



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

DISEÑO DE EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DE  
PRUEBAS A MÁRMOL PRODUCIDOS EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A:

LLANITO PATIÑO JOSÉ JUAN



MEXICO

ASESOR  
M. en I. JACINTO CORTÉS PÉREZ

2007



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.

*Dedicada a:*

*Dios, por darme oportunidad de seguir en este mundo y darme la gran dicha de saber que estamos esperando el nacimiento de nuestra hija.*

*Mis padres y abuelos, por darme su apoyo, paciencia y comprensión durante toda la vida.*

*Mi esposa, la cual siempre me ha impulsado para seguir adelante.*

*Mis hermanos, ya que siempre he contado con ellos en las buenas y especialmente en las malas.*

*Mi asesor, el cual no solo se involucra con sus alumnos en el aspecto académico sino que también en personal.*

*Mis amigos y compañeros, por sus observaciones, comentarios, apoyo personal y académico, ya que sin proponérselo me han hecho sentir parte de un gran equipo. Especialmente a:  
Aldo, Arturo, Carlos, Raúl y Toño.*

<b>Indice</b>	pag.
<b>Introducción</b> . . . . .	1
<b>Objetivo</b> . . . . .	3
Prueba de flexión	
Prueba de cortante; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Hipótesis</b> . . . . .	4
<b>Metodología</b> . . . . .	5
Capitulado	
<b>Capítulo 1 Antecedentes Teóricos (Propiedades mecánicas del mármol).</b>	6
1.1 Definición y clasificación de rocas . . . . .	6
1.2 Definición y clasificación de mármoles . . . . .	10
1.3 Caracterización del mármol . . . . .	13
1.4 Pruebas estándar aplicadas al mármol . . . . .	16
1.5 Aplicaciones del mármol . . . . .	20
<b>Capítulo 2.- Diseño conceptual de equipos para la realización de pruebas al mármol</b> . . . . .	21
2.1 Equipo para realizar la prueba de flexión en tres puntos . . . . .	22
2.2 Pruebas de flexión con ancla . . . . .	23
2.3 Prueba de cortante . . . . .	25
2.4 Instrumentos de medición . . . . .	27
<b>Capítulo 3.- Diseño de detalle</b> . . . . .	29
3.1 Prueba de flexión en tres puntos . . . . .	29
3.2 Pruebas de flexión con ancla . . . . .	37
3.3 Prueba de cortante . . . . .	53
3.4 Sensores de carga e instrumentos de medición . . . . .	63
<b>Capítulo 4.- Pruebas a los prototipos y discusión de resultados.</b> . . . . .	70
Conclusiones . . . . .	71
Anexo	
Norma ASTM C 99 . . . . .	73
Norma ASTM C 1354 . . . . .	77
Planos de los equipos para realizar pruebas a mármol	
ASTM C 99 . . . . .	85
ASTM C 1354 (Método 1) . . . . .	93
ASTM C 1354 (Método 4) . . . . .	104
Bibliografía . . . . .	126

## **Introducción**

Actualmente, existen algunas regiones en el país en las que se forman, de manera natural, mármoles con diferentes características. Entre dichas regiones se encuentra una en el poblado denominado Tepexi de Rodríguez, Puebla, en el que existen una buena cantidad de personas dedicadas a su extracción, laminación y comercialización. Entre los productores se encuentran desde familias que realizan dicha actividad de manera artesanal hasta un par de empresas que lo hace de manera industrial. De hecho, el número de productores de mármol de la región es tan importante que el gobierno del estado ha aprobado un proyecto de construcción y equipamiento de un Centro Tecnológico de Estudios del Mármol en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tepexi de Rodríguez. Dicho centro tendrá como fin la realización de pruebas de control de calidad a los productos fabricados por los productores de la región. Las pruebas que realizarán son en general pruebas mecánicas y petrográficas según normas de la ASTM<sup>1</sup>. La realización de estas pruebas permitirá a los productores clasificar sus productos y comparar su calidad con la de otros fabricados en diferentes partes del mundo. Claramente, la realización de dichas pruebas abren a los productores de la región la posibilidad de competir en mercados internacionales o bien la certificación de sus productos.

Es importante mencionar que, en general en dicha región se obtienen 3 tipos diferentes de mármoles los cuales han sido denominados: rojo tepexi, trabertino y dorado tepexi. Estos tipos de mármoles presentan diferentes características físicas y visuales por lo que las complicaciones para su extracción y procesamiento difieren entre sí. Así mismo, dichos mármoles son recomendados para aplicaciones distintas como son en algunos casos para pisos y en otros como recubrimientos de muros. Así mismo, dependiendo de la aplicación del mármol, a menudo se requieren diferentes acabados y resistencia mecánica. Es claro que dichas características de los productos requieren ser cuantificadas y por ello es necesario realizar pruebas preferentemente bajo norma.

Se sugirieron las siguientes normas ASTM, ya que éstas son las más requeridas para el mercado internacional:

- C 1354 Standard test method for strength of individuals stone anchorages in dimension stone. (Método estándar de prueba para resistencia de anclajes individuales en piedras<sup>2</sup>).
- C-99 Standard test method for modulus of rupture of dimension stone. (Método de pruebas estándar para el módulo de ruptura de piedras)
- C-170 Standard test method for compressive strength of dimension stone. (Método de pruebas estándar para resistencia a la compresión en piedras)
- C-241 Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic. (Método de pruebas estándar para la resistencia a la abrasión en piedras sujetas a tránsito de personas)
- C-880 Standard test method for flexural strength of dimension stone. (Método de pruebas estándar para resistencia a la flexión de piedras)

---

<sup>1</sup> American Society for Testing and Materials

<sup>2</sup> Se llamará piedra a la roca con ciertas dimensiones geométricas

- E-303 Standard test method for measuring surface frictional properties using the British pendulum tester. (Método de pruebas estándar para medir las propiedades de fricción utilizando el probador de péndulo británico)
- E-831 Standard test method for linear thermal expansion of solid materials by thermo mechanical analysis. (Método de pruebas estándar para la expansión térmica lineal de materiales sólidos por análisis termomecánico)
- C-666 Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing. (Método de pruebas estándar para la resistencia del concreto al congelamiento y descongelamiento rápido)

Por razones prácticas y de disponibilidad, han sido adoptas las siguientes normas ASTM: C-1354 (procedimientos 1 y 4) y la C-99.

Cabe destacar que dichas normas fueron generadas para rocas por lo tanto es conveniente su aplicación, ya que el mármol es una roca metamórfica, como se verá en el capítulo 1.

Como es bien sabido, en México existen pocas empresas dedicadas al diseño y construcción de equipos para la realización de pruebas mecánicas como las que requieren los mármoles de la región de Tepexi de Rodríguez por lo que los productores y las autoridades decidieron adquirir dichos equipos en el extranjero. Sin embargo, el costo de los mismos dificulta las posibilidades de adquirir más de uno por lo que surgió la propuesta, por parte del laboratorio de Ingeniería Mecánica del Centro Tecnológico Aragón, de diseñar y construir algunos de dichos equipos a un costo menor con lo cual, se abre la posibilidad de que varias de las empresas puedan contar con ellos así como la de que el Instituto Tecnológico de Tepexi de Rodríguez cuente con un laboratorio para entrenamiento de sus estudiantes.

## **Objetivo**

- Diseñar, construir e instrumentar los siguientes equipos para la realización de pruebas mecánicas a los mármoles de la región según las especificaciones ASTM:
  - C-99 Standard test method for modulus of rupture of dimension stone (Método estándar de pruebas para el módulo de ruptura de rocas dimensionadas).
  - C-1354 Standard test method for strength of individuals stone anchorages in dimension stone (Método estándar de prueba para resistencia de anclajes individuales en rocas dimensionadas). Procedimientos 1 y 4.

## **Prueba de flexión**

Es de interés conocer el esfuerzo admisible que soporta la piedra, en éste caso el mármol, ya que a menudo es utilizado en pisos o en estructuras donde es necesario el conocimiento del mismo. Para llevar a cabo éste estudio se diseñarán equipos que sean capaces de realizar éste tipo de pruebas. De tal modo se seleccionó la norma ASTM C-1354 Procedimiento 1 y 4, y la norma ASTM C-99 como bases para el diseño de los equipos.

Las normas ASTM C-99 y C-1354-1, tienen como finalidad dar a conocer la resistencia última a la fractura de rocas mediante pruebas de cortante y de flexión.

## **Prueba de cortante**

Ya que se utilizan métodos muy variados de anclaje en mármoles, por ejemplo cuando se coloca un taquete y tornillo en algún muro para la colocación de adornos o accesorios, es necesario conocer el esfuerzo último al cortante, el cual nos lo dará el equipo que sugiere la norma ASTM C-1354-4 mediante ensayos a cortante.

## ***Hipótesis***

Los equipos diseñados cumplirán las siguientes funciones y/o requerimientos:

- a) Permitirán realizar las pruebas correspondientes en muestras de mármoles cuyas dimensiones sean las que exigen las normas ASTM.
- b) Mostrarán en una pantalla (display) los valores de carga, desplazamiento, energía, etc., aplicados y/o disipados durante la prueba.
- c) Cumplirán requisitos para máquinas de pruebas de la norma ASTM E-4.



## **Metodología**

- Caracterización del mármol
- Obtener de literatura las propiedades mecánicas del mármol.
- Consultar las normas ASTM correspondientes.
- Determinación de los requisitos de equipos.
- Presentación de ideas para las posibles estructuras de los equipos
- Selección de la mejor solución.
- Realización de cálculos para el diseño de los equipos.
- Elaboración de planos.
- Construcción de los equipos.
- Pruebas a prototipos
- Realización de pruebas al mármol en cuestión mediante otros métodos.
- Conclusiones.

Los equipos que se diseñarán consistirán básicamente de estructuras metálicas de soporte, que serán construidas principalmente de acero al carbono. La geometría de las estructura y/o sus partes serán definidas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM en cuestión, minimizando la complejidad de las mismas para lograr una fácil manufactura y por lo tanto un menor costo de producción. Las partes serán (en lo posible) intercambiables, para brindar una mayor flexibilidad entre máquinas. Los equipos deberán ser robustos, ya que los fines para los cuales serán diseñados así lo exigen.

Los sensores de carga, desplazamientos, energía, serán diseñados y construidos empleando preferentemente la tecnología de galgas extensométricas en arreglos de puente completo.

Los dispositivos de medición y registro serán diseñados y construidos empleando el principio del vólmetro acoplado a un puente de Wheatston.

## **Capitulado**

### **Capítulo 1 Antecedentes Teóricos (Propiedades mecánicas del mármol).**

#### **1.1 Definición y clasificación de rocas**

Roca, en geología y geomorfología, es cualquier agregado mineral formado de modo natural. El término se aplica a agregados de distintos tamaños, desde la roca sólida del manto terrestre hasta la arena y la arcilla o barro. Las rocas se clasifican según sus orígenes en rocas **sedimentarias**, rocas **metamórficas** y rocas **ígneas**.

##### ***1.1.1 Rocas sedimentarias***

Las rocas sedimentarias están compuestas por materiales transformados, formadas por la acumulación y consolidación de materia mineral pulverizada, depositada por la acción del agua y, en menor medida, del viento o del hielo glaciar. La mayoría de las rocas sedimentarias se caracterizan por presentar lechos paralelos o discordantes que reflejan cambios en la velocidad de sedimentación o en la naturaleza de la materia depositada. Las rocas sedimentarias se clasifican según su origen en detríticas o químicas. Las rocas detríticas o fragmentarias, se componen de partículas minerales producidas por la desintegración mecánica de otras rocas y transportadas, sin deterioro químico, gracias al agua u otro tipo de erosión. Son acarreadas hasta masas mayores de agua, donde se depositan en capas. Las lutitas, la arenisca y el conglomerado son rocas sedimentarias comunes de origen detrítico. Refiérase a la Figura 1.1 para ver una clasificación más detallada de rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias químicas se forman por sedimentación química de materiales que han estado en disolución durante su fase de transporte. La halita ( $\text{NaCl}$ ), el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y la anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) se forman por evaporación de disoluciones salinas y la consiguiente precipitación de las sales. En estos procesos de sedimentación también puede influir la actividad de organismos vivos, en cuyo caso se puede hablar de origen bioquímico u orgánico. Esto sucede, por ejemplo, con muchas calizas, y diversas rocas silíceas.

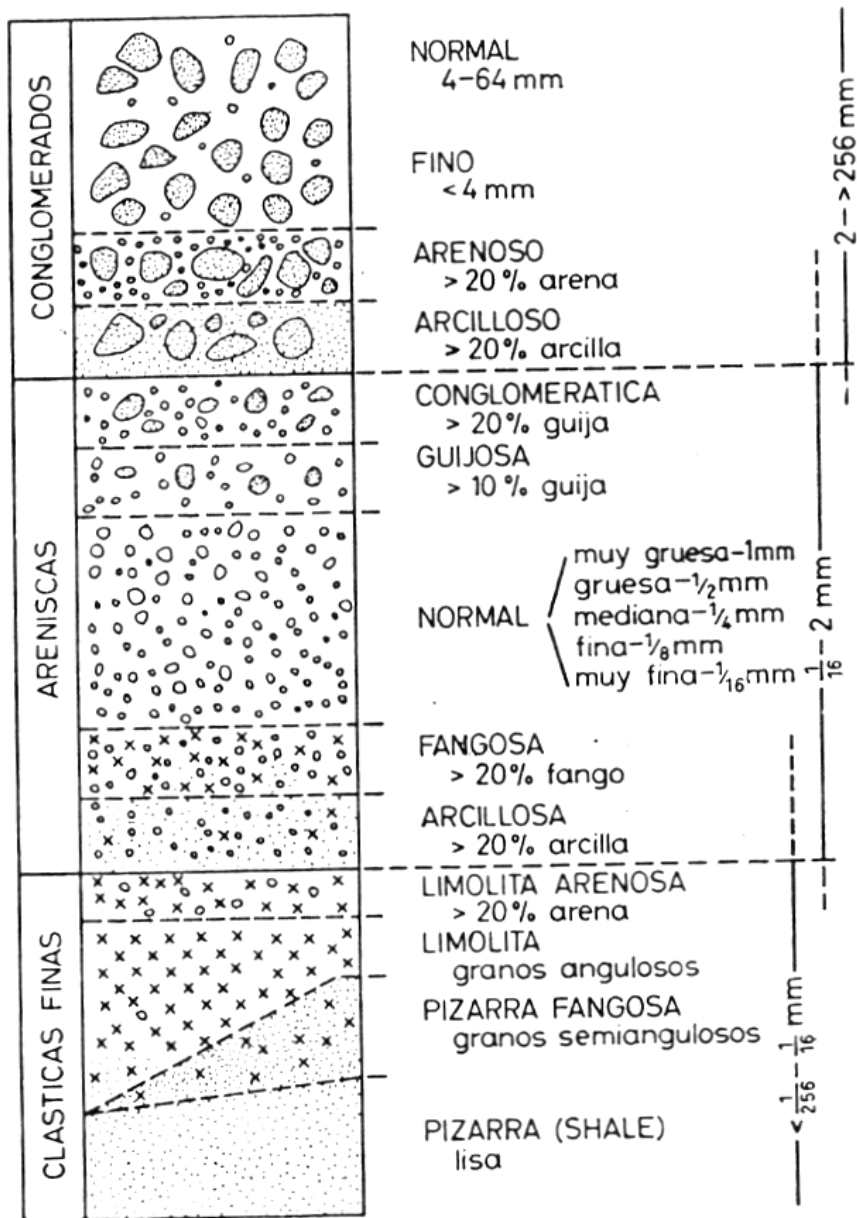
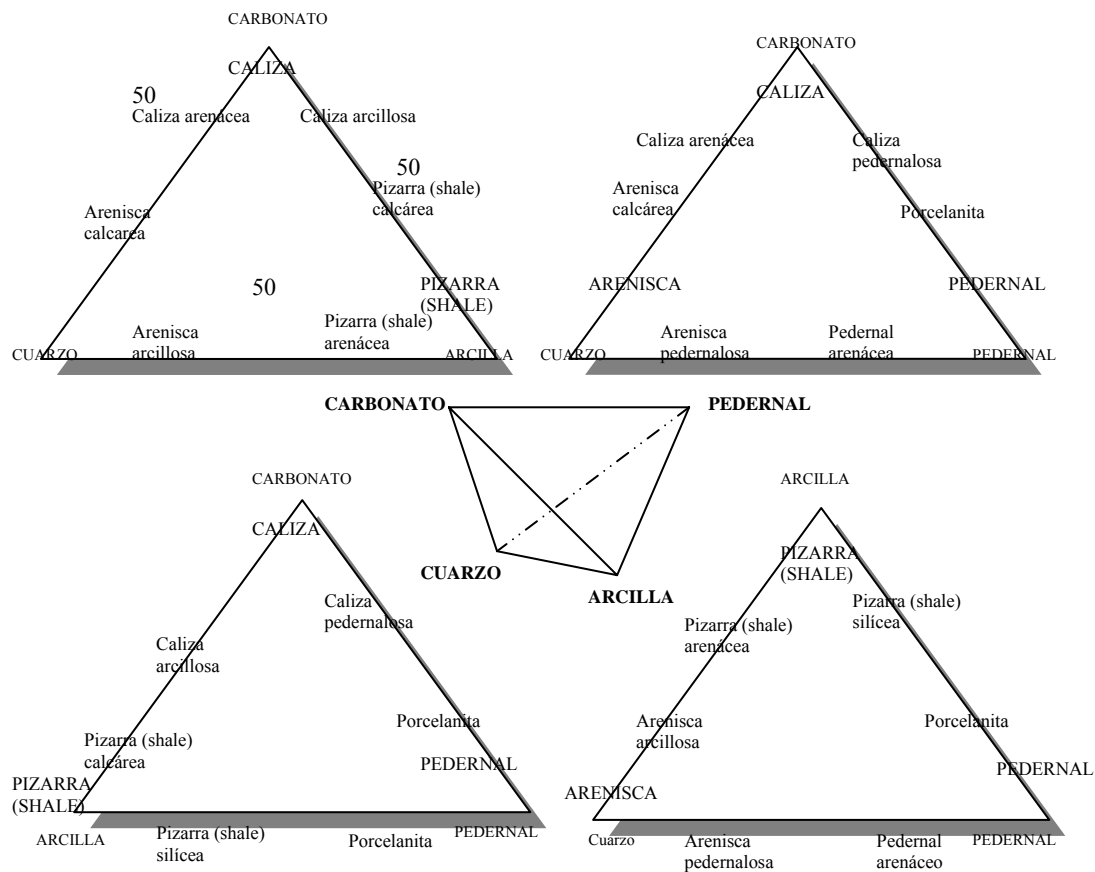


Figura 1.1. División textural macroscópica de las rocas sedimentarias, según su grado de tamaño.

La mayoría de las rocas sedimentarias son mezclas de componentes clásicos (formadas por medios mecánicos) o no clásicos (formadas por medios químicos o bioquímicos). Por ejemplo la mayoría de las areniscas contienen arcilla y material calcáreo mezclados; la mayoría de las calizas y las dolomitas contiene fracciones arcillosas o arenosas y la mayoría de las pizarras contiene carbonato, arena y elementos de fango.



**Figura 1.2. Las cuatro caras del tetraedro fundamental (al centro) para la clasificación de las rocas sedimentarias, mostradas en detalle.**

En la Figura 1.2 se representa el tetraedro fundamental de Pettijohn[1] mostrando los principales elementos constitutivos clásicos y no clásicos de los sedimentos. Los cuatro componentes más comunes, cuarzo<sup>1</sup>, arcilla<sup>2</sup>, carbonato<sup>3</sup> y pedernal<sup>4</sup>, ocupan los cuatro vértices del tetraedro, representando a la arenisca, la pizarra<sup>5</sup> (shale), la caliza<sup>6</sup> y los sedimentos silíceos formados químicamente. Cualquier sedimento que contiene más del 5% de estos cuatro miembros extremos se representa por un punto en el interior del tetraedro. Entre los sedimentos de los miembros extremos están las rocas de composición intermedia.

<sup>1</sup> Mineral formado por la sílice, de fractura concoidea, brillo vítreo, incoloro, cuando puro, y de color que varía según las sustancias con que está mezclado.

<sup>2</sup> Tierra finamente dividida, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que procede de la descomposición de minerales de aluminio, blanca cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene.

<sup>3</sup> Sal del ácido carbónico con una base.

<sup>4</sup> Variedad de cuarzo, que se compone de sílice con muy pequeñas cantidades de agua y alúmina. Es compacto, de fractura concoidea, translúcido en los bordes, lustroso como la cera y por lo general de color gris amarillento más o menos oscuro.

<sup>5</sup> Roca homogénea, de grano muy fino, comúnmente de color negro azulado, opaca, tenaz, y que se divide con facilidad en hojas planas y delgadas. Procede de una arcilla metamorfoseada por las acciones telúricas.

<sup>6</sup> Roca formada por carbonato de cal.

### **1.1.2 Rocas metamórficas**

Este tipo de rocas es de gran importancia debido a que es al cual pertenece el mármol. Su composición y textura originales han sido alteradas por calor y presión. Se producen como resultado del movimiento y presión entre dos bloques rocosos, recibe el nombre de dinamometamorfismo o metamorfismo cataclítico y tiene lugar en fracturas con movimiento (fallas) y produce trituración mecánica pero también calor por rozamiento. El metamorfismo producido por el calor o la intrusión de rocas ígneas recibe el nombre de térmico o de contacto. Finalmente, hay otro tipo de metamorfismo a gran escala, relacionado con la tectónica<sup>7</sup> de placas y la orogénesis<sup>8</sup> y motivado por los aumentos de presión y temperatura cercanos a la zona de colisión y subducción, que es el deslizamiento de una placa de la corteza terrestre por debajo del borde de la otra, que origina extensas zonas de rocas metamórficas.

Hay cuatro variedades comunes de rocas metamórficas que pueden provenir de rocas sedimentarias o de rocas ígneas, según el grado de metamorfismo que presenten, dependiendo de la cantidad de calor y presión a la que se han visto sometidas. Así, la lutita ( $\text{Cu}_2\text{Al}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})$ ) se metamorfiza en pizarra a baja temperatura, pero si es calentada a temperaturas lo suficientemente elevadas como para que se recristalicen sus minerales arcillosos formará laminillas de mica.

A temperatura y presión aún más elevadas, se produce una recristalización completa, que da lugar a esquistos<sup>9</sup> o gneis, rocas en las que el alineamiento de las laminillas de mica produce una textura laminar llamada foliación que se caracteriza por el aspecto laminado o bandeado de la roca. En los esquistos, los minerales de color claro (cuarzo y feldespato<sup>10</sup> sobre todo) están distribuidos homogéneamente entre las micas de color oscuro; el gneis, por el contrario, exhibe bandas de color características. Entre otros minerales formados por recristalización metamórfica, los silicatos de aluminio como la andalucita ( $\text{Al}_6\text{Al}_5\text{OSiO}_4$ ), la silimanita ( $\text{Al}_6\text{Al}_5\text{OSiO}_4$ ) y la cianita ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) son lo bastante característicos como para ser considerados para su diagnóstico o identificación.

Entre las rocas metamórficas no foliadas, las más comunes son la cuarcita y el mármol. La cuarcita es una roca dura, de color claro en la que todos los granos de arena de una arenisca se han recristalizado formando una trama de cristales de cuarzo imbricados entre sí. El mármol es una roca más blanda y frágil de colores variados debido a incrustaciones de minerales en la que se ha recristalizado por completo la dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) o la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) de la roca sedimentaria madre.

### **1.1.3 Rocas ígneas**

Las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y la solidificación de materia rocosa fundida, conocida como magma. Según las condiciones bajo las que el magma se enfríe, las rocas que resultan pueden tener granulado grueso o fino.

Las rocas ígneas se subdividen en dos grandes grupos: las rocas plutónicas o intrusivas, formadas a partir de un enfriamiento lento y en profundidad del magma; y las rocas

---

<sup>7</sup> Perteneciente o relativo a la estructura de la corteza terrestre.

<sup>8</sup> Parte de la geología que trata de la formación de las montañas.

<sup>9</sup> Roca de color negro que se divide con facilidad en hojas.

<sup>10</sup> Nombre común de diversas especies minerales, de color blanco, amarillento o rojizo, brillo resinoso o nacarado y gran dureza, que forman parte de rocas ígneas, como el granito. Químicamente son silicatos complejos de aluminio con sodio, potasio o calcio, y cantidades pequeñas de óxidos de magnesio y hierro.

volcánicas o extrusivas formadas por el enfriamiento rápido y en superficie, o cerca de ella, del magma.

Las rocas plutónicas, como el granito<sup>11</sup> y la sienita<sup>12</sup>, se formaron a partir de magma enterrado a gran profundidad bajo la corteza terrestre. Las rocas se enfriaron muy despacio, permitiendo así el crecimiento de grandes cristales de minerales puros. Las rocas volcánicas, como el basalto<sup>13</sup> y la riolita ( $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}, \text{Ti})_6(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{20}$ ) se forman al ascender magma fundido desde las profundidades llenando grietas próximas a la superficie, o al emerger magma a través de los volcanes. El enfriamiento y la solidificación posteriores fueron muy rápidas, dando como resultado la formación de minerales con grano fino o de rocas parecidas al vidrio.

Existe una correspondencia mineralógica entre la serie de rocas plutónicas y la serie volcánica, de forma que la riolita ( $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}, \text{Ti})_6(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{20}$ ) y el granito tienen la misma composición, del mismo modo que el gabro ( $\text{PbFe}^{++}(\text{AsO}_4)(\text{OH})$ ) y el basalto. Sin embargo, la textura y el aspecto de las rocas plutónicas y volcánicas son diferentes.

Las rocas ígneas, compuestas casi en su totalidad por minerales silicatos, pueden clasificarse según su contenido de sílice. Las principales categorías son ácidas o básicas. La razón de ello estriba en que proceden del enfriamiento de magmas con composición diferente y mayor o menor enriquecimiento en sílice. En el extremo de las rocas ácidas o silíceas están el granito y la riolita ( $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{++}, \text{Fe}^{+++}, \text{Ti})_6(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{20}$ ), mientras que entre las básicas se encuentran el gabro y el basalto. Son de tipo intermedio las dioritas y andesitas ( $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$ ).

## 1.2 Definición y clasificación de mármoles

Según Huang [4] los mármoles son rocas carbonatadas visiblemente recrystalizadas. Aunque a menudo se les llama “mármol”, éste término en la práctica comercial se refiere a cualquier roca de dureza semejante que pueda ser pulida para fines decorativos y por lo tanto no está restringido a la roca metamórfica. No obstante en el presente trabajo se utilizará éste término para designar a la roca carbonatada metamorfoseada.

El mármol aflora generalmente en terrenos precámbricos formados esencialmente por gneis granítico, migmatita (roca mezclada) e inyección pegmatítica<sup>14</sup>. En el interior, zonas de asentamiento original a gran profundidad de cadenas de montañas plegadas y erosionadas, las rocas pueden mostrar un cambio gradual en la intensidad del metamorfismo. En aureolas en torno de intrusiones ígneas esporádicas; las rocas pueden exhibir una disposición en zonas. A lo largo de la zona angosta de la deformación intensa, tal como la base de los empujes.

Los mármoles constan predominantemente de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) o de calcita y dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Aunque aquí se incluyen los equivalentes visiblemente recrystalizados de las rocas sedimentarias más puras  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , pueden estar presentes otros silicatos de Ca, Mg, o Ca y Mg, en cantidades menores. Si estos silicatos son

---

<sup>11</sup> Roca compacta y dura, compuesta de feldespato, cuarzo y mica. Lo hay de varios colores, según el tinte y la proporción de sus componentes.

<sup>12</sup> Roca compuesta de feldespato, anfíbol y algo de cuarzo, de color generalmente rojo, y que se descompone con más dificultad que el granito.

<sup>13</sup> Roca volcánica, por lo común de color negro o verdoso, de grano fino, muy dura, compuesta principalmente de feldespato y piroxena o augita, y a veces de estructura prismática.

<sup>14</sup> Roca de color claro y textura laminar, compuesta de feldespato y algo de cuarzo.

elementos constitutivos esenciales, se vuelven factores importantes en la conformación de la textura y la composición mineral de las rocas, y a éstas se las describe como de silicatos cálcicos.

Los mármoles y los mármoles dolomíticos se forman ya sea por contacto o por metamorfismo regional de las rocas carbonatadas. La presencia de tremolita ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), forsterita ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), diopsida ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), periclasa ( $\text{MgO}$ ) y wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ) indica generalmente, creciente temperatura de formación. El mármol que contiene éstos minerales pertenece a los que dan aspecto de piroxeno<sup>15</sup>.

Aunque los mármoles están compuestos principalmente por minerales carbonatados, siempre están presentes como accesorios otros silicatos secundarios y variables. La naturaleza de los constitutivos accesorios depende en grado considerable de las variaciones en las proporciones de los materiales calcáreos, arenáceos y arcillosos y de la presencia o ausencia de sustancias volátiles, como  $\text{PO}_4$ , Cl, F, B, S, etc.

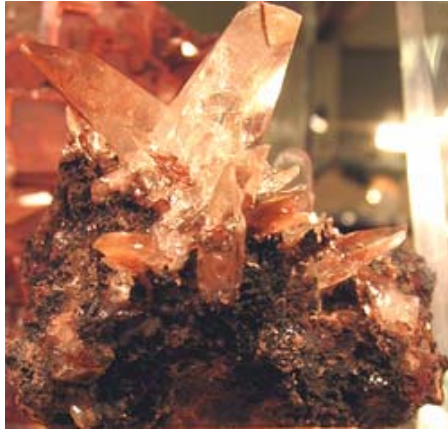
A continuación se mencionará el aspecto mineralógico de los mármoles; en la caliza magnesiana ocurre un gran desarrollo de olivino magnesiano (forsterita ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )), de condrodita, flogopita ( $4(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ce}, \text{Na})(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ), tremolita ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), brucita ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ), espinela ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), mientras que en la caliza arenácea son comunes los silicatos de cal-alúmina y de cal-férricos, como la anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), los granates (grosularita ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ) y andradita ( $\text{Ca}_3\text{Fe}^{+++}_2(\text{SiO}_4)_3$ )), la wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ), diopsida ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), vesubianita ( $\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$ ) y escapolita ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Las contribuciones de las fuentes magmáticas son indicadas por una abundancia de minerales de hierro, especialmente magnetita ( $\text{Fe}^{++}\text{Fe}^{+++}_2\text{O}_4$ ), hematina ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y andradita ( $\text{Ca}_3\text{Fe}^{+++}_2(\text{SiO}_4)_3$ ); los minerales sulfurosos, como la pirita ( $\text{Ca}(\text{UO}_2)_3(\text{SeO}_3)_2(\text{OH})_4 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ ), la pirrotita ( $\text{Fe}, \text{AsO}_4, \text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$ ) y la pirolusita; y por la ocurrencia de minerales que contienen boro, fósforo, cloro y flúor; por ejemplo: apatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ ), axinita ( $\text{Ca}_2\text{Fe}^{++}\text{Al}_2\text{BO}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{OH})$ ), turmalina ( $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ti})_3(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ ), condromita, vesubianita ( $\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$ ) y escapolita.

El mármol de dolomita no puede distinguirse de los mármoles de calcita, porque pocos criterios pueden utilizarse inequívocamente para distinguir la dolomita de la calcita. Los mármoles de calcita tienden a formar un entrelazamiento a un agregado complejamente saturado; los de dolomita tienden a ser menos entrelazantes, pero invariablemente lo son. En la calcita, las láminas de macla<sup>16</sup> bisectan al ángulo obtuso, tal como lo muestra la Figura 1.3. En ejemplares de mano aserrados, puede utilizarse un método de coloración, particularmente con  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ . Al hervir durante unos cuantos minutos con calcita pulverizada, una breve efervescencia es seguida por una coloración verde de las partículas. La dolomita tratada en forma semejante no sufre ningún cambio.

---

<sup>15</sup> Mineral silíceo que aparece en rocas metamórficas ricas en magnesio y en hierro. Hay variedades blancas, amarillas, verdes, pardas y negruzcas.

<sup>16</sup> Asociación simétrica de dos o más cristales idénticos, orientados simétricamente respecto a un eje o un plano.



**Figura 1.3 Macla de calcita**

Las tramas de los mármoles varían considerablemente. En algunos, los granos de carbonato son desde finamente sacaroides hasta extremadamente gruesos. Las variedades heterogranulares contienen xenoblastos gruesos e irregulares de calcita esparcidos en un mosaico de calcita de grano mucho más fino. En las variedades de grano grueso, es clara la estructura poikiloblástica. Los grandes idioblásticos están salpicados de diópsida y calcita. Los pseudomorfos de la calcita después del granate son conocidos. Los granos de diópsida ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) verde encerrados en calcita tienen forma de gotas y son brillantes. Los porfiroblastos de tremolita ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), olivino, granate, wollastonita, flogopita y turmalina, pueden ser notables.

Con mucha frecuencia, los mármoles están bandeados, ya sea con capas alternadas de grano grueso y de grano fino, o con algunas capas más ricas en diversos minerales accesorios. Pueden tener silicatos u otros accesorios concentrados en venillas o bandas delgadas o en agregados granulares a radiales. Los silicatos lamelares y de forma de aguja, lo mismo que la dirección de los cristales de calcita, pueden exhibir una orientación preferente en grados variables en mármoles regionales, pero aparecen dispuestos al azar en las variedades de contacto. Los colores son también variables, dependiendo de la clase de materiales asociados con las rocas iniciales. Las sustancias carbonáceas y orgánicas dan lugar a rocas grises o negras; los compuestos de hierro imparten coloraciones verde, rojo, café o abigarrado y sombras veteadas o flameadas, pero los mármoles dolomíticos o el mármol de calcio puro pueden ser blancos.

Por hidratación del olivino magnésiano (forsterita), se forma la serpentina de diversos colores de la cual resulta de la formación de *mármoles de serpentina u oficalcita*, extremadamente coloreados. La serpentina de fibra cruzada, como el crisolito, pueden formar una red de venillas que crucen a los agregados de calcita. Es común encontrar en la oficalcita grandes granos xenoblásticos de calcita engastados en una matriz de pseudomorfos de la serpentina después de la forsterita. Otras oficalcitas contienen numerosas y notables capas concéntricas delgadas de serpentina verde y flogopita de color cobrizo es el “verdantique de los antiguos”.

*Mármoles esquistosos ó esquistos calcáreos.* Son rocas metamórficas de alto grado de origen calcáreo, pueden distinguirse de las de bajo grado por sus agrupamientos minerales, como la diópsida, ziosita, clinzoisita, biotita, flogopita, grosularita y plagioclasa cálcica. La mayoría de las rocas esquistosas calcáreas son diópsida



formada dentro del intervalo de la facies<sup>17</sup> de anfibolita, aunque algunas contienen escapolita y plagioclasa cálcica, han sido relacionadas con facies de granulito.

Con la elevada temperatura del metamorfismo regional, la presión es lo suficientemente alta para impedir que se verifique una reacción entre la calcita y la sílice para dar la wollastonita. La calcita es, por lo tanto, un mineral prominente en todas las rocas esquistosas calcáreas de alto grado, y con ella se asocian silicatos (Ca-Al) formados por reacción por la calcita y los minerales arcillosos, y diópsida resultante de una reacción en la que interviene la dolomita. Algunas rocas esquistosas calcáreas contienen plagioclasa altamente cálcica como byonita y anorita. También están presentes cuarzo, microclima y escapolita.

La exfoliación es clara, resulta del alineamiento paralelo de la calcita en forma de lentes y es acentuada por capas delgadas de minerales micáceos y de grafito opaco. Las texturas bandeadas constan de capas de carbonatos alternadas, de grano fino o grueso, o por caps ricas en diopsida, anfíbol y epidota. Los granos de diopsida pueden formar un agregado de mosaico.

### **1.3 Caracterización del mármol**

#### ***1.3.1- Estructura del mármol***

Como se mencionó anteriormente, el mármol presenta los siguientes minerales característicos: calcita, dolomita, estauroлита, cianita, andalucía, sillimanita, cordierita, granate, zoisita, wollastonita, tremolita, clorita, grafito, talco, etc. Estos minerales tienen aspecto cristoblástico, brechoide, granuda, ojosa, fajeada o en rallas, horfésica. Presentan paralelismo de granos minerales, fajeada, en exfoliación, de alineamiento, con esquistocidad. También presentan crucero secundario independiente del lecho, granos de trabazón, guijarros deformados, cristales, etc. Así mismo, se presenta crucero con inflexiones, plegamientos secundarios y fallas. Conservan trazas o vestigios de estructuras originales de las rocas sedimentarias o ígneas de las cuales se formaron.

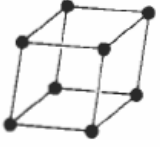

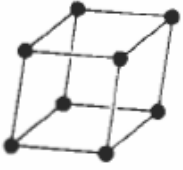

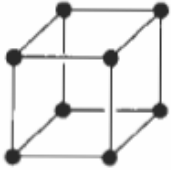

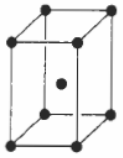

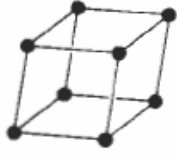

La estructura cristalina se conoce mediante instrumentos de difracción de rayos X, los cuales son radiaciones de longitud de onda de alrededor de 1 Amstrong ( $1 \times 10^{-10}$  metros) que es aproximadamente del mismo tamaño que el átomo. Esto ocurre en la porción del espectro electromagnético entre los rayos gama y los ultravioleta. La difracción de los rayos X ha sido utilizada en dos grandes áreas en la cristalografía, una de ellas es en la obtención de la huella característica de los materiales cristalinos y para la determinación de su estructura. Una vez que el material ha sido identificado la cristalografía con rayos X puede ser utilizada para determinar su estructura, como por ejemplo la distancia interatómica y el ángulo entre los átomos. Se puede determinar el tamaño y la forma de celda unitaria para cualquier compuesto

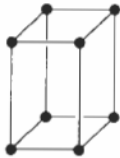

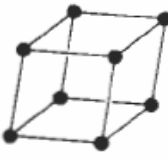

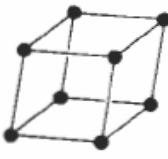



La estructura cristalina de minerales que más se encuentran frecuentemente en el mármol, se presentan en la Tabla 1.1, en donde se incluye el nombre, la fórmula química ideal y estructura cristalina.

---

<sup>17</sup> Aspecto o características externas.

**Tabla 1.1. Estructura cristalina de minerales más comunes en el mármol**

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	SISTEMA CRISTALINO	IMAGEN DEL MINERAL
Calcita	$\text{CaCO}_3$	 <p>Triclínica</p>	
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	 <p>Triclínica</p>	
Espinela	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$	 <p>Cúbica simple</p>	
Olivino	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	 <p>Ortorrómbica centrada en el cuerpo</p>	
Turmalina	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})_4$	 <p>Triclínica</p>	

NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA	SISTEMA CRISTALINO	IMAGEN DEL MINERAL
Vesuvianita	$\text{Ca}_{19}\text{Fe}_2\text{MgAl}_{10}\text{Si}_{18}\text{O}_{70}(\text{OH},\text{Fe})_8$	 <p>Tetragonal simple</p>	
Wollastonita	$\text{CaSiO}_3$	 <p>Triclinica</p>	
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	 <p>Triclinica</p>	
Pirita	$\text{FeS}_2$	 <p>Cúbica simple</p>	

### ***1.3.2.-Propiedades mecánicas del mármol***

Los mármoles al ser materiales producidos naturalmente, presentan propiedades mecánicas muy variadas, por lo que para determinarlas es necesario realizar varias pruebas y, con ello, establecer las tendencias que siguen. La determinación de las propiedades mecánicas del mármol servirán para determinar las características de los equipos a diseñar. Cabe destacar que existen en la literatura[3] valores típicos de propiedades de mármoles las cuales brindan un apoyo para determinar los parámetros de diseño, no obstante es recomendable realizar pruebas a los materiales en lo que se aplicarán los equipos para mayor precisión.

### 1.3.2.1 Propiedades mecánicas del mármol

La tabla 1.2 muestra un análisis de datos de resistencia a fractura del mármol y, como comparación, la de pedernal que es la roca de mayor dureza encontrada en la naturaleza.

**Tabla 1.2. Datos de resistencia a la fractura del mármol y pedernal**

Tipo de roca	Nombre/localización	Ensayo de	Cantidad de pruebas	Resistencia a la compresión uniaxial $\sigma_c$		Cada muestra		Tipo de roca	
				Lb/in <sup>2</sup>	MPa	m	r <sup>2</sup>	m	r <sup>2</sup>
mármol	Tennessee, E.U.	Wawersik & Fairhurst	44	19339	133.3	5.9	0.99	10.6	0.90
mármol	Norwegian	Broch	5	8370	57.7	8.2	1.00		
mármol	Carrara, Italia.	Kovari & Tisa	26	15050	103.8	6.6	0.99		
mármol	Carrera, Italia.	Franklin & Hoek	14	13590	93.7	7.7	0.99		
mármol	Carthage, E.U.	Bredthauer	7	9060	62.5	11.7	0.95		
mármol	Georgia, E.U.	Schwartz	9	7210	49.7	7.1	0.98		
pedernal	Dique de pedernal, Africa del sur	Hoek	24	84040	579.5	20.3	0.9	15.2	0.97

Los valores obtenidos de m y r<sup>2</sup> son constantes del material.

El mármol tiene una gravedad específica de alrededor de 2.72 y un peso aproximado de 2723Kg/m<sup>3</sup>, y un esfuerzo de compresión a la fractura de entre 55 a 103MPa y resiste temperaturas de hasta 649°C sin alterar su estructura.

### 1.3.3.-Comportamiento mecánico del mármol

Es una roca que se comporta de manera general del siguiente modo:

Frágil, esto es, poca deformación antes de ocurrir la fractura en una prueba de flexión, tensión o compresión. Tiene mayor resistencia a la compresión que a la tensión. Presenta cualidades que permiten sea pulido para dar un aspecto liso y reflejante.

