



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO
MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS
MECÁNICAS IN SITU**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

P R E S E N T A

MIGUEL ANGEL ROMERO BARRIENTOS

ASESOR DE TESIS

Dr. JACINTO CORTÉS PÉREZ

FES Aragón

MÉXICO

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente: Ing. Alfredo Aldaz Benítez

Vocal: M. en I. Alberto Reyes Solís

Secretario: Dr. Jacinto Cortés Pérez

Suplente: Ing. Damaso Velázquez Velázquez

Suplente: M. en I. María de Lourdes Marín Emilio

El presente trabajo se lo dedico a:

Mis padres:

Que siempre me han brindado su apoyo y sabios consejos para conducirme por el camino correcto en cada etapa de mi vida y hacer realidad mis sueños. Porque a pesar de las fuertes mareas que trae la vida, siempre nuestra familia ha estado unida gracias a ustedes. Por hacer de mí un hombre de fe, de valores, de confianza, humildad, sencillez y sobre todo de mucho amor hacia la vida.

Porque me enorgullece su ejemplo de lucha, perseverancia y constancia. Por qué los triunfos de cada uno de ustedes siempre han sido pensando en nuestra familia y la verdad aun no encuentro con que pagarles todo sus sacrificios pero mucho menos esta vida que me han regalado de dicha y felicidad.

Yolanda Barrientos Nava

Porque has cuidado de mí desde tu vientre con tanto amor y que tu ejemplo es el mejor de mi vida. Porque desde niño estuviste pendiente de mi educación llevándome a mis primeras clases procurándome en cada momento y ser el pilar inquebrantable en el que siempre nos apoyamos. Porque a pesar de las épocas de carencias siempre velaste por nosotros de una o de otra forma con tus acertadas decisiones, en especial de no sacar a esos niños de la escuela que realmente no sabías si lo lograrían o no, gracias por tu confianza porque si no fuera así, sería otra mi historia. Tú y todos lo saben qué mejor madre que tu no podría tener.

Juan Romero Cortes

A tí por ser mi ídolo al cual le agradezco esta vida llena de enseñanza e impulso para continuar día a día sin importar el obstáculo, por ser el mejor ejemplo de superación, fuerza y coraje ante cualquier situación. Porque siempre estas a mi lado con sabiduría logrando una evolución positiva en mi mente y mi ser.

Porque siempre nos apoyaste con tu esfuerzo y arduo trabajo para que lográramos nuestras metas. Gracias por la mejor herencia que se le puede dar a una persona "el espíritu indestructible". Porque simplemente tú me enseñaste a triunfar, a ser feliz y sobre todo, a creer en mí.

Mi esposa Tania Estefanía Urquides Vázquez

Amor te agradezco tanto por todos estos años de estar a mi lado y ser parte de mi inspiración, mi deseo de lucha y superación a pesar de los malos tiempos y carencias siempre has confiado en mí.

Porque eres una de las personas que siempre cree que lo puedo lograr cuando la mayoría opina lo contrario, porque desde que te conocí estas preocupada por nuestro bienestar y vivir conmigo momentos tan maravillosos como la dicha de ser padres. Porque te amo nena esto es un triunfo dedicado a ti.

Mi hija Fatima Lisete Romero Urquides

Gracias mi princesa por ser mi motor para seguir adelante e inspirarme para estar dispuesto a dar todo con el fin de que te sientas orgullosa de mí como yo de ti con tus primeros triunfos, gracias por hacer de mi vida una maravilla con solo verme y decirme papá. Espero algún día tu medes esta satisfacción tan grande y bien lo sabes que lo lograras. Te dedico esto porque te adoro mi princesa.

Mis hermanos

Javier Romero, Juan Carlos Romero, David Omar Romero y Marco Antonio Romero

A ustedes les agradezco por sus enseñanzas y apoyo incondicional, por los juegos, las risas, las aventuras que vivimos juntos; gracias por confiar en mí y decirme que yo puedo todo el tiempo. Esto también se los dedico de corazón y espero que sigamos siempre tan unidos como desde que éramos niños.

Mis sobrinos y mis cuñadas

*Javier, Juan, Carlitos, Diana Marí, Tania y Angeles
Niños gracias por los buenos momentos y espero sigan un poco de los buenos ejemplos que les damos las personas que más los queremos.*

Mi familia

En especial a la familia Barrientos porque siempre me acompañan en los buenos momentos, a la familia Urquidés Cervantes y González Cervantes que me han adoptado como si fuera un integrante más de su familia, con cariño a Francisca Cervantes, Teresa Cervantes y mis compadres Juan y Níco.

Jacinto Cortes

Porque usted me enseñó un mundo totalmente diferente al que conocía en el ámbito profesional, porque me motivó a superarme día a día desde que lo conocí y hacerme saber que sí se puede lograr metas como esta y aun ir más allá de nuestros propios límites.

Gracias por tenderme su mano de amistad y apoyarme en una etapa de mi vida cuando más lo necesitaba, también por confiar en mis capacidades y que gracias a esa oportunidad vivo tranquilamente.

Por el gran ejemplo que es para muchos profesionistas y enseñarnos que no importa el tiempo ni las situaciones sí no que lo más importante es creer y hacer de lo imposible lo posible. Me faltan las palabras para agradecerle todas las oportunidades a las que no cualquiera tiene acceso y me brindo como a un amigo.

Néstor García Castillo

Amigo gracias por ser un asesor más, no solo en lo profesional sino también porque también me has enseñado a tener temple y equilibrio en mi vida y jalarme las orejas cuando me desespero, amigo gracias por acompañarme en las buenas y en las malas. Gracias por ayudarme a titularme y no desesperarte cuando insistía tanto.

Roberto Cornejo

Gracias ingeniero por la oportunidad y apoyo que me ha brindado hasta el momento, además de confiar en mi capacidad para el trabajo, pero sobre todo por las bendiciones hacia mi persona.

Mis amigos

A mi mejor amiga Miriam Lizbeth que siempre me acompaño en la carrera con sonrisas y aventuras sin igual; a Jorge Pinal y Fernanda que siempre tiene un buen consejo para cada situación; Aldo Flores ya sabes men eres uno de los mejores amigos compartiendo el mismo objetivo conmigo; Raul Vega siempre estas cuando hay que relajarse y disfrutar la fiesta. Gracias Arubi y Hector por compartir una etapa muy importante en mi vida; Rodrigo hermano que te puedo decir tú ya lo sabes, Martin Estrada, Sergio, Memo, Alejandro, Salvador, Ivan, Chuy Rodrigo, Charly, Arturo, Rojo y Paris, Mauricio, Ricardo, Noe, Matias, Royer, Adrian, Alex, Jonathan, Hugo, Kique, Victor, Alberto Sepúlveda, Albero Zarate, Alanis, los dos Fernandos, Rulo, Luz, Cinthya, Itzel, Milí, Ana, Araceli, Nohemí, Biza, Carmen, Alina, Magda, Dulce Picazo, Vanessa, Rebeca. Es difícil decir a cada uno lo agradecido que esto por esos momentos tan especiales que vivimos juntos y si me faltó alguien pueden poner su nombre aquí _____.

Agradecimientos

A mis sinodales por sus valiosos comentarios en el presente trabajo:

*M. en I. Alberto Reyes Solís
Ing. Alfredo Aldaz Benítez
Ing. Damaso Velázquez Velázquez
M. en I. María de Lourdes Marín Emilio*

Por la asesoría técnica

Técnico académico Antonio González Montaña

*Al Centro Tecnológico Aragón
Al Laboratorio de Mecánica Aplicada*

*Agradezco al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por
el apoyo otorgado en el Programa Becas Tesis de Licenciatura y
Posgrado del COMECyT 2011.*

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Innovación e Investigación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, IN111310, "Estudio y desarrollo de aplicaciones empleando materiales con memoria de forma". Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.

Índice

Introducción

i

Capítulo 1

Antecedentes

1.1	Materiales en ingeniería	2
1.2	Microscopios	4
1.3	Micrografías	6
1.4	Equipos convencionales para pruebas mecánicas	8
1.5	Sistemas de posicionamiento	13
1.5.1	Sistemas lineales	13
1.5.2	Sistemas de posicionamiento portico	14
1.5.3	Sistemas rotacionales	14
1.5.4	Sistemas mixtos	15
1.5.5	Sistemas de accionamiento o platinas manuales	15
1.5.6	Sistemas de posicionamiento automático	16
1.6	Motores	16
1.6.1	Motores paso a paso	17
1.7	Tipos de transmisión mecánica	18
1.7.1	Engranés	19
1.7.1.1	Tren de engranes.	20
1.7.2	Tornillo sin fin	22
1.8	Análisis cinemático	23
1.8.1	Análisis cinemático de engranes	23
1.8.2	Análisis cinemático de poleas y tornillo sin fin	26
1.8.2.1	Poleas	26
1.8.2.2	Tornillo de fuerza	26

Capítulo 2

Diseño del equipo

2.1	Introducción	30
2.2	Diseño conceptual	30
2.2.1	Prototipo de posicionamiento mecánico	31
2.2.2	Diseño de configuración	32
2.2.2.1	Sistema mecánico	35
2.2.2.2	Sistema eléctrico y sistema de control	40

2.3	Diseño de detalle	42
2.3.1	Cálculos de la transmisión X y Y	42
2.3.2	Cálculos de la transmisión Z	48
2.3.3	Cálculos de la transmisión W	51
2.3.3.1	Tornillo sin fin	55
2.3.4	Cálculos de los ejes guías X y Y	57

Capítulo 3

Resultados y pruebas al prototipo

3.1	Equipo mecánico óptico para pruebas mecánicas in situ	60
3.1.1	Descripción del equipo	61
3.2	Funcionamiento del equipo	63
3.2.1	Control manual	63
3.2.2	Control por computadora	64
3.2.2.1	Interfaz de usuario para el control de los motores	65
3.2.3	Software para manipulación de imágenes	69
3.2.4	Software de comparación de imágenes	71
3.2.5	Software de microscopio DinoCapture 2.0	74
3.3	Pruebas de funcionamiento al equipo mecánico óptico	75
3.3.1	Verificación de funcionamiento	76
3.3.2	Control por computadora 1	76
3.3.3	Control por computadora 2	79
3.4	Pruebas futuras en distintos arreglos	86
	Conclusiones	88
	Anexo 1	
	Anexo 2	
	Anexo 3	
	Referencias	

Introducción

Introducción

El estudio de los materiales en la sociedad moderna es de gran importancia debido a que la infraestructura de las ciudades modernas está sostenida por una inmensa variedad de ellos. Es claro que los diferentes procesos para llevar el material desde la forma en que es encontrado en la naturaleza hasta su forma final, son importantes debido a que las propiedades finales del material dependen inevitablemente de cada uno de estos pasos. Sin embargo, el tener un material con excelentes propiedades no garantiza el éxito en alguna aplicación específica. Lo anterior se debe a que el comportamiento del material depende también del tipo de arreglo, la geometría, dimensiones y las cargas a las que el material será sometido.

Durante mucho tiempo la mecánica de sólidos ha contribuido fuertemente en la implementación de materiales en aplicaciones prácticas, debido a que es bien conocido el comportamiento de materiales convencionales en arreglos mecánicos sencillos como: tensión, flexión, torsión y combinación de ellos a diferentes cargas. Sin embargo, dichos análisis no consideran los efectos microestructurales, en gran medida por que la tecnología necesaria para ello se empezó a desarrollar a partir del siglo pasado y tuvo su mayor auge posteriormente con el desarrollo de la computadora. Actualmente, es claro que el comportamiento de un material está fuertemente influenciado por la microestructura. Por ello la metalurgia mecánica ha tomado un papel crucial pues el objetivo de ella es relacionar la microestructura con el comportamiento mecánico macroscópico de un material. Prueba de esto es el número de publicaciones dedicadas a este tema así como, a las diferentes técnicas que se han desarrollado para estudiar el comportamiento de los materiales a nivel estructural con el fin de mejorarlas.

En este sentido, recientemente en el laboratorio de mecánica aplicada de la FES Aragón se han realizado estudios en Materiales con Memoria de forma y sus aplicaciones. En estos materiales, con modelos y estudios desarrollados por el grupo de trabajo de dicho laboratorio, es posible relacionar el comportamiento macro-micro mecánico a través del estudio de interacciones intergranulares en muestras policristalinas, debido a que ellos presentan una transformación martensítica identificable y que es predecible a partir de datos microestructurales. Parte de dicho estudio es observar in situ el comportamiento de muestras policristalinas en arreglos convencionales como tensión simple y flexión con los cuales no cuenta el laboratorio de mecánica aplicada. Obviamente una solución inmediata es solicitar a una de tantas empresas dedicadas al desarrollo de equipo didáctico la fabricación y diseño de dichos equipos. No obstante en general estos equipos son extremadamente caros debido a que son de importación; ya que en México no existe una empresa dedicada a este ramo específico. Es por ello que una mejor propuesta desde el punto de vista de desarrollo tecnológico del país, es aprovechar la experiencia de grupos de trabajo como el del laboratorio ya mencionado e involucrar a egresados de diferentes áreas de las carreras de ingeniería en el país y formar grupos de trabajo que permitan solucionar problemas específicos de manera integral. Los beneficios de hacer lo anterior son varios y significativos entre los cuales se puede resaltar entre otros: el desarrollo de tecnología propia y egresados mejor preparados.

En la presente tesis se construyó y diseñó un equipo mecánico óptico para adquirir micrografías in situ en pruebas mecánicas para cualquier material y diferentes arreglos de carga. En dicho equipo es posible observar, por ejemplo, en una prueba mecánica típica en arreglo de flexión y dar seguimiento a la prueba in situ ya que se cuenta con un microscopio digital con filtro polarizador que puede ser posicionado en cualquier parte de la muestra, logrando desplazamientos en los ejes X, Y y Z, así como realizar un movimiento de rotación W para tomar micrografías y/o videos en el ángulo deseado o seguir la perpendicularidad de un plano en caso de ser necesario. Las micrografías se pueden tomar a una distancia máxima de trabajo de 50mm mediante aumentos que van desde los 10X a los 230X dependiendo de la necesidad de acercamiento para ver una sección o simplemente un área de mayores dimensiones.

A pesar de que el presente trabajo se enfoca en el diseño y fabricación mecánica del equipo previamente mencionado, es importante resaltar que para cumplir los objetivos generales planteados fue necesario trabajar de manera conjunta y paralela con el área eléctrica electrónica de la FES Aragón y en un futuro sería necesario hacerlo con otras más si este se comercializara.

En el capítulo uno se tratan los aspectos teóricos necesarios para comprender el diseño final del equipo. Primeramente se presentan breves conceptos de la estructura cristalina de los materiales, así como los diferentes equipos convencionales que existen actualmente para la realización de pruebas mecánicas y caracterización. Una sección sustancial en el presente trabajo son los aspectos teóricos para el dimensionamiento de componentes mecánicos de cualquier equipo o máquina.

En el capítulo dos se muestra un prototipo manual de microscopio el cual fue construido y sirvió como referencia para llegar a una mejor propuesta de solución. Se presenta el diseño conceptual del prototipo final y el diseño de detalle para concebir el dimensionamiento y cálculo de los principales componentes que lo integran para la construcción y ensamble del mismo.

En el capítulo tres se muestra el equipo mecánico-óptico construido así como sus partes generales que lo componen. Se hace énfasis en las diferentes modalidades y/o funciones que puede desempeñar el equipo para la realización de pruebas mecánicas in situ. Se explica con detalle el funcionamiento del mismo en cada una de sus modalidades y las pruebas realizadas a muestras del material seleccionado en donde se pueden ver los alcances y versatilidad de este equipo en su fase de prueba.

Finalmente, en el anexo 1 se muestran con detalle los planos de ensambles, sub ensambles y piezas del equipo para la fabricación del mismo. En el anexo 2 se muestra la ficha técnica del dispositivo digital para la adquisición de imágenes.

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Materiales en Ingeniería

Los materiales sólidos son comúnmente clasificados de manera general en tres grandes grupos: metales, cerámicos y polímeros. Sin embargo, actualmente se consideran clasificaciones más amplias debido al gran avance en la fabricación de nuevos materiales dentro de los cuales se encuentran: compuestos, semiconductores, biomateriales, materiales inteligentes e incluso nanomateriales [1]. Por ello actualmente existe gran diversidad de materiales los cuales pueden ser utilizados en diferentes diseños dependiendo de cada necesidad específica. Un ejemplo claro de esta evolución es la fabricación de aviones comerciales los cuales son ahora construidos con materiales compuestos en casi un 70%. Este tipo de incrustaciones de materiales en diferentes aplicaciones en la ingeniería son debido al creciente dominio de ellos y la mejora significativa en sus propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas.

A pesar de este avance significativo gran parte de los denominados nuevos materiales, así como muchos convencionales, se encuentran dentro de los materiales cristalinos. Los materiales cristalinos son aquellos que presentan regularidad y repetitividad en el arreglo de los átomos unos con respecto de otros a lo largo de distancias atómicas grandes, es decir tienen estructura cristalina. En la **Figura 1.1** puede verse un ejemplo de una celda cúbica centrada en el cuerpo (CCC), mientras que en la **Figura 1.2** puede verse las 14 redes de bravais.

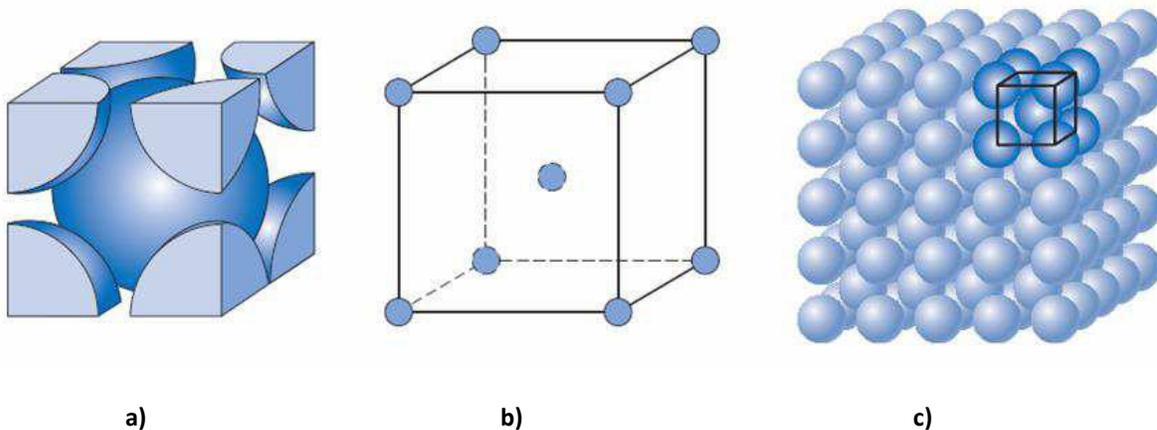


Figura 1.1. Estructura cubica centrada en el cuerpo. Celda unitaria (CCC). a) Representación de esferas duras. b) Representación de esferas reducidas. c) Agregado cristalino de varias celdas unitarias. [1]



Figura 1.2. 14 redes de Bravais. [26]

Cada material cristalino tiene una estructura específica de las 14 redes de la **Figura 1.2**. En la **Tabla 1.1** puede verse algunos materiales convencionales con sus respectivas estructuras cristalinas.

Tabla 1.1. Radios atómicos y estructuras cristalinas para 16 metales. [1]

<i>Metal</i>	<i>Estructura Cristalina</i>	<i>Radio Atómico (nm)</i>	<i>Metal</i>	<i>Estructura Cristalina</i>	<i>Radio Atómico (nm)</i>
Aluminum	FCC	0.1431	Molybdenum	BCC	0.1363
Cadmium	HCP	0.1490	Nickel	FCC	0.1246
Chromium	BCC	0.1249	Platinum	FCC	0.1387
Cobalt	HCP	0.1253	Silver	FCC	0.1445
Copper	FCC	0.1278	Tantalum	BCC	0.1430
Gold	FCC	0.1442	Titanium (α)	HCP	0.1445
Iron (α)	BCC	0.1241	Tungsten	BCC	0.1371
Lead	FCC	0.1750	Zinc	HCP	0.1332

^a FCC = face-centered cubic; HCP = hexagonal close-packed; BCC = body-centered cubic.

^b A nanometer (nm) equals 10^{-9} m; to convert from nanometers to angstrom units (Å), multiply the nanometer value by 10.

Es muy importante cuando se estudia un material conocer su estructura ya que está se encuentra directamente relacionada con las propiedades mecánicas macroscópicas.

1.2 Microscopios

Los materiales pueden estudiarse desde diferentes escalas dependiendo de lo que se requiera analizar de ellos. Para realizar dichos estudios y observaciones se utilizan microscopios los cuales han llegado a tener un alcance considerablemente amplio. En la **Figura 1.3** puede observarse los diferentes rangos de resolución desde el ojo humano hasta el microscopio electrónico de barrido.

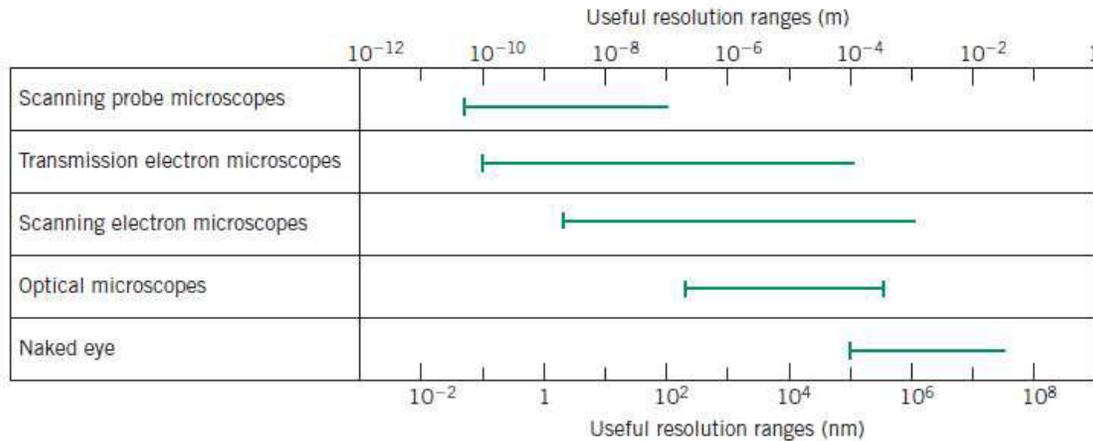


Figura 1.3. Rangos de resolución [1].

Como puede verse en la **Figura 1.3**, la clasificación de los microscopios se hace con respecto a la resolución la cual se define como la distancia mínima entre dos puntos próximos que pueden verse separados. El ojo normal no puede ver separados dos puntos cuando su distancia es menor a una décima de milímetro. En el microscopio óptico, la resolución máxima conseguida es de 0,2 décimas de micra, y en el microscopio electrónico el poder separador llega hasta 10 angstrom.

En lo que se refiere a los aumentos en términos generales se define como la relación entre el diámetro aparente de la imagen y el diámetro o longitud del objeto. Esto quiere decir que si el microscopio aumenta 100 diámetros un objeto, la imagen que se está viendo es 100 veces mayor que el tamaño real del objeto. Para calcular el aumento de un microscopio, basta multiplicar el aumento del ocular por el aumento del objetivo. Por ejemplo, si se está utilizando un ocular de 10X y un objetivo de 45X, el aumento al que se está viendo la preparación será: 10X x 45X = 450X, lo cual quiere decir que la imagen del objeto está ampliada 450 veces.

En la actualidad existen varios tipos de microscopios los cuales pueden clasificarse de manera general en ópticos y electrónicos. Dentro de los microscopios ópticos se encuentran: las lupas, de luz ultravioleta, de fluorescencia, petrográfico, de campo oscuro, de contraste de fase, de luz polarizada y confocal. Mientras que para los microscopios electrónicos se tiene: Microscopio electrónico, electrónico de transmisión, electrónico de barrido, de iones en campo, de sonda de barrido, de efecto túnel, de fuerza atómica, etc.

En la **Figura 1.4** se muestran algunos microscopios electrónicos que son frecuentemente encontrados en laboratorios de microscopía en diferentes universidades o centros especializados. En este caso ambos equipos mostrados se encuentran en el laboratorio de microscopía de la Universidad Politécnica de Valencia.

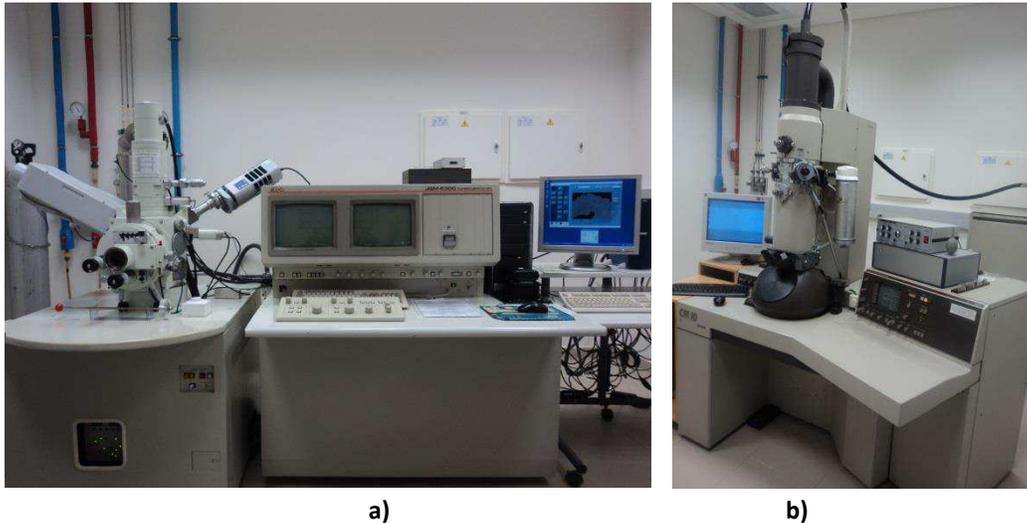


Figura 1.4. Microscopios electrónicos [UPV]. a) SEM b) TEM. [27]

Adicionalmente a los microscopios antes mencionados se encuentran recientemente los llamados microscopios digitales los cuales son una variación de los microscopios ópticos. Estos son una buena opción para equipos pequeños, donde no requiere tener una alta resolución y aumentos. Entre estos microscopios digitales existen portátiles de dimensiones relativamente pequeñas pudiendo sostenerlos en la palma de la mano; estos últimos cuentan con iluminación LED integrada la cual puede ser regulada manual o de forma automática. Un aspecto importante es la conexión USB 2.0 y software con que cuentan para ser manipulados desde la computadora. Algunos modelos disponen de un filtro de polarización ajustable integrado lo que ayuda al usuario a ver superficies altamente reflectantes con brillo reducido. El microscopio digital también se ofrece con la característica de MicroTouch instantánea única. El MicroTouch fue diseñado para minimizar el desenfoque de la imagen cuando se toma una fotografía con el microscopio. Estos modelos vienen con un software, que incluye la medición y calibración de medición para trabajos de precisión mayor. También se encuentran hasta 200x de magnificación dependiendo de la distancia de su objetivo y cuentan muchos de los modelos con la cámara de 1.3 Megapíxeles que permiten ver a 1280x1024 de resolución dando lugar a imágenes muy detalladas.

1.3 Micrografías

Una micrografía es la imagen fotográfica obtenida de objetos no visibles a simple vista por el ojo humano, mediante la ayuda de instrumentos ópticos o electrónicos como lupas y microscopios. El objetivo principal de una micrografía es revelar la microestructura o defectos cristalinos de una muestra con el fin de analizarla. Para obtener lo anterior se requiere una serie de pasos específicos, para cada tipo de material, debido a que a simple vista y sin que el material sea preparado no es posible revelar y estudiar la estructura de ellos. A este procedimiento se lo conoce como examinación metalográfica y consiste en revelar la estructura de regiones de interés en materiales metálicos. En la **Figura 1.5**. Puede observarse algunos ejemplos de micrografías de dos diferentes tipos de materiales.

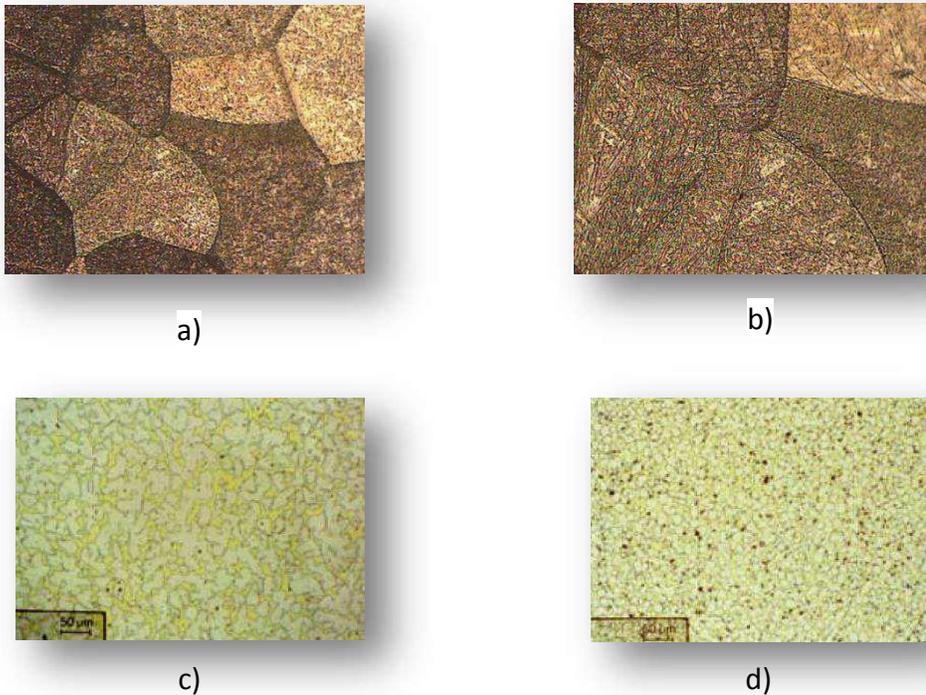


Figura 1.5. Micrografías. a) Muestra de Cu-Al-Be a 50x. b) misma muestra a 100x. c) Latón a 200x con pulido mecánico. d) Latón a 200x con electropulido.

Dentro de las partes más importantes a analizar en una micrografía de un material metálico se encuentran: tamaño de grano, límites de grano, precipitaciones de fase e incluso se usa para el estudio de análisis de fallas en materiales. Es por ello que para obtener micrografías se utilizan gran variedad de microscopios dependiendo de lo que se requiera observar.

Por otro lado en la **Tabla 1.2** se puede ver algunos métodos de preparación metalográfica para el cobre, aluminio y acero los cuales constan de manera general de los siguientes pasos: a) Corte b) Embutido c) Pulido y d) ataque químico.



Tabla 1.2. Métodos de preparación metalográfica para diferentes aleaciones propuestos por Struers. [10]

Preparación Mecánica					Pulido			
Cobre puro y aleaciones con bajo contenido de cobre.								
Paso	PG	FG 1	FG 2	FG 3	Paso	DP	OP	* Humedezca el paño de pulido con agua y con unas gotas del reactivo de ataque.
Superficie	SIC-Lija	SIC-Lija	SIC-Lija	SIC-Lija	Superficie	MD-Mol	OP-Chem	
Grano	320	800	1200	4000	Suspensión	DiaPro Mol	Iron (III) nitrate*	
Lubricante	Agua	Agua	Agua	Agua	rpm	150	150	
rpm	300	300	300	300	Fuerza (N)	150	90	
Fuerza (N)	150	150	150	150	Tiempo	4 min	1 min	
Tiempo	Lo necesario	1 min	1 min	1 min				
Preparación Mecánica					Pulido			
Aluminio puro.								
Paso	PG	FG 1	FG 2	FG 3	Paso	DP	OP	* Para evitar rayones más gruesos, puede ser frotado con cera antes del pulido ** Alternativa MD-Dac
Superficie	SIC-Lija	SIC-Lija	SIC-Lija	SIC-Lija	Superficie	MD-Mol**	OP-Chem	
Grano	320 o 500	800	1200	4000	Suspensión	DiaPro Mol	OP-U o DP-S	
Lubricante	Agua	Agua	Agua	Agua	rpm	150	150	
rpm	300	300	300	300	Fuerza (N)	150	90	
Fuerza (N)	150	150	150	150	Tiempo	4 min	2-5 min	
Tiempo	Hasta dejar plano	30 seg	30 seg	30 seg				
Preparación Mecánica					Pulido			
Acero.								
Paso	PG	FG	Paso	DP 1	DP 2			
Superficie	MD-Piano 220	MD-Allegro	Superficie	MD-Dac	Md-Nap			
Suspensión		DiaPro Allegro/Largo	Suspensión	DiaPro Dac	DiaPro Nap B			
Grano	320 o 500	800	Rpm	150	150			
Lubricante	Agua		Fuerza (N)	240	180			
rpm	300	150	Tiempo	4 min	1-2 min			
Fuerza (N)	180	180						
Tiempo	Hasta dejar plano	5 min						

Los métodos de la tabla anterior son para preparación metalográfica completamente automática. Lo que se busca es que la muestra elegida sea representativa del material, sin causar deformación excesiva, ni tener incrustaciones de otros materiales, así como tener la superficie final plana; es decir en general no alterar las condiciones microestructurales

de la muestra. Es importante mencionar que para los casos de técnicas más recientes, que si bien para ellas no es el objetivo principal la micrografía, si lo es la preparación metalográfica pues esta debe ser casi perfecta debido a la sensibilidad de ellas; tal es el caso de técnicas como EBSD y obtención de estructuras cristalinas por TEM. [2]

1.4 Equipos convencionales para pruebas mecánicas

Una de las partes más importantes del estudio de los materiales es la obtención de sus propiedades y conocer su comportamiento mecánico cuando estos estén sujetos diferentes arreglos de carga. Esto se lleva a cabo de manera convencional al realizar pruebas de arreglos típicos como son: tensión, compresión, torsión y flexión. Es por ello que actualmente en el mercado se encuentra gran variedad de maquinas para realizar dichas pruebas, de manera independiente o combinada, que van desde equipos didácticos hasta equipos complejos y más precisos dependiendo de la aplicación o uso que se le quiera dar. Cabe resaltar que estos equipos suelen tener un costo elevado debido a la tecnología que utilizan, pero principalmente por ser de importación. A continuación se describirán de manera muy general algunos equipos utilizados para dichas pruebas.

De manera general las pruebas mecánicas realizadas a materiales requieren que las probetas tengan una geometría especial para asegurar el estudio correcto dependiendo del arreglo al que será sometida la probeta a estudiar [33, 34, 35, 36]. Una de las pruebas más sencillas y típicas realizadas a materiales es la prueba de tensión. Esta consiste en sujetar una muestra en sus extremos por medio de mordazas y aplicarle una fuerza de tensión. Regularmente esto se realiza teniendo una mordaza fija y otra móvil. Actualmente estos equipos cuentan con sistemas que permiten manipular el funcionamiento, la carga aplicada por medio de una interface a la computadora. Usualmente la fuerza es medida por medio de celdas de carga. En la **Figura 1.6** se muestra un equipo típico para pruebas de micro-tensión y compresión en muestras entre 150mm y 250mm de largo y capacidad de carga máxima de hasta 2 kN.

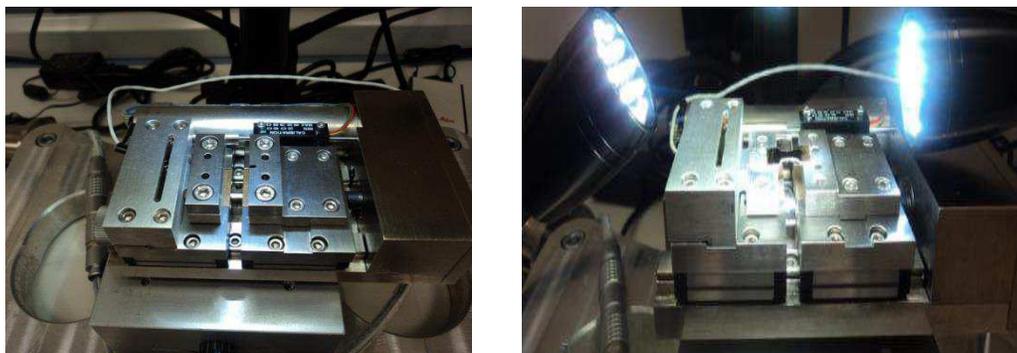


Figura 1.6. Equipo de tensión y compresión microtest [UPV]. [27]

Regularmente uno de los problemas encontrados con mayor frecuencia es la sujeción de la muestra, debido a que las partes donde esta se sujeta tienden a resbalar lo cual se resuelve en algunos casos barrenando en ambos extremos de la probeta para sujetarse. Estos mismos equipos de manera general sirven para realizar ensayos de compresión debido a que en estas pruebas lo único que hay que hacer es invertir el sentido de la fuerza aplicada. La resistencia en compresión de todos los materiales siempre es mayor o igual que en tracción. Existen equipos de mayor capacidad de carga que el mostrado en la figura anterior como los que se muestran en la **Figura 1.7**. Como puede verse estos equipos tienen configuración vertical la cual es también frecuentemente encontrada.



a)



b)

Figura 1.7. a) COMETECH QC-503B1 Probadores de Tensión y Compresión. [11] b) INSTRON 1130 Probadores de Tensión y Compresión. [12]

En cuanto a equipos de Torsión lo que se requiere es tener una pieza fija y en su extremo aplicarle un torque. Es importante realizar estas pruebas ya que los materiales en ingeniería suelen ser empleados para elaborar elementos de máquinas rotatorias, como los cigüeñales y árboles de motores, los cuales deben ser diseñados para resistir dichos pares. La deformación plástica alcanzable con este tipo de ensayos es mucho mayor que en los de tensión o en los de compresión. En la **Figura 1.8** se muestran dos equipos de torsión.

Dichos equipos requieren aplicar la torsión de diferentes maneras, por ejemplo en el equipo de la **Figura 1.8 b)** la barra se sujeta en dos soportes desplazables provistos de mandriles. El momento de torsión se genera por medio de un disco circular, una polea de reenvío y una pesa. La longitud de sujeción y el momento de torsión se pueden variar. Las torsiones resultantes se leen por medio de goniómetros en dos puntos cualesquiera de la barra.



a)



b)

Figura 1.8. a) Equipo de torsión en barras MTB EDIBON. [17] b) Equipo de torsión SE 110.29 GUNT. [13]

Otra de las pruebas más frecuentes es la de flexión, esta consiste en sujetar la muestra en uno de sus extremos y aplicarle fuerza en el extremo libre. Dicho arreglo es comúnmente conocido como empotramiento. Sin embargo, por comodidad para realizar el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de una carga, se emplea generalmente un arreglo de viga simplemente apoyada, con la carga concentrada en un punto medio. En la **Figura 1.9** se muestra un equipo de flexión convencional. Estos equipos funcionan cuando la barra o viga estudiada se fija en dos soportes desplazables y se somete a la carga de una pesa. Un reloj de comparación registra los desplazamientos resultantes. Los apoyos ofrecen diferentes posibilidades de sujeción, lo que permite estudiar formas de apoyo estáticamente determinadas o indeterminadas. El conjunto para el ensayo se monta en un bastidor. En la **Figura 1.9** se muestra un par de equipos de flexión.



a)



b)

Figura 1.9. a) Equipo didáctico de flexión MFL EDIBON. [17] b) Ensayo de flexión en tres puntos. [12]

Por último un equipo también frecuentemente usado es el de pandeo en columnas. Este equipo sirve para observar el fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos transversales importantes a la dirección principal de compresión. La estructura se compone de un par de columnas verticales, unidas a una base que contiene el orificio de empotramiento para el extremo inferior de la probeta. Este tipo de máquinas son diseñadas principalmente para el ensayo de materiales de construcción (cemento, concreto, etc.), materiales metálicos y no metálicos. Con accesorios especiales pueden realizar también flexión de componentes. **Figuras 1.10.**



Figura 1.10. Equipo universal de pandeo MUP EDIBON. [17]

Cabe mencionar que también existen equipos en los cuales es posible realizar varios arreglos de forma independiente o de manera combinada. Como ejemplo la máquina de la **Figura 1.11.**

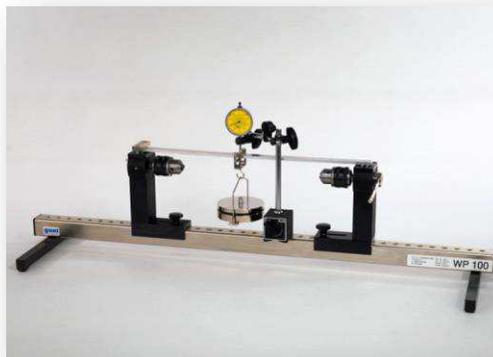


Figura 1.11. Máquina de torsión y flexión WP 100 GUNT. [13]

Como puede observarse los equipos anteriores básicamente están diseñados para realizar pruebas sin dar seguimiento a la muestra durante la aplicación de la carga, salvo excepción de los equipos de tensión los cuales si son utilizados para dichos fines. Es importante lo anterior debido a que en la presente tesis fue uno de los problemas a resolver.

Por otro lado actualmente existen equipos que pueden ser controlados mediante tarjetas electrónicas o PLC conectadas a la computadora; estos tienen dos etapas, la etapa de potencia y la etapa de control; en la primera etapa de potencia se diseñan y construyen tarjetas electrónicas con componentes como resistencias, capacitores, triac's, circuitos integrados, etc. Dando la entrada y salida de corriente a los motores según las órdenes del controlador siendo éste el circuito integrado que es parte de la etapa de control o programación; esta segunda etapa es una parte fundamental pues aquí es en donde el programador graba los comandos que se tienen que ejecutar para realizar las diferentes tareas o rutinas que se requieran; el control se realiza con el software de la computadora mandando la señal a la tarjeta electrónica y así accionar los motores eléctricos según sea la instrucción de giro a la derecha o a la izquierda, además de controlar el número de giros de uno o varios motores. La desventaja de los equipos que cuentan con control por computadora, es el alto costo que tienen en comparación con sus similares de accionamiento manual, pero sin lugar a duda la gran ventaja es la resolución y precisión con la que cuentan, **Figura 1.12**. Por ejemplo, actualmente se tienen infinidad de equipos que si bien no son para caracterizar materiales utilizan sistemas similares y son utilizados para la producción de muchos dispositivos o piezas como el caso de los tornos CNC.

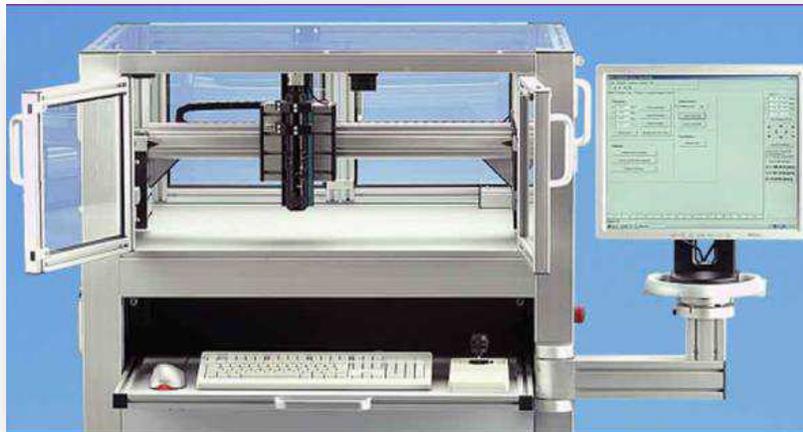


Figura 1.12. Sistema de posicionamiento controlado por computadora. [9]

1.5 Sistemas de posicionamiento

Muchos de los equipos automáticos utilizan sistemas de posicionamiento debido a que estos pueden colocar herramientas o sistemas en puntos específicos de una mesa o base de trabajo. La base principal de los equipos de posicionamiento es el denominado “sistema de posicionamiento”, los cuales en las últimas décadas han sido ampliamente mejorados. Esto debido al desarrollo de la computación y sistemas eléctricos que permiten hacer un perfeccionamiento continuo de las máquinas que realizan trabajos y/o tareas en la industria con el fin de mejorar la calidad de los equipos. Dentro de las mejoras más sobresalientes se puede remarcar: el rendimiento, rapidez, tamaño y precisión. La resolución de estos sistemas ha llegado a ser del orden de los milímetros hasta los micrómetros, según el modelo y la aplicación para la cual es fabricado. Algunos ejemplos donde estas mejoras se hacen evidentes son los sistemas de alta resolución y precisión como los sistemas de posicionamiento o platinas de posicionamiento de uno hasta N grados de libertad con combinaciones múltiples de mecanismos. Los sistemas de posicionamiento pueden dividirse en dos categorías diferentes. La primera es debido a la forma en que estos se mueven como: Lineal, pórico, rotacionales y mixtos. Y la segunda es de acuerdo a su accionamiento es decir: manuales, semi-automáticos y automáticos. A continuación se detallaran cada uno de ellos.

