWARE.

Con la ayuda del *Launch Commissioning Wizard*, procedemos a la identificación del servo-motor y la configuración del modo de trabajo que este tendrá.

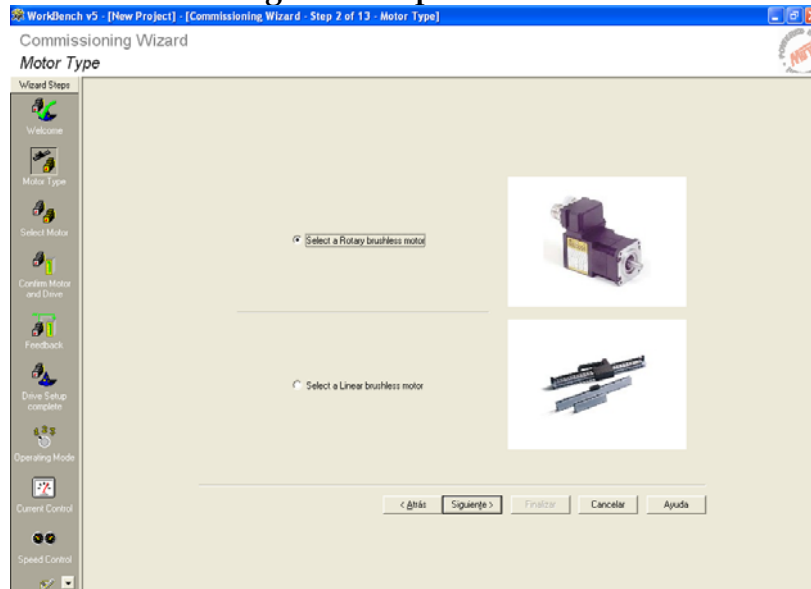
Al iniciar el *Commissioning Wizard* seleccionaremos en que tipo de unidades queremos trabajar el resto del proyecto, una vez seleccionada damos siguiente.

Figura 16. Página inicial del Commissioning Wizard.



En el siguiente paso se seleccionará el tipo de servo-motor a configurar, en este caso será un motor rotativo o *“Select a Rotary brushless motor”*, como se puede apreciar en la figura 17, y damos click en siguiente.

Figura 17. Tipo de motor.



Ya seleccionado el tipo del motor, se debe precisar su referencia. La referencia del servo-motor que se utilizó en este proyecto es **BSM 80C 375 AF**. Estos datos se introducen escogiendo la opción de selección del motor por catálogo u/o “*Select motor by Catalog number*”. A un así si seleccionamos la opción “*Select motor by Spec. Number*” introduciremos los siguientes datos **S2P196WO58** en las casillas correspondientes, tal como se ve en la figura 18.

En este nuevo paso se mostrará la información técnica del servo-motor y el controlador, la cual es solo para confirmar que se haya seleccionado correctamente el servo-motor y el controlador. La pantalla que se muestre debe ser igual a la mostrada en la figura 19.

Figura 18. Selección del motor.

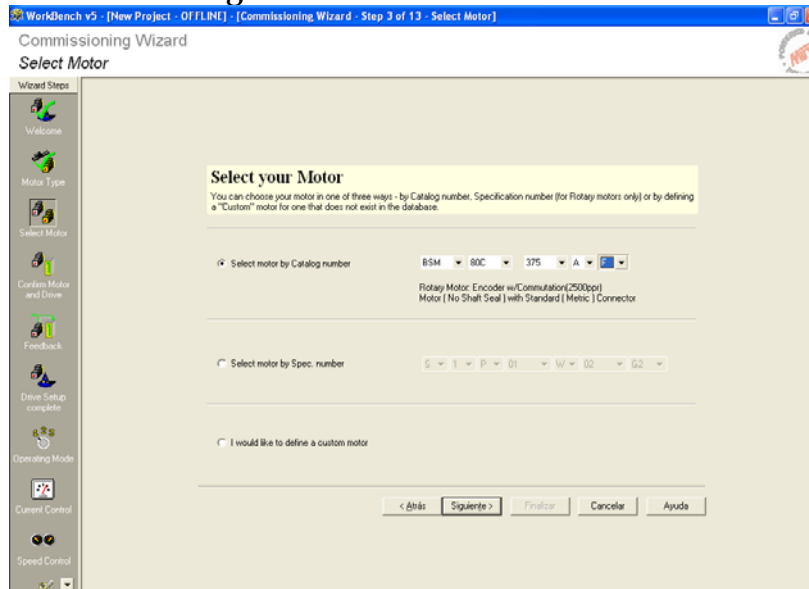
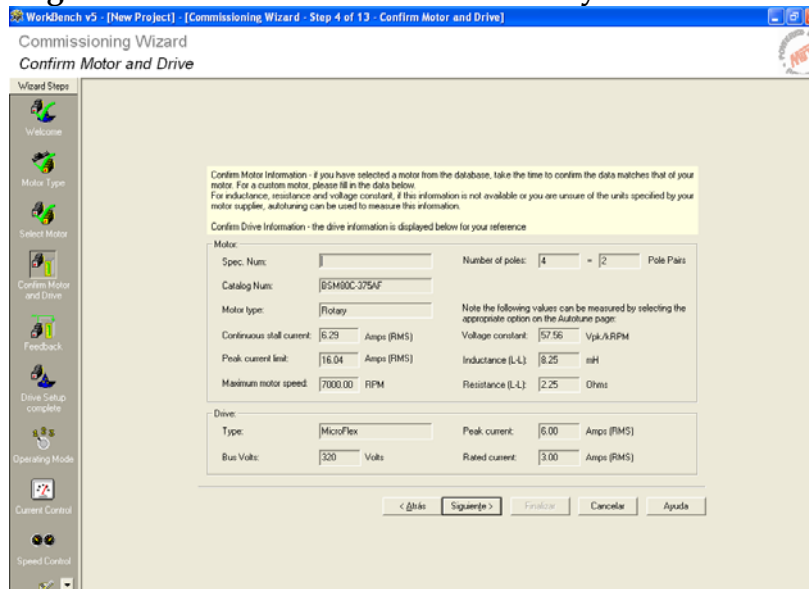


Figura 19. Información del servo-motor y el controlador.



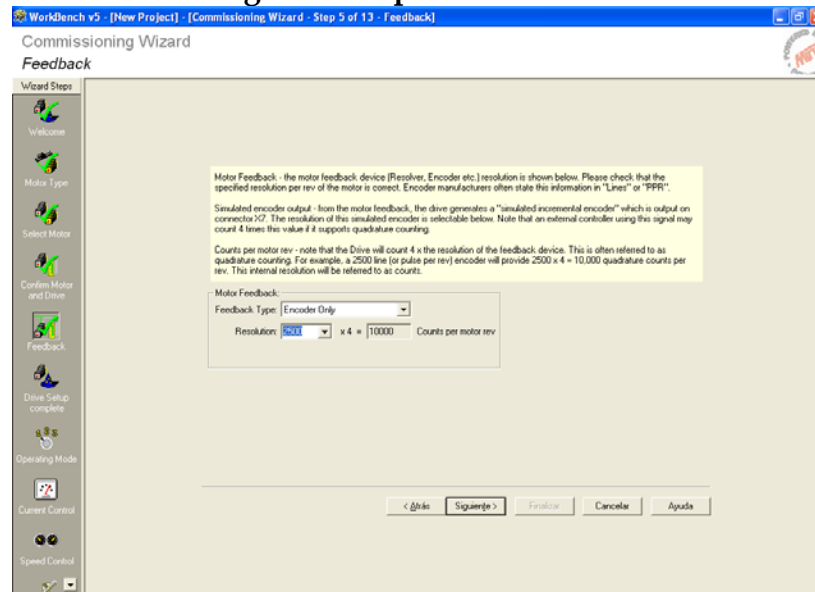
✓ **Configuración de los parámetros de control.** En este paso encontramos el parámetro de control del servo-motor. Como se puede observar en la figura 20, se selecciona el tipo de feedback que tiene el servo-

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

motor, de acuerdo a esto el servo-motor posee un feedback tipo encoder solamente.

Figura 20. Tipo de Feedback.



Este paso muestra la finalización de la configuración de los parámetros del servo-motor, en los próximos pasos se configurará el modo de funcionamiento del servo-motor.

3.2 CONFIGURACIÓN DEL MODO DE OPERACIÓN.

La figura 21 muestra el inicio de configuración los diferentes modos de operación y una guía para la configuración de estos.