## 1.4 Pruebas estándar aplicadas al mármol

Las normas o pruebas estándar utilizadas para la construcción de las máquinas de pruebas aquí mencionadas son las siguientes de la ASTM, y fueron traducidas para comodidad del lector en el anexo 1.

### 1.4.1.- Normas ASTM

Dentro de las normas aplicables a piedras se seleccionaron previamente las siguientes:

- ASTM C-1354, en donde se hacen pruebas para determinar la resistencia última a la fractura de rocas en las en que se practique algún tipo de anclaje<sup>18</sup>.

En ésta norma se practican pruebas en las que la probeta de piedra se sujeta a esfuerzos de flexión, y de corte, aplicados perpendicular o paralelamente a la superficie de piedra.

- ASTM C-99, en ésta norma se realizan pruebas a piedras con dimensiones específicas o normalizadas, en donde se obtiene el esfuerzo de flexión máximo o de ruptura que alcanza la probeta de piedra, en éste caso de mármol.

#### 1.4.2.- Otras pruebas

Existen diferentes métodos para la determinación de las propiedades mecánicas de piedras, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- **Pruebas de tensión uniaxial**

Un caso de para este estudio es el estado de tensión uniaxial en el que  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$  y  $\sigma_3 = -\sigma_t$ , en donde  $\sigma_t$  es la resistencia a la tensión uniaxial de la muestra.

La Figura 1.3 ilustra un aparato para pruebas uniaxiales, como sugieren Hawkes y Mellor[13]. Este aparato llena los requisitos que son esenciales para generar datos sobre la resistencia a la tensión. El uso de una junta de bola en el extremo de un cable sin torsiones permite la aplicación de la fuerza a lo largo del eje de la muestra, sin torsión. Si los componentes del aparato se maquinan con un grado de precisión razonable y si la muestra queda bien pegada en los anillos, ésta sufrirá un mínimo de torcedura.

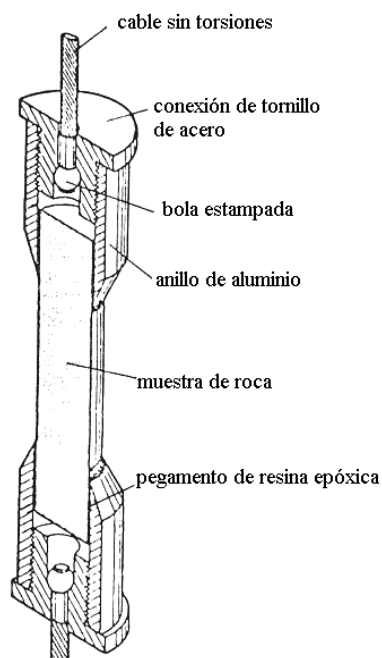


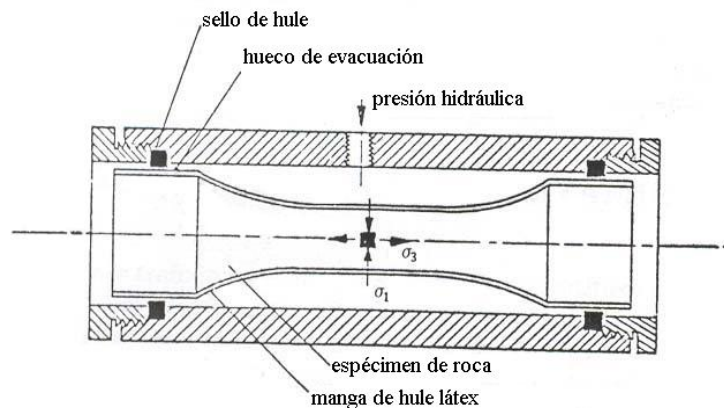
Figura 1.3 Aparato de pruebas uniaxial a la tensión ideado por Hawkes y Mellor[13].

<sup>18</sup> Se determinará como *anclaje* a cualquier tipo de inserción de algún cuerpo extraño que exista en la roca

El uso de aluminio y de resinas epóxicas como pegamento para los anillos permiten que se transmita la fuerza a la muestra sin las concentraciones de esfuerzos que existen en el caso de agarraderas más rígidas como las que se usan en las pruebas de las muestras de aceros.

- **Pruebas triaxiales de esfuerzo-deformación**

Para determinar las deformaciones en el caso de esfuerzos triaxiales, Hoek[3] ha usado un aparato de pruebas que se ilustra en la Figura 1.4 para obtener datos sobre la ruptura de roca bajo todas las condiciones de esfuerzos triaxiales.



**Figura 1.4** Aparato para inducir condiciones de esfuerzos triaxiales en los que uno de los esfuerzos principales es a tensión.

Se somete la muestra, en forma de "hueso de perro" y recubierta de hule, a la presión hidráulica  $p$  la que genera esfuerzos radiales  $\sigma_1 = \sigma_2 = p$  y un esfuerzo axial a compresión  $\sigma_3$  que corresponde a:

$$\sigma_3 = -\frac{p(d_2^2 - d_1^2)}{d_1^2}$$

donde  $d_1$  es el diámetro de centro de la muestra y  $d_2$  es el diámetro de los cabos ensanchados de la misma.

Se logra un ajuste de la presión que se aplica sobre los sellos de hule apretando o aflojando las piezas con cuerda en ambos extremos de la cámara. Este ajuste es necesario para lograr variaciones en el hueco de evacuación que existe entre la muestra recubierta y los sellos a modo que se produzca un pequeño goteo de aceite cuando se someta la cámara a presión. Este goteo reduce al mínimo la fricción en las terminales de la muestra y evita una carga excéntrica sobre la misma. Las muestras que se destinan a este aparato están preparadas en un torno por medio de un esmeril hidráulico o mecánico de diamantes adaptado en el contra-cabezal.

- **Pruebas uniaxiales y triaxiales**

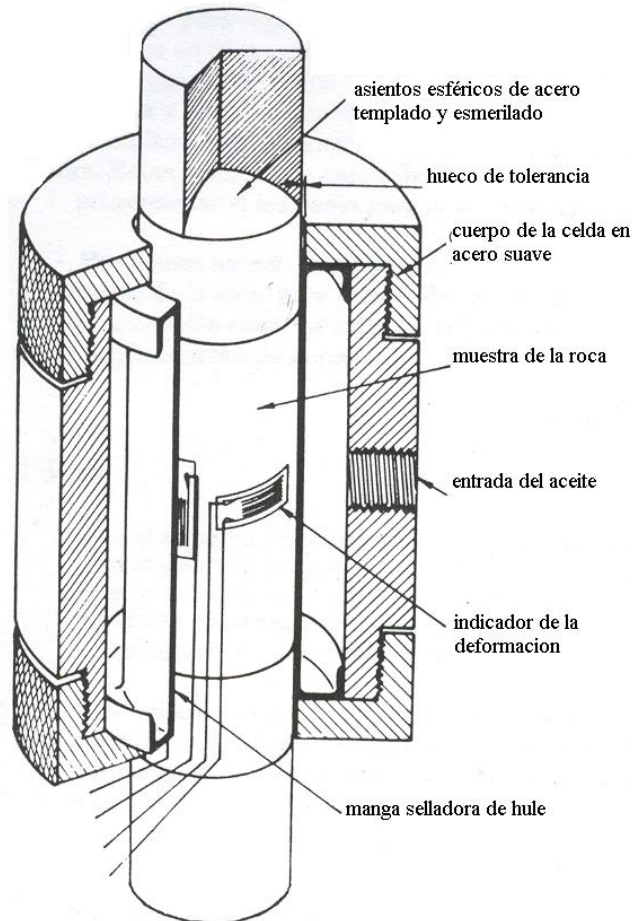
En el aparato que se ilustra en la Figura 1.5 la muestra se somete a un esfuerzo axial  $\sigma_1$  y a confinamiento radial que corresponde  $\sigma_2 = \sigma_3 = p$ , donde  $p$  es la presión hidráulica en la cámara.

Las condiciones normales de la prueba se disponen de modo que  $\sigma_1$ , el esfuerzo principal mayor, actúe en el sentido del eje de la muestra.

Una variante de esta prueba, que se conoce con el nombre de prueba de extensión, implica la aplicación de una presión hidráulica en la cámara que es más grande que el esfuerzo axial en la muestra. Esto conduce a una situación donde  $\sigma_1 = \sigma_2 = p > \sigma_3$ , donde  $\sigma_3$  es el esfuerzo axial en la muestra. Aunque este esfuerzo axial es una compresión, la deformación axial  $\epsilon_3$  es por tensión cuando  $\sigma_3$  es pequeño lo que causa el alargamiento de la muestra.

La importancia de estas dos variantes de la prueba triaxial es que representan las condiciones superior e inferior de confinamiento para el esfuerzo intermedio principal  $\sigma_2$ , los que se pueden usar como prueba de la influencia de este esfuerzo sobre el debilitamiento de la roca.

Una variante adicional de la prueba triaxial es la prueba sencilla uniaxial a la compresión donde  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  y, al debilitamiento,  $\sigma_1 = \sigma_c$ , la resistencia uniaxial a la compresión de la roca.



**Figura 1.5** Corte en perspectiva de una cámara triaxial para pruebas con muestras cilíndricas de roca con presiones de confinamiento de hasta 70MPa.

En todos los casos, las condiciones finales de la muestra se encuentran en una situación crítica cuando se trata de aplicar un esfuerzo axial distribuido uniformemente en la muestra.

## 1.5 Aplicaciones del mármol

Dadas sus características tanto físicas como mecánicas, el mármol se utiliza en recubrimientos para dar un mejor aspecto a paredes, pisos, escaleras, columnas, elaboración de lápidas, medallones y cenefas, además se fabrican muebles y esculturas. Los fragmentos de mármol, provenientes de su maquinado, se utilizan como elementos de abrasión. En la Figura 1.6 se muestra la gama de aplicaciones del mármol.



Figura 1.6 Aplicaciones del mármol.



## **Capítulo 2.- Diseño conceptual de equipos para la realización de pruebas al mármol**

Los equipos se diseñarán bajo las especificaciones de las normas adecuadas, para los casos en que se realicen pruebas de flexión, flexión con anclaje y cortante, ya que son las más significativas mecánicamente, para obtener el comportamiento mecánico del mármol.

- **CAPACIDAD DE LOS EQUIPOS:**

La proveerá la norma en cuestión, además se tomará en cuenta para el diseño de los equipos el esfuerzo de compresión máximo del mármol de Tennessee (133.3MPa), que es el mayor que presentan las variedades de ellos en cuanto a esfuerzo admisible a compresión, para obtener un mayor campo de aplicación entre mármoles.

Se dará un factor de seguridad razonable por tratarse de equipos en los que trabajarán estudiantes y/o practicantes.

- **MATERIALES:**

Se trabajará preferentemente con acero y sus distintos grados de carbono, por ser el material que nos proporciona mejores propiedades mecánicas para los elementos de maquinaria.

- **ESTRUCTURAS:**

La geometría de las estructuras y/o sus partes serán definidas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM en cuestión, minimizando la complejidad de las mismas para lograr una manufactura sencilla y, por lo tanto, un menor costo de producción.

Preferentemente se utilizaran diseños con estructura de laso cerrado para evitar concentración de esfuerzos en posibles brazos estructurales.

Estos equipos deberán ser robustos, ya que los fines para los cuales serán diseñados así lo exigen.

El método de acoplamiento entre elementos mecánicos será por medio de tornillos, para que las piezas sean fácilmente ensambladas y desensambladas cuando se requiera, evitando así, dañarlas.

Se dará espacio necesario y suficiente para su fácil operación y mantenimiento, tratando de que éste último sea el mínimo requerido.

- **INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:**

Los sensores de carga, desplazamientos, energía, serán diseñados y construidos empleando preferentemente la tecnología de galgas extensométricas en arreglos de puente completo en un arreglo de puente de Wheatston.

Los dispositivos de medición y registro serán diseñados y construidos empleando el principio de un voltmetro capaz de medir la variaciones de voltaje provenientes del puente de Wheatston.

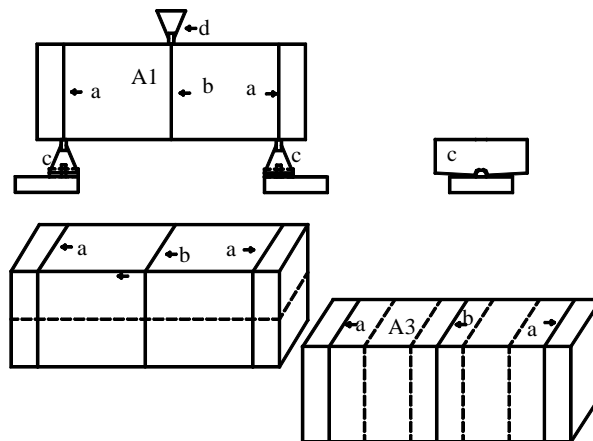
La precisión de medición así como escalas estarán acorde con la norma ASTM E-4, la cual trata de las características que deben tener las máquinas diseñadas para hacer pruebas.

En el apartado siguiente se mencionará el diseño conceptual que tendrán los equipos para la realización de las pruebas ASTM seleccionadas previamente, las cuales son: ASTM C-99, y ASTM C-1354 (métodos 1 y 4).

## 2.1.-Equipo para realizar la prueba de flexión en tres puntos

Para realizar la prueba indicada en la norma ASTM C-99 se exige lo siguiente:

- Máquina de pruebas –la exactitud de la máquina de pruebas deberá ser de 1% en el rango de entre 10 a 1000*lbf* (libras fuerza), o 44 a 4450*N* (newton).
- Filo de la arista – El soporte del espécimen será mediante dos aristas filosas del tipo eje de balancín mostrado en la Figura 2.1, con separación entre los fillos de por lo menos del ancho del espécimen. En la arista filosa que aplicará la carga puede ser del tipo balancín o rígida.
- Los ejemplares deberán tener las siguientes dimensiones: aproximadamente 4x8x21/4*pulg.* (101.6x203.2x57.2*mm*).



**Figura 2.1. Especimen y tipo preferido de aristas para determinar el módulo de ruptura en rocas para construcción.**

En donde:

a – líneas de claro

b – líneas de centro

c – soportes tipo fillos

d – filo con el que aplica la carga

A1 --Especimen en posición para prueba.

A2 --Especimen en posición para prueba perpendicular a la grieta.

A3 --Especimen para prueba paralelo a la grieta.

(las líneas punteadas indican la dirección de las grietas)

Para el dispositivo que haga ésta prueba se dispondrá de una placa base en la que se colocarán los soportes o filos para la probeta (las dimensiones de los filos se tomaran a partir de los que existen en el mercado para tal propósito) y además servirá para la ubicación de cuatro columnas que soportarán una placa superior que a su vez tendrá un cilindro hidráulico con el que se aplicara presión y de ese modo obtener la carga requerida para realizar la prueba, ésta carga se aplicará por medio de un filo sostenido por una placa apropiada.

La placa superior se sujetará mediante abrazaderas conformadas por dos partes y se unirán mediante tornillos y se colocarán en hendiduras sobre la columna que servirán como tope, evitando así que se mueva la placa superior, como se muestra en la Figura 2.2.

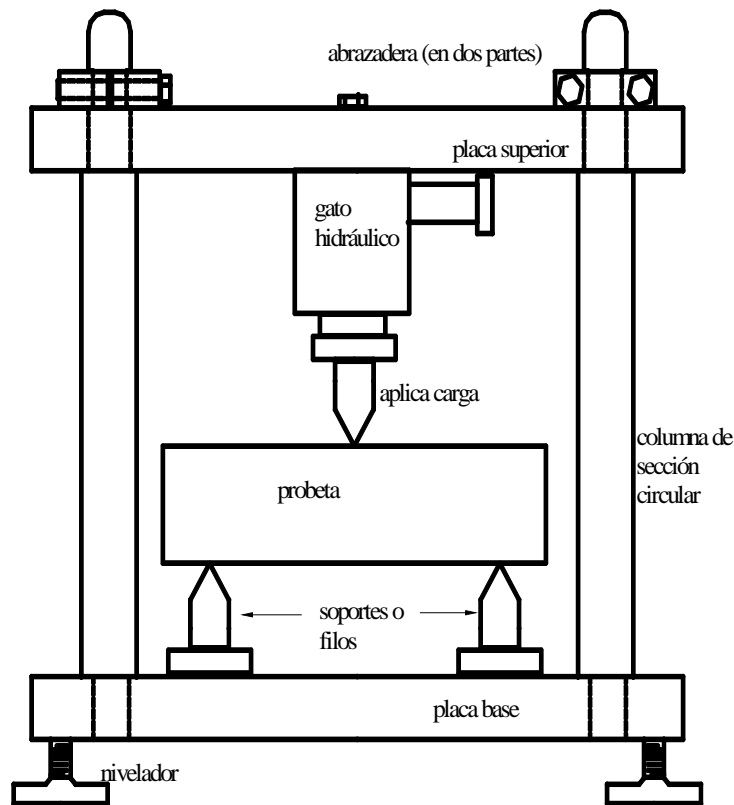


Figura 2.2. Diseño conceptual para el equipo en el que realizará la prueba ASTM C-99.

## 2.2.-Pruebas de flexión con ancla

La norma ASTM C-1354 (método 1) indica las siguientes restricciones:

- Máquina de pruebas –Deberá ser conforme a los requerimientos de la norma ASTM E-4. La carga será aplicada mediante mecanismos apropiados (como una junta universal lubricada o un balín con dado lubricado).
- Estructura del cuadro de soporte—El cuadro de soporte deberá tener la suficiente resistencia para no ceder mientras se aplica la máxima carga soportada. Además tendrá un límite de deflexión no mayor a  $1\text{mm}$  ( $0.04\text{pulg}$ ), y una rotación en la carga

de prueba no mayor a 2°. Para cuando la carga se aplique perpendicularmente a la superficie del panel de piedra:

- Se colocará una goma entre la superficie de la piedra y la carga para evitar la concentración de esfuerzos.
- La piedra colocada por medio de una ancla en un la orilla de la piedra se muestra en la Figura 2.3 en la que se observa una carga aplicada en la superficie exterior del panel de piedra. A modo de opción de diseñador se puede hacer la prueba a dos paneles a la vez.
- La probeta será soportada en un lado por el ancla. El ancla deberá estar sujeta del mismo modo en que se hace en el lugar de la construcción. El panel será soportado en su extremo opuesto por un rodillo de 25mm (1pulg) de diámetro.
- La carga de la máquina de pruebas será aplicada mediante un rodillo de 25mm (1pulg) de diámetro, localizado lo más cerca posible del ancla que soporta la piedra, pero a una distancia no menor que la del espesor de la piedra.

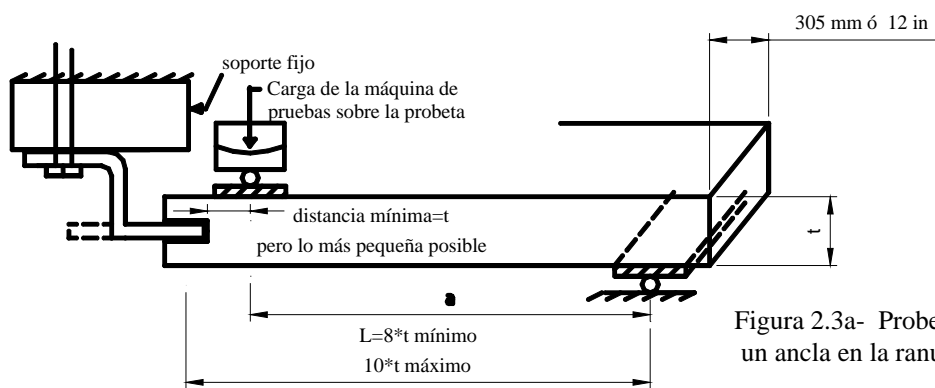


Figura 2.3a- Probeta soportada por un ancla en la ranura del mismo.

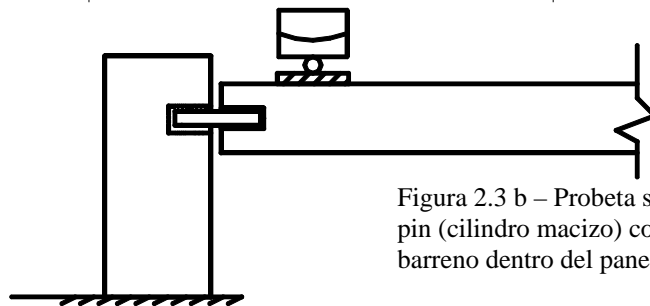


Figura 2.3 b – Probeta soportado por un pin (cilindro macizo) colocado en un barreno dentro del panel.

**Figura 2.3. Colocación para la prueba de conexión en la orilla del ejemplar—método de prueba 1.**

De lo anterior se observa que no se dan dimensiones precisas en la norma en cuanto a espesor de la probeta, por ésta razón, la máquina se diseñará de tal forma que se puedan realizar pruebas a piedras de diferentes espesores en un rango entre 3/8 y 1pulg, debido a que estos espesores son los más utilizados en el mercado en cuanto recubrimientos de mármol.

La forma que tendrá el equipo es la siguiente:

Constará de una placa base en la que se colocarán los elementos; cuatro columnas cilíndricas que soportarán un cilindro hidráulico que será el medio con el que se aplicará la carga, un rodillo aplicará la carga a la probeta y se sujetará mediante elementos que le

permitirán girar y a su vez se montarán en una placa para unirla con el pistón del cilindro hidráulico éste a su vez será colocado en una placa superior. La placa superior tendrá ranuras o ojales para colocar el cilindro a la distancia apropiada según el espesor de la probeta, y dos columnas de sección cuadrada a cada lado de éste para restringir la rotación del elemento que aplicará la carga. El ancla se colocará en un empotramiento de sección rectangular robusto, y además constará de apoyos para impedir la deflexión de la misma. El rodillo de apoyo tendrá elementos que le permitirán rodar libremente, y se colocarán sobre rieles para posicionarlos según el espesor de la probeta. El bosquejo del diseño se muestra a continuación en la Figura 2.4.

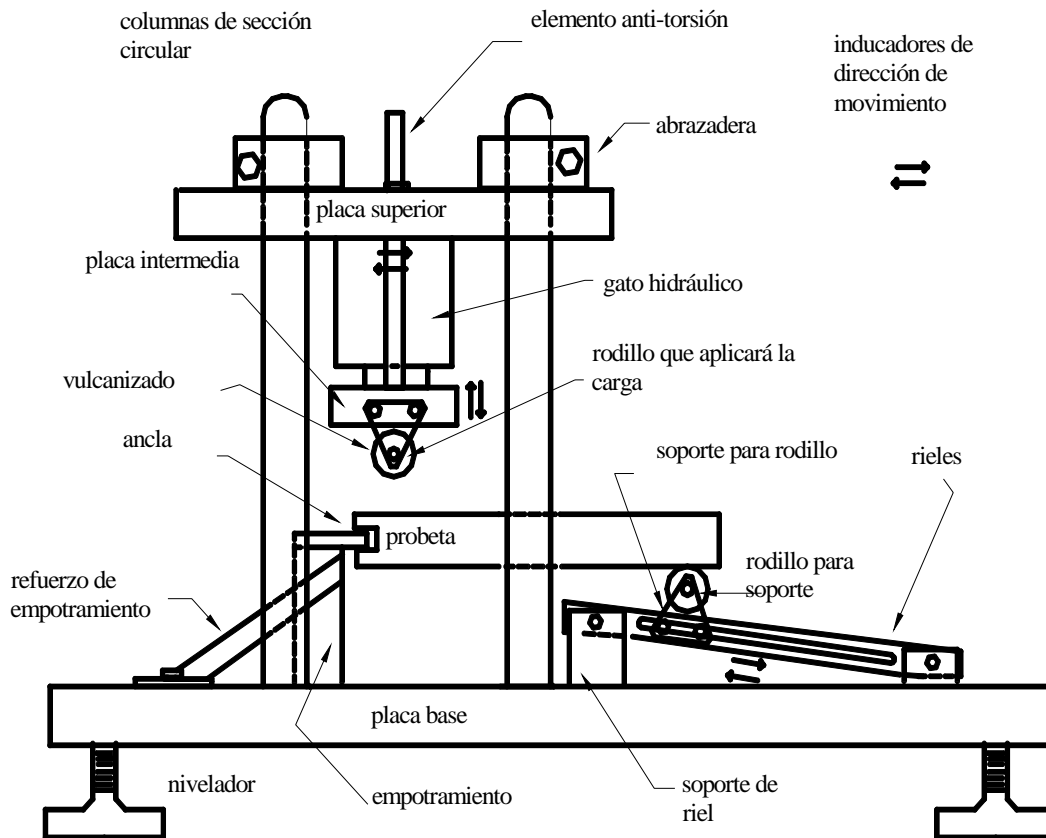
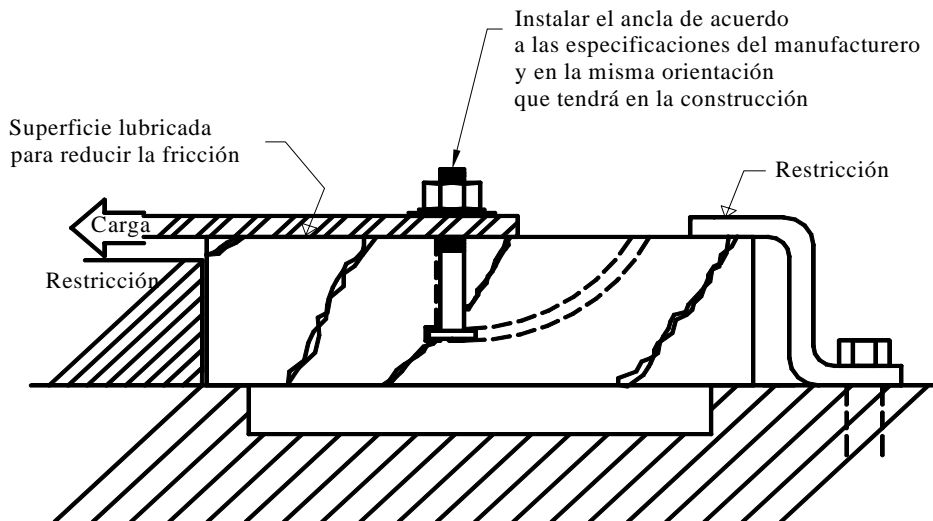


Figura 2.4 Diseño conceptual para el equipo en el que se realizará la prueba ASTM C-1354 (método 1).

### 2.3.-Prueba de cortante

La Figura 2.5 ilustra la norma ASTM C-1354 (método 4), y a continuación se indican las características que el equipo y la probeta deben tener según la misma:

- Máquina de pruebas –la máquina de pruebas deberá estar conforme con los requisitos de la norma ASTM E-4.
- Carga – La carga de la máquina de pruebas será aplicada mediante dispositivos apropiados (un balón-dado lubricado o una junta universal lubricada).
- Probeta - La probeta deberá ser representativa del tipo utilizado en la construcción.



**Figura 2.5 Panel de piedra con conexión en la parte trasera del mismo --la carga de prueba es aplicada paralela a la superficie.**

Como las dimensiones son variadas en las piedras utilizadas en trabajos diversos, el equipo a diseñar deberá tener la cualidad de adaptarse a esas dimensiones. Aún así es necesario definir un límite en cuanto a dimensiones máximas y mínimas de la probeta para la realización de ésta prueba. Para ello se investigó que el mármol que se usa generalmente en construcción tiene un espesor de 0.375 a 1 pulg con un ancho y largo de loseta de 12x12 pulg, que generalmente se utiliza para recubrimiento de pisos y paredes, que además es poco frecuente utilizar bloques macizos de mármol,

Las dimensiones máximas de la probeta dadas de la siguiente manera; (ancho x largo x espesor), son: 12x12x1 pulg (304.8x304.8x25.4mm), y las mínimas de hasta un espesor de 3/8 pulg. Cabe mencionar que se podrán utilizar probetas en las que el mármol sirva como recubrimiento a paredes de tabique, y que éste conjunto podrá tener un espesor de hasta 6.25 pulg, con un espesor de mármol máximo de 1 pulg.

Para lograr las adaptaciones a las diferentes medidas (como se muestra en la Figura 2.6), se dispondrá de lo siguiente:

-La carga será aplicada mediante un cilindro hidráulico, que estará unido a la guía fija por medio de la pieza base-cilindro, de manera horizontal como lo indica la norma, a través de la placa tirante que se acoplará con el ancla colocada en la probeta.

En la guía móvil se colocará una restricción a la probeta como lo indica la norma.

Para ajustarse al espesor de la probeta; a las “plataformas” se les practicarán un par de ranuras, y barrenos roscados, colocando en ése lugar las piezas llamadas “tren de plataforma”, que irán acopladas a las guías móvil y fija y, a su vez, a los eslabones largos del mecanismo de cuatro barras, que será el medio por el cual se dará el ajuste a la máquina acorde al espesor de la probeta. El mecanismo de cuatro barras irá unido a otro paralelo a él mediante el acoplamiento 1 y 2 manteniendo así la horizontalidad de las plataformas 1 y 2.

El ajuste de la máquina para el largo de la probeta se hará mediante un tornillo sinfín, que se acoplará a la guía móvil a través del tren guía situado en la base de la guía móvil.

El movimiento lateral quedará restringido por medio de las guías que se le practicarán a la placa base.

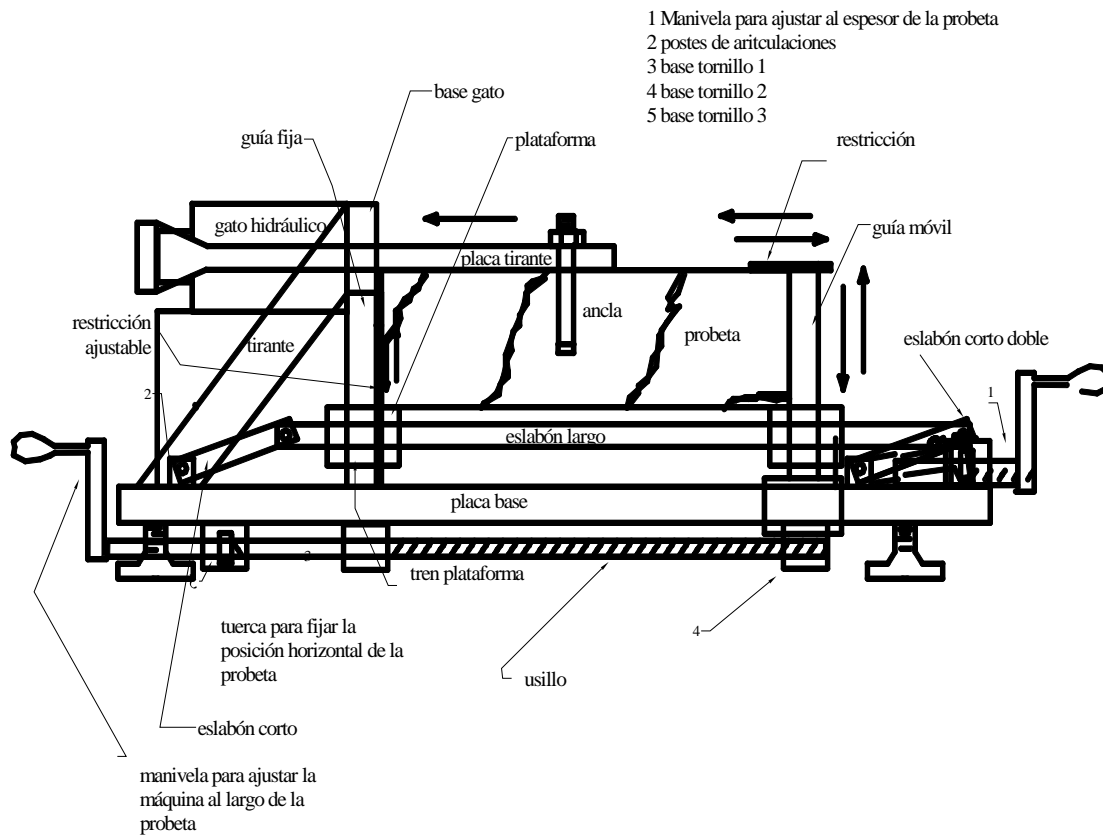
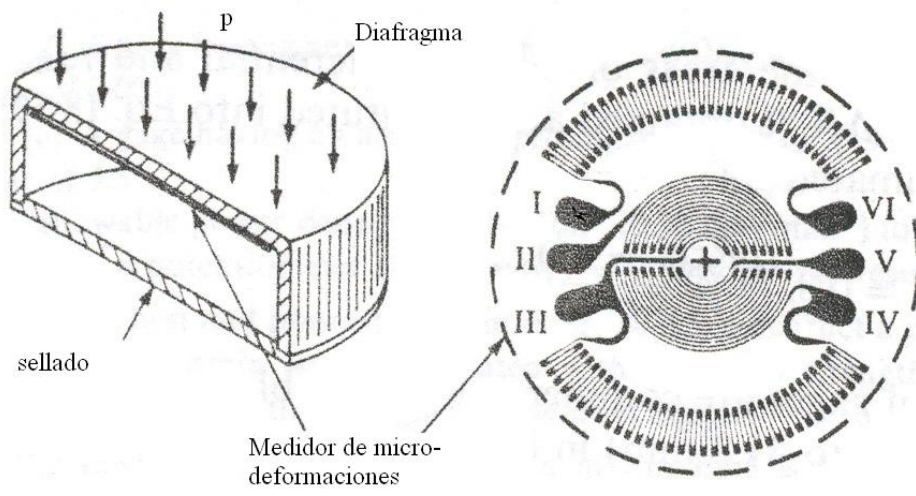


Figura 2.6 Diseño conceptual del quipo en el que se realizará la prueba ASTM C-1354 (método 4).

## 2.4.-Instrumentos de medición

Ya que en los tres equipos la carga será aplicada por cilindros hidráulicos, se utilizarán celdas de presión para obtener el valor de la carga transmitida a la probeta, éste valor se obtendrá de las micro deformaciones que sufrirá la celda de presión y será observada mediante una pantalla de dígitos (display) para su fácil lectura. La celda de presión se colocará en paralelo al fluido a presión que hará actuar el cilindro hidráulico, unida mediante una desviación “T” en el conducto por el que fluirá el líquido que será bombeado.

La celda de presión está conformada por un diafragma en el que por un lado se le coloca una celda de presión tipo diafragma o un arreglo de cuatro celdas de carga individuales orientadas de tal manera que actúen de forma similar a la celda de carga de tipo diafragma, mientras el otro lado del diafragma deberá quedar expuesto a la presión a medir, éste tipo de transductor se muestra en la Figura 2.7.



**Figura 2.7. Transductor de presión tipo diafragma.**



### Capítulo 3.- Diseño de detalle

A partir de los bosquejos de los equipos anteriormente mencionados se comenzará su diseño de detalle en el que obtendremos las dimensiones, materiales y demás características que hagan cumplir los objetivos mencionados previamente.

En cada uno de los equipos se hallarán inicialmente las cargas máximas a las que estarán sujetos y a partir de determinar éstas, se dispondrá a diseñar los componentes respectivos y de ésta manera se obtendrán equipos en el los que la mayor parte de sus componentes se tengan elementos que resisten cargas similares, y de ésta manera evitar el sobre-dimensionamiento.

#### 3.1.-Prueba de flexión en tres puntos

Para ensamblar el equipo que realice la prueba de la norma ASTM C-99 serán necesarios los siguientes componentes:

- Cilindro hidráulico C99.- La carga que se aplicará a la probeta de mármol es la mostrada en la Figura 3.1.

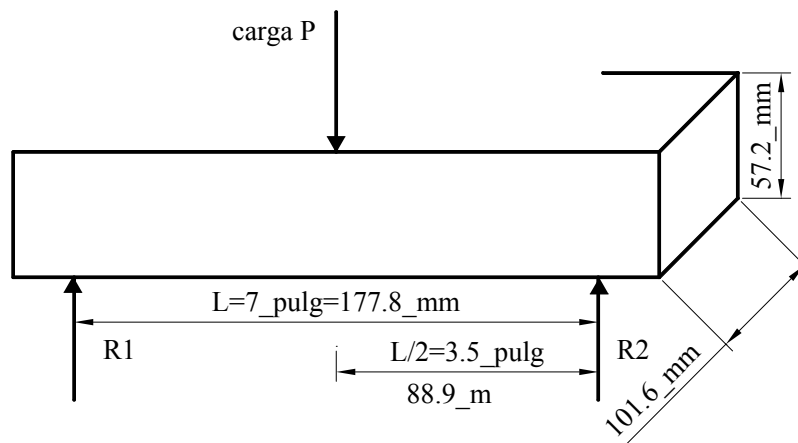


Figura 3.1. Probeta sujeta a la carga P.

con  $L/2= 31/2pulg=0.889m$

A partir de la ecuación de flexión en vigas:  $M = \frac{\sigma}{y} I$

y el momento de inercia de la sección transversal (rectangular):

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12} = \frac{101.6 \cdot 10^{-3} m \cdot (57.2 \cdot 10^{-3} m)^3}{12} = 1.5845 \cdot 10^{-6} m^4$$

El momento flexionante necesario para lograr la ruptura de la probeta de mármol (cuando las “fibras” extremas de la viga alcanzan el esfuerzo admisible máximo) es:

$$M = \frac{\sigma}{y} I = \frac{133.3 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}}{0.0286m} 1.5845 \cdot 10^{-6} m^4 = 7385.1 Nm$$

La carga  $P$  necesaria se obtiene a partir del momento que resultó anteriormente y con la distancia a la que se aplicará la carga:

$$P \cdot x = 7385.1 Nm \dots \Rightarrow \dots P = \frac{M}{x} = \frac{7385.1 Nm}{0.0889m} = 83071.99 N$$

Como la capacidad de los cilindros hidráulicos se mide en toneladas (unidades de masa), se tiene que:

$$w = m \cdot g \quad \Rightarrow \quad m = \frac{w}{g} = \frac{83071.99 N}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 8468.09 kg \approx 8.5 ton$$

Con esto indicamos que el cilindro deberá tener la capacidad de 15 toneladas como mínimo, dándole una holgura de 5 toneladas, ya que se recomienda que el cilindro hidráulico trabaje a 3/4 de su capacidad nominal (en éste caso a 2/3 de la misma).

El cilindro será sostenido por una placa y ésta a su vez por cuatro columnas de sección circular.

➤ Columnas C99- se diseñaron de la siguiente manera:

Cada una debe soportar un esfuerzo de tensión provocado por la carga aplicada al mármol mediante el cilindro hidráulico de  $P/4=20767.97N$ .

Con ésta fuerza y con el límite elástico del acero 1018 laminado en frío de  $\sigma=393MPa$  en su límite elástico se tiene a partir de la ecuación de esfuerzo:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

para una sección circular:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\sigma \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.5 \cdot 20767.97 N}{393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot \pi}} = 12.96 mm \approx 0.51 pulg$$

éste es el diámetro apropiado para la columna, pero para dar lugar a un tope en la base ya que la columna será ensamblada mediante rosca se tomó una columna de 1pulg de diámetro, con rosca en un extremo de 5/8pulg y desbastes en la base para poder situar una herramienta (llave inglesa) para su colocación. Además llevará un desbaste esférico en el extremo opuesto para la fácil colocación de la placa que contendrá al cilindro hidráulico, que además servirá para evitar filos que puedan dañar al operador de la máquina.

El largo se determinará con las dimensiones de los elementos que contendrá, los cuales se determinaran a continuación.

- Placa base C99- será la que contendrá todos los elementos y su diagrama se muestra en la Figura 3.2.

Estará sujeta, del mismo modo que las columnas, a la carga aplicada por el cilindro hidráulico  $P=83071N$  será dividida en cuatro puntos (cuatro columnas). Las columnas se colocarán en esquinas de un rectángulo dentro del cuál se encontrarán los apoyos y la probeta de mármol, que necesita tener un área mínima de  $81/2 \times 51/2 \text{ pulg}^2$ , debido a las dimensiones de la probeta, a lo que se le debe sumar el radio de cada columna. Por lo que las columnas se situarán en los vértices del rectángulo de  $91/2 \times 5 \text{ pulg}^2$ . Se procede pues al cálculo del espesor de la placa tomándola como una viga con dos apoyos situados a  $91/2 \text{ pulg}$  de distancia entre sí y con dos cargas aplicadas a  $1/2 \text{ pulg}$  de cada apoyo.