1.5.1 Sistemas lineales

Estos sistemas como su nombre lo dice tienen un desplazamiento lineal variando su tamaño y resolución dependiendo del modelo y la aplicación; estos sistemas cuentan con desplazamientos del orden de metros, centímetros, milímetros, micrómetros hasta nanómetros según la carrera de cada eje o guía en la que se encuentren montados. Como se mencionó existen gran cantidad de diseños en el mercado, impulsados en su gran mayoría por un husillo rectificadado que mueve una tuerca a bolas montada sobre el carro para ser desplazados a través de las guías. Otros sistemas lineales se basan en el movimiento a través de bandas con poleas dentadas en los extremos y acopladas al carro. La conjunción de dos o más de estos sistemas darán los grados de libertad o ejes de movimiento que se deseen. Cabe mencionar que según la configuración de los grados de libertad y/o las aplicaciones se les nombra platinas de posicionamiento o mesas de posicionamiento. En la **Figura 1.13** se muestran algunos sistemas lineales existentes en el mercado.



a)



b)

Figura 1.13. A) Guiados lineales accionados por correas dentadas. B) Guiados lineales accionados por husillo a bolas. C) Conjunto de tres platinas de posicionamiento. [15,16]

1.5.2. Sistemas de posicionamiento de pórtico

Los pórticos se diseñan para los usos multiaxiales donde los requisitos de la carga y del recorrido exceden especificaciones. Además, los pórticos se diseñan para el uso en donde el trabajo requiere un área entera bajo el sistema. Los sistemas del pórtico **Figura 1.14**, como ejemplo, incluyen una placa de base con un M6 lleno en la rejilla de 25 milímetros de los agujeros para montaje.



Figura 1.14. Sistemas de posicionamiento de pórtico. [25]

1.5.3 Sistemas rotacionales

En los sistemas rotacionales **Figura 1.15a y 1.15b** básicamente se obtienen movimientos de rotación, estos también son variados según la aplicación; algunos de ellos tienen su desplazamiento rotacional desde cero a trescientos sesenta grados, y en otros casos varía según la aplicación. Estos sistemas tienen distintos mecanismos para la transmisión de movimiento del motor al elemento final para realizar dicho movimiento, ya sea mediante engranes o tornillo sin fin. Entre algunos modelos tenemos las platinas de posicionamiento rotativas motorizadas.



a)



b)

Figura 1.15. a),b). Platina rotacional. [25]

1.5.4 Sistemas mixtos

Estos sistemas no son más que la conjunción de los dos anteriores; ofreciendo así una gran variedad de posicionamientos en más de dos grados de libertad, ya que los movimientos sean lineales o rotacionales los movimientos efectuados. **Figura 1.16.**



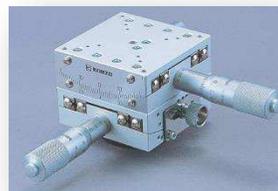
Figura 1.16. Platina mixta Saber. [25]

1.5.5 Sistemas de accionamiento o platinas manuales

Consisten en el desplazamiento lineal o rotacional mediante manivelas o perillas que transmiten movimiento a husillos, engranes, cremalleras, etc. En donde se encuentra una base llamada “carro” que cuenta con soporte de tuerca o banda para ser desplazado linealmente o dar un giro sobre distintos tipos de guías; en algunos de estos sistemas se cuenta con guías graduadas o simplemente una impresión que denota las unidades de desplazamiento. **Figuras 17. a), b) y c).**



a)



b)



c)

Figura 1.17. a) Platina de un solo eje. b) Platina de dos ejes. c) Platina de tres ejes. [15,25]

1.5.6 Sistemas de posicionamiento automático

Este tipo de sistemas o platinas no son más que los sistemas de accionamiento manual que simplemente se les han montado motores eléctricos, ya sea de CA y CD entre los más comunes; estos motores son accionados por botones que sólo permiten el paso de corriente para obtener un giro del motor hacia la derecha o izquierda y así lograr el sentido del desplazamiento deseado. Cabe mencionar que la precisión de llegar al mismo punto dos o más veces es reducida, debido al tiempo de accionamiento eléctrico del motor. **Figuras 1.18 a) y b).**



a)



b)

Figura 1.18. a). Platina de accionamiento semiautomático. b). Caja de control eléctrico básico. [25]

1.6 Motores

Parte fundamental de los equipos automáticos son los motores ya que con ellos es posible generar el o los movimientos deseados. Un motor es la parte de una máquina capaz de transformar algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo. Existen diversos tipos, siendo de los más comunes los siguientes: Motores térmicos, cuando el trabajo se obtiene a partir de energía calórica. Motores eléctricos, cuando el trabajo se obtiene a partir de una corriente eléctrica. [9]

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético. El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el



movimiento circular que se observa en el rotor del motor. Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha. Actualmente existe una diversidad de motores dentro de los cuales los motores a paso son ampliamente utilizados.

1.6.1 Motores paso a paso

Los motores paso a paso (Stepper Motors) o PAP son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, ya que tienen un comportamiento diferente al de los motores de corriente continua. Una primera cualidad es que no giran libremente por sí mismos. Los motores paso a paso, como lo indica su nombre, avanzan girando por pequeños pasos; estos pasos son un tren de pulsos con una secuencia previamente definida, aplicados a cada una de las bobinas que componen al estator. Cada vez que alguna de estas bobinas se le aplica un pulso, el motor se desplaza un paso, y queda fijo en esa posición. [9, 19, 20]

Dependiendo de las características constructivas del motor, este paso puede ser desde 90° hasta 0.9° . Con este parámetro se obtiene el número de pasos necesarios para que el motor realice una vuelta completa, si se divide 360° (una revolución) entre los grados por paso que tiene el motor se obtienen los pasos que brinda el motor. Por ejemplo, un motor con una resolución de 1.8° por paso, necesita de 200 pasos para realizar una vuelta completa. Si se varía la frecuencia con la que se aplica el tren de pulsos, también estaremos variando la velocidad con que se mueve el motor, lo que nos permite realizar un control de velocidad. Además, si se invierte el sentido del tren de pulsos se estará realizando una inversión en el sentido de giro del motor. En los motores paso a paso su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad. Sin embargo, una desventaja de los motores PAP es que presentan una velocidad angular limitada. Dicha limitación viene del hecho de que para realizar un paso, el motor requiere un tiempo para alcanzar el equilibrio. Si dicho tiempo es demasiado corto, es decir, si la frecuencia de los pulsos es demasiado elevada, el motor puede no encontrar nunca la posición de equilibrio y se perdería el control sobre él, de esta forma el motor no se moverá apropiadamente o puede ser que zumbe y no se mueva, o puede ser que gire en sentido contrario al deseado.

Los motores paso a paso se dividen en dos categorías principales: de imán permanente y de reluctancia variable, de la combinación de ambos se tienen los híbridos **Figura 1.19**. Los de imán Permanente son los motores más utilizados en donde el rotor está formado por un imán permanente, en forma de disco, y en cuya superficie se encuentran mecanizados un determinado número de dientes. El estator tiene forma cilíndrica, y en su interior se encuentran diversos bobinados, que al ser alimentados secuencialmente generan un

campo magnético giratorio. Como consecuencia de atracción-repulsión, el rotor se orientará dentro de este campo magnético giratorio, tratando de estabilizar sus polos con los generados en las bobinas. Ofrece como principal ventaja que su posicionamiento no varía aún sin excitación y en régimen de carga. Estos motores se dividen a su vez en distintos tipos, diferenciados por el tipo de bobinado. Existen entonces motores paso a paso de imán permanente Unipolares (también llamados "Unifilares"), y motores paso a paso de imán permanente Bipolares (también llamados "Bifilares").

Los motores unipolares son relativamente más fáciles de controlar, gracias a que están compuestos por dos bobinas con una toma intermedia cada una y su principal característica es que la intensidad de corriente que circula por cada bobina siempre lo hace en la misma dirección. Esta toma intermedia hace que se facilite el diseño del circuito de control, ya que permite el uso, en la parte de potencia, de un transistor único por cada una de las bobinas. Estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida, dependiendo de su conexión interna.

Por otra parte los motores bipolares están formados por dos bobinas se requiere del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas (de ahí surge el nombre de bipolares), en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Se puede reconocer externamente porque presentan cuatro cables, uno para cada extremo de cada bobina.



a) b) c)
Figura 1.19. Motores PAP de imán permanente: (a) Aspecto externo (b) Rotor (c) Estator. [9]

1.7 Tipos de transmisión mecánica

Se conoce como transmisión mecánica al mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina [3]. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificadas en dos subgrupos fundamentales, estos elementos son los de transmisión y elementos de sujeción.

En la gran mayoría de los casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación. Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes y las correas de transmisión. Las transmisiones se emplean en una gran variedad de aplicaciones, algunas de ellas estacionarias. Las transmisiones primitivas comprenden, por ejemplo, reductores y engranajes en ángulo recto en molinos de viento o agua y máquinas de vapor, especialmente para tareas de bombeo, molienda o elevación. En general, las transmisiones reducen una rotación inadecuada, de alta velocidad y bajo par motor, del eje de salida del impulsor primario a una velocidad más baja con par de giro más alto, o a la inversa. Muchos sistemas, como las transmisiones empleadas en los automóviles, incluyen la capacidad de seleccionar alguna de varias relaciones diferentes. También se emplean transmisiones en equipamiento naval, agrícola, industrial, de construcciones y de minería. Entre las formas más habituales de transmisión se encuentran: Correas, Cadenas, Poleas, Tornillo sin fin, Barras, Cables, Engranajes, Ruedas de fricción, Discos de fricción, levas, Chavetas y ejes nervados, Juntas cardán y juntas homocinéticas. En esta sección se explican de manera general los engranes ya que son de suma importancia en el presente trabajo.

1.7.1 Engranajes

Un engrane es una rueda dentada usada para transmitir potencia mecánica entre las distintas partes de una máquina [3]. Los engranes se estudian porque la transmisión de movimiento rotatorio de un eje a otro se presenta en todas o en la gran mayoría de las máquinas; ya que estos se consideran unos de los mejores mecanismos para transmitir fuerza y movimiento; los engranes sirven para transmitir par de torsión y velocidad angular en una amplia variedad de aplicaciones [4]. En la **Figura 1.20** se muestran las partes de un engrane.

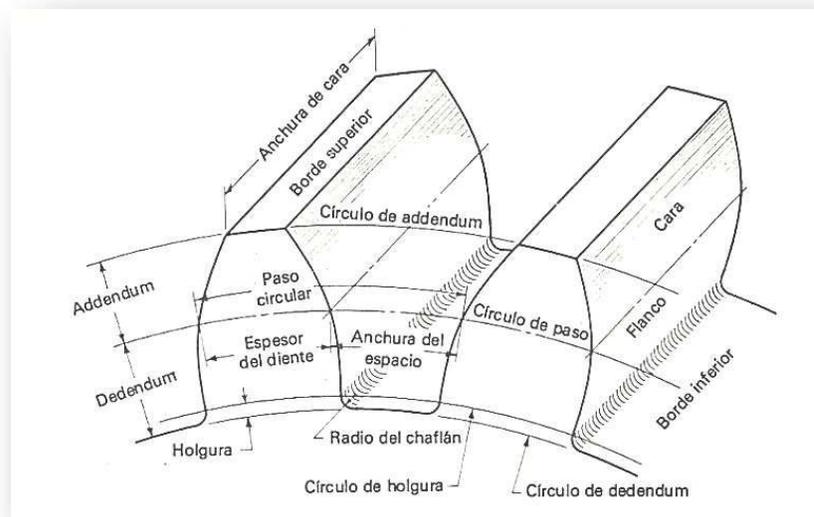


Figura 1.20 Terminología para un engrane. [3]

Existen actualmente diversos tipos de engranes debido a que hay numerosas aplicaciones en las que una razón angular de velocidad constante se debe transmitir de un eje a otro. Gracias a la diversidad de tipos de engranes disponibles se puede lograr esto, así los ejes de entrada y salida no tienen que estar forzosamente alineados ni paralelos. Dentro de los engranes más destacados se encuentran: Engrane anular interno y piñón, Piñón y cremallera de envolvente, Engranes escalonados, Engranes helicoidales paralelos, Engranes helicoidales cruzados, Engranes cónicos recto, Engranes cónicos sesgados, Engranes hipoides y Engranes rectos.

Uno de los engranes más usados son los engranes rectos ya que sirven para transmitir movimiento y potencia entre ejes paralelos [3]. Estos tipos de engranes se utilizan generalmente para velocidades pequeñas, medias y grandes velocidades. Debido a las características mencionadas, este tipo de engranes son los usados en el diseño de las cajas de engranes, por lo que a continuación se analizan a mayor detalle. **Figura 1.21.**

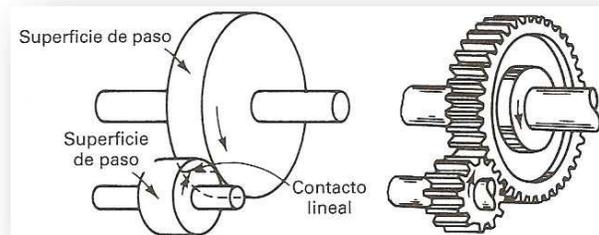


Figura 1.21. Engranes rectos. [3]

1.7.1.1 Tren de Engranes

Usualmente un engrane es insuficiente para general los movimientos o fuerzas esperadas por lo que es común el uso de trenes de engranes los cuales son mecanismos que disponen de diferentes combinaciones en serie y en paralelo, de tal manera que el elemento impulsado de uno de estos mecanismos es el impulsor de otro. El tren de engranes es un sistema con más de un par de ruedas dentadas o engranes [5]. Uno de los principales objetivos es la transmisión de movimiento de un lugar a otro, modificando por lo regular el movimiento durante la transmisión. La necesidad de utilizar más de un engranaje puede quedar justificada por los siguientes motivos: [6]

- Obtención de una relación de transmisión imposible de conseguir con un solo par de ruedas. Es el caso de un reductor 1/20 de ejes paralelos, relación de transmisión fuera del rango aconsejable con un único engranaje.
- Poder disponer de una gama de relaciones de transmisión. Es el caso de una caja de cambios de un vehículo.
- Limitaciones del espacio disponible. Por ejemplo, si se ha de transmitir el movimiento entre dos ejes paralelos muy alejados, con sólo dos ruedas dentadas,



estas tendrían un tamaño excesivo. Es el caso de un vehículo con motor transversal y tracción total. La transmisión a las ruedas posteriores se efectúa mediante un eje intermedio longitudinal y engranajes cónicos.

- Transmisión del movimiento de un eje a diversos, simultáneamente. Por ejemplo, el motor paso a paso de un reloj mecánico ha de accionar simultáneamente las tres agujas que señalan los segundos, los minutos y las horas.
- Obtención de mecanismos con más de un grado de libertad. Es el caso del diferencial empleado en los automóviles.

Existen diversos tipos de tren de engranes dentro de los que destacan los siguientes: Tren de engranes simples, compuestos o epicíclicos. [4]

Por otro lado para fines de cálculos en los engranes es más conveniente trabajar con la velocidad y por lo tanto se emplea la letra n para describir la velocidad en revoluciones por minuto (rpm). [5]

$$e = \frac{n_L}{n_F} \quad (\text{ec. 1.1})$$

En donde n_L es la velocidad del último engrane de un tren y n_F el primer engrane del mismo tren. e recibe el nombre de razón de velocidades o razón de tren.

Si se tiene un piñón 2 que impulsa a un engrane 3 la velocidad del engrane impulsado está dada por:

$$n_3 = \frac{Z_2}{Z_3} n_2 = \frac{D_2}{D_3} n_2 \quad (\text{ec. 1.2})$$

En donde Z es el número de dientes, D es el diámetro de paso y n es la velocidad en rpm o número total de vueltas. En un tren como el mostrado en la **Figura 1.22** el cual se compone de 5 engranes si aplicamos la **Ecuación 1.2** para encontrar la velocidad del engrane 6 obtenemos:

$$n_6 = \frac{Z_2 Z_4 Z_5}{Z_3 Z_5 Z_6} n_2 \quad (\text{ec. 1.3})$$

En la **Figura 1.22** se muestra un tren de engranes donde se puede notar que los engranes 2, 4, 5 son impulsores, mientras que los 3, 5 y 6 son impulsados.

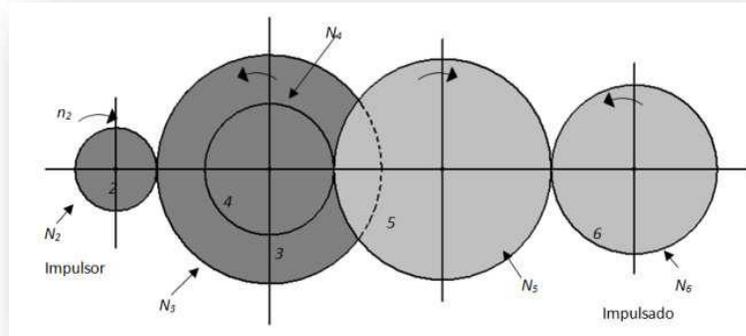


Figura 1.22. Tren de 5 engranes. [3]

Por lo que la **Ecuación 1.4** la podemos expresar como [5,6]:

$$e = \frac{\text{productos de los } Z_{\text{impulsores}}}{\text{productos de los } Z_{\text{impulsados}}} \quad (\text{ec. 1.4})$$

Por ejemplo para un tren de engranes planetario la razón de velocidad está dada por la **Ecuación 1.5** [5].

$$e = \frac{n_L - n_A}{n_F - n_A} \quad (\text{ec. 1.5})$$

En donde:

n_F Es la velocidad del primer engrane del primer tren de engranes en rpm.

n_L Es la velocidad del primer engrane del último tren de engranes en rpm.

n_A Es la velocidad del último brazo o eslabón en rpm.

1.7.2 Tornillo sin fin

El diseño de los engranajes de sinfín es más complicado que el de los engranajes convencionales [4]. El tornillo sin fin transmite el movimiento entre ejes que están en ángulo recto [24]. Se compone de un tornillo cilíndrico o hiperbólico y un engrane como muestra la **Figura 1.23** [6]. Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, el engranaje avanza un diente.

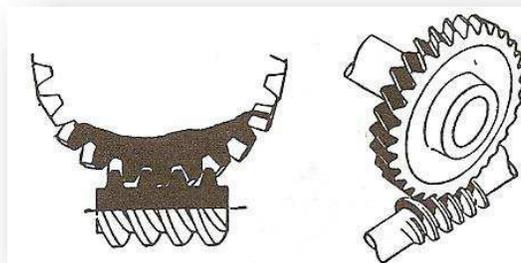


Figura 1.23. Tornillo sin fin. [6]



Este conjunto puede considerarse derivado de los engranes helicoidales para ejes cruzados, siendo el tornillo una rueda helicoidal de un solo diente (tornillo de un filete) o de varios (dos o más). La rueda puede ser helicoidal simple o especial para tornillo sin fin, en la que la superficie exterior y la de fondo del diente son concéntricas con las cilíndricas del tornillo. Generalmente, el ángulo de ejes es de 90°. Permiten la transmisión de potencia sobre ejes perpendiculares. Es un caso extremo de engranajes hipoidales, ya que está descentrado al máximo. Se aplica para abrir puertas automáticas de casas y edificios. Poseen además un bajo costo y son autobloqueantes. Es decir, que es imposible mover el eje de entrada a través del eje de salida.

El piñón se convierte en tornillo sin fin y la rueda se denomina corona. El número de dientes del piñón es igual al número de dientes de entradas o hilos del tornillo. El tornillo sin fin generalmente desempeña el papel de la rueda conducida. Se distinguen tres tipos: Tornillo sin fin y corona cilíndricos, Tornillo sin fin y corona de dientes cóncavos y Tornillo sin fin y corona globoidal.

Tornillo sin fin y corona cilíndricos: la rueda conducida es igual a la de los engranajes cilíndricos usuales, el contacto es puntual y por lo tanto el desgaste de ambos es rápido. Se utiliza en la transmisión de pequeños esfuerzos y a velocidades reducidas.

1.8 Análisis cinemático

1.8.1 Análisis cinemático de engranes

En esta sección se muestran las ecuaciones para el dimensionamiento de los engranes rectos, puesto que son los más utilizados debido a su fácil fabricación y costos muy bajos.

Para el dimensionamiento de un engrane recto se utilizan varias ecuaciones mostrando algunas de ellas y algunas definiciones importantes [5, 6, 7]:

Diámetro de paso

$$m = \frac{D}{Z} \quad D = Z * m \quad (\text{ec. 1.6})$$

Paso diametral

$$P = \frac{Z}{D} \quad (\text{ec. 1.7})$$

En donde:

P = Paso diametral, dientes por pulgada

Z = Número de dientes del engrane o piñón

D = Diámetro de paso, pulg o mm

m = Módulo, mm



P_c Es el paso circular en pulgadas o milímetros.

$$P_c = \frac{\pi D}{Z} = \pi m \quad (\text{ec. 1.8})$$

Para el caso de los engranes rectos se debe calcular el paso base P_b .

$$P_b = P_c \cos \delta \quad (\text{ec. 1.9})$$

Donde:

δ Es el ángulo de acción, para los engranes rectos de dientes de altura completa es de 20° .

Para calcular las medidas de addendum y dedendum, las cuales dependen del módulo m , así como los radios del engrane se tienen las siguientes ecuaciones: [3,4]

$$a = m \quad (\text{ec. 1.10})$$

$$d = 1.5m \quad (\text{ec. 1.11})$$

Dónde:

a es la medida de addendum y es igual al módulo m .

d es la medida de dedendum.

Radio exterior o radio addendum

$$r_a = \frac{D + 2a}{2} \quad (\text{ec. 1.12})$$

El diámetro interior o radio dedendum es menor al diámetro de paso D y esta dado por

$$r_d = \frac{D - 2d}{2} \quad (\text{ec. 1.13})$$

Diámetro o radio base

$$r_b = \frac{D \cos \delta}{2} \quad (\text{ec. 1.14})$$

Distancia entre centros

$$C = m \frac{Z_1 + Z_2}{2} \quad (\text{ec. 1.15})$$

Angulo de acción: Es el ángulo que gira el engrane desde que entra en contacto con otros dientes hasta que termina su contacto.

Relación de velocidad m_ω : Es el cociente de la velocidad angular del engrane motor y el engrane conducido. En engranes cilíndricos esta razón es inversa a los números de



dientes, asignándosele los subíndices 1 y 2 a los engranes motor y conducidos respectivamente. [7]

$$m_{\omega} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{ec. 1.16})$$

Longitud o línea de acción L: Es la longitud del segmento de la línea de acción comprendida entre los puntos inicial y final de contacto y está expresada por la siguiente ecuación [7]:

$$L = (r_{a2}^2 - r_{b2}^2)^{1/2} + (r_{a1}^2 - r_{b1}^2)^{1/2} - C \sin \delta \quad (\text{ec. 1.17})$$

Donde:

r_{a1} y r_{a2} Son los radios de las circunferencias addendum.

r_{b1} y r_{b2} Son los radios de las circunferencias base.

C Distancia entre centros.

La razón de engrane m_y está dada por la división del número de dientes del engrane entre el número de dientes del piñón. [7]

$$m_y = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right) \left(\frac{Z_4}{Z_3} \right) \quad (\text{ec. 1.18})$$

Relación de contacto m_c : Se puede definir como la razón de longitud de acción al paso base. Puede ser calculada mediante la ecuación [7]:

$$m_c = \frac{Z}{P_b} = \frac{Z}{P_c \cos \delta} \quad (\text{ec. 1.19})$$

Par transmitido

Para saber el par de salida tenemos la siguiente ecuación [4,7]:

$$T_s = m_y T_e \quad (\text{ec. 1.20})$$

Donde:

T_e = par de entrada

T_s = par de salida



1.8.2 Análisis cinemático de poleas y tornillo sin fin

1.8.2.1 Poleas

Una polea, es un dispositivo mecánico de tracción, que sirve para transmitir una fuerza. Se trata de una rueda o disco, generalmente maciza y rallada en su borde, se usa como elemento de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en máquinas y mecanismos. Además, formando conjuntos aparejos o polipastos sirve para reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso. [4]

Relación de transmisión

Al igual que los engranes la relación de transmisión de estas poleas viene dada por la siguiente ecuación [5]:

$$(D1)(N1) = (D2) (N2) \quad (\text{ec. 1. 21})$$

Dónde:

D1 y D2 son los diámetros primitivos de las poleas

N1 y N2 son el número de revoluciones de entrada y salida de ambas poleas respectivamente.

Para el análisis de contacto de la polea y la correa se toma en cuenta el número mínimo de dientes en contacto entre la polea más pequeña y la correa que se calcula por la siguiente ecuación [4]:

$$Z_c = \frac{\beta}{360} Z_1 \quad (\text{ec. 1. 22})$$

Donde:

Z_c = número de dientes en contacto.

β = ángulo de contacto polea-correa.

Z_1 = número de dientes de la polea.

1.8.2.2 Tornillo de fuerza

Este tipo de husillos o tornillos se utilizan para transformar un movimiento angular en lineal, transmitiendo fuerza (prensas, gatos, husillos de avance de tornos, etc.) [4]. El análisis de estos tornillos se describen de forma simplificada para tener presente el concepto general de los mismos. En la **Figura 1.24 a)** se muestra el husillo de potencia. En la **Figura 1.24 b)** se indica la nomenclatura de la rosca métrica.

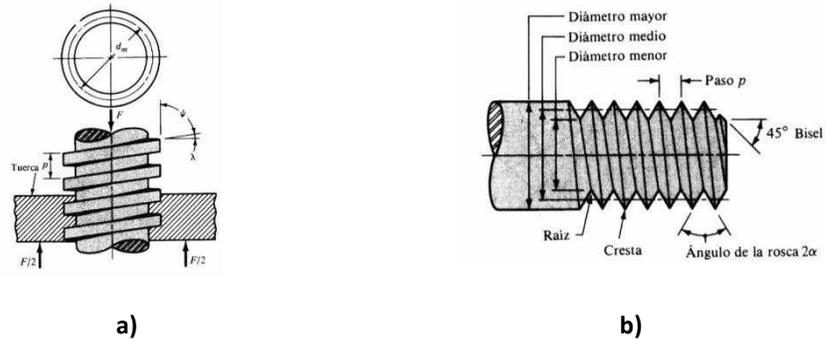


Figura 1.24. a) Husillo de potencia. b) Nomenclatura rosca métrica [4].

Dónde:

dm = diámetro medio.

p = paso.

λ = ángulo de hélice, o de avance.

l = avance: distancia que avanza una tuerca cuando se le da una vuelta. Hay roscas dobles y triples, con las cuales se avanza dos o tres veces el paso respectivamente.

Las siguientes son expresiones que ligan la carga, F , y el par a realizar, T , según se trate de subir o bajar [4]:

Caso a) subir la carga.

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \mu d_m}{\pi d_m - \mu l} \right) \quad (\text{ec. 1. 23})$$

Caso b) bajar la carga.

$$T = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi \mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right) \quad (\text{ec. 1. 24})$$

Para sintetizar un poco esta sección se presenta a continuación un resumen de las ecuaciones que se utilizan en el dimensionamiento del sin fin-corona. [4]



TORNILLO

n	= se elige		h_k	= m	(ec.1.29)
p	= $dp \cdot m$	(ec.1.25)	h_f	= $1,167m$	(ec.1.30)
de	= $dp + 2m$	(ec.1.26)	Pt	= $m \times \pi$	(ec.1.31)
di	= $dp - 2,3 \cdot m$	(ec.1.27)	$Sen \alpha$	= $(Pt \times n) / (dp \times \pi)$	(ec.1.32)
h	= $2,167 \cdot m$	(ec.1.28)	Pa	= $Pt / \cos \alpha$	(ec.1.33)

Donde:

n	= Número de entradas	Pa	= Paso aparente
m	= Módulo	Ph	= Paso de la hélice tornillo
dp	= Diámetro primitivo	h_k	= Altura de la cabeza del diente
de	= Diámetro exterior	h_f	= Altura del pié del diente
di	= Diámetro interior	s	= Espacio entre dientes
h	= Altura de filete $m \cdot \pi$	e	= Espesor del diente
Pt	= Paso	α	= Ángulo de inclinación del filete

Corona

m_a	= $m / \cos \alpha$	(ec.1.34)	β	= 60° a 90°	
Dp	= $m_a \times z$	(ec.1.35)	Pa	= $P / \cos \alpha$	(ec.1.42)
De	= $Dp + 2m$	(ec.1.36)	Br	= 5 a $8 \cdot m$	(ec.1.43)
Di	= $Dp - 2,3 \cdot m$	(ec.1.37)	R	= $0,5 dp - m$ (radio de torneado de la superficie)	(ec.1.44)
h	= $2,167 \cdot m$	(ec.1.38)	Dt	= $De + 3 h_k$	(ec.1.45)
h_k	= m	(ec.1.39)	C	= $\frac{1}{2}(De + di)$	(ec.1.46)
h_f	= $1,167m$	(ec.1.40)			
P	= $m \times \pi$	(ec.1.41)			

Dónde:

z	= Número de dientes	h_k	= Altura de la cabeza del diente
m	= Módulo real	Ph	= Paso de la hélice de la rueda
m_a	= Módulo aparente	h_f	= Altura del pié del diente
D_o	= Diámetro primitivo	s	= Espacio entre dientes
D_e	= Diámetro exterior	e	= Espesor del diente
D_i	= Diámetro interior	Br	= Ancho de la rueda
h	= Altura del diente	β	= Angulo de abrazado al tornillo
P	= Paso	C	= Distancia entre centros entre tornillo y rueda
P_a	= Paso aparente	α	= Ángulo de inclinación del diente

Relación de transmisión para sinfín corona

$$i=1/30 \quad (\text{ec. 1.47})$$

Razón de velocidad para sinfín corona

$$N_s=N_e*i \quad (\text{ec. 1.48})$$

Capítulo 2

Diseño del Equipo



2.1. Introducción

Como se mostró en el capítulo anterior actualmente existen por un lado diversidad de equipos para hacer pruebas de caracterización a materiales en diferentes arreglos de carga y por otro se tienen microscopios de diferentes resoluciones que permiten tomar micrografías en sitios de interés en una muestra determinada. Dichos equipos tienen ya, desde hace tiempo, un amplio desarrollo comercial y existen diversidad de empresas consolidadas para su comercialización. Sin embargo, pocos de ellos tienen la opción de tener ambas configuraciones; es decir, poder observar una muestra cuando está siendo probada. Equipos de tales características han sido de gran importancia debido a que existen diversos estudios en los cuales se observa o mide de manera secuencial una variable física in situ. [28, 29, 30, 31].

Por otro lado recientemente en el laboratorio de Mecánica Aplicada de la FES Aragón se realizan estudios del comportamiento mecánico de materiales con memoria de forma. En estos materiales, con modelos y estudios desarrollados por el grupo de trabajo de dicho laboratorio, es posible relacionar el comportamiento macro-micro mecánico a través del estudio de interacciones intergranulares en muestras policristalinas, debido a que ellos presentan una transformación martensítica identificable y que es predecible a partir de datos microestructurales. Parte de dichos estudios es observar in situ el comportamiento de muestras policristalinas en arreglos convencionales como tensión simple y flexión con los cuales no cuenta el laboratorio de mecánica aplicada. Es por esta razón que se decidió diseñar un equipo que permitiera realizar pruebas de caracterización y seguir la totalidad de las muestras estudiadas bajo diferentes arreglos de carga in situ. Es importante mencionar que dicho equipo no es exclusivo para los materiales con memoria de forma ya que éste puede ser usado para cualquier material siempre y cuando cumpla con las dimensiones para las que el equipo fue diseñado.

2.2. Diseño conceptual

El diseño del equipo de la presente tesis puede dividirse en dos partes fundamentales:

1. Diseño mecánico
2. Diseño de software y sistema de posicionamiento

Desde el punto de vista mecánico el arreglo más complicado, para tomar una micrografía en una muestra, es el arreglo típico de flexión. Como puede verse en la **Figura 2.1** el principal problema es que si se quiere tomar una micrografía a una región alejada del empotramiento el microscopio utilizado tiene que estar perpendicular a esta región. Por lo que el microscopio debe de ser capaz de girar conforme este se aleje del empotramiento y a la vez ajustarse conforme la carga sea incrementada. Por esta razón el

presente trabajo se concentra más en este arreglo pues en el caso de tensión o compresión este problema no se presenta.

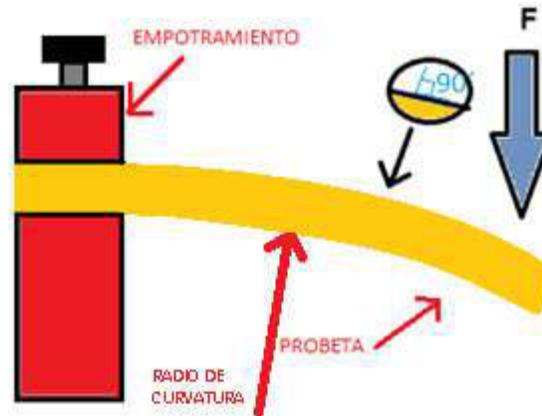


Figura 2.1. Seguimiento de muestra en prueba de Flexión.

Otras de las consideraciones a ser tomadas es que para la captura de micrografías se tiene que tomar en cuenta que es fundamental realizar la prueba sin tocar la muestra o el sistema de aplicación de carga.

2.2.1 Prototipo de posicionamiento mecánico

Como versión preliminar se realizó un prototipo mecánico el cual posiciona un microscopio óptico por medio de desplazamiento en los ejes X, Y, y un movimiento de rotación para permitir la perpendicularidad a la región de la muestra de interés. Este prototipo utiliza sistemas de guiado a base de husillos, operado por medio de perillas y manivelas, con la probeta empotrada en una mordaza metálica. Este prototipo fue construido y sirvió para determinar algunas variables no consideradas. **Figura 2.2.**

Con este equipo se logró principalmente la perpendicularidad con respecto a la región de la muestra a estudiar, se mantuvo el enfoque del grano y fue posible tomar fotografías con una cámara convencional en tiempos no muy prolongados. Sin embargo, tiene desventajas como: falta de precisión, dificultad para tomar un solo grano, a pesar de ser cortos los tiempos de adquisición es tardado lograr una secuencia completa de la muestra, requiere de varias maniobras de accionamiento de perillas y manivelas para el avance del lente del microscopio, se desacopla la cámara del lente, deslumbramiento por refracción de ases de luz y las vibraciones al momento de posicionar en una nueva región el microscopio afectan la calidad de imagen.

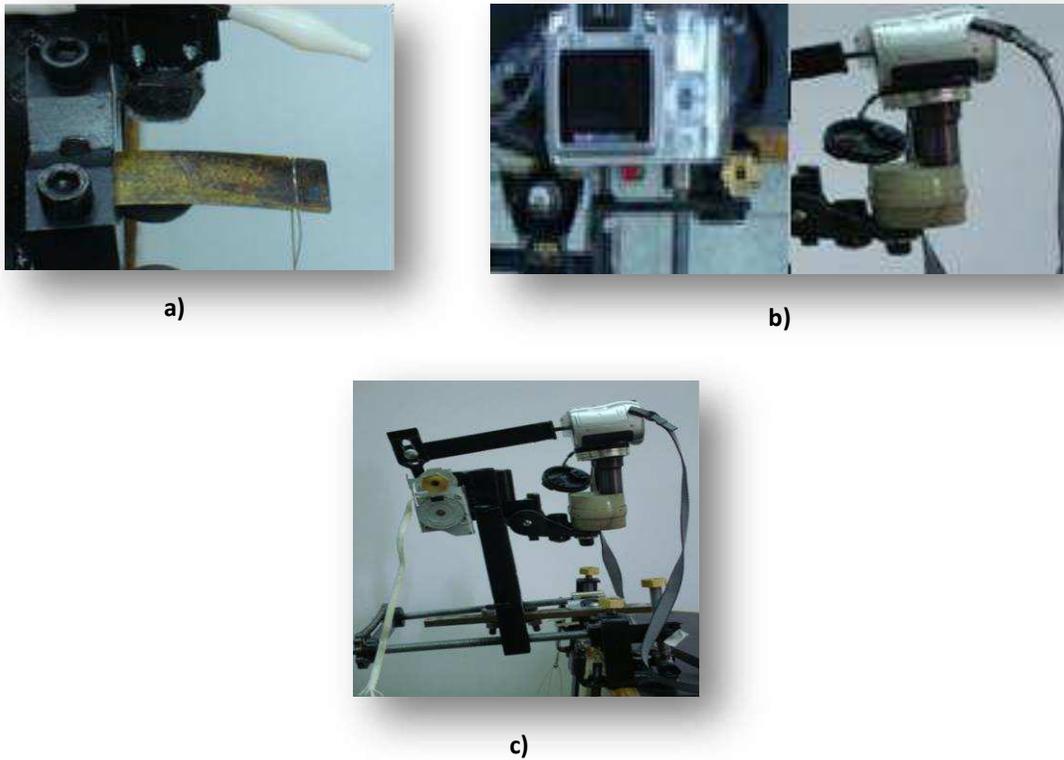


Figura 2.2. Sistema de posicionamiento mecánico. a) Muestra empotrada y cargada en arreglo de flexión. b) Sistema de adquisición de imágenes con microscopio y cámara convencional. c) Equipo completo.

Con la idea de realizar un equipo que resolviera los inconvenientes antes mencionados y tener un equipo manipulable desde la computadora, se decidió trabajar de manera conjunta con el área eléctrica de la misma FES Aragón. Lo anterior debido a que el desarrollo del software sale del alcance del estudio de la mecánica. Es por ello que en la presente tesis fue desarrollada de manera conjunta [9] y sólo se aborda la parte mecánica del diseño del equipo finalmente construido y desarrollado.

2.2.2. Diseño de configuración

En esta sección se describe detalladamente cada uno de los componentes principales del equipo dividido en subensambles. Así mismo, se describe el funcionamiento dentro del conjunto. En la **Figura 2.3** se muestra el diseño conceptual del equipo automático.

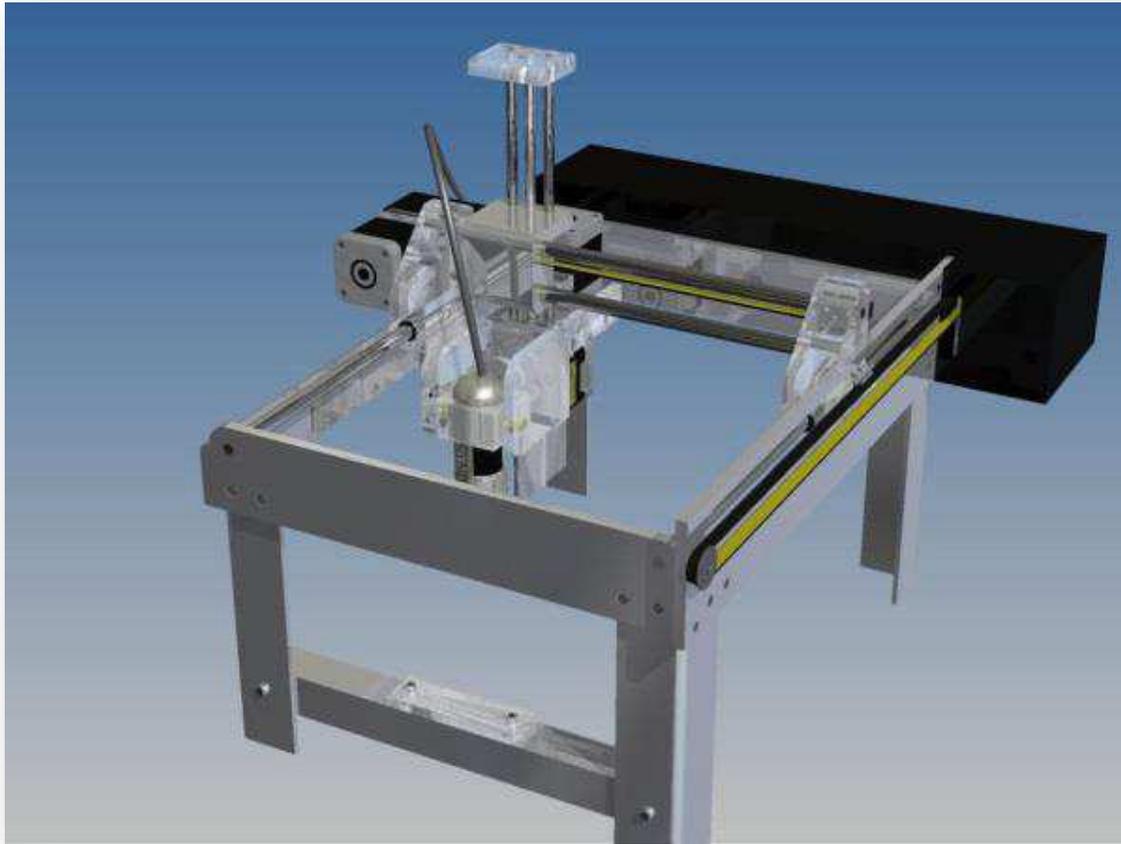


Figura 2.3. Equipo mecánico óptico

Como puede verse se consideró el diseño de una mesa de posicionamiento con desplazamientos en los ejes X, Y, Z y un elemento de rotación W, estos movimientos se requieren realizar a través del control coordinado mediante la computadora.

El diseño se basa dependiendo las características del microscopio así que para tal fin se buscaron diferentes modelos en el mercado. La idea principal era encontrar un microscopio digital, tamaño compacto y con conexión a la computadora. Entre los modelos destacados en el mercado se eligió el modelo AM413ZT POLARIZADOR de la marca Dino-Lite Pro. La ficha técnica de dicho microscopio se puede encontrar en el **Anexo2**.

En la **Tabla 2.1**. Se muestra un listado de los subensambles fundamentales del equipo, así como las principales piezas que los constituyen. Las dimensiones de cada una de las piezas del equipo, de los subensambles y el ensamble completo se muestran en el **Anexo 1**.