Al dar click en siguiente, se debe seleccionar el modo de operación del servo-motor, que en este caso será control de velocidad como se muestra en la figura 22.

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



Figura 21. Pantalla de inicio configuración modo de operación.

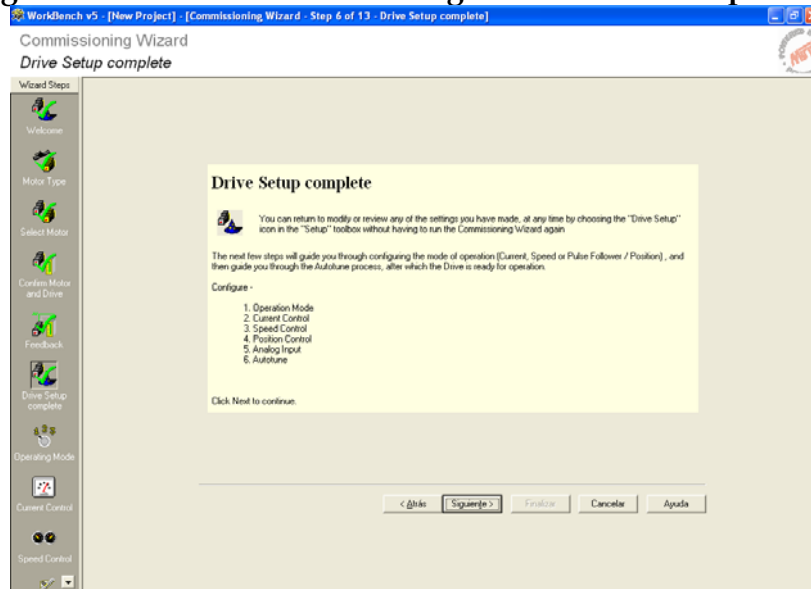
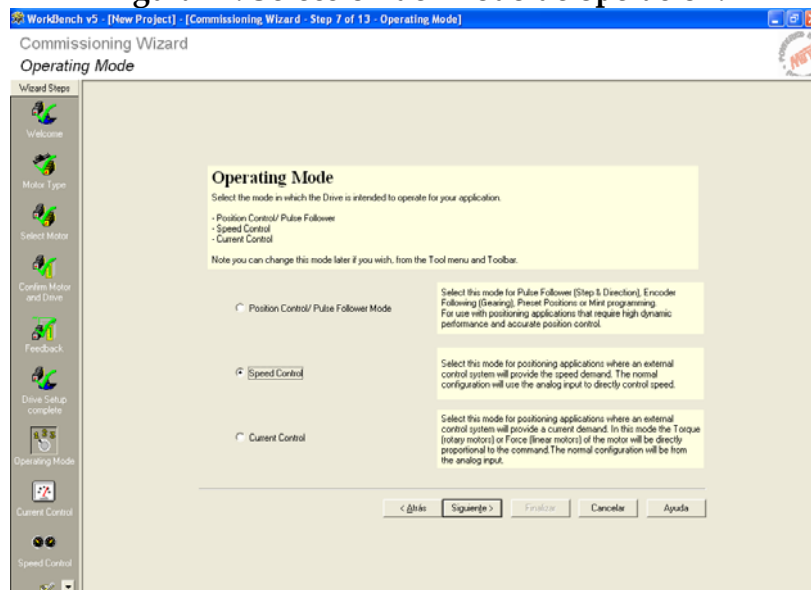


Figura 22. Selección del modo de operación.



Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

Lo siguiente a realizar es la verificación o introducción de los parámetros en las diferentes páginas que siguen, tal como se muestra en las figuras 23, 24, 25, 26 y 27, esto debido a que son recomendaciones del fabricante.

Figura 23. Configuración del control de corriente.

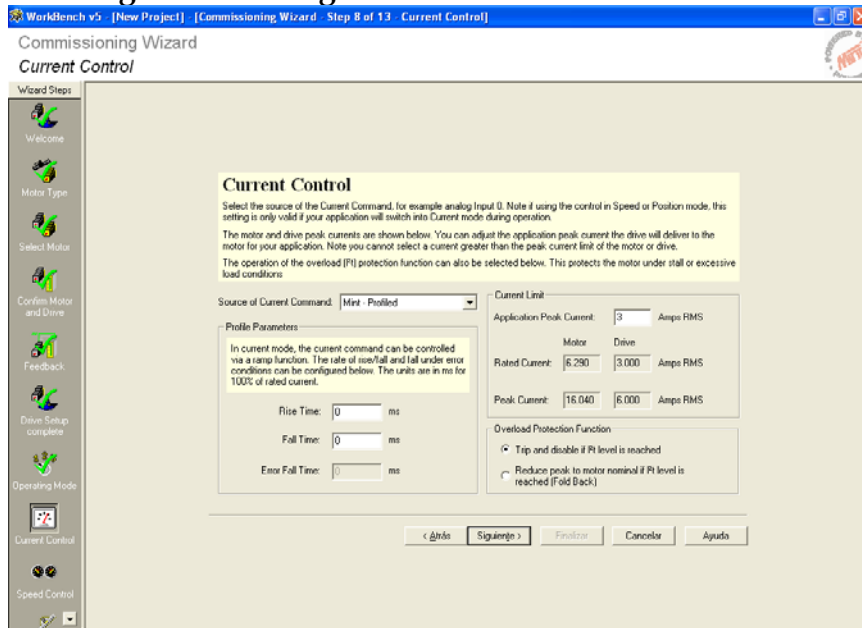


Figura 24. Configuración del control de velocidad.

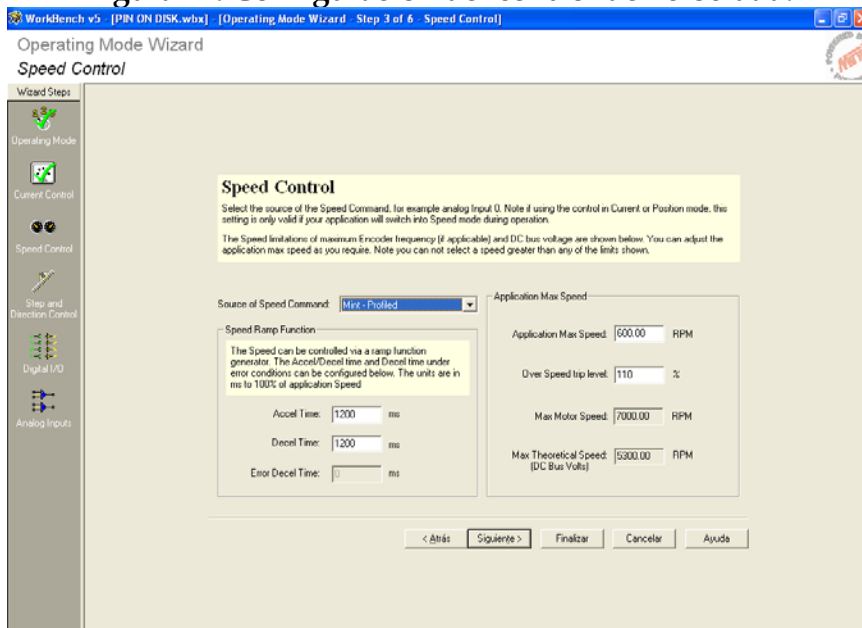


Figura 25. Configuración del control de paso y dirección.