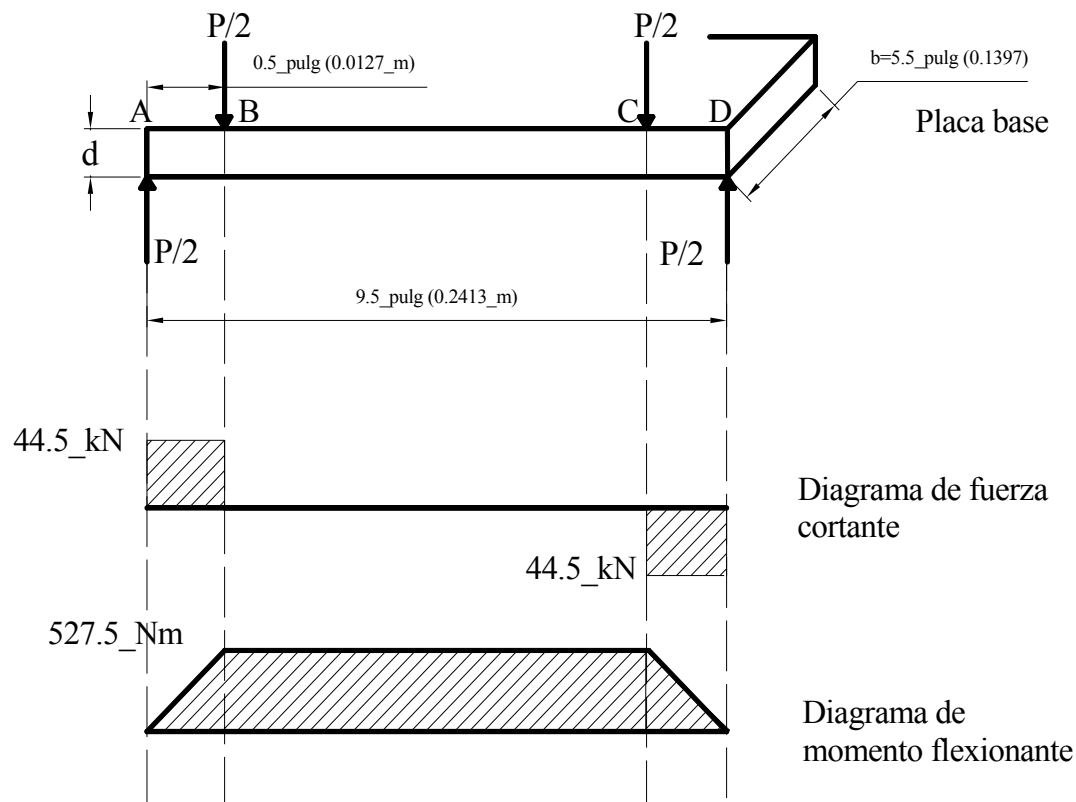


Figura 3.2. Diagramas correspondientes de la placa base C99.

Las resultantes de las fuerzas son, por simetría, igual a  $P/2$  cada una. Para obtener el momento máximo se hace la sumatoria de momentos a la izquierda en las secciones AB y AC:

$$\sum M_{AB} = \frac{P}{2} x \Big|_{x=0.0127} = \frac{83071N}{2} \cdot 0.0127m = 527.008Nm$$

$$\sum M_{AC} = \frac{P}{2}x - \frac{P}{2}(x - 0.0127m) \Big|_{x=0.2286} =$$

$$\frac{83071N}{2} \cdot 0.2286m - \frac{83071N}{2} (0.2286 - 0.0127)m = 527.5Nm$$

En los puntos **A** y **B** la suma de momentos son cero. De ahí se obtiene la gráfica de momentos, de la cual observamos que el momento máximo es de  $M=527.5Nm$ , que con la ecuación de momento flexionante  $\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y}$ , se puede obtener el espesor buscado de la

placa: Aquí  $y = \frac{d}{2}$ , donde  $d$  es el espesor y  $b$  es el ancho, por lo cual, para la sección rectangular de la placa:

$$d = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{\sigma \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2.5 \cdot 527.5Nm}{393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot 0.1397m}} = 12mm \approx 0.472 \text{ pulg}$$

Con el factor de seguridad de 2.5 tenemos que el espesor de la placa será de  $0.5 \text{ pulg}$ , pero por cuestiones de sujeción de las columnas, se le dio a la placa un espesor de  $3/4 \text{ pulg}$ .

Las dimensiones finales de la placa base C99 son por lo tanto de  $6.5 \times 13 \times 0.75 \text{ pulg}$

- Placa superior C99.- El momento flexionante que deberá soportar la placa superior se obtiene del momento provocado por la carga del cilindro hidráulico ( $P=83071N$ ) colocado a centro de ella ( $L/2 = 0.2413m/2 = 0.12065m$ ) y entre las columnas.

En éste caso se tiene en cuenta el diámetro del cilindro y se considerará como una carga  $w$  uniformemente distribuida con el diámetro del cilindro como la longitud en la que actúa dicha carga. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 3.3.

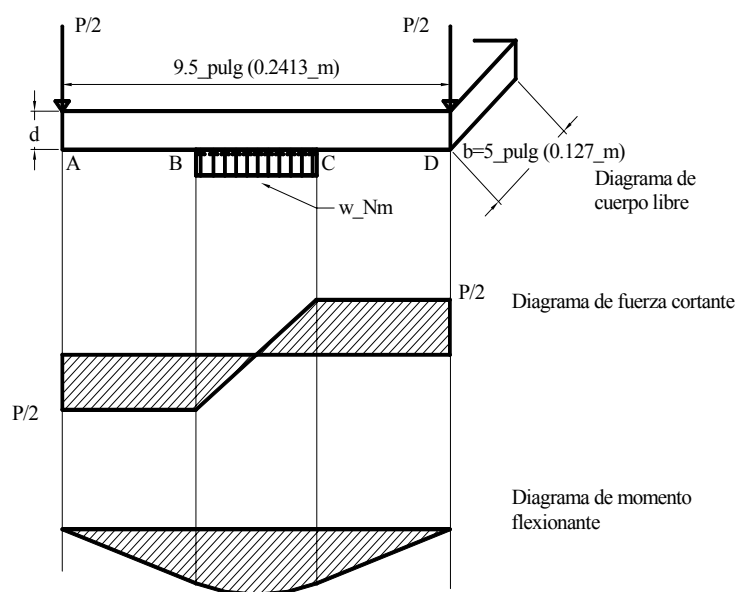


Figura 3.3. Diagramas correspondientes de la placa superior C99.

Como el diámetro del cilindro es de  $2.25\text{pulg}$  ( $0.05715\text{m}$ )  $w$  será igual a la carga del cilindro hidráulico entre la longitud en la que actúa:

$$w = \frac{P}{L} = \frac{83071\text{N}}{0.05715\text{m}} = 1.454 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Con ésta carga uniformemente distribuida y sabiendo que el máximo momento sucede a la mitad de placa (a  $0.12065\text{m}$  de las columnas), el momento aplicado lo da la sumatoria de momentos a la izquierda en el tramo AC:

$$\sum M_{AC} = -\frac{P}{2}(x + 0.092075) + w \cdot (x) \cdot \frac{x}{2} \Big|_{x=0.05715\text{m}} =$$

$$-\frac{83071\text{N}}{2}(0.05715 + 0.092075)\text{m} + 1.454 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \frac{(0.05715\text{m})^2}{2} = -8572.6\text{Nm},$$

y de ahí se obtiene el espesor de la placa:

$$d = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{\sigma \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2.5 \cdot 8572.6\text{Nm}}{393 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.1397\text{m}}} = 48.39\text{mm} \approx 1.89\text{pulg}$$

Este espesor es aproximadamente de  $2\text{pulg}$ . Lo que se corroboró con un análisis de elemento finito, ya que el análisis que se hizo fue sin tomar en cuenta el área de sección circular del cilindro hidráulico, y que éste sólo está en contacto con los ejes de simetría de la placa. Lo cual, como se observa en la Figura 3.4, indica que el espesor necesario es de  $1.5\text{pulg}$ .

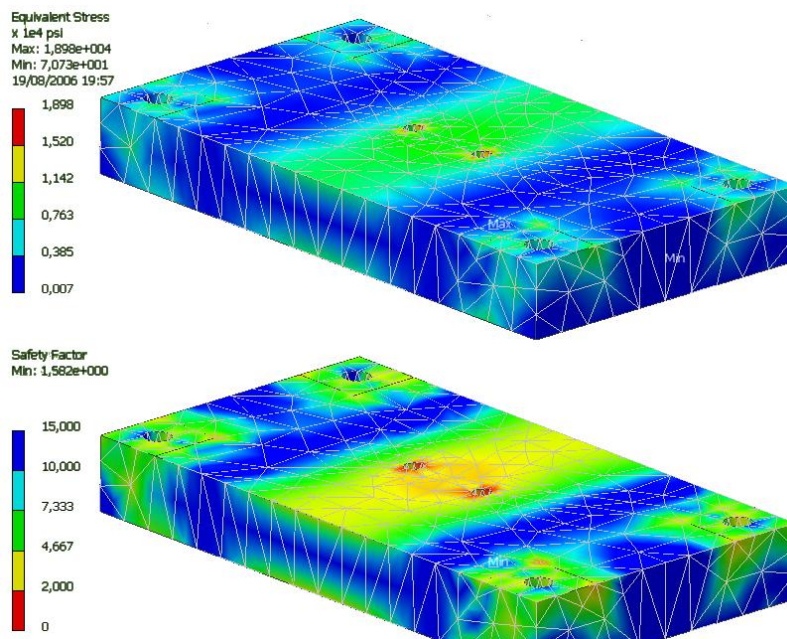


Figura 3.4. Resultados arrojados por un análisis numérico para la placa superior ASTM C 99 con espesor de  $1.5\text{pulg}$

Por lo que se optó en dejar el espesor de la placa en un punto intermedio, es decir, el espesor de la placa será de  $1\frac{3}{4}$  pulg

- Abrazaderas C99.- Como las columnas tienen un diámetro máximo de  $1$  pulg y el diámetro mínimo de la sección debe ser cuando menos de  $0.5$  pulg.

El método de sujeción más factible es mediante un anillo compuesto mediante dos partes en cada columna ya que la probeta tiene dimensiones estándar fijas. La columna será de  $1$  pulg de diámetro dando lugar a un tope para la colocación de la placa superior y una ranura para dar cabida al anillo que la mantendrá en tal. El perfil de las columnas será como lo muestra la Figura 3.5.

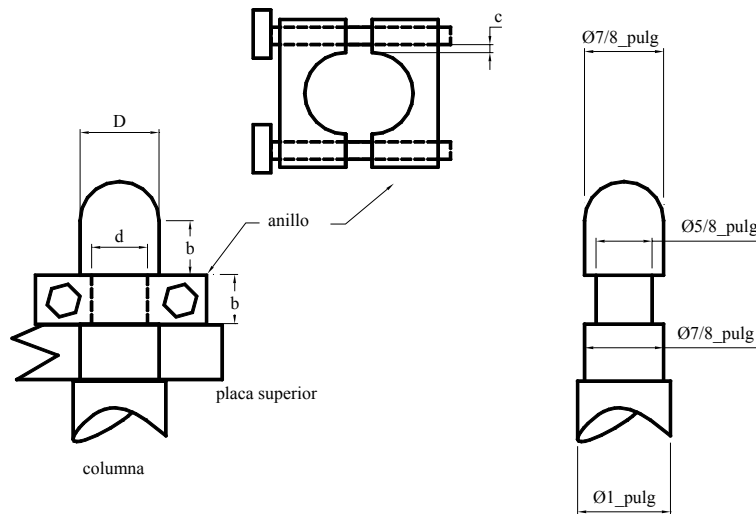


Figura 3.5. Diseño de detalle de la columna C99.

El anillo y la columna soportarán tanto esfuerzos cortantes como de aplastamiento. El esfuerzo cortante nos dará la dimensión mínima  $b$  que deberá tener tanto la columna como el anillo. Con  $V=P/4=20767.75N$ :

$$\tau = \frac{V}{A} \text{ de aquí resulta:}$$

$$b = \frac{sf \cdot V}{\tau \cdot \pi \cdot d} = \frac{2.5 \cdot 20767.75N}{250 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot \pi \cdot 0.015875m} = 5.7mm \approx 0.224 \text{ pulg}$$

Con  $d=5/8$  pulg que es el diámetro propuesto para el cuello donde se colocará el anillo, obtenemos un espesor  $b$  de  $0.224$  pulg.

Se calculó a continuación el área de la sección transversal de la columna que es necesaria para soportar la carga de  $P/4=20767.75 N$ :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

que para la sección en cuestión:

$$A = \frac{sf \cdot P}{\sigma} = \frac{2.5 \cdot 20767.75N}{393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}} = 132.11 \cdot 10^{-6} m^2 = 1.32 cm^2$$

El área según las dimensiones propuestas es:

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}((7/8 \text{ pulg})^2 - (5/8 \text{ pulg})^2) =$$

$$\frac{\pi}{4}((2.2225 \text{ cm})^2 - (1.5875 \text{ cm})^2) = 1.9 \text{ cm}^2$$

que es mayor que el área requerida, por lo que el cuello de las columnas tendrán las dimensiones indicadas en la Figura 3.5.

Finalmente el método de unión de las partes del anillo se hará mediante tornillos, lo que exige mayor espesor que el necesario (el mínimo espesor es de  $0.224 \text{ pulg}$ ), para su colocación. Los tornillos que colocaremos serán de  $\text{Ø} = 5/16 \text{ pulg}$ , con el que obtenemos un espesor de  $1 \text{ pulg}$  para el anillo.

La altura de las columnas se obtiene a partir de las alturas del cilindro hidráulico, los filos y las bases de los filos, resultando ser de  $13.25 \text{ pulg}$  entre las caras internas de las placas (base y superior).

➤ Aristas.- En la norma se menciona que los filos deberán de ser del tipo balancín.

Para el diseño de los filos se tomó como orientación en equipos pertenecientes al Laboratorio de Ingeniería Civil de la FES Aragón, los cuales mostraron un filo de  $50^\circ$  y una posible inclinación de  $6^\circ$  a cada lado a partir de su posición horizontal. El espesor de los filos de  $1 \text{ pulg}$  y un par de resortes para mantener una posición aproximadamente horizontal al inicio de la prueba, Así como una altura de  $2 1/2 \text{ pulg}$  a partir de su base, como se muestra en la Figura 3.6.

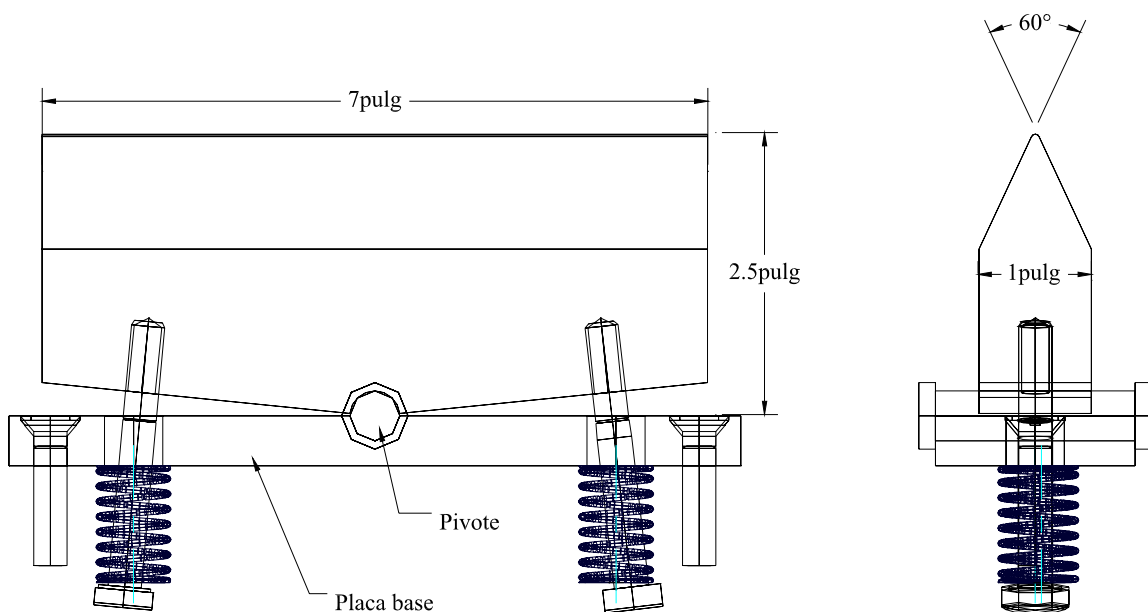
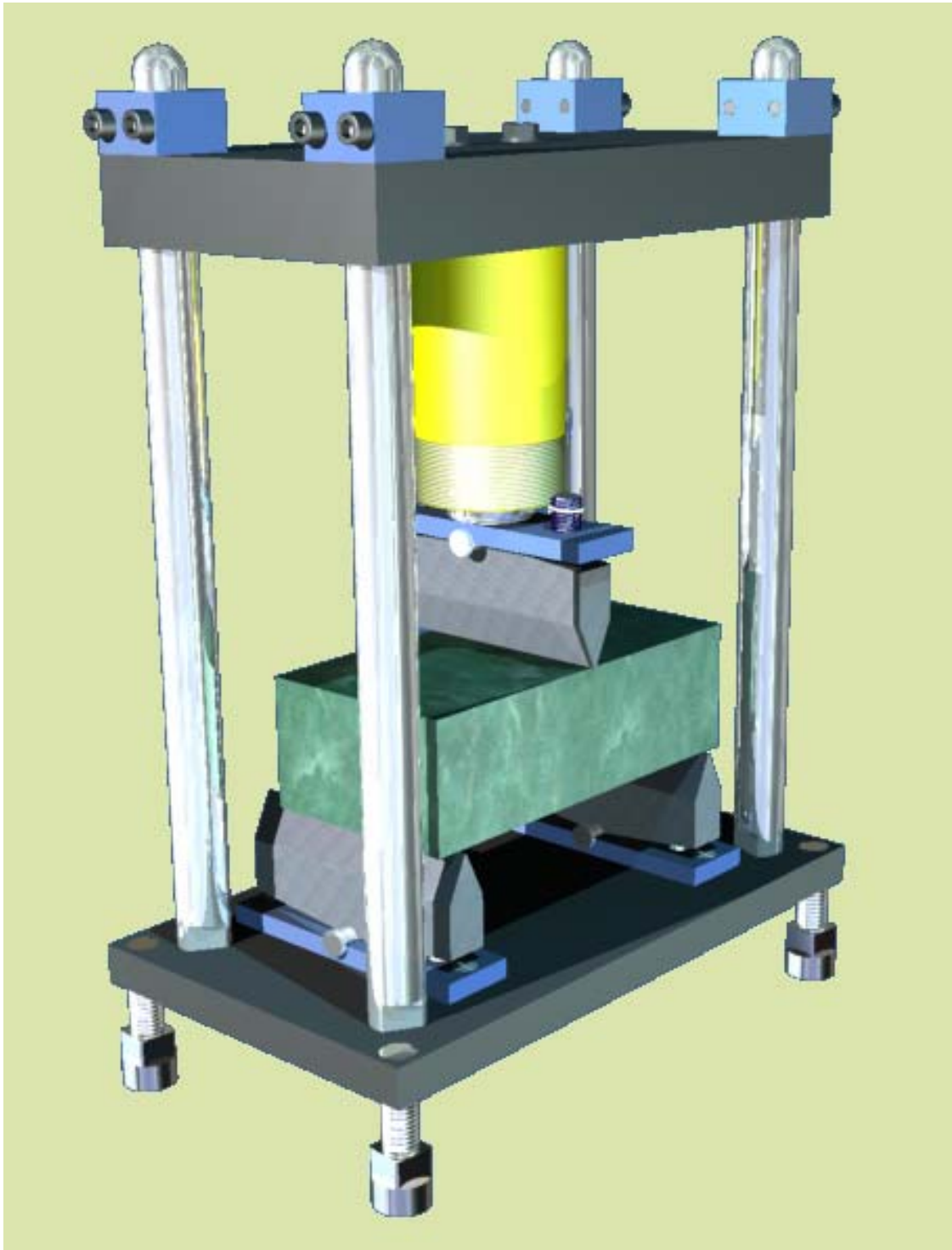


Figura 3.6. Geometría de los filos

A continuación, en la Figura 3.7, se muestra una vista panorámica del equipo de prueba ASTM C-99. Los planos de las piezas se encuentran en el apéndice, en la sección [“Planos de los equipos para realizar pruebas a mármol”](#).



**Figura 3.7. Vista en perspectiva del equipo de pruebas ASTM C-99**



### 3.2.-Pruebas de flexión con ancla

Para el equipo que realizará las pruebas bajo la norma ASTM C-1354 (método 1) serán necesarios los siguientes elementos:

- Cilindro hidráulico C1354-1.- Es necesario definir la capacidad del cilindro hidráulico que dará la carga requerida para la realización de la prueba en cuestión.

Para conocerla, se supuso que ésta actuará sobre la probeta de mayor espesor, que es de 0.5\_in (12.7mm), un ancho de 12pulg (304.8mm) y un largo, que como lo indica la norma, dependerá del espesor de la probeta. El mínimo espesor de probeta será de 3/8pulg (9.525mm) y, como se decidió anteriormente, se supondrá una resistencia última del mármol de 133MPa.

Ya que a la probeta se le practica una ranura de un tercio de su espesor y una profundidad igual al mismo, la sección bajo estudio es rectangular con dimensiones de 8.47mm x 304.8mm (25.4mm /3 x 304.8mm). La distancia del empotramiento al punto de la carga es, por norma, como mínimo la del espesor de la probeta (25.4mm). De lo anterior se obtiene el diagrama de cuerpo libre de la Figura 3.8.

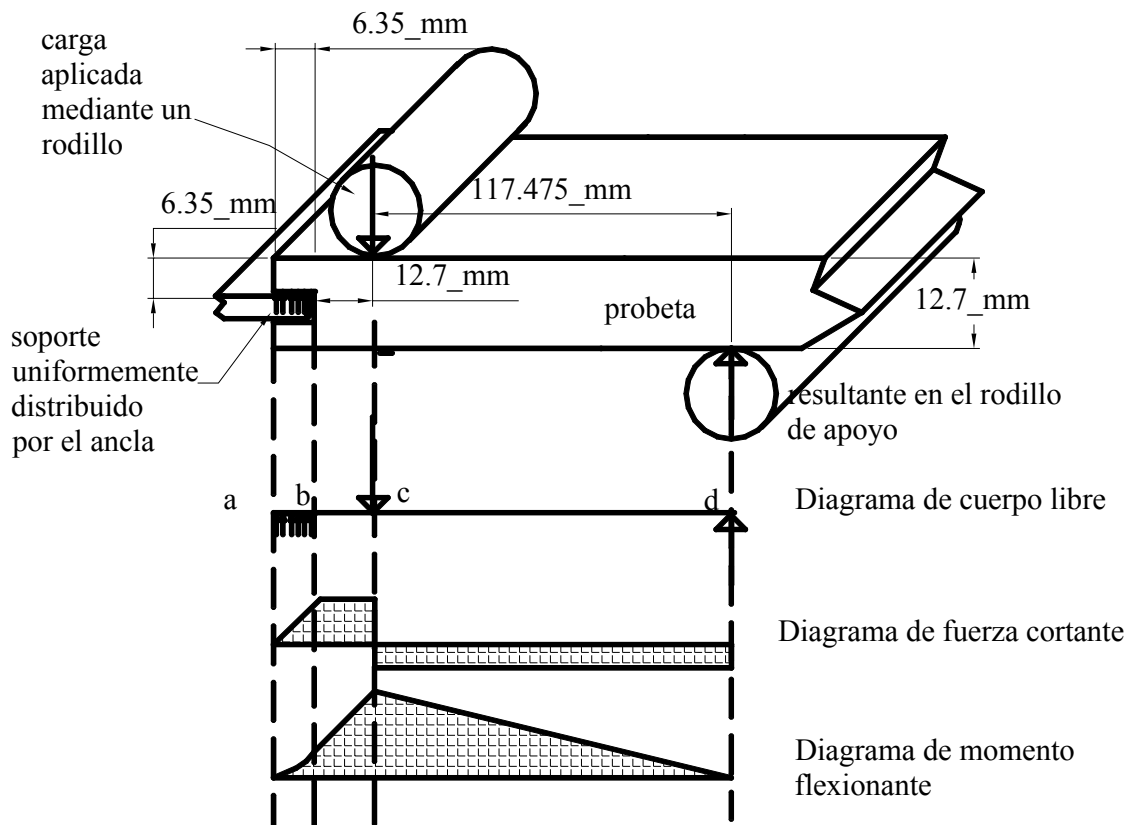


Figura 3.8. Determinación de la carga necesaria para la prueba ASTM C-1354-1.

Para conocer la fuerza requerida se calculó primero el momento necesario para llegar al esfuerzo último de la sección del mármol mediante la ecuación de flexión en vigas:

$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} = \frac{133 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot \left( \frac{0.3048m \cdot (6.35 \cdot 10^{-3} m)^3}{12} \right)}{6.35 \cdot 10^{-3} m/2} = 272.435 Nm$$

Para obtener la carga requerida se tiene que

$$P = \frac{M}{x} = \frac{272.435 Nm}{12.7 \cdot 10^{-3} m} = 21451.57 N$$

Al ser la carga aplicada mediante un cilindro hidráulico y como su capacidad se mide en toneladas, tenemos que:

$$m = \frac{w}{g} = \frac{2145.57 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 2186.7 kg \approx 2.2 ton$$

La carga se aplicará con un cilindro hidráulico con capacidad de 5ton.

- Columnas C1354-1.- El cilindro hidráulico estará unido a una placa y se soportará mediante cuatro columnas de sección transversal circular de acero 1018.

El diámetro necesario de las columnas se obtuvo a partir de la carga aplicada a la probeta  $P=21451.57N$  que, repartida entre cuatro columnas se tiene la carga a la que estará sujeta cada columna es:

$$P = 5362.89N.$$

Con ésta fuerza y con el esfuerzo máximo a tensión del acero 1018 rolado en frío, con su límite elástico de 393MPa se tiene que;

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

que para una sección circular:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot sf \cdot P}{\sigma \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.5 \cdot 5362.89N}{393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot \pi}} = 6.59mm \approx 1/8 pulg$$

Además de éste análisis, también se consideró el posible pandeo que sufrirían éstas debido al peso de los elementos que se encontrarán en la parte superior de las columnas, siendo estos: placa superior, placa intermedia, sujetadores de rodillo, rodillo, abrazaderas, elementos anti-torsión, así como las conexiones para el cilindro hidráulico, todo ello con un peso aproximado de 20Kg (196.2N), que repartido en cuatro columnas tenemos que cada columna estará sujeta a una fuerza de compresión de 49.05N.

Para el cálculo del pandeo en las columnas, consideradas esbeltas ya que la relación entre la longitud y el diámetro de la sección es mayor a 10, en éste caso 12, se consideró como doblemente empotrada, ya que por un extremo está roscado a la placa base y por el otro sujeto mediante abrazaderas, por lo que su longitud efectiva es la mitad de su

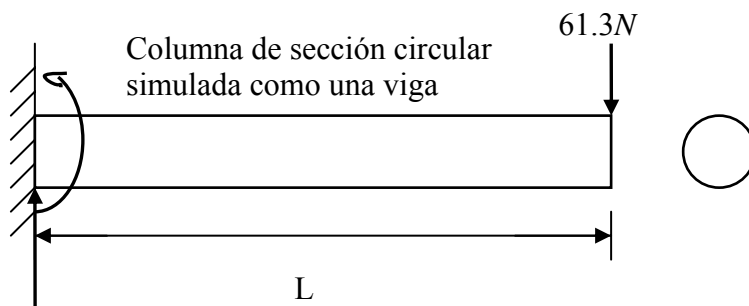
longitud total, es decir, *6pulg* (0.147*m*). A partir de la ecuación de Euler para columnas doblemente empotradas, la carga crítica es:

$$P_{cr} = \frac{EI\pi^2}{L_e^2}$$

para el propósito de encontrar el diámetro de la sección se tiene que

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot sf \cdot P_{cr} \cdot L_e^2}{E \cdot \pi^3}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 2.5 \cdot 196.2N \cdot (0.147m)^2}{200 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2} \pi^3}} = 3.234mm$$

Como el cálculo anterior (columna sujeta a tensión), el diámetro obtenido fue de *6.59mm*, pero además de esto se tubo en cuenta la manipulación al instalarlo y al realizar posibles ajustes, por lo que es necesario aumentar la sección transversal de las columnas, para que éstas pudieran soportar una fuerza externa, transversal a su eje de simetría, de *25kg* (245.25*N*) en su extremo. De lo anterior tenemos la siguiente situación; una viga de sección circular a la que se le aplicará una carga de *61.3N* (ya que son cuatro columnas) perpendicular a su eje de simetría. Obsérvese la Figura 3.9.



**Figura 3.9** Carga transversal aplicada a una columna.

La solución del problema se obtuvo conociendo la longitud *L* de la columna a partir de la máxima extensión del cilindro hidráulico, de la altura del empotramiento, y espacio suficiente para la fácil colocación de la placa que contendrá al cilindro hidráulico. Esta longitud es, por lo tanto, de *12.5pulg* ( $317.5 \times 10^{-3}m$ ). El momento a que estará sujeta es:

$$M = P \cdot L = 61.3N \cdot 317.5 \cdot 10^{-3}m = 19.4628Nm$$

Para calcular el diámetro de la sección transversal se acudió a la ecuación de flexión que dará el diámetro mínimo de la columna a partir de la ecuación de flexión y con el momento de inercia de área para una sección circular con el eje neutro pasando por el centro de la circunferencia:

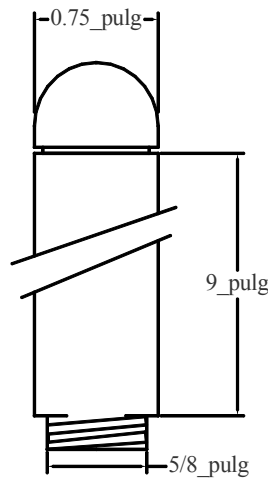
$$M = \frac{I \cdot \sigma}{y} = \frac{\frac{\pi \cdot D^4}{64} \cdot \sigma}{\frac{D}{2}}$$

se tiene que;

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot sf \cdot M}{\pi \cdot \sigma}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2.5 \cdot 19.4628 Nm}{\pi \cdot 393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}}} = 10.8 mm \approx 0.425 \text{ pulg}$$

Por lo tanto, y para mejor sujeción se optó por que el diámetro de la columna sea de  $5/8 \text{ pulg}$ .

La columna se ensamblará a la placa base mediante rosca, que deberá tener el diámetro señalado anteriormente. A modo de tope y para su colocación, la columna tendrá un diámetro de  $3/4 \text{ pulg}$  y una rosca para su unión de  $5/8 \text{ pulg}$  con cuerda UNC (9 hilos por pulgada), la profundidad de cuerda estará dada por el espesor de placa, además se le practicará una ranura a  $9 \text{ pulg}$  a partir de su base, para la colocación de un anillo de retención para que asiente la placa superior, como se muestra en la Figura 3.10.



**Figura 3.10. Geometría de la columna.**

- Rodillos C1354-1.- El diámetro de los rodillos lo da la norma ASTM citada, el cual es de 1 in.

La longitud de los mismos será de 13 pulg libres, siendo el mínimo requerido de 12 pulg, esto para dar una mayor facilidad de colocación para la probeta y asegurar que estará apoyada completamente. Los rodillos se sujetarán mediante cojinetes de bronce que le permitirán girar fácilmente.

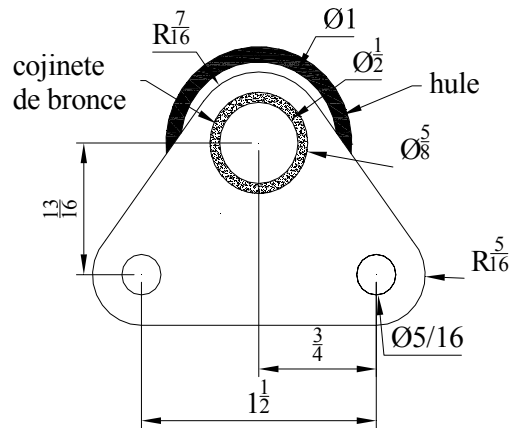
El esfuerzo cortante a que estarán sujetos los apoyos determinará la sección circular mínima que deberán tener éstos, la cual se obtiene a partir del límite de proporcionalidad del esfuerzo cortante en el acero 1018 que es de  $250 MPa$ , y la fuerza cortante aplicada, de tal modo el diámetro es el siguiente :

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad \therefore d = \sqrt{\frac{2 \cdot sf \cdot F}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2.5 \cdot 21451.57 N}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6 Pa}} = 11.68 mm \approx 0.4767 \text{ pulg}$$

para fines de maquinado, el diámetro será de  $1/2 \text{ pulg}$ , con una longitud de  $1/4 \text{ pulg}$  a cada lado del rodillo para sujeción con los apoyos (soportes para rodillo).

- Soporte para rodillo C1354-1.- Las dimensiones para el soporte de rodillo se obtiene a partir del espacio destinado para ello en el mismo ( $1/4 \text{ pulg}$ ) de espesor, y con dimensiones que le permitan su posicionamiento en los rieles, o en su caso en la

placa intermedia, se considera además que los rodillos tendrán una cobertura de hule (vulcanizado) con espesor de  $3/16$  pulg para evitar concentración de esfuerzos en la probeta, como lo indica la norma presente, por lo que las dimensiones del soporte se observan en la Figura 3.11.



**Figura 3.11 Geometría del soporte para rodillo**

La Figura 3.11 muestra la geometría de los soportes del rodillo tanto superior (del que irá unido al cilindro hidráulico), como inferior (el que se unirá a los rieles), en su caso, los barrenos de  $1/4$  pulg llevarán roscas.

Los barrenos de sujeción tendrán un diámetro dado a partir de la fuerza de  $F/4=21451.57N/4=5362.89N$ , el esfuerzo cortante del tornillo SAE grado 1 es de  $250MPa$ , por lo que

$$\tau = \frac{F}{A} \therefore d = \sqrt{\frac{4 \cdot sf \cdot F}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.5 \cdot 5362.89N}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6 Pa}} = 8.26 \cdot 10^{-3} m \approx 0.3251 \text{ pulg},$$

➤ Placa intermedia C1354-1.- será el medio de unión entre los soportes del rodillo superior y el cilindro hidráulico, además llevará consigo los elementos anti-torsión que permitirá que la carga se aplique sin desalineamiento a la arista de la probeta.

El espesor de éste elemento se determinó con el momento aplicado debido a la fuerza  $F$  aplicada al centro de una longitud de  $13$  pulg y un ancho de  $21/8$  pulg, siendo el momento

$$M = F \cdot d = 21451.57N \cdot (6.5 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{pulg}) = 3541.65Nm,$$

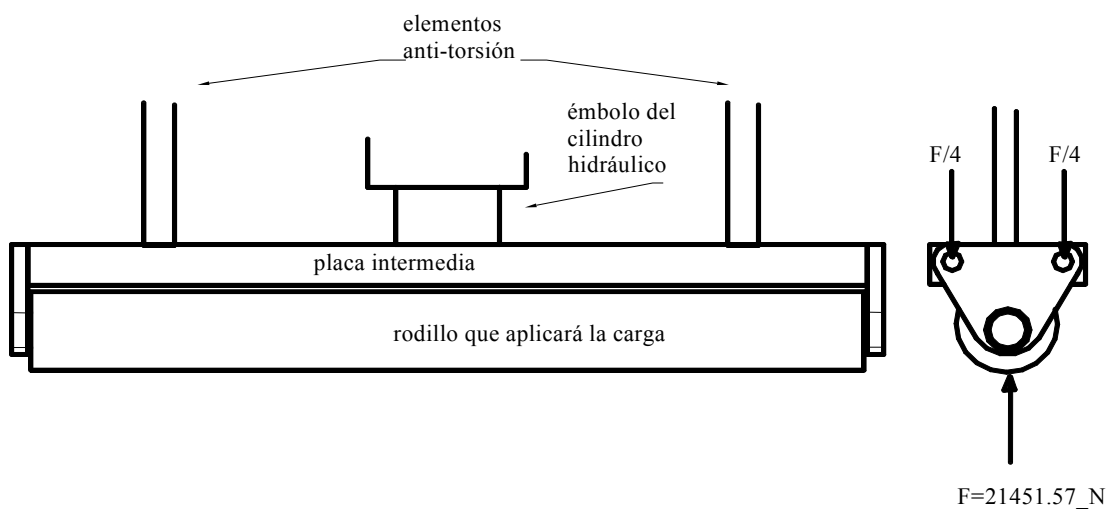
la ecuación de esfuerzo en una viga indica que  $\sigma = \frac{My}{I}$ , a partir de ésta se calculó el espesor de la placa intermedia, de tal modo;

$$d = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{\sigma \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 3541.65Nm}{393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot (2.125 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{pulg})}} = 31.65mm \approx 1.246 \text{ pulg}$$

Las dimensiones de la placa rectangular intermedia, mostrada en la Figura 3.12, serán: 13x21/8 en pulgadas de largo y ancho respectivamente, dados por las dimensiones del rodillo y los soportes del mismo. El espesor de la placa que se ha determinado anteriormente es de 11/4pulg.

Los barrenos roscados para la colocación de los soportes de los rodillos se determinaron anteriormente, indicando un diámetro de 5/16pulg.

A la placa intermedia se le practicarán dos barrenos pasados para poder sujetarse del émbolo del cilindro hidráulico y dos más en cada extremo para la colocación de los tornillos del soporte de rodillo.



**Figura 3.12. Vista general de colocación de la placa intermedia.**

- Elementos anti-torsión C1354-1.- Ya que la norma menciona que el elemento que aplicará la carga no deberá de girar más de 2° en su posición alineada con la probeta.

Con el propósito de lograr lo anterior se dispondrá de dos columnas de sección cuadrada unidas a la placa intermedia, como se ilustra en la Figura 3.13, mantenidas en posición por guías realizadas en la placa superior que le permitan el movimiento vertical más no el horizontal, a menos que sea para ajustar la posición del cilindro hidráulico, lo que se analizó como sigue:

La distancia a partir del centro del cilindro hidráulico será de 4pulg para no obstruir sus conexiones. La sección de los elementos anti-torsión tendrán una sección cuadrada de 1/2pulg.

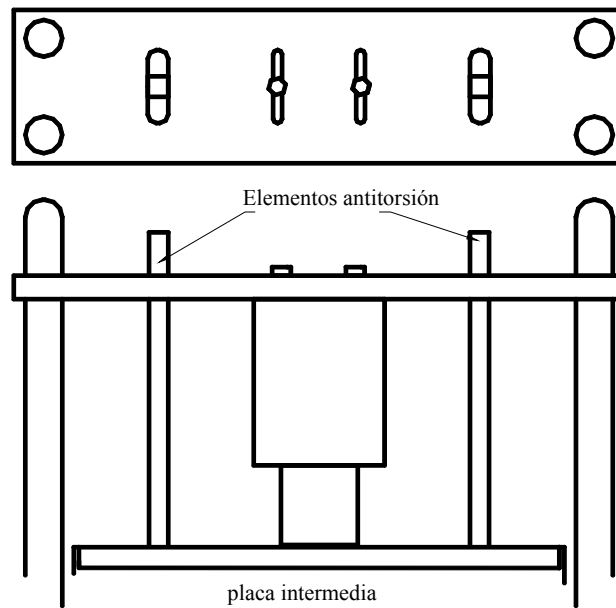


Figura 3.13 Elementos que evitarán el giro del rodillo aplica carga.

Para que los elementos anti-torsión restrinjan ésa rotación (de  $2^\circ$ ), medidos a partir del eje del cilindro hidráulico, se calculará el par posible aplicado a los elementos anti-torsión que será acero 1018, el cual tiene una resistencia de  $393MPa$  en su límite elástico.

Se considerará que la deformación sea de  $1^\circ$  para ese par aplicado, ya que es el propósito buscado (giro menor  $2^\circ$ ).

Se simuló una viga empotrada de sección cuadrada, con una fuerza que sea aplicada a  $4pulg$  del empotramiento. Una vez establecido lo anterior se tiene la siguiente ecuación que permitió saber cual es la fuerza admisible a la que se presentará tal deformación.

Para hacer ese cálculo primero se transformó los grados a unidades de longitud, es decir, de la cuerda formada por la trayectoria del extremo de la columna. Se tiene que la distancia a centro de circunferencia es de  $4pulg$ . Por lo que la distancia lineal  $\delta$  (cuerda de la circunferencia de radio de  $4pulg$ ) es:

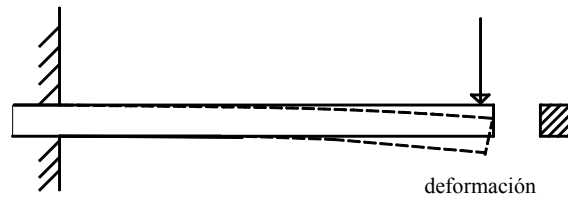
$$\delta = \sqrt{2r^2 - 2r^2 \cdot \cos D} = \sqrt{2 \cdot 4^2 - 2 \cdot 4^2 \cdot \cos 2} = 139.619 \cdot 10^{-3} \text{ pulg}$$

La ecuación de deflexión máxima en una viga empotrada es:

$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$ , de la cual la fuerza máxima aplicable para el elemento anti-torsión de  $7pulg$  de longitud mostrado en la Figura 3.14 será;

$$P = \frac{3\delta EI}{L^3} = \frac{3 \cdot 3.54 \cdot 10^{-3} m (200 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2}) (2.17 \cdot 10^{-9} m^4)}{(178 \cdot 10^{-3} m)^3} = 817N,$$

que multiplicada por dos (ya que es el número de elementos anti-torsión) se tiene una resistencia de  $1634N$ .



**Figura 3.14. Deformación del elemento anti-torsión.**

➤ Placa superior C1354-1.- contendrá al cilindro hidráulico y se posicionará mediante abrazaderas unidas a la misma. Las dimensiones de la placa se obtuvieron a partir de la distancia entre columnas, y el espesor será el mismo que el de la placa base, ya que están directamente sujetos a una carga igual, aunque aplicada de manera distinta, ésta carga es de  $21451.57N$ . Para el cálculo del espesor de la placa superior se parte de la ecuación de placas rectangulares, suponiendo que la placa está empotrada en sus extremos más alejados, es decir, a  $15\frac{1}{4}pulg$ ,

con un ancho de  $53/16pulg$  se tiene que la deflexión máxima es:

$$y_{\max} = \alpha \frac{qb^4}{Et^3}$$

en donde  $\alpha$  depende de la relación del largo  $d$  entre el ancho  $b$  de la placa,  $q$  es la carga aplicada,  $E$  es el módulo de elasticidad y  $t$  el espesor de la placa.

El valor de  $q$  se obtuvo dividiendo la fuerza aplicada por el cilindro entre el área de la base del mismo. Así  $q = \frac{21451.57N}{\pi \cdot (2.25pulg/2)^2} = 8363.185kN/m^2$

A continuación se muestra una sección de la Tabla 3.1<sup>1</sup> presentada por Hearn[10].