Tabla 2.1. Listado de los componentes del equipo:

DESCRIPCION	Componentes	
	PIEZA	No. DE PIEZAS
a) Estructura de soporte	Base 1	2
	Base 2	2
	Placa lateral izquierda	1
	Placa lateral derecha	1
	Placa frontal-trasera	2
	Porta-probeta	1
	Mordaza	1
b) Sub-ensamble de movimiento "X"	Eje macizo X	2
	Soporte X1	1
	Soporte X2	1
	Balero lineal	4
	Banda de movimiento X	1
	Seguro LX	1
	Seguro IX	1
	Polea conducida X	1
	Eje p-polea X	1
	Tren de engranes X	1
	Motor 1-X	1
	Soporte p/motor 1-X	4
c) Sub-ensamble de movimiento "Y"	Eje macizo Y	2
	Soporte YZ	1
	Buje Y	4
	Buje Z	4
	Banda de movimiento Y	1
	Seguro LY	1
	Seguro IY	1
	Polea conducida Y	1
	Eje p-polea Y	1
	Soporte p-polea conducida	1
	Tren de engranes Y	1
	Placa soporte motor 2-Y	1
	Motor 2-Y	1
	Guarda tren de engranes Y	1
d) Sub-ensamble de movimiento "Z"	Eje macizo Z	2
	Husillo Z	1
	Tope Z	1
	Soporte L-ZW	1
	Polea dentada PDZ	2
	Motor 3-Z	1
	Guarda de transmisión Z	1
	Balero A-Z	2



	Eje engrane A-W	1
e) Sub-ensamble de movimiento "W"	Soporte W	1
	Soporte TPW	1
	Motor 4-W	1
	Piñón W	1
	Engrane A-W	1
	Engrane B-W	1
	Flecha TPW	1
	Sinfín 1-W	1
	Engrane C-W	1
	Soporte microscopio	1
f) Caja de conexiones	Caja p/conexiones	1
	Conector cinco pines	1

Los materiales utilizados son convencionales: acrílico transparente, aluminio y acero inoxidable. El sistema es posicionado por medio de motores que podrán ser manipulados desde la computadora o de forma manual.

2.2.2.1. Sistema Mecánico

A continuación se describen las partes fundamentales del equipo mediante subensambles y la función de cada uno.

a) Estructura de soporte

La función de esta estructura es soportar y fijar completamente los ejes X, ya que estos sirven de guía al sub-ensamble X, y así, poder realizar los posicionamientos de los demás sub-ensambles anclados o ensamblados a este; obteniendo como resultado un espacio o área de trabajo rectangular. Esta estructura está constituida por las placas frontal y trasera, placa lateral derecha y placa lateral izquierda para formar el marco de soporte. Este marco tiene en el plano frontal las piezas base 1 y 2 acopladas con el porta-probetas y la mordaza; en el plano posterior se tienen las piezas base 3 y 4; Esta configuración de elementos sirve de soporte para los demás elementos y la caja de conexiones. Las dimensiones de dicha estructura son de 16.25 pulgadas de largo, 11.5 pulgadas de ancho y 8.75 de alto. Se considera conveniente emplear estas dimensiones debido a la disponibilidad para maquinar algunas las piezas de los elementos internos que son de menores dimensiones. Otro punto de factibilidad es el tamaño compacto y portabilidad para demostraciones ante un grupo o un lugar en específico. A continuación se describen algunas de sus partes en la **Figura 2.4**.

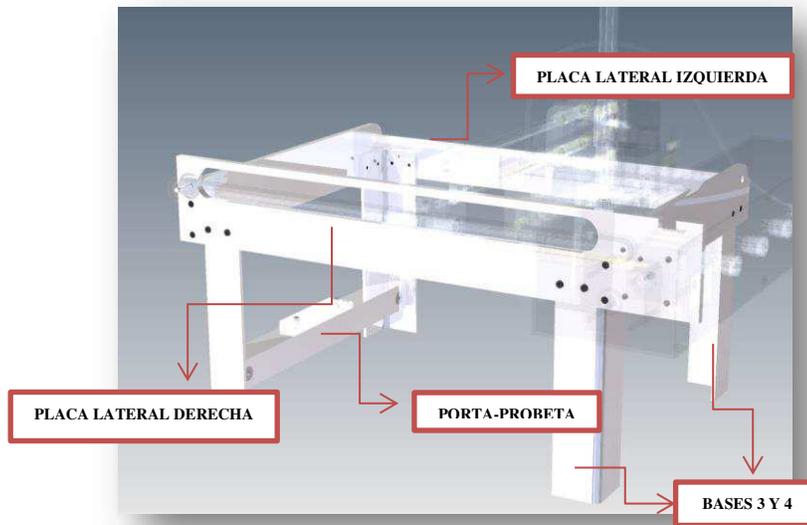


Figura 2.4. Estructura de soporte.

b) Sub-ensamble de movimiento eje "X"

La función de este sub-ensamble es posicionar el microscopio en el eje X o a lo largo del área de trabajo de la estructura. Este sub-ensamble cuenta con dos guías de acero a través de las cuales viajan los soportes X1 y X2 con una fricción muy reducida debido a que contienen en su interior rodamientos lineales. Estos soportes X1 y X2 son las bases para los ejes macizos Y siendo las guías para realizar desplazamientos en el eje Y. Cabe mencionar que en los soportes se colocan tanto la base del eje p-polea Y, así como la placa de soporte de motor 2-Y respectivamente. La parte motriz cuenta con el motor X-1 montado en un extremo de la placa lateral derecha; que está acoplado con el tren de engranes X que a su vez está montado en la misma placa; este sistema de engranes contiene en su salida una polea dentada que acciona la banda X, esta banda es fijada en un punto con los seguros IX y LX para desplazar los soportes X1 y X2. El sub-ensamble se muestra a continuación en la **Figura2.5**.

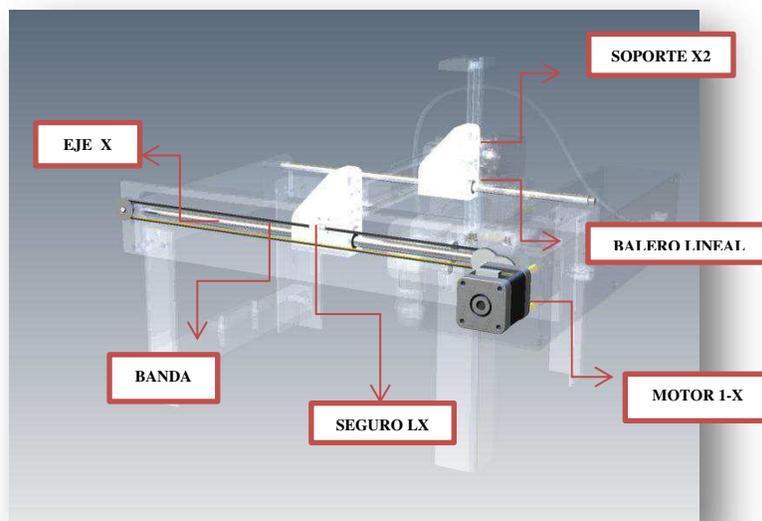


Figura 2.5. Sub-ensamble de movimiento X.

c) Sub-ensamble de movimiento eje “Y”

De igual forma este sub-ensamble es llamado así por el grado de libertad que proporciona en el eje Y, funcionando mediante el motor 2-Y y el tren de engranes Y se accionan el desplazamiento de la banda Y, ésta se sujeta en un punto por los seguros I-Y y L-Y que son ensamblados al soporte YZ; este soporte contiene 4 bujes para guiarlo sobre los ejes macizos Y. Los ejes son conectados en los soportes X1 y X2 manteniéndolos alineados. El componente principal en este sub-ensamble es el soporte YZ que como su nombre indica sirve de coplee entre estos dos sub-ensambles Y y Z. Este sub-ensamble se muestra a continuación en la **Figura 2.6**.

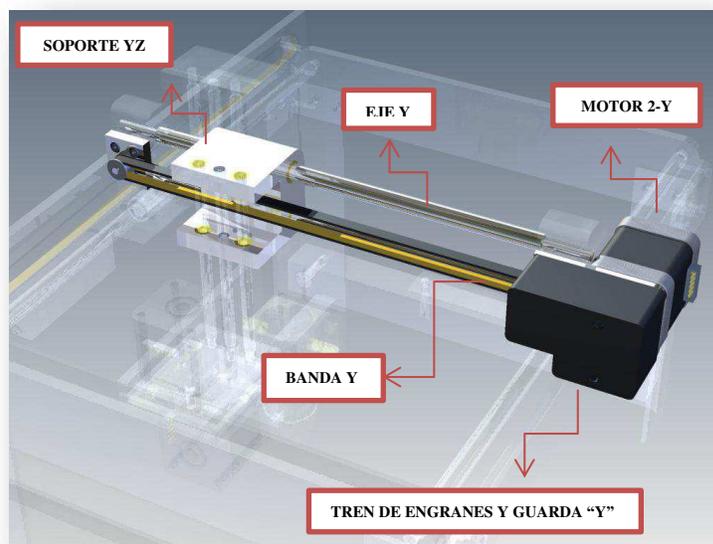


Figura 2.6. Sub-ensamble Y.

d) Sub-ensamble de movimiento eje “Z”

Este presenta el grado de libertad en el eje “Z” mediante el accionamiento del husillo Z como sistema de desplazamiento en el eje Z y “coplee” entre el soporte YZ y el soporte L-ZW guiado mediante el desplazamiento de los ejes macizos Z sobre los bujes Z que se encuentran ensamblados en el soporte YZ. La parte de potencia la brinda el motor 3-Z conectado al tren de engranes Z para transmitir movimiento al husillo Z **Figura 2.7**.

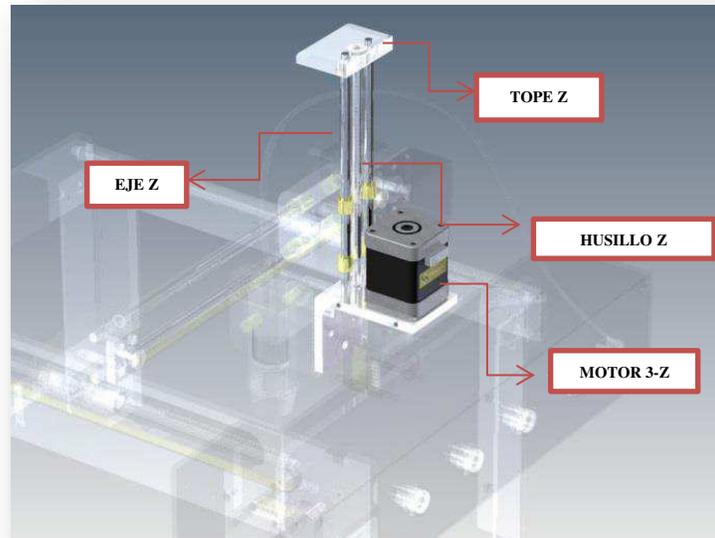


Figura 2.7. Sub-ensamble de movimiento Z.

e) Sub-ensamble de movimiento “W”

Este componente proporciona un grado de libertad rotativo de 0 a 90 grados ofreciendo la particularidad de poder seguir la flexión de la probeta proporcionando la perpendicularidad al plano de trabajo según la carga aplicada. Este sub-ensamble tiene su etapa de transmisión de movimiento comenzando con el motor 4-W; que acciona los engranes A-W, B-W y la flecha TPW que en su extremo porta el sinfín 1-W, éste proporcionando movimiento al engrane C-W que rota el soporte de microscopio obteniendo finalmente, el movimiento en el eje W. **Figura 2.8.**

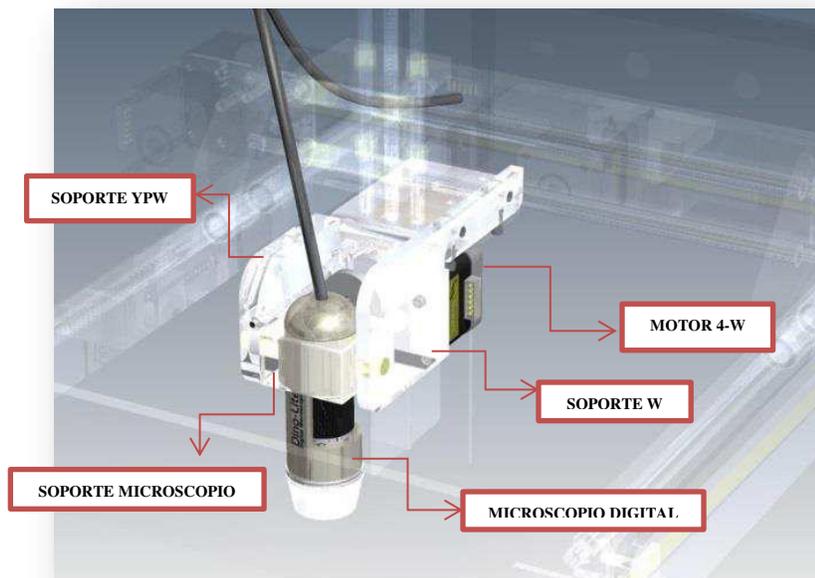


Figura 2.8. Sub-ensamble de movimiento W.

En la **Figura 2.9** se muestra en detalle el sistema de transmisión W. En este sistema intervienen los siguientes elementos: piñón W, engrane A-W, engrane B-W, flecha TPW, sinfín 1-W y el engrane C-W. La transmisión de estos elementos se lleva desde el motor 4-W hasta la flecha que soporta al soporte de microscopio brindando un movimiento de rotación a este elemento y por consiguiente al microscopio digital.

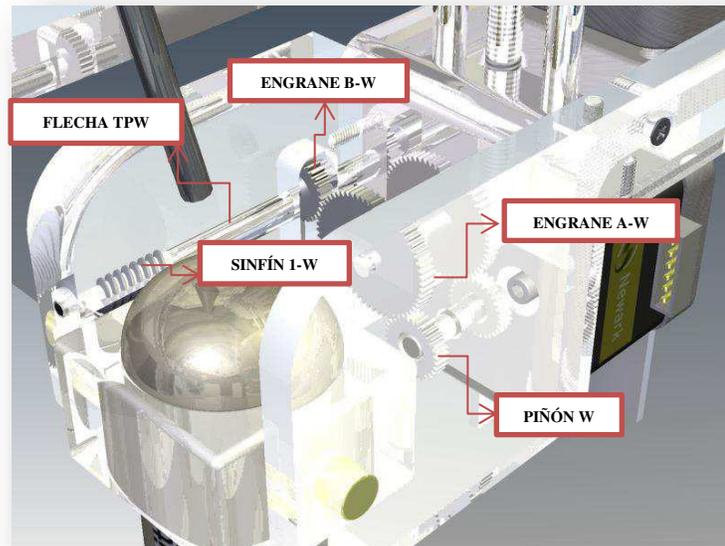


Figura 2.9. Sistema de transmisión W.

f) Caja de conexiones

Esta caja fue diseñada para almacenar las conexiones de los motores a pasos y los conectores universales de cinco pines y así permitir una gran versatilidad junto con el sistema de control tridimensional DSA-MEA-02/C4M externo, que nos sirve para el control manual o automatizado a través de la computadora **Figura 2.10**.

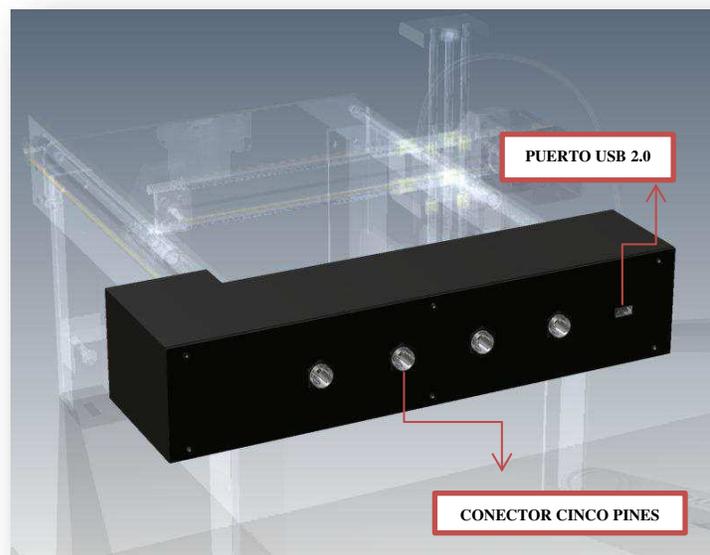


Figura 2.10. Caja de conexiones.

2.2.2.2. Sistema eléctrico y sistema de control

Como se comentó anteriormente el sistema eléctrico y el sistema de control se desarrollaron de manera conjunta con el área electrónica de la FES Aragón [9]. Los motores utilizados para general el movimiento en el equipo son motores a pasos de imán permanente de los tipos bipolares y unipolares de 2 fases, ya que éstos se encuentran con mayor disponibilidad en el mercado. También, se realizó una tarjeta electrónica de bajo costo y de tamaño pequeño con la cual es posible tener conectores de cinco pines y el puerto USB. Para lograr la integración del sistema mecánico, eléctrico y de control se colabora con el área eléctrica electrónica la cual ha diseñado y desarrollado los circuitos impresos (PCB) del hardware, estos PCB's fueron diseñados en PROTEUS VSM que se muestran en la **Figura 2.11**. En las **Figuras a y c** se muestra el diseño electrónico de las tarjetas de control y de la fuente, respectivamente; en las **Figuras b y d** se muestran la construcción de las mismas [9].

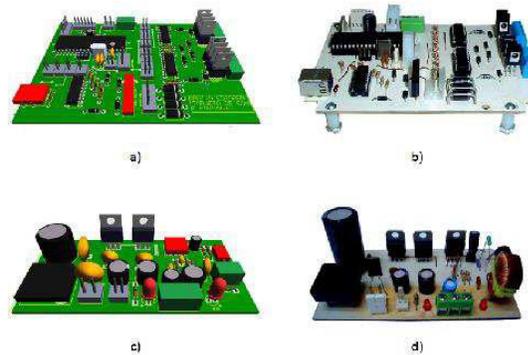


Figura 2.11. Diseño de los circuitos impresos. [9]

Las tarjetas de la figura anterior son incorporadas a un chasis para brindar protección al sistema, en la **Figura 2.12** se muestra la conexión e integración de éste.



Figura 2.12 Integración de las tarjetas dentro del chasis. [9]

Una vez integradas las tarjetas, se le asignado el nombre de “**Sistema de Automatización**”, esto con el fin de tener una mejor presentación. Las imágenes del Sistema de Automatización se muestran en las **Figura 2.13. a) y b).**



a)



b)

Figura 2.13. a) y b). Sistema de Automatización. [9]

En cuanto al software desarrollado, se nombra igual que al hardware, y con un recurso de LabVIEW se crea el archivo de instalación, así al contar con este archivo, este software se puede instalar en cualquier computadora y ejecutarse sin la necesidad de tener instalado el programa LabVIEW. Una vez que se instala el programa como cualquier otro, se puede localizar en el menú inicio como lo muestra la **Figura 2.14** y su pantalla de inicio **Figura 2.15.**



Figura 2.14. Visualización en escritorio del software.



Figura 2.15. Presentación del Software para el Sistema de Automatización al ejecutarse.



2.3 Diseño de detalle

Una vez descritos los desplazamientos que se tienen que realizar se procede al cálculo de la transmisión. Esto se realiza mediante un tren de engranes compuesto para los ejes X y Y y para el eje Z mediante poleas y correa, así como un tren de engranes simple acoplado a una flecha y sinfín corona para el movimiento de rotación.

2.3.1 Cálculos transmisión X y Y

En esta sección se calculan los elementos considerados como los más críticos o de los mayor importancia como lo es la sección de transmisión, por lo que se muestran los cálculos de dimensionamiento de los engranes y el conjunto de ellos, así como la transmisión de potencia y velocidades. A continuación se muestra los cálculos para el tren de engranes X y Y. Primero se calcula el diámetro de paso D (**ec. 1.6**) del piñón y del siguiente engrane respectivamente.

Por lo tanto utilizando la **ec. 1.6** con:

$m_1 = 0.3\text{mm}$ para el piñón y el engrane A-1 mientras que para los engranes A-2, B-1 y B-2 $m_2 = 0.4$. Se calculan los diámetros de paso D_1, D_2, D_3, D_4 y D_5 .

Considerando el siguiente número de dientes para cada uno:

$Z_1 = 31$ para el piñón

$Z_2 = 84$ para el engrane doble A-1

$Z_3 = 21$ para el engrane doble A-2

$Z_4 = 63$ para el engrane doble B-1

$Z_5 = 14$ para el engrane doble B-2

$D_1 = (31)(0.3) = 9.3\text{ mm} = 0.3661\text{ in}$

Adicionalmente se calcula el paso diametral P_1, P_2, P_3, P_4 y P_5 en dientes por pulgada utilizando la **ec. 1.7** para P_1 se tiene:

$$P_1 = \frac{31}{0.3673"} = 84.39$$

Una vez conociendo el diámetro de paso se puede conocer el paso circular $P_{C1}, P_{C2}, P_{C3}, P_{C4}$ y P_{C5} . Utilizando la **ec. 1.8** como sigue:

$$P_{C1} = \frac{(9.3\text{mm})}{31} \pi = 0.9425\text{mm}$$



Ya que P_c y δ es igual en el piñón y el engrane doble A-1, así como son iguales en los engranes A-2, B-1 y B-2 se aplica la **ec. 1.9** entonces se tiene:

$$P_{b1} = (0.9425\text{mm}) \cos 20^\circ = 0.8856\text{mm}$$

$$P_{b2} = (1.2566\text{mm}) \cos 20^\circ = 1.1808\text{mm}$$

$$P_{b2} = (2.1991\text{mm}) \cos 20^\circ = 2.0664\text{mm}$$

Para cálculos posteriores es necesario obtener las medidas de addendum y dedendum con la **ec. 1.10** y **ec. 1.11**.

Por lo tanto:

$$a_1 = 0.3\text{mm}$$

$$d_1 = 1.5 (0.3\text{mm}) = 0.45\text{mm}$$

$$a_2 = 0.4\text{mm}$$

$$d_2 = 1.5 (0.4\text{mm}) = 0.6\text{mm}$$

$$a_3 = 0.7\text{mm}$$

$$d_3 = 1.5 (0.7\text{mm}) = 1.05\text{mm}$$

Una vez determinada la medida de addendum y dedendum es posible calcular el radio exterior o radio addendum utilizando la **ec. 1.12**.

Por lo que en el piñón el radio exterior o radio adendum r_a es igual a:

$$r_{a1} = \frac{9.3\text{mm} + 2(0.3\text{mm})}{2} = 4.95\text{mm}$$

De forma análoga se calculan r_{a2}, r_{a3}, r_{a4} y r_{a5} .

El diámetro interior o radio dedendum es menor al diámetro de paso D y esta dado por la **ec. 1.13**. Por lo que los radios dedendum $r_{d1}, r_{d2}, r_{d3}, r_{d4}$ y r_{d5} para el piñón pueden ser calculados.

$$r_{d1} = \frac{9.3\text{mm} - 2(0.45\text{mm})}{2} = 4.2\text{mm}$$

Otro parámetro importante a conocer es el diámetro o radio base el cual está relacionado con el diámetro de paso y el ángulo de acción mencionados anteriormente y se calcula



con la **ec. 1.14**. Teniendo todas las variables se procede a calcular r_{b1} , r_{b2} , r_{b3} , r_{b4} y r_{b5} , en el piñón y los engranes respectivamente. Para el caso de r_{b1} se tiene:

$$r_{b1} = \frac{(9.3mm) \cos 20}{2} = 4.36mm$$

Una vez determinados los principales parámetros del tren de engranes es posible determinar la relación de engranaje, tal como la distancia entre centros, la cual está dada por la **ec. 1.15**.

Donde:

Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 y Z_5 son el número de dientes del piñón y los engranes respectivamente.

Por lo tanto la distancia entre centros del piñón y el engrane doble A es:

$$C_1 = (0.3mm) \frac{31 + 84}{2} = 17.25mm$$

Para la distancia entre el engrane doble A y el engrane doble B tenemos:

$$C_2 = (0.4mm) \frac{21 + 63}{2} = 16.8mm$$

Una vez determinada la distancia entre centros se calcula la línea de acción L por medio de la **ec. 1.17**.

Donde:

r_1, r_2, r_3, r_4 y r_5 , corresponden al radio addendum del piñón y los engranes respectivamente.

$r_{b1}, r_{b2}, r_{b3}, r_{b4}$ y r_{b5} , son el radio base correspondientes al piñón y los engranes respectivamente.

Por lo que calculamos L_1 y L_2 :

$$L_1 = (12.9^2 - 11.84^2)^{1/2} + (4.95^2 - 4.36^2)^{1/2} - 17.25 \sin 20 = 1.56mm$$

$$L_2 = (13^2 - 11.84^2)^{1/2} + (4.6^2 - 3.94^2)^{1/2} - 16.8 \sin 20 = 1.99mm$$



Calculando la razón de engrane m_y con la **ec. 1.18**

$$m_y = \left(\frac{84}{31}\right) \left(\frac{63}{21}\right) = 8.12$$

Como la relación de velocidad m_ω está dada por $m_\omega = \frac{N_{conducido}}{N_{motor}}$, si en el prototipo el engrane motor es el piñón entonces podemos decir que $m_y = m_\omega$.

$$m_\omega = \frac{N_{conducido}}{N_{motor}} = \frac{N_{Engrane}}{N_{Piñon}} \quad (\text{ec. 1.16})$$

$$m_\omega = m_y$$

La velocidad de eje de salida esta dada por la **ec. 1.16**

$$m_\omega = \frac{N_1}{N_4} = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) \left(\frac{Z_4}{Z_3}\right) \quad (\text{ec. 1.16})$$

Entonces:

$$m_\omega = \frac{400}{N_4} = \left(\frac{84}{31}\right) \left(\frac{63}{21}\right) = 8.12$$

Donde N_1 y N_4 son las velocidades de entrada y salida respectivamente.

Para este caso tenemos que la velocidad de entrada $N_1 = 400$ rpm entonces se tiene sustituyendo en la **ec. 1.16** se tiene:

$$N_4 = \frac{N_1}{8.12}$$



Rescribiendo:

$$N_4 = \frac{400rpm}{8.12} = 49.26 rpm \text{ en la salida.}$$

Una vez obtenida la velocidad angular de salida podemos calcular sencillamente la velocidad tangencial o lineal:

$$V = \omega r$$

Donde:

$$\omega = N_4 \text{ en rad/s}$$

$$r = 4.9 \text{ mm en el engrane doble o polea dentada B-2}$$

Para convertir rpm a rad/s tenemos que:

$$N_4 = \left(\frac{49.26(2\pi)}{60} \right) = 5.1584 \text{ rad/s}$$

Entonces sustituyendo se tiene:

$$V = (5.1584 \text{ rad/s})(4.9 \text{ mm}) = 25.2761 \text{ mm/s}$$

Para obtener la razón de contacto m_c se aplica la **ec. 1.19**.

$$m_{c1} = \frac{1.56 \text{ mm}}{0.8856 \text{ mm}} = 1.7615$$

$$m_{c2} = \frac{1.99 \text{ mm}}{1.1808 \text{ mm}} = 1.6852$$

Finalmente para saber el par transmitido se utiliza la **ec. 1.20**.

$$T_s = (8.12)(0.35 \text{ N} * \text{m}) = 2.84 \text{ N} * \text{m}$$

La **Tabla 2.2** muestra las propiedades del piñón y de los engranes, así como su relación de engranaje.



Tabla 2.2 Resultados del tren de engranes

	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Piñón</i>	<i>Engrane A-1</i>	<i>Engrane A-2</i>	<i>Engrane B-1</i>	<i>Engrane B-2</i>	
<i>Número de dientes</i>	Z	--	31	84	21	63	14	
<i>Altura del diente</i>	h	mm	0.75	0.75	1	1	1.75	
<i>Anchura de la cara</i>	b	mm	9	3	7	4	9	
<i>Diámetro de paso</i>	D	mm	9.3	25.2	8.4	25.6	9.8	
<i>Paso circular</i>	P_c	mm	0.9425	0.9425	1.2566	1.2566	2.1991	
<i>Paso diametral</i>	P	Z/in	84.39	84.67	63.50	63.50	36.28	
<i>Paso base</i>	P_b	mm	0.8856	0.8856	1.1808	1.1808	2.0664	
<i>Módulo</i>	m	mm	0.3	0.3	0.4	0.4	0.7	
<i>Addendum</i>	a	mm	0.3	0.3	0.4	0.4	0.7	
<i>Dedendum</i>	d	mm	0.45	0.45	0.6	0.6	1.05	
<i>Radio addendum</i>	r_a	mm	4.59	12.9	4.6	13	5.6	
<i>Radio dedendum</i>	r_d	mm	4.2	12.15	3.6	12	3.85	
<i>Radio Base</i>	r_b	mm	4.36	11.84	3.94	11.84	4.6	
<i>Ángulo de acción</i>	δ	°	20					
Relación de engranaje								
<i>Distancia entre centros</i>	C	mm	17.25				16.8	
<i>Longitud de acción</i>	L	mm	1.56				1.99	
<i>Razón de engrane</i>	m_y	--	8.12					
<i>Relación de velocidad</i>	m_ω	--	8.12					
<i>Velocidad angular de entrada</i>	N_1	rpm	400					
<i>Velocidad angular de salida</i>	N_4	rpm	49.26					
<i>Velocidad tangencial de salida</i>	V	mm/s	25.2761					
<i>Relación de contacto</i>	m_c	--	1.7615				1.6852	
<i>Par de entrada</i>	T_e	$N*m$	0.35	--				
<i>Par de salida</i>	T_s	$N*m$	--					2.84



2.3.2 Cálculos de la transmisión Z

Para calcular los elementos de esta parte de la transmisión es necesario calcular las poleas y el tornillo de fuerza puesto que son considerados como de vital importancia en su funcionamiento, para la buena ejecución de las instrucciones recibidas del sistema de control. El dimensionamiento, velocidad y potencia de salida se calcularon de la siguiente manera:

Dado que la transmisión en el eje Z, consta de dos poleas dentadas; una acoplada al motor y una en el husillo Z, así como una correa dentada para la transmisión.

Para el cálculo de las poleas se utilizan algunas ecuaciones de los engranes como:

$$D = Z \cdot m$$

Donde:

Z= es el número de dientes la polea.

m= es el módulo ya que las medidas están en el sistema métrico decimal.

Por lo tanto utilizando la **ec. 1.16** con:

$$m_2 = 0.6 \text{ mm las dos poleas}$$

$$Z_1 = 16$$

$$Z_2 = 24$$

$$D_1 = (16) (0.6) = 9.6 \text{ mm}$$

$$D_2 = (24) (0.6) = 14.4 \text{ mm}$$

Relación de velocidad con la **ec. 1.21**:

$$(9.6 \text{ mm}) (400 \text{ rpm}) = (14.4 \text{ mm}) (N_2)$$

Despejando N_2

$$N_2 = \frac{(9.6 \text{ mm}) (400 \text{ rpm})}{14.4 \text{ mm}} = 266.66 \text{ rpm}$$



Una vez realizado lo anterior se calcula sencillamente la relación de transmisión que se le proporciona al husillo Z. Esta relación de transmisión i_z está dada por la división del número de dientes la patea dentada PDZ₂ entre el número de dientes de la patea dentada PDZ₁ como lo indica la siguiente **ec. 1.4**.

$$i_z = \left(\frac{24}{16}\right) = 1.5$$

Así que, para saber el par de salida se tiene la **ec. 1.20**

Sustituyendo:

$$T_s = (1.5)(0.35 N * m) = 0.525 N * m$$

Para obtener el número mínimo de dientes entre la patea y la correa se aplica la **ec. 1.22**.

Entonces se tiene:

$$Z_c = \frac{180}{360} 16 = 8$$

Con los cálculos anteriores se dará pie a calcular el momento para subir y bajar del husillo mediante lo siguiente:

Husillo

Para este prototipo se elige un husillo tipo M7.

Donde:

$$d_m = 6.35\text{mm}$$

$$l = 0.5\text{mm}$$

$\mu = 0.61$ tabla **Anexo 3** coeficiente de fricción entre el acero y el aluminio

$$F = 29.43\text{N}$$

$F_s = 4$ factor de seguridad

$$P = 1$$



Sustituyendo en la ec. 1.27 tenemos el par necesario para subir carga:

$$T_{sb} = \left(\frac{(29.43\text{N})(6.35\text{mm})}{2} \right) \left(\frac{0.5\text{mm} + \pi(0.61)(6.35\text{mm})}{\pi(6.35\text{mm}) - (0.61)(0.5\text{mm})} \right) = 60.2616 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Entonces:

$$T_{sb} = (0.06026 \text{ N} \cdot \text{m}) (4) = 0.2410 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Sustituyendo en la ec. 1.28 tenemos el par necesario para bajar carga:

$$T_b = \left(\frac{(29.43\text{N})(6.35\text{mm})}{2} \right) \left(\frac{\pi(0.61)(6.35\text{mm}) - 0.5\text{mm}}{\pi(6.35\text{mm}) + (0.61)(0.5\text{mm})} \right) = 53.8332 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Entonces:

$$T_b = (0.05383 \text{ N} \cdot \text{m}) (4) = 0.21533 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Sin duda el torque necesario de $0.2410 \text{ N} \cdot \text{m}$ es menor al que proporciona la transmisión propuesta que es de $0.525 \text{ N} \cdot \text{m}$ cumpliendo satisfactoriamente la función de subir y bajar el sub-ensamble en el eje Z.

Sabiendo lo anterior se calcula el avance o velocidad de avance que se expresa, especialmente en máquinas herramientas, en milímetros por minuto (mm/min) y se calcula multiplicando el paso de rosca p (en mm/rev) por la velocidad de giro n (en rev/min o rpm).

$$A = p \cdot n$$

$$A = \left(1 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right) \left(266.66 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) = 266.66 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

La **Tabla 2.3** muestra las propiedades de las poleas y del husillo.



Tabla 2.3 Resultados poleas y husillo.

	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>POLEA 1</i>	<i>POLEA 2</i>	<i>Husillo</i>
Número de dientes	Z	--	16	24	--
Altura del diente	h	mm	1.75	1.75	--
Anchura de la cara	b	mm	9	9	--
Diámetro de paso	D	mm	9.6	14.4	--
Módulo	m	mm	0.6	0.6	--
Paso del tornillo	p	mm	--	--	1
Diámetro medio del tornillo	d_m	mm	--	--	6.35
Mínimo de dientes entre la polea y la correa	Z_c	--	8		--
Coefficiente de fricción	μ	--	--	--	0.61
Avance	l	mm	--	--	0.5
Velocidad angular de entrada	N_1	rpm	400	--	--
Velocidad angular de salida	N_4	rpm	--	266.66	--
Velocidad avance	A	mm/s	4.44		--
Relación de transmisión	i_z	--	1.5		--
Par de entrada	T_e	$N \cdot m$	0.35	--	--
Par de salida	T_s	$N \cdot m$	--	0.525	
Par necesario para subir carga	T_{sb}	$N \cdot m$	--	--	0.2410
Par necesario para bajar carga	T_b	$N \cdot m$	--	--	0.2153

2.3.3 Cálculos de la transmisión W

Una acción muy importante que debe realizar el prototipo es seguir la probeta que se va a caracterizar para obtener una imagen adecuada del material. Dado que durante una prueba de flexión la muestra cambia de curvatura se requiere posicionar el microscopio de manera perpendicular al sitio de interés; para realizar dicha acción se tiene que generar un movimiento de rotación. Sin embargo, dado que el equipo diseñado sirve para diferentes configuraciones se decidió que dicho giro sea desde los 0 grados hasta los 90 grados.

Para generar el movimiento de rotación se calcula principalmente la transmisión que contiene los engranes A-W, B-W, el sinfín 1-W y la corona C-W.



De forma análoga a los engranes se calcula el diámetro de paso D del piñón y del siguiente engrane respectivamente con la **ec. 1.6**. Siendo el piñón y el engrane B-W idénticos.

$$m_1 = 0.41 \text{ mm}$$

$$Z_1 = Z_3 = 30 \text{ para el piñón}$$

$$Z_2 = 55 \text{ para el engrane A-W}$$

$$D_1 = D_3 = (30)(0.41) = 12.3 \text{ mm} = 0.4842 \text{ in}$$

$$D_2 = (55)(0.41) = 22.55 \text{ mm} = 0.8877 \text{ in}$$

Paso diametral P (diametral pitch), en dientes por pulgada **ec. 1.7**.

$$P_1 = \frac{30}{0.4842''} = 61.95$$

$$P_2 = \frac{55}{0.8877''} = 61.95$$

Sabiendo el diámetro de paso se puede conocer el paso circular P_c calculado a través de la **ec. 1.8**.

$$P_{c1} = \frac{(12.3 \text{ mm}) \pi}{30} = 1.2880 \text{ mm}$$

$$P_{c2} = \frac{(22.55 \text{ mm}) \pi}{55} = 1.2880 \text{ mm}$$

Para el caso de los engranes rectos se debe calcular el paso base P_b con la **ec. 1.9**.

Ya que P_c y δ es igual en el piñón y el engrane doble A-W, aplicaremos la **ec. 1.9** entonces se tiene:

$$P_{b1} = (1.2880 \text{ mm}) \cos 20^\circ = 1.2103 \text{ mm}$$

$$P_{b2} = (1.2880 \text{ mm}) \cos 20^\circ = 1.2103 \text{ mm}$$

Para cálculos posteriores es necesario saber la medida de los diámetros o radios exterior e interior, por lo cual es indispensable calcular las medidas de addendum y dedendum con la **ec. 1.10** y la **ec. 1.11**.



Por lo tanto:

$$a_1 = 0.41\text{mm}$$

$$d_1 = 1.5 (0.41\text{mm}) = 0.615\text{mm}$$

Una vez determinada la medida de addendum y dedendum es posible calcular el radio exterior o radio addendum utilizando la **ec. 1.12**.

Por lo que en el piñón el radio exterior o radio adendum r_a es igual a:

$$r_{a1} = \frac{12.3\text{mm} + 2(0.41\text{mm})}{2} = 6.56\text{mm}$$

En el engrane doble A-W se tiene:

$$r_{a2} = \frac{22.55\text{mm} + 2(0.41\text{mm})}{2} = 11.685\text{mm}$$

El diámetro interior o radio dedendum es menor al diámetro de paso D y esta dado por la **ec. 1.13**.

Por lo que el diámetro interior o radio dedendum r_d para el piñón es:

$$r_{d1} = \frac{12.3\text{mm} - 2(0.615\text{mm})}{2} = 5.535\text{mm}$$

En el engrane doble A-W se tiene:

$$r_{d2} = \frac{22.55\text{mm} - 2(0.615\text{mm})}{2} = 10.66\text{mm}$$

Otro parámetro importante a conocer es el diámetro o radio base el cual está relacionado con el diámetro de paso y el ángulo de acción mencionados anteriormente y se calcula con la **ec. 1.14**. Teniendo todas las variables se procede a calcular r_b en el piñón y los engranes respectivamente.



$$r_{b1} = \frac{(12.3mm) \cos 20}{2} = 5.77mm$$

En el engrane doble A-W se tiene:

$$r_{b2} = \frac{(22.55mm) \cos 20}{2} = 10.59mm$$

Una vez determinados los principales parámetros del tren de engranes es posible determinar la relación de engranaje tal como la distancia entre centros la cual está dada por la **ec. 1.15**.

Donde:

Z_1 Y Z_2 son el número de dientes del piñón y del engrane respectivamente.
Por lo tanto la distancia entre centros del piñón y el engrane doble A-W es:

$$C_1 = (0.41mm) \frac{30 + 55}{2} = 17.42mm$$

Una vez determinada la distancia entre centros se calcula la línea de acción L por medio de la **ec. 1.17**.

Donde:

r_1, r_2 , Corresponden al radio addendum del piñón y del engrane respectivamente.
 r_{b1}, r_{b2} , Son el radio base correspondientes al piñón y del engrane respectivamente.

Por lo que se calcula L_1 :

$$L_1 = (11.685^2 - 10.59^2)^{1/2} + (6.56^2 - 5.77^2)^{1/2} - 17.42 \sin 20 = 2.1017mm$$

En este caso sólo se requiere transmitir el movimiento por lo cual es la misma velocidad y potencia del motor que se transmite a la flecha TPW.



2.3.3.1. Tornillo sin fin

Este tipo de transmisión se utiliza para no tener retrocesos en la transmisión y evitar complicaciones o movimientos no deseados.

Obtenidos los resultados anteriores se continúa con el cálculo del sin fin y la corona para determinar el sistema de transmisión de tal manera que se sintetizan en esta sección las ecuaciones, se sustituyen y se resuelven como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} n &= 1 \\ m &= 0.5 \\ dp &= 7.36 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= dp \cdot m && \text{(ec.1.29)} \\ p &= (7.36 \text{ mm}) (0.5) = 3.68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_f &= 1.167m && \text{(ec.1.34)} \\ h_f &= (1.167) (0.5) = 0.5835 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} de &= dp + 2m && \text{(ec.1.30)} \\ de &= 3.68 + 2(0.5) = 4.68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pt &= m \cdot \pi && \text{(ec.1.35)} \\ Pt &= (0.5 \text{ mm}) (\pi) = 1.57 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} di &= dp - 2.3 \cdot m && \text{(ec.1.31)} \\ di &= 3.815 - (2.3) (0.5) = 2.53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sen } \alpha &= (Pt \cdot n) / (dp \cdot \pi) && \text{(ec.1.36)} \\ \text{Sen } \alpha &= ((1.57 \text{ mm}) (1)) / ((3.68) (\pi)) = 0.135 \\ \alpha &= 7.80^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= 2.167m && \text{(ec.1.32)} \\ h &= (2.167) (0.5) = 1.0835 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa &= Pt / \cos \alpha && \text{(ec.1.37)} \\ Pa &= 1.57 \text{ mm} / \cos 7.80 = 1.58 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_k &= m && \text{(ec.1.33)} \\ h_k &= 0.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Lr = 5Pa \quad \text{(ec.1.38)}$$



CORONA

$$m = 0.5$$

$$\alpha = 7.80^\circ$$

$$Z = 30$$

$$m_a = m / \cos \alpha \quad (\text{ec.1.38})$$

$$m_a = 0.5 / \cos 7.8 = 0.5046 \text{mm}$$

$$D_p = m_a \times z \quad (\text{ec.1.39})$$

$$D_p = (0.5046) (30) = 15.14 \text{mm}$$

$$D_e = D_p + 2m \quad (\text{ec.1.40})$$

$$D_e = 15.14 \text{mm} + 2(0.5) = 16.14 \text{mm}$$

$$h = 2.167m \quad (\text{ec.1.41})$$

$$h = (2.167) (0.5) = 1.0835 \text{mm}$$

$$D_i = D_e - 2h \quad (\text{ec.1.42})$$

$$D_i = 16.14 \text{mm} - 2(1.0835) = 13.973 \text{mm}$$

$$h_k = m \quad (\text{ec.1.43})$$

$$h_k = 0.5 \text{mm}$$

$$h_f = 1.167m \quad (\text{ec.1.44})$$

$$h_f = (1.167) (0.5) = 0.5835 \text{mm}$$

$$P = m \cdot \pi \quad (\text{ec.1.45})$$

$$P = 0.5 \pi = 1.57 \text{mm}$$

$$\beta = 90^\circ$$

$$P_a = P / \cos \alpha \quad (\text{ec.1.46})$$

$$P_a = 1.57 / \cos 7.8 = 1.58 \text{mm}$$

$$B_r = 8m \quad (\text{ec.1.47})$$

$$B_r = (8) (0.5) = 4 \text{mm}$$

$$R = (0.5 \cdot d_p) - m \quad (\text{ec.1.48})$$

$$R = (0.5) (3.68) - 0.5 = 1.34 \text{mm}$$

$$D_t = D_e + 3h_k \quad (\text{ec.1.49})$$

$$D_t = 16.14 + 3(0.5) = 17.64 \text{mm}$$

$$C = \frac{1}{2}(D_e + d_i) \quad (\text{ec.1.50})$$

$$C = \frac{1}{2}(16.14 + 2.53) = 9.33 \text{mm}$$

Mediante la **ec. 1.51** se obtiene la relación de transmisión del sinfín corona.

$$i = 1 / 30 = 0.033$$

Una vez obtenido lo anterior se obtiene N_3 con la **ec. 1.52**:

$$N_3 = (400 \text{ rpm}) (0.033) = 13.33 \text{ rpm en la salida.}$$

La **Tabla 2.4** muestra el dimensionamiento final de los engranes, sin fin y la corona.