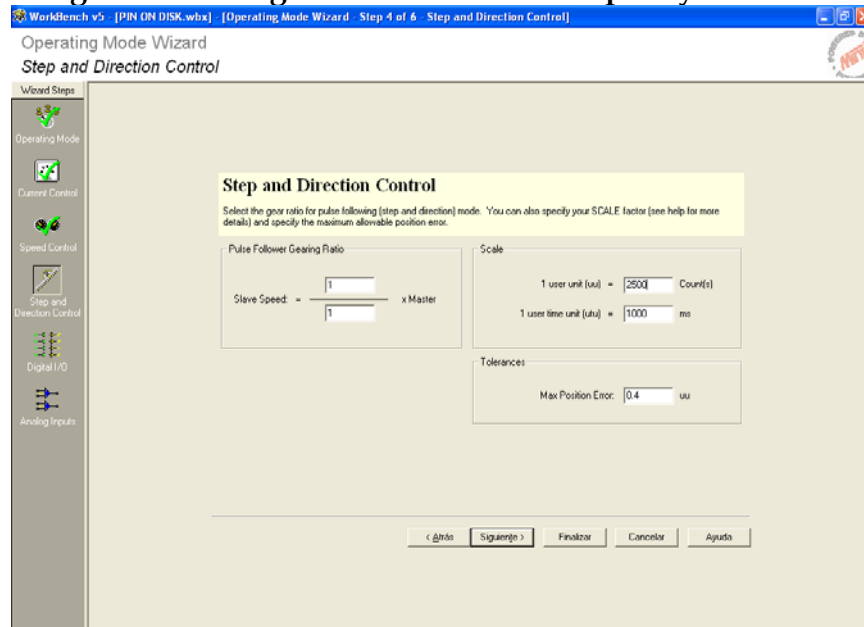
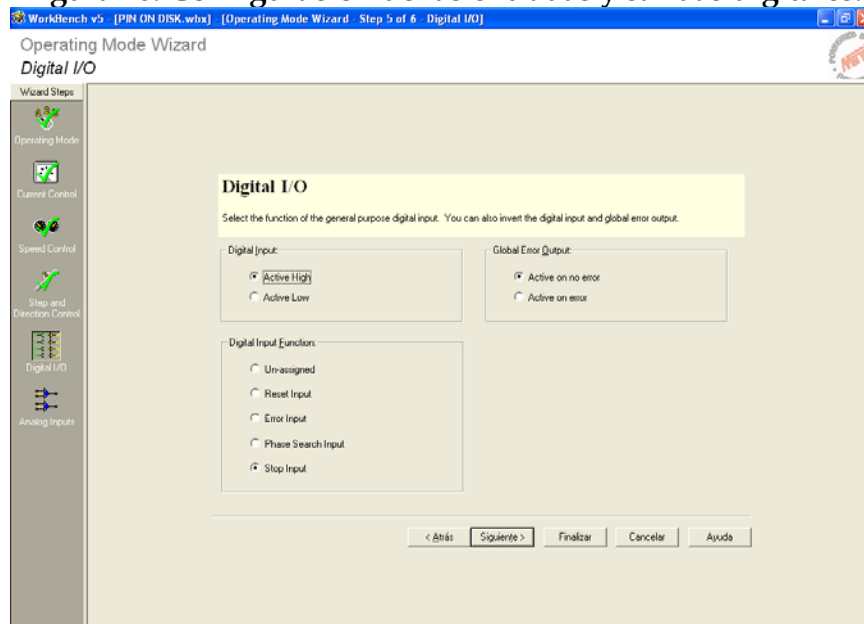


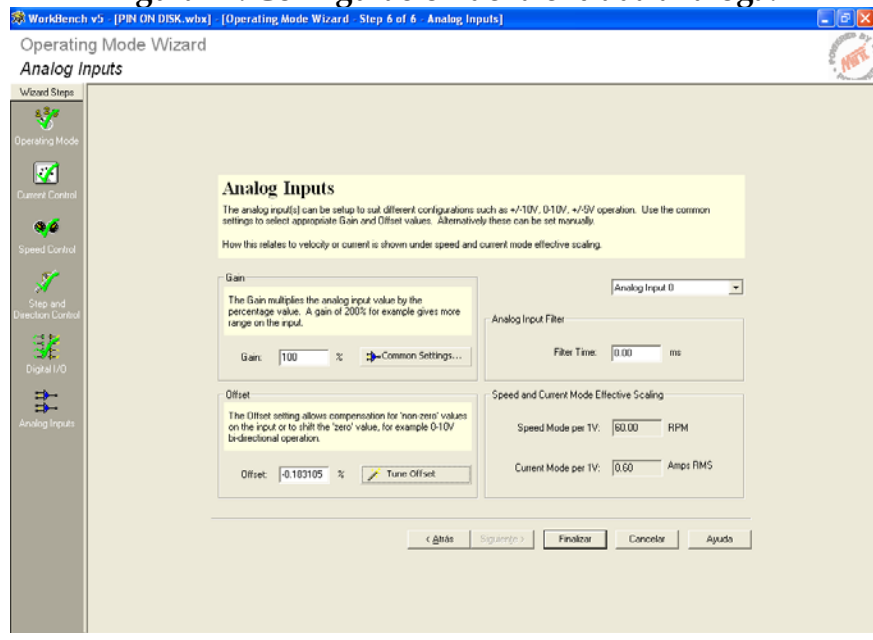
Figura 26. Configuración de las entradas y salidas digitales.



Manual de instalación y operación

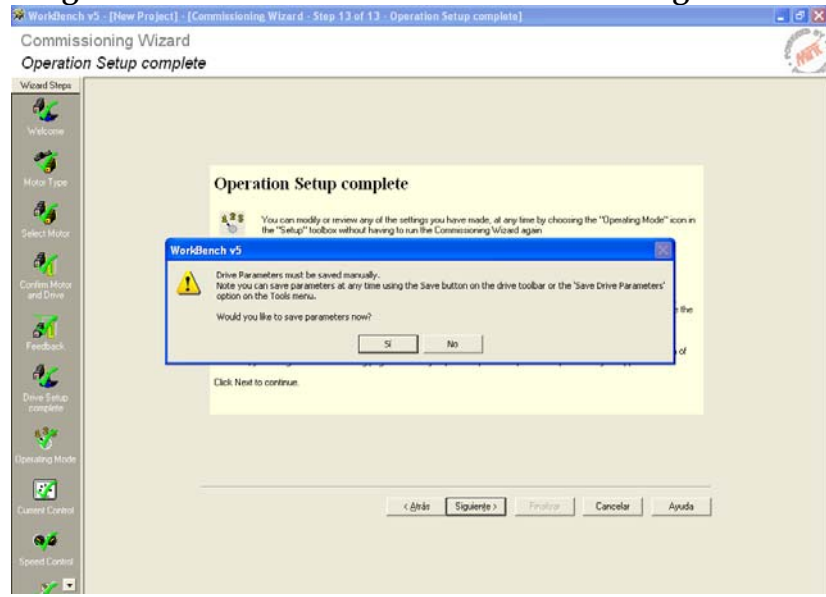
Máquina pin on disk

Figura 27. Configuración de la entrada análoga.



Una vez finalizada la configuración, el programa preguntará si desea guardar los parametros, dar click en “si” para aceptar.

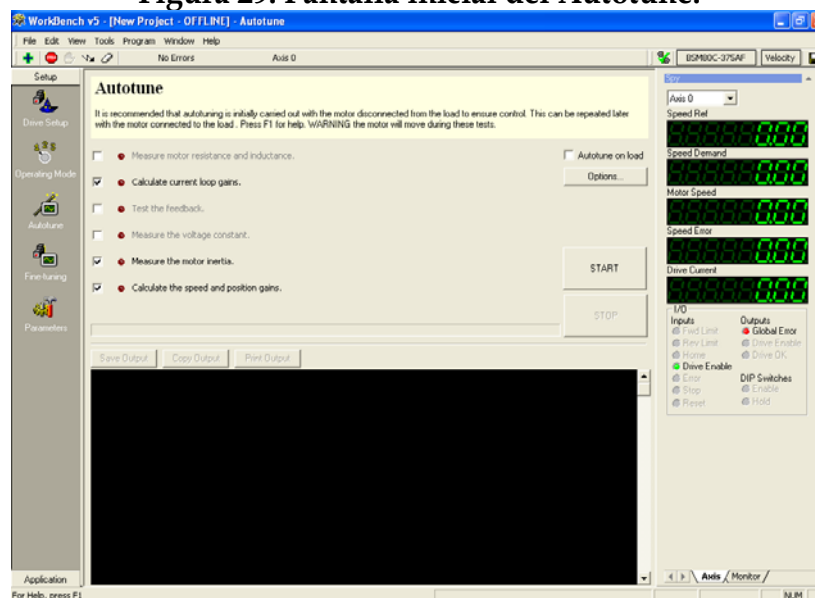
Figura 28. Pantalla de finalización de la configuración.



3.3 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Hasta ahora solo se ha configurado los parámetros o características del servomotor, en esta sección se configurará los parámetros variables, tales como el momento de inercia, las ganancias de velocidad y posición, entre otras. Dichas variables son medidas y calculadas por el software, para esto se realiza el Autotune, que no es más que la recolección de estos parámetros medidos directamente en el servo-motor.

Figura 29. Pantalla inicial del Autotune.