**Tabla 1.1. Constantes para placas rectangulares cargadas uniformemente con extremos empotrados.**

$d/b$	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	$\infty$
$\alpha$	0.0138	0.0199	0.0240	0.0264	0.0277	0.0284

La relación  $d/b=15.25pulg/5.1875pulg \approx 2.939$ , por lo que, para éste caso,  $\alpha=0.0284$ , la deflexión máxima se consideró de  $0.02mm$ , de tal modo el espesor de placa, ya con el factor de seguridad de  $sf=2.5$ , queda de la siguiente manera:

$$t = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q \cdot sf \cdot b^4}{E \cdot y}} = \sqrt[3]{\frac{0.0284 \cdot (8363.185 \cdot 10^3 N/m^2) \cdot 2.5 \cdot (3.6875pulg \cdot 25.4 \cdot 10^{-3} m/pulg)^4}{200 \cdot 10^9 N/m^2 \cdot 0.02 \cdot 10^{-3} m}} = 22.5mm$$

<sup>1</sup> S. Timoshenko, Theory of Plates and Shells, 2nd edn., McGraw-Hill, New York, 1959.



El espesor de la placa que se obtuvo es aproximadamente de 1\_in, pero considerando que esta ecuación cumple para placas con extremos empotrados y de sección constante, se realizó una simulación con elemento finito para corroborar los resultados, éstos, como se muestra en la Figura 3.15, indican que el espesor de la placa deberá ser de 1\_in.

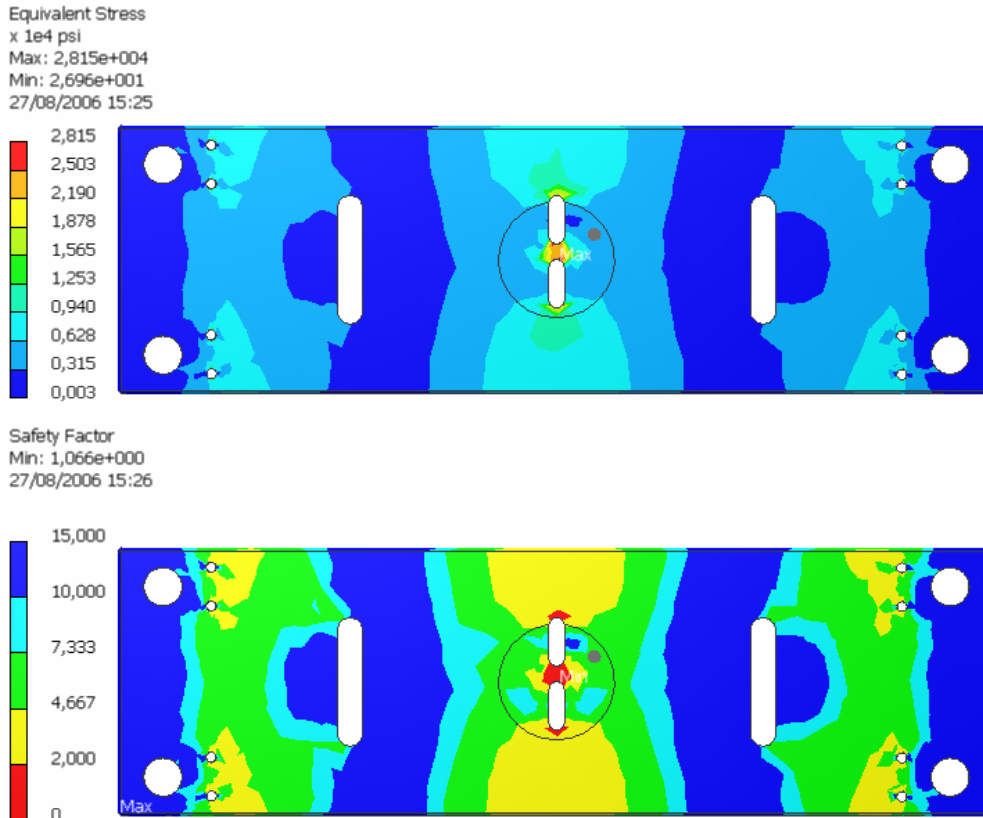
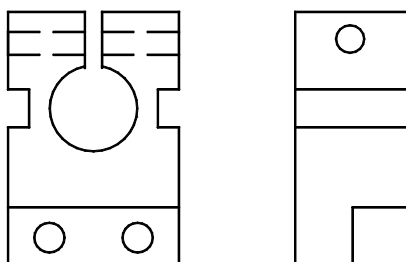


Figura 3.15 Resultados de la simulación en elemento finito.

- Abrazaderas C1354-1.- Tendrán la geometría mostrada en la Figura 3.16, en la cual se dispone de barrenos en los cuales se colocará un tornillo que, al ser tensionado, ejerza una fuerza normal contra la superficie de la columna en contacto, evitando de ésta manera que la placa que sostiene al gato hidráulico se deslice.



Nota: En el dibujo de la derecha no se muestran líneas ocultas para mayor claridad.

Figura 3.16 Abrazaderas C-1354-1.

La fuerza de apriete la proporcionará el tornillo SAE grado 1, el cual tiene una límite elástico a la tensión de  $227MPa$ , el tornillo tendrá un diámetro de  $5/16$ pulg debido al espacio disponible, la fuerza de tensión en el tornillo se distribuirá a lo largo de la abrazadera y tendrá mayor efecto sobre las secciones de menor sección transversal (las que están ranuradas).

Ya que el coeficiente de fricción que dan los acabados superficiales hechos mediante torno es de  $\mu=0.3$ , y sabiendo que la fuerza máxima ejercida por el gato hidráulico es de  $P=21451.57N$ , la fuerza necesaria, normal al eje axial de la columna, para evitar el deslizamiento mientras se realice la prueba a la probeta de mármol es de:

$$N = \frac{P}{\mu} = \frac{21451.57N}{0.3} = 71505.23N$$

Pero en este caso se contará con cuatro abrazaderas, por lo que la fuerza necesaria se puede dividir entre cuatro, y de este modo:

$$N=17876.3N$$

La abrazadera se analizó suponiendo que ésta representara las paredes de un recipiente a presión, de tal modo que la fuerza que se ejerciera hacia el interior proporcionara tal fuerza sobre la columna como se muestra en la Figura 3.17.

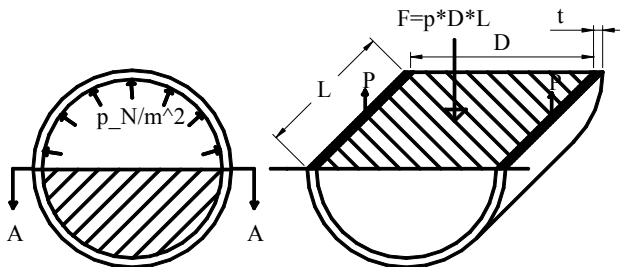


Figura 3.17 Simulación de la abrazadera sobre la columna.

En donde  $D$  es el diámetro de la columna,  $L$  es el espesor de la abrazadera,  $t$  es el espesor de pared de la abrazadera,  $p$  es la presión ejercida hacia la columna y  $P$  es la fuerza de unión en la abrazadera dada por el tornillo.

Para el equilibrio de fuerzas se tiene que la fuerza ejercida sobre la sección de la columna, que abarca la abrazadera, es igual a la fuerza de tensión dada por las secciones transversales de la abrazadera (las que están ranuradas), mismas que se provocan por la tensión en el tornillo.

$$p \cdot D \cdot L = 2P$$

Por lo que:

$$p = \frac{2P}{D \cdot L}$$

Que es la presión que se ejerce sobre cada columna, y dado que ésta presión se ejerce en todas direcciones, se puede conocer la fuerza normal al eje de coaxial de la columna, siendo ésta:

$$N = p \cdot A_a = \frac{2P}{D \cdot L} \cdot \pi DL = 2P\pi \quad \therefore \quad P = \frac{N}{2\pi}$$

Siendo  $P$  la fuerza de tensión necesaria en el tornillo, de este modo:

$$P = \frac{N}{2\pi} = \frac{17876.3N}{2\pi} = 2845.1N$$

Dado que el cuerpo de la abrazadera no está inicialmente en contacto con la columna, el tornillo debe vencer la resistencia que presenta la abrazadera para cerrarse. Esta fuerza se calculó tomando al cuerpo de la abrazadera como una viga curva y haciendo que las paredes internas de la misma, se encuentren al cincuenta por ciento de su límite de proporcionalidad, es decir a  $200MPa$ , para conocer ésta fuerza se considera que la carga proporcionada por el tornillo se aplica como se muestra en la Figura 3.18 y se toma la ecuación de momento en vigas rectas a la que se le aplica un factor de corrección que presentaron Wilson y Querau[7], quienes calcularon un factor de corrección  $k$  para que ésta ecuación se pueda aplicar a vigas curvas, tal factor de corrección se presenta en la Tabla 3.2.

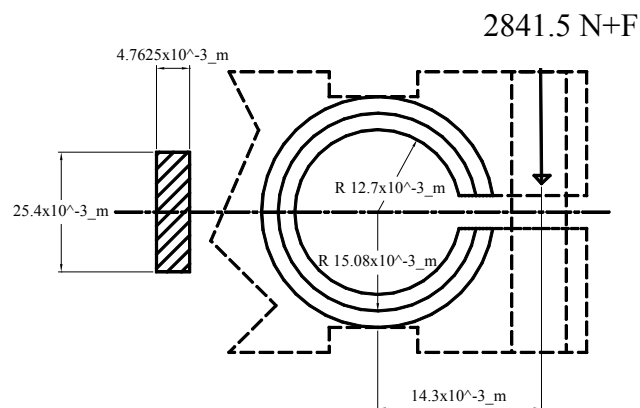


Figura 3.18. Abrazadera

Tabla 3.2. Factores de corrección  $k$  para vigas curvas de sección rectangular

R/c	Rectángulo	
	Interior	Exterior
4	1.20	0.85

Dicho factor de corrección depende de la relación  $k$  depende de  $R/c$ , siendo  $R$  el radio de curvatura de la línea de centros de la viga curva, y  $c$  la ordenada respecto al centro de gravedad de la “fibra” interior, como se muestra en la Figura 3.19.

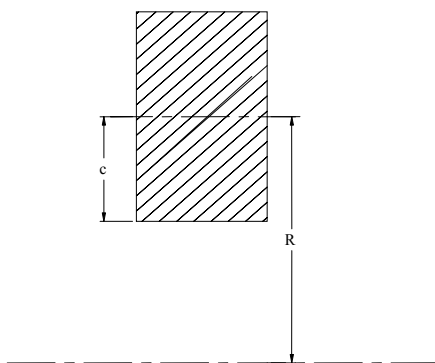


Figura 3.19. Sección transversal de la viga curva considerada.

El momento necesario para que se cumpla lo mencionado anteriormente se despeja de la ecuación de momento en vigas rectas, con el factor de corrección mencionado:

$$\sigma = k \frac{Mc}{I} \Rightarrow M = \frac{\sigma I}{kc} = \frac{\sigma \cdot \frac{bh^3}{12}}{k \frac{h}{2}} = \frac{\sigma bh^2}{6k}$$

$$\frac{200 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \cdot 25.4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (4.765 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{6 \cdot 1.2} = 16.02 \text{ Nm}$$

Dado que la fuerza que provoca el par es aplicada a  $14.3 \times 10^{-3} \text{ m}$  del eje axial de la columna, dicha fuerza es:

$$F = M / d = 16.02 \text{ Nm} / 14.3 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1.12 \text{ KN}$$

Por lo tanto, la fuerza de tensión que deberá proporcionar el tornillo de aprieta será de

$$F_t = P + F = 2841.5 \text{ N} + 1120 \text{ N} = 3.962 \text{ KN}$$

Como la fuerza que puede ser aplicada al tornillo seleccionado, el cual tiene un esfuerzo de cedencia de  $227.5 \text{ MPa}$ , y un área sujeta a tensión de  $33.81 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ , es de

$$F_t = \sigma_t \cdot A_t = 227.5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 33.81 \cdot 10^{-6} = 7.692 \text{ KN}$$

la cual es mayor a la necesaria, por lo que es posible utilizar dicho componente.

Para lograr disponer de la fuerza mencionada ( $3.962 \text{ KN}$ ) es necesario proporcionar el siguiente par al tornillo:

$$T = P_B (0.159 \cdot l + 1.156 \mu d) =$$

$$3962 \text{ Nm} \cdot (0.159 \cdot (1/18) \cdot 0.0254 \text{ m} + 1.156 \cdot 0.3 \cdot (3/16) \cdot 0.0254 \text{ m}) = 6.34 \text{ Nm}$$

Donde  $P_B$  es la fuerza de tensión en el tornillo,  $l$  es el avance,  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca y  $d$  es el diámetro del tornillo.

➤ Ancla C1354-1.- El sistema de anclaje puede ser de diferentes formas, esto lo indicará el método en el que se utiliza el mármol en el lugar de la construcción.

De los diferentes tipos de anclajes se seleccionó el siguiente: se simulará un panel construido por varias placas de mármol unidas mediante vigas interconectadas entre sí, como el arreglo que se utiliza para colocar plafón en los techos. La simulación de éste tipo de anclaje se hará utilizando una loseta de mármol anclada en uno de sus extremos por medio una ranura que se le practicará a la probeta en su sección transversal. Éste sistema de anclaje es representativo, y habrá que analizar el método de anclaje utilizado en la construcción y diseñar el dispositivo en casos particulares. El sistema de anclaje seleccionado es uno de los sugeridos en la norma, y simulará (según la misma) el método de anclaje en que se utiliza en éste tipo de construcción.

Ya que las dimensiones de la probeta se han dado anteriormente, se tiene las siguientes dimensiones para el empotramiento: se utilizará una viga con un ancho de 13 *pulg*, el espesor se tiene especificado de 1/8 *pulg*, ya que la probeta de menor espesor es de 3/8 *pulg* para que la probeta entre sin dificultad, ya que el espesor de la ranura es de un tercio del de la probeta.

De lo anterior, solamente falta seleccionar el material a utilizar, ya que sus dimensiones ya han sido establecidas. El material deberá ser lo suficientemente rígido para soportar la carga aplicada (21451.57N), y no tener una deflexión de más de 0.1mm (0.004 *pulg*) como lo requiere la norma.

El método para analizar la flexión en la viga ó sistema de anclaje se hizo tomando la ecuación de deflexión en una viga empotrada, con carga uniformemente distribuida, tomando el ancho de la viga igual al de la probeta (12 *pulg* siendo en realidad de 13 *pulg*), así que la deflexión máxima es:

$$\delta = \frac{w \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I}$$

$$\text{donde } w = 21451.57N / (0.4375 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{ pulg}) = 1930.4 \cdot 10^3 N / m$$

$$L = 0.4375 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{ pulg} = 11.112 \cdot 10^{-3} m ;$$

$$E = 200 \cdot 10^9 Pa ;$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.3048m \cdot (3.175 \cdot 10^{-3}m)^3}{12} = 8.129 \cdot 10^{-10} m^4$$

$$\delta = \frac{w \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} = \frac{1930.4 \cdot 10^3 N / m (11.112 \cdot 10^{-3}m)^4}{8 \cdot 200 \cdot 10^9 N / m^2 \cdot 8.129 \cdot 10^{-10} m^4} = 22.62 \cdot 10^{-6} m ,$$

es decir 0.022mm, que es menor a la deflexión mínima permitida (de 0.1mm). Por lo que la placa será de un acero 1018 con módulo de elasticidad de 200GPa.

- Empotramiento C1354-1.- Como lo muestra la Figura 3.20, éste sujetará al ancla y, que deberá ser fijo.

Éste empotramiento será de sección rectangular y su espesor estará definido por el espacio para sujetar al ancla (1), además, éste espesor servirá para alojar varios tipos de anclas, el largo será de 13 *pulg* y la altura de 3 *pulg* dando el espacio suficiente para lograr una fácil colocación de la probeta y además ser parte del mecanismo de ajuste para probetas de diferentes espesores (de 3/8 *pulg* a 1/2 *pulg*). Tendrá además ranuras en sus costados que darán lugar a tirantes de apoyo, evitando así cualquier posible flexión.

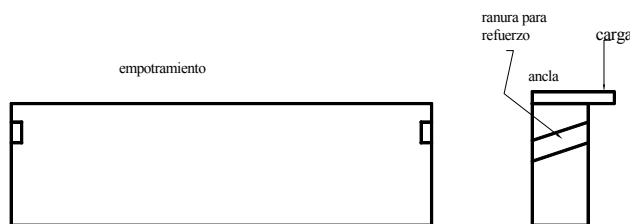


Figura 3.20 Geometría de empotramiento.



Se tendrá en cuenta para esto que el rodillo tendrá una cubierta de hule con espesor de  $1/16$  in. Para la colocación adecuada de la probeta es necesario que la diferencia de alturas del rodillo sea de  $7/16$  pulg (en su extremo superior de  $13/4$  pulg y en el inferior de  $15/16$  pulg).

Para mantener en los rieles el carro del soporte del rodillo fue necesario realizar una ranura a lo largo de riel donde se colocarán tornillos para mantener el carro en posición. Ésta ranura tendrá una inclinación para dar cabida a tornillos con cabeza plana, y de esta manera el carro tenga libre paso entre las columnas que soportan la placa superior.

La carga que recibirán los rieles será mínima, ya que la fuerza aplicada la recibirá, en su mayoría, el ancla por ser más cercana, y el espesor de  $3/8$  in es para fines de manejo y estabilidad.

- Soporte para riel C1354-1.- serán elementos que darán soporte al carro que llevará al soporte tipo rodillo.

Tendrán una sección transversal rectangular, y le serán practicados ranuras para la colocación del carro, además tendrán barrenos para la sujeción del riel mediante tornillos de  $1/4$  pulg de diámetro. La inclinación del riel de  $3^\circ$  la darán estos soportes mediante una diferencia de alturas de  $3/8$  pulg, determinado por la separación entre soportes de  $81/8$  pulg.

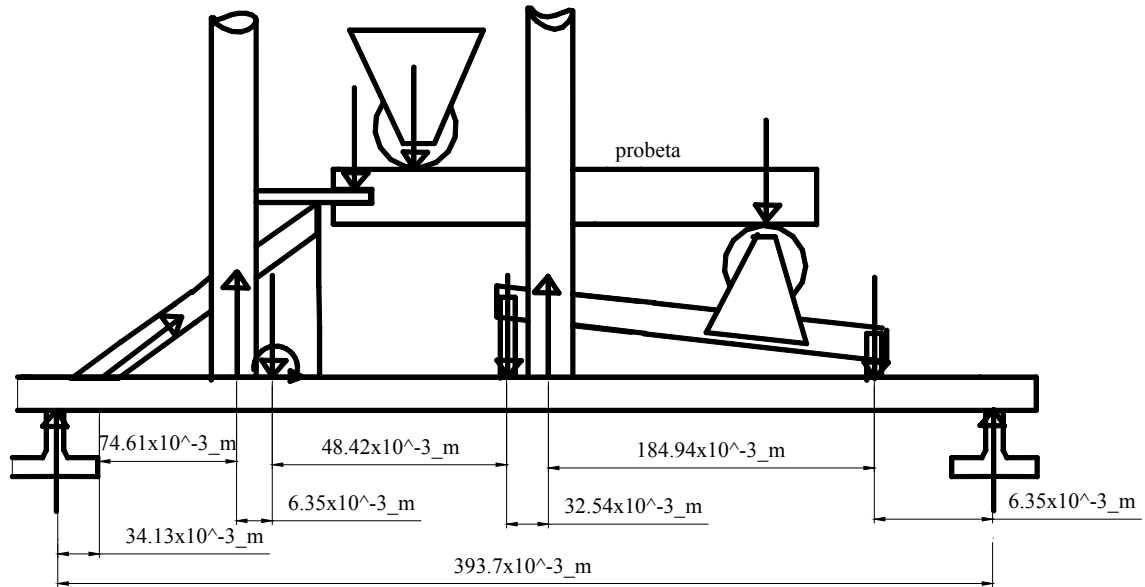
- Placa base C1354-1.- En ella se colocarán los elementos que soportarán la estructura tanto del cilindro hidráulico como de la probeta, como se ilustra en la Figura 3.23.

Para determinar las dimensiones de la placa base tendremos en cuenta las de la probeta y la carga que tendrá que resistir debido a la aplicación de la fuerza.

El ancho y largo de la placa base se determinó como sigue:

Como la probeta tendrá  $305\text{mm}$  de ancho ( $12$  pulg) el empotramiento será de  $13$  pulg de ancho para una fácil colocación de la probeta, se dio un espacio adicional de  $2$  pulg a cada lado para la colocación de las columnas que sujetarán al cilindro hidráulico, lo que da un ancho total de  $17$  pulg. El largo, por igual se obtuvo con el espacio que ocupará la probeta y por los soportes de la misma (la base del riel del cilindro que la soportará), además de los elementos que servirán de refuerzo al empotramiento, y por el espacio necesario para los niveladores del equipo. Lo que dio un ancho de  $17$  pulg, por lo que se tiene una placa cuadrada de  $17$  pulg por lado.

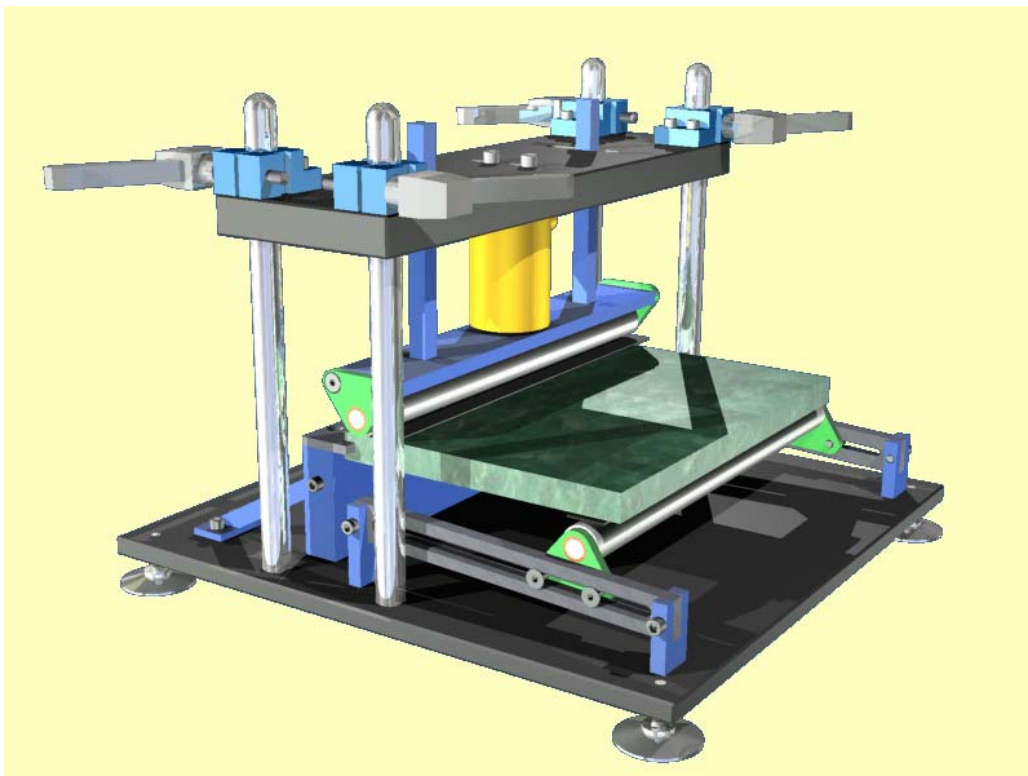
El espesor de la placa base está sujeta a las cargas que se aplicarán, ( $1/2$  pulg) ya que soportará la misma carga, que se distribuirá como lo muestra la Figura 3.23.



**Figura 3.23. Fuerzas y momentos que actúan en la “placa base”.**

- Nivelador.-el equipo será soportado por cuatro niveladores, que tendrán como diámetro de su elemento roscado  $5/16 \text{ pulg}$  para proporcionar estabilidad estructural.

A continuación, en la Figura 3.24, se muestra un isométrico con perspectiva del equipo de prueba ASTM C 1354 (método 2). Los planos de las piezas se encuentran en la sección Planos de los equipos para realizar pruebas a mármol.



**Figura 3.24. Vista en perspectiva del equipo de pruebas ASTM C 1354-2**



### 3.3.-Prueba de cortante

Para el equipo que realizará el tipo de prueba de la norma ASTM C-1354 (método 4) según se vio en el diseño conceptual del equipo, y considerando los diversos tipos de anclajes, mostrados en la Figura 3.25, son necesarios los siguientes elementos:



Figura 3.25. Diversos tipos de anclajes.

- Cilindro hidráulico C1354-4.- La carga se aplicará mediante un cilindro hidráulico, para determinar la capacidad necesaria de éste se procedió de la siguiente manera:

Como las dimensiones máximas de la probeta de mármol establecida es de 12x12x1 en *pulg* y considerando que la placa de mármol podrá ser un recubrimiento de algún muro a base de ladrillos, teniendo éste un espesor de 5*pulg* y un esfuerzo último a la compresión de  $\sigma_c = 15MPa$ , y el ancla considerada como un perno o tornillo (de sección circular), que se introducirá en el mármol al centro de la cara de mayor área, como se muestra en la Figura 3.26. Éste perno resiste un esfuerzo cortante elástico de  $\sigma_a = 300MPa$ , que es el del acero SAE grado 5.

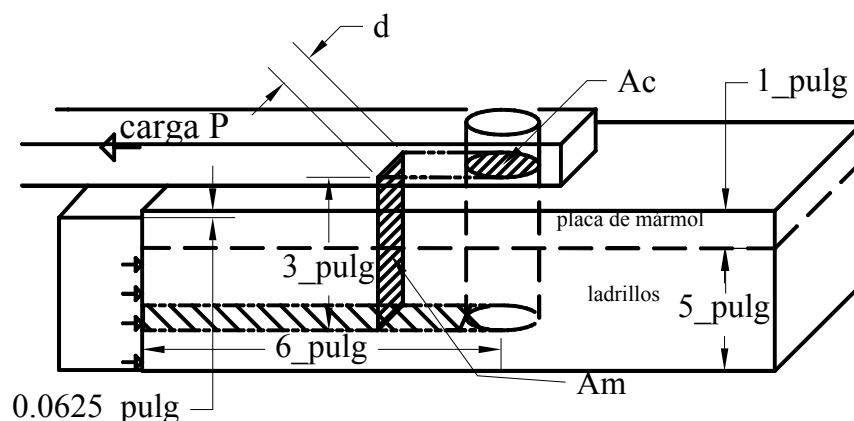


Figura 3.26 Áreas sujetas a cortante (Ac) y a contacto (Am).

Evaluando la carga máxima mediante las dimensiones mayores de la probeta, siendo ésta obtenida igualando los diámetros máximos tanto del mármol como del ancla, en el que los dos materiales llegan a su esfuerzo último, en el mármol a la fractura y en el tornillo o perno al límite elástico, considerando para el tornillo o ancla solamente el esfuerzo cortante a que estará sujeto y, del mármol, el esfuerzo de contacto y el cortante provocados por el ancla. En éste caso no se consideró el área que estará sujeta a cortante en el mármol, ya que en la parte superior de la probeta existirá una concentración de esfuerzos debido a que la restricción no actúa en todo el espesor de la probeta y, una vez alcanzado el esfuerzo último se provocará la fractura de la probeta.

A partir de la ecuación de esfuerzo simple encontramos los diámetros máximos tanto del ancla como del mármol.

para el ancla (esfuerzo cortante  $\tau = \frac{P}{A}$ ) se tiene:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\sigma_a \cdot \pi}} \quad (a)$$

para el mármol (esfuerzo de contacto  $\sigma = \frac{P}{A}$ ):

$$d = \frac{P}{\sigma_m \cdot 1 \text{ pulg} \cdot 0.0254 \text{ m / pulg}}, \quad (b)$$

igualando (a) y (b) se obtiene la fuerza  $P$ :

$$P = \left( \frac{2 \cdot \sigma_m \cdot 1 \cdot 0.0254 \text{ m}}{\sqrt{\sigma_a \cdot \pi}} \right)^2 =$$

$$P = \left( \frac{2 \cdot 133 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2 \cdot 1 \cdot 0.0254 \text{ m}}{\sqrt{300 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2 \cdot \pi}} \right)^2 = 48.435 \text{ kN}$$

equivalente aproximadamente a 4.5ton, por lo tanto el cilindro hidráulico que se utilizará será de 10ton.

Ya obtenida la fuerza  $P$  se determinó el diámetro mínimo del ancla, necesario para que la fractura ocurra en el mármol.

A partir de la ecuación (a) se tiene que:

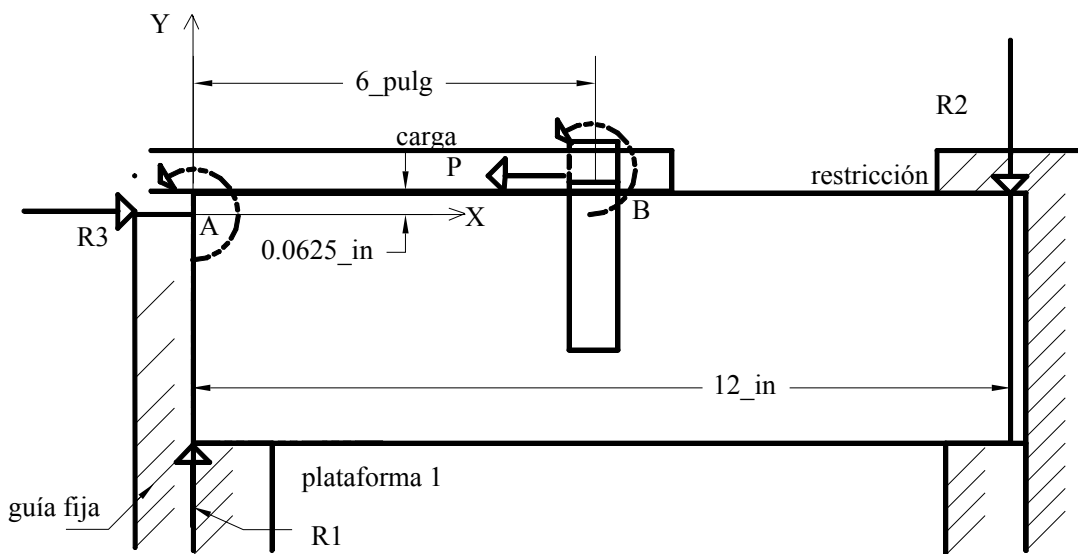
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\sigma_a \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 48435 \text{ N}}{300 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2 \cdot \pi}} = 14.3 \text{ mm}, \text{ equivalente aproximadamente a}$$

$$0.562 \text{ pulg} \approx 9/16 \text{ pulg}.$$

- Plataforma C1354-4.- Tendrá el propósito de dar soporte a la probeta, por lo que el espesor sugerido será de 1pulg, ya que no se menciona en la norma, tendrá un ancho de 13pulg debido a que el ancho máximo de la probeta será de 12pulg y una altura que se determinará posteriormente.

Para dar lugar a los bujes de bronce por los cuales se deslizarán los eslabones largos se les harán barrenos a las plataformas para que se unan con los eslabones largos y además se les practicarán un par de barrenos roscados para que se coloquen las piezas denominadas “tren plataforma”, que ayudarán a mantener próximas a la plataforma con las placas fija y deslizante. Se le practicará además una ranura para lograr la colocación del tren guía.

Para establecer las dimensiones de la “plataforma” y la “restricción” se realizó el análisis mediante el diagrama de cuerpo libre, Figura 3.27 y encontrar así las reacciones que tendrá la fuerza aplicada a la probeta en la plataforma 1 (R1) y en la restricción (R2), determinando de éste modo las dimensiones de éstos elementos.



**Figura 3.27 Fuerzas en la Plataforma (R1) y en las Restricciones (R2 y R3).**

En la Figura 3.27 se observan las fuerzas y momentos que actúan en la probeta, y en sus respectivos soportes, como se observa, para conocer la reacción en R2 sólo es necesario analizar la sumatoria de momentos, lo cual se analizó de la manera siguiente:

Se convino tomar la probeta como sólida y de un espesor de 6.25pulg, siendo el espesor real del mármol de 1pulg, y el resto de espesor de tabique ligero, por lo que la fuerza R3 actuará en el origen “A” indicado en la Figura 3.27, por lo que se tiene que la sumatoria de momentos en A es:

$$\sum M_A = 0$$

$$0.0625pulg \cdot P - 12pulg \cdot R2 = 0 =$$

$$1.5875 \cdot 10^{-3} m \cdot P - 0.3048 m \cdot R2 = 0$$

con  $P=48435\_N$

se tiene que

$$R2=252.26\_N=R1.$$

Dado que el claro en la viga es de 13pulg se tiene un momento:

$$M = R_1 \cdot x = 252.26N \cdot 6.5 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{pulg} = 41.65Nm$$

A partir de la ecuación de flexión en vigas rectangulares, en donde  $h$  es la altura y  $b$  es el espesor obtenemos la altura de la plataforma, Figura 3.28 con espesor de 1pulg que se pretende utilizar, con un claro de 73/4pulg:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{\sigma \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 41.65Nm}{393 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \cdot 0.0254m}} = 5 \cdot 10^{-3} m \approx 0.196 \text{ pulg}$$

De tal manera las “plataformas 1 y 2” tendrán un espesor de 1pulg y, por cuestiones de sujeción una altura de 2pulg, siendo la altura necesaria de 1/4pulg.

La geometría que tendrá la “plataforma” se muestra en la Figura 3.28, en donde además se muestra el “tren plataforma” que servirá para mantenerla adyacente a la “guía fija”.

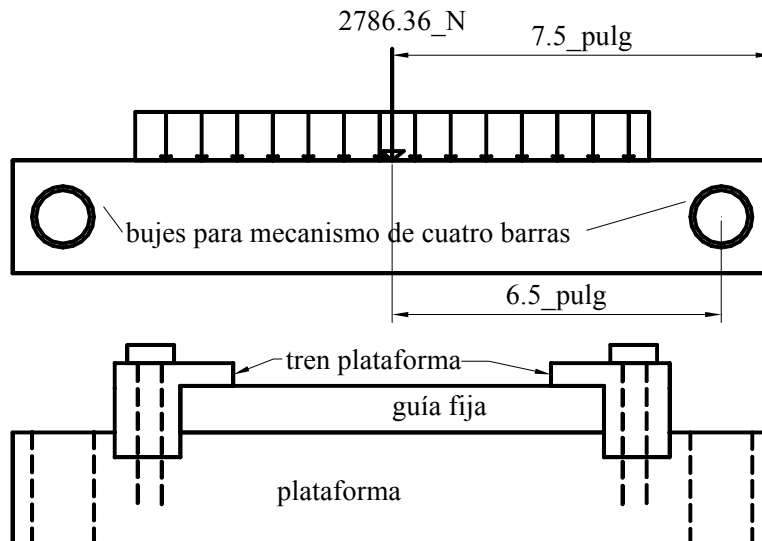


Figura 3.28 Plataforma C-1354-4.

- Placa tirante C1354-4.- será el medio de enlace entre el cilindro hidráulico y el ancla.

Como ya se obtuvo el diámetro mínimo  $d=14.3mm \approx 9/16 \text{ pulg}$ , y en consecuencia el área de la sección transversal que deberá tener el ancla.

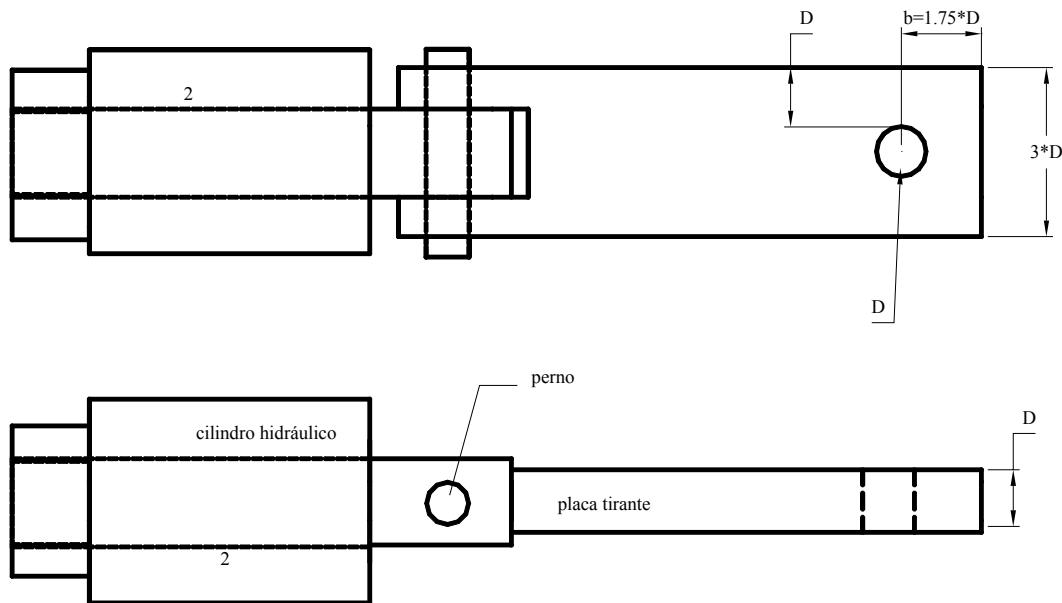
Cabe mencionar que la norma presente indica que también se puede probar el sistema de anclaje, por lo que es necesario también dar cabida a anclas con menor diámetro, o en su caso, menor esfuerzo último. En el presente trabajo se limitará a contemplar solamente la realización de pruebas a mármol, más no a sistemas de anclaje, aún así se anticipa la posibilidad de adaptaciones para diferentes tipos de anclaje con piezas intercambiables que se colocarán a la placa tirante para dar cabida a distintos diámetros de anclas.

Para asegurarse de que no exista falla en la “placa tirante” se darán dimensiones a la misma de modo que la placa rodee el barreno por lo menos 1.75 veces el diámetro del ancla a partir del centro del barreno, es decir

$$b = 5/16 \text{ pulg} + 1.75(5/8 \text{ pulg}) = 1.406 \text{ pulg}$$

esto es cierto cuando el área de la placa en su sección transversal es la misma al diámetro del ancla y tienen igual punto de cedencia según Pytel [6].

La geometría que tendrá la “placa tirante” es la mostrada en la Figura 3.29, de tal manera la carga se aplicará sin excentricidad respecto al eje del cilindro hidráulico a la probeta de mármol.



**Figura 3.29. Geometría de la placa tirante C-1354-4, compuesta por dos elementos acoplados.**

El perno que unirá al cilindro hidráulico con la placa tirante estará sujeto a cortante doble y deberá soportar una fuerza cortante de  $48.435 \text{ kN}$ , y dado que el acero a utilizar es el 1018, se tiene que con el factor de seguridad de 2.5 :

$$\sigma = \frac{F}{2A} \quad \therefore$$

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot sf \cdot F}{\pi \cdot \sigma}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2.5 \cdot 48435 \text{ N}}{\pi \cdot 393 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}} = 0.014 \text{ mm} \approx 0.552 \text{ pulg}$$

con lo que se tiene un perno con diámetro de  $3/4 \text{ pulg}$ .

- Mecanismo de cuatro barras C-1354-4.- Tendrá el propósito de dar a la plataforma el ajuste necesario de acuerdo a las dimensiones de la probeta.

Para lograr esto se acoplará un par de mecanismos de cuatro barras paralelas, mostrado en la Figura 3.30, uno a cada lado de la probeta, unidas mediante una “barra de acoplamiento”, en la cual se le colocará una palanca y tornillo para manipularlo. Las barras largas serán de sección circular para que tengan un deslizamiento suave sobre bujes de bronce montados en la plataforma.

La variación de altura que deberá tener la “plataforma” es de  $57/8\text{pulg}$ , y la carga máxima que soportará la “plataforma 1” es de  $252.26\text{N}$ , y sucederá cuando la plataforma se encuentre en su posición más baja (probeta de mayor espesor), debido a la necesidad de aplicar una fuerza mayor para lograr la fractura de la probeta, cuando esto suceda, la carga  $P$  tendrá la posición mostrada en la Figura 3.30.

La deflexión en los eslabones largos no deberá ser superior a  $0.1\text{mm}$  (por convención y coherencia con la permitida en la Norma ASTM C1354), la geometría de la viga se muestra en la Figura 3.30. Para determinar el diámetro de los eslabones del mecanismo dado la máxima deflexión en ellos se partió de la ecuación de deformación en vigas con carga aplicada fuera del punto medio de la longitud de la viga, siendo la siguiente:

$$EIy = \frac{Pbx}{6L}(L^2 - x^2 - b^2)$$

que aplica para cuando  $0 < x < a$ , siendo  $a$  la mayor distancia a partir del extremo de la viga a la posición de la carga y  $b$  la menor distancia en el otro extremo, de ésta se despeja el diámetro de la viga, siendo éste

$$d = \sqrt[4]{\frac{64P \cdot b \cdot x \cdot (L^2 - x^2 - b^2)}{6 \cdot \pi \cdot y \cdot L \cdot E}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 2.5 \cdot 252.26\text{N} \cdot 1.5\text{pulg} \cdot 19.5\text{pulg} \cdot ((21\text{pulg})^2 - (19.5\text{pulg})^2 - (1.5\text{pulg})^2)}{6 \cdot \pi \cdot 0.1 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot 21\text{pulg} \cdot 200 \cdot 10^9\text{N/m}^2}} =$$

realizadas las conversiones de unidades correspondientes e incluyendo al valor de la carga el factor de seguridad  $sf=2.5$  se tiene que  $d = 25.88\text{mm}$ , pero debido a que se podrá soportar el doble de carga, ya que la carga será soportada por dos eslabones paralelos, se convino en utilizar un diámetro de  $1\text{pulg}$  para cada uno de ellos.