Tabla 2.4 Resultados de engranes, sin fin y corona

	<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Piñón</i>	<i>Engrane A-W</i>	<i>Sin fin</i>	<i>Corona</i>
Número de dientes	Z	--	30	55	7 filetes	30
Diámetro de paso	D	Mm	12.3	22.55	7.33	15.14
Paso circular	P_c	Mm	1.2880	1.2880	--	--
Paso diametral	P	Z/in	61.95	61.95	--	--
Paso base	P_b	Mm	1.2103	1.2103	--	--
Módulo	m	Mm	0.41	0.41	0.5	0.5
Addendum	a	mm	0.41	0.41	--	--
Dedendum	d	mm	0.615	0.615	--	--
Radio addendum	r_a	mm	6.56	11.685	--	--
Radio dedendum	r_d	mm	5.535	10.66	--	--
Radio Base	r_b	mm	5.77	10.59	--	--
Ángulo de acción	δ	e	20		--	--
Distancia entre centros	C	mm	17.42		--	--
Longitud de acción	L	mm	2.1017		--	--
Razón de transmisión	i	--	--	--	0.033	
Velocidad angular de entrada	N_1	rpm	400	--	--	--
Velocidad angular de salida	N_4	rpm	--	--	--	13.33
Relación de contacto	m_c	--	1.7615		--	--
Par de entrada	T_e	$N \cdot m$	0.35	--	--	--
Par de salida	T_s	$N \cdot m$	--	0.35	--	--

2.3.4 Cálculos de los ejes (guías) X y Y

Una parte muy importante en el cálculo de los elementos considerados como críticos se calcula la flexión que existe en los ejes, que sirven principalmente para guiar los subensambles X y Y. Cuando los ejes se utilizan con los rodamientos lineales, es necesario limitar la flexión a un cierto valor, con el fin de evitar dañar y reducir la vida útil de los mismos.

En la **Figura 2.16** se muestra la carga más común que se realizara en el equipo y las ecuaciones para calcular flexión del eje y la inclinación del eje en el rodamiento lineal respectivamente.

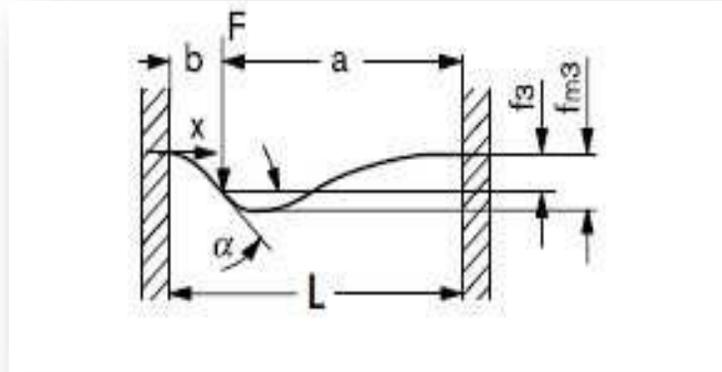


Figura 2.16. Tipo de carga.

Fórmula de flexión	Inclinación del eje en el rodamiento lineal
$f_3 = \frac{F \cdot a^3 \cdot b^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot L^3}$	$\tan \alpha_{(x=b)} = \frac{F \cdot a^2 \cdot b^2}{2 \cdot E \cdot I \cdot L^2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot b}{L}\right)$
$f_{m3} = \frac{2 \cdot F \cdot a^3 \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot L^2} \cdot \left(\frac{L}{L + 2 \cdot a}\right)^2$	

Donde:

F	= Carga	(N)	I	= Momento de inercia de la superficie	(mm ⁴)
a	= Distancia	(mm)	f _{1... f₄}	= Flexión en la zona donde actúa la fuerza	(mm)
b	= Distancia	(mm)	f _{m1... f_{m5}}	= Flexión máxima	(mm)
L	= Longitud del eje	(mm)	α	= Inclinación del eje en el rodamiento lineal	(°)
E	= Módulo de elasticidad	(N/mm ²)			

Para f₃ Flexión en la zona donde actúa la fuerza

$$f_3 = \left(\frac{(50 \text{ N}) (110.6 \text{ mm})^3 (345 \text{ mm})^3}{3(422 \cdot 10^7) (355.6 \text{ mm})^3} \right) = 4.8794 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Para f_{m3} Flexión máxima

$$f_{m3} = \left(\frac{2(50 \text{ N}) (110.6 \text{ mm})^3 (345 \text{ mm})^2}{3(422 \cdot 10^7) (355.6 \text{ mm})^2} \right) \left(\frac{(355.6 \text{ mm})}{(355.6 \text{ mm}) + 2(110.6)} \right)^2 = 3.8231 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Los valores de E*I se tomaron de la tabla de rodamientos lineales correspondiente [23].

Capítulo 3

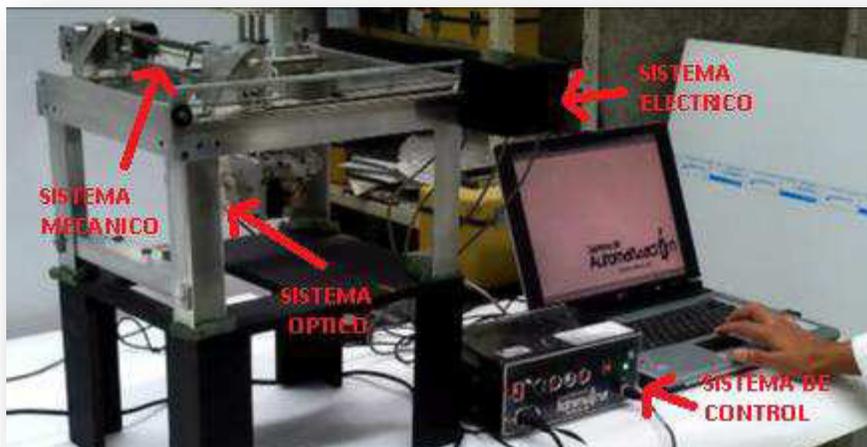
Resultados y pruebas al prototipo

3.1 Equipo Mecánico-Óptico para pruebas mecánicas In situ

En la **Figura 3.1a** se muestra el equipo diseñado y construido, el principal objetivo de éste es que el usuario tome micrografías de cualquier muestra de material mientras se realiza una prueba a diferentes arreglos de carga; de tal forma que le sea posible recopilar las micrografías necesarias de un área en específico en un tiempo relativamente corto y de manera confiable. El dispositivo puede ser manipulado de manera manual y de manera automática. Adicionalmente en la **Figura 3.1 b.** se muestran los cuatro sistemas del que está compuesto el equipo: sistema mecánico, sistema óptico, sistema eléctrico y sistema de control.



a)



b)

Figura 3.1 a) b). Equipo Mecánico-Óptico para pruebas mecánicas in situ.

A continuación en la siguiente sección se describen de manera breve cada uno de los sistemas mencionados.

3.1.1. Descripción del equipo

Este cuenta con una estructura de aluminio, sistema de guiado en cada eje de movimiento, sistema de transmisión de potencia, un motor a pasos por cada movimiento, caja para las conexiones eléctricas y mordaza para pruebas de flexión. En el **Anexo 1** se muestran los planos de fabricación, mientras que en la **Figura 3.2** se muestra el sistema mecánico armado. Como puede observarse este sistema permite tener movimientos en tres direcciones y una rotar el microscopio.

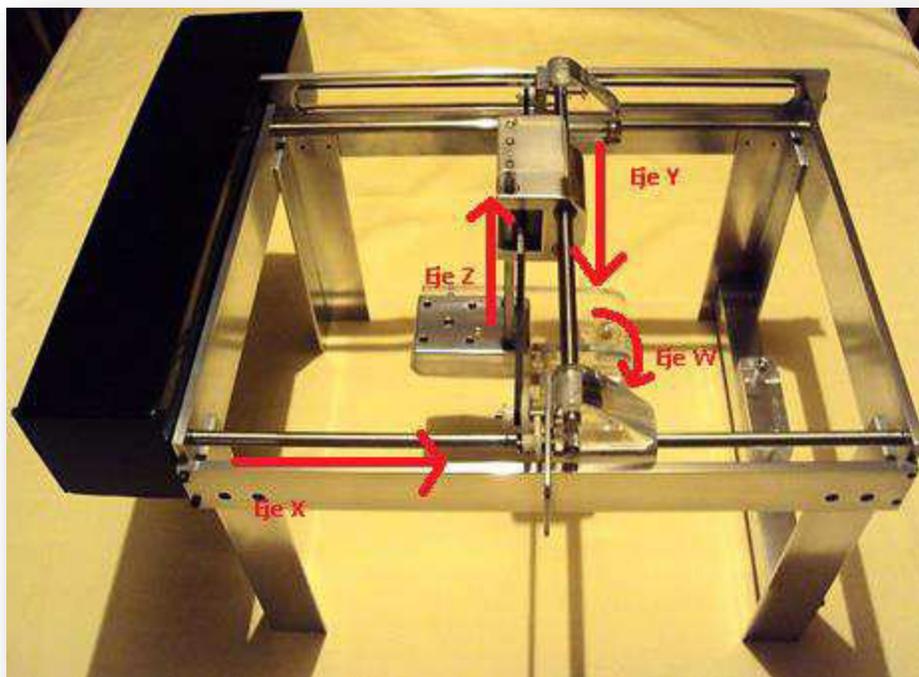


Figura 3.2. Sistema Mecánico. Movimientos permitidos en el equipo.

El equipo cuenta con un microscopio digital Dino-Lite AM-413ZT **Figura 3.3**, con conexión USB 2.0, 1.3 megapíxeles, resolución 1280x1024, magnificación de 10x - 70x, ~ 230x, polarizador de luz, iluminación LED y Software de control de microscopio. Las características de este microscopio y su software se muestran con más detalle en **3.2.5. Software de microscopio DinoCapture 2.0**.



Figura 3.3. Microscopio digital Dino-Lite AM-413ZT

Se cuenta con cuatro conectores macho de cinco pines montados en la caja de conexiones por la parte posterior del equipo **Figura 3.4** en donde está la conexión de los motores y el microscopio; los cuatro cables de 40 cm con conectores hembra de cinco pines en cada extremo para interconectar el equipo y el sistema de automatización de ocho canales con entrada conector de cinco pines, puerto USB 2.0 y cable USB como se muestra en la **Figura 3.4**.



Figura 3.4. Conexión del equipo al sistema de automatización.

El control y automatización del equipo mecánico-óptico es realizado por el software desarrollado en el laboratorio de mecánica de la FES Aragón [9] que cuenta con: la aplicación de abrir el programa mediante iconos en el escritorio de la computadora o en el menú de inicio; control manual desde el sistema de automatización con botones en la parte frontal, interfaz de usuario para seleccionar el control por computadora deseado, Manipulación de imágenes y comparación de imágenes, entre otras herramientas. En la siguiente sección se dan más detalles de estos sistemas.

3.2. Funcionamiento del equipo

Como se mencionó anteriormente el control puede llevarse a cabo de forma general de dos diferentes maneras, las cuales se detallan en la presente sección. La primera modalidad de control se designa como control manual, la segunda como control por computadora. Estas modalidades son explicadas a continuación:

3.2.1 Control manual

La característica principal de esta modalidad de control se basa en el seleccionar el canal del motor **Tabla 3.1** que se desea accionar **Figura 3.5 a)** y el sentido de giro del motor como se muestra en la **Figura 3.5 b)** para realizar la tarea deseada; esta modalidad sirve en caso de requerir un punto de origen o partida en particular, así como la inspección rápida de cualquier muestra en el área de trabajo.

Tabla 3.1. Correspondencia entre el número de motor y su canal

Control Manual	
Motor	Canal
Motor 1-X	1
Motor 2-Y	2
Motor 3-Z	3
Motor 4-W	4



a)



b)

Figura 3.5. a) Selección del canal. b) Selección del sentido de giro.

3.2.2. Control por computadora

La parte más importante del equipo, anteriormente vista, es que éste puede ser manipulado desde la computadora, tanto los movimientos en los tres ejes como el giro del microscopio. Para poder realizar lo anterior el equipo cuenta con dos modalidades de control las cuales se describirán más adelante.

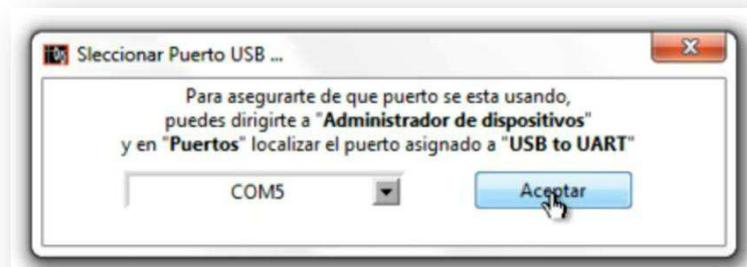
El equipo puede ser manipulado desde cualquier computadora simplemente se requiere instalar el software del sistema de automatización y el software del microscopio DinoCapture 2.0. Una vez instalado el software se conecta el equipo de automatización y el microscopio digital DinoCapture 2.0 al toma corriente y a través del puerto USB 2.0 de la computadora.

El programa de control por computadora fue realizado en LabVIEW 8.5 de National Instruments, se seleccionó este entorno de programación por su facilidad de uso. Además cuenta con una amplia gama de controles, indicadores, funciones, librerías, etc. adicionalmente, incorpora en la **Ayuda**, un extenso repertorio de códigos que pueden servir como apoyo a la hora de empezar a programar [9].

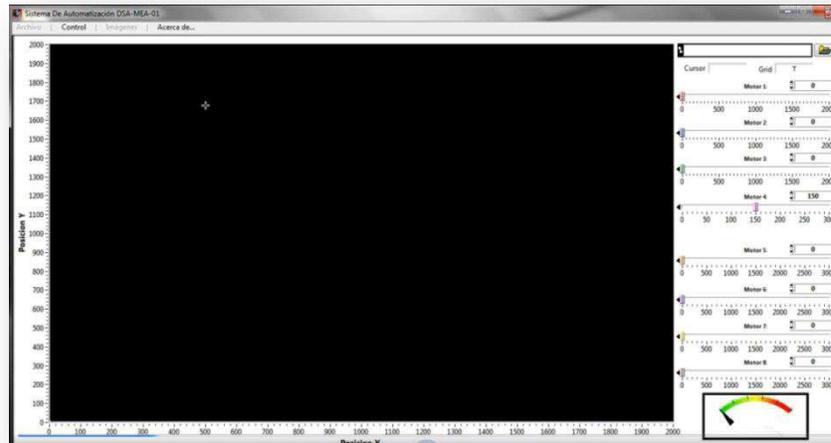
En seguida se muestran las ventanas principales de las aplicaciones que conforman al programa de computadora **Figuras 3.6 a), b) y c)**.



a)



b)



c)

Figura 3.6. a) Interfaz de usuario. b) Selección de puerto USB. c) Interfaz de usuario para control de motores.

3.2.2.1 Interfaz de Usuario para el Control de los Motores

El objetivo principal de este trabajo de tesis consiste en realizar un posicionamiento coordinado (x, y, z, w) de un microscopio digital, este microscopio es el componente principal montado en el centro del sistema con la tarea de realizar movimientos particulares según sea requerido; a estos movimientos se les han incorporado mecanismos para desempeñar esta función; el accionamiento de esta función depende del giro hacia la izquierda o hacia la derecha que realicen los motores paso a paso de cada eje de movimiento.

Para definir el posicionamiento en cada eje coordinado se desarrollo una interfaz de usuario para el control de los motores, donde el usuario puede decidir la posición en cada eje, dicha interfaz se puede ver en la **Figura 3.7**.

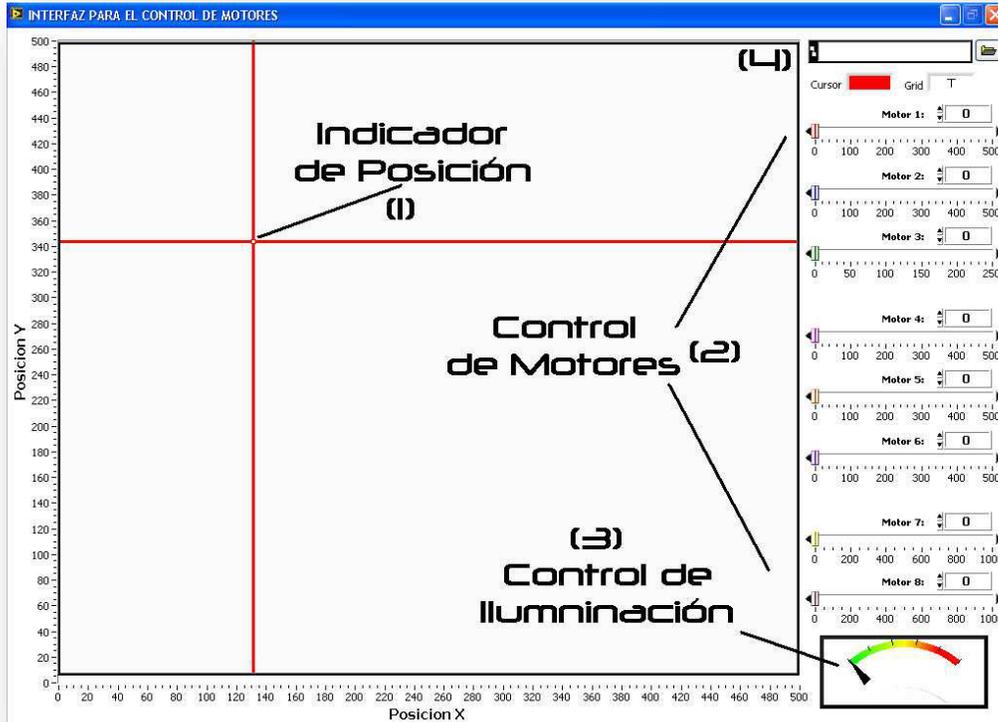


Figura 3.7. Interfaz de Usuario para el Control de los Motores.

En el lado derecho de la figura anterior se pueden ver los controles que sirven para manipular a cada uno de los motores, este panel de control cuenta con la posibilidad de manipular ocho de ellos. Se utilizaron 8 controles de tipo 'Slide' de punto flotante, uno para cada motor, en su escala muestra sus límites mínimos y máximos, la forma de manejar estos controles es haciendo click directamente sobre la barra ó introduciendo un número en el cuadro de texto que aparece en el lado superior derecho.

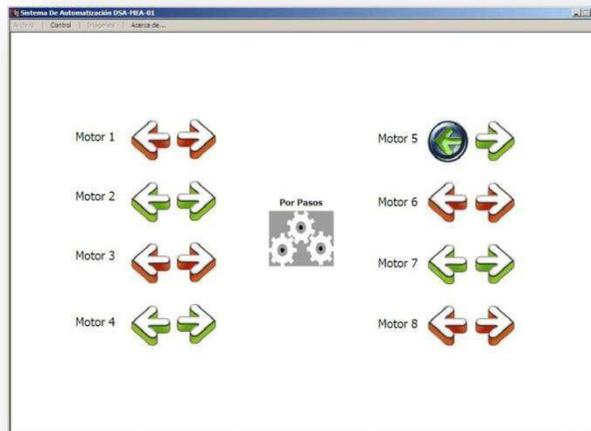
Cada uno de estos controles se ha colocado dentro de un 'Event Structure', de esta forma cada que cambie el valor de cualquier control provocara un evento, los eventos se pueden entender como si fuera una interrupción dentro del ciclo principal, de esta forma, el programa espera a que un control cambie de valor para ejecutar su diagrama a bloques correspondiente [9].

Cada control ha sido nombrado con el motor al que controlará, es decir; el control llamado Motor 1 y manipulara al motor 1- X, el control Motor 2 y manipulará al motor 2-Y, y así sucesivamente.

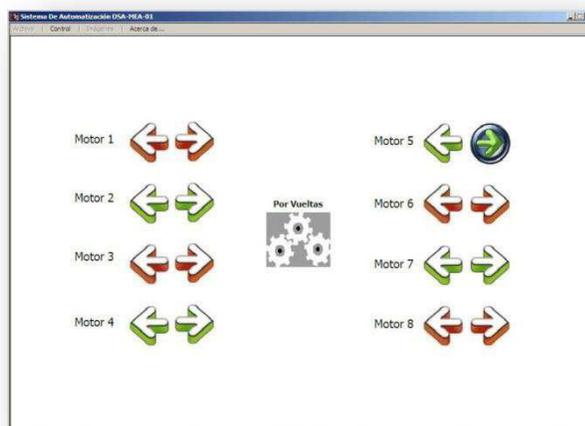
Para explicar de forma clara se realiza a continuación una secuencia de pasos en la cual se muestra el uso del software para realizar la tarea de posicionamiento del microscopio digital. En esta modalidad de control se selecciona el icono **Manual o Ctrl + M**, una vez esto se selecciona el motor que se desea accionar y se pulsa la opción de control por pasos o por vueltas.

a) Sistema de control 1

Esta modalidad sirve para realizar los movimientos de la más alta resolución que realiza el equipo en cada eje de movimiento, estos pequeños movimientos se realizan en caso de necesitar explorar un área específica de la muestra.



a)

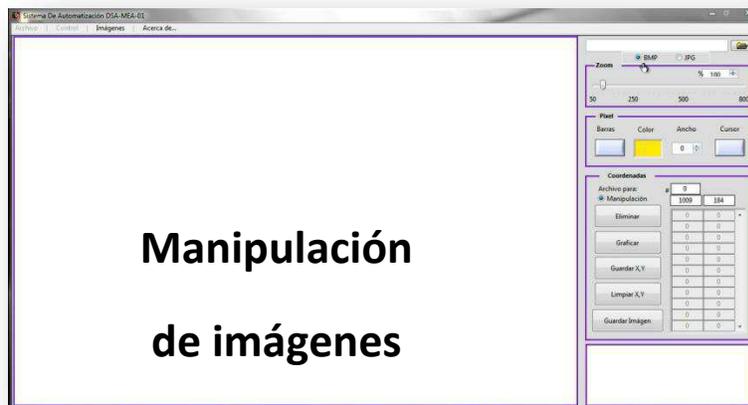


b)

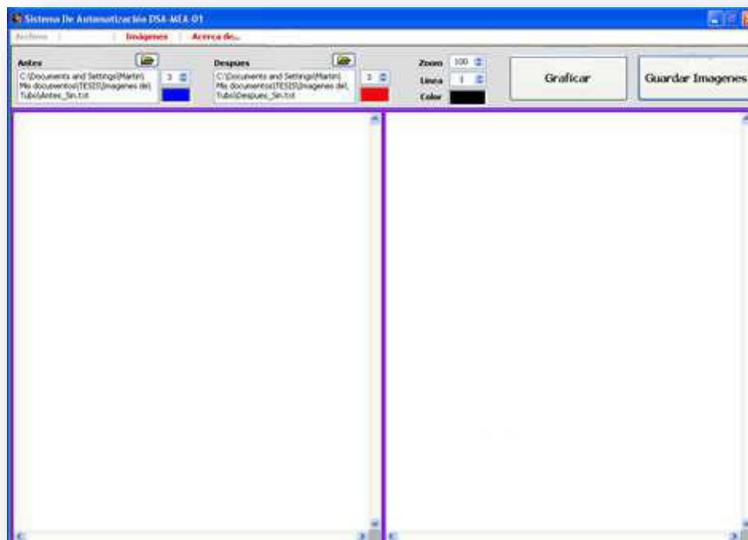
Figura 3.18. a) Control por pasos. b) Control por vueltas

b) Sistema de control 2

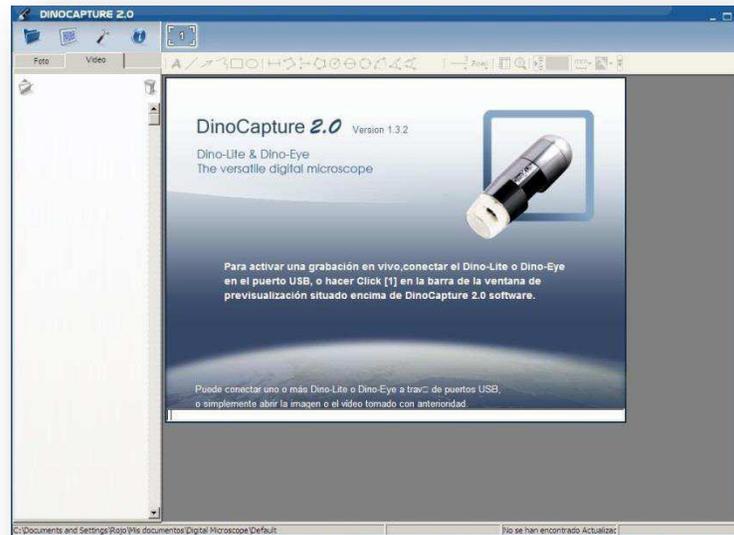
Esta modalidad es la forma más completa del equipo puesto que realiza las tareas desde el panel de control del equipo de automatización; de igual forma se inicia el programa estableciendo el puerto USB en el panel principal y como se menciono antes se cuenta con la interfaz de usuario que sirve para el control de los motores con coordenadas específicas para realizar el posicionamiento del microscopio digital. Esta modalidad cuenta con dos aplicaciones adicionales a la interfaz de usuario llamada software de manipulación de imágenes y software de comparación de imágenes. **Figura 3.9 a) y b)**; control de captura de micrografías y toma de videos con el software DinoCapture 2.0 del microscopio digital Dino-Lite **Figura 3.9 c)**. Es importante mencionar que este último software no fue desarrollado pues es parte del microscopio adquirido.



a)



b)



c)

Figura 3.9. a) Interfaz para manipulación de imágenes. b) Interfaz para comparación de imágenes

c) Interfaz DinoCapture 2.0.

Es claro que el software desarrollado es de suma importancia ya que es a través de él es como se controlan los motores. Sin embargo, como se vio en la figura anterior se desarrollaron dos aplicaciones adicionales a la interfaz de usuario para manipulación de imágenes, las cuales son independientes del software del microscopio. Cabe destacar que esto es de suma importancia ya que es posible manipular las imágenes obtenidas. Estas aplicaciones se detallan en las dos siguientes secciones.

3.2.3 Software Para Manipulaciones De Imágenes

En la **Figura 3.10** se puede ver una micrografía de un material policristalino. El objetivo de este software consiste en manipular la imagen, una vez obtenida por el microscopio digital que permite pasar dicha imagen a la computadora para poder obtener las coordenadas dentro de la imagen. En la **Figura 3.10** se puede ver este software. Su funcionamiento y manipulación es el siguiente:

1. Se debe localizar la imagen mediante el control marcado con el número ❷.
2. Una vez que se ha visualizado la imagen (❶), se debe seleccionar el color y tamaño del punto, después se activa la función de lápiz que aparece en el número ❸.

3. Para recolectar las coordenadas sólo basta con dar un click izquierdo sobre la frontera del grano, cada vez que se da un click se agrega un punto de color sobre la imagen y la coordenada se adjuntará en el indicador marcado con el número ⑤.

En el punto número ④, aparecen 5 botones, con los cuales se puede eliminar una coordenada no deseada o errónea, graficar, guardar, ó limpiar las coordenadas que aparecen en el número ⑤.

4. Una vez recolectadas todas las coordenadas como aparece en el número ①, se pueden graficar con el botón correspondiente, el resultado se mostrará en el punto ⑥.

5. Para guardar las coordenadas aparece una ventana como la mostrada en la **Figura 3.11 a)** donde se le asigna un nombre y la ubicación a guardar, las coordenadas se guardaran en formato .txt, como se muestra en la **Figura 3.11 b).**

El formato requerido con el cual se guardan las coordenadas es “ { x , y } , ”, dado que estos datos posteriormente pasarán a un programa desarrollado en Mathematica.

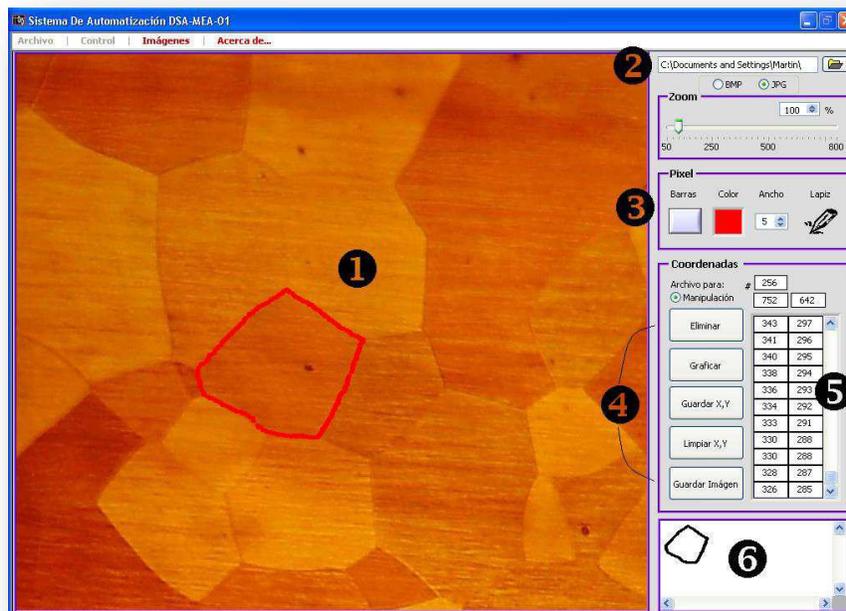
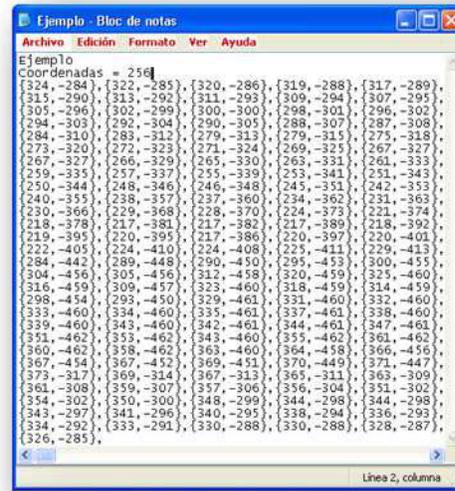


Figura 3.10. Software de manipulación de imágenes



a)



b)

Figura 3.11. a) Ventana para guardar, b) Coordenadas guardadas.

Con este sencillo software se ha agilizado la forma de obtener las coordenadas de los granos haciendo que se le pueda dedicar más tiempo a la interpretación de los datos que a la recolección de los mismos con el fin de su estudio, cómo se mencionó en el primer capítulo, el comportamiento mecánico del material y más aun de las interacciones intergranulares que es un tema de frontera actualmente.

3.2.4 Software de comparación de imágenes

El segundo software desarrollado para el equipo permite adicionalmente comparar dos imágenes y obtener un campo de desplazamientos. Este sistema es de suma importancia debido a que se puede realizar pruebas donde se tenga la configuración inicial (antes de cargar) y compararla con la configuración deformada (una vez que se carga la muestra).

El software permite la comparación la geometría de la frontera de grano antes y después de aplicada la carga en el caso del análisis del material para esta prueba; sin embargo, es importante resaltar que esta opción no sólo es aplicable para un sólo espécimen ya que en forma general se pueden comparar imágenes de cualquier material u objeto. En la **Figura 3.12** por ejemplo pueden observarse las fotografías antes y después de ser sometidas a una fuerza de compresión sobre un anillo circular plástico rodeado de un medio elástico mallado.

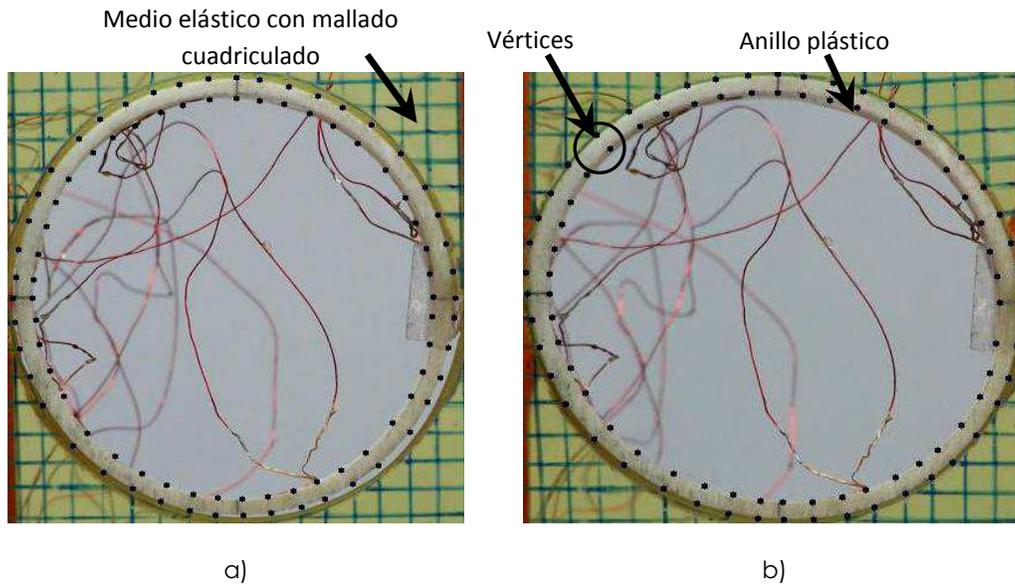


Figura 3.12. Anillo plástico: a) Sin carga, b) Con carga.

A éstas fotografías se les ha manipulado para obtener las coordenadas de la frontera del anillo con el Software de Manipulación de Imágenes, en dicha figura se pueden observar que las coordenadas que se obtuvieron son las mismas de los puntos que aparecen en los vértices del mallado de estas imágenes.

Una vez tomadas y guardadas las coordenadas de los puntos de cada una de las imágenes de la **Figura 3.12**, se tiene que realizar una comparación de éstas para obtener el campo de desplazamiento y así poder determinar el comportamiento del anillo cuando se somete a una carga como se muestra a continuación:

El Software de Comparación de Imágenes lo único que realiza es tomar las coordenadas del anillo, antes y después de haber sido cargado para posteriormente compararlas. En la **Figura 3.13** se observa la ventana principal, en la que una vez que se ubican los archivos donde se encuentran las coordenadas, previamente guardadas, se utilizan los controles indicados con los números ❶ y ❷ de ésta figura, se pueden graficar pulsando el botón indicado con el número ❸.

En el cuadro indicado con el número ❹ se grafican las coordenadas obtenidas, y en el cuadro indicado con el número ❺ se grafica el campo de desplazamiento que presentó el anillo al ser sometido a la carga. Adicionalmente, se pueden guardar estas imágenes en

formato JPG pulsando el botón indicado por el número ④, donde aparecerá una ventana como la de la **Figura 3.11**.

Este software sólo muestra una aproximación del campo de desplazamiento, también es importante mencionar que la imagen que aparece representada con el número ⑥ no es exacta, ya que la naturaleza de las fotografías no lo permite, dichas fotografías no cuadran en origen, tamaño y posición, una con respecto a otra, sin embargo, al comparar ésta imagen con la mostrada en la **Figura 3.12** se puede decir que el resultado es aceptable y cumple con el objetivo.

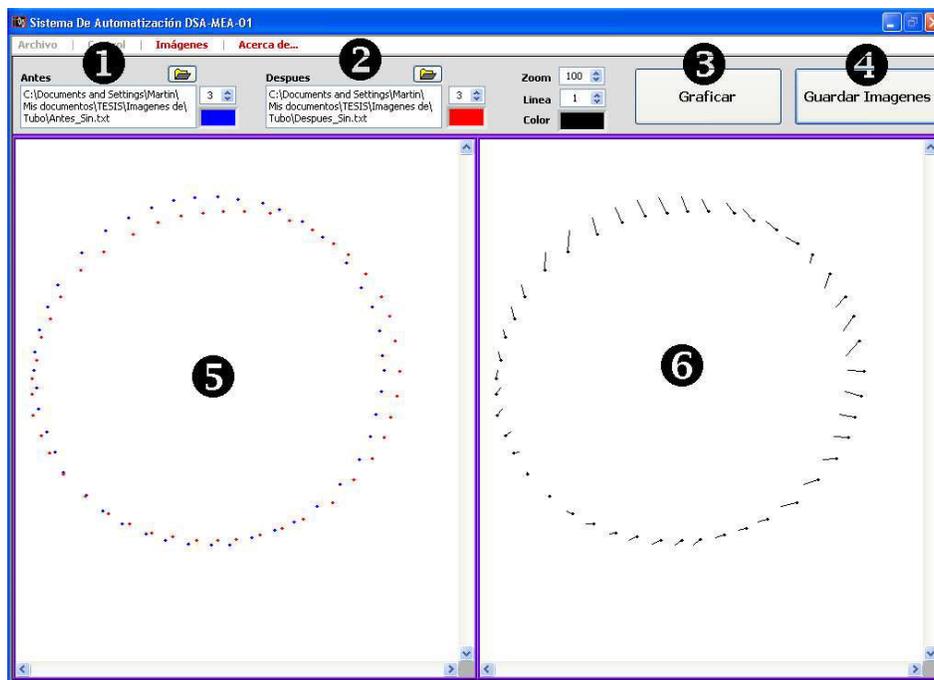


Figura 3.13. Software de Comparación de Imágenes.

Pruebas preliminares al Software de Comparación de Imágenes y revelaron que para mejorar el campo de desplazamiento se deben tomar las fotografías de manera que el centro de ambas sea el mismo.

Es importante resaltar que este estudio de pruebas experimentales de transmisión de una carga de compresión a anillos plásticos confinados en medios elásticos de diferente rigidez es de importancia debido a que aun no ha sido resuelto de manera general el problema de cómo se transmite la fuerza a través de un medio elástico a un cuerpo. Es por ello que



este estudio tiene como fin determinar la forma de la carga de compresión que se transmite a un anillo circular en forma de presión, es decir, se debe determinar el comportamiento del anillo cuando se somete a una carga.

Actualmente una forma convencional utilizada para determinar el comportamiento del anillo es mediante la instrumentación de galgas extensiométricas (strain gauges) en los anillos, dichas galgas miden la deformación que sufre el material, sin embargo, el proceso de instrumentación es complicado y tardado, puesto que para determinar con precisión el comportamiento del anillo de carga implica la realización de estudios teórico-experimentales más complejos que incluyen la aplicación de técnicas experimentales novedosas como el análisis de imágenes, el cual es posible realizar con el software desarrollado para la presente tesis [9].

Como se mencionó anteriormente en la **Figura 3.12** se muestran dos fotografías de la prueba realizada, para este caso el material de confinamiento fue gravado con un mallado cuadrangular. Durante la prueba, se toma una fotografía al inicio (**Figura 3.12a**) y otra después de que se ha aplicado la carga máxima (**Figura 3.13b**). Luego, para cada fotografía se obtienen las coordenadas de cada vértice de la malla, con estas coordenadas se puede obtener el desplazamiento que sufrió cada punto después de aplicar la carga. Con el procedimiento anterior, se obtienen campos de desplazamientos discretos que al ser ajustados permiten determinar el campo de deformaciones y conociendo las propiedades mecánicas del material, se puede determinar el campo de esfuerzos.

Calculando el esfuerzo radial en la interface entre el material de confinamiento y el anillo, se tendrá una estimación muy cercana de la presión que actúa sobre el anillo plástico, es decir, se puede conocer la carga que se aplica sobre el anillo. Conociendo lo anterior es posible calcular las deformaciones tangenciales en la pared interior, la cual puede ser comparada con la que se mide con los extensómetros colocados en las muestras ensayadas.

3.2.5 Software de microscopio DinoCapture 2.0

El programa DinoCapture 2.0 creado por AnMo Electronics Corporation es un programa que viene incluido con el microscopio digital Dino Lite (ficha técnica en **Anexo 2**). Con el programa se puede agregar texto, dibujar flechas, círculo y usar otras herramientas de dibujo mientras se observa en vivo o en fotos tomadas; además de editar los resultados si es requerido. El programa permite personalizar fácilmente el color y tamaño de los trazos de dibujo dándole el aspecto deseado.

En este programa se encuentra una herramienta de trabajo de análisis que permite medir tanto en fotos como en videos en vivo distancias, ángulos, perímetros y áreas de una sección en especial de tal forma que las medidas tomadas pueden ser editadas, reorganizadas o borradas. Las medidas tomadas pueden ser exportadas a Exel. Para una precisión garantizada, las medidas se pueden calibrar.

Otra particularidad del programa es que cuenta con una ventana **Figura 3.14** en donde se pueden editar las propiedades de la cámara para la captura de imágenes y videos de tal forma que se modifique el color, contraste, brillo, nitidez, entre otras aplicaciones muy importantes que facilitan el estudio de las imágenes.

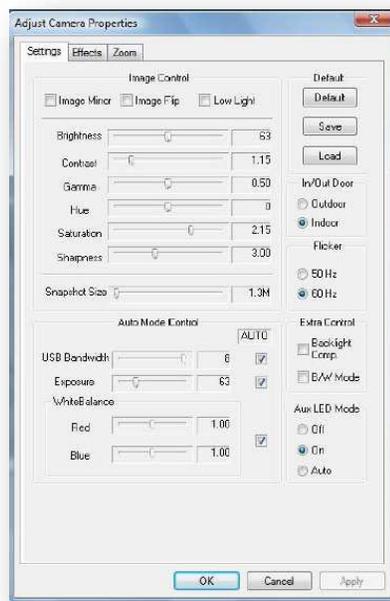


Figura 3.14. Ventana de propiedades y ajustes de la cámara.

3.3 Pruebas de funcionamiento al equipo Mecánico - Óptico

Una vez construido e instalado el equipo se realizaron pruebas de verificación de funcionamiento. Estas pruebas fueron realizadas únicamente con la configuración de flexión, debido a que ésta es la prueba que más complicaciones presenta por el seguimiento de la muestra cuando ésta está flexionada. Cabe destacar que estas pruebas pueden servir de guía para utilizar el equipo en una prueba de interés particular.



3.3.1. Verificación de funcionamiento.

Esta prueba se realizó varias veces para el acondicionamiento del equipo y detectar posibles fallas. Dicha prueba se realiza para cada uno de los movimientos del equipo con el sistema de automatización de forma manual; en estas pruebas se continuó con la revisión de posibles desperfectos como: la alineación de ejes, falso contacto en el sistema eléctrico, piezas trabadas, falta de lubricación en ejes o engranes, entre otros.

Para realizar la prueba de acondicionamiento del equipo se siguieron los pasos que se presentan a continuación:

- 1.- Conectar el sistema de automatización al equipo con los conectores de cinco pines.
- 2.- Conectar a la toma corriente el Sistema de automatización.
- 3.- Encender el sistema de automatización oprimiendo el botón **ON** que se encuentra en la parte superior izquierda.
- 4.- Seleccionar con el botón blanco del sistema de automatización el **canal 1** para accionar el **motor 1-X**.
- 5.- Accionar el botón rojo de la derecha durante unos segundos hasta recorrer por completo el eje X y accionar el botón rojo de la izquierda durante unos segundos hasta regresar al punto de partida.
- 6.- Realizar las operaciones del paso anterior con el fin de verificar su óptimo desempeño.
- 7.- Realizar los pasos 4, 5 y 6 cambiando de canal en el paso número 4 con el fin de realizar la prueba en cada uno de los movimientos del equipo y así corroborar el buen funcionamiento del mismo.

Esta prueba se realizó con la frecuencia suficiente para garantizar el buen funcionamiento del equipo, el cual funciono de manera adecuada.