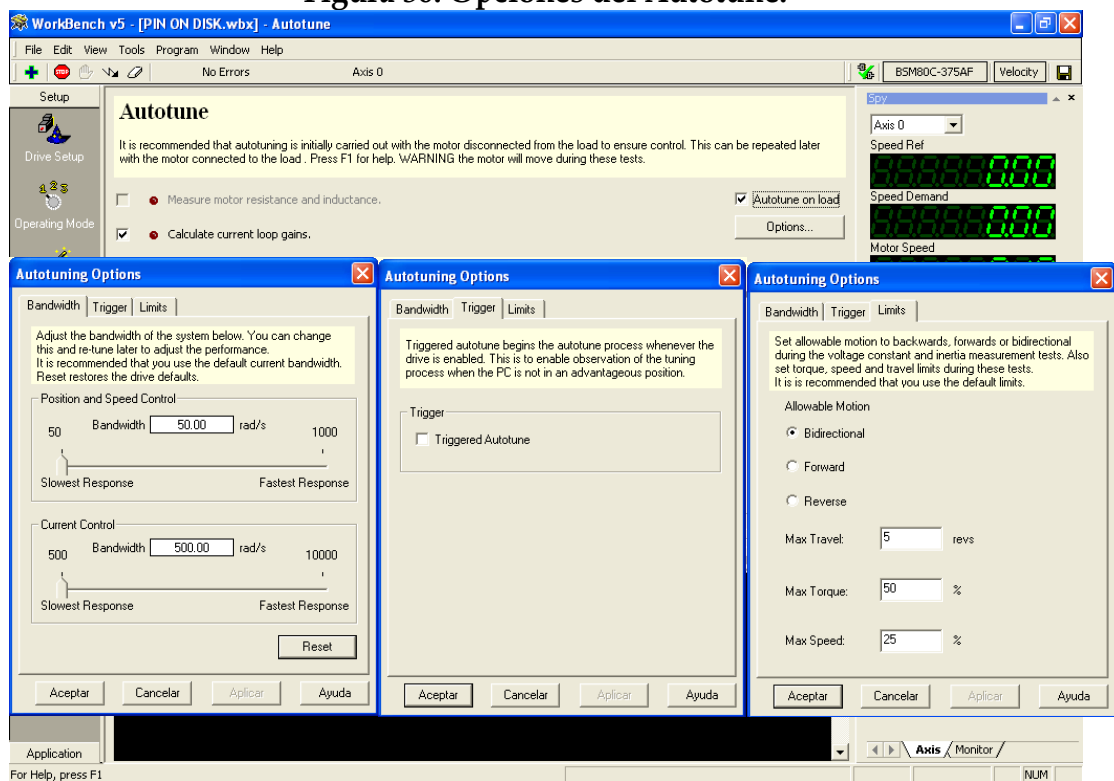


Una vez terminada la configuración del modo de operación y habiendo guardado los datos, el software mostrará la pantalla mostrada en la figura 29, en donde nos muestra los parámetros a ser medidos en el Autotune.

Antes de proceder a realizar el Autotune, en opciones debemos verificar que los parámetros mostrados en la figura 30 estén configurados, de no ser así

proceder a cambiarlos. Estos parámetros se establecieron de acuerdo a las condiciones necesarias para la prueba.

Figura 30. Opciones del Autotune.



Una vez comprobadas las opciones, en la página principal se selecciona "Autotune on load" y se da click en Start. Hay que realizar este Autotune cada vez que se cambie de disco, debido a que variables como la inercia, se ven afectadas.

Cuando finaliza esta operación, el software arroja un mensaje como el mostrado en la figura 31, dar click en "aceptar" y por último nos pregunta si

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

se desea guardar estos parámetros, a lo que damos “si”, como se muestra en la figura 32.

Figura 31. Mensaje de Autotune completado.

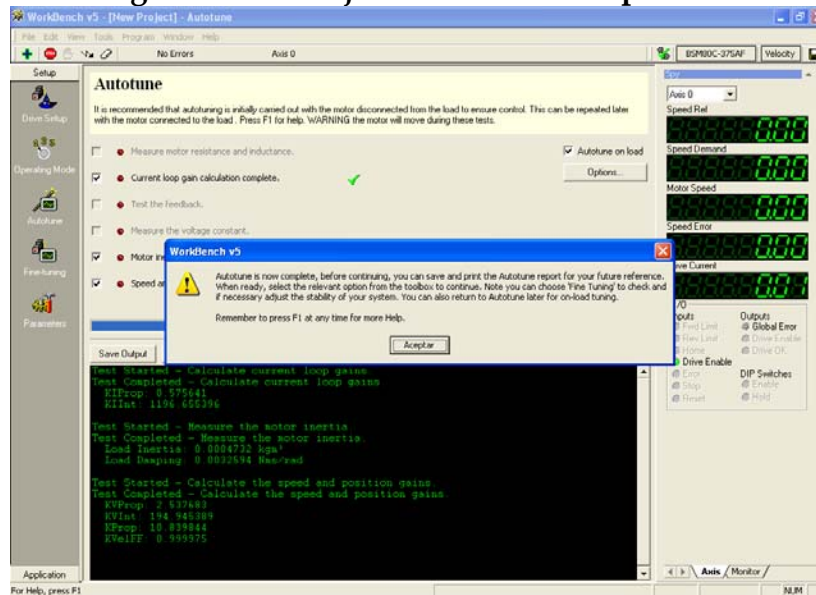
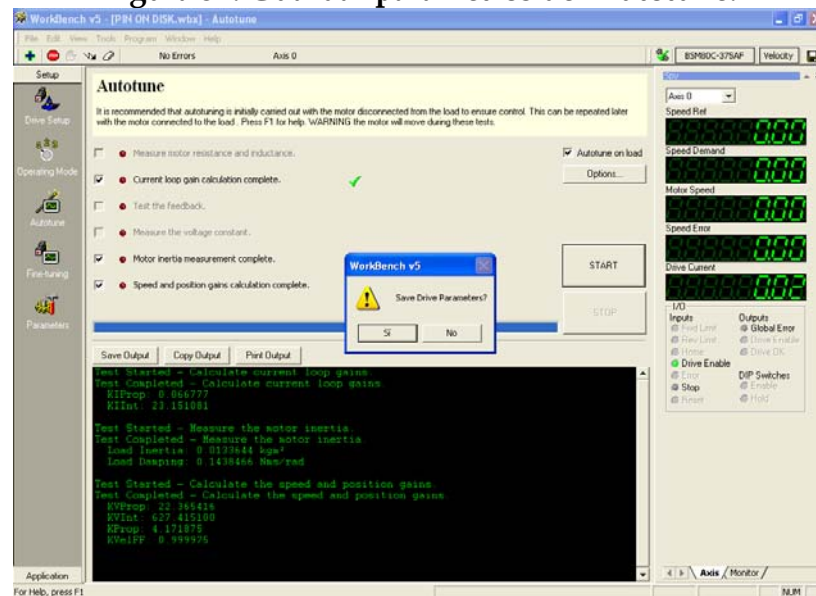


Figura 32. Guardar parámetros del Autotune.



Antes de proceder a utilizar el servo-motor para las pruebas, debemos por ultimo calcular constantes que influyen en el buen funcionamiento del mismo,



Manual de instalación y operación

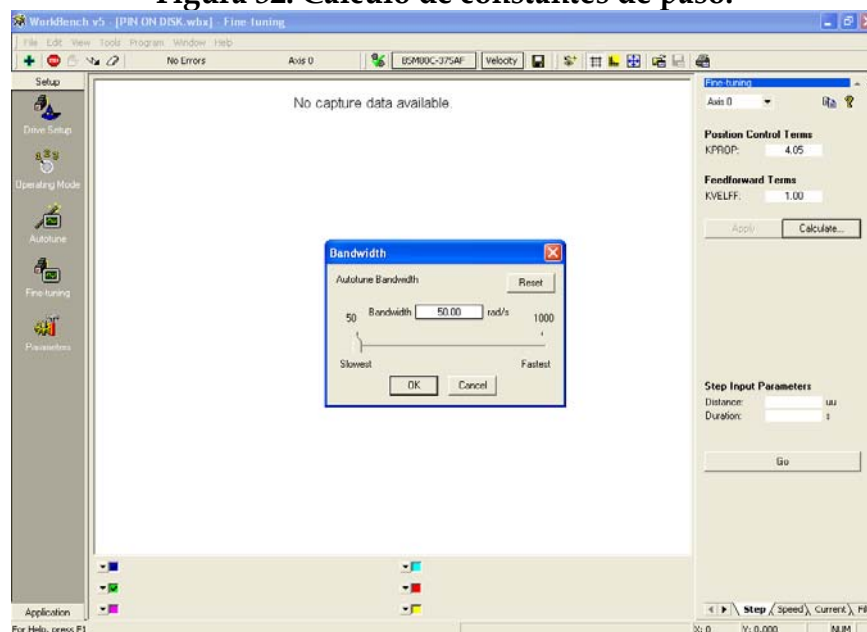
Máquina pin on disk

para esto se selecciona al lado izquierdo de la pantalla la opción *“Fine-tuning”*.