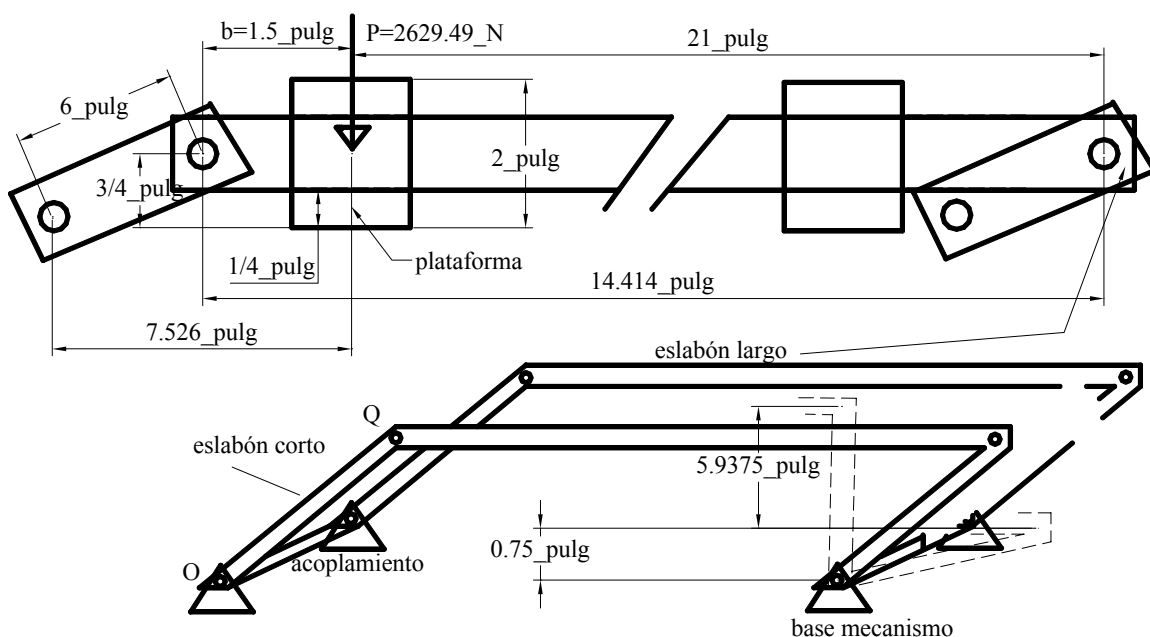


Figura 3.30. Mecanismo de cuatro barras.

Para determinar el área de la sección transversal de los pernos del mecanismo se consideró el esfuerzo cortante que estarán sujetos. La carga máxima es  $P=252.26N$ , y teniendo la ecuación de esfuerzo cortante  $\tau = \frac{P}{A}$  se obtiene el área mínima de la sección transversal, siendo

$$A = \frac{sf \cdot P}{\tau} = \frac{2.5 \cdot 252.26N}{250 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}} = 2.52 \cdot 10^{-6} m^2$$

Debido a que el perno estará sujeto a doble cortante se tiene el siguiente diámetro de:

$$A/2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \therefore$$

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2.52 \cdot 10^{-6} m^2}{\pi}} = 1.267 \cdot 10^{-3} m = 0.049 \text{ pulg}$$

pero debido a que los pernos se ajustarán a los eslabones largos de sección circular, es decir no están sujetos a simple cortante y además para dar mayor estabilidad estructural, se convino en dar al perno un diámetro de  $3/8 \text{ pulg}$ .

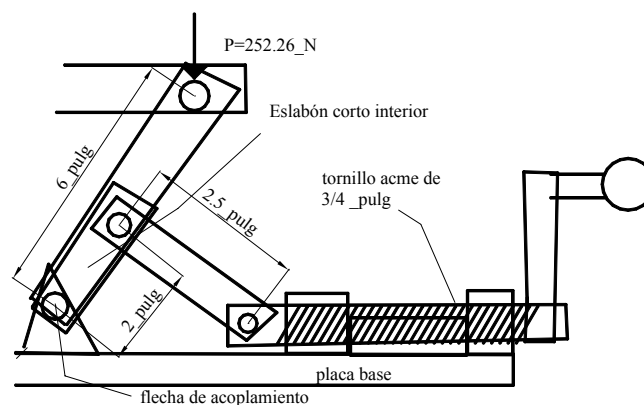
Los eslabones cortos estarán compuestos por un par de soleras en los extremos de cada uno de los eslabones largos para que se permita mayor desplazamiento vertical.

Para mantener la posición horizontal de la plataforma deseada se colocará un tornillo en la palanca de ajuste para fijarla en la misma, éste tornillo estará sujeto a compresión como se muestra en la Figura 3.31, sometido a una fuerza de  $252.26N$  que es la misma que se aplicará a la plataforma. Dado que el esfuerzo a compresión del acero 1018 es  $\sigma=380 \cdot 10^6 N/m^2$  se tiene el diámetro de

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \therefore$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot sf \cdot P}{\sigma \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.5 \cdot 252.26N}{380 \cdot 10^6 N/m^2 \cdot \pi}} = 1.45 \cdot 10^{-3} m = 0.057 \text{ pulg}$$

El tornillo a utilizar será de  $3/4 \text{ pulg}$  aunque el necesario es de  $1/16 \text{ pulg}$  debido a que éste último da un aspecto de debilidad estructural (recordando que los pernos para de los eslabones son de  $3/8 \text{ pulg}$ ).



**Figura 3.31 Mecanismo para ajustar la plataforma horizontalmente.**

El acoplamiento de los mecanismos paralelos será mediante una barra de sección circular colocada en la base del mismo, a la cual se le soldará un par de brazos que servirán para acoplar los mecanismos de cuatro barras con el eslabón intermedio, y éste a su vez, con el tornillo acme de  $3/4$  pulg. Esta barra debe resistir el par aplicado a los “eslabones cortos” del mecanismo de cuatro barras, este par es:

$$M = P/2 \cdot d = 252.26N / 2 \cdot 6 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{pulg} = 19.22Nm$$

por lo que a partir de la ecuación de torsión  $\theta = \frac{TL}{JG}$  y para flechas de sección circular

el momento polar de inercia es  $J = \frac{\pi d^4}{32}$ , teniendo una rotación no mayor a  $0.25^\circ \approx 4.36 \times 10^{-3}$  radianes, que provocaría un desplazamiento horizontal de  $0.6mm$ . El diámetro mínimo de la sección deberá ser

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot sf \cdot T \cdot L}{\pi \cdot \theta \cdot G}}$$

$$\sqrt[4]{\frac{32 \cdot 2.5 \cdot 19.22Nm \cdot 6.625 \text{ pulg} \cdot (0.0254m / \text{pulg})}{\pi \cdot 8.72 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2}}} = 18.26 \cdot 10^{-3} m \approx 0.72 \text{ pulg}$$

Como se indica, ya se ha introducido el factor de seguridad  $sf = 2.5$  por lo que la flecha tendrá un diámetro de  $3/4$  pulg.

➤ Guía deslizante.- Tendrá la función de restricción al movimiento horizontal de la probeta, además de poder ajustarse horizontalmente.

Las dimensiones del largo y ancho están dadas por las dimensiones de la probeta y los dispositivos de fijación. Ésta placa, mostrada en la Figura 3.32, deberá resistir la fuerza de  $252.26N$  aplicada como se indica. Dicha fuerza provocará un momento máximo de

$$M = 252.26 \cdot 1 \text{ pulg} \cdot 0.0254m / \text{pulg} = 6.407Nm$$

que en éste caso es despreciable, ya que la placa deberá tener por lo menos un espesor de  $1$  pulg debido a cuestiones de sujeción y estabilidad. El movimiento horizontal estará a cargo de un tornillo, y estará sujeta a un par de guías adicionales para asegurar el movimiento uniforme,

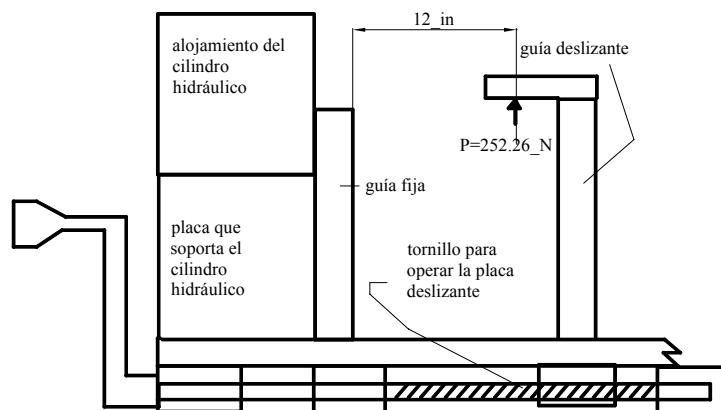


Figura 3.32 Mecanismo para operar la placa deslizante



- Guía fija.- Sobre éste elemento se deslizará la “plataforma-1” y servirá como estructura para apoyar al cilindro hidráulico, a ésta además se le unirá una placa que sostendrá el peso del cilindro.

Al igual que la placa deslizante, la guía fija tendrá un espesor de  $1\text{ pulg}$  y las dimensiones del largo y ancho estarán dadas por las necesidades de sujeción y por las de la probeta.

- Placa base.- Su función será la de dar soporte a la estructura, mecanismos de ajuste y probeta.

Sus dimensiones (ancho y largo) serán dadas por el espacio que ocupen los mismos, y el espesor se determinará por la fuerza a que estará sometida, para esto, se tiene que, como se vio en el análisis para el diseño de la plataforma, la fuerza es de  $P=252.26\text{N}$ , ésta fuerza que actúa a una distancia de  $12\text{ pulg}$  a partir de la placa fija y hacia la placa deslizante. Para determinar el espesor de una viga empotrada sometida a una fuerza en su extremo, se tiene que la deflexión máxima es

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

de la cual se despejó el espesor de la viga y se tiene que

$$d = \sqrt[3]{\frac{12PL^3}{3\delta Eb}}$$

de tal forma, y con una deflexión máxima de  $0.2\text{mm}$  y con el factor de seguridad, se tiene que el espesor es

$$d = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 252.26\text{N} \cdot 2.5 \cdot (12\text{ pulg} \cdot 0.0254\text{m/pulg})^3}{3 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot 200 \cdot 10^9\text{ N/m}^2 \cdot (17.75\text{ pulg} \cdot 0.0254\text{m/pulg})}} = 15.82\text{mm}$$

que es aproximadamente de  $3/4\text{ pulg}$ , que será el espesor de la placa.

En la Figura 3.33 se muestra un isométrico con perspectiva del equipo de prueba ASTM C 1354 (método 4). Los planos de las piezas se encuentran en la sección “Planos de los equipos para realizar pruebas a mármol”.

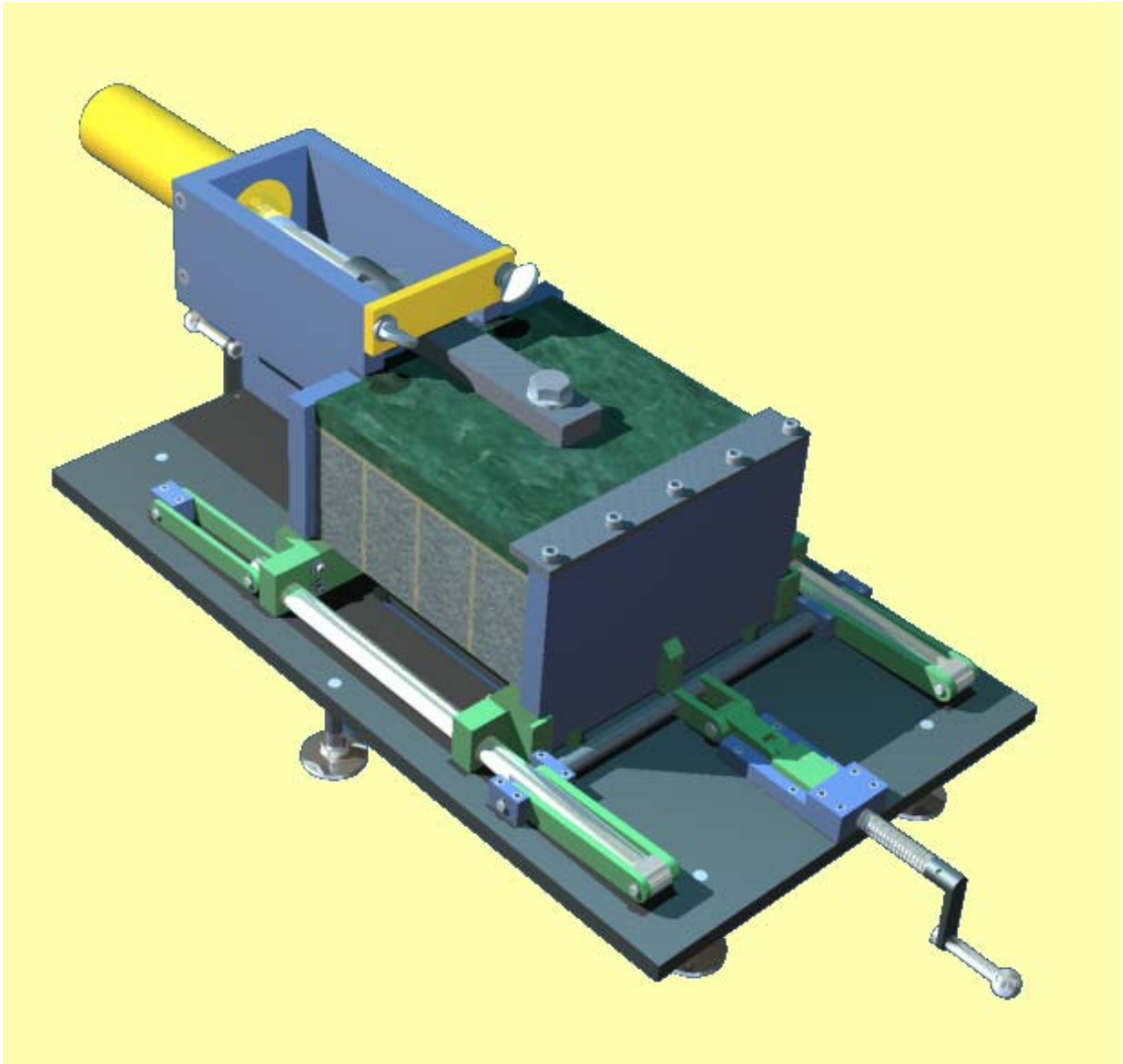


Figura 3.33 Vista en perspectiva del equipo de pruebas ASTM C-1354 método 4.

### 3.4.- Sensores de carga e instrumentos de medición

El transductor utilizado en cada uno de los equipos estará compuesto por galgas extensométricas con arreglo tipo diafragma, el cual es sensible a las deformaciones debido al cambio de resistencia provocada por deformaciones en la longitud de su elemento sensible (transductor), ya que la resistencia en un conductor (resistor) es directamente proporcional a la resistividad<sup>1</sup> del material y la longitud del resistor e inversamente proporcional al área de sección transversal perpendicular a la dirección del flujo de corriente. La resistencia  $R$  de un conductor está dada por

$R = \rho \frac{l}{A}$ , donde  $\rho$  es la resistividad del resistor,  $l$  la longitud del mismo y  $A$  el área de su sección transversal, por lo que el cambio de resistencia ilustrado en la Figura 3.34 es

$$\Delta R = \rho \frac{l}{A} - (\rho + \Delta\rho) \frac{l + \Delta l}{A + \Delta A} \quad (1)$$

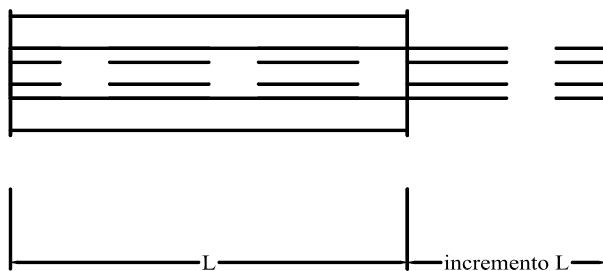


Figura 3.34 Alambre antes y después de ser aplicada una fuerza provocando la deformación mostrada.

Para cualquier galga extensométrica (en donde la variable es la resistencia eléctrica), el cambio en la resistencia debido a la deformación es la indicada por la ecuación (2), la cual indica

$$\frac{\Delta R}{R} = S_g \varepsilon_{xx} \quad (2)$$

en donde  $S_g$  = factor de la galga

$\Delta R$  = cambio en la resistencia

$R$  = resistencia

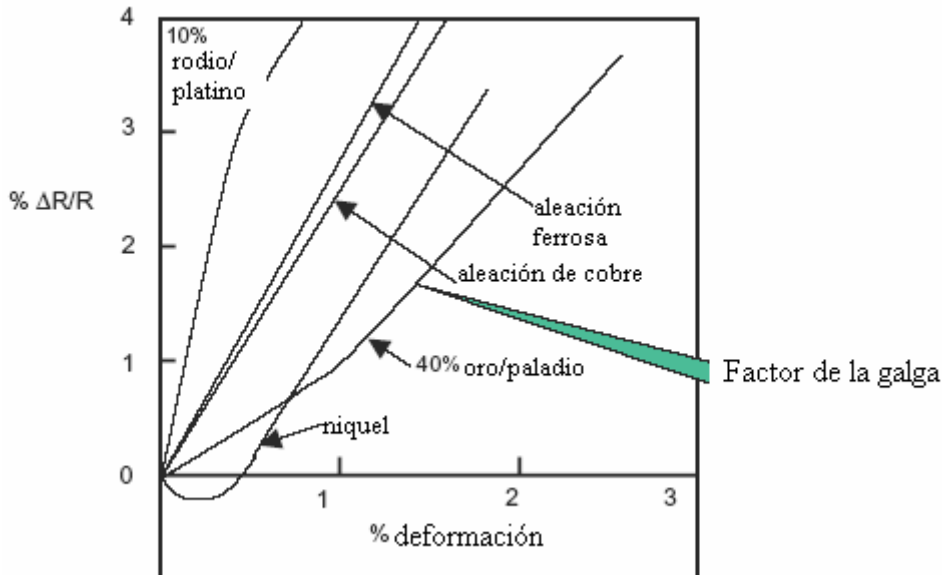
$\varepsilon_{xx}$  = deformación longitudinal en el eje x.

en donde el eje a medir coincide con el eje x. Para poder aplicar el cambio de resistencia eléctrica en algún análisis experimental de esfuerzos, la cantidad  $\frac{\Delta R}{R}$  debe ser medida y convertida en deformación, la cual produce el cambio de resistencia. El factor de la galga  $S_g$  se obtiene experimentalmente y está dada por

<sup>1</sup> Resistividad ( $\rho$ ) es la resistencia de un conductor al paso de flujo de corriente de acuerdo con su longitud unitaria y el área de su sección transversal unitaria sus unidades son  $\Omega \cdot m$ .

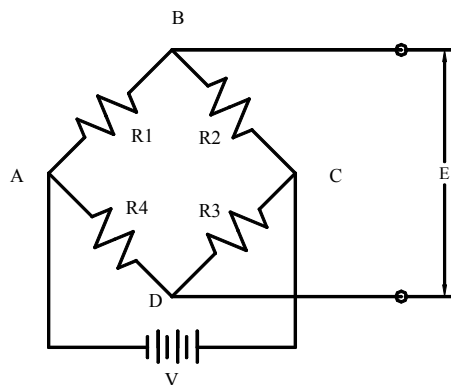
$$\text{Factor de la galga} = S_g = \frac{dR/R}{\epsilon}$$

que es la pendiente de la curva mostrada en la Figura 3.35.



**Figura 3.35 Determinación del factor de la galga.**

El circuito de puente de Wheatstone será empleado para determinar el cambio en la resistencia de la galga cuando se somete a deformaciones. El empleo del puente de Wheatstone se debe a que puede hacer mediciones estáticas y dinámicas, lo cual nos ayudará a saber con relativa precisión en que valor de carga fallará la probeta. El voltaje de salida,  $\Delta E$ , del circuito se mide y relaciona con la deformación. Además, el puente puede ser usado como un circuito balanceado, en donde el voltaje de salida puede ser cero mediante ajustes en resistencias variables.



**Figura 3.36 Circuito de Puente de Wheatstone.**

Para mostrar el principio de operación del puente de Wheatstone como un dispositivo directo de lectura (en donde  $\Delta E$  es medido para determinar la deformación), considérese el circuito mostrado en la Figura 3.36. La caída de voltaje a través de R1 es denotada como  $V_{AB}$ , y está dado por

$$V_{AB} = \frac{R1}{R1 + R2} V \quad (a)$$

y, de manera similar, la caída de voltaje en R4 está dado por

$$V_{AD} = \frac{R4}{R3 + R4} V \quad (b)$$

La salida de voltaje del puente E es equivalente a la ecuación para  $V_{BD}$ , el cual es

$$E = V_{BD} = V_{AB} - V_{AD} \quad (c)$$

sustituyendo las ecuaciones (a) y (b) en (c) y simplificando se tiene:

$$E = \frac{R1 \cdot R3 - R2 \cdot R4}{(R1 + R2)(R3 + R4)} V \quad (d)$$

El voltaje E es igual a cero cuando el puente está balanceado, esto sucede cuando  $R1 \cdot R3 = R2 \cdot R4$

Esta característica de balanceo es la que permite al puente de Wheatstone ser empleado para medidas de deformación estáticas. El puente esta inicialmente balanceado antes de que la deformación en las galgas sea aplicada en el puente, ya que el voltaje E es inicialmente cero entonces se pueden medir deformaciones inducidas, ya que se presenta un voltaje  $\Delta E$ , que puede medir directamente cargas estáticas y dinámicas.

Considérese un puente inicialmente balanceado con  $R1 \cdot R3 = R2 \cdot R4$ , de modo que  $E=0$ , y luego se cambia el valor de la resistencias R1, R2, R3 y R4 por unas cantidades incrementales  $\Delta R1$ ,  $\Delta R2$ ,  $\Delta R3$  y  $\Delta R4$ , el voltaje de salida  $\Delta E$  puede ser obtenido por la ecuación (e) como sigue:

$$\Delta E = V \frac{\begin{vmatrix} R1 + \Delta R1 & R2 + \Delta R2 \\ R4 + \Delta R4 & R3 + \Delta R3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R1 + \Delta R1 + R2 + \Delta R2 & 0 \\ 0 & R3 + \Delta R3 + R4 + \Delta R4 \end{vmatrix}} = V \frac{A}{B} \quad (e)$$

donde A es el determinante del numerador y B el determinante del denominador. Expandiendo cada uno de éstos determinantes, despreciando los términos de segundo orden y notando que  $R1 \cdot R3 = R2 \cdot R4$  se puede demostrar que

$$A = R1 \cdot R3 \left( \frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right) \quad (f) \quad \text{y} \quad B = \frac{R1 \cdot R3 (R1 + R2)^2}{R1 \cdot R2} \quad (g)$$

combinando las ecuaciones (e) y (f) da

$$\Delta E = V \frac{R1 \cdot R2}{(R1 + R2)^2} \left( \frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right) \quad (h)$$

y haciendo a  $R1 / R2 = r$  ésta ecuación puede escribirse como

$$\Delta E = V \frac{r}{(1-r)^2} \left( \frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right) \quad (i)$$

en realidad las ecuaciones (h) e (i) traen consigo el término no lineal “1-η”, que se asume como 1 según Dally [15], por lo que la ecuación (i) es la ecuación básica que gobierna la conducta del puente de Wheatstone en mediciones de deformación.

La sensibilidad del puente de Wheatstone debe ser considerada desde dos puntos de vista:

- 1.- con un voltaje fijo aplicado al puente sin tener en cuenta la corriente en las galgas, cosa que sucede generalmente en los instrumentos de medición comerciales, y
- 2.- con un voltaje variable en donde su límite superior es determinado por la potencia disipada por el brazo particular del puente en donde se encuentra la galga extensométrica.

Retomando la sensibilidad del puente a partir de la ecuación dada, se tiene que la sensibilidad del circuito es

$$S_c = \frac{\Delta E}{\varepsilon} = V \frac{r}{\varepsilon(1-r)^2} \left( \frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right) \quad (j)$$

Si se considera un circuito con múltiples galgas, con  $n$  galgas (en donde  $n=1, 2, 3$  o  $4$ ) en donde la suma de las salidas cuando se colocan en un circuito de puente se puede

escribir  $\sum_{m=1}^{m=n} \frac{\Delta R_m}{R_m} = n \frac{\Delta R}{R} = n S_g \varepsilon$  (k), y sustituyendo la ecuación (j) en (i) deja la

$$\text{sensibilidad del circuito como } S_c = V \frac{r}{(1+r)^2} n S_g \quad (k)$$

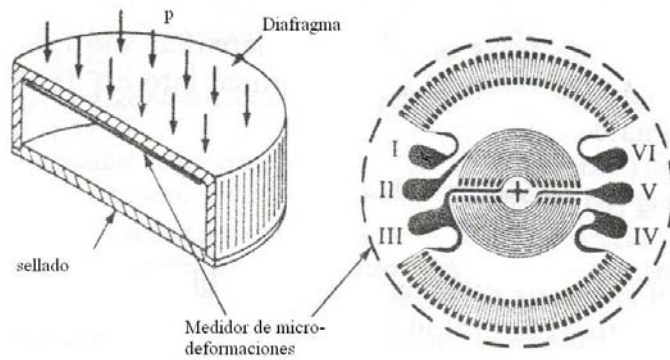
La ecuación de sensibilidad (k) es aplicable en los casos en que el voltaje aplicado al puente es fijo e independiente de la resistencia de las galgas. La ecuación muestra que la sensibilidad del puente depende del número de galgas  $n$  en el brazo activo empleado, el factor de galga  $S_g$ , el voltaje de entrada, y la relación de resistencias  $r=R1/R2$ .

La máxima sensibilidad del circuito ocurre cuando  $r=1$ . Cuando los cuatro brazos de éste puente están activos, se puede alcanzar la sensibilidad del circuito igual a  $S_g V$ , y un circuito con un solo brazo activo se alcanza un valor de sensibilidad de  $S_g V/4$ , ésta es la causa de que se utilizó un circuito con los cuatro brazos activos en el puente para los transductores, lo cual es el caso.

El transductor de presión, mostrado en el Figura 3.37 que se utilizará, tiene la siguiente distribución de deformaciones en el diafragma:

$$\varepsilon_R = \frac{3PR_0^2(1-\nu^2)}{8Et^2} \quad \text{y} \quad \varepsilon_T = \frac{3PR_0^2(1-\nu^2)}{4Et^2},$$

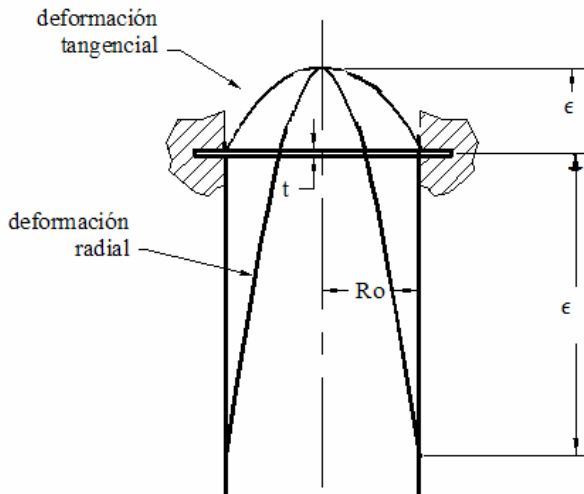
- donde:
- P= presión
  - t= espesor del diafragma
  - R<sub>0</sub>= radio del diafragma
  - r = parámetro de posición
  - E= módulo de elasticidad del material
  - ν =módulo de Poisson



**Figura 3.37 Transductor de presión tipo diafragma.**

Esta distribución de esfuerzos indica que la deformación circunferencial  $\epsilon_T$  es siempre positiva y alcanza su valor máximo cuando  $r=0$ . La deformación radial  $\epsilon_R$  es positiva en algunas regiones, pero negativa en otras y alcanza su valor máximo negativo cuando  $r=R_0$ . Ambas distribuciones se muestran en la Figura 3.38. El transductor de presión tipo diafragma toma ventaja de su distribución. Las rejillas circunferenciales son empleadas en la región central del diafragma, en donde  $\epsilon_R$  es máximo. De manera similar, las rejillas radiales son colocadas en las cercanías de la orilla del diafragma, donde  $\epsilon_T$  es máximo.

Además las rejillas radiales y circunferenciales son divididas en dos partes cada una, de tal manera que se dispone de cuatro galgas individuales, dando la posibilidad de conectar las terminales en un puente con los elementos circunferenciales en los brazos R1 y R3, y los elementos radiales en los brazos R2 y R4.



**Figura 3.38. Distribución de la deformación sobre el diafragma.**

Si se toma la deformación media sobre las áreas de las rejillas circunferencial y radial, y el valor medio de  $\frac{\Delta R}{R}$  se obtiene sustituyéndolo de la ecuación

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

entonces la señal de salida queda dada aproximadamente por

$$\frac{\Delta E}{V} = 0.75 \frac{PR_0^2(1-\nu^2)}{t^2 E} \quad (m)$$

de la ecuación (m) se puede obtener el espesor  $t$  del diafragma como lo muestra la ecuación (n).

$$t = \sqrt{\frac{0.75PR_0^2(1-\nu^2)}{e_0 E}}, \text{ en donde } e_0 \text{ es la relación } \frac{\Delta E}{V} \quad (n)$$

Debido a que la presión el diafragma cambia su forma originalmente plana a un segmento de radio grande, como consecuencia la deformación en el diagrama no es lineal con respecto a la presión aplicada, sin embargo se puede obtener una linealidad aceptable si se limita la deflexión del diafragma. El centro de deflexión  $y_c$  del diafragma puede ser expresado por

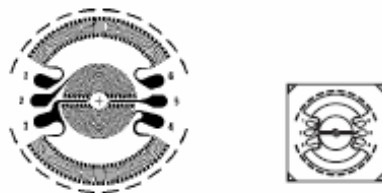
$$y_c = \frac{3PR_0^4(1-\nu^2)}{16t^3 E}$$

si  $y_c \leq t/4$ ,  $\frac{\Delta E}{V}$  será lineal hasta el 0.3% del rango del transductor.

El diámetro del transductor a utilizar en las celdas de presión se seleccionó teniendo en cuenta el material a utilizar para conformarlo, al espesor del diafragma así como la maquinabilidad y finalmente su disponibilidad en el mercado, este transductor lleva consigo las siguientes características:

Se denomina EA-XX-S050P-350 y viene acompañado con la tabla 2, en la que se presenta las dimensiones de dicho transductor, en las cuales las dimensiones sombreadas están en milímetros y las dimensiones sin relleno están en pulgadas, éste transductor tiene 350 ohms de resistencia en cada brazo del puente y el factor de galga es 2.0, o sea la relación  $\frac{\Delta E}{V}$  es de 2\_mV/V para dicho transductor.

Tabla 3.3. Datos geométricos del arreglo de galgas seleccionado.

			
PATTERN DIAMETER	CIRCULAR TRIM DIAMETER†	MIN. DIAPHRAGM DIAMETER	MATRIX SIZE-(SQUARE)
0.364	0.400	0.410	0.46
9.25	10.16	10.4	11.7
<b>MATRIX SIZE</b>	0.46 L x 0.46 W		11.7 L x 11.7 W



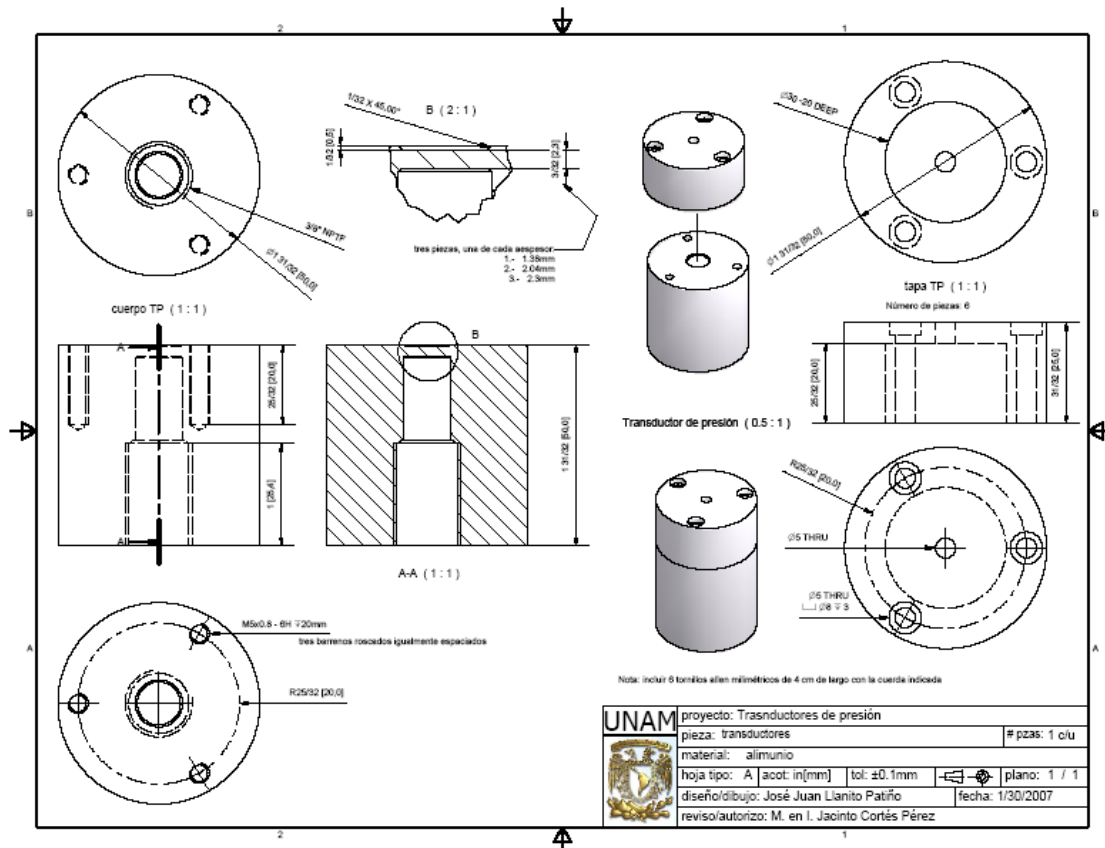
Dadas estas características y con las ecuaciones para determinar el espesor del diafragma (ecuación (n)) al que se le unirá éste elemento, se tiene que dicho espesor será el mostrado en la tabla 3.4 para cada equipo de pruebas para mármol, el que será manufacturado a partir de un macizo redondo de aluminio con módulo de elasticidad  $E=70GPa$ , módulo de Poisson  $\nu = 0.33$

Tabla 3.4. Tabla de espesores para los diferentes equipos de pruebas para mármol.

Equipo de pruebas, código del gato hidráulico	Presión máxima a medir en MPa	Espesor del diafragma en mm $t = \sqrt{\frac{0.75 \cdot P \cdot R_0^2 (1 - \nu^2)}{e_0 \cdot E}} \cdot 10^3$	Deflexión del diafragma en mm $y_c = \frac{3PR_0^4(1 - \nu^2)}{16t^3E}$
c-99	41	2.3	0.0046416
c-1354 método 1	14.84	1.38	0.0214889
c-1354 método 4	32.36	2.04	0.00665214

Dado que las deflexiones en los diafragmas son menores a  $t/4$ , los transductores serán lineales hasta 0.3% del rango del transductor.

Las geometrías de los transductores se dan a continuación en el Plano 3.1.



Plano 3.1. Dimensiones de los transductores de presión.

## Capítulo 4.- Pruebas a los prototipos y discusión de resultados

De los equipos diseñados se ha construido el equipo de pruebas ASTM C-1354 (método 1), en el cual fue posible la realización de la prueba mencionada, durante la cual se observaron algunos detalles al prototipo, como el de que la prueba indica que la rotación del elemento que aplica la carga sea menor a  $2^\circ$ , pero debido a cuestiones de maquinado el ángulo que presenta el equipo construido es de  $5^\circ$ , pero es posible un ajuste haciendo que las guías se deslicen sobre una superficie pulida y con una precisión de maquinado de  $\pm 0.1\text{mm}$ , el cual fue el indicado en los planos de fabricación. Por otro lado el ajuste de la probeta fue adecuado y el maquinado de la misma se logró con resultados favorables, no obstante, hay que tener en cuenta la geometría de la probeta para diseñar el dispositivo de sujeción o anclaje adecuado, como lo indica la norma.

En este equipo de pruebas se ha realizado pruebas a mármol con espesor de  $1/2\text{pulg}$ , la prueba arrojó un módulo de fractura de  $60\text{MPa}$ , lo cual muestra que fue posible la realización de la prueba a mármol.

Los dispositivos de medición no se han manufacturado pero es posible la medición con dispositivos analógicos (manómetros) para la realización de las pruebas.

Para la comercialización o utilización del equipo hay que tener en cuenta que se debe de disponer de los requisitos del equipo como son: bomba hidráulica de potencia, toma de corriente para el display, etc.

Cabe mencionar que el sensor de presión, con el dispositivo adecuado puede dar mediciones de la fuerza que se está aplicando simplemente con indicar el rango y escala adecuados.

## Conclusiones

Los mármoles de la zona de Tepeji de Rodríguez cuentan con un esfuerzo último de aproximadamente  $60\text{GPa}$ , aunque las pruebas en el equipo ASTM C-1354 (método 1) muestra que las propiedades mecánicas del mármol varían de una cantera a otra, por lo que es necesario realizar pruebas constantes para determinar éstas propiedades mecánicas del mármol.

Los equipos de prueba ASTM C-99 y C-1354 (método 4) no se han construido por falta de patrocinador, pero como es evidente al cabo de la realización de ésta tesis se puede mencionar que los equipos de pruebas para mármol, así como algún otro que se requiera, son posibles de realizar en México, y sustituir en gran parte las importaciones de equipos de pruebas o de otra índole, que éstos se pueden diseñar y construir con menores recursos que si se importaran, y de ésta manera se obtienen beneficios mutuos, tanto para la empresa como para el desarrollo de las capacidades de los alumnos o egresados.

Un ejemplo de las importaciones de equipos de pruebas es el que se muestra en la Figura 5.2, que actualmente se encuentra en la Universidad de Querétaro, el cual está diseñado para realizar la prueba ASTM C-880, dicha prueba se ilustra en la Figura 5.1, por el cual se pago además del equipo en sí, la importación de dicho equipo.

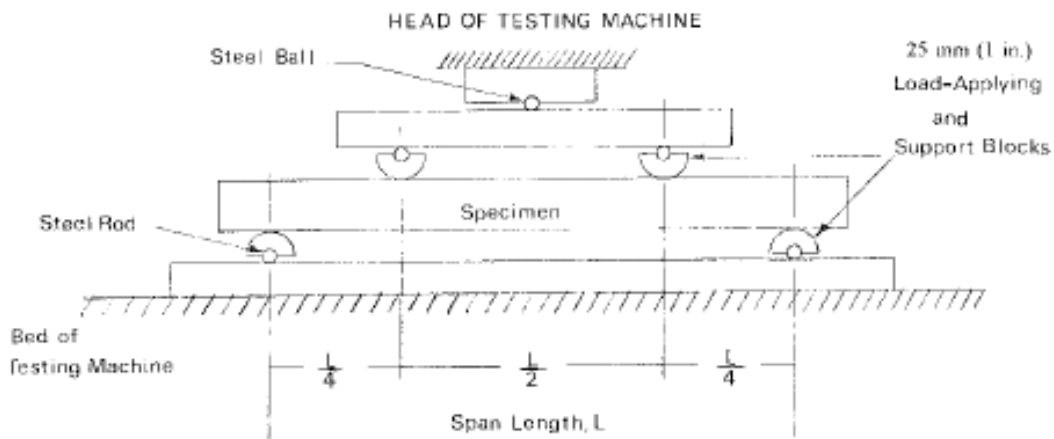


Figura 5.1. Método de pruebas ASTM C-880.



Figura 5.2. Equipo que realiza la prueba ASTM C-880 ubicado en la U. de Querétaro.

## **Anexo**

### **Norma ASTM C 99**

#### **Método de prueba estándar para el módulo de ruptura de piedras.**

##### 1. Alcance

1.1. Este método de prueba cubre la determinación del módulo de ruptura de todo tipo de rocas dimensionadas excepto pizarra.

1.2. No es propósito de esta norma dirigir todo lo concerniente a seguridad, si lo hay, asociado con el uso de la misma. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer apropiadas reglas de seguridad y cuidado, además de establecer las limitantes de su uso.

##### 2. Documentos de referencia

2.1. Estándar ASTM: C119 Terminología relacionada con rocas dimensionadas.

##### 3. Terminología

3.1. Todas la terminología esta acorde con la encontrada en la norma ASTM C119.

##### 4. Significado y uso

4.1. Este método de pruebas es utilizado para indicar los diferentes módulos de ruptura entre varias clases de rocas dimensionadas. También provee elementos para comparación entre piedras del mismo tipo.

##### 5. Aparato

5.1. Máquina de pruebas –la exactitud de la máquina de pruebas deberá ser de 1% en el rango de entre 10 a 1000\_lbf (libras fuerza), o 44 a 4450\_N (newton).

5.2. Filo de la arista – El soporte del espécimen será de mediante dos aristas filosas del tipo eje de balancín mostrado en la Fig. 1 con los filos por lo menos del ancho del espécimen. La arista filosa que aplicará la carga puede ser del tipo balancín o rígida.

##### 6. Probeta

6.1. Seleccionar el ejemplar que represente realmente un promedio del tipo de roca, que bajo consideraciones será puesta en el mercado, que será probada.

El ejemplar podrá ser seleccionado por el comprador o por su representante autorizado que lo tomará de la cantera<sup>1</sup> o de alguna repisa donde se encuentre, y deberá ser del tamaño adecuado que permita la preparación del número de especímenes deseado. Cuando ocurran perceptibles variaciones el comprador podrá seleccionar múltiples ejemplares, tantos como sean necesarios, para determinar la variación del módulo de ruptura.