3.3.2 Control por computadora 1

Después de la o las pruebas anteriores se realizó una prueba con el modo de control por computadora 1. Como primera instancia se define el propósito de esta prueba que consiste en ingresar a la interfaz de usuario de la computadora y realizar movimientos para poder analizar un área de interés de un lingote de cobre aluminio berilio.

Para realizar la prueba de control por computadora 1 se siguen los pasos que se presentan a continuación:

- 1.- Conectar el sistema de automatización al equipo con los conectores de cinco pines.
- 2.- Conectar el puerto USB y se alimenta a la corriente el Sistema de automatización.
- 3.- Conectar el microscopio digital al puerto USB de la computadora.
- 4.- Encender el sistema de automatización oprimiendo el botón **ON** que se encuentra en la parte superior izquierda.
- 5.- Desplegar el menú de **inicio** de la computadora y ejecutar el programa (**Sistema de Automatización DSA-MA-01**) previamente instalado.
- 6.- Una vez en el panel principal seleccionar de la barra de herramientas el icono **Archivo** y seleccionar **Establecer Puerto (Ctrl+P)**.
- 7.- Asignar el puerto de comunicaciones **COM*** y denar clic en **Aceptar**.
- 8.- Después del paso anterior se activa el icono **Control** en cual se da un clic y se selecciona **Manual Ctrl+M** y en seguida se muestra a la interfaz de usuario de control manual **Figura 3.15**.

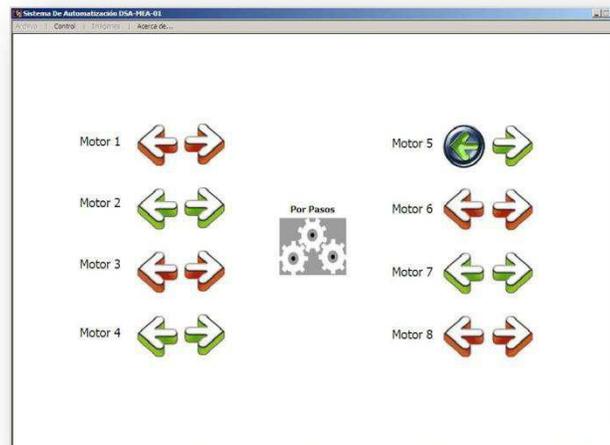
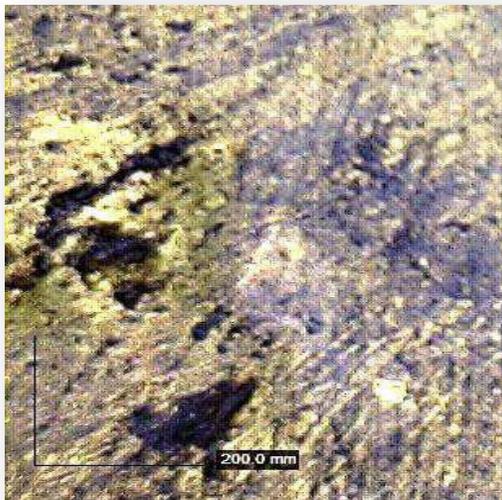


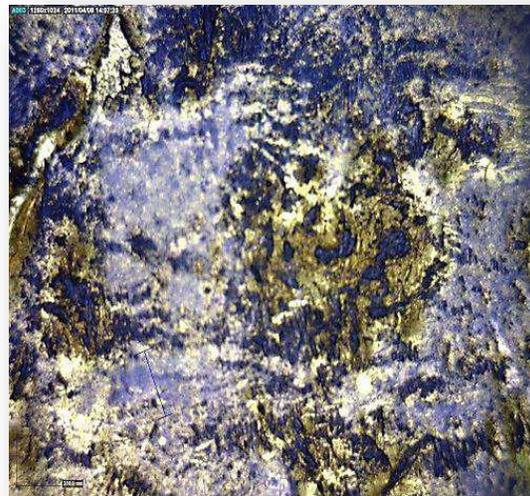
Figura 3.15. Interfaz de usuario de control manual.

- 9.- Seleccionar con el puntero del mouse la acción deseada en el centro de la pantalla de la interfaz ya sea por pasos o por vueltas.
- 10.- Seleccionar con el puntero del mouse en el **Motor 1** la flecha hacia la izquierda o derecha para accionar el **motor 1-X** en el sentido deseado.
- 11.- Accionar el con el puntero del mouse el motor deseado para realizar los movimientos de cada eje de movimiento del equipo.

- 12.- Conectar el microscopio digital al puerto USB de la computadora.
- 13.- Desplegar el menú de **inicio** de la computadora y ejecutar el programa **DinoCapture**.
- 14.- Colocar el lingote de cobre aluminio berilio dentro del área de trabajo del equipo Mecánico-Óptico para ser observado en la pantalla principal del programa **DinoCapture**.
- 15.- Realizar los pasos 9, 10 y 11 cambiando de motor con el fin de realizar el posicionamiento del microscopio como se desee dentro del área de trabajo en donde se pueda observar el lingote del material antes mencionado.
- 16.- Visualizar en la interfaz de usuario del microscopio digital Dino Lite el área seleccionada del lingote.
- 17.- Accionar la perilla del microscopio digital de forma que marque 200 X.
- 18.- Realizar los pasos 9, 10 y 11 cambiando de motor para enfocar la superficie del lingote en caso de ser necesario.
- 19.- Tomar una micrografía **Figura 3.16 a)** con la opción de cámara en la interfaz del Dino Lite y guardar.
- 20.- Repetir los pasos necesarios para inspeccionar otra área del lingote **Figura 3.16 b)**.



a)



b)

Figura 3.16 a) y b) Micrografía de M.M.F. a 200X.

3.3.3 Control por computadora 2

El propósito de realizar esta prueba es la captura de imágenes micrográficas a una probeta de material con memoria de forma sin carga y con una carga de 2000 gr, para observar las características en donde se presentan franjas debidas a la transformación del material.

Para realizar esta prueba se consideró una probeta de 15mm ancho por 45mm largo y 1mm de grosor, de la aleación de Cu, Al y Be con previa preparación metalográfica. Se ingresa a la interfaz de usuario en la computadora y se realizan los pasos necesarios para obtener imágenes micrográficas como se muestra a continuación:

- 1.- Conectar el sistema de automatización al equipo con los conectores de cinco pines.
- 2.- Conectar el puerto USB y se alimenta a la corriente el Sistema de automatización.
- 3.- Conectar el microscopio digital al puerto USB de la computadora.
- 4.- Encender el sistema de automatización oprimiendo el botón **ON** que se encuentra en la parte superior izquierda.
- 5.- Desplegar el menú de **inicio** de la computadora y ejecutar el programa (**Sistema de Automatización DSA-MA-01**) previamente instalado.
- 6.- Una vez en el panel principal seleccionar de la barra de herramientas el icono **Archivo** y seleccionar **Establecer Puerto (Ctrl+P)**.
- 7.- Asignar el puerto de comunicaciones **COM*** y dar clic en **Aceptar**.
- 8.- Después del paso anterior se activa el icono **Control** en cual se da un clic y se selecciona **Automático Ctrl+A** y en seguida se muestra a la interfaz de usuario **Figura 3.17**.



Figura 3.17. Interfaz de usuario control automático de motores.

9.- Colocar la probeta de material con memoria de forma en las mordazas del equipo de tal forma que se encuentre en Cantilever **Figura 3.18** dentro del área de trabajo del equipo.



Figura 3.18. Probeta de M.M.F. en Cantilever.

10.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 1** y dar el valor de 400 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 400 del eje X **Figura 3.19**.

11.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 2** y dar el valor de 750 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 750 del eje Y **Figura 3.19**.

12.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 3** y dar el valor de 1000 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 1000 del eje Z **Figura 3.19**.

13.- El **Motor 4** se deja tal cual puesto que la posición inicial esta a 90° grados respecto al plano horizontal **Figura 3.19**.

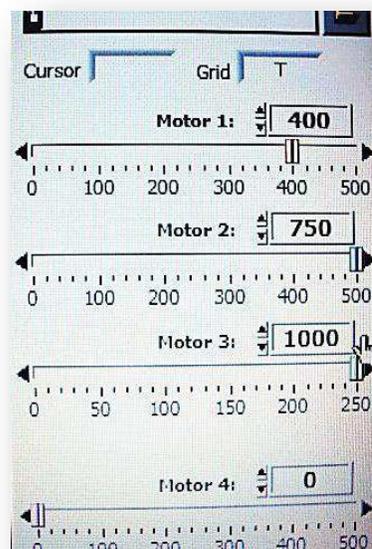


Figura 3.19. Selección de motor y coordenadas

- 14.- Conectar el microscopio digital al **puerto USB** de la computadora.
- 15.- Desplegar el menú de **inicio** de la computadora y ejecutar el programa **Dino Lite** para acceder a la interfaz de usuario.
- 16.- Girar la perilla del microscopio de tal forma que marque un aumento de 50X.
- 17.- Visualizar en la interfaz de usuario del microscopio digital Dino Lite el área de la probeta sin carga con un aumento de 50X, tomar la micrografía con la opción de captura de la interfaz de usuario y guardar **Figura 3.20**.

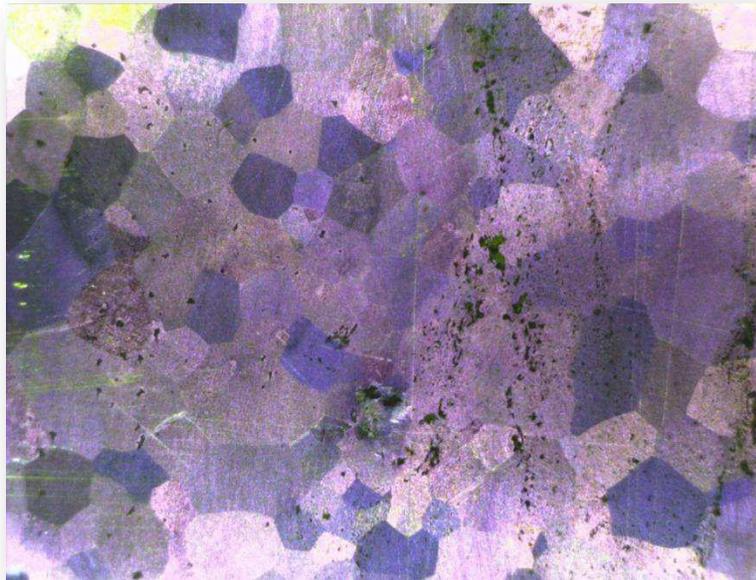


Figura 3.20. Micrografía de M.M.F. a 50X con edición de color.

- 18.- Accionar la perilla del microscopio digital de forma que marque 200X **Figura 3.21**.



Figura 3.21. Selección de aumento a 200X.

19.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **motor 3** y dar el valor de 900 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 900 del eje Z de tal forma de acercar el microscopio a 0.5 mm aproximadamente de la superficie de la probeta.

20.- Tomar una micrografía del área de la probeta sin carga con un aumento de 200X mediante la opción de captura de imagen de la interfaz del DinoLite y guardar **Figura 3.22**.

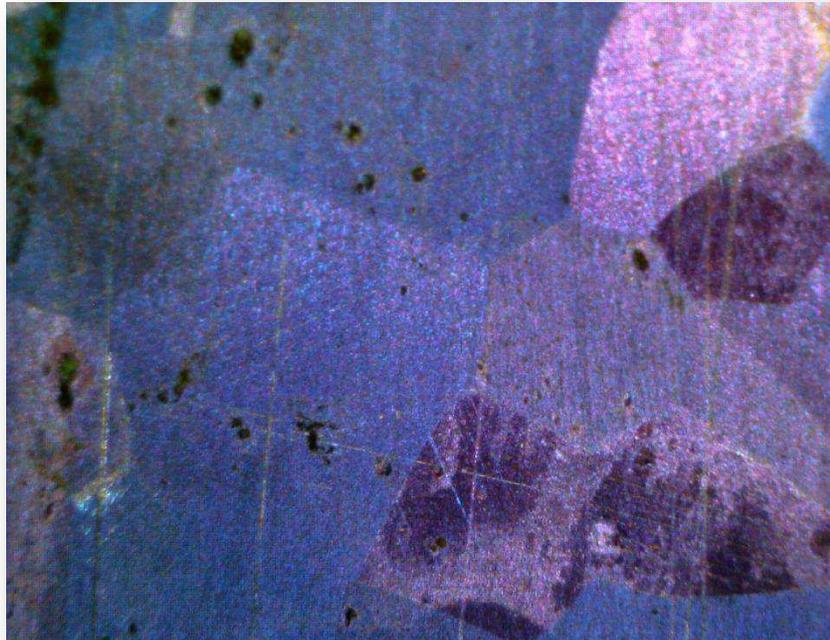


Figura 3.22. Micrografía de M.M.F. a 200X con edición de color.

21.- Colocar el aplicador de carga de forma que se pueda aplicar la carga en el lugar deseado de la probeta y ejercer una fuerza perpendicular al plano.

22.- Aplicar una fuerza de 2N de forma gradual hasta que se apliquen 20N en total para flexionar la probeta.

23.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 1** y dar el valor de 1000 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 1000 del eje X.

24.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 3** y dar el valor de 500 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 500 del eje Z.

25.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 4** y dar el valor de 35 para rotar 35° el microscopio digital en el eje W.

26.- Tomar una micrografía del área de la probeta flexionada con un aumento de 200X mediante la opción de captura de imagen de la interfaz del Dino Lite y guardar **Figura 3.23**.

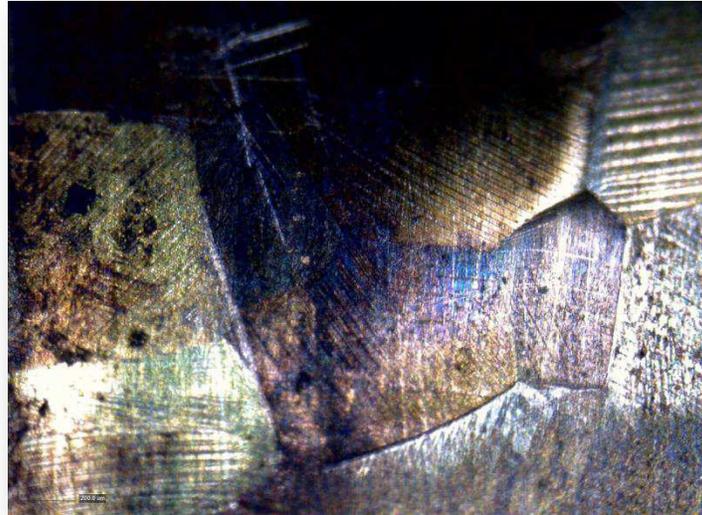


Figura 3.23. Micrografía de M.M.F. a 200X en flexión.

27.- Seleccionar con el puntero del mouse el recuadro del **Motor 2** y dar el valor de 775 para desplazar el microscopio digital a la coordenada 775 del eje Y y aumentar la intensidad de luz con la aguja de iluminación **Figura 3.24 a)** que se encuentra en la interfaz de usuario del sistema de automatización.



Figura 3.24. Control de iluminación.

28.- Tomar una micrografía del área de la probeta flexionada con un aumento de 225X mediante la opción de captura de imagen de la interfaz del Dino Lite, guardar y graficar el ángulo de cualquier variante con respecto a la horizontal **Figura 3.25**.



Figura 3.25. Micrografía de M.M.F. a 225X con ubicación de ángulo de variante de transformación.

29.- Tomar una secuencia de imágenes y manipularlas de forma que se obtenga una serie de ellas para apreciar toda la región horizontal de la muestra.

Esta característica del equipo es muy importante en la manipulación de las imágenes obtenidas con el software del sistema de automatización y del software DinoCapture 2.0 del microscopio en la muestra de M.M.F.; con una secuencia de pasos similar a la descrita anteriormente se toman varias imágenes de un área o región para su análisis detallado individual o en un conjunto de una serie de ellas. (Dependiendo del aumento seleccionado y las dimensiones de la muestra será el número de micrografías obtenidas).

A continuación se muestra en la **Figura 3.26** una secuencia de seis imágenes tomadas con el DinoCapture 2.0 a un aumento de **50X**, colocadas en forma de batería con un pequeño

desfase en el eje X del equipo para demostrar claramente la secuencia de micrografías tomadas; en la muestra seleccionada se le aplico un ataque metalográfico previo y se marcó una línea de forma irregular para tener una referencia de forma clara.



Figura 3.26. Secuencia de seis imágenes de M.M.F. a 50X.

Otra aplicación muy importante que se puede realizar con el software del microscopio y el equipo, es el dimensionamiento de ángulos, perímetros y áreas de cualquier geometría como se muestra en la **Figura 3.27** el área y el perímetro así como los ángulos de las variantes en el M.M.F.; para realizar estas operaciones simplemente se indica el aumento que se utilizo en la toma de las micrografías para que el software calcule las dimensiones reales de los objetivo; para realizar las acotaciones se selecciona simplemente la herramienta ya sea de texto, ángulo, círculos, polígonos, etc.

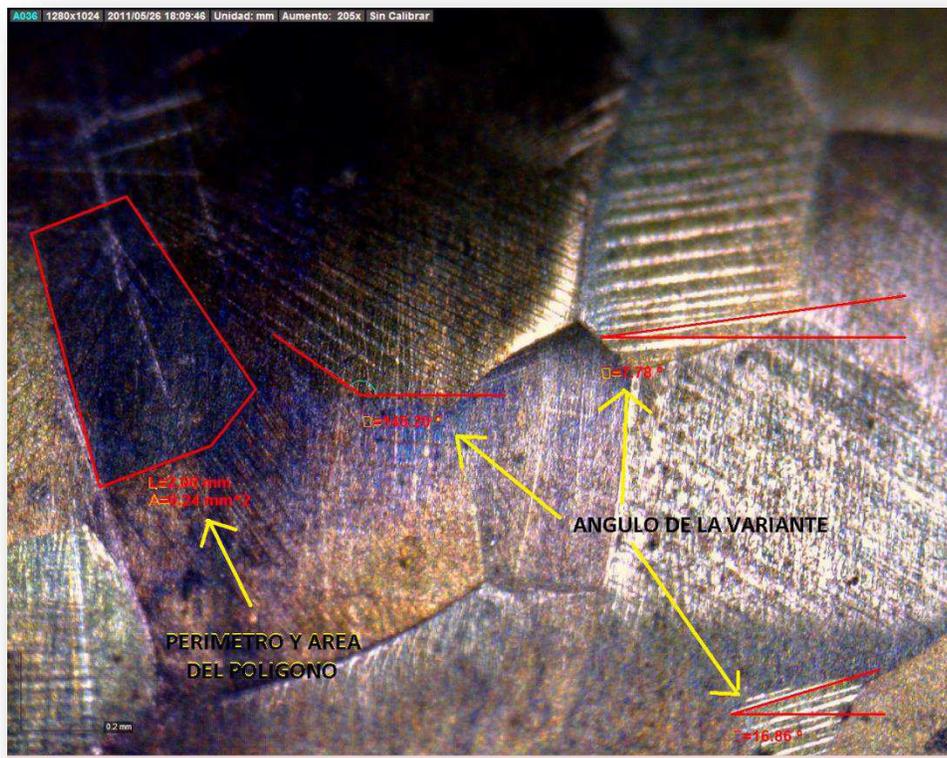


Figura 3.27. Dimensiones de perímetro, área, y ángulos de variantes en granos de M.M.F.85

3.4 Pruebas futuras en distintos arreglos

El objetivo principal del Equipo Mecánico-Óptico se centra en la adquisición de imágenes microscópicas mediante el posicionamiento coordinado de un microscopio digital ya sea en arreglos de flexión, compresión, tensión, torsión y pandeo. Estas micrografías se recolectan ya sea sin o con la aplicación de una fuerza externa dependiendo del arreglo o prueba en que se encuentre la probeta para caracterizarlas con la comparación de imágenes, ya sea de una sección o un conjunto de secciones en particular.

Hasta el momento se han realizado en el equipo Mecánico-Óptico pruebas de acondicionamiento del mismo, y, pruebas con las distintas modalidades de control por computadora. Siguiendo con el fin del equipo, que es, el realizar pruebas mecánicas in situ en distintas configuraciones y/o arreglos; entre las que se considera más importante el caso de flexión visto anteriormente en la prueba de control por computadora 2.

Las posibles configuraciones del equipo Mecánico-Óptico son muy amplias y versátiles puesto que se pretende realizar adaptadores o dispositivos que permitan acoplar el equipo con las distintas máquinas de ensayos que existen en el mercado y/o con las existentes en el laboratorio de Mecánica de la FES Aragón como son: la prensa de carga **Figura 3.28** en la cual se realizan pruebas de tensión tanto pruebas de compresión; y la máquina de pandeo de columnas **Figura 3.29**.

A continuación se muestra el esquema de acoplamiento del equipo mecánico óptico con la prensa de carga para realizar ensayos de tensión y compresión, **Figura 3.28**.

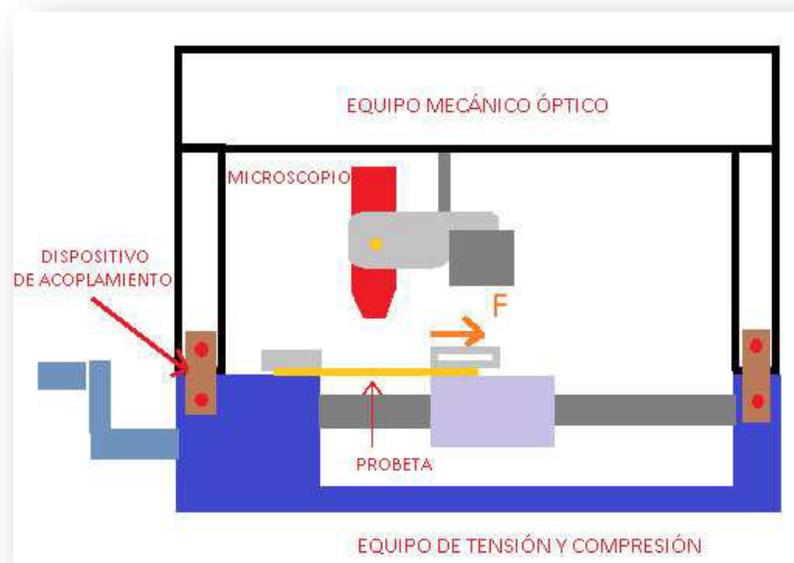


Figura 3.28. Esquema de acoplamiento del equipo mecánico óptico y la prensa de carga.

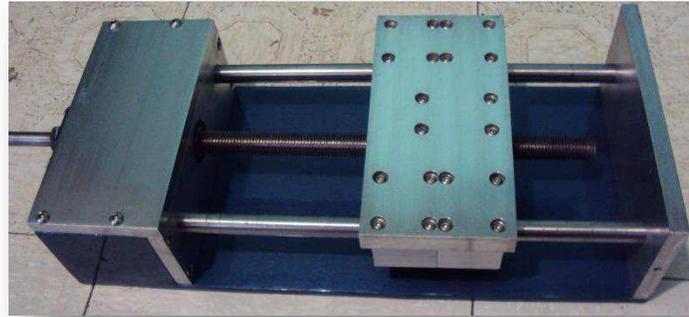


Figura 3.29. Prensa de carga.

En el siguiente esquema se muestra el acople del equipo mecánico óptico y la máquina de pandeo de columnas, **figura 3.30**.

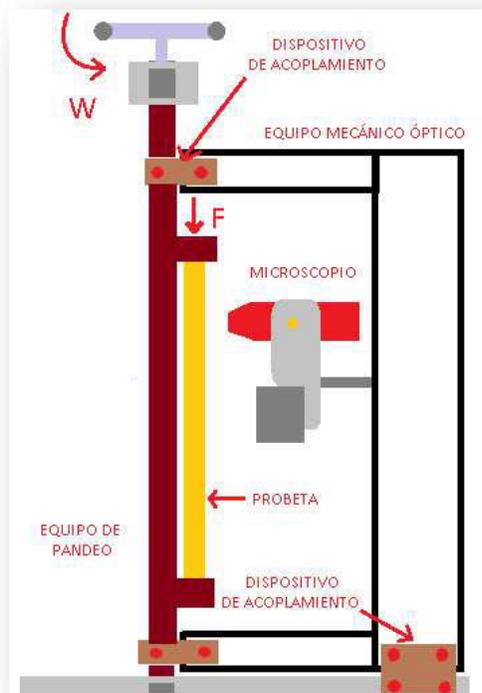


Figura 3.30. Esquema de acoplamiento del equipo mecánico óptico y el equipo de pandeo.

Como puede observarse es posible acondicionar el equipo diseñado para realizar diferentes pruebas con distintos arreglos de carga.

Conclusiones

Conclusiones

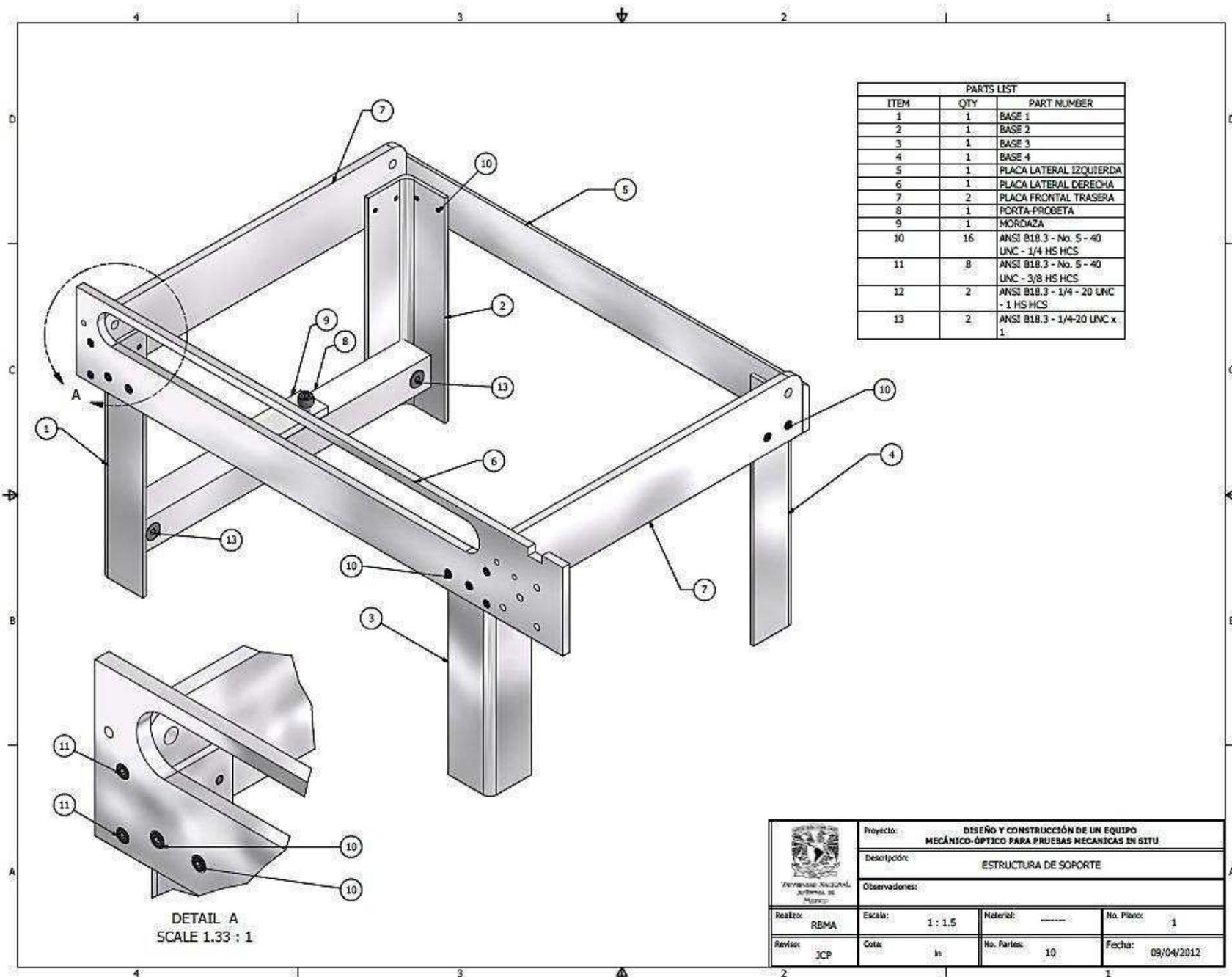
Las conclusiones de la presente tesis pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Se diseñó y construyó un equipo mecánico-óptico capaz de tomar micrografías en diferentes regiones de una probeta sometida a flexión de manera manual y automática in situ.
- Una vez obtenidas las micrografías estas pueden ser manipularlas por medio de la computadora con un software desarrollado y adicionalmente con el software del microscopio adquirido.
- El equipo presenta en general un buen funcionamiento, sin embargo, algunos detalles deben ser mejorados. Tal es el caso de la resolución, giro del microscopio y la distancia entre el microscopio y la muestra. Por lo que un rediseño es recomendado.
- Se cuenta con el diseño conceptual del equipo para diferentes arreglos de carga ya que este puede ser adaptado.
- El equipo fue diseñado y construido con un costo muy bajo comparado con los equipos de una empresa comercializadora de equipos didácticos.
- Dados los resultados del presente trabajo es factible realizar una posible construcción en serie y con ello poder comercializarlo.

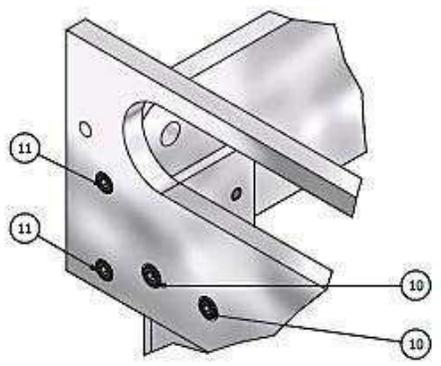
Anexo

I.- Planos de detalle

Estructura de soporte

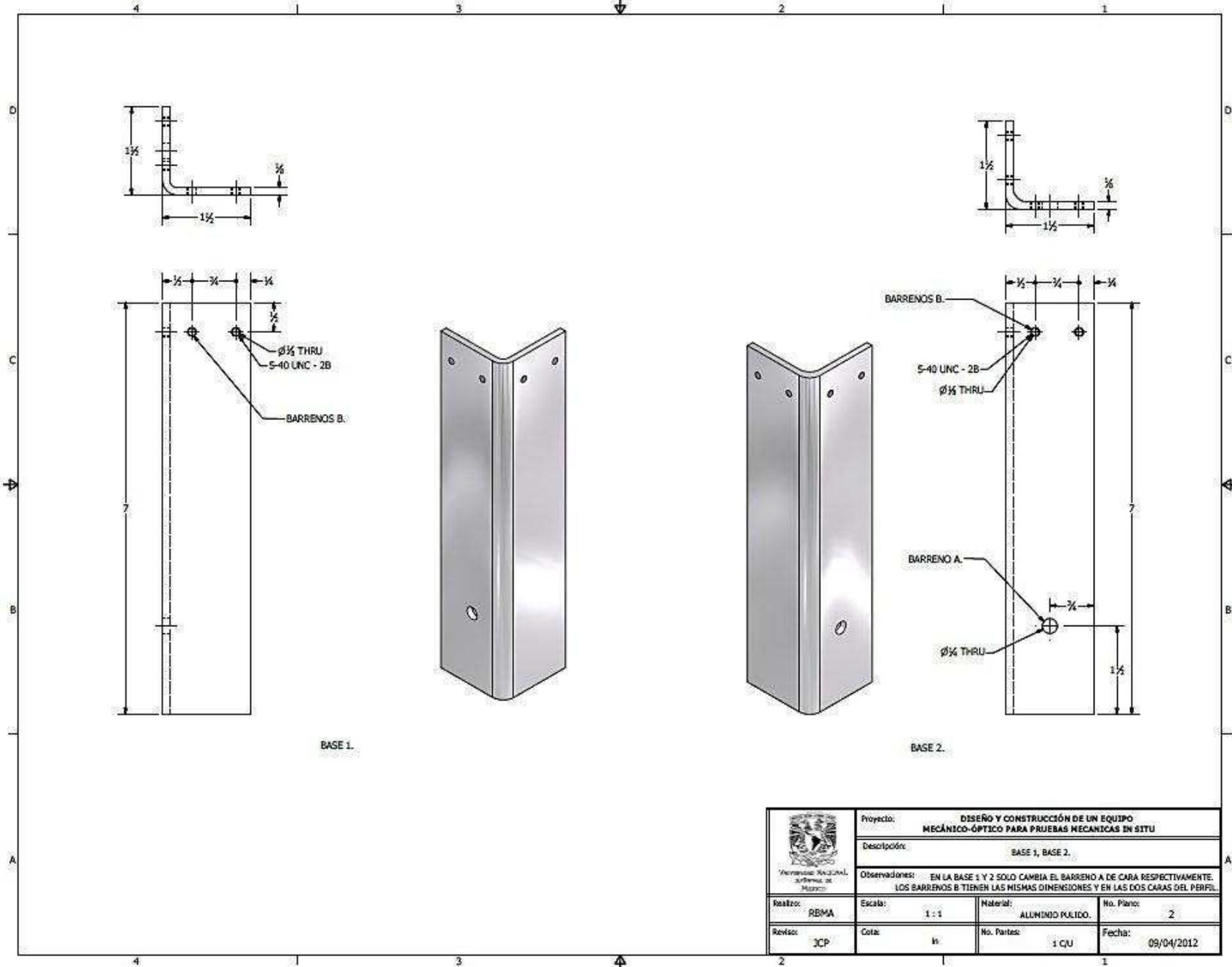


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	BASE 1
2	1	BASE 2
3	1	BASE 3
4	1	BASE 4
5	1	PLACA LATERAL IZQUIERDA
6	1	PLACA LATERAL DERECHA
7	2	PLACA FRONTAL TRASERA
8	1	PORTA-PROBETA
9	1	MORDAZA
10	16	ANSI B18.3 - No. 5 - 40 UNC - 1/4 HS HCS
11	8	ANSI B18.3 - No. 5 - 40 UNC - 3/8 HS HCS
12	2	ANSI B18.3 - 1/4 - 20 UNC - 1 HS HCS
13	2	ANSI B18.3 - 1/4-20 UNC x 1.

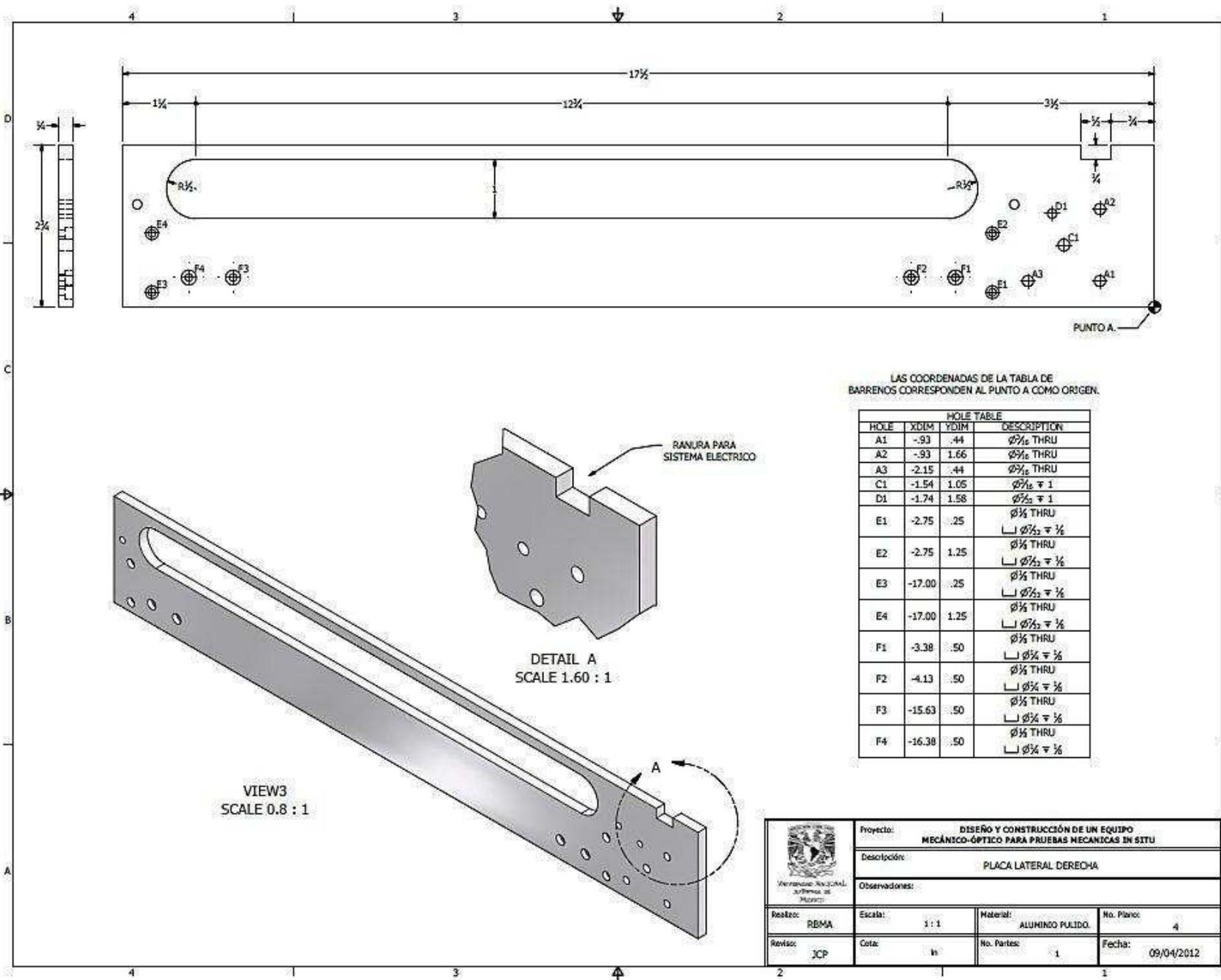


DETAIL A
SCALE 1.33 : 1

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: ESTRUCTURA DE SOPORTE		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 1 : 1.5	Material: -----	No. Plano: 1
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 10	Fecha: 09/04/2012



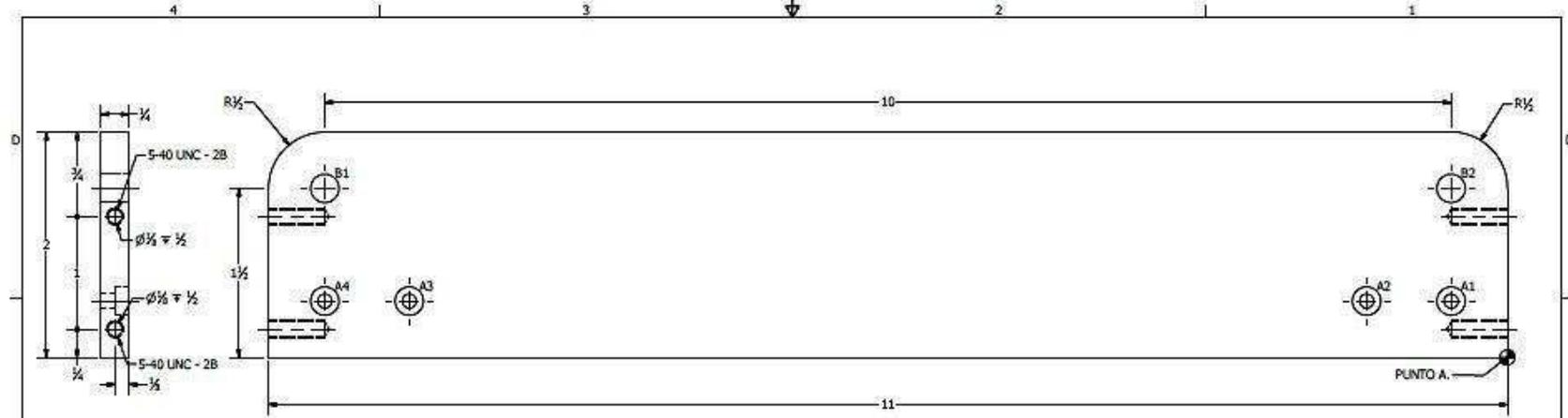
 Universidad Nacional Autónoma de México	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU						
	Descripción: BASE 1, BASE 2.						
Observaciones: EN LA BASE 1 Y 2 SOLO CAMBIA EL BARRENO A DE CARA RESPECTIVAMENTE. LOS BARRENOS B TIENEN LAS MISMAS DIMENSIONES Y EN LAS DOS CARAS DEL PERFIL.							
Realizó:	RBMA	Escala:	1 : 1	Material:	ALUMINIO PULIDO.	No. Planos:	2
Revisó:	JCP	Cota:	W	No. Partes:	1 CU	Fecha:	09/04/2012



LAS COORDENADAS DE LA TABLA DE BARRENOS CORRESPONDEN AL PUNTO A COMO ORIGEN.