Una vez seleccionada, se busca en las pestañas inferiores:

- *“Step”*, y se calcula el KVELFF para un ancho de banda o Bandwidth de 50 rad/s (figura 32).
- *“Speed”*, se calcula los términos de control de velocidad o *“Speed Control Terms”*, para un ancho de banda de 50 rad/s (figura 33).
- *“Current”*, se calcula los términos de control de corriente o *“Current Control Terms”*, para un ancho de banda de 500 rad/s (figura 34).

Figura 32. Cálculo de constantes de paso.



Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



Figura 33. Cálculo de constantes de velocidad.

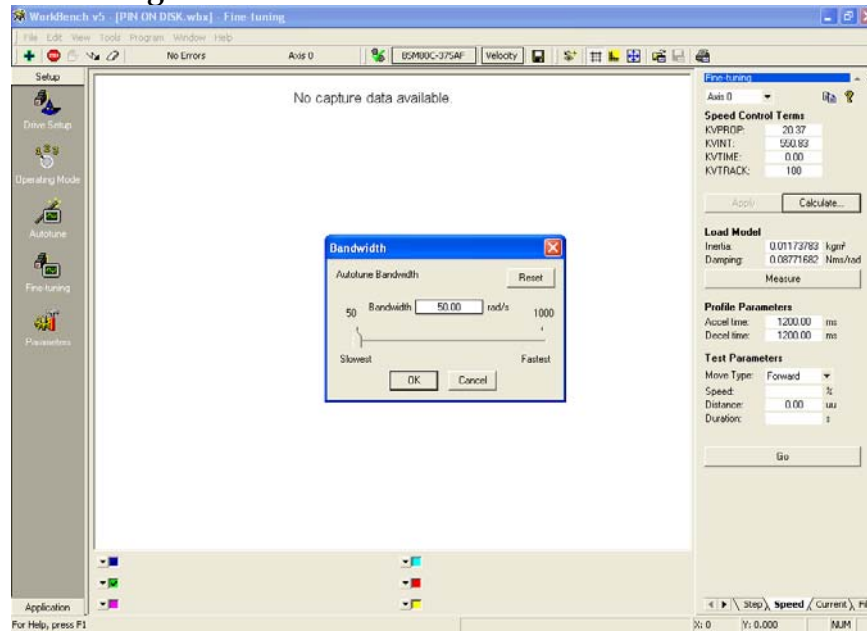
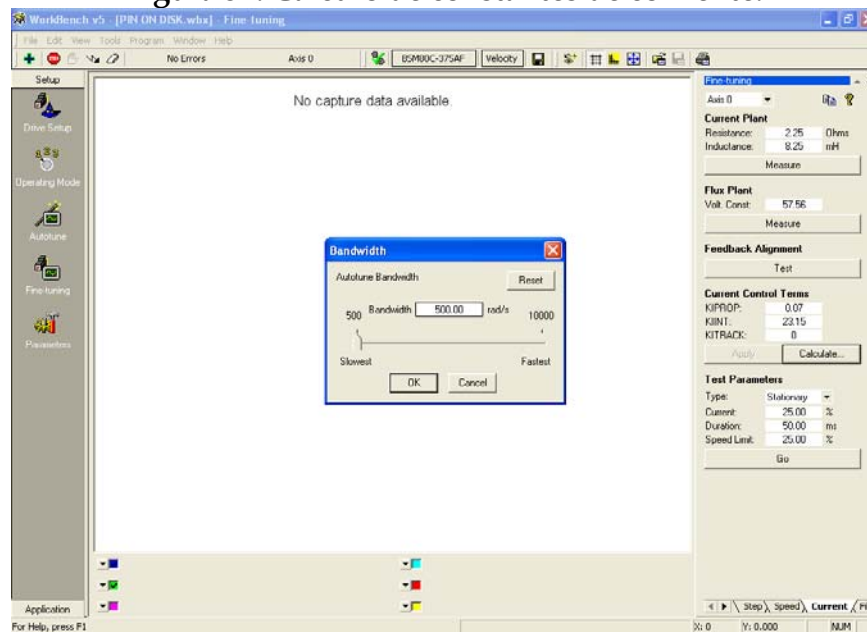


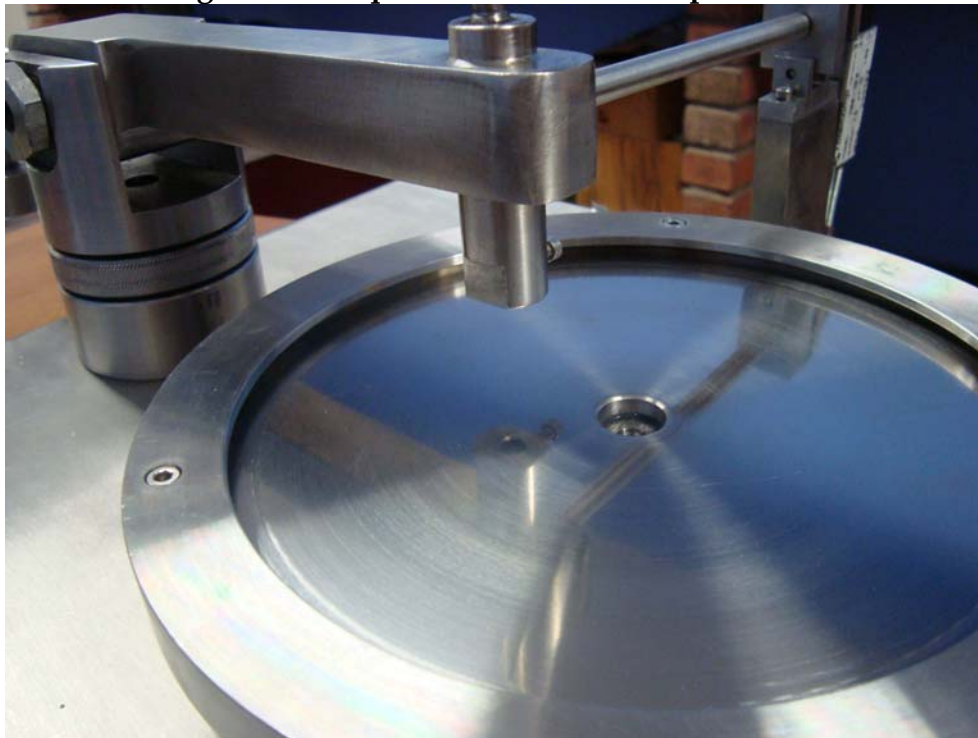
Figura 34. Cálculo de constantes de corriente.



4 PREPARACIÓN DE LA MAQUINA PARA LAS PRUEBAS

En esta sección se muestra el procedimiento a seguir para el montaje del pin y el disco en la maquina Pin On Disk que se muestra en la figura 35.

Figura 35. Máquina Pin On Disk sin probetas.



4.1 MONTAJE DEL DISCO

Para montar el disco probeta en la maquina se deben realizar los siguientes pasos:

Antes de proceder se requiere una llave tipo ALLEN de 2,5 mm para retirar el anillo de fijación.