---

<sup>1</sup> Terreno del que se extrae piedra apropiada para construcción

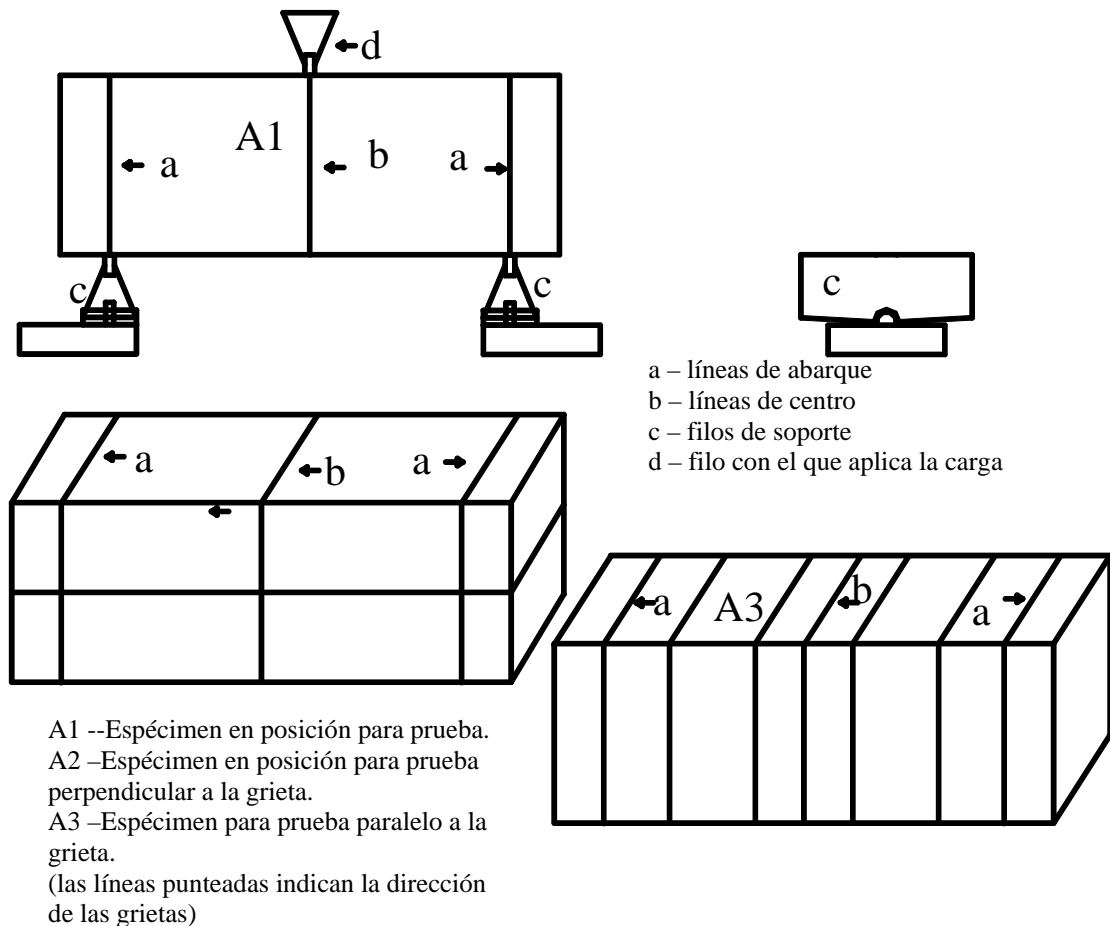


Fig. 1 Especimen y tipo preferido de filos para determinar el módulo de ruptura en rocas para construcción.

## 7. Ejemplares de prueba

7.1. Los ejemplares deberán ser de tener las siguientes dimensiones: aproximadamente 4 por 8 por 2 ¼ in (pulgadas) o (101.6x203.2x57.2 mm). Serán aserrado a partir del ejemplar, dándole posteriormente un acabado esmerilando para alisar las superficies. Las caras de 4x8 pulgadas deberán ser aproximadamente planas y paralelas.

Para cargas perpendiculares a grietas (Nota 1) se prepararán cinco especímenes con la cara de 4x8 pulgadas paralelas a los planos de las grietas (ver A2 en la fig. 1), y para cargas paralelas a las grietas, se prepararán cinco especímenes con la cara de 4x2 ¼ pulgadas paralela a la(s) grieta(s) (Nota 2). Cuando se decide hacer la prueba en condiciones húmedas y secas, se prepararán diez especímenes para cada condición de carga, esto es, cinco para condiciones secas, perpendicular a la grieta, cinco para condiciones húmedas, perpendicular a la grieta, etc.

Nota 1 –El término grieta es usado aquí para designar la dirección en la cual la roca se fractura más fácilmente. En rocas estratificadas se considera como el lecho de la

estratificación. La dirección de la fractura será señalada por el minero si no es posible verla a simple vista en el bloque de roca.

Nota 2 – Otras condiciones de carga pueden ocurrir en estructuras cuando el plano de la grieta es vertical y paralelo a la longitud de la viga. El esfuerzo de la roca puede ser obtenido de tal manera que la cara del espécimen de 2 ¼ x 8 pulgadas quede paralela a la grieta. La menor lectura disponible para ésta condición de carga indica que el esfuerzo en este último será más alto que cuando la carga es aplicada perpendicularmente a la grieta, como se muestra en al fig. 3 A2.

## 8. Marcado y medición de los especímenes

8.1. Sobre la cara de 4x8 pulgadas dibujar una línea de centros perpendicular a una arista (de la cara de 8x2 ¼ pulgadas) y continuarla hacia ambas aristas perpendiculares a la cara de 4x8 pulgadas. A una distancia de 3 ½ pulgadas (88.9 mm) de cada lado de la línea de centros, dibujar una línea similar a la misma (mostradas como “a” en la fig. 1). Marcar cada espécimen indicando la dirección de la grieta y etiquetarlas con una serie de letras para su identificación para su medida y prueba.

8.2. Mida las dimensiones de la sección transversal sobre la línea de centros. Mida con una aproximación de 0.01 pulgadas (0.25 mm) y obtenga media de tres medidas con aproximaciones de 0.01 pulgadas, una tomada a partir del centro y otra a partir de la arista.

## 9. Acondicionamiento

9.1. Antes de probar los especímenes en condición seca, séquelos por 48 hrs. a 60 ±2°C (140±4°F). A las 46, 47 y 48 hrs. pese el espécimen asegurándose de que el peso es el mismo. Si éste sigue disminuyendo continuar secando el espécimen hasta que tres mediciones horarias sucesivas sean las mismas. Después de remover el espécimen del horno, enfríelo a temperatura ambiente en un secador antes de realizar la prueba.

9.2. Antes de probar los especímenes en condiciones húmedas, sumérjalos en agua por 48 hrs. a una temperatura de 22±2°C (72±4°F). Haga la prueba inmediatamente después de haberlo quitado del baño y secado su superficie.

## 10. Procedimiento

10.1. Coloque el espécimen del lado plano sobre los fillos de soporte espaciados a una distancia de 7 pulgadas (177.8 mm) separados a igual distancia del fillo que aplicará la carga (Nota 3), Con los tres fillos paralelos. Cuando una carga de 10\_lbf (44\_N) haya sido aplicada mantenga la carga y haga que todos los fillos coincidan con las marcas hechas en el espécimen, centrando el espécimen en el fillo que aplicará la carga y moviendo los fillos de soporte a sus respectivas marcas. Aplique la carga en un rango que no exceda 1000\_lbf/min (4450\_N/min) hasta que ocurra la falla en el espécimen.

Nota 3 –Cuando los tres fillos sean del tipo balancín, debe de tenerse cuidado de ajustarlos hasta que la cara de arriba del espécimen esté en posición horizontal cuando sea aplicada la carga.

## 11. Cálculos

11.1. Calcule el módulo de ruptura de cada espécimen como sigue:

11.2.

$$R = \frac{3Wl}{2bd^2}$$

Donde: R = módulo de ruptura, en psi ó en MPa.

W= carga o peso, en lbf ó N.

l = longitud entre los filos de soporte, en pulgadas o milímetros

b = ancho del espécimen, en pulgadas o milímetros, y

d = espesor del espécimen, en pulgadas o milímetros.

## 12. Reporte

12.1. Reportar una media de todos los valores del módulo de ruptura del espécimen probado con carga perpendicular a la grieta, así como los paralelos a ella. En caso de que algún espécimen de un valor de 20% por debajo de la media, deberá ser examinado para notar si tiene defectos y, si el bajo valor tomado se debe a alguna falla o defecto quite el valor del ejemplar del grupo de especímenes para obtener el módulo de ruptura a partir del resto de ellos. Enuncie todas las determinaciones en el reporte.

12.2. Reporte la información adicional siguiente:

12.2.1. Identificación del ejemplar, incluyendo el norme y localización de la mina o cantera, nombre y posición de la saliente de la que fue tomada, fecha del hecho y nombre de la empresa minera y clasificación de la roca.

12.2.2. Tamaño y forma de los especímenes usados en la prueba, y

12.2.3. Una descripción del modo en el que los especímenes fueron preparados.

## 13. Precisión y tendencia

13.1. Variaciones individuales en productos naturales pueden resultar en desviaciones en los valores esperados. Una sección de precisión se adjuntará cuando los datos disponibles sean suficientes para indicar una tolerancia aceptable en repetibilidad y en reproducibilidad.

## 14. Palabras clave

14.1. Piedra dimensionada; flexión; módulo de ruptura; piedra.



## **Norma ASTM C 1354**

### **Método de prueba estándar para esfuerzos de anclaje a rocas dimensionadas individuales**

#### 1. Alcance

1.1. Este método de pruebas provee procedimientos para determinar el esfuerzo último de un ensamble que consiste de una roca y un ancla mecánica (anclaje). La carga es aplicada en forma separada, perpendicular a la superficie del panel y otra paralela a la superficie del panel. La intención de la prueba es representar la interacción entre el ancla con el panel de piedra. Sin embargo el trasfondo de la estructura de el ensamble no esta incluido.

1.2. Éste método es aplicable a paneles de piedra sostenidas por anclas mecánicas.

1.3. Los valores del SI<sup>2</sup> se tomará como estándar.

1.4. No es propósito de esta norma dirigir todo lo concerniente a seguridad, si lo hay, asociado con el uso de la misma. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer apropiadas reglas de seguridad y cuidado, además de establecer las limitantes de su uso.

#### 2. Documentos de referencia

##### 2.1. Normas ASTM:

C 1242 Guía para el diseño, selección e instalación en sistemas de anclas y anclajes para piedras en exteriores.

E 4 Práctica para la verificación de máquinas de pruebas.

E 575 Práctica para hacer reportes de datos para construcción de edificaciones, elementos, conexiones y ensambles.

#### 3. Terminología

##### 3.1. Definiciones

3.1.1. ancla; en general, un metal con forma insertado en un agujero u orificio en un panel de piedra provisto para la transferencia de cargas de la piedra a la estructura edificada, ya sea directa o indirectamente.

3.1.2. anclaje; ensamble que consiste en un panel de piedra y un ancla.

3.1.3. panel; roca cortada con dimensiones grandes en una cara con relación a su espesor, para ser colocada en una estructura edificada o un marco ensamblado.

#### 4. Resumen del método de prueba

4.1. Los especímenes de prueba consisten en un ejemplar de panel de piedra y un ancla mecánica que son fabricados de la misma manera y con los mismos materiales que los usados en la construcción. El ancla mecánica es colocada en un soporte de pruebas. Una carga de prueba es aplicada ya sea paralela o perpendicular a la cara del panel de piedra. La carga de prueba es aplicada gradualmente utilizando una máquina de pruebas calibrada; la carga se incrementa hasta que la piedra o el ancla se venzan o fallen.

---

<sup>2</sup> Sistema Internacional de Unidades

4.2. La carga a la que falla y el modo en que esto sucede en cada espécimen será observado y anotado. La prueba arriba descrita se repite cinco veces para cada combinación de piedra y ancla a ser probada y para cada dirección de carga.

## 5. Significado y uso

5.1. Éste método de prueba intenta proveer información que es aplicable al diseño, datos con los que se puede determinar el tipo de ancla para soportar un panel de piedra determinado. El esfuerzo de un ancla con dimensiones dadas puede ser relacionada con la máxima longitud del soporte cuando la flexibilidad del soporte es propiamente considerado por el diseñador. Refiérase a la guía ASTM C 1242.

## 6. Máquina de pruebas

6.1. La máquina de pruebas será conforme a los requerimientos de la norma ASTM E 4.

6.2. La carga de la máquina de pruebas deberá ser aplicada mediante los apropiados aparatos (un lubricado balín y dado o una junta universal lubricada) para aplicar la tensión directamente al espécimen sin desviaciones.

## 7. Marco de soporte y aparato de carga

7.1. El marco de soporte (no incluyendo el ancla a ser probada) deberá tener la suficiente resistencia para que no ceda mientras soporte la máxima carga aplicada. Además los soportes deberán de ser rígidos, con una flexión menor a 1 mm (0.04 pulgadas) cuando se aplique la máxima carga de prueba y el límite de rotación será de no mas de 2°.

7.2. Para cargas perpendiculares a la superficie del panel de piedra:

7.2.1. Una goma deberá de ser colocada entre la carga y el panel para evitar la concentración de esfuerzos en la superficie del ejemplar.

7.2.2. Un marco que soportará el ejemplar de piedra con ancla en el lado de la arista se muestra en la Figura 1. la Figura 1a representa una carga externa en un solo panel de piedra. Como opción del diseñador, dos paneles de piedra podrán ser probados de una sola vez en una sola ancla.

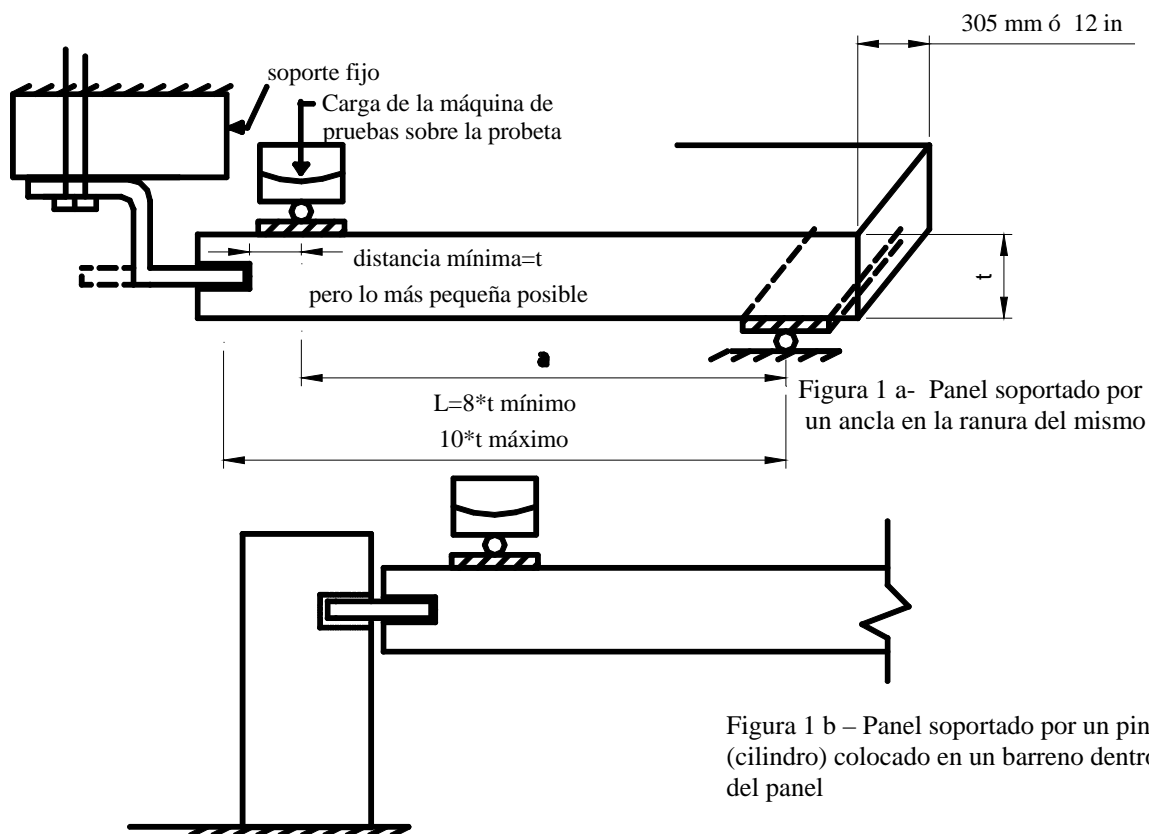


Fig. 1 Colocación para la prueba de conexión en la orilla del ejemplar—procedimiento de prueba A

7.2.2.1. El espécimen de prueba es soportado por un lado por el ancla. El ancla será colocada al marco de soporte de la misma manera en que se tendría en la estructura en construcción. El ejemplar de piedra es soportado del lado opuesto por un rodillo de 25 mm (1 pulgada).

7.2.2.2. La carga de la máquina de pruebas es aplicada a la piedra mediante un rodillo de 25 mm (1 pulgada), localizado lo mas cerca posible al ancla que soporta la piedra, pero a una distancia no menor que el espesor del panel.

7.2.3. El marco que soportará el ejemplar de piedra con ancla y la carga aplicada en dirección perpendicular al panel es mostrado en las Figuras 1 y 2. El ejemplar de panel de piedra es mantenido abajo mientras que la carga de arriba es aplicada a través de un solo ejemplar de ancla. El ejemplar de piedra puede ser sostenido abajo por otras anclas como se muestra en la figura 1, o por el aparato usado para aplicar carga mostrado en la Figura 2.

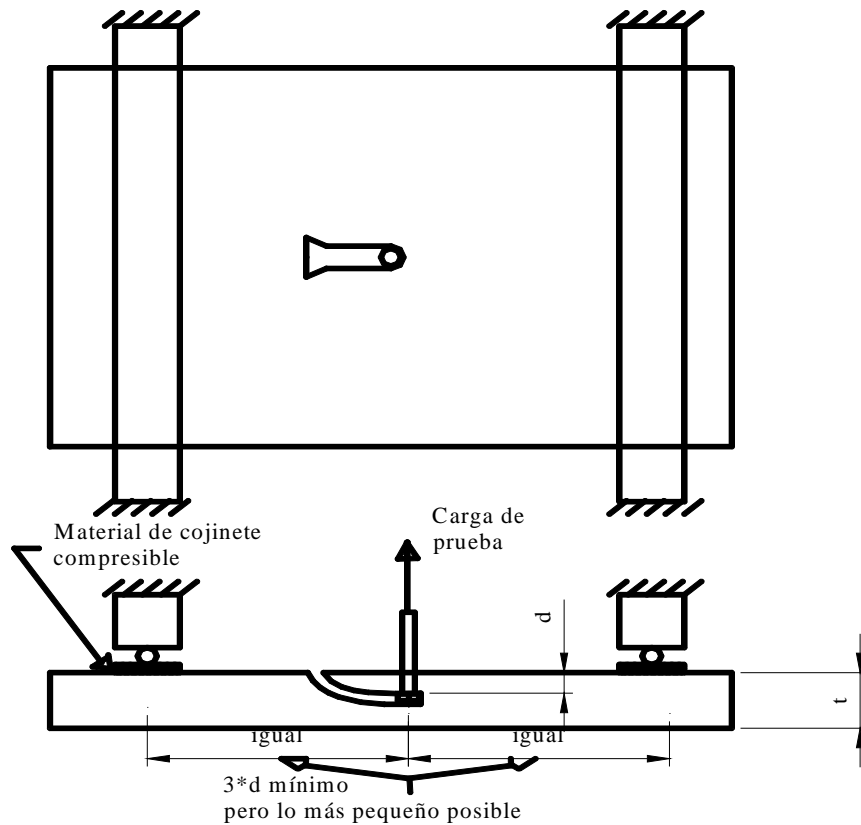


Fig. 2 -Colocación del panel de piedra para la prueba de carga, soportado por apoyos simples independientes. Carga aplicada perpendicular a la superficie

7.3. Para cargas aplicadas paralelas a la superficie del panel de piedra:

7.3.1. El ejemplar de panel de piedra retenido del panel mientras que la carga de prueba se aplica paralela al plano del panel como se muestra en la fig. 4. El área debajo del ancla deberá estar sin soporte para prevenir el cascaramiento, que pueden incrementar la resistencia artificialmente.

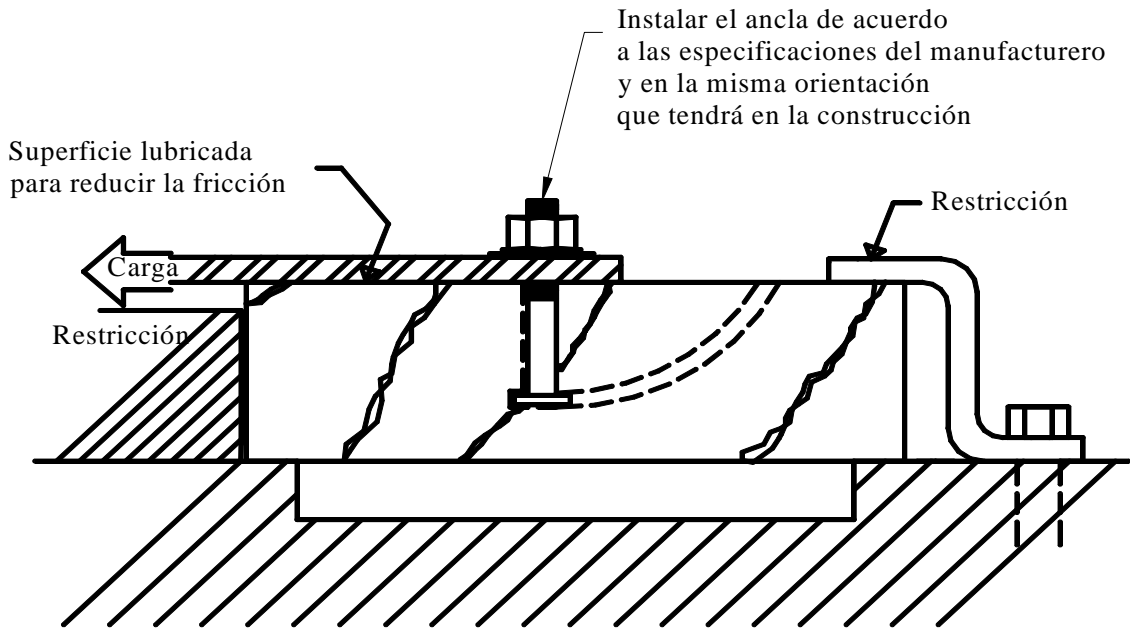


Fig. 4 panel de piedra con conexión en la parte trasera del mismo --la carga de prueba es aplicada paralela a la superficie

## 8. Prueba de especímenes

8.1. Sistema de anclaje –El sistema de anclaje deberá ser representativo del tipo en el que se usará en el campo de construcción e incluirá el ancla que se usará y todos los accesorios normalmente requeridos para colocar el ancla en la estructura base. Si se utiliza algún tipo de sellador en el campo de construcción éste deberá colocarse previamente al espécimen. De manera alternativa, se puede realizar la distribución de la carga entre el ancla y la piedra con un cojinete de material suave. Como opción del diseñador, un sellador puede ser colocado en la unión.

8.2. Instalación del ancla –Instalar el ancla y accesorios de acuerdo con el diseño especificado.

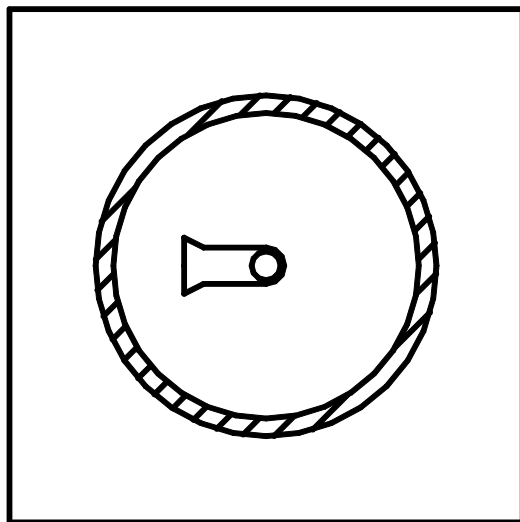
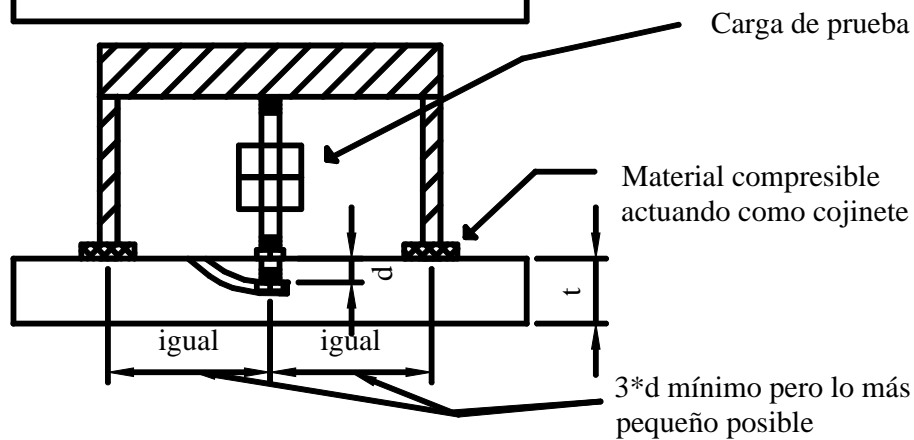


Fig 3 Colocación del panel de piedra con una conexión por su parte posterior y mantenido abajo por el accesorio—la carga es aplicada perpendicular a la superficie.



8.3. Número de especímenes –Deben de ser probadas por lo menos cinco especímenes para cada combinación de piedras y anclas a ser probadas<sup>3</sup>

8.4. Ejemplares de panel de piedra –Seleccionar ejemplares representativos de rocas dimensionadas. Las rocas serán tomadas de macizos con la misma orientación a la(s) grieta(s) que se usarán en construcción. Se deberá incluir además la siguiente información: nombre de la piedra usada para las pruebas, tipo de piedra, cantera de procedencia, orientación de grietas y acabado de la piedra.

8.5. Ejemplares de anclas –Usar anclas y accesorios representativos a los que se usarán en la construcción. Si se desea el esfuerzo a la fractura de la piedra, cuando éste excede la resistencia del metal del ancla, un conjunto adicional de anclas deberán de usarse con un superior esfuerzo de cadencia.

8.6. Acondicionamiento previo –Los ejemplares de piedra serán preacondicionados sumergiéndolos en agua por 48 hrs. a  $22\pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $72\pm 4^{\circ}\text{F}$ ). después de haberlos removido del baño secar la superficie de la piedra. A decisión del diseñador se puede realizar la prueba en condiciones secas.

## 9. Procedimiento

<sup>3</sup> Pueden ser necesarios más especímenes dependiendo de la variabilidad de los resultados de las pruebas. Determinar los parámetros estadísticos para evaluar la variabilidad compuesta y seleccionar el número de especímenes necesario para obtener una determinada precisión en la capacidad del sistema de anclaje.

9.1. Para cargas aplicadas perpendicularmente al panel, y hacia fuera del mismo, se probarán un conjunto de cinco especímenes, y, otro conjunto de cinco para cargas aplicadas perpendicularmente al panel y hacia dentro del mismo. Como opción del diseñador, se podrá realizar la prueba en una sola dirección, la que aparentemente sea la más crítica, basado en la combinación de máxima carga y menor esfuerzo.

9.2. Para cargas aplicadas paralelas al panel, un conjunto de cinco especímenes serán probados con la carga aplicada en cada dirección del ancla a ser probada.

9.3. Aplicar la carga suavemente y en un rango de la mitad del rango anticipado al último esfuerzo por minuto.

9.4. Aplicar la carga a cada espécimen hasta que falle el ancla.

9.5. Observe y anote el modo en que ocurre la falla. Si el aparato hace interferencia con el plano de fractura, ajuste su localización para evitar esto.

9.6. Si se desea, la flexión del ancla puede ser medida. Ésta deberá ser medida con una precisión de 0.02 mm (0.001 pulgadas) y en la dirección de la carga. El diseñador especificará la prueba en la que la flexión será medida.

## 10. Cálculos

10.1. Para especímenes cargados usando el cuadro de pruebas mostrado en la figura 1, el reporte de carga en el sistema de anclaje será ver fig 1:

$$\text{carga en el sistema de anclaje} = \frac{(\text{carga en la máquina de pruebas}) * a}{L}$$

10.2. Para especímenes cargados usando el cuadro de pruebas mostrado en la figura 2, 3 ó 4, el reporte de carga en el sistema de anclaje será:

$$\text{carga en el sistema de anclaje} = \text{carga en la máquina de pruebas}$$

## 11. Reporte

11.1. Reporte la siguiente información en acorde con la práctica ASTM E 575:

11.1.1. Fecha de la prueba y del reporte.

11.1.2. Agencia responsable de la prueba.

11.1.3. Identificación del sistema de anclaje mostrado: fabricante, tipo, material, acabado, forma, dimensiones y alguna otra información pertinente.

11.1.4. Descripción del sistema de anclaje probado.

11.1.5. Dibujos detallados o fotografías del espécimen a probar y después de la prueba, incluya espesor, dimensiones de la ranura o diámetro del barreno, localización del barreno o ranura y acoplamiento del ancla en la ranura o barreno, si es que no está descrito. Dimensiones recientes de cada espécimen a ser probado (con mayor exactitud que las dimensiones nominales), que deberán de ser reportadas.

11.1.6. Nombre de la roca, tipo, cantera de origen, orientación de la grieta y acabado.

11.1.7. Descripción del método de prueba, modo en que se aplico la carga y carga nominal actual.

11.1.8. Número de especímenes probados

11.1.9. Cargas de pruebas nominales y medias y modo de falla individual, así como;

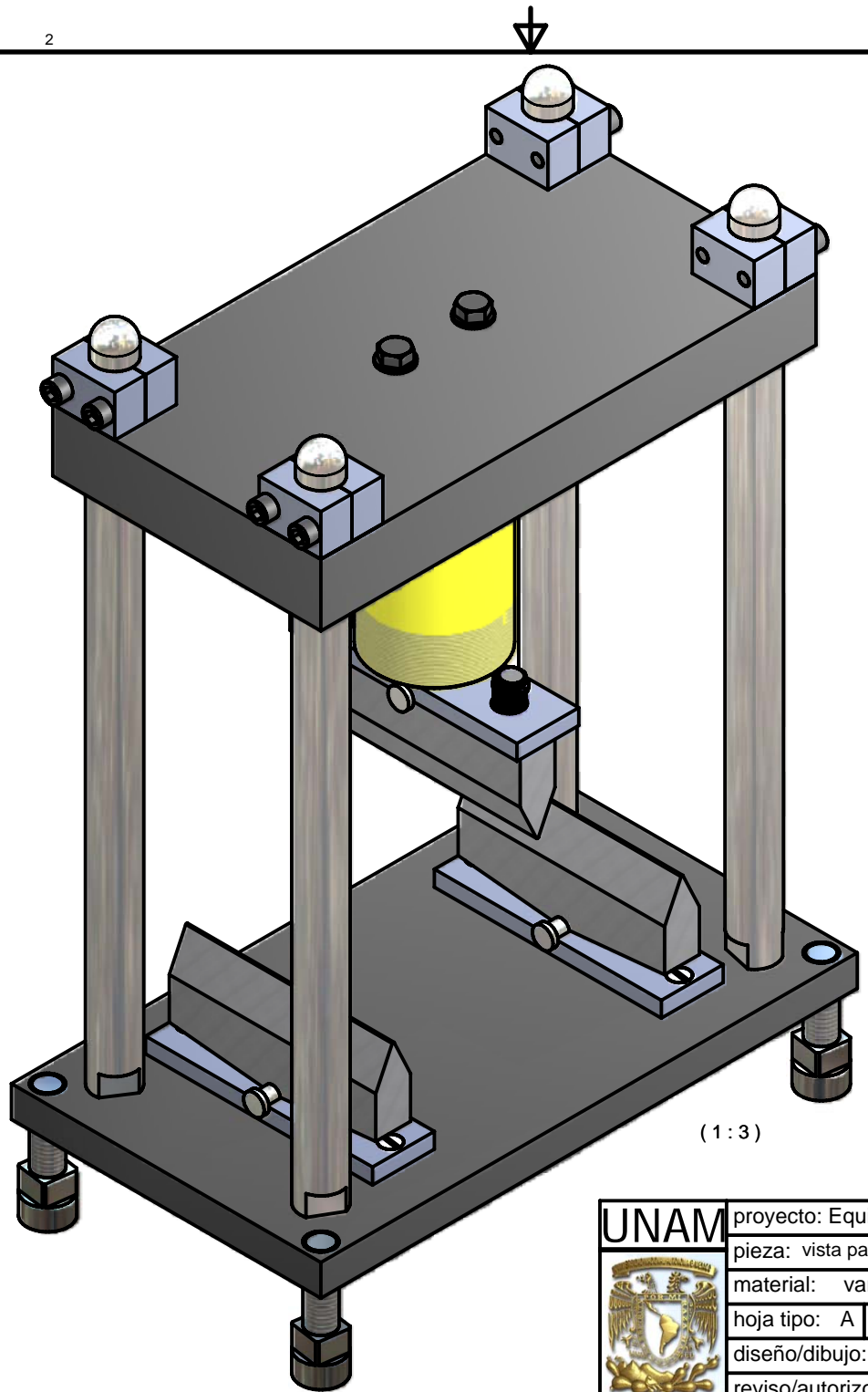
11.1.10. Nombres, firmas y, si se requiere, un certificado profesional o sello de las personas responsables.

12. Precisión y tendencia


14.2. Variaciones individuales en un producto natural puede resultar con variación en valores aceptables. Una sección de precisión será adjuntará cuando los datos disponibles sean suficientes para indicar una tolerancia aceptable en repetibilidad y en reproducibilidad.

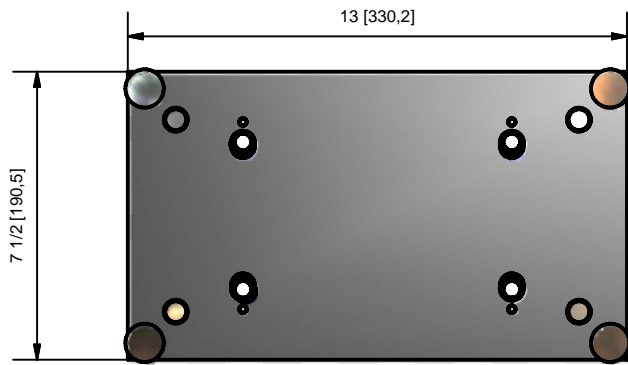
***Planos de los equipos para realizar pruebas a mármol***



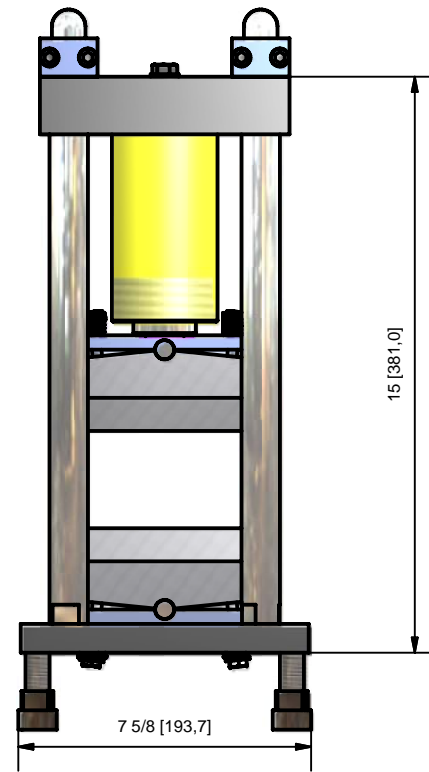
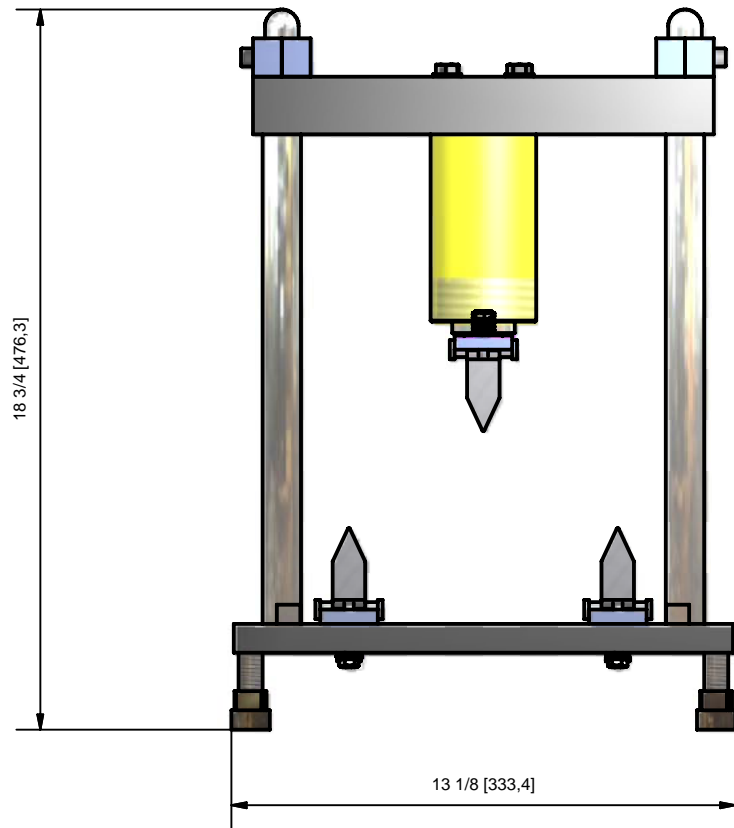



(1:3)

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: vista panorámica ASTM C-99			# pzas: 1
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 1 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

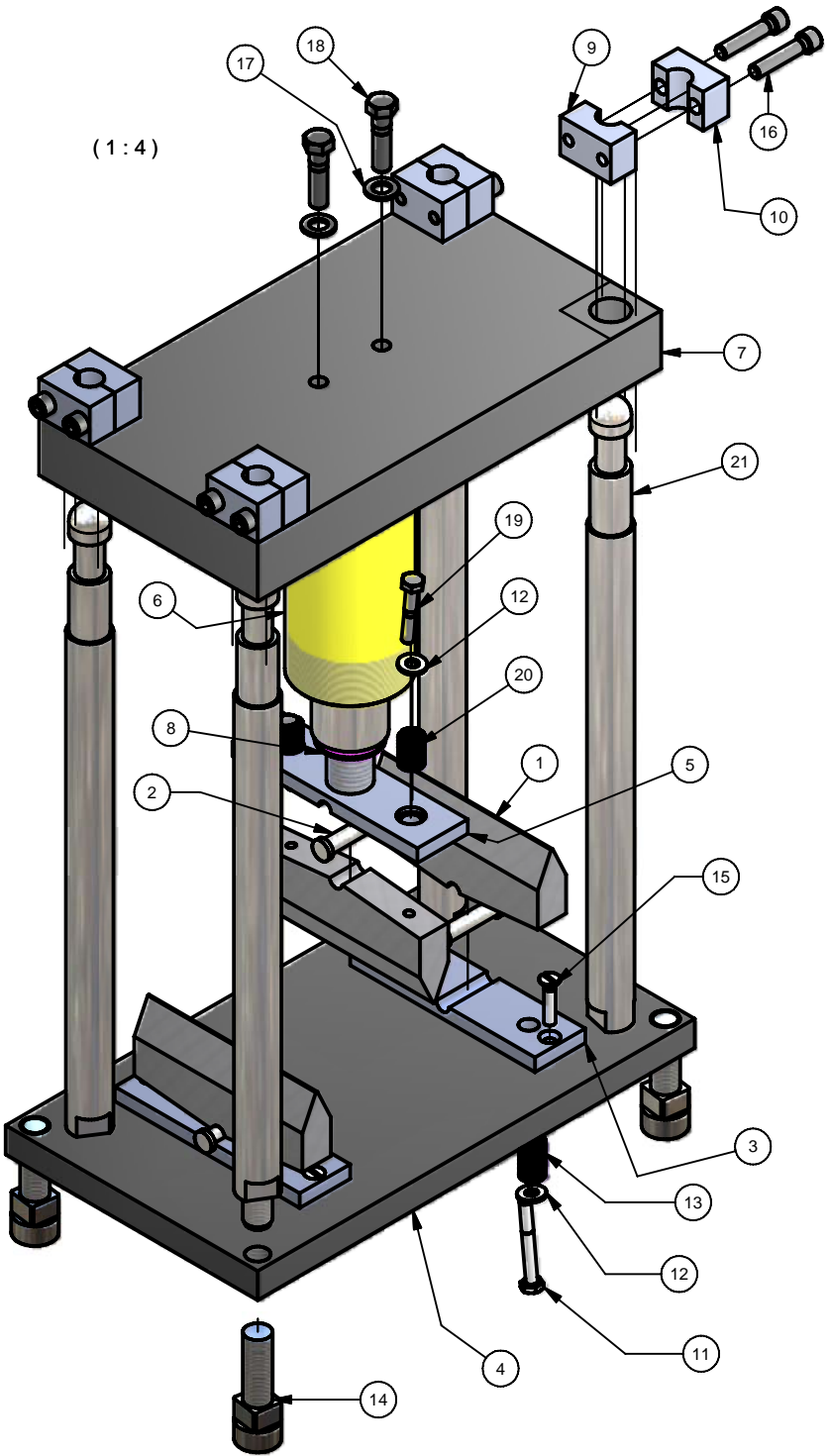


(1:5)