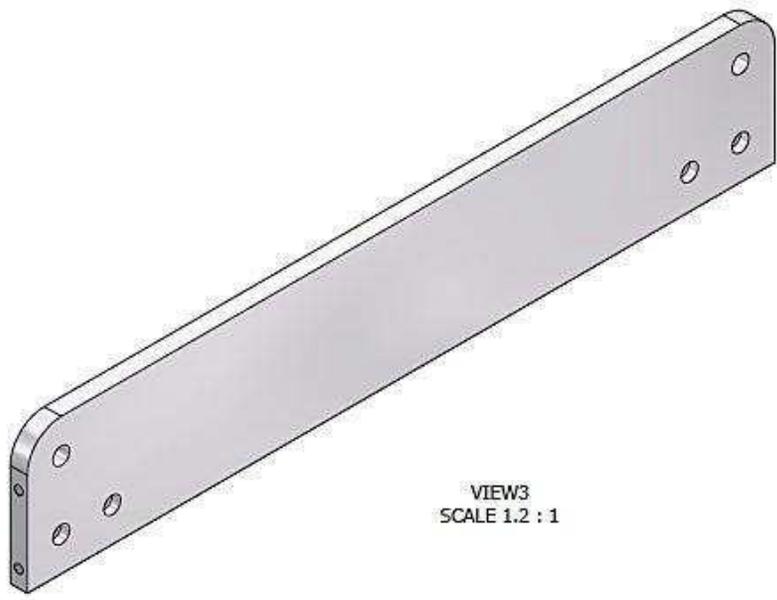
HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	-.93	.44	Ø 3/16 THRU
A2	-.93	1.66	Ø 3/16 THRU
A3	-2.15	.44	Ø 3/16 THRU
C1	-1.54	1.05	Ø 1/8 ± .1
D1	-1.74	1.58	Ø 1/8 ± .1
E1	-2.75	.25	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/32 ± 1/8
E2	-2.75	1.25	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/32 ± 1/8
E3	-17.00	.25	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/32 ± 1/8
E4	-17.00	1.25	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/32 ± 1/8
F1	-3.38	.50	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/4 ± 1/8
F2	-4.13	.50	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/4 ± 1/8
F3	-15.63	.50	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/4 ± 1/8
F4	-16.38	.50	Ø 1/8 THRU └─┘ Ø 3/4 ± 1/8

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: PLACA LATERAL DERECHA		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 1 : 1	Material: ALUMINIO PULIDO.	No. Plano: 4
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



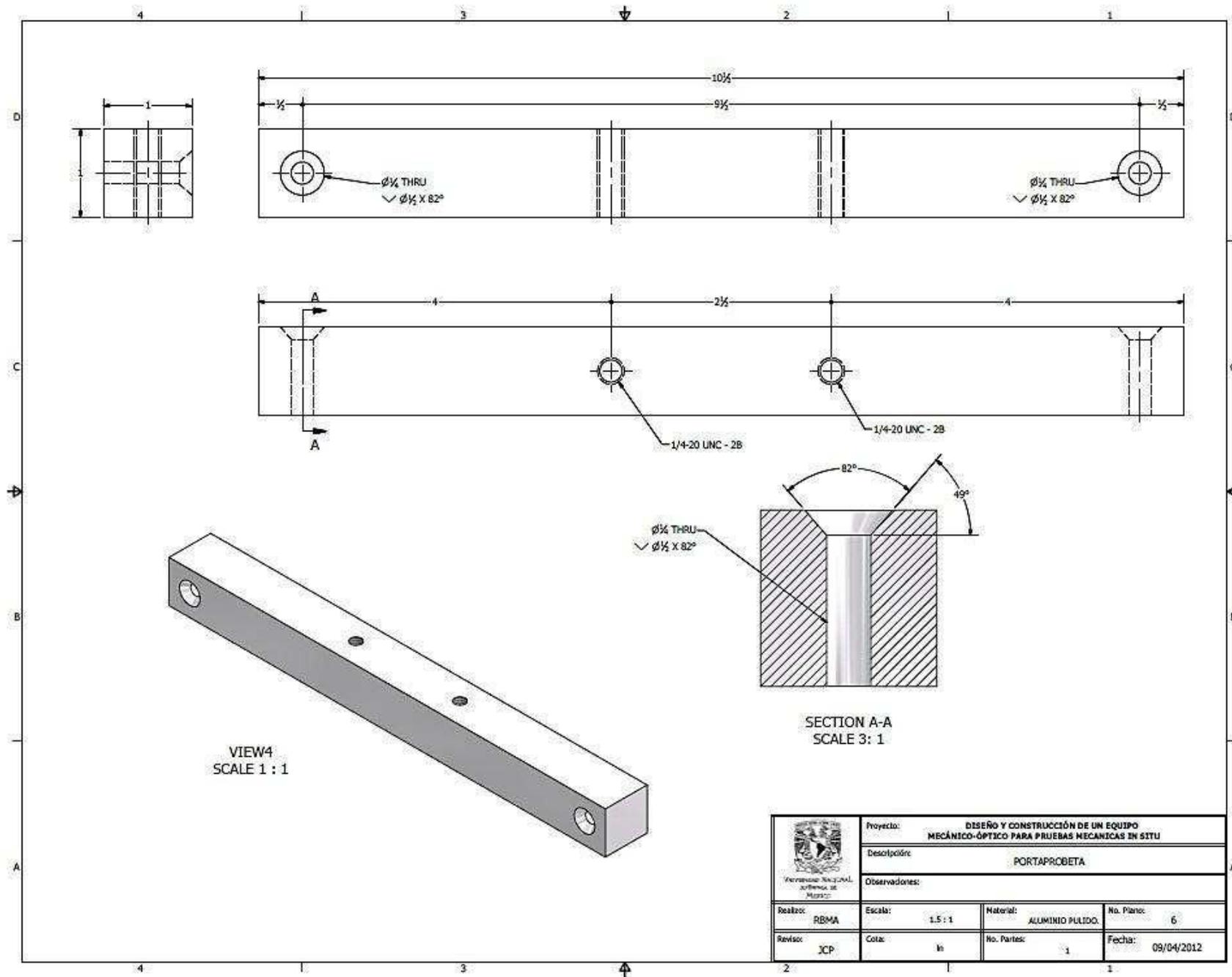
LAS COORDENADAS DE LA TABLA DE BARRENOS CORRESPONDEN AL PUNTO A COMO ORIGEN.

HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	-.50	.50	1/2 THRU └─ 1/2 THRU
A2	-1.25	.50	1/2 THRU └─ 1/2 THRU
A3	-9.75	.50	1/2 THRU └─ 1/2 THRU
A4	-10.50	.50	1/2 THRU └─ 1/2 THRU
B1	-10.50	1.50	1/2 THRU
B2	-.50	1.50	1/2 THRU

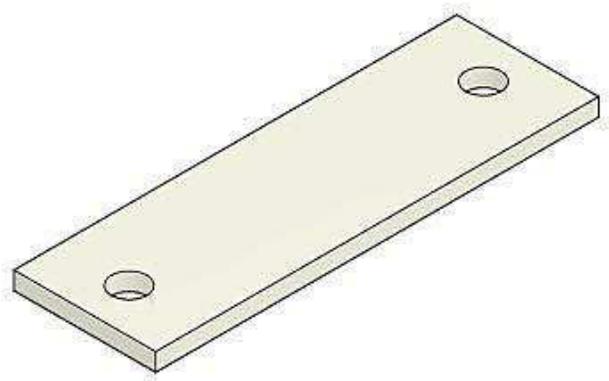
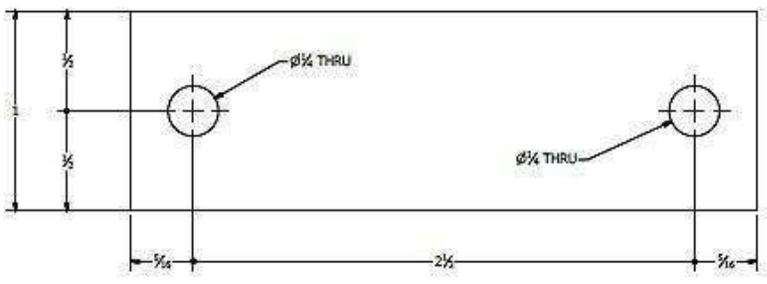
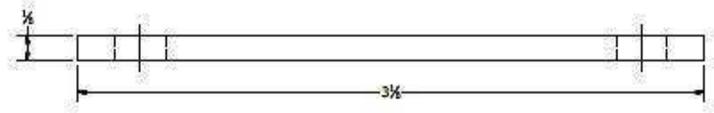
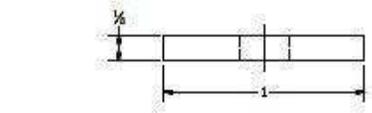


VIEW3
SCALE 1.2 : 1

	Proyecto: DISÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: PLACA FRONTAL TRASERA		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 1:1	Material: ACERO INOXIDABLE	No. Plano: 5
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012

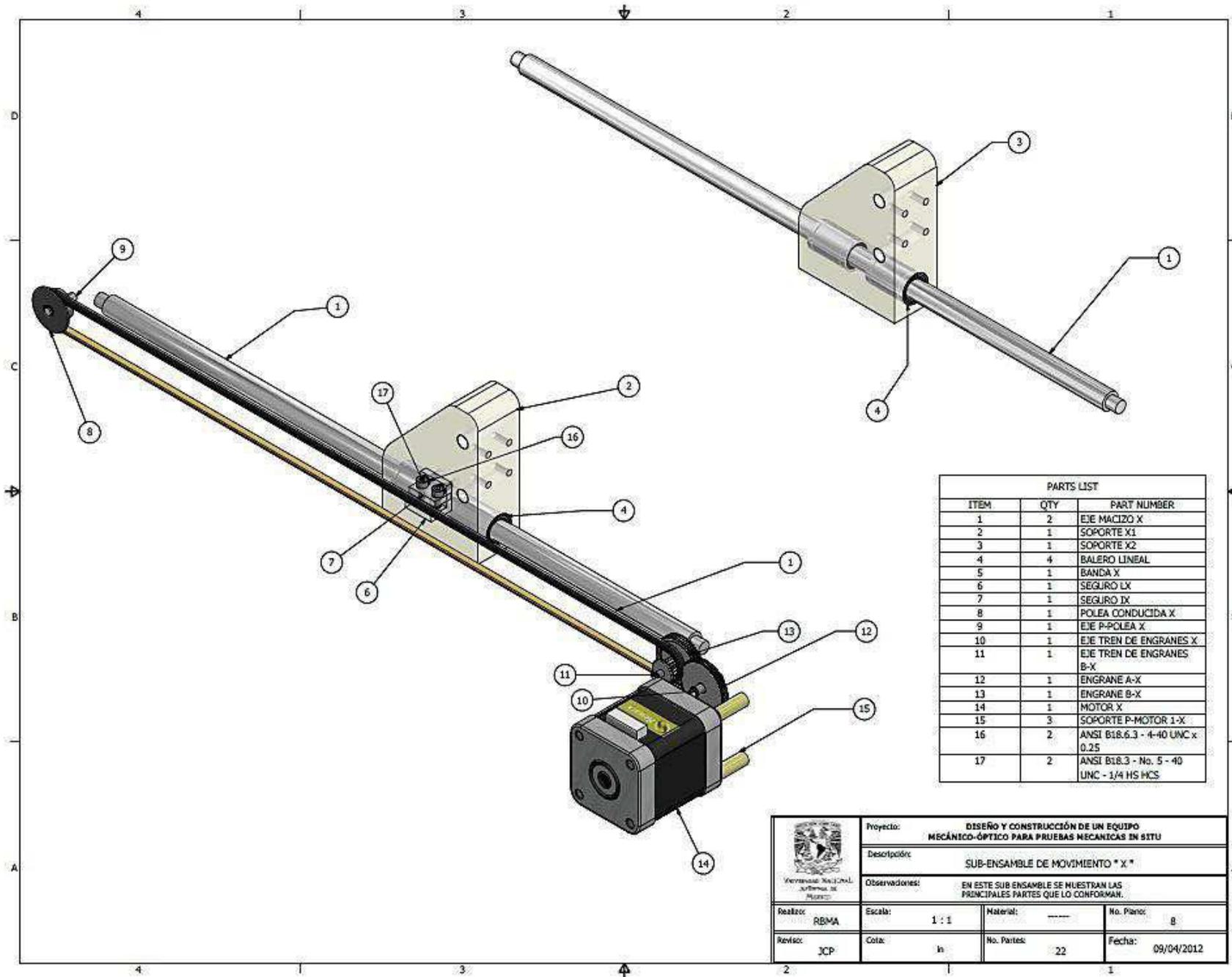


 <small>Instituto Nacional de Metrología</small>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: PORTAPROBETA		
Observadores:			
Realizó: RBMA	Escala: 1.5 : 1	Material: ALUMINIO PULIDO.	No. Plano: 6
Revisó: XCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



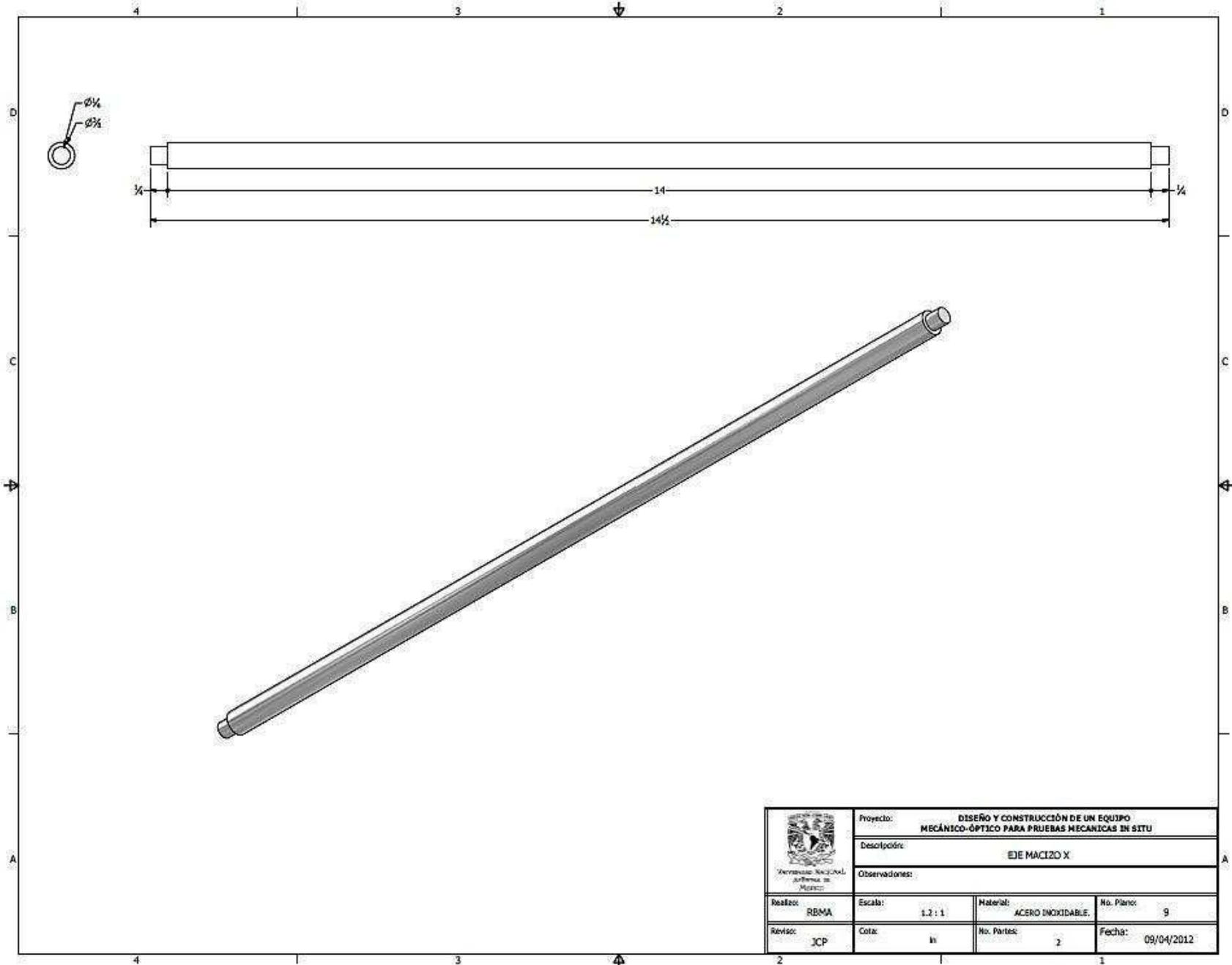
 Universidad Nacional Autónoma de México	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: MORDAZA		
Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 2.5 : 1	Material: ACRILICO TRANSPARENTE	No. Plano: 7
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012

Sub-ensamble de movimiento “X”

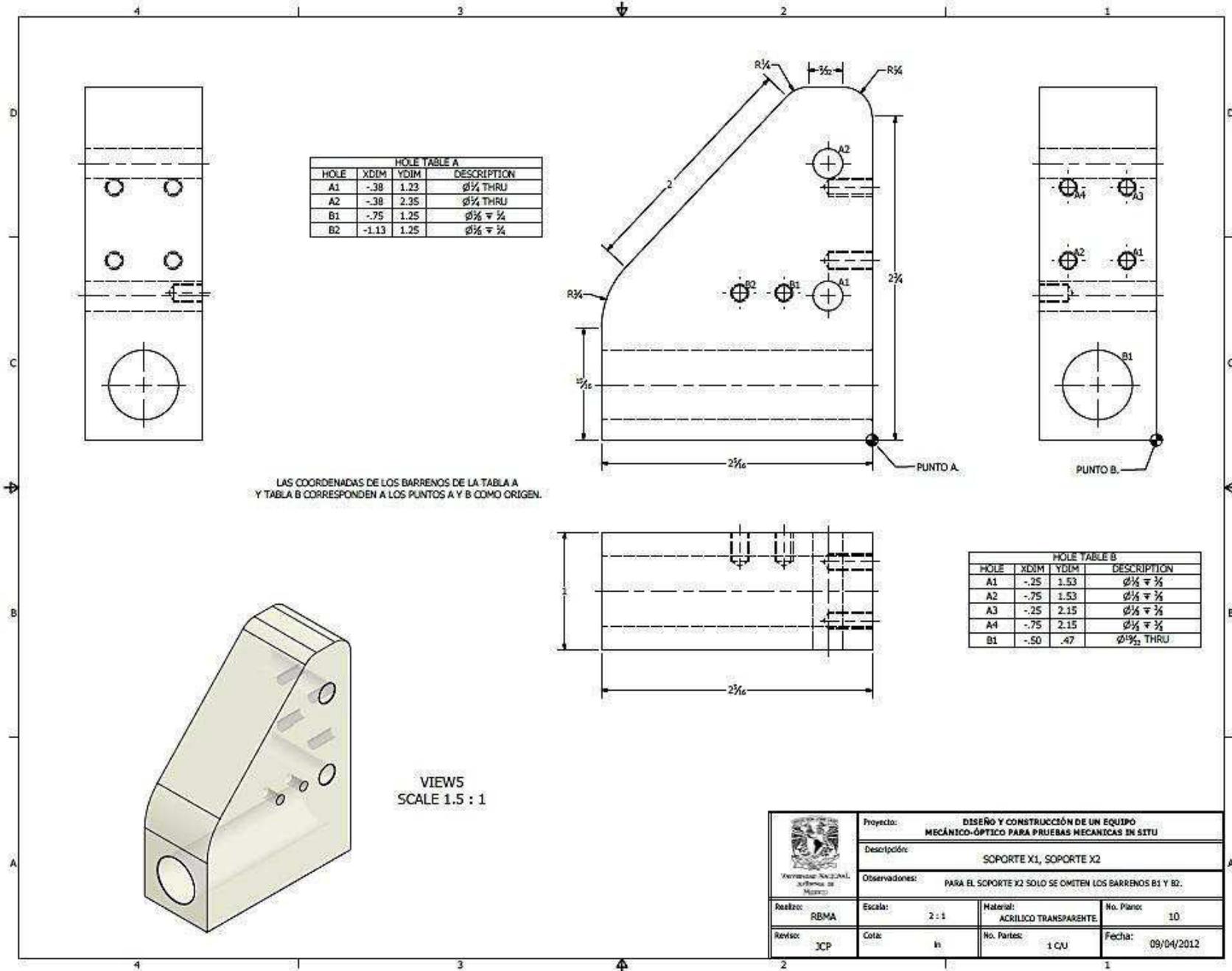


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	2	EJE MACIZO X
2	1	SOPORTE X1
3	1	SOPORTE X2
4	4	BALERO LINEAL
5	1	BANDA X
6	1	SEGURO LX
7	1	SEGURO IX
8	1	POLEA CONDUCTIDA X
9	1	EJE P-POLEA X
10	1	EJE TREN DE ENGRANES X
11	1	EJE TREN DE ENGRANES B-X
12	1	ENGRANE A-X
13	1	ENGRANE B-X
14	1	MOTOR X
15	3	SOPORTE P-MOTOR 1-X
16	2	ANSI B18.6.3 - 4-40 UNC x 0.25
17	2	ANSI B18.3 - No. 5 - 40 UNC - 1/4 HS HCS

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: SUB-ENSAMBLE DE MOVIMIENTO * X *		
	Observaciones: EN ESTE SUB ENSAMBLE SE MUESTRAN LAS PRINCIPALES PARTES QUE LO CONFORMAN.		
Realizó: RBMA	Escala: 1 : 1	Materia: -----	No. Plano: 8
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 22	Fecha: 09/04/2012



	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: EJE MACIZO X		
Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 1.2 : 1	Materia: ACERO INOXIDABLE.	No. Plano: 9
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 2	Fecha: 09/04/2012



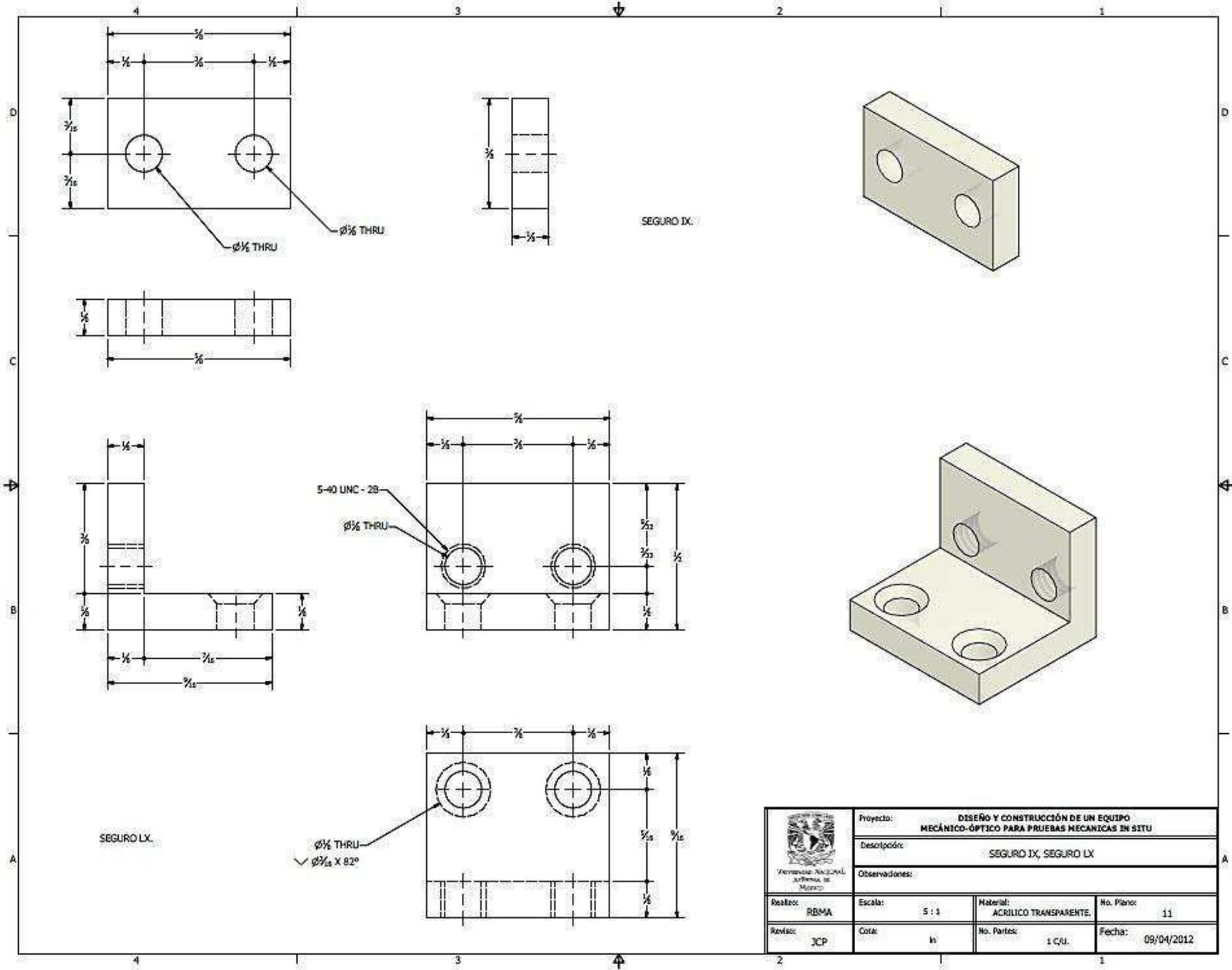
HOLE TABLE A			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	-.38	1.23	$\phi \frac{1}{4}$ THRU
A2	-.38	2.35	$\phi \frac{1}{4}$ THRU
B1	-.75	1.25	$\phi \frac{1}{2} \mp \frac{1}{4}$
B2	-1.13	1.25	$\phi \frac{1}{2} \mp \frac{1}{4}$

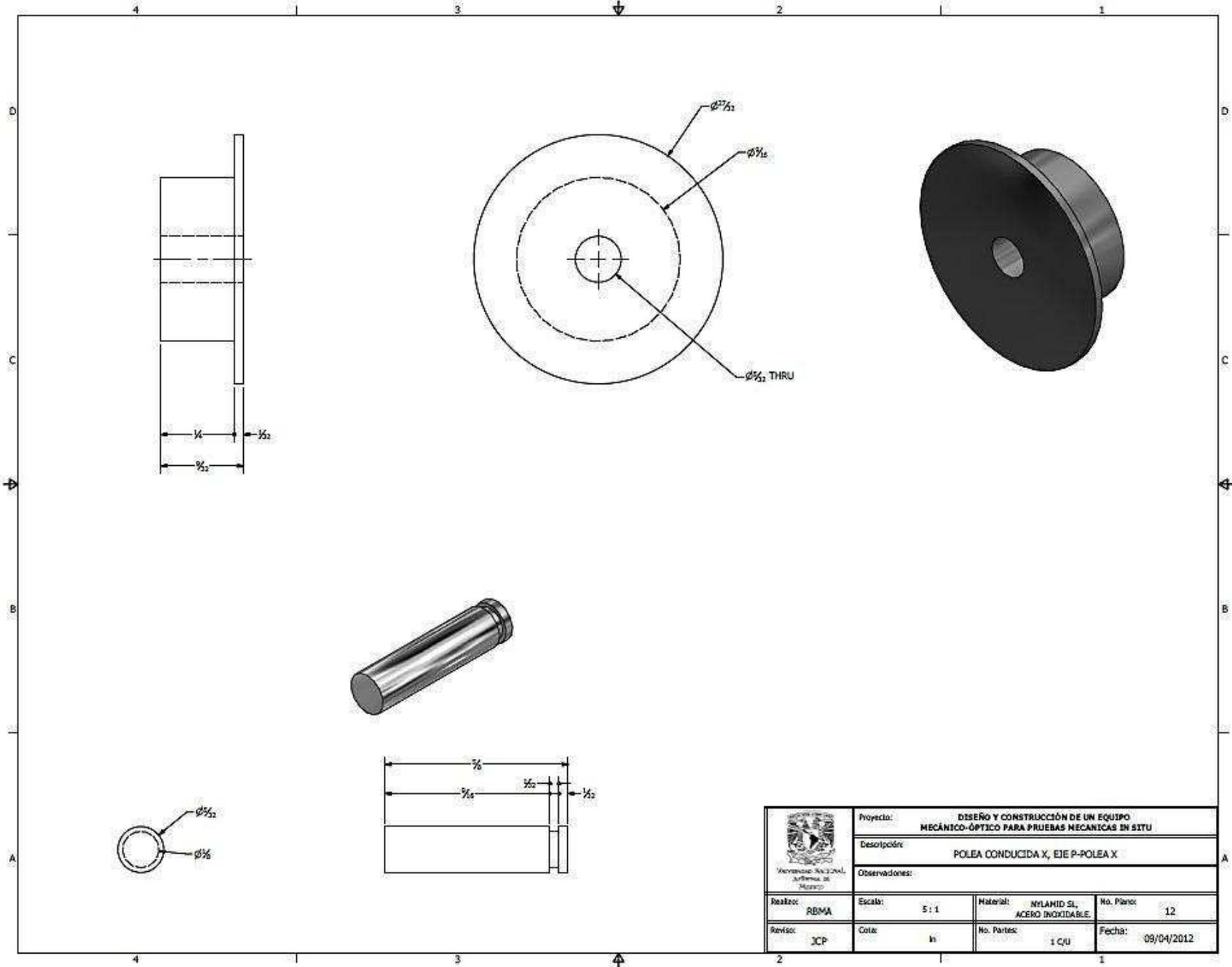
LAS COORDENADAS DE LOS BARRENOS DE LA TABLA A Y TABLA B CORRESPONDEN A LOS PUNTOS A Y B COMO ORIGEN.

HOLE TABLE B			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	-.25	1.53	$\phi \frac{1}{4} \mp \frac{1}{4}$
A2	-.75	1.53	$\phi \frac{1}{4} \mp \frac{1}{4}$
A3	-.25	2.15	$\phi \frac{1}{4} \mp \frac{1}{4}$
A4	-.75	2.15	$\phi \frac{1}{4} \mp \frac{1}{4}$
B1	-.50	.47	$\phi \frac{1}{2}$ THRU

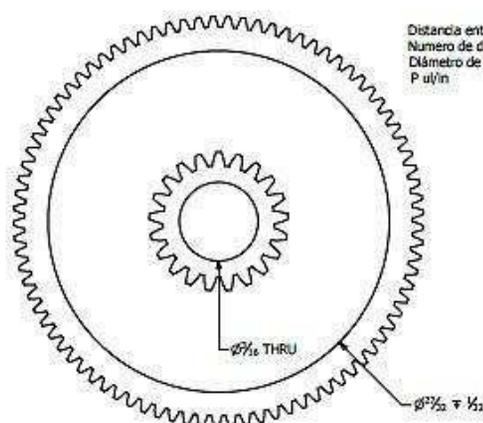
VIEWS
SCALE 1.5 : 1

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS EN SITU		
	Descripción: SOPORTE X1, SOPORTE X2		
Observaciones: PARA EL SOPORTE X2 SOLO SE OMITEN LOS BARRENOS B1 Y B2.			
Realizó: RBMA	Escala: 2 : 1	Material: ACRILICO TRANSPARENTE	No. Plano: 10
Revisó: JCP	Cota: IN	No. Partes: 1 CU	Fecha: 09/04/2012

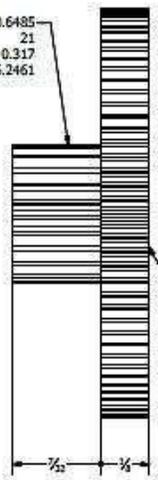




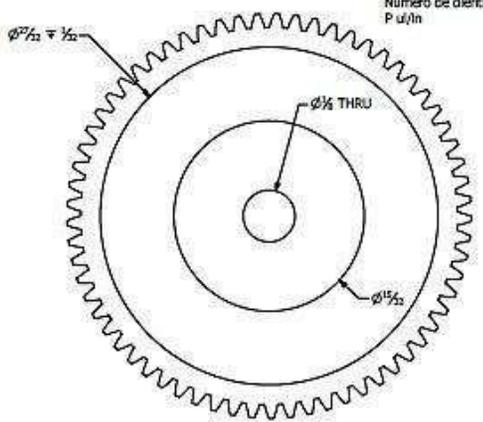
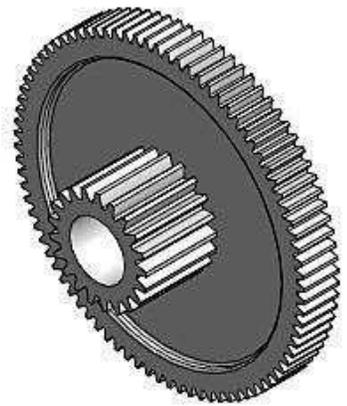
 <small>Instituto Nacional de Metrología</small>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: POLEA CONDUCTIDA X, EJE P-POLEA X		
Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Materia: NYLAMID SL, ACERO INOXIDABLE	No. Planos: 12
Revisó: JCP	Cota: In	No. Partes: 1 C/U	Fecha: 09/04/2012



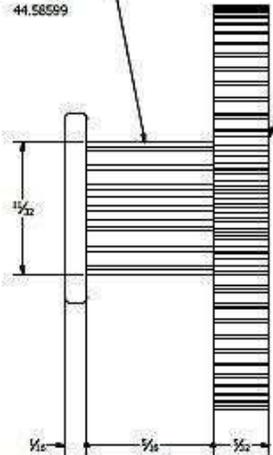
Distancia entre centros 0.6485
 Numero de dientes 21
 Diámetro de paso 0.317
 P u/in 66.2461



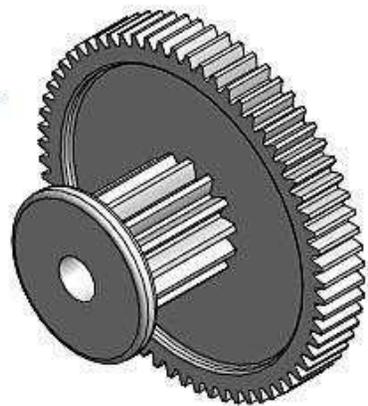
Distancia entre centros 0.6485
 Numero de dientes 85
 Diámetro de paso 0.98
 P u/in 86.7347



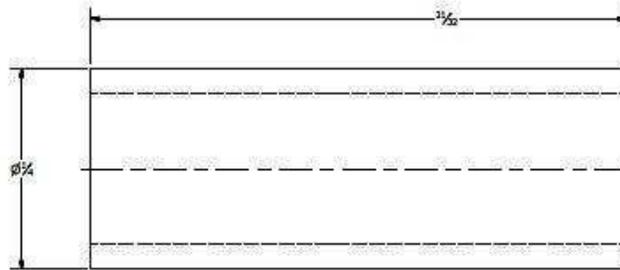
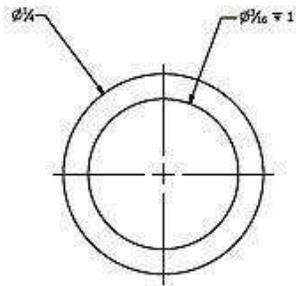
Distancia entre centros 0.6485
 Diámetro de paso 0.314
 Numero de dientes 14
 P u/in 44.58599



Distancia entre centros 0.6485
 Numero de dientes 21
 Diámetro de paso 0.317
 P u/in 66.2461

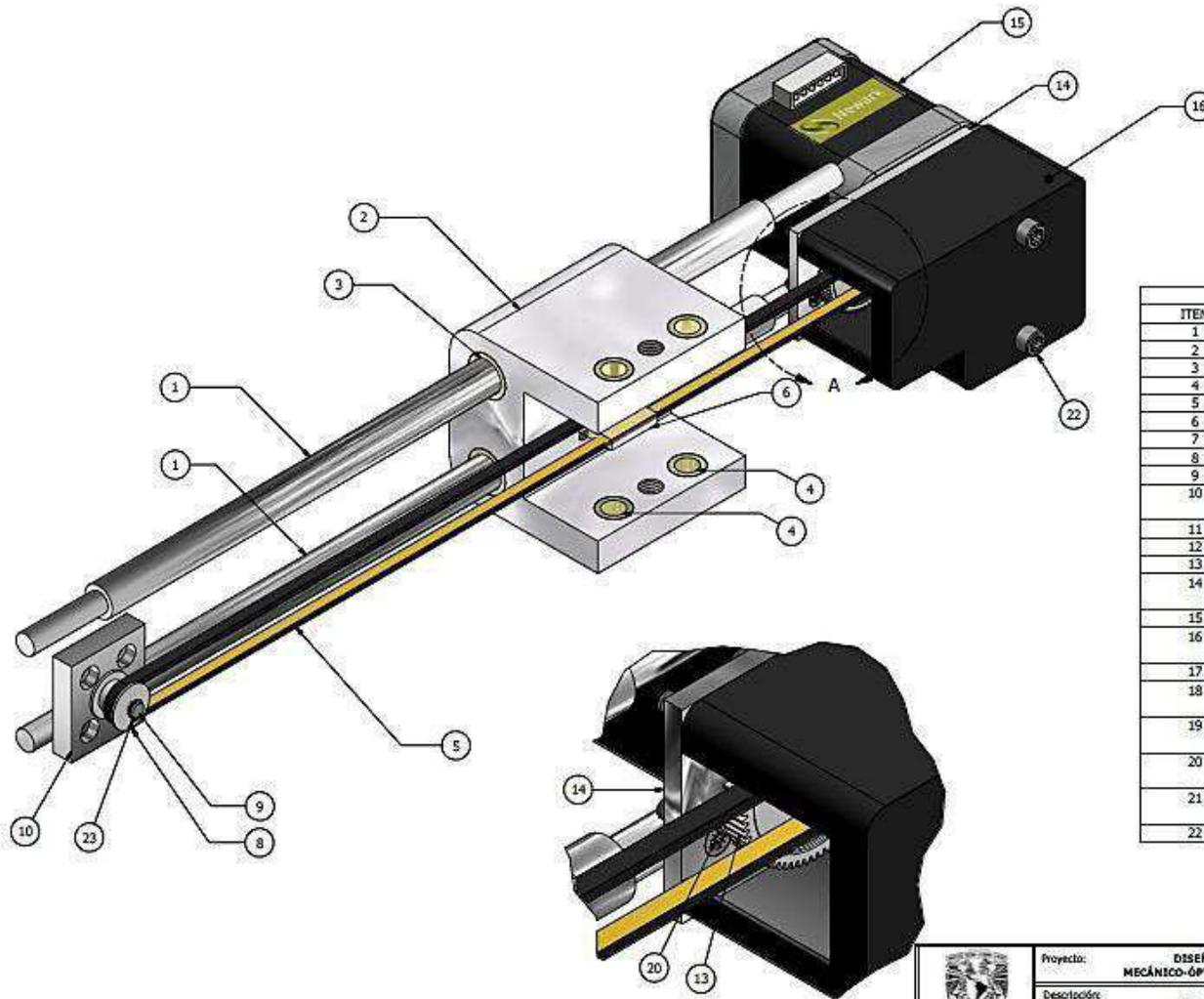


	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: TREN DE ENGRANES X (ENGRANE EX-1 Y EX-2)		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Material: NYLAMID M	No. Plano: 13
Revisó: JCP	Cota: Is	No. Partes: 1 C/U	Fecha: 09/04/2012



 Secretaría de Educación Pública México	Proyecto: DISERNO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: SOORTE P-MOTOR 1-X		
	Observaciones:		
Realizó: ADMA	Escala: 10 : 1	Material: LATON	No. Plano: 14
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 3	Fecha: 09/04/2012

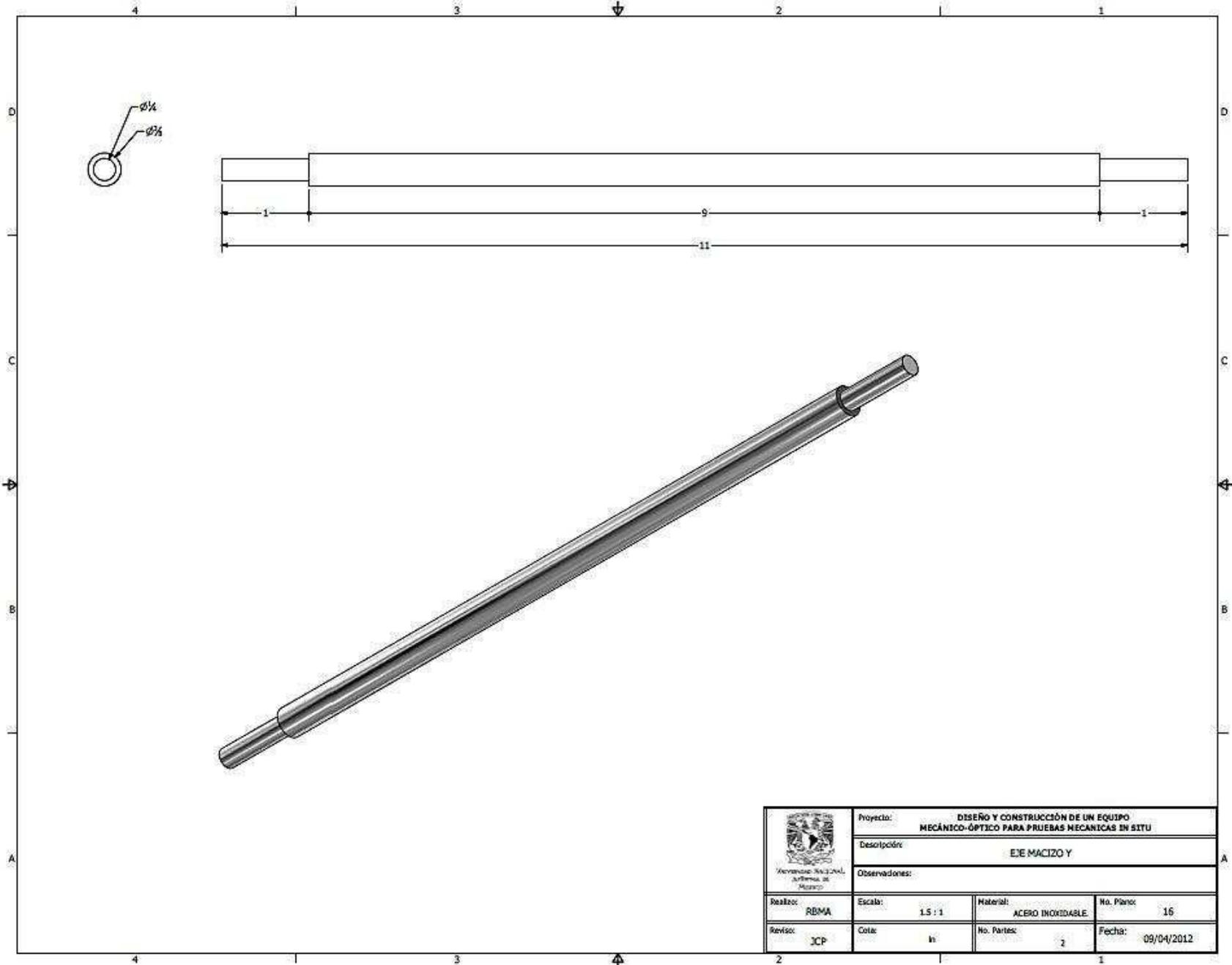
Sub-ensamble de movimiento “Y”



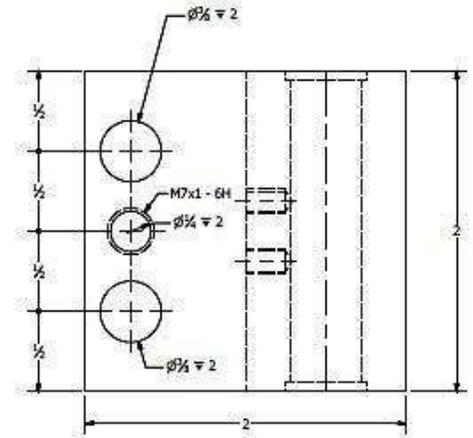
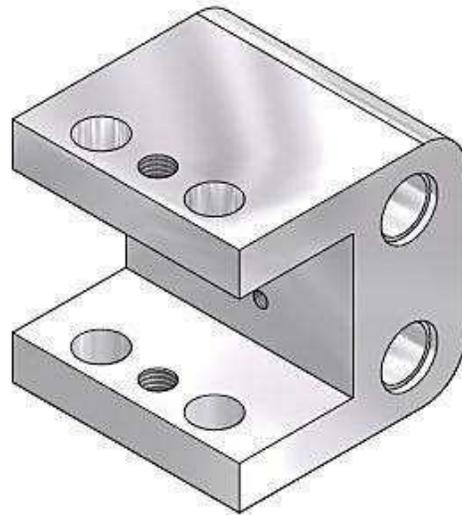
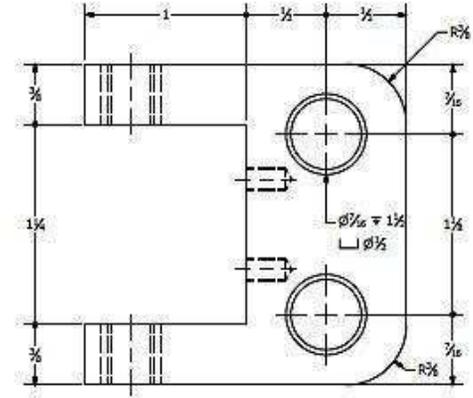
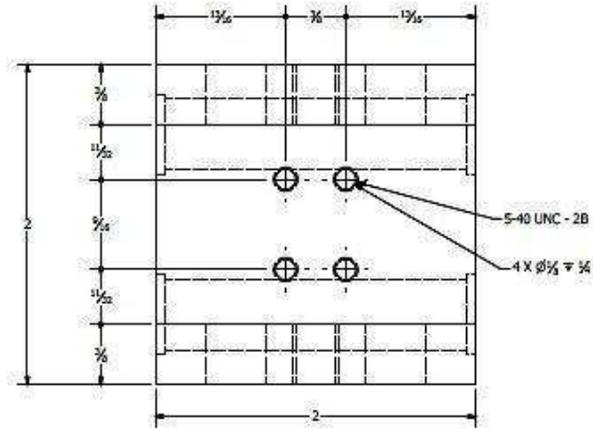
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	2	EJE MACIZO Y
2	1	SOPORTE YZ
3	4	BUJE Y
4	4	BUJE Z
5	1	BANDA Y
6	1	SEGURO LY
7	1	SEGURO TY
8	1	POLEA CONDUCCIDA Y
9	1	EJE P- POLEA Y
10	1	SOPORTE P-POLEA CONDUCCIDA
11	1	PIÑON Y
12	1	ENGRANE A-Y
13	1	ENGRANE B-Y
14	1	PLACA MOTOR SOPORTE MOTOR 2-Y
15	1	MOTOR 2-Y
16	1	GUARDA TREN DE ENGRANES Y
17	1	EJE TREN DE ENGRANES Y
18	1	EJE TREN DE ENGRANES B-Y
19	4	ANSI B18.6.3 - 4-40 UNC x 0.25
20	4	ANSI B18.6.3 - 4-40 UNC x 0.375
21	3	ANSI B18.3.1M - Mx0.7 x 12
22	2	ANSI B18.3 - 8-32 UNC - 1.5