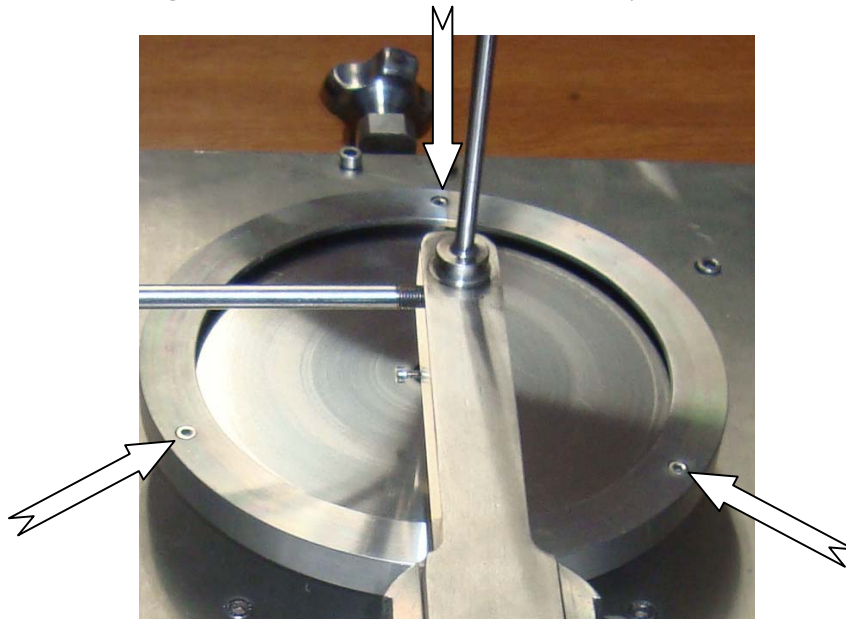
Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk



- Retire los tres tornillos que sujetan el anillo de fijación, ver figura 36.
- Una vez los tornillos estén afuera, retirar el anillo de fijación.
- Colocar el disco probeta sobre el disco base.
- Ajuste el anillo de fijación a la periferia del disco probeta, de tal forma que este coincida. Alinee los agujeros del anillo de fijación con los del disco base.
- Atornille nuevamente los tornillos que fijan el anillo, ajústelos hasta el tope.

Figura 36. Tornillos del anillo de fijación.



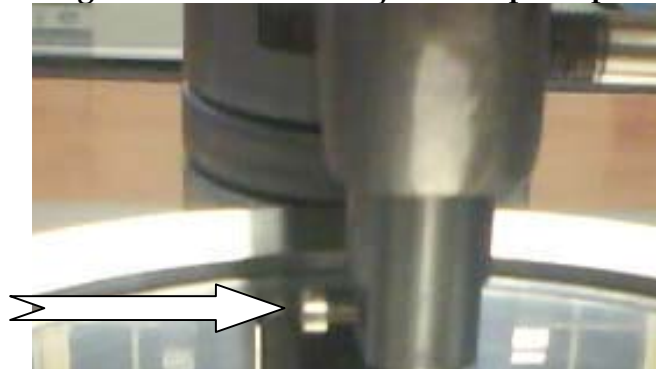
4.2 MONTAJE DEL PIN

Para montar correctamente el pin en la maquina se deben realizar los siguientes pasos:

Antes de proceder se requiere una llave tipo ALLEN de 2,0 mm para apretar el tornillo que fija el pin.

- Suelte un poco el tornillo de fijación del porta pin, de tal manera que este permita un acceso fácil al pin.
- Introduzca el pin en el porta pin, y con la ayuda de un nivel, nivele todo el conjunto del brazo. Una vez nivelado ajuste el tornillo de fijación.
- Por ultimo Equilibre el peso del brazo con la ayuda de los contrapesos, de tal manera que este quede horizontal.

Figura 37. Tornillo de ajuste del porta pin.



Una vez se halla montado el pin y el disco probeta la maquina quedara como se muestra en la figura 38.

Manual de instalación y operación
Máquina pin on disk

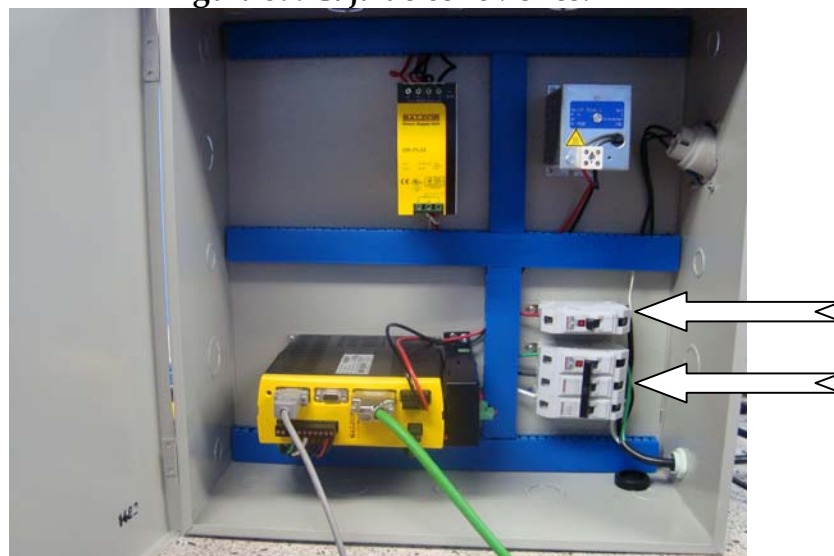
Figura 38. Máquina lista para empezar pruebas.



Por ultimo se enciende la fuente baldor y se da potencia al servo-motor, accionado los automáticos dispuestos en la caja de conexiones que se observa en la figura 39.

Esta operación se debe realizar sin contacto entre el pin y el disco.

Figura 39. Caja de conexiones.



5 UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE EN LAS PRUEBAS

Para realizar las pruebas de desgaste por medio del software, se debe conocer la velocidad de rotación expresada en porcentaje (%) y el tiempo expresado en (s); a su vez el software permite adquirir datos importantes como son la velocidad y la corriente como representación del torque requerido, medidas durante la prueba.

5.1 CALCULO DE LOS PARÁMETROS

Empleando formulas sencilla se pueden obtener los parámetros de velocidad rotacional, número de vueltas y el tiempo, a partir de la velocidad lineal, el radio y la distancia, los cuales son indicados en cada prueba.

Partiendo que la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{N}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde N es el número de revoluciones y t el tiempo, y que la velocidad lineal para un movimiento circular es:

$$v = 2\pi \times \omega \times r \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde r es el radio del disco medido desde su centro y w se encuentra expresada en revoluciones por unidad de tiempo.

Pero además la velocidad lineal se puede expresar como:

$$v = \frac{x}{t} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde x representa la distancia recorrida. Igualando las ecuaciones 2 y 3, y reemplazando 1 obtenemos el numero de vueltas en función del radio y x .



Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

$$N = \frac{\kappa}{2\pi \times r} \quad \text{Ecuación 4}$$

Para hallar la velocidad angular basta con despejarla de la ecuación 3.

$$\omega = \frac{v}{2\pi \times r} \quad \text{Ecuación 5}$$

Para determinar el tiempo se despeja de la ecuación 1.

$$t = \frac{N}{\omega} \quad \text{Ecuación 6}$$

Cabe de anotar que las ecuaciones antes mencionadas son generales, hay que tener en cuenta las dimensiones de cada una de las variables.

Estas ecuaciones se introducidas en una hoja de cálculo de Excel hacen más rápida encontrar dichas variables A continuación se muestra un ejemplo de cómo se puede esquematizar estas ecuaciones.

Cuadro 2. Esquema de parámetros necesarios para una prueba.

PARÁMETROS DE LA PRUEBA	
RADIO [cm]	3
VELOCIDAD LINEAL [m/S]	1
DISTANCIA [Km]	0.25
Nº DE VUELTAS	133
V. ANGULAR MAXIMA [RPM]	600
VELOCIDAD ANGULAR [RPM]	318.31
VELOCIDAD EN PORCENTAJE [%]	53.05
TIEMPO [SEGUNDOS]	25.00
TIEMPO [MINUTOS]	0.42
TIEMPO [HORAS]	0.01

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

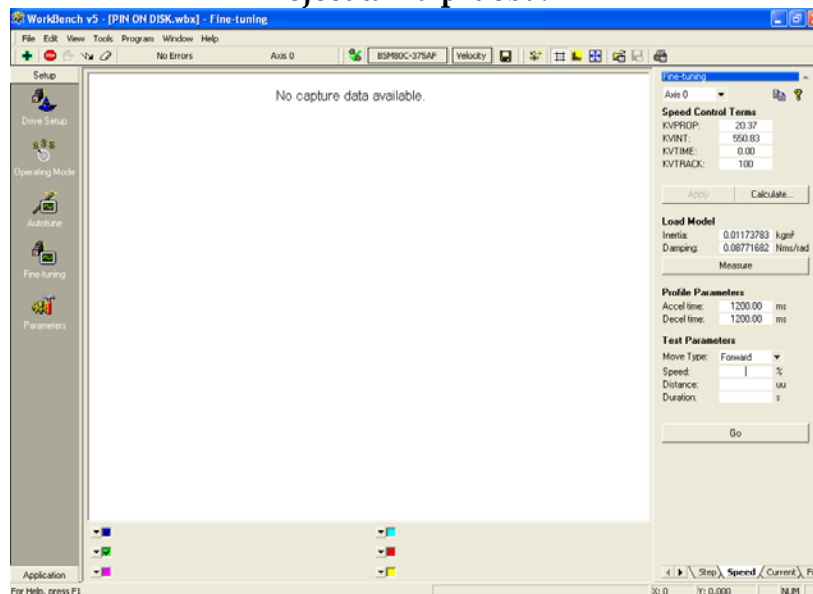


5.2 ENTRADA DE PARÁMETROS AL WORKBENCH.

Una vez se hallan obtenido estos parámetros se procede a ingresarlos en el software, a través de la opción *Fine-Tuning* en la pestaña “*speed*” tal como se muestra en la figura 40, en donde se ingresara los datos en “*speed*” y en “*duration*”

- “*speed*”, representa la velocidad angular expresada en porcentaje, la cual se obtiene de dividir la velocidad angular obtenida por la velocidad máxima, que en este caso es de 600 rpm
- “*duration*”, no es más que el tiempo hallado expresado en segundos.