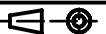


	UNAM proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: dimensiones generales ASTM C-99			# pzas: 1
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 2 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

(1 : 4)



Lista de partes			
componente	cantidad	nombre	localización
1	3	ASTM-C99 FILOS	plano 4
2	3	ASTM-C99 CILINDRO	plano 4
3	2	ASTM-C99 SOP	plano 4
4	1	ASTM-C99 BASE	plano 5
5	1	ASTM-C99 SOPFILOARR	plano 6
6	1	ASTM-C99 ENERPAC 15 TON (RC15)	ENERPAC
7	1	ASTM-C99 PART1	plano 6
8	1	ASTM-C99 ARANDELA ÉMBOLOC99	plano 7
9	4	ASTM-C99 ABRAZADERA CUERDA	plano 7
10	4	ASTM-C99 ABRAZADERA BARRENO C99	plano 7
11	4	tornillo cabeza hexagonal ANSI B18.2.1 - 14 - 28 - 2	-----
12	5	rondana plana - ANSI B18.22.1 - 14 - NARROW - TYPE A	-----
13	4	resorte a compresión - 0.046875 X 0.515625 X 0.877506	-----
14	4	ASTM-C99 NIVELES C99	plano 8
15	4	tornillo cabeza plana- ANSI B18.6.3 - 14-20 X 1 18	-----
16	8	tornillo allen - ANSI B18.3 - 516 - 18 - 1 12	-----
17	2	rondana - ANSI B18.22.1 - 38 - NARROW - TYPE B	-----
18	2	tornillo cabeza hexagonal ANSIASME B18.2.1 - 38 - 16 - 1 12	-----
19	2	tornillo cabeza hexagonal ANSIASME B18.2.1 - 14 - 20 - 1 12	-----
20	2	resorte a compresión - 0.046875 X 0.515625 X 0.711899	-----
21	4	COLUMNA C99 PART1	plano 8

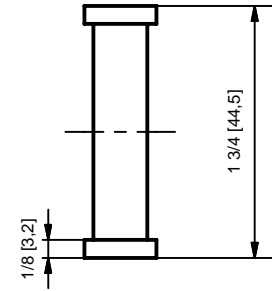
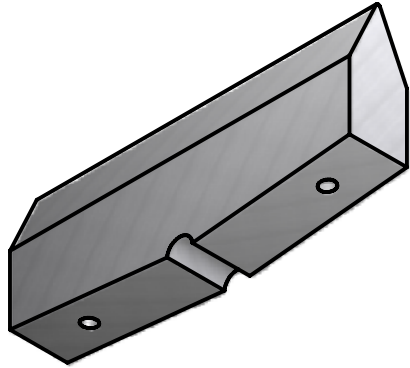
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: Explosión ASTM C-99	# pzas: 1		
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	 plano: 3 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

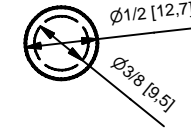
1

B

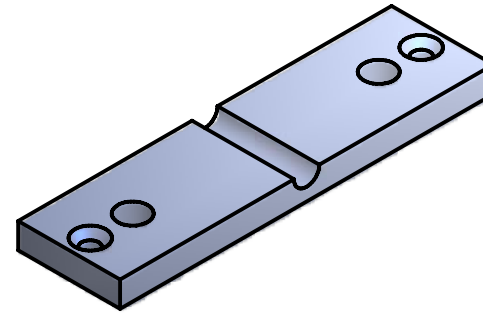
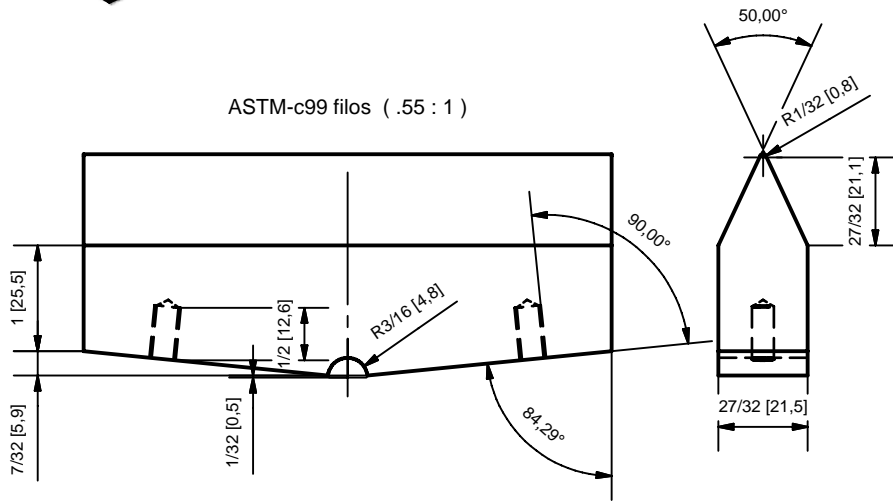
B



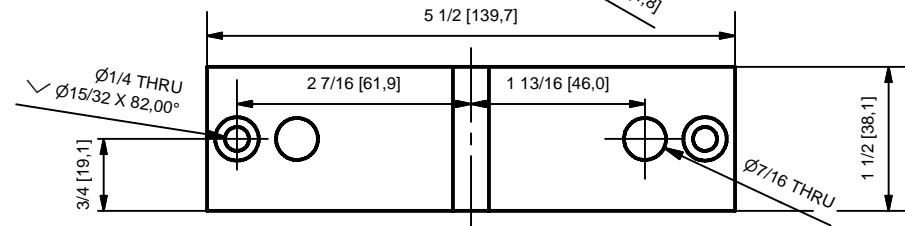
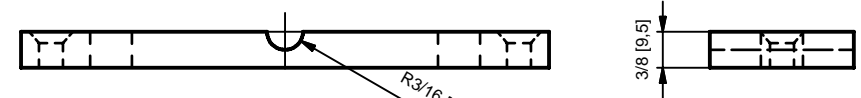
ASTM-C99 cilindro (.75 : 1)



ASTM-c99 fillos (.55 : 1)

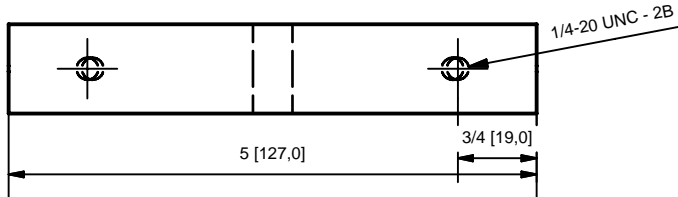



ASTM-C99 sop (.5 : 1)



A

A



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: c99 fillos, c99 cilindro, c99 sop			# pzas: 2
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 4 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

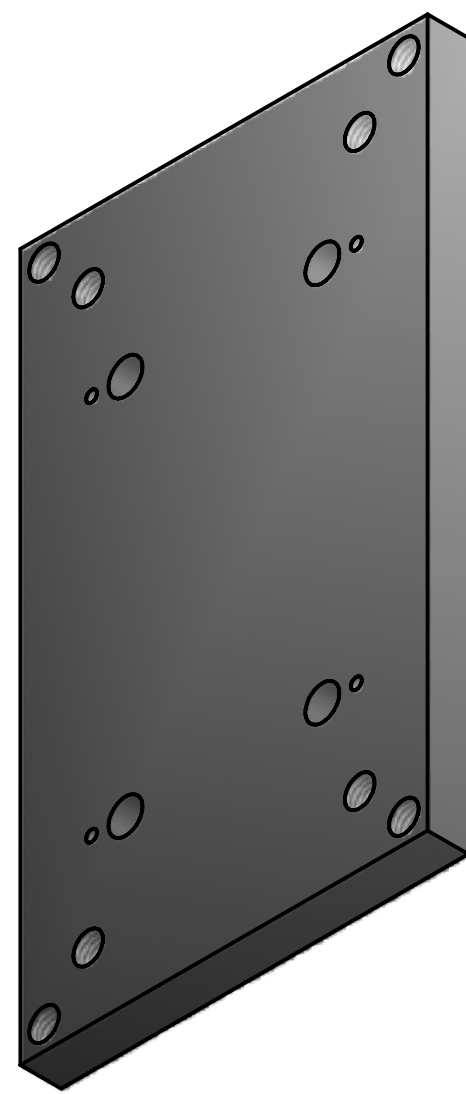
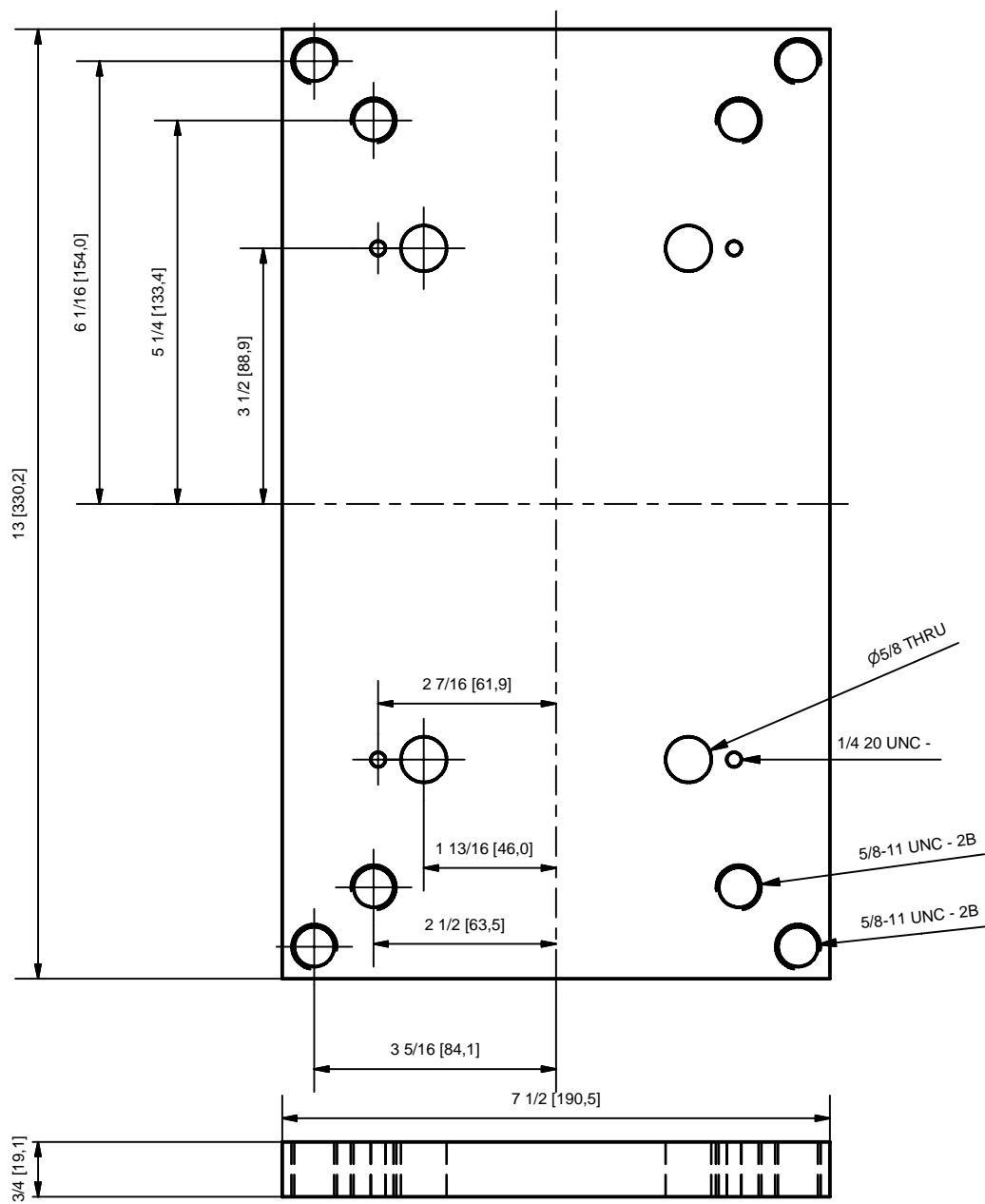
1




2

1

ASTM-C99 base (.4 : 1)

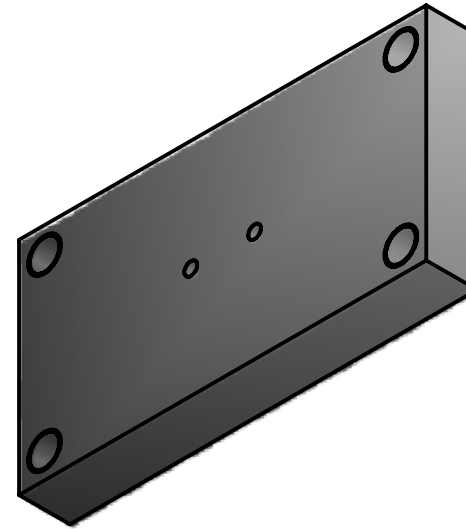
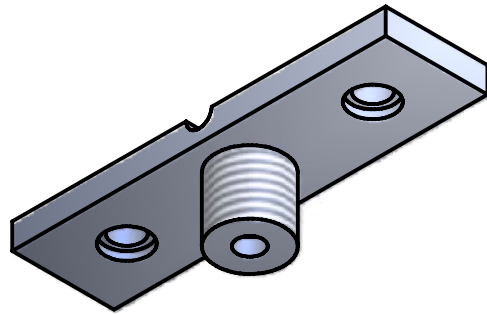


Not: barrenos de iguales características respecto a los ejes de simetria.

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: base			# pzas: 1
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 5 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

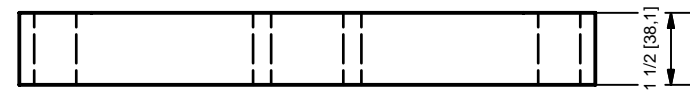
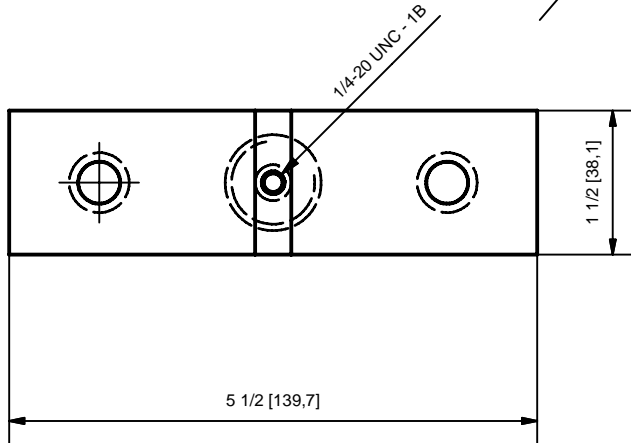
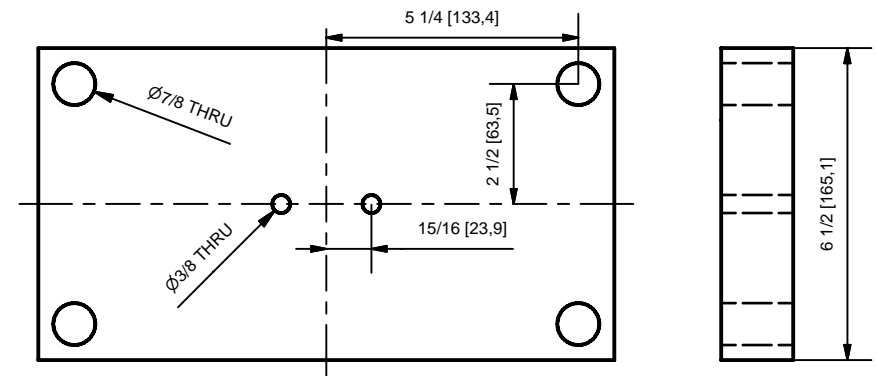
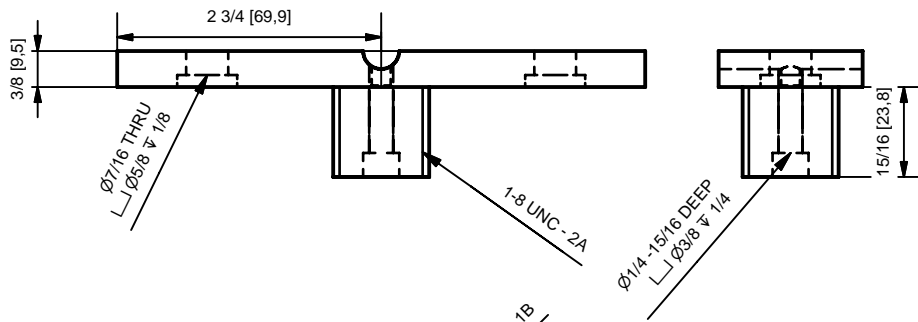
2

1




ASTM-C99 sopfilarr (.5 : 1)

ASTMC-99 part1 (.25 : 1)

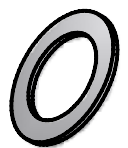


Nota: para conformar ésta pieza primero máquinee la polaca y posteriormente córtese un tornillo de 1" de diámetro a la dimensión especificada, únace las piezas mediante un tornillo allen de 1/4".

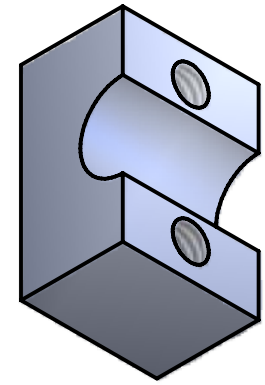
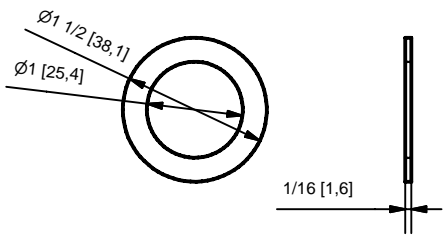
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: sopfilarr, part1			# pzas: 1, 1
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 6 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

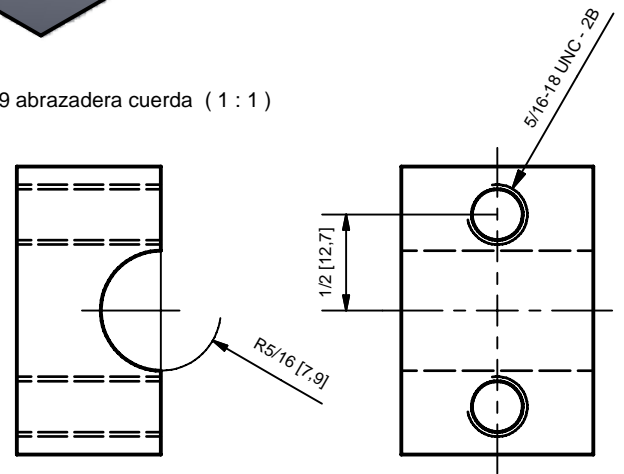
1



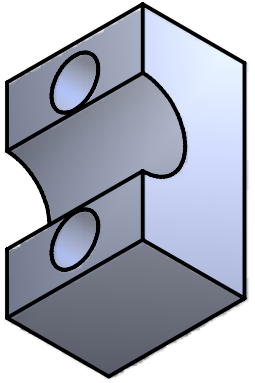
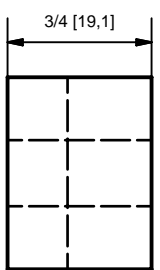
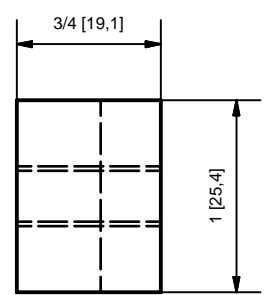
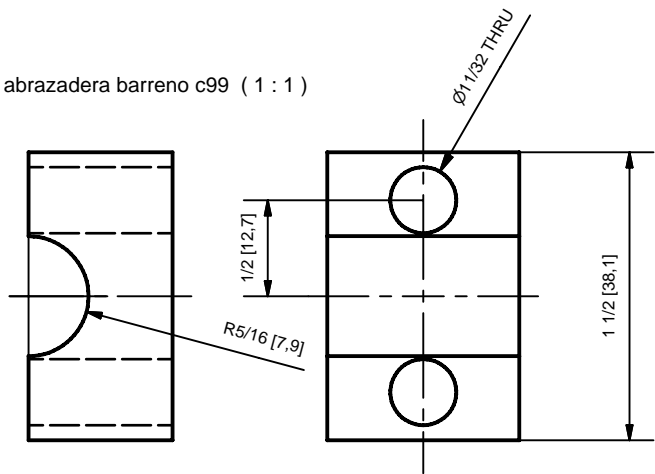
ASTM-C99 arandela émboloc99 (.5 : 1)



ASTM-C99 abrazadera cuerda (1 : 1)



ASTM-C99 abrazadera barreno c99 (1 : 1)



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: arandela, abrazaderas: cuerda y barreno			# pzas: 1, 4, 4
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 7 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

1

2

1

B

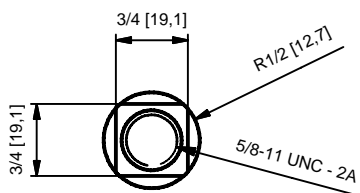
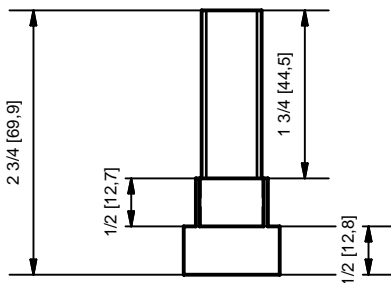
B

A

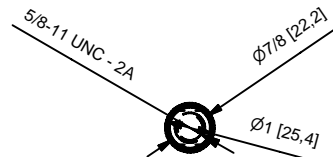
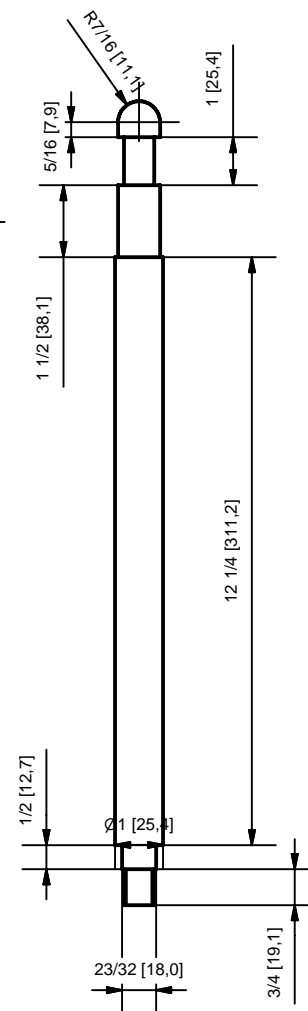
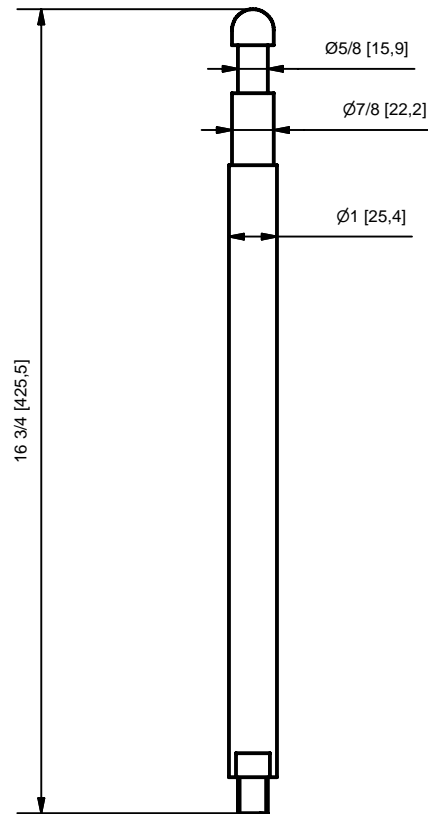
A




ASTM-C99 niveles c99 ( 0.5 : 1 )



columna c99 part1 ( 0.25 : 1 )



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-99			
	pieza: niveles c99, columna c99 part1			# pzas: 4 c/u
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 8 / 8
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

1





2

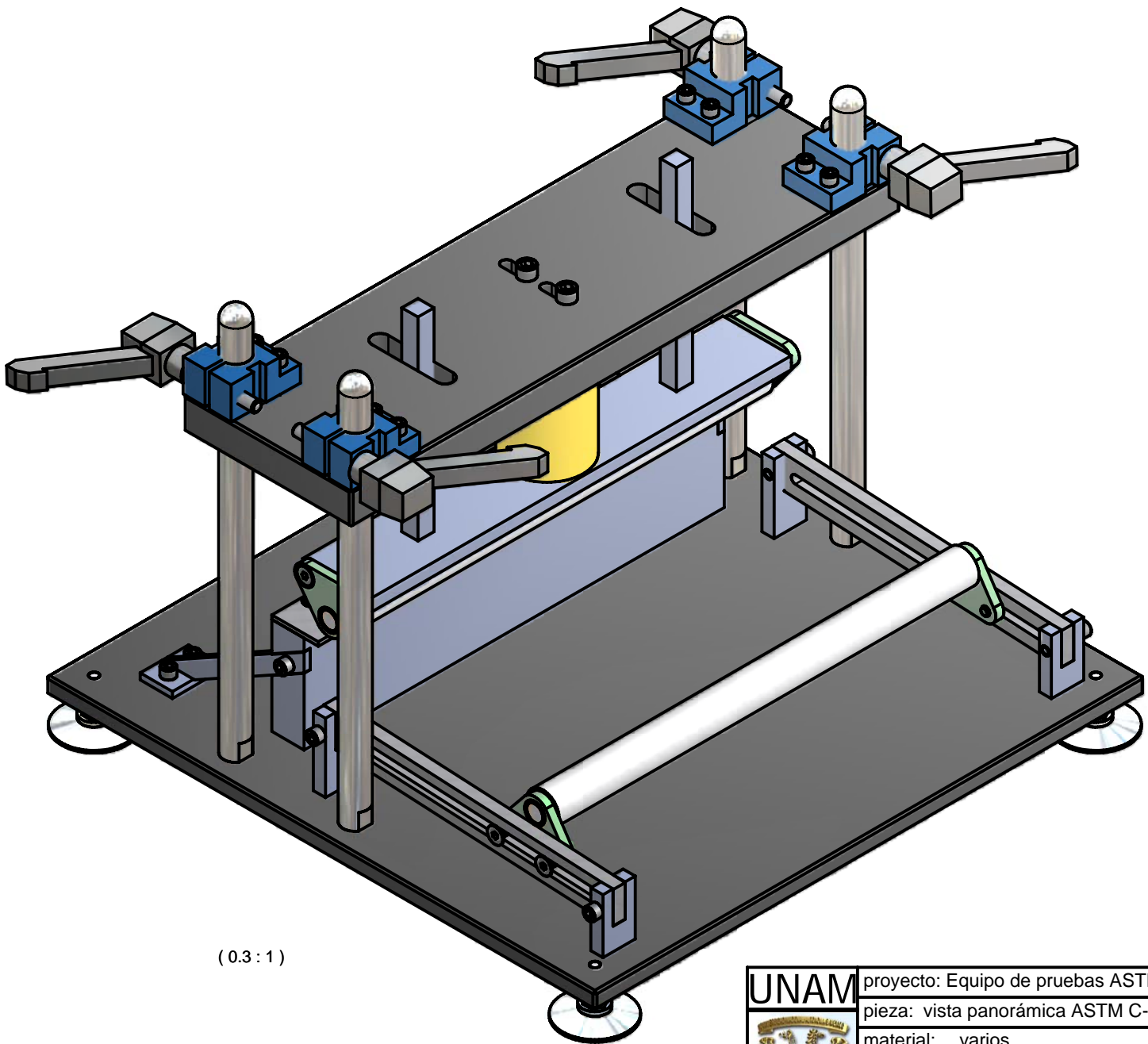
1

B


B

A

A



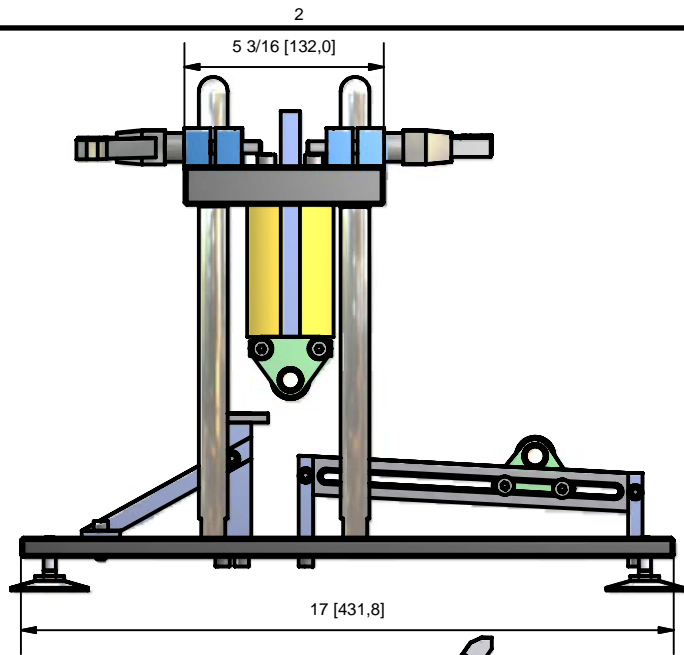
(0.3 : 1)

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: vista panorámica ASTM C-1354 método 1			# pzas: 1
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 1 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

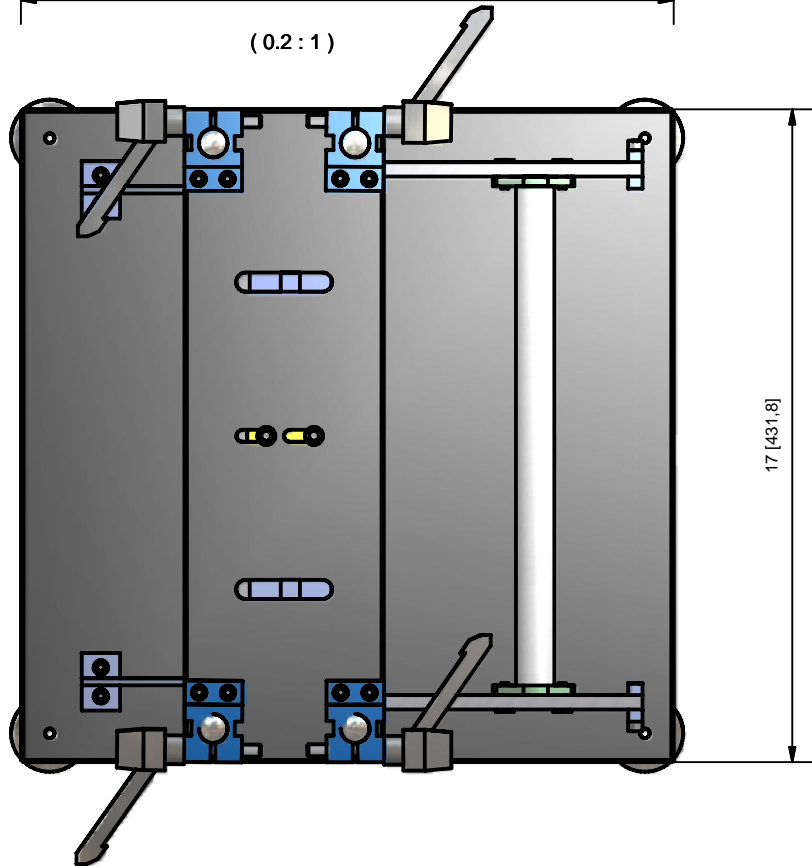
2

1

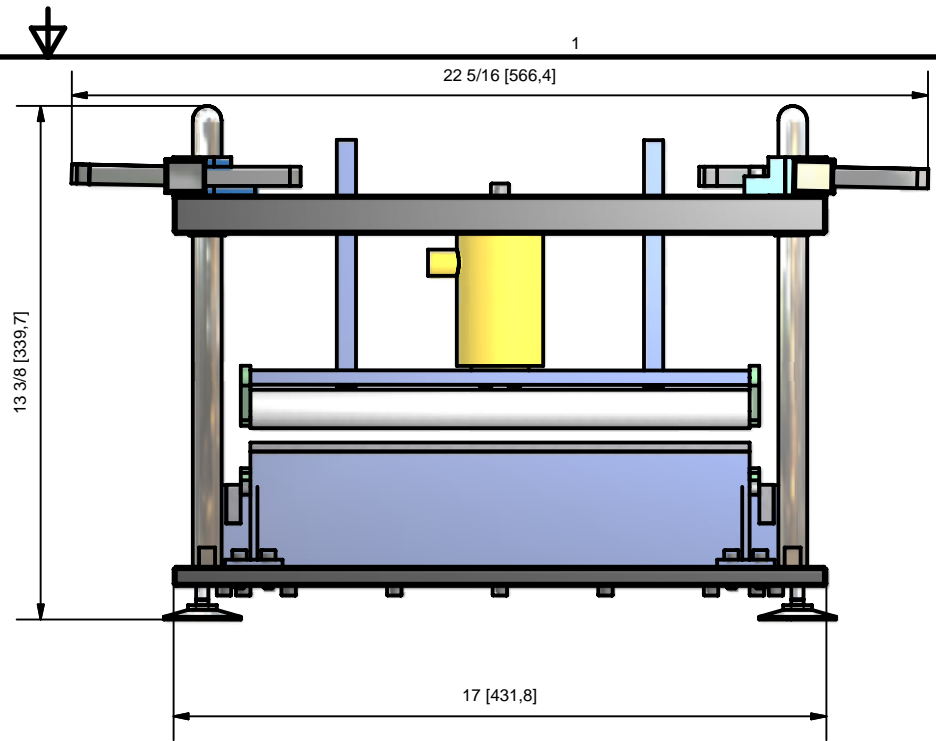






(0.2 : 1)



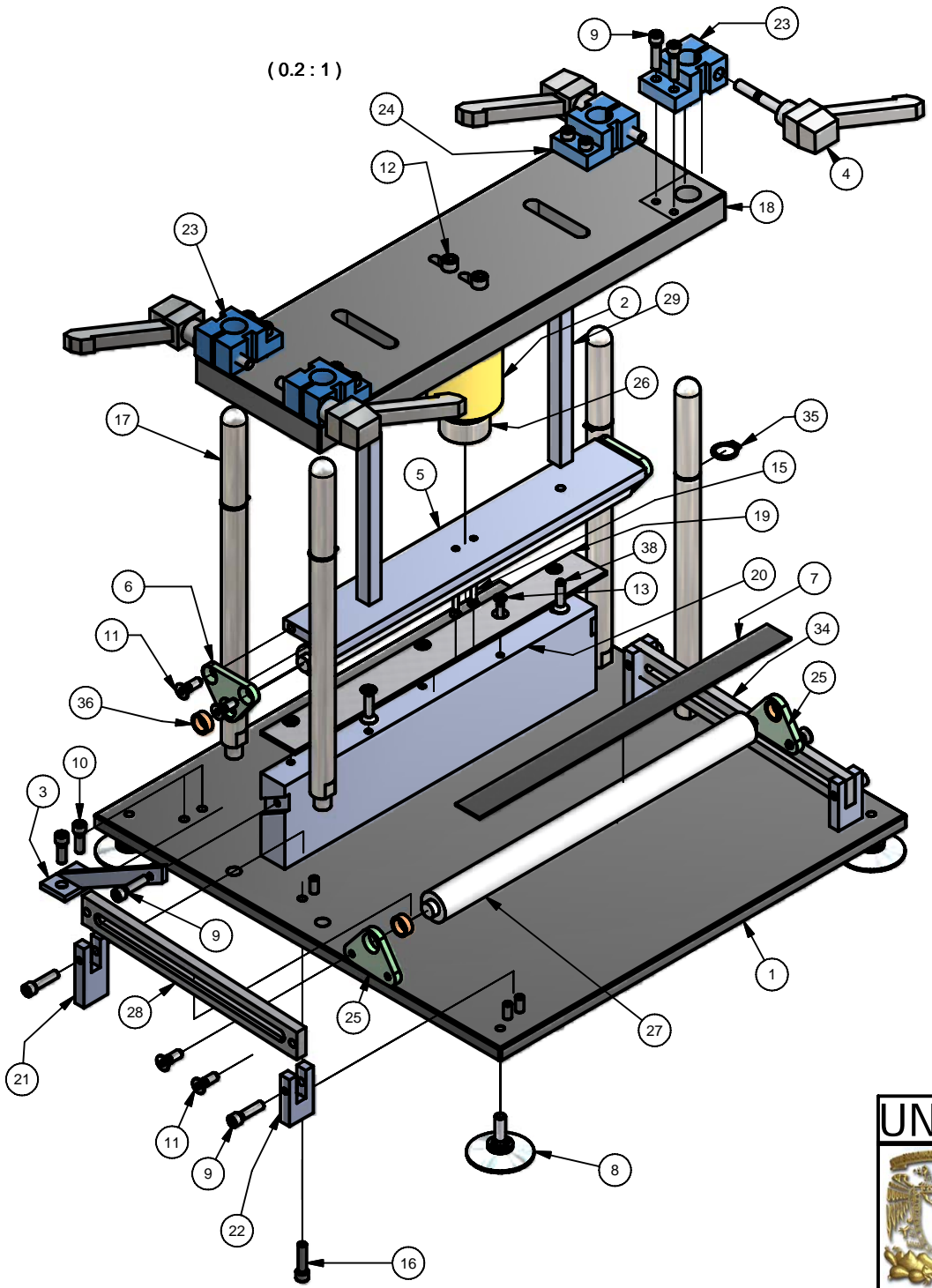
2




1

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: dimensiones gales. ASTM C-1354 método 1		# pzas: 1	
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	 plano: 2 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

(0.2 : 1)



Lista de partes			
componente	cantidad	nombre/descripción	localización
1	1	BASE	plano 4
2	1	RC xxxxxxxxxxxxxxxx	enerpac
3	2	ENPBARRA	plano 5
4	4	MANIJAS	plano 5
5	1	PLACCILRARR	plano 6
6	2	BASECILRARR	plano 6
7	2	GOMA	plano 6
8	4	NIVEL.DWG	plano 6
9	14	tornillo allen ANSI B18.3 - 14 - 20 - 1	-----
10	4	tornillo allen - ANSI B18.3 - 14 - 20 - 34	-----
11	8	tornillo allen cabeza plana - ANSI B18.3 - 14 - 20 - 34	-----
12	2	tornillo allen - ANSI B18.3 - 516 - 18 - 1	-----
13	5	tornillo allen cabeza plana- ANSI B18.3 - NO. 10 - 24 - 34	-----
14	5	tornillo allen - ANSI B18.3 - 14-28 - 1 14	-----
15	2	tornillo allen cabeza plana - ANSI B18.3 - NO. 8 - 32 - 78	-----
16	8	tornillo allen - ANSI B18.3 - 14-28 - 1	-----
17	4	COLUMN PART1	plano 7
18	1	PLACAPACK SOPORPACK	plano 7
19	1	PLACA ENPOT BARRA	plano 8
20	1	EMPOTR EN	plano 8
21	2	BASERIELA SOPTT	plano 9
22	2	BASRIELB SOPRIEL	plano 9
23	2	ABRAZADERAD ABRAZADERA	plano 9
24	2	ABRAZADERAIZ PART1	plano 9
25	2	BASECILR SUJET	plano 10
26	1	gato hidráulico ENERPAC RC51	ENERPAC
27	2	CILIN CILI	plano 10
28	1	riel	plano 10
29	2	elemento anti torsión	plano 11
34	1	riel_MIR	plano 11
35	4	anillo de retención externo ANSI B 27.7M - 3AMI-18	-----
36	4	RODAMIENTO BALERO	plano 11
38	2	tornillo allen cabeza plana ANSI B18.3 - 1/4-20 UNC x 1	-----

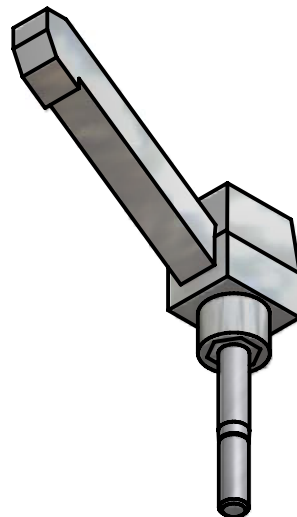
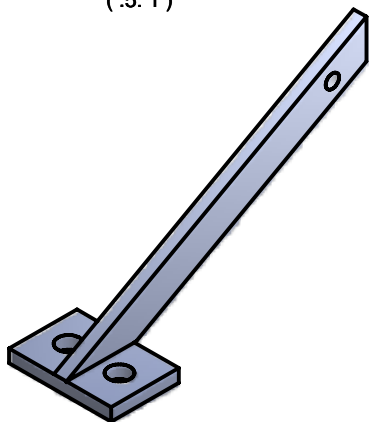
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: Explosión ASTM C-1354 método 1		# pzas: 1	
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 3 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



2

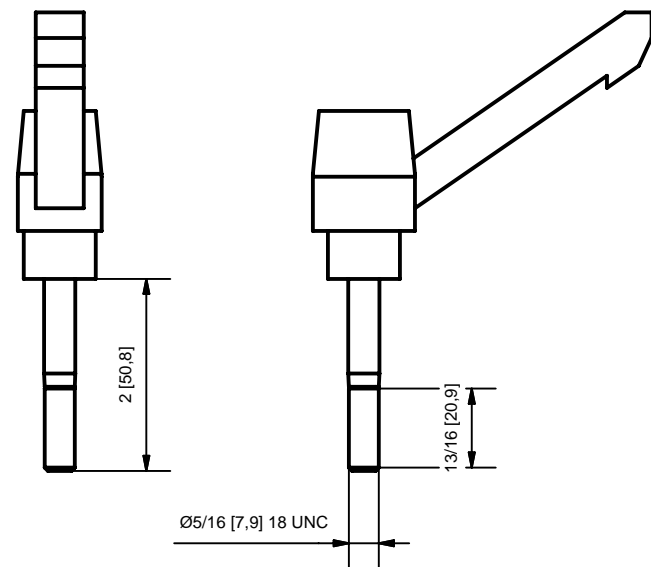
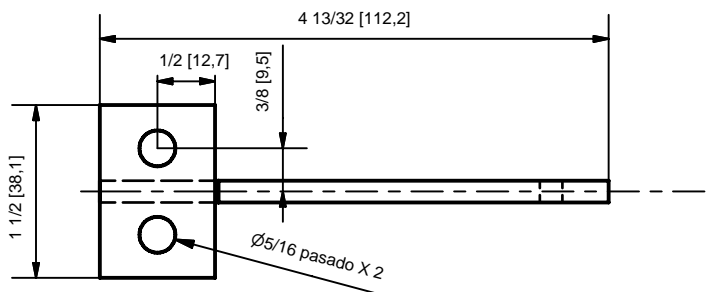
1