DETAIL A
SCALE 2.67 : 1

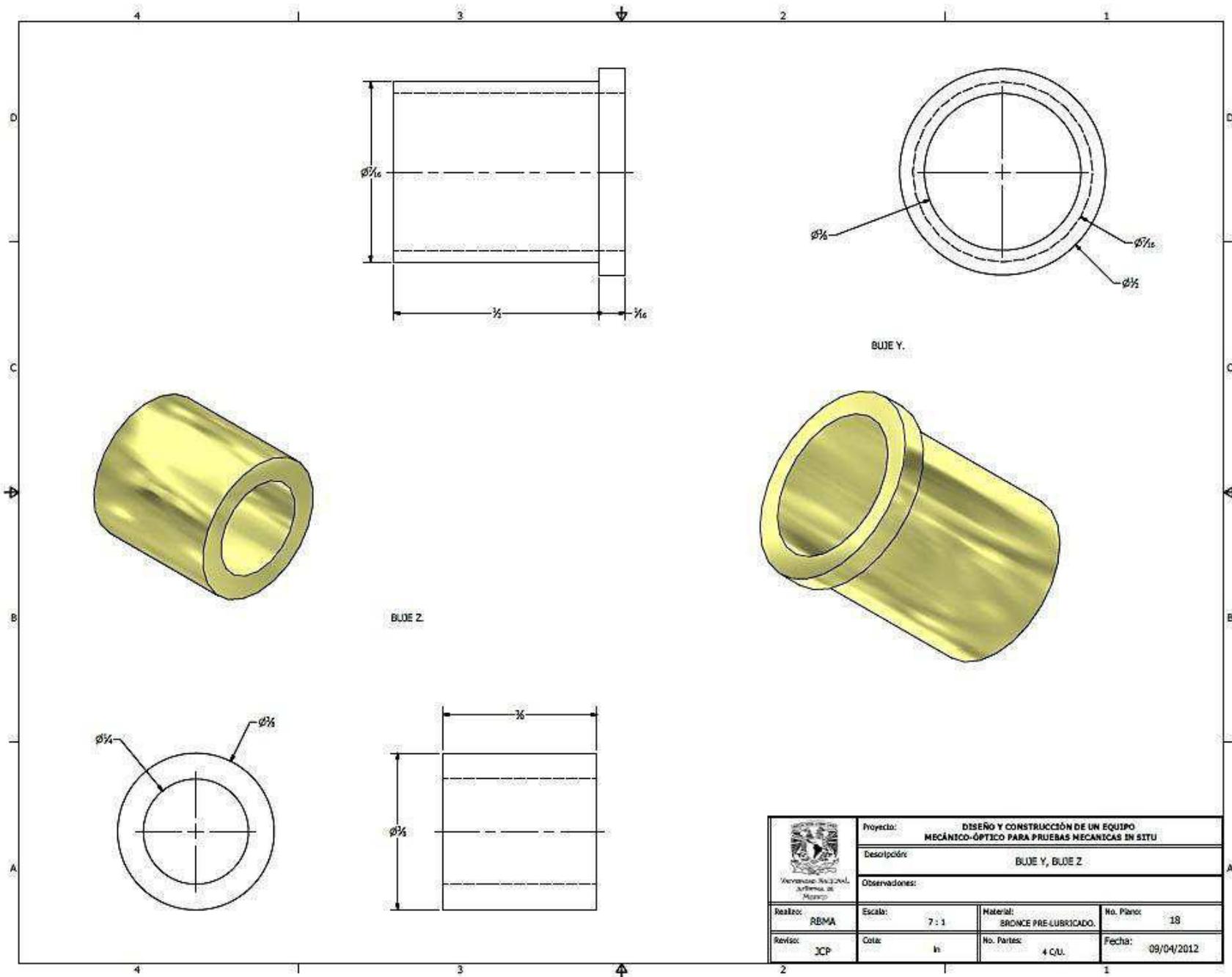
	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS EN SITU		
	Descripción: SUB-ENSAMBLE DE MOVIMIENTO * Y *		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 1 : 0.75	Material:	No. Plano: 15
Revisó: JCP	Cota: h	No. Partes: 25	Fecha: 09/04/2012



 Instituto Nacional de Investigaciones e Innovaciones de México	Proyecto: DISERNO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: EJE MACIZO Y		
	Observaciones:		
Realizó: ADMA	Escala: 1.5 : 1	Material: ACERO INOXIDABLE	No. Plano: 16
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 2	Fecha: 09/04/2012



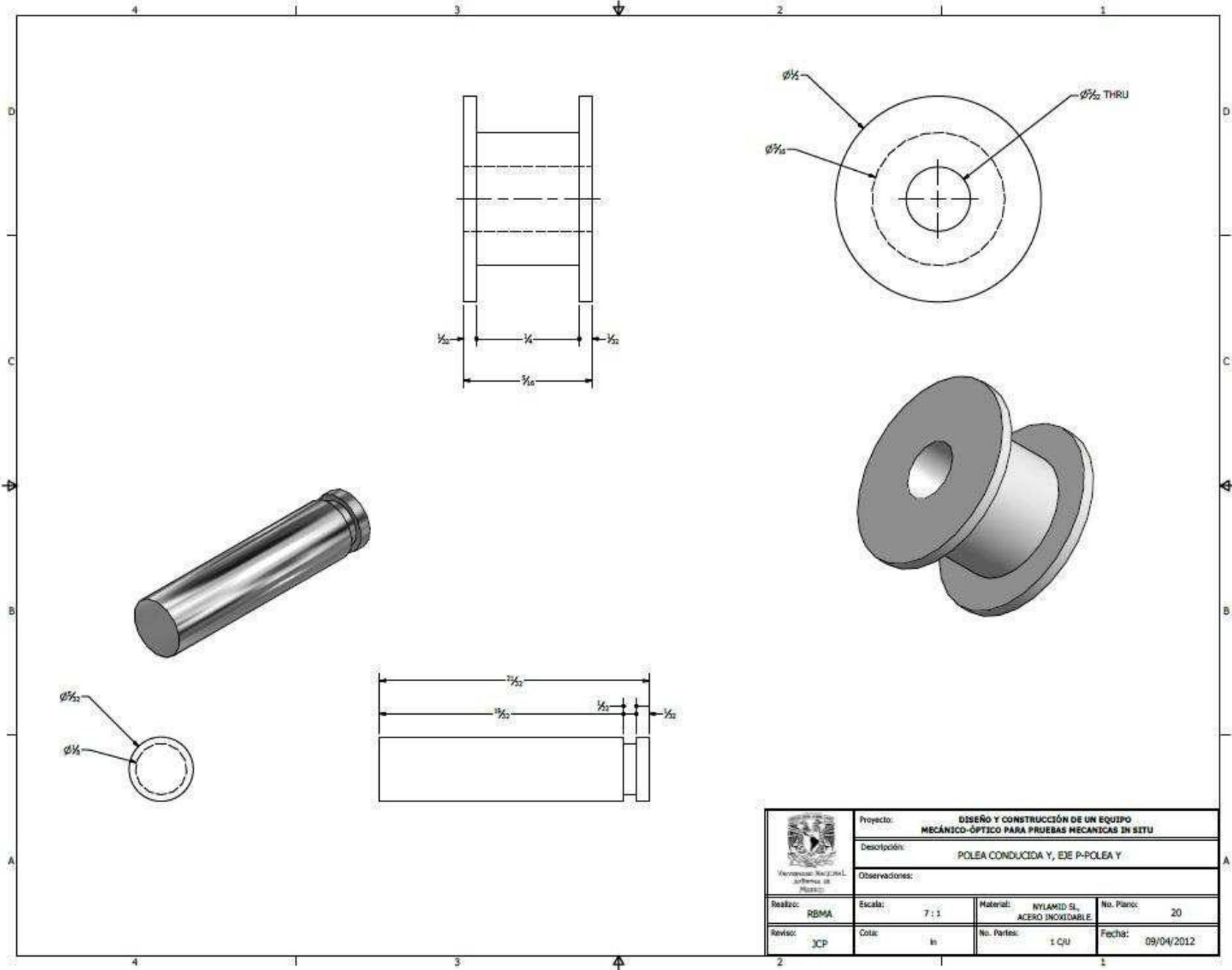
	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU			
	Descripción: SOPORTE YZ			
	Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 2 : 1	Materia: ALUMINIO PULIDO.	No. Plano: 17	
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012	



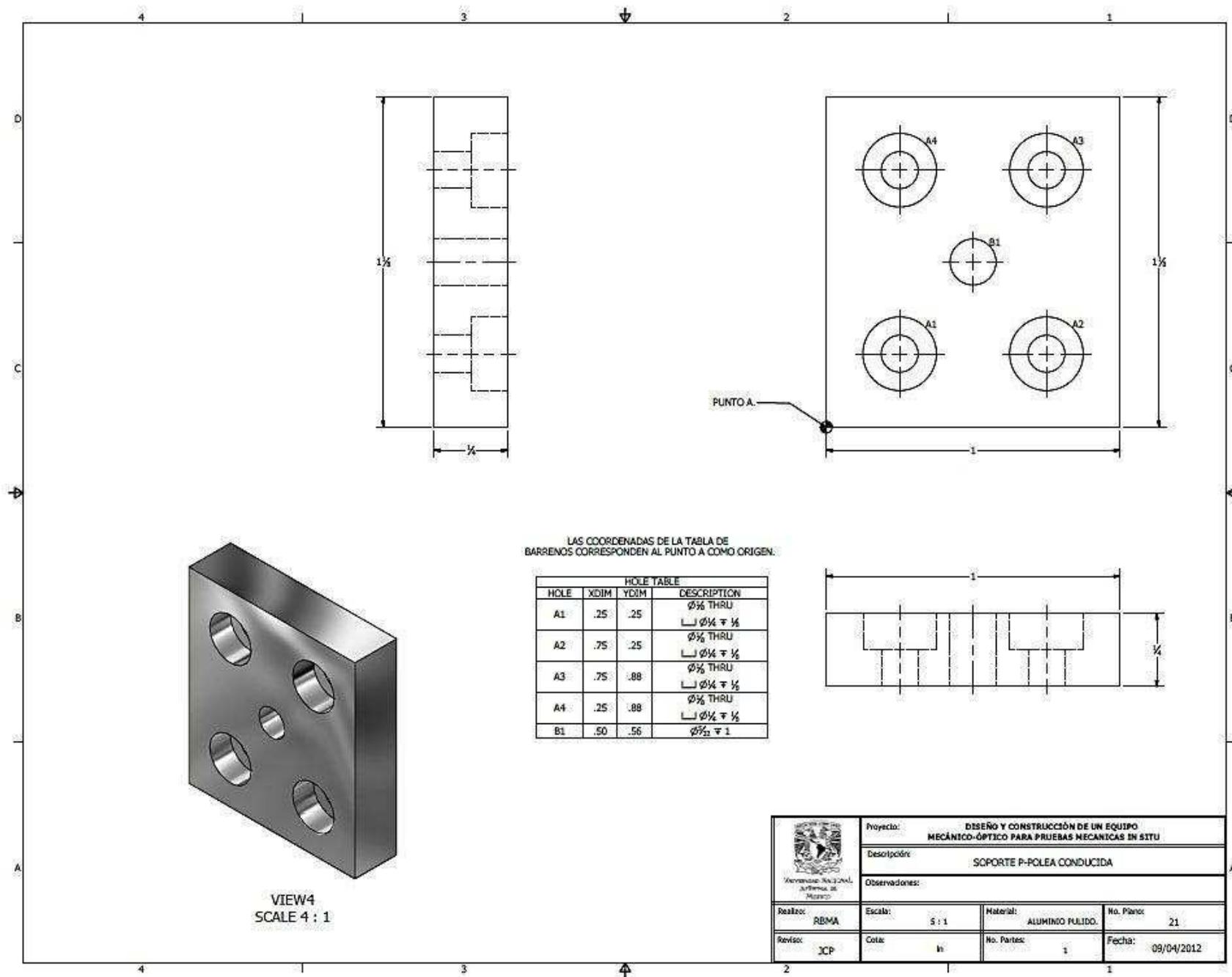
BUJE Y.

BUJE Z.

 SECRETARÍA DE EDUCACIÓN MEXICO	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: BUJE Y, BUJE Z		
	Observaciones:		
Realizó: REMA	Escala: 7 : 1	Material: BRONCE PRE-LUBRICADO.	No. Plano: 18
Revisó: JCP	Cota: In	No. Partes: 4 C.U.	Fecha: 09/04/2012



 <p> Instituto Nacional de Investigaciones e Innovaciones Científicas </p>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: POLEA CONDUCTIDA Y, EJE P-POLEA Y		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 7 : 1	Material: NYLAMID SL, ACERO INOXIDABLE	No. Plancas: 20
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1 CU	Fecha: 09/04/2012

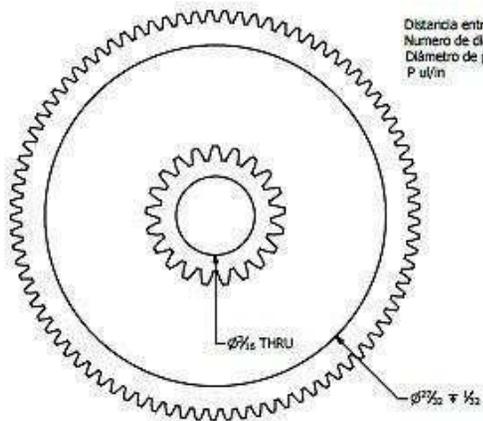


LAS COORDENADAS DE LA TABLA DE BARRENOS CORRESPONDEN AL PUNTO A COMO ORIGEN.

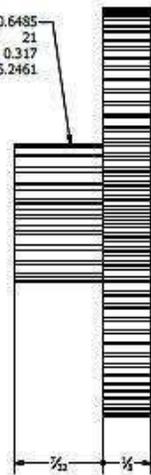
HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	.25	.25	Ø $\frac{1}{8}$ THRU └─┬─┘ Ø $\frac{1}{8}$ ± $\frac{1}{16}$
A2	.75	.25	Ø $\frac{1}{8}$ THRU └─┬─┘ Ø $\frac{1}{8}$ ± $\frac{1}{16}$
A3	.75	.88	Ø $\frac{1}{8}$ THRU └─┬─┘ Ø $\frac{1}{8}$ ± $\frac{1}{16}$
A4	.25	.88	Ø $\frac{1}{8}$ THRU └─┬─┘ Ø $\frac{1}{8}$ ± $\frac{1}{16}$
B1	.50	.56	Ø $\frac{1}{16}$ ± 1

VIEW4
SCALE 4 : 1

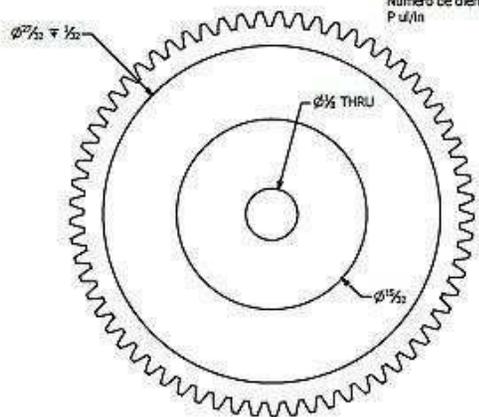
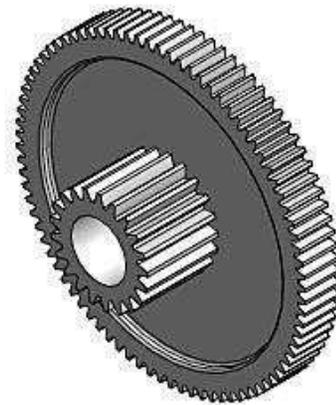
	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: SOPORTE P-POLEA CONDUCCIDA		
Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Material: ALUMINO PULIDO.	No. Plancs: 21
Revisó: JCP	Cota: In	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



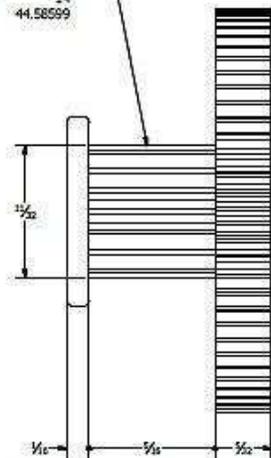
Distancia entre centros 0.6485
 Numero de dientes 21
 Diámetro de paso 0.317
 P u/i/n 66.2461



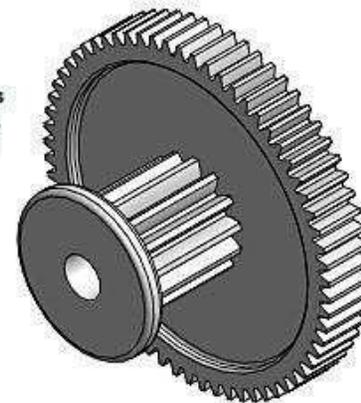
Distancia entre centros 0.6485
 Numero de dientes 85
 Diámetro de paso 0.98
 P u/i/n 86.7347



Distancia entre centros 0.6485
 Diámetro de paso 0.314
 Numero de dientes 14
 P u/i/n 44.58599



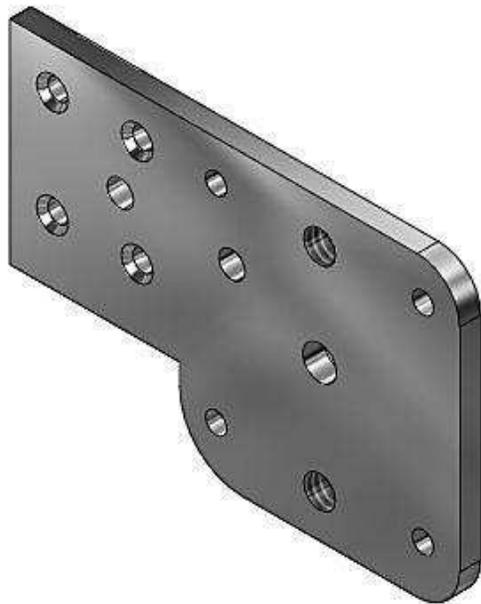
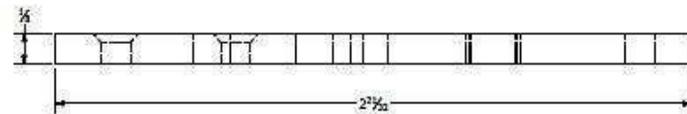
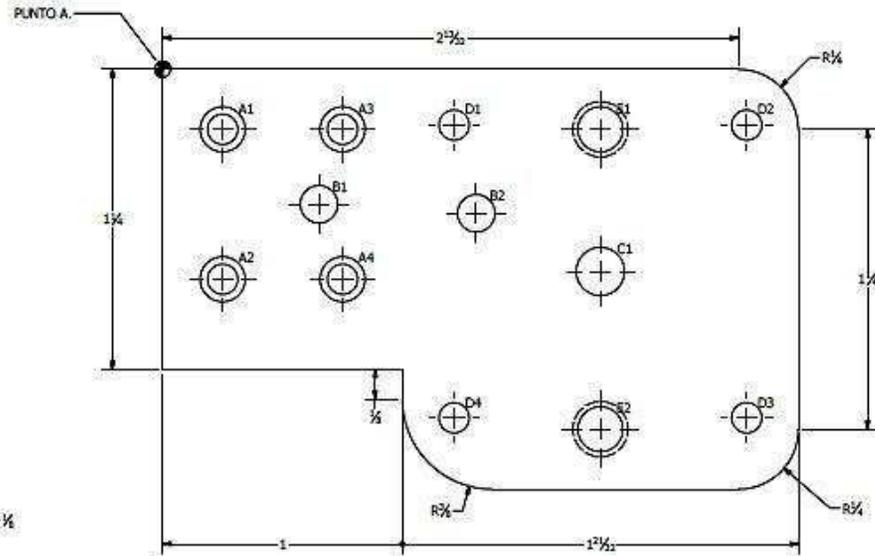
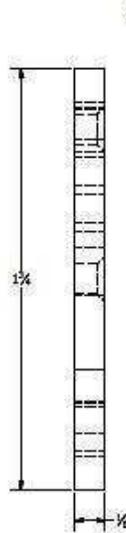
Distancia entre centros 0.6485
 Numero de dientes 21
 Diámetro de paso 0.317
 P u/i/n 66.2461



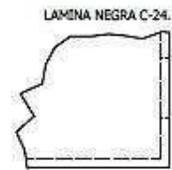
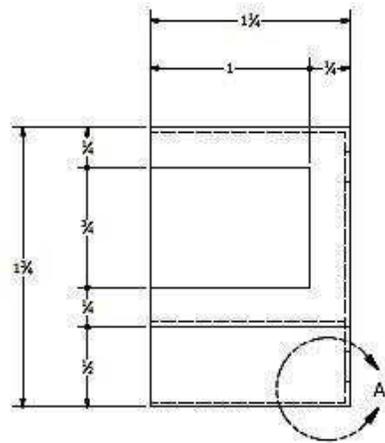
<p>INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA</p>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: TREN DE ENGRANES Y (ENGRANE EY-1 Y EY-2)		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Material: NYLAMID M	No. Plano: 22
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1 C/U	Fecha: 09/04/2012

LAS COORDENADAS DE LA TABLA DE BARRENOS CORRESPONDEN AL PUNTO A COMO ORIGEN.

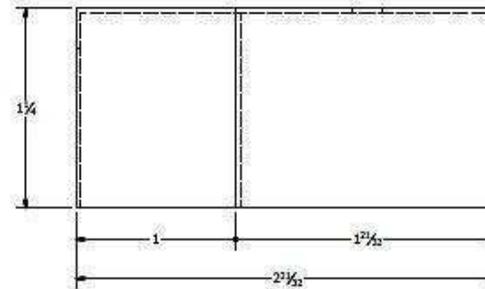
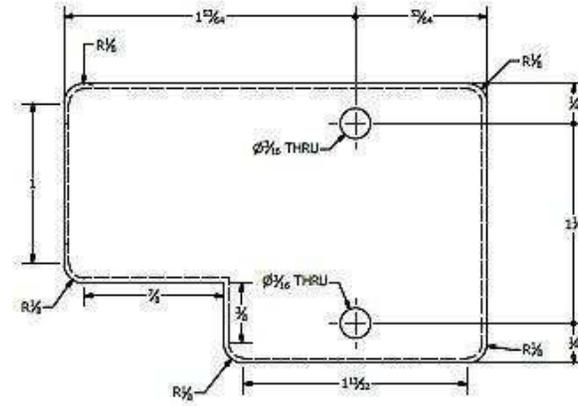
HOLE TABLE			
HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	.25	-.25	$\phi \frac{1}{8}$ THRU $\checkmark \phi \frac{3}{16} \times 82^\circ$
A2	.25	-.88	$\phi \frac{1}{8}$ THRU $\checkmark \phi \frac{3}{16} \times 82^\circ$
A3	.75	-.25	$\phi \frac{1}{8}$ THRU $\checkmark \phi \frac{3}{16} \times 82^\circ$
A4	.75	-.88	$\phi \frac{1}{8}$ THRU $\checkmark \phi \frac{3}{16} \times 82^\circ$
B1	.65	-.56	$\phi \frac{3}{32}$ THRU
B2	1.31	-.60	$\phi \frac{3}{32}$ THRU
C1	1.83	-.84	$\phi \frac{3}{16}$ THRU
E1	1.83	-.25	$\phi \frac{3}{16}$ THRU
E2	1.83	-1.50	$\phi \frac{3}{16}$ THRU
D1	1.22	-.23	$\phi \frac{1}{8}$ THRU
D2	2.44	-.23	$\phi \frac{1}{8}$ THRU
D3	2.44	-1.45	$\phi \frac{1}{8}$ THRU
D4	1.22	-1.45	$\phi \frac{1}{8}$ THRU



<p>INstituto Nacional de Ingeniería</p>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS EN SITU		
	Descripción: PLACA SOPORTE MOTOR 2-Y		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 3 : 1	Material: ALUMINIO PULIDO.	No. Plano: 23
Revisó: JCP	Cota: IN	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012

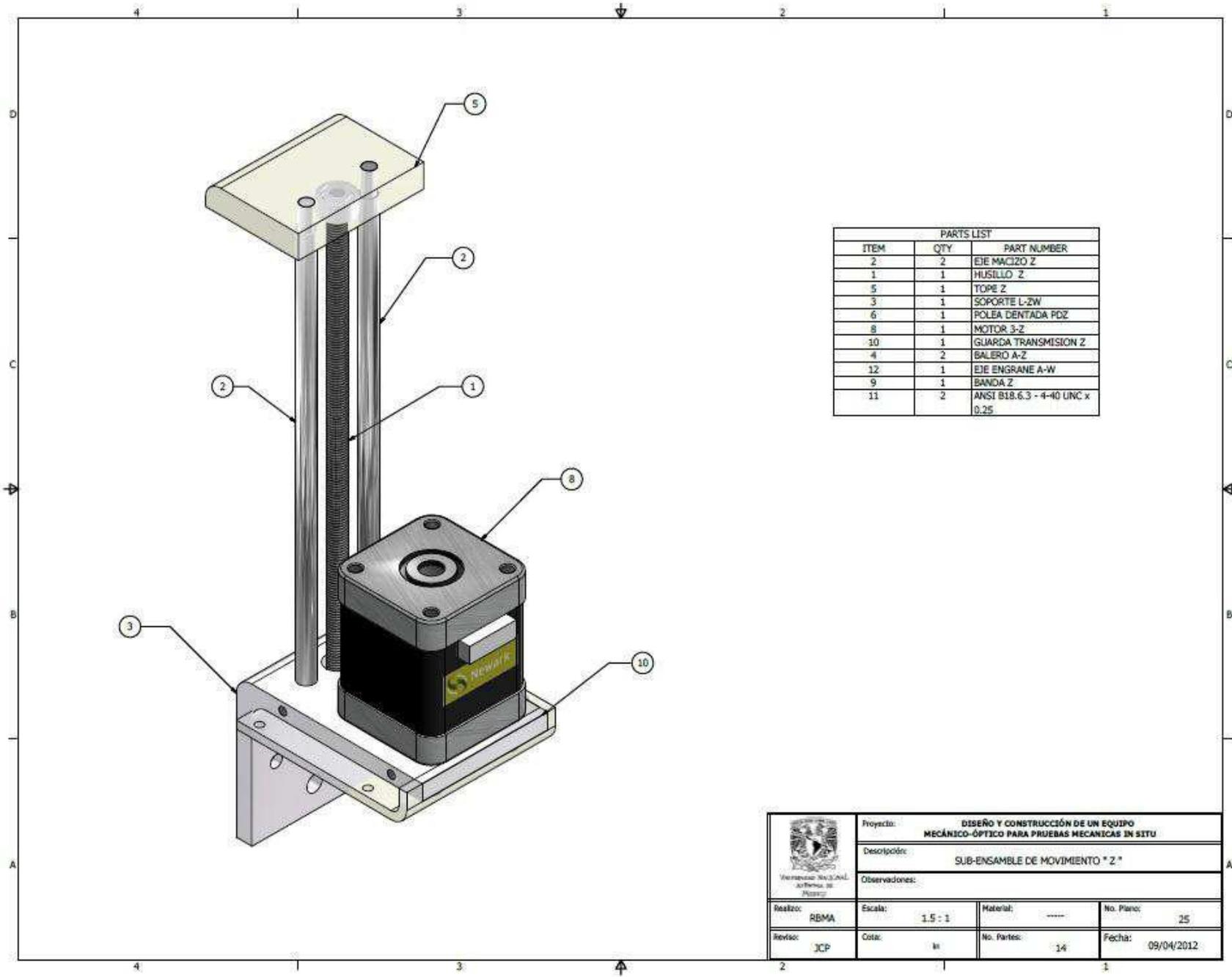


DETAIL A
SCALE 4 : 1



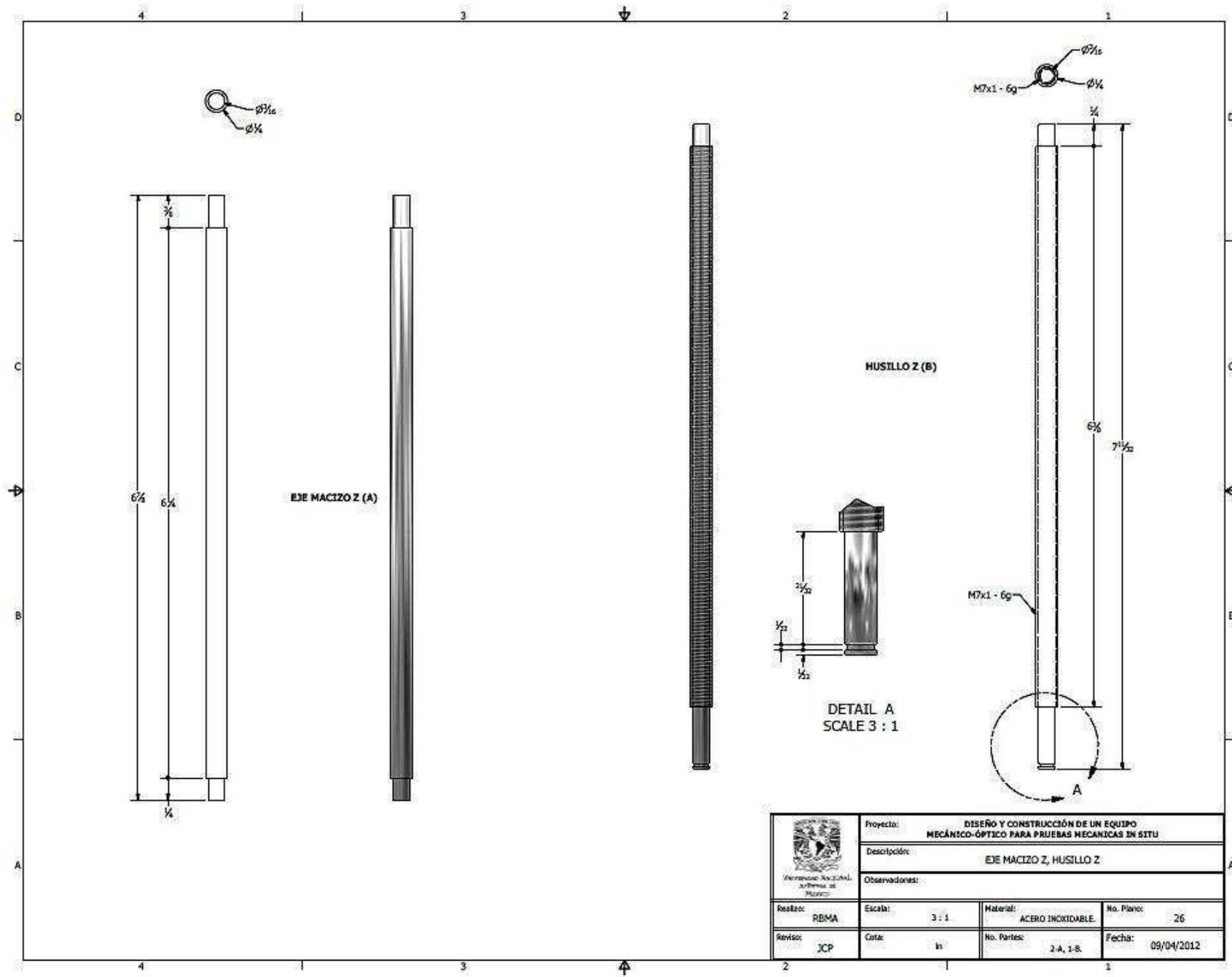
	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: GUARDA TREN DE ENGRANES Y		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 2 : 1	Material: LAMINA NEGRA C-24.	No. Plano: 24
Revisó: JCP	Coló: IN	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012

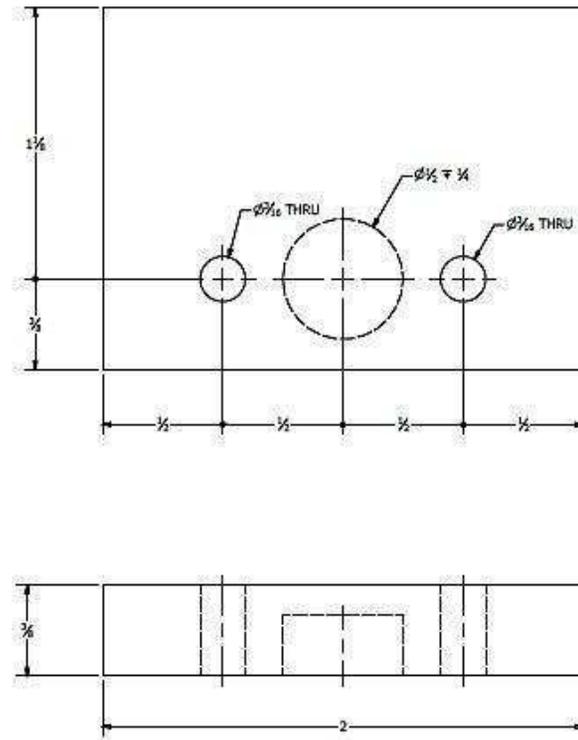
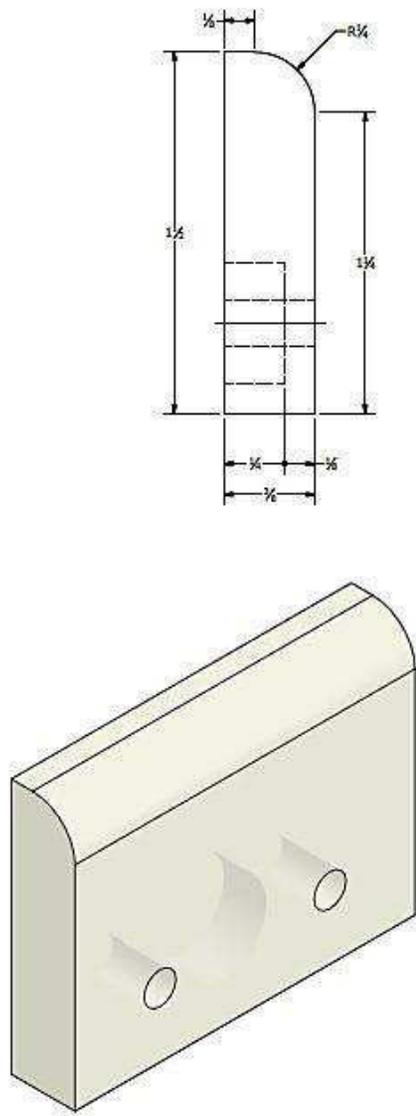
Sub-ensamble de movimiento “Z”



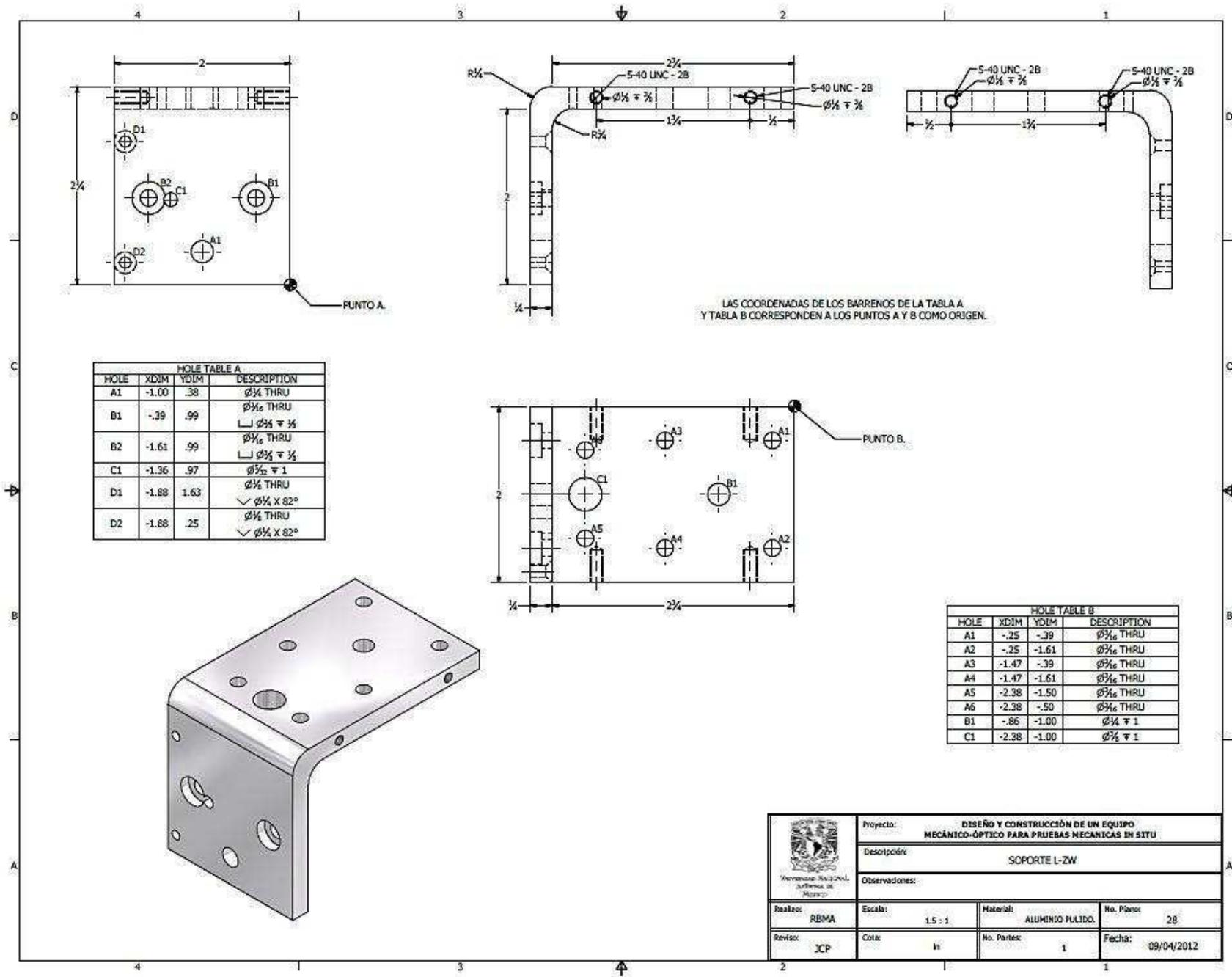
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
2	2	EJE MACIZO Z
1	1	HUSILLO Z
5	1	TOPE Z
3	1	SOPORTE L-ZW
6	1	POLEA DENTADA PDZ
8	1	MOTOR 3-Z
10	1	GUARDA TRANSMISION Z
4	2	BALERO A-Z
12	1	EJE ENGRANE A-W
9	1	BANDA Z
11	2	ANSI B18.6.3 - 4-40 UNC x 0.25

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: SUB-ENSAMBLE DE MOVIMIENTO " Z "		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 1.5 - 1	Material: -----	No. Plano: 25
Revisó: JCP	Cota: IN	No. Partes: 14	Fecha: 09/04/2012



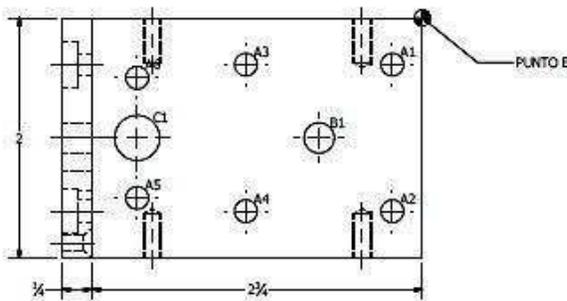


 Universidad Nacional Autónoma de México	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: TOPE Z		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 3 : 1	Material: ACRILICO TRANSPARENTE	No. Plano: 27
Revisó: JCP	Cota: si	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



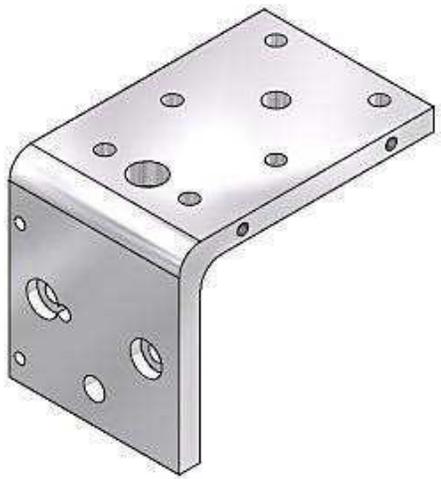
HOLE TABLE A

HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	-1.00	.38	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
B1	-.39	.99	Ø $\frac{1}{16}$ THRU └─┬─┘ Ø $\frac{1}{16}$ ± $\frac{1}{32}$
B2	-1.61	.99	Ø $\frac{1}{16}$ THRU └─┬─┘ Ø $\frac{1}{16}$ ± $\frac{1}{32}$
C1	-1.36	.97	Ø $\frac{1}{16}$ ± 1
D1	-1.88	1.63	✓ Ø $\frac{1}{4}$ X 82° Ø $\frac{1}{16}$ THRU
D2	-1.88	.25	✓ Ø $\frac{1}{4}$ X 82°

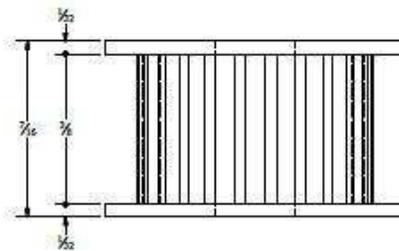
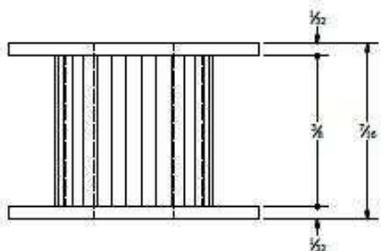
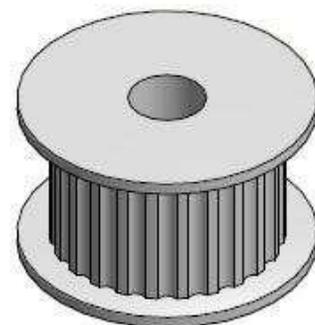
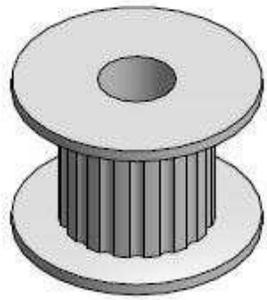
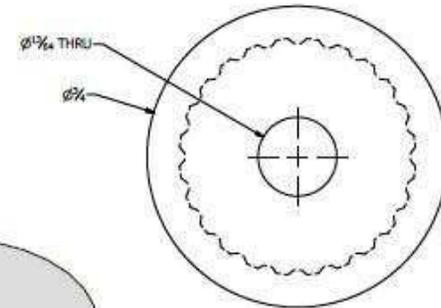
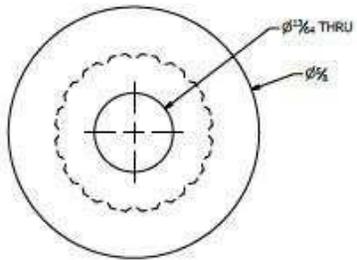