Figura 40. Introducción de parámetros en el Workbench necesarios para ejecutar la prueba.



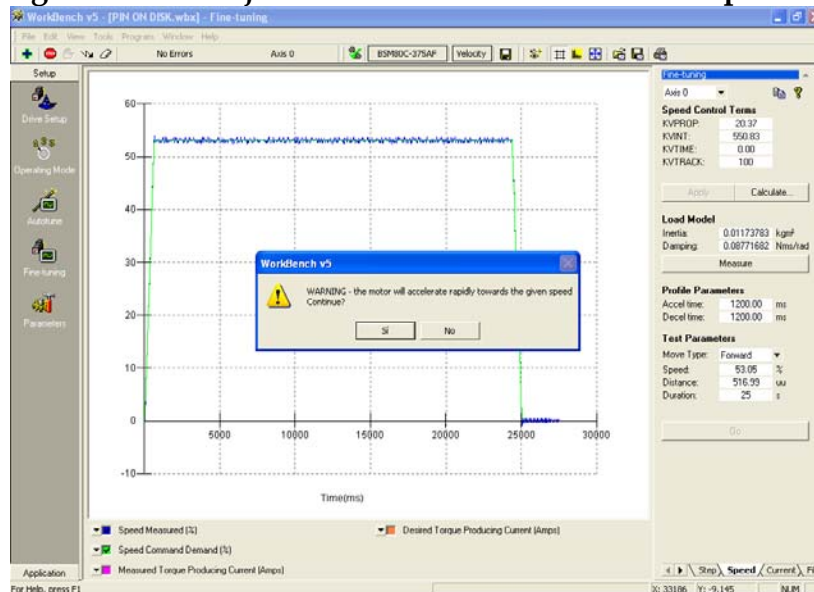
Ya introducido estos datos el siguiente paso es dar click en “*Go*”, en seguida aparecerá un mensaje el cual indica que el servo-motor iniciara operaciones (figura 41).

Manual de instalación y operación

Máquina pin on disk

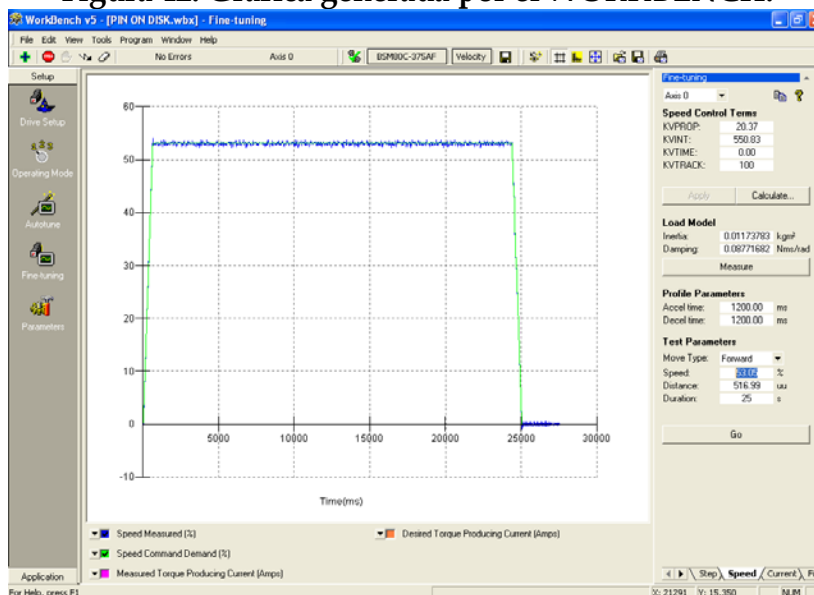
Antes de aceptar verificar que la maquina se encuentre con los contrapesos y en la posición correcta.

Figura 41. Mensaje de alerta antes de iniciar con la prueba.



En la figura 42 se muestra la gráfica que genera el programa una vez se haya finalizado la prueba.

Figura 42. Grafica generada por el WORKBENCH.



Manual de mantenimiento Máquina pin on disk



Contenido

	Pg.
Manual de mantenimiento	2
Lubricación del sistema de desplazamiento [PM-01]	3
Lubricación de los rodamientos del eje motriz [PM-02]	4
Cambio del servomotor [PM-03].....	5
Cambio de los rodamientos del motor [PM-04]	6
Cambio de los bujes de bronce [PM-05]	8
Cambio del tornillo de desplazamiento [PM-07]	9
Cambio de la tuerca de desplazamiento [PM-08].....	11
Cambio de los apoyos de arrastre [PM-09].....	13
Cambio de rodamientos en el pivote del brazo [PM-10]	15
Cambio de rodamientos en el soporte del brazo [PM -11].....	16
REGISTRO DE MAQUINARIA	18
HOJA DE VIDA.....	19

Manual de mantenimiento

Máquina pin on disk



Manual de mantenimiento

El mantenimiento adecuado de una máquina está estrechamente ligado a su vida útil; por ello es necesario atender las labores de mantenimiento de acuerdo las recomendaciones dadas por el fabricante. Con el fin de obtener una máquina con bajos requerimientos de mantenimiento, el diseño se vio enfocado en partes durables y de bajas demandas para su cuidado.

A continuación se listan las partes que se ven afectadas por desgaste, los periodos en los cuales se deben realizar las labores de mantenimiento, y el instructivo en el cual se detallan las labores de mantenimiento.

SISTEMA	ELEMENTO	ACCIÓN	MATERIAL	PERIODO	INSTRUCTIVO
Motriz	Motor	Reemplazar	Motor BSM80C-375AF		PM-03
	Rodamientos motor	Reemplazar			PM-04
	Rodamientos eje motriz	Lubricar	Grasa con base de litio y aditivos EP		PM-02
		Reemplazar	NKIA 5906		
Desplazamiento	Bujes de bronce	Lubricar	Grasa con base de litio	1000	PM-01
		Reemplazar	Plano N°27		PM-05
	Ejes guía	Lubricar	Grasa con base de litio	1000	PM-01
	Tornillo de desplazamiento	Lubricar	Grasa con base de litio	1000	PM-01
		Reemplazar	Plano N°08		PM-06
	Tuerca de desplazamiento	Lubricar	Grasa con base de litio	1000	PM-01
		Reemplazar	Plano N°09		PM-07
	Apoyo de arrastre	Lubricar	Grasa con base de litio	1000	PM-01
Reemplazar		Plano N°07		PM-08	
Carga	Rodamiento del soporte del brazo	Lubricar	Grasa con base de litio	100000	
		Reemplazar	NKIA 5906		PM-10
	Rodamiento pivote del brazo	Lubricar	Grasa con base de litio	100000	
		Reemplazar	NKIA 5901		PM-09

Lubricación del sistema de desplazamiento

Materiales

- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Aplique grasa en el tornillo de desplazamiento y en los ejes guía de desplazamiento de la mesa superior.
2. Haciendo girar el tornillo de desplazamiento de la mesa superior, mueva en ambas direcciones la mesa llevándola hasta sus topes.
3. Limpie el exceso de grasa de la tuerca y los bujes de desplazamiento.

Lubricación de los rodamientos del eje motriz

Materiales

- ✓ Llave Allen de 5mm
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Desmonte el brazo de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
4. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
5. Suelte la tuerca de fijación del soporte del eje del disco.
6. Aplique grasa en los rodamientos de manera moderada.
7. Haga girar el eje en ambos sentidos para que la grasa se distribuya.
8. Limpie el exceso de grasa.



Cambio del servomotor

Materiales

- ✓ Servomotor Baldor BSM80C-375AF
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Monte el nuevo servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.

Cambio de los rodamientos del motor

Materiales

- ✓ Llave Allen de 5mm
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Extractor para 200mm de ancho y desplazamiento de 100mm
- ✓ Prensa hidráulica
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
4. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
5. Suelte la tuerca de fijación del soporte del eje del disco.
6. Con el extractor deslice el eje del soporte del disco.
7. Monte el soporte del eje del disco en una prensa hidráulica y con la ayuda de una circunferencia de 50mm deslice los rodamientos fuera del soporte.
8. Desempaque los nuevos rodamientos y lubríquelos con grasa a base de litio y aditivos EP.
9. Haga girar los rodamientos en ambos sentidos para que la grasa se distribuya.
10. Limpie el exceso de grasa.
11. Monte los rodamientos con ayuda de la prensa hidráulica.
12. Monte nuevamente el eje de la base del disco con ayuda de la prensa.

Manual de mantenimiento

Máquina pin on disk



13. Monte nuevamente la mesa superior con la llave Allen de 5mm.
14. Monte el brazo de carga roscándolo en el eje vertical.
15. Monte el servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.
16. Conecte los cables de alimentación y transmisión de datos del servomotor.

Cambio de los bujes de bronce

Materiales

- ✓ Llave Allen de 5mm
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Prensa hidráulica
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
4. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
5. Con la llave Allen de 5mm suelte los tornillos que aseguran las guías a los apoyos de las guías.
6. Deslice los ejes guías fuera de sus apoyos, liberando las correderas.
7. Con ayuda de la prensa hidráulica extraiga los bujes de bronce.
8. Monte los nuevos bujes ya lubricados con grasa empleando la prensa hidráulica.
9. Monte los ejes guía en sus soportes asegurándose de pasarlo por las correderas.
10. Asegure los tornillos de los apoyos de los ejes guía.
11. Monte nuevamente la mesa superior con la llave Allen de 5mm.
12. Monte el brazo de carga roscándolo en el eje vertical.
13. Monte el servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.
14. Conecte los cables de alimentación y transmisión de datos del servomotor.

Cambio del tornillo de desplazamiento

Materiales

- ✓ Llave Allen de 5mm
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Martillo y cincel de $\varnothing 5$ mm
- ✓ Pasador elástico o ranurado de 5x20mm
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Extractor de chavetas
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
4. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
5. Con la llave Allen de 5mm suelte los tornillos que aseguran las guías a los apoyos de las guías.
6. Con el extractor de chavetas suelte la chaveta que asegura axialmente el tornillo.
7. Suelte los tornillos que aseguran los apoyos de arrastre a la mesa inferior.
8. Extraiga la tuerca del tornillo.
9. Extraiga el tornillo de los apoyos.
10. Con un cincel de 5mm extraiga el pasador que asegura la manivela al tornillo.
11. En el nuevo tornillo instale la manivela.

Manual de mantenimiento

Máquina pin on disk



12. Rosque la tuerca en el tornillo, lubríquela hágala girar a lo largo del tornillo.
13. Asegure el apoyo final al tornillo con la chaveta elástica.
14. Instale los apoyos del tornillo en la mesa inferior.
15. Monte nuevamente la mesa superior con la llave Allen de 5mm.
16. Monte el brazo de carga roscándolo en el eje vertical.
17. Monte el servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.
18. Conecte los cables de alimentación y transmisión de datos del servomotor.

Cambio de la tuerca de desplazamiento

Materiales

- ✓ Llave Allen de 5mm
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Martillo y cincel de $\varnothing 5$ mm
- ✓ Pasador elástico o ranurado de 5x20mm
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Extractor de chavetas
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
4. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
5. Con la llave Allen de 5mm suelte los tornillos que aseguran las guías a los apoyos de las guías.
6. Con el extractor de chavetas suelte la chaveta que asegura axialmente el tornillo al apoyo final.
7. Suelte los tornillos que aseguran los apoyos de arrastre a la mesa inferior.
8. Extraiga el apoyo final del tornillo.
9. Extraiga la tuerca vieja del tornillo.
10. Rosque la nueva tuerca en el tornillo, lubríquela hágala girar a lo largo del tornillo.

Manual de mantenimiento

Máquina pin on disk



11. Asegure el apoyo final al tornillo con la chaveta elástica.
12. Instale los apoyos del tornillo en la mesa inferior.
13. Monte nuevamente la mesa superior con la llave Allen de 5mm.
14. Monte el brazo de carga roscándolo en el eje vertical.
15. Monte el servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.
16. Conecte los cables de alimentación y transmisión de datos del servomotor.



Cambio de los apoyos de arrastre

Materiales

- ✓ Llave Allen de 5mm
- ✓ Llave fija de 10mm
- ✓ Martillo y cincel de $\varnothing 5$ mm
- ✓ Pasador elástico o ranurado de 5x20mm
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Extractor de chavetas
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
3. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
4. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
5. Con la llave Allen de 5mm suelte los tornillos que aseguran las guías a los apoyos de las guías.
6. Con el extractor de chavetas suelte la chaveta que asegura axialmente el tornillo.
7. Suelte los tornillos que aseguran los apoyos de arrastre a la mesa inferior.
8. Extraiga la tuerca del tornillo.
9. Extraiga el tornillo de los apoyos.
10. Con un cincel de 5mm extraiga el pasador que asegura la manivela al tornillo.
11. Monte el tornillo en el nuevo apoyo.
12. Instale la manivela en el tornillo.

Manual de mantenimiento

Máquina pin on disk



13. Rosque la tuerca en el tornillo, lubríquela hágala girar a lo largo del tornillo.
14. Asegure el apoyo final al tornillo con la chaveta elástica.
15. Instale los apoyos del tornillo en la mesa inferior.
16. Monte nuevamente la mesa superior con la llave Allen de 5mm.
17. Monte el brazo de carga roscándolo en el eje vertical.
18. Monte el servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.
19. Conecte los cables de alimentación y transmisión de datos del servomotor.

Cambio de rodamientos en el pivote del brazo

Materiales

- ✓ Destornillador grande
- ✓ Llave fija de 25mm
- ✓ Martillo
- ✓ Cincel de bronce
- ✓ Prensa manual de banco
- ✓ Prensa hidráulica
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
2. Asegure el brazo en una prensa.
3. Con la llave fija de 25mm y el destornillador suelte la tuerca del eje del brazo.
4. Con el martillo y el cincel de bronce deslice el eje del brazo fuera del cubo del mismo.
5. Con la prensa hidráulica extraiga los rodamientos viejos del cubo del brazo.
6. Lubrique los nuevos rodamientos y móntelos en el cubo del brazo.
7. Monte nuevamente el eje del brazo con la prensa hidráulica.
8. Asegure la tuerca del eje del brazo.
9. Instale nuevamente el brazo en el soporte.



PM-10

Cambio de rodamientos en el soporte del brazo

Materiales

- ✓ Extractor para 100mm de ancho y desplazamiento de 80mm
- ✓ Prensa hidráulica
- ✓ Grasa con base de litio
- ✓ Lanilla

Procedimiento

1. Desconecte los cables de comunicaciones y alimentación del servomotor.
2. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
3. Con la llave fija de 10mm suelte las tuercas que aseguran el servomotor, teniendo cuidado de que este no caiga al piso, pues este es su único sostén.
4. Desmonte el brazo de carga de la máquina haciéndolo girar y manteniendo fija la contratuerca del brazo.
5. Con la llave Allen de 5mm desmonte la mesa superior.
6. Suelte la contratuerca en el eje del soporte del brazo.
7. Suelte la tuerca de fijación del soporte del brazo.
8. Con el extractor deslice el eje del soporte del brazo.
9. Monte el soporte del brazo en una prensa hidráulica y con la ayuda de una circunferencia de 50mm deslice el rodamiento fuera del soporte.
10. Desempaque el nuevos rodamiento y lubríquelo con grasa a base de litio y aditivos EP.
11. Haga girar el rodamiento en ambos sentidos para que la grasa se distribuya.
12. Limpie el exceso de grasa.
13. Monte el eje en el soporte con ayuda de la prensa hidráulica.
14. Monte nuevamente la contratuerca en el eje del soporte del brazo.

Manual de mantenimiento

Máquina pin on disk



15. Monte nuevamente la mesa superior con la llave Allen de 5mm.
16. Monte el brazo de carga roscándolo en el eje vertical.
17. Monte el servomotor alineando la cuña con la ranura en el eje.
18. Conecte los cables de alimentación y transmisión de datos del servomotor.