HOLE TABLE B

HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION
A1	-.25	-.39	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
A2	-.25	-1.61	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
A3	-1.47	-.39	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
A4	-1.47	-1.61	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
A5	-2.38	-1.50	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
A6	-2.38	-.50	Ø $\frac{1}{16}$ THRU
B1	-.86	-1.00	Ø $\frac{1}{4}$ ± 1
C1	-2.38	-1.00	Ø $\frac{1}{16}$ ± 1



 <small>Instituto Mexicano de Normalización y Certificación</small>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU						
	Descripción: SOPORTE L-ZW						
	Observaciones:						
Realizó:	RBMA	Escala:	1.5 : 1	Material:	ALUMINIO PULIDO.	No. Planos:	28
Revisó:	JCP	Colo:	h	No. Partes:	1	Fecha:	09/04/2012

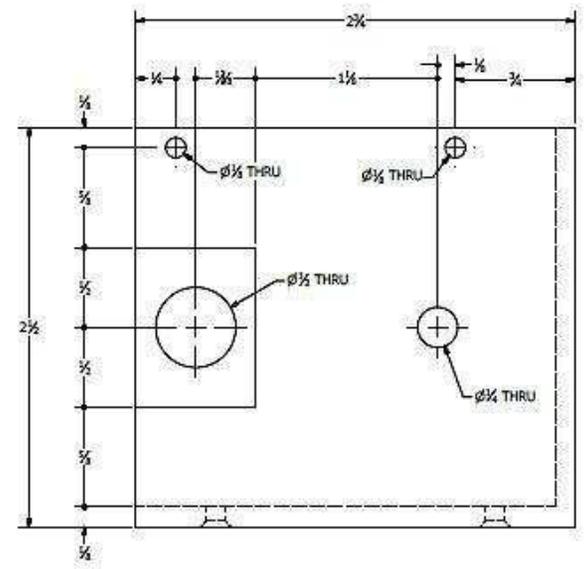
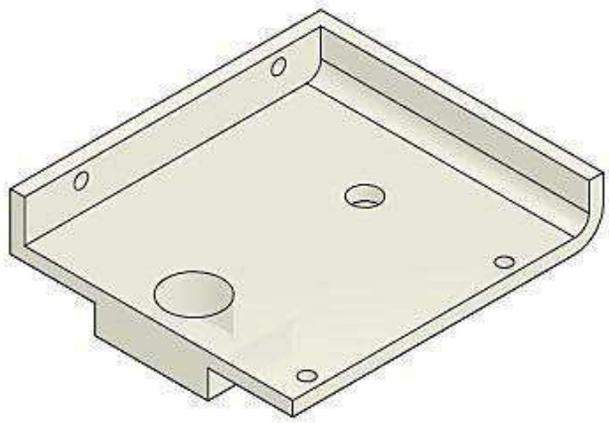
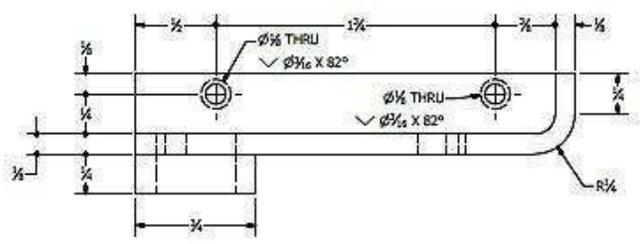
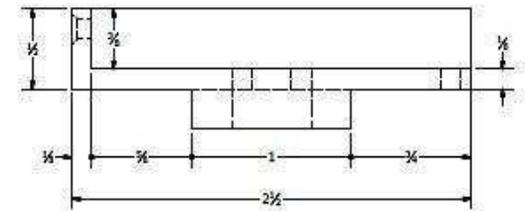


m = 0.6 mm las dos poleas

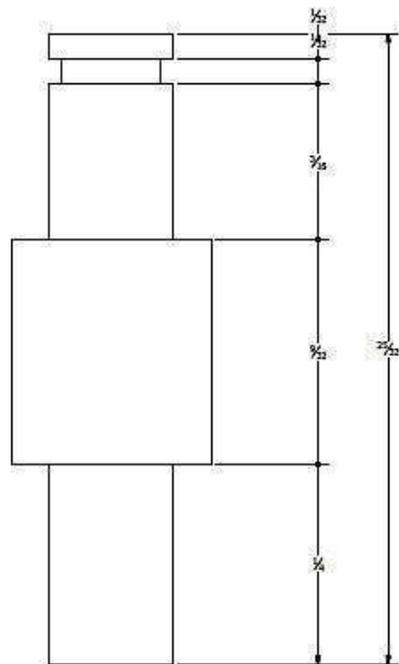
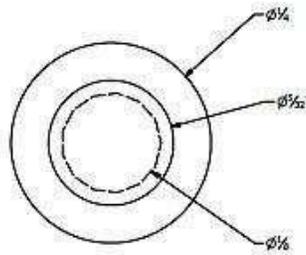
**Z1=16
Z2=24**

**D1 = 9.6 mm
D1 = 14.4 mm**

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS EN SITU		
	Descripción: POLEA DENTADA PDZ		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Material: NYLAMID M	No. Plano: 29
Revisó: JCP	Cota: W	No. Partes: 1 C/U	Fecha: 09/04/2012

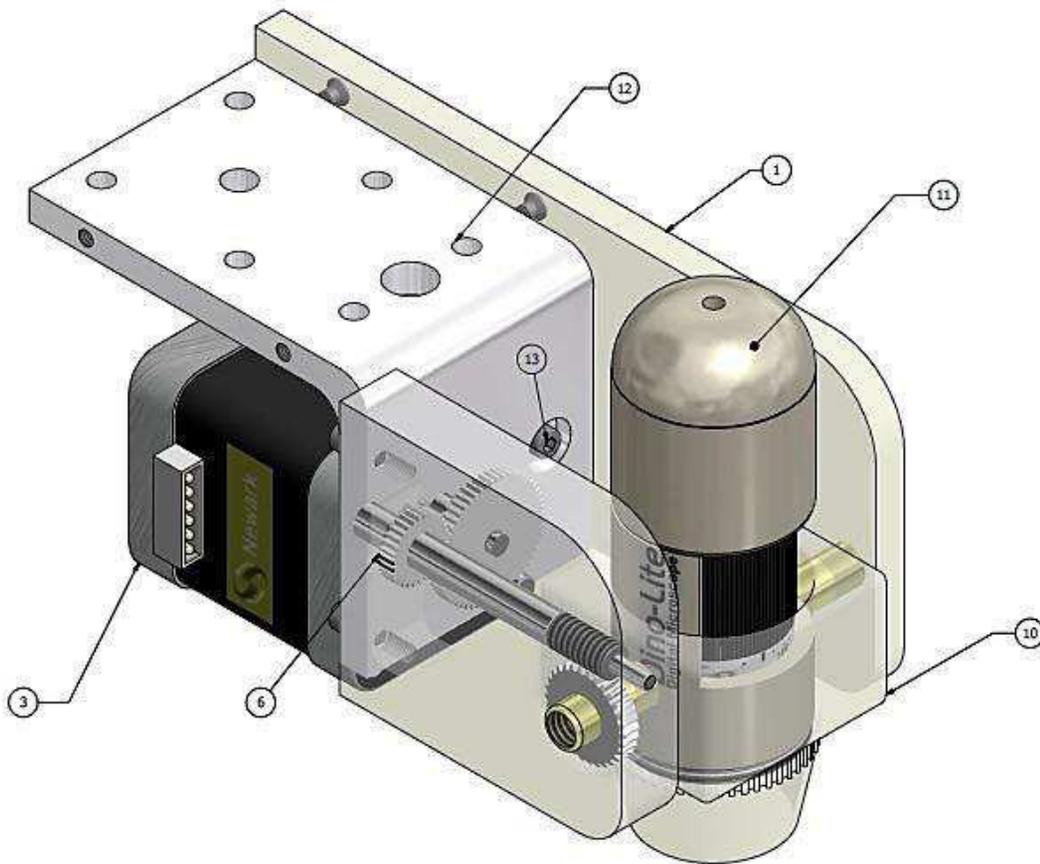


	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO MECANICO-OPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: GUARDA DE TRANSMISION Z		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 2 : 1	Material: ACRILICO TRANSPARENTE	No. Plano: 30
Revisó: JCP	Cotó: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



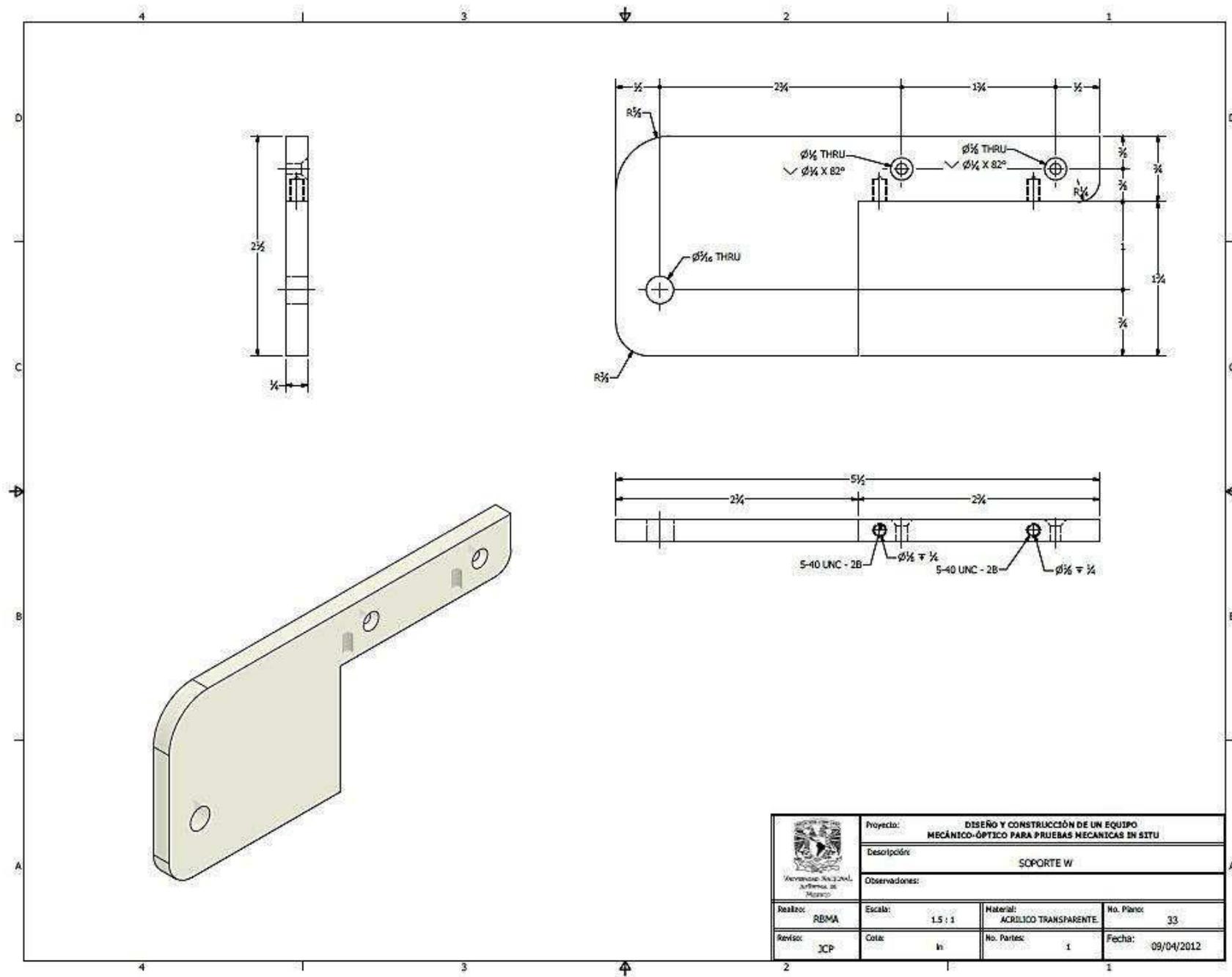
 Universidad Nacional del Táchira Maracaibo	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: EJE ENGRANE A-W		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 10 : 1	Material: ACERO INOXIDABLE.	No. Plano: 31
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012

Sub-ensamble de movimiento “W”

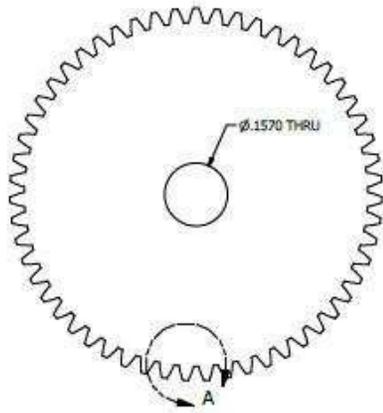


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	SOPORTE W
2	1	SOPORTE TPW
3	1	MOTOR 4-W
4	1	EJE ENGRANE A-W
5	1	ENGRANE A-W
6	1	ENGRANE B-W
7	1	FLECHA TPW
8	1	SIN FIN 1-W
9	1	ENGRANE C-W
10	1	SOPORTE MICROSCOPIO
11	1	MICROSCOPIO DINO LITE
12	1	SOPORTE L-ZW
13	4	ANSI B18.3 - No. 5 - 40 UNC - 1/4 HS HCS
14	2	ANSI B18.6.3 - 4-40 UNC x 0.25

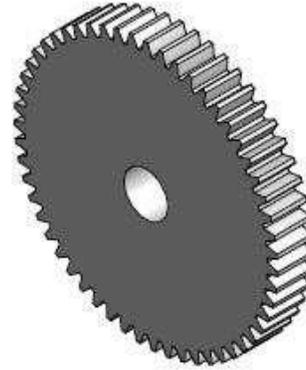
 Secretaría de Educación del Estado de México	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS EN SITU		
	Descripción: SUB-ENSAMBLE DE MOVIMIENTO * W *		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 2 : 1	Material: -----	No. Plano: 32
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 13	Fecha: 09/04/2012



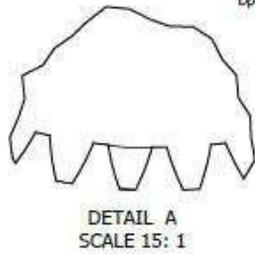
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTANDARES Y TECNOLOGÍA	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: SOPORTE W		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 1.5 : 1	Material: ACRILICO TRANSPARENTE	No. Plano: 33
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



ENGRANE A-W1

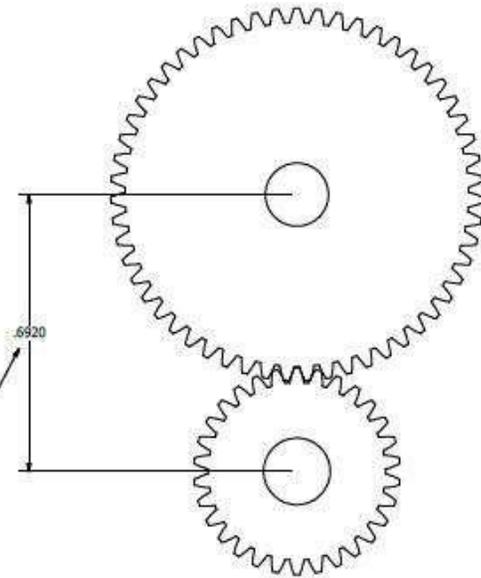


DIAMETRO DE PASO
Dp=0.8885 in

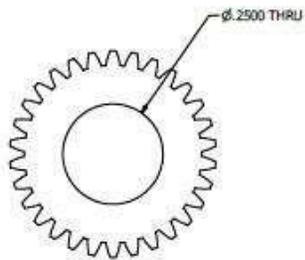


PASO DIAMETRAL
P=61.8973 ul/in (DIENTES POR PULGADA)
MODULO
m=0.4103 mm

DISTANCIA ENTRE CENTROS



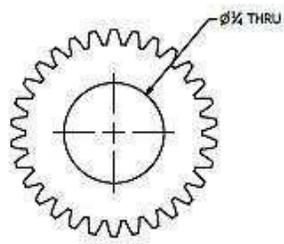
PIÑON W



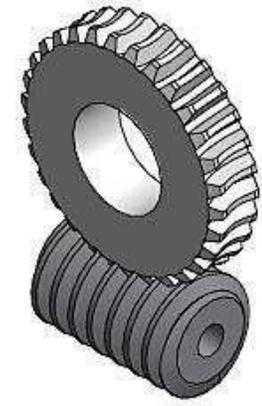
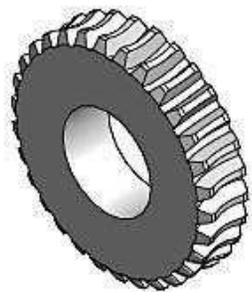
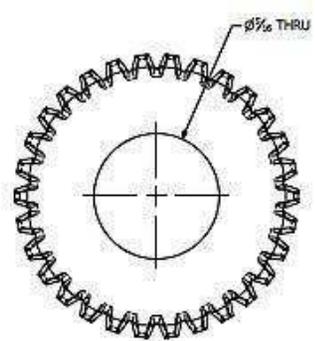
DIAMETRO DE PASO
Dp=0.4846 in



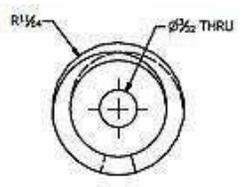
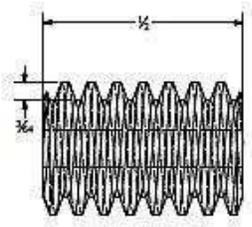
 Universidad Nacional Autónoma de México	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: ENGRANE A-W, PIÑON W		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: S : 1	Material: NYLADID H	No. Plano: 35
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1 CU.	Fecha: 09/04/2012



ENGRANE B-W
 PASO DIAMETRAL
 $P=61.8973$ ul/in (DIENTES POR PULGADA)
 MODULO
 $m=0.4103$ mm
 DIAMETRO DE PASO
 $Dp=0.4846$ in
 NUMERO DE DIENTES
 $Z=30$

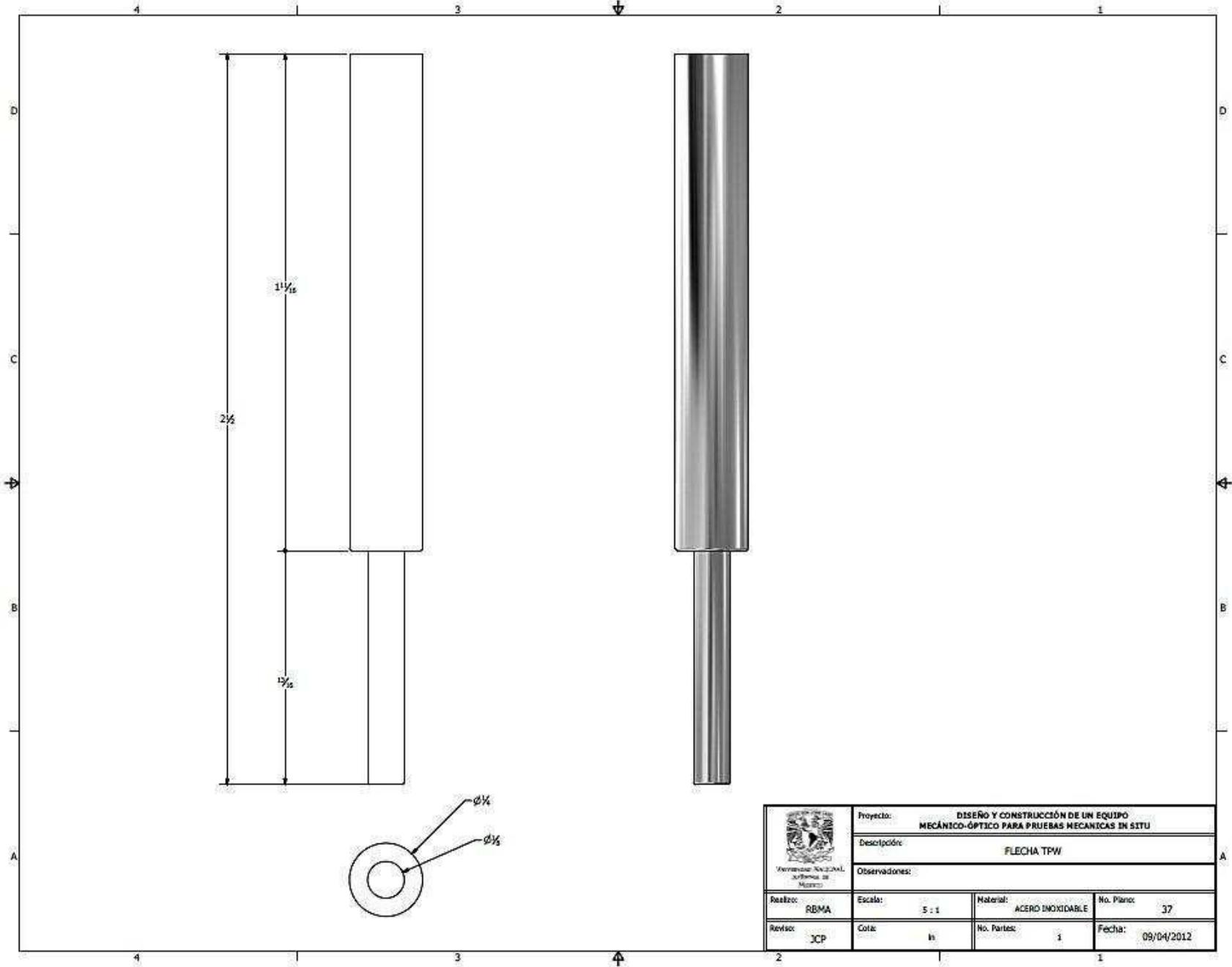


ENGRANE C-W
 DIAMETRO DE PASO
 $Dp=0.59$ in
 MODULO
 $m=0.5$ mm
 NUMERO DE DIENTES
 $Z=30$
 ALTURA DE DIENTE
 $h=1.083$ mm

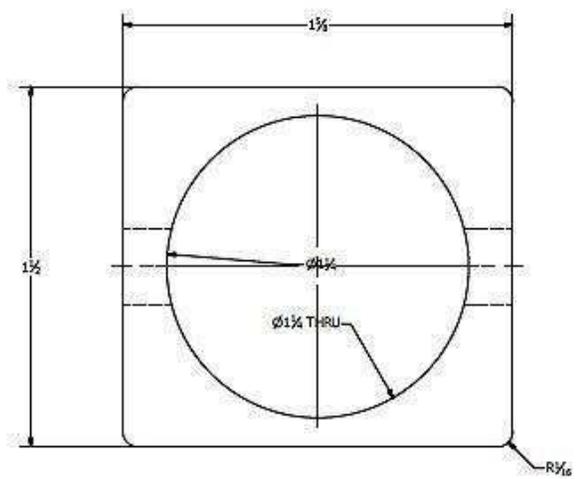
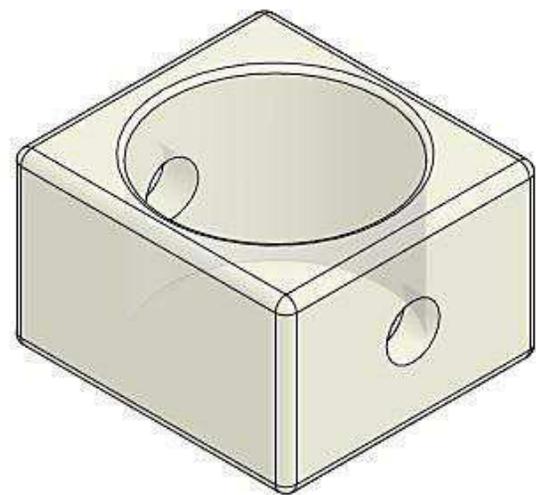
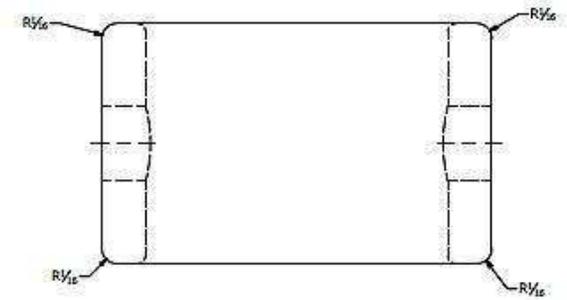
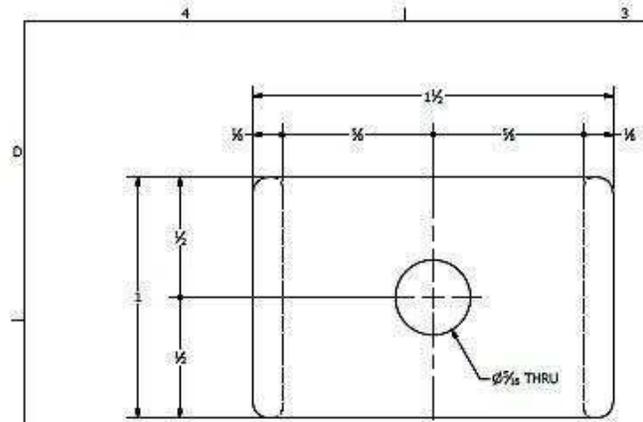


SIN FIN 1-W
 PASO DIAMETRAL
 $dp=3.815$
 MODULO
 $m=0.5$ mm
 PASO APARENTE
 $Pa=1.58$ mm
 ALTURA DEL FILETE
 $h=1.0835$ mm

 SECRETARÍA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU			
	Descripción: ENGRANE B-W, ENGRANE C-W, SIN FIN 1-W			
	Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Material: NYLAMID M	No. Plano: 36	
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1 C/U	Fecha: 09/04/2012	

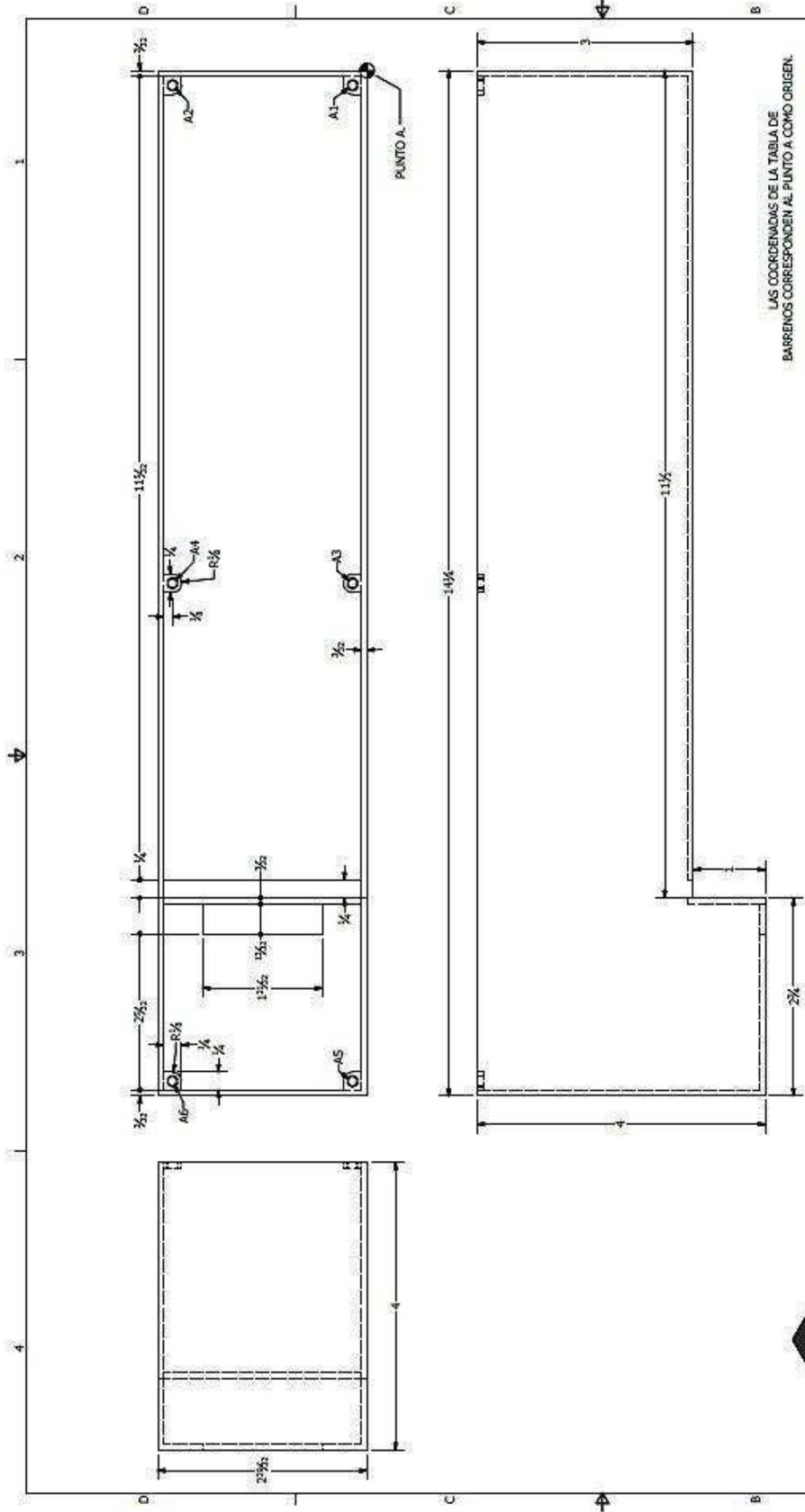


 Instituto Nacional de Metrología	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU		
	Descripción: FLECHA TPW		
	Observaciones:		
Realizó: RBMA	Escala: 5 : 1	Material: ACERO INOXIDABLE	No. Plano: 37
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



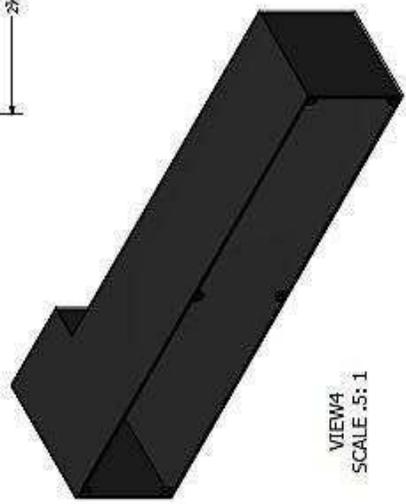
<p>INMETRO Instituto Nacional de Metrología</p>	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU			
	Descripción: SOPORTE MICROSCOPIO			
	Observaciones:			
Realizó: RBMA	Escala: 3 : 1	Material: ACRILICO TRANSPARENTE	No. Planos: 38	
Revisó: JCP	Cota: in	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012	

Caja de conexiones



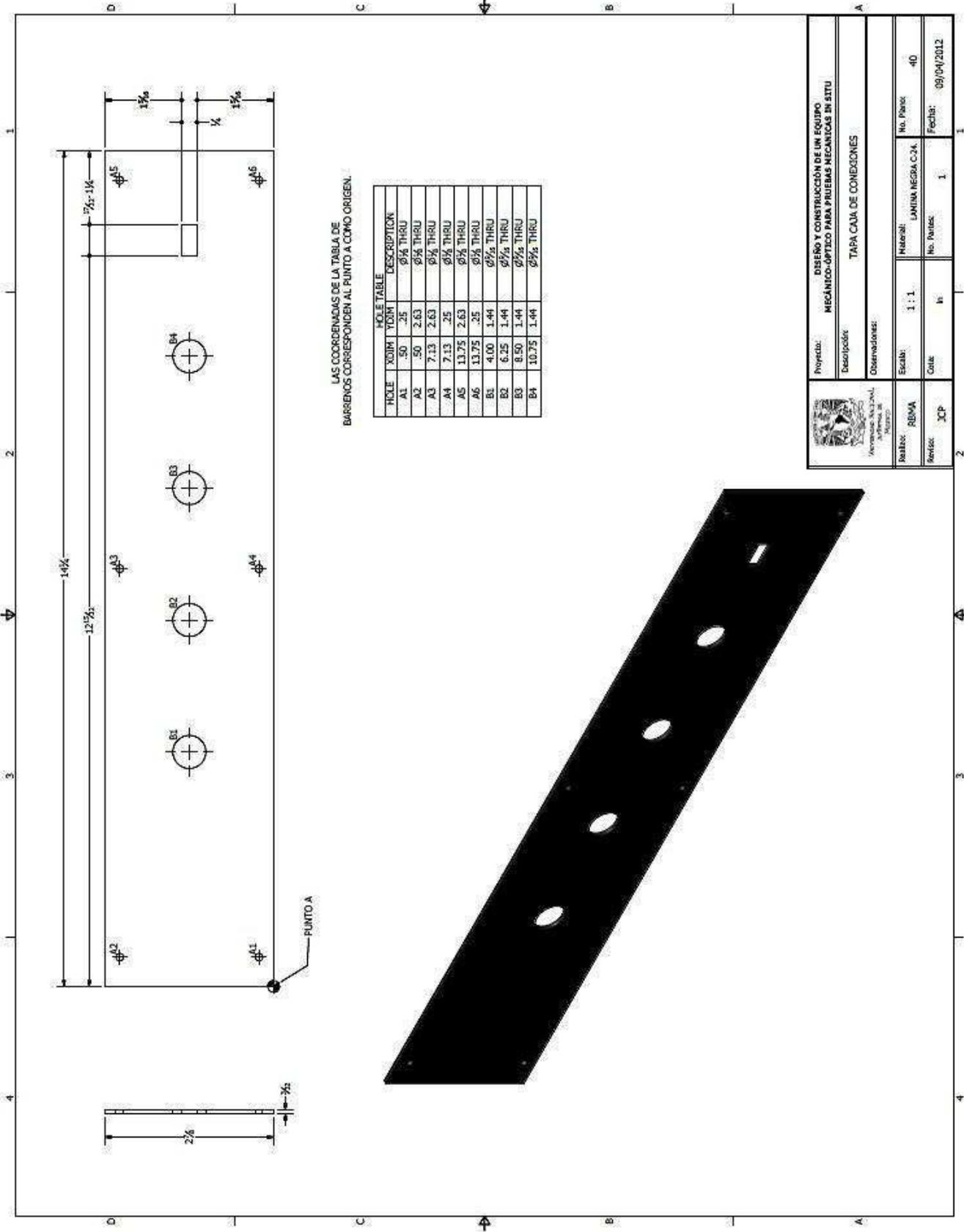
LAS COORDENADAS DE LA TABLA DE BARRENOS CORRESPONDEN AL PUNTO A COMO ORIGEN.

HOLE	X DIM	Y DIM	DESCRIPTION
A1	-20	.20	$\varnothing 1/8 \pm 1/32$
A2	-20	2.70	$\varnothing 1/8 \pm 1/32$
A3	-7.13	.20	$\varnothing 1/8 \pm 1/32$
A4	-7.13	2.70	$\varnothing 1/8 \pm 1/32$
A5	-14.05	.20	$\varnothing 1/8 \pm 1/32$
A6	-14.05	2.70	$\varnothing 1/8 \pm 1/32$



VIEW4
SCALE :5:1

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU	Descripción: CAJA DE CONEXIONES	
	Observaciones:	Material: LAMINA NEGRA C24	No. Partes: 39
Escala: 1:1	Revisión: JCP	No. Partes: 1	Fecha: 09/04/2012



LAS COORDENADAS DE LA TABLA DE BARRIENOS CORRESPONDEN AL PUNTO A COMO ORIGEN.

HOLE	XOIM	YOIM	DESCRIPTION
A1	.50	.25	Ø 1/4 THRU
A2	.50	2.63	Ø 1/4 THRU
A3	7.13	2.63	Ø 1/4 THRU
A4	7.13	.25	Ø 1/4 THRU
A5	13.75	2.63	Ø 1/4 THRU
A6	13.75	.25	Ø 1/4 THRU
B1	4.00	1.44	Ø 3/8 THRU
B2	6.25	1.44	Ø 3/8 THRU
B3	8.50	1.44	Ø 3/8 THRU
B4	10.75	1.44	Ø 3/8 THRU

	Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO MECÁNICO-ÓPTICO PARA PRUEBAS MECANICAS IN SITU	
	Descripción: TAPA CAJA DE CONEXIONES	
Observaciones:		
Material: 304A	Escala: 1 : 1	No. Parte: 40
Revisión: JCP	Cal: IN	Fecha: 09/04/2012

II.- Microscopio digital

Dino-Lite AM-413ZT

Dino-Lite Portable Digital Microscope / Polarized Camera



Model : AM413ZT (Polarized)

- Handheld Digital Microscope
- Built in Polarizing kit can be switched on/off
- "Micro-Touch" (trigger button)
- Measurement feature with calibration (not available on Mac OS)
- USB 2.0 Output, 1.3M / Resolution 1280x1024
- Magnification: 10x - 70x, ~ 230x
- In VGA Mode effective magnification rate can reach 330x with digital "zoom in"

Description			
Product Number	AM413ZT	Magnification	10~70x, ~230X Adjustable
Warranty Period	1 Year	Pixels	1.3M
Condition	New	Resolution	1280x1024
Packaging	Retail Box	Data Output	USB 2.0

Product Applications

The AM413ZT (polarized) model is designed to reduce the effects of glare and to help eliminate "hot spots" from highly reflective surfaces and providing uniform illumination to bring out more surface detail with minimal glare.

The Dino-Lite Polarizing system can be switched on/off or can be adjusted to offer full or half polarization, providing the versatility required for use in the Dermatology - Skin or Scalp check, for diagnosis, cosmetic, follow up, hair loss treatment, etc. As well biomedical, printing/graphic arts, surface analysis and a variety of other fields.

The 1.3 mega pixel resolution AM413ZT also comes with the calibrated measurement feature and all of the other standard features found in the Dino-Lite line of digital microscopes including the "DinoCapture" software which enables you to "capture" either a photograph, video or time-lapsed video with a simple click!

Features/Specifications:

General Features:

- “Micro-Touch” (trigger button)
- USB 2.0 Output, 1.3M / Resolution 1280x1024
- Magnification: 10~70x, ~230X Adjustable
- Measurement with calibration features (not available on Mac OS)

Technical Specifications:

- “Micro-Touch” (trigger button)
- USB 2.0 Output, 1.3M / Resolution 1280x1024
- 10~70x, ~230X Adjustable
- Effective magnification rate can reach 330x (VGA Mode only) with digital "zoom in"
- Sensor: 1/3" Color CMOS
- Video frame Rate: up to 30 frame-per-second
- Illumination: Built-in 8 white LEDs
- LED on/off controlled by software
- Save File format: BMP, JPG, AVI
- Compatible Windows 2000/XP, Vista and most MAC OS
- Measurement with calibration features (not available on Mac OS)

Microscope Dimensions and Weight:

- Body length: 4 inches / 10.2 cm
- Body Diameter: 1.28 inches / 3.3cm max.
- Cable length: 6 feet / 180 cm

Mechanical Layout:

- Body with USB cable: 95g +/- 10g
- Total package weight: 280g +/- 20g (not including manual)

Regulatory Approvals:

- CE, FCC, ROHS

Package includes:

- DinoLite digital microscope
- Application Software CD
- Cradle Stand
- Deluxe storage bag

Additional Information:

Polarizing kit can be switched on/off or can be adjusted to offer full or half polarization

Product Requirements:

- Intel Pentium 4 2.4 G MHz processor or faster
- Windows 2000/XP, Vista
- 512 MB RAM
- CD-ROM drive
- 16-bit color display monitor or higher
- Available USB 2.0 port

III.- Coeficientes de fricción

Coeficientes de fricción

Materiales	Coef. de Fricción Estática μ_s	Coef. de Fricción Cinética μ_k
Acero - Acero	0.74	0.57
Aluminio - Acero	0.61	0.47
Cobre - Acero	0.53	0.36
Latón - Acero	0.51	0.44
Cinc - Hierro colado	0.85	0.21
Caucho - Concreto	1.0	0.8
Madera - Madera	0.25-0.5	0.2
Vidrio - Vidrio	0.94	0.4
Cobre - Vidrio	0.68	0.53
Hielo - Hielo	0.1	0.03
Teflón - Teflón	0.04	0.04
Teflón - Acero	0.04	0.04

Referencias

Referencias

LIBROS

1. William D. Callister, Jr. "Materials Science and Engineering An Introduction" Department of Metallurgical Engineering the University of Utah. John Wiley & Sons, Inc. 2007.
2. David B. Williams, C. Barry Carter. "Transmission Electron Microscopy". A Textbook of Materials Science. Springer. 2009.
3. Joseph Edward Shigley. "Diseño en ingeniería mecánica" segunda edición traducción al español MacGraw-Hill Book, 1980.
4. Robert L. Norton. "Diseño de maquinas". Prentice Hall, México, 1999.
5. Joseph Edward Shigley y John Joseph Uicker Jr. "Teoria de maquinas y mecanismos". MacGraw-Hill (1988).
6. Arthur G. Erdman y George N Sandor. "Diseño de mecanismos, analisis y síntesis". 3ª Ed. Prentice Hall, Mexico 1998.
7. Virgil Moring Faires. "Diseño de elementos de maquinas". Edit. Limusa, 2002.
8. García Castillo Fernando Nestor. Tesis de licenciatura, Diseño y construcción de un equipo didáctico para el estudio de reacciones en armaduras, 2004.
9. Estrada Arcos Martín. Tesis de licenciatura, Diseño y desarrollo del hardware y software para un equipo mecánico-óptico para pruebas de flexión in situ en materiales, 2011.

PAGINAS DE INTERNET

10. <http://www.struers.com>
11. <http://www.come-tech.com.tw/>
12. <http://www.instron.com.es>
13. http://www.gunt.de/static/s1_1.php
14. <http://mexico.newark.com/stepper-motors>
15. <http://www.skf.com>
16. <http://www.thk.com>
17. <http://www.edibon.com>
18. <http://www.correasplanas.com>
19. http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm
20. <http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>
21. <http://www.dino-lite.com>
22. http://medias.ina.de/medias/es!hp.tg.cat/tg_wf*ST4_307653387;bcx-LfTRS0D-
23. www.boschrexroth.com/brl
24. <http://es.wikipedia.org>
25. <http://www.zaber.com/>
26. <http://recursostic.educacion.es>

ARTICULOS, PUBLICACIONES Y MANUALES

27. García F. N. Amigo V., Cortés J., Sánchez-Arévalo F. M., González J. G., Flores H. Application of the EBSD in the study of stress induced martensitic transformation in shape memory alloys. XIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos PMS2012 (Alcoy-Alicante). Pp.4, 6. 2012.
28. S. Berveiller. B. Malard, J. Wright, E. Patoor and G. Geandier In situ synchrotron analysis of lattice rotations in individual grains during stress-induced martensitic transformations in a polycrystalline CuAlBe shape memory alloy. Acta Materialia 59 (2011) 3636–3645.
29. M. Moscicki. H. Pinto, C. Paulman, A. Borbely and A.R. Pyzalla. IN-SITU INVESTIGATION OF GRAIN ROTATIONS DURING TENSILE STRAINING OF STEEL WIRES. JCPDS-International Centre for Diffraction Data 2009 ISSN 1097-0002.

30. M. T. Ochoa-Lara, H. Flores-Zuñiga D. Rios-Jara and G. Lara-Rodríguez. In situ X-ray study of order–disorder phase transitions in Cu–Al–Be melt spun ribbons. Springer Science+Business Media, LLC 2006.
31. B. Kaouache. S. Berveiller, K. Inal, A. Eberhardt, E. Patoor. Martensitic transformation criteria in Cu–Al–Be shape memory alloy—In situ analysis. *Materials Science and Engineering A* 438–440 (2006).
32. Manual de rodamientos lineales. Bosch Rexroth AG, Linear Motion and Assembly Technologies Ernst-Sachs Straße 100 97424 Schweinfurt, Alemania.
33. Norma ASTM E290-97a Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility.
34. Norma E 190 – 92 Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds.
35. Norma E 8M – 04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric].
36. Norma D 143 – 94 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.