(.5: 1)

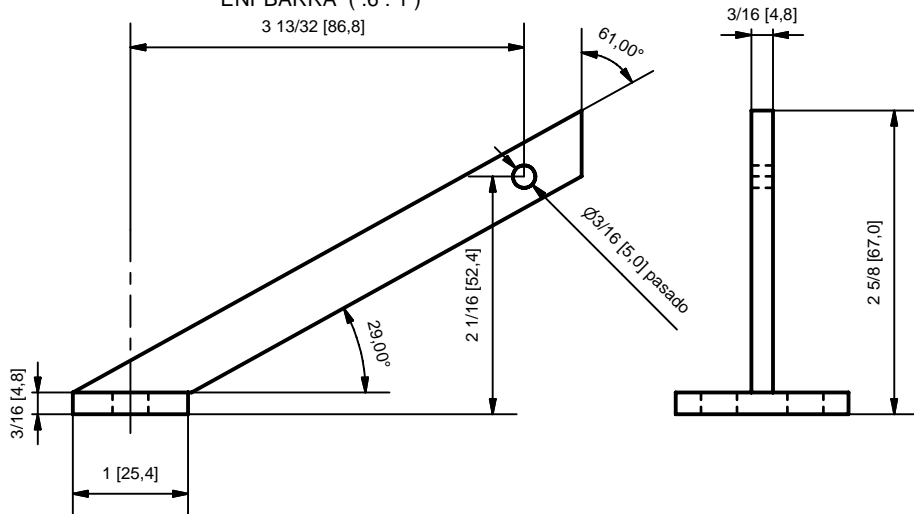



Nota: utilicese las manijas de las que se puedan disponer respetando la ongitud del tronillo roscado como se indica.

manijas (.5 : 1)



ENPBARRA (.6 : 1)  
3 13/32 [86.8]



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: ENPBARRA y manijas			# pzas: 2 y 4
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 5 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

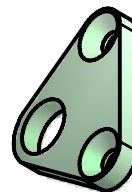
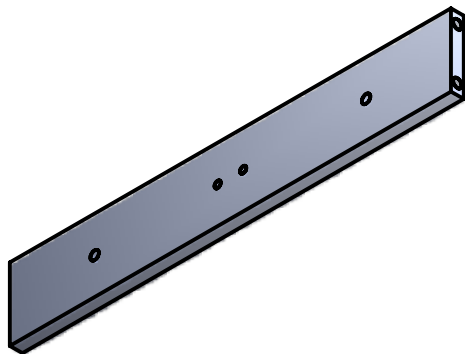
1

2

1

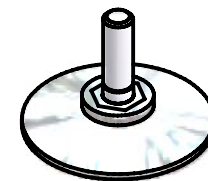
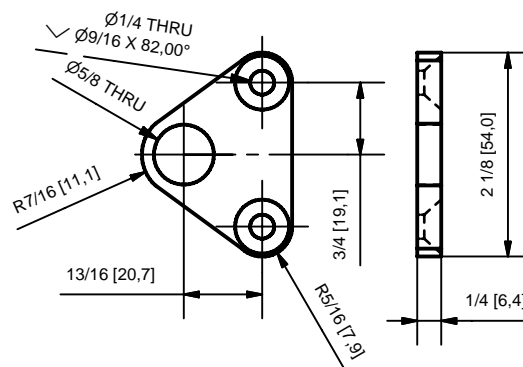
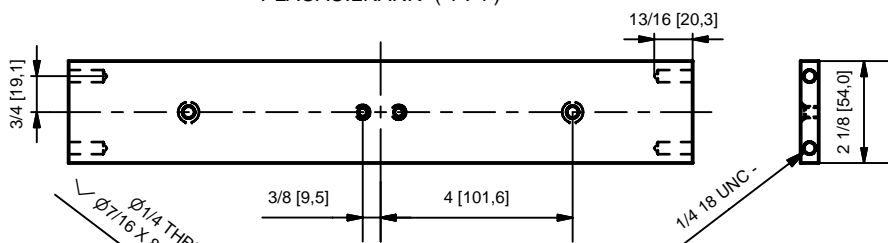
B

B

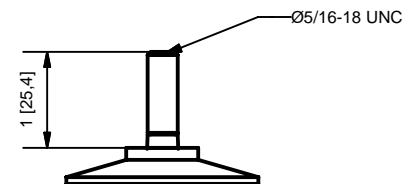
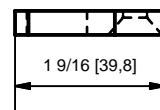
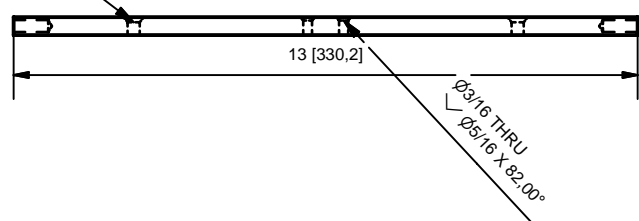


BASECILRARR (0.5 : 1)

PLACACILRARR (1 : 4)

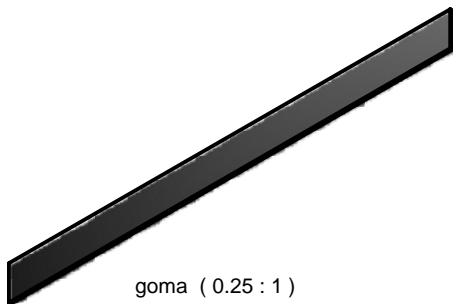


NIVEL.DWG (0.5 : 1)

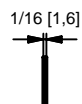
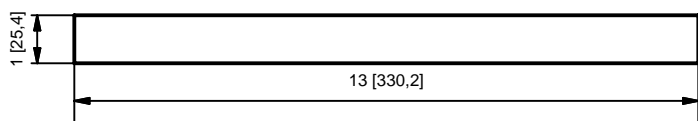



A

A



goma (0.25 : 1)



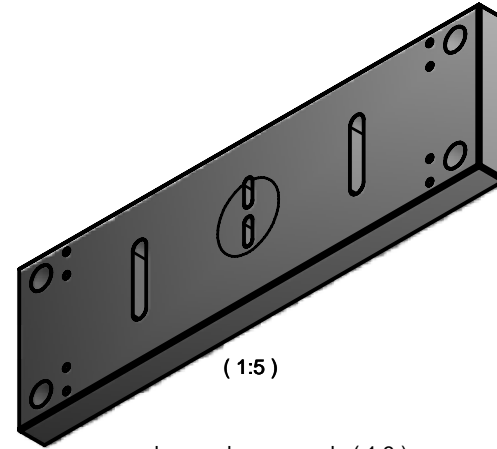
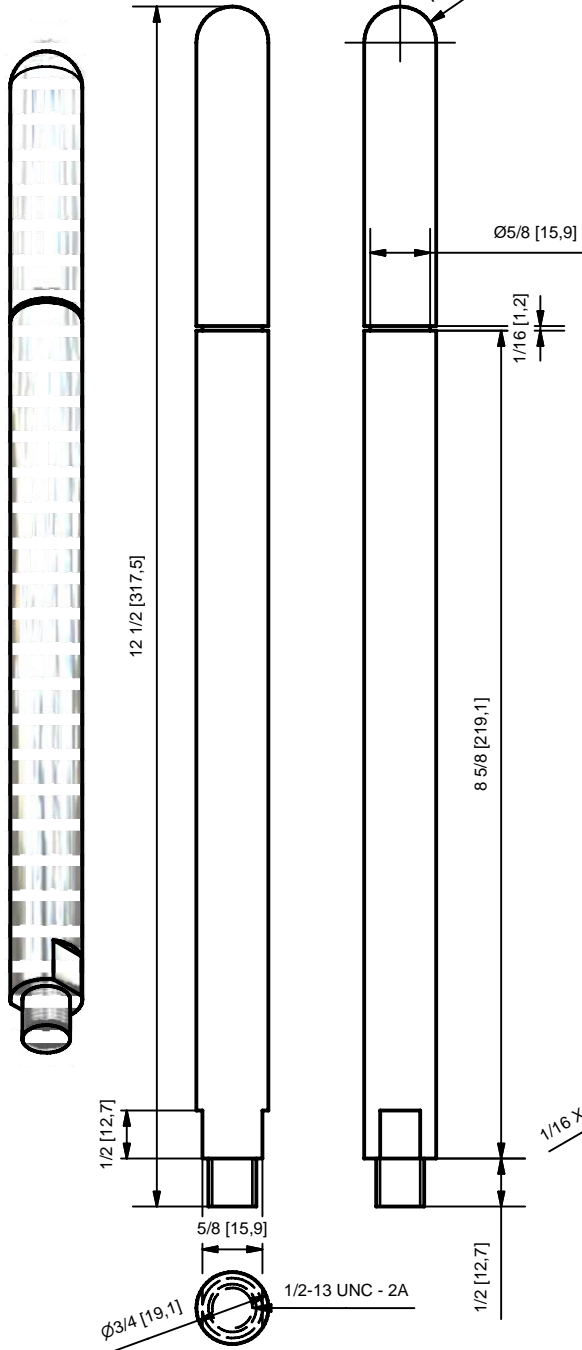
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: placacilarr, basecilarr, goma, nivel			# pzas: 1,2,2,4
	material: acero 1018, acero 1018, neopreno, acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 6 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

2

1

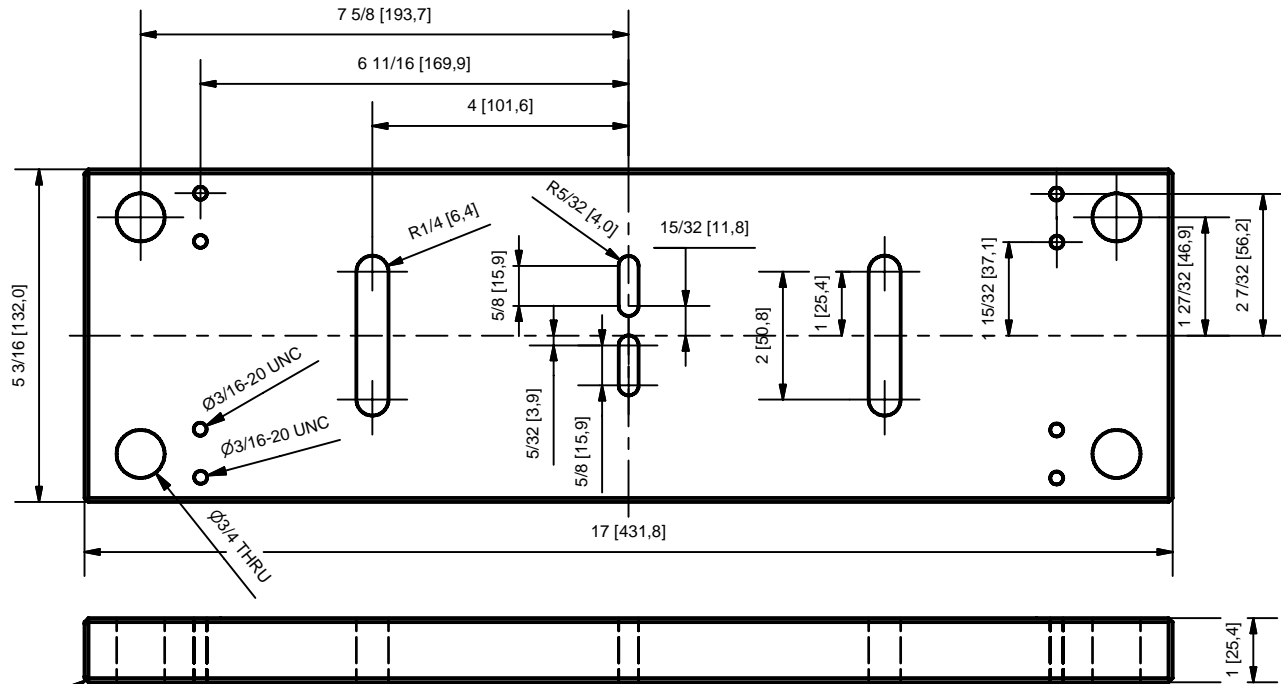



columna part1 ( 1 : 2 )

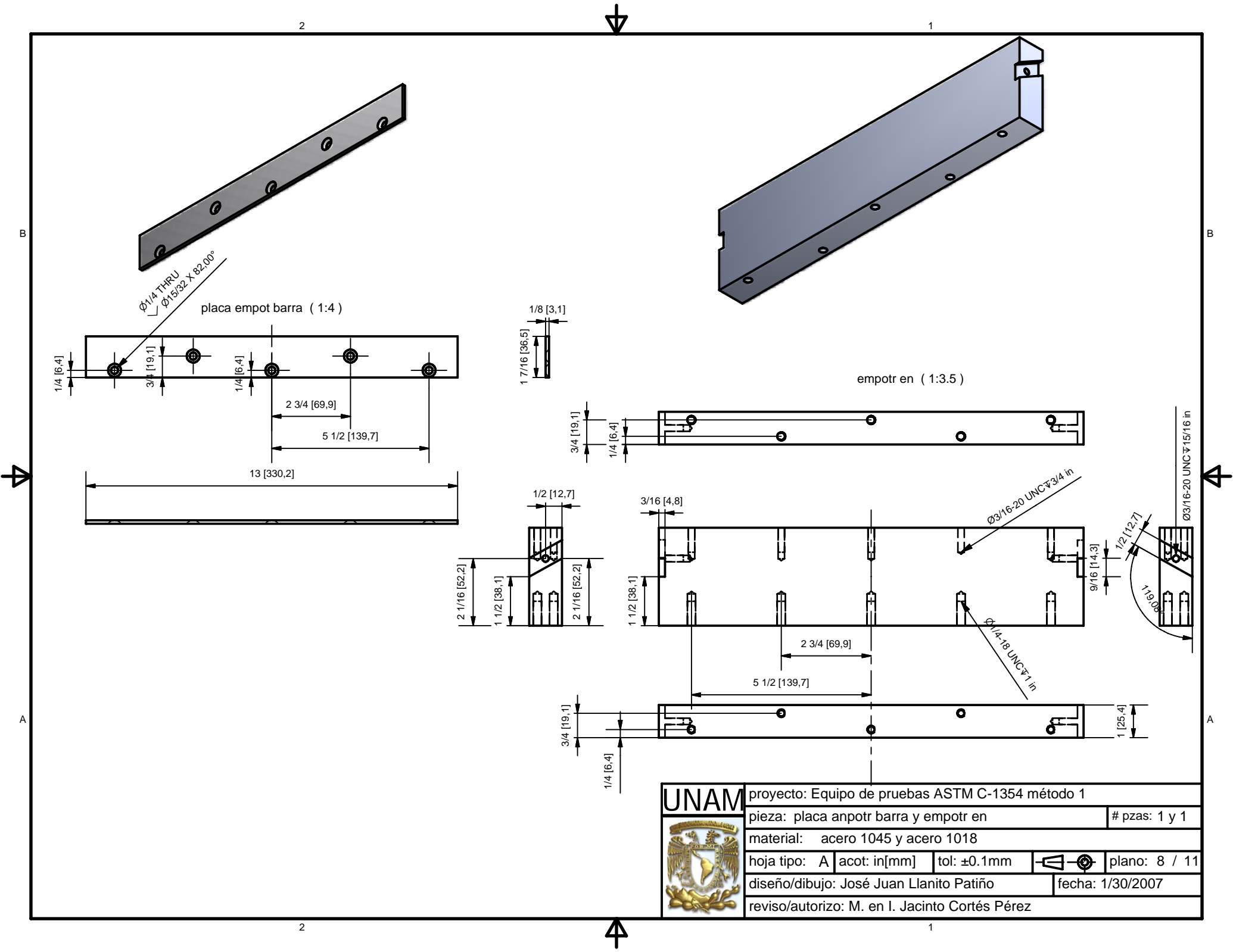



( 1 : 5 )

placapack soporpack ( 1 : 3 )



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: columna part1 y placapack soporpack			# pzas: 4 y 1
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 7 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

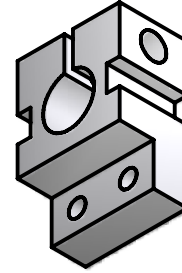
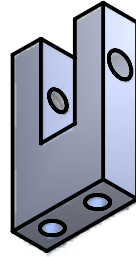
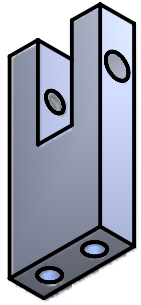


	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: placa anpotr barra y empotr en			# pzas: 1 y 1
	material: acero 1045 y acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 8 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



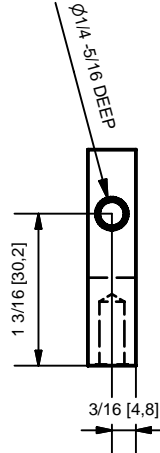
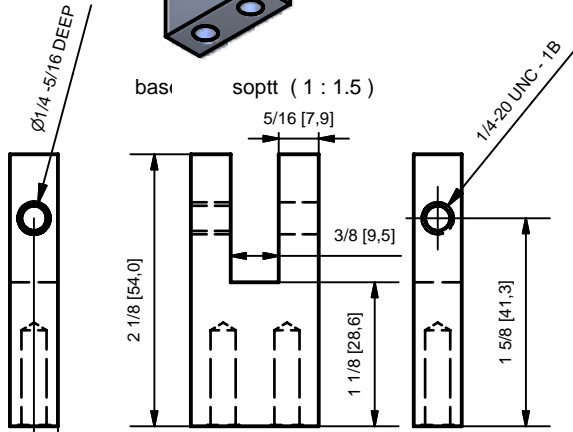
2

1

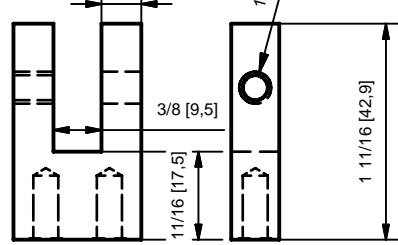


B

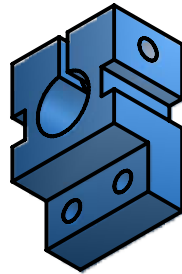
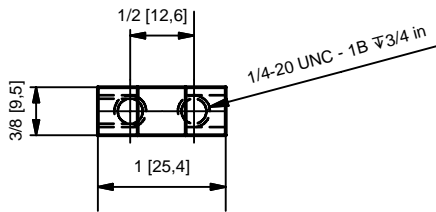
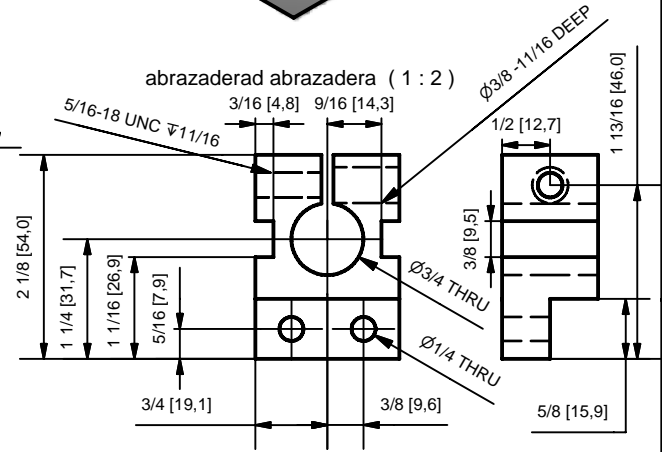
B



basriellb sopriell ( 1 : 1.5 )

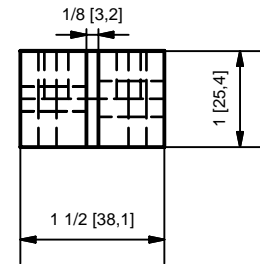
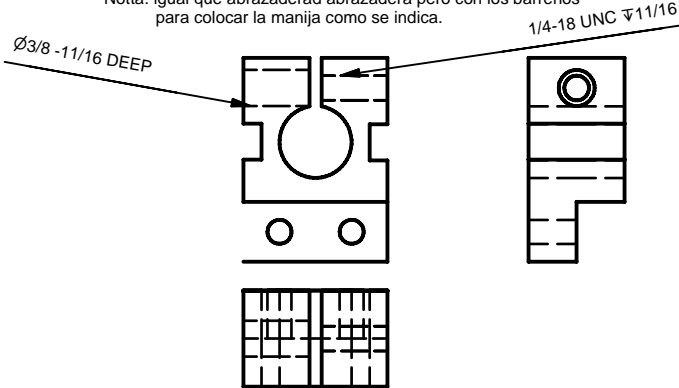


abrazaderad abrazadera ( 1 : 2 )



abrazaderaiz part1 ( 1 : 2 )

Notta: igual que abrazaderad abrazadera pero con los barrenos para colocar la manija como se indica.



A

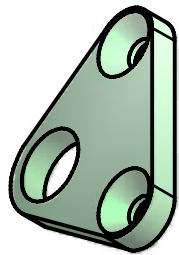
A

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: baseriela, basriellb, abrazaderad, abrazaderaiz		# pzas: 2 c/u	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 9 / 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 30/01/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

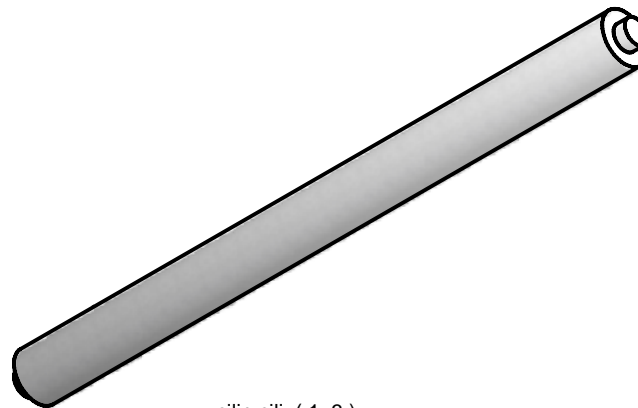
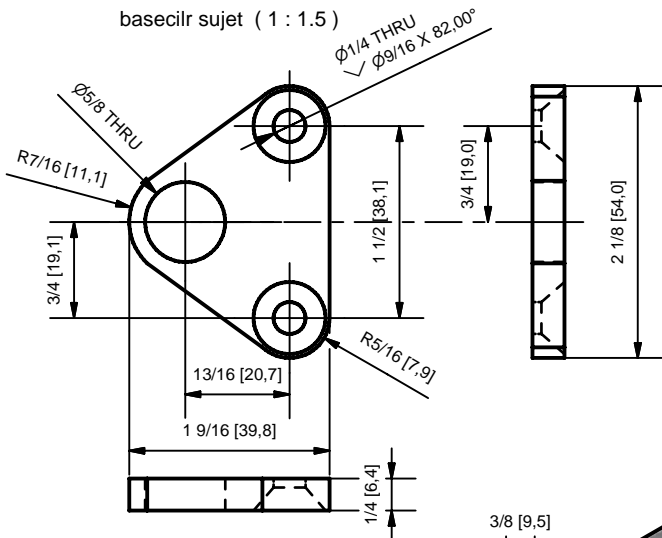
2

1

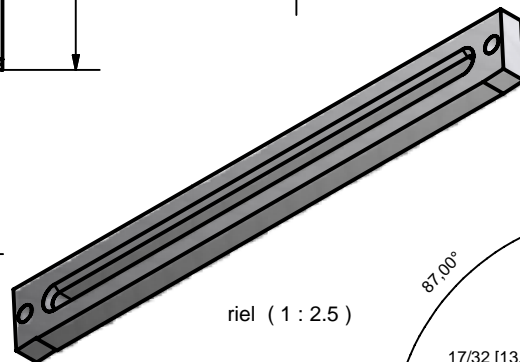
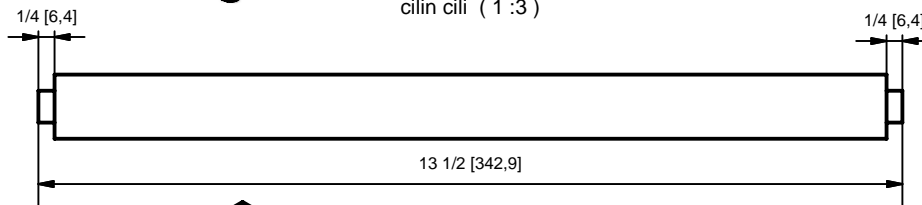




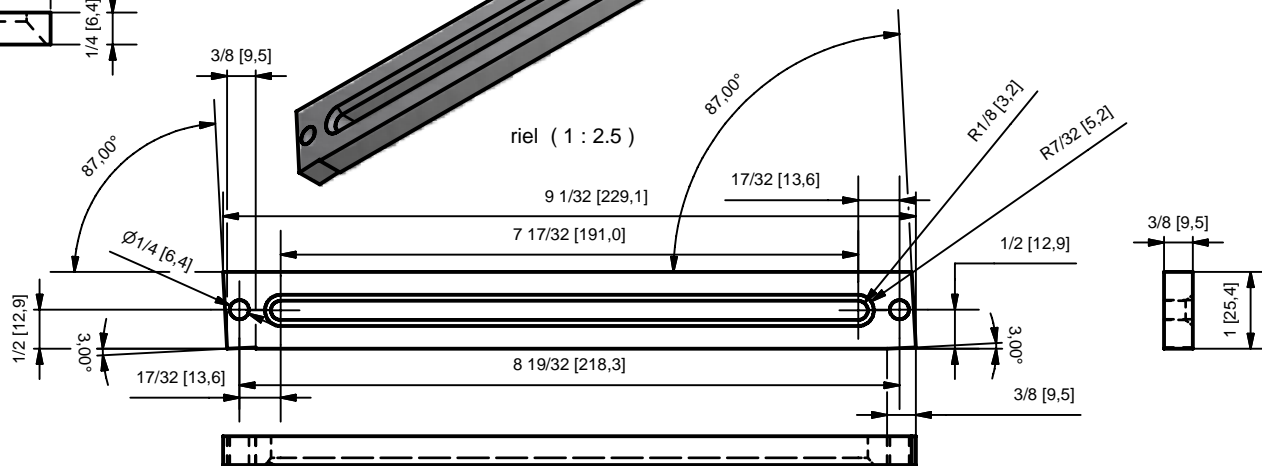
basecilr sujet ( 1 : 1.5 )




cilin cili ( 1 : 3 )

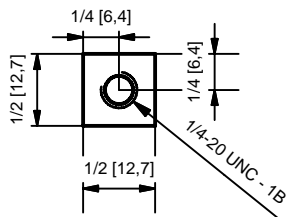
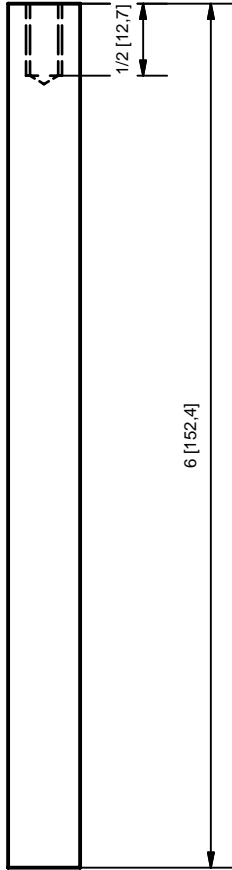
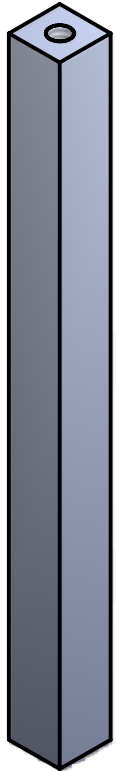


riel ( 1 : 2.5 )

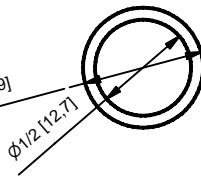


	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: basecilr sujet, cilin cili, riel			# pzas: 2, 2, 1
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 10/ 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

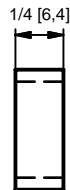
elemento anti torsión (.75 : 1)



Ø5/8 [15.9]

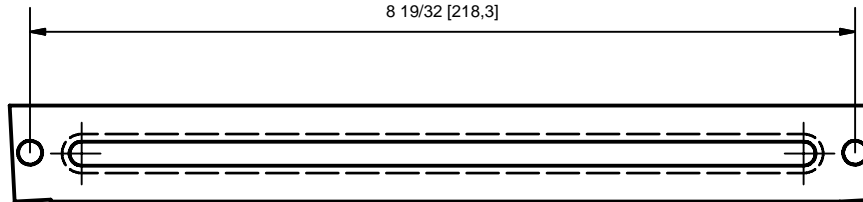
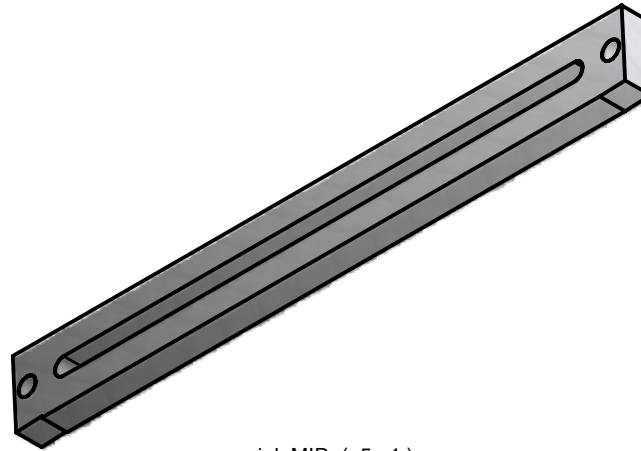



rodamiento balero (1 : 1)

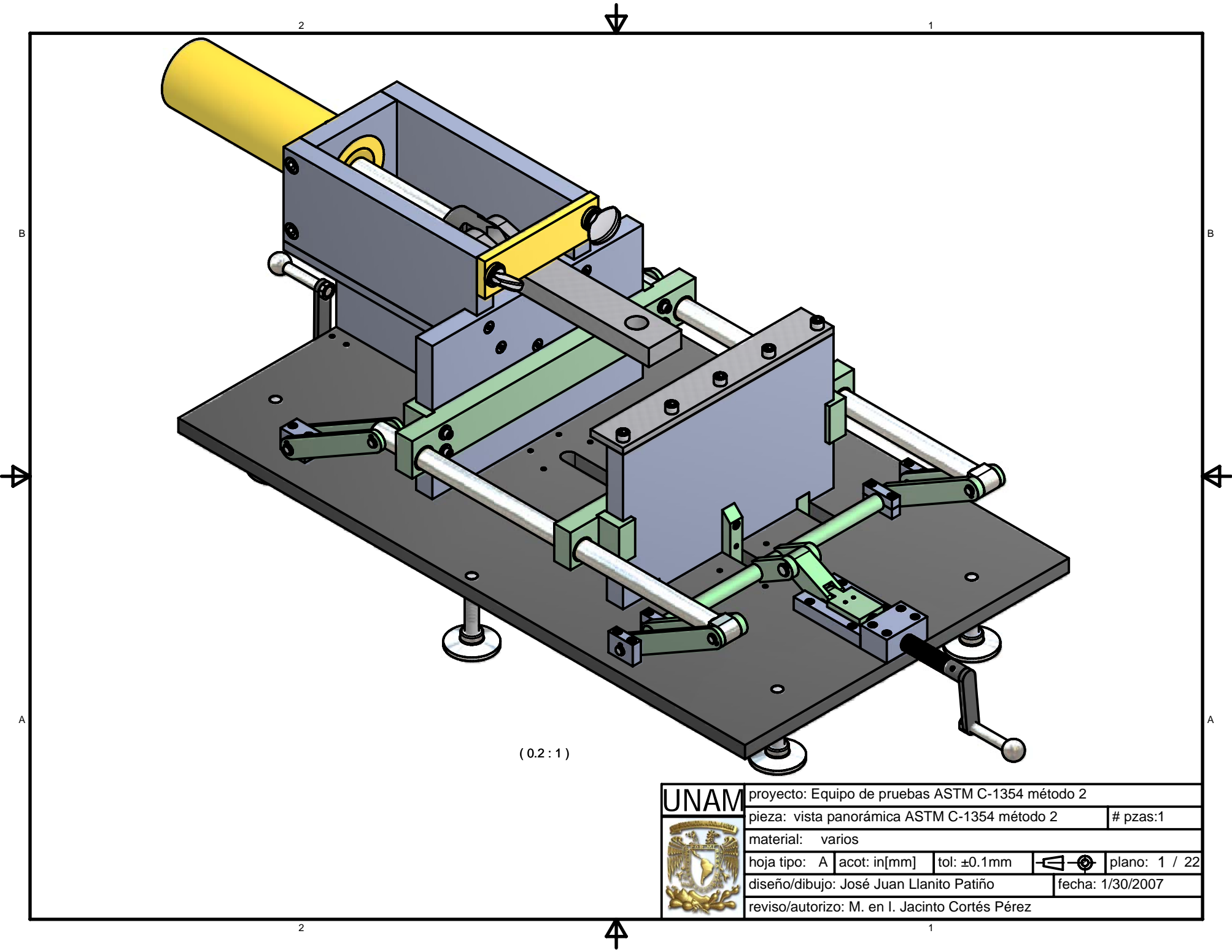


Nota: mismas dimensiones que la pieza riel (plano 10) solo que tener en cuenta la cara que lleva el chafán en el hojal.


riel\_MIR (.5 : 1)

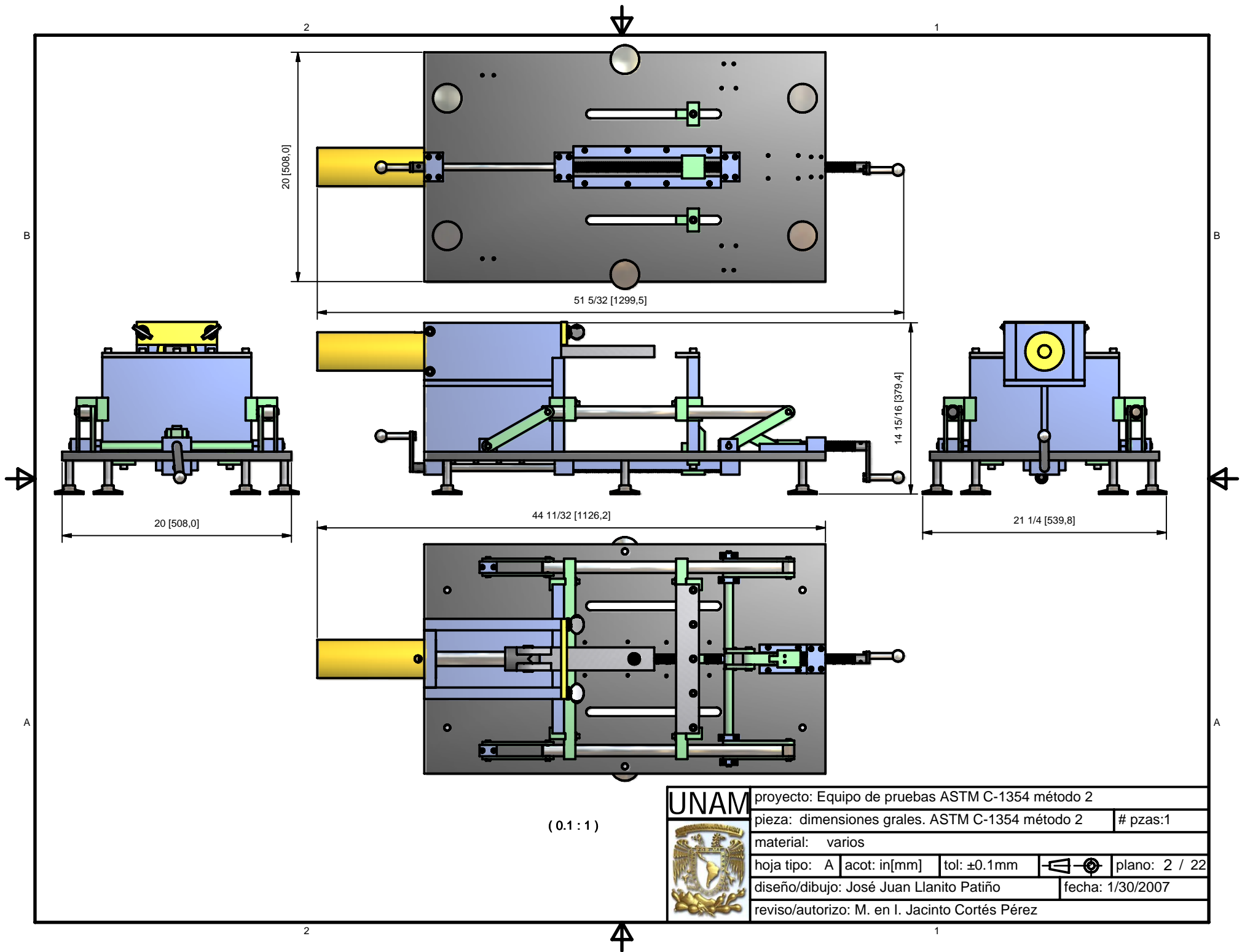



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 1			
	pieza: elemento anti torsión, riel_MIR, rodamiento balero			# pzas: 2, 1, 4
	material: acero 1018, acero 1018, bronce			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 11/ 11
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



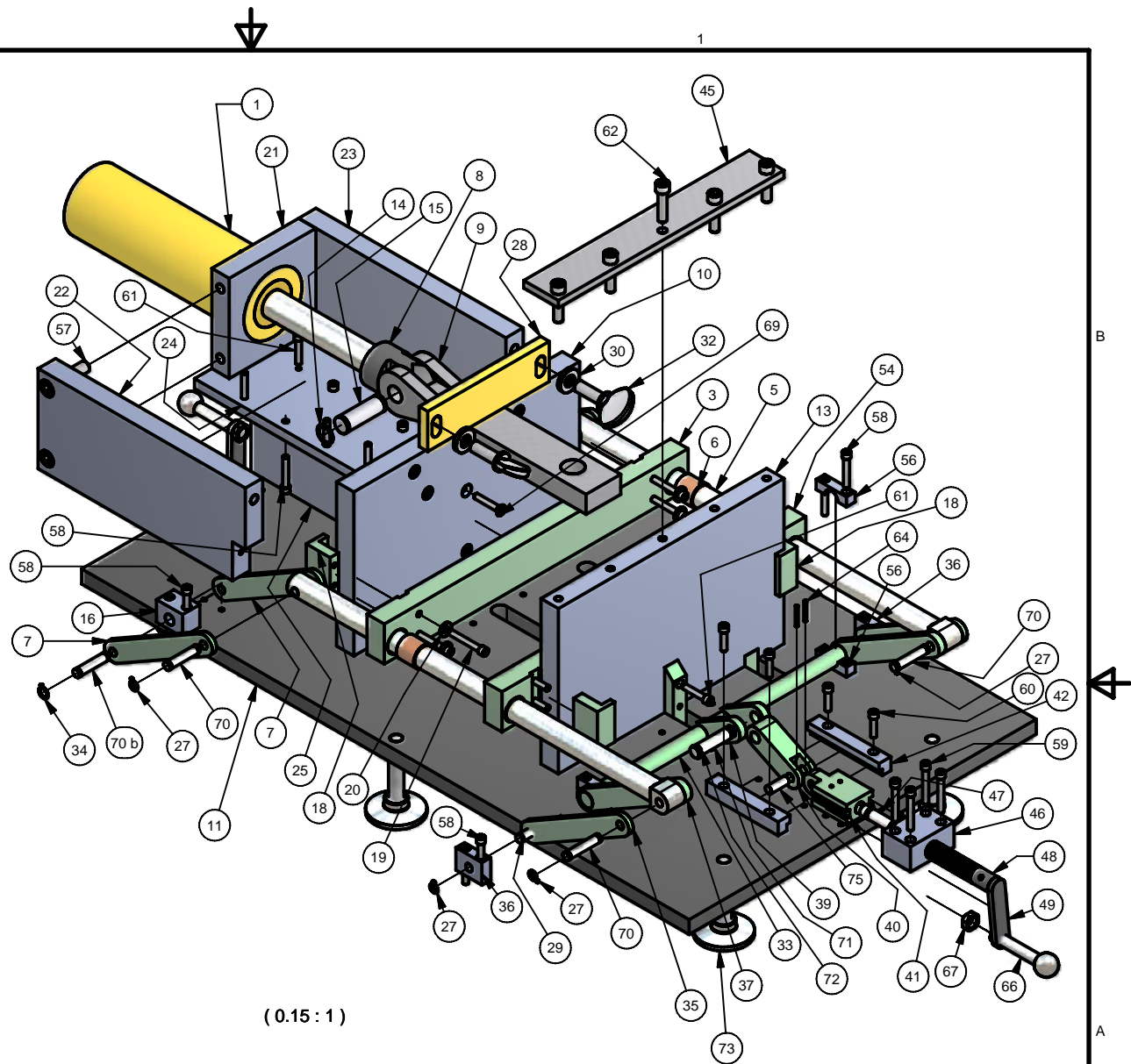
(0.2:1)

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: vista panorámica ASTM C-1354 método 2			# pzas:1
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 1 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				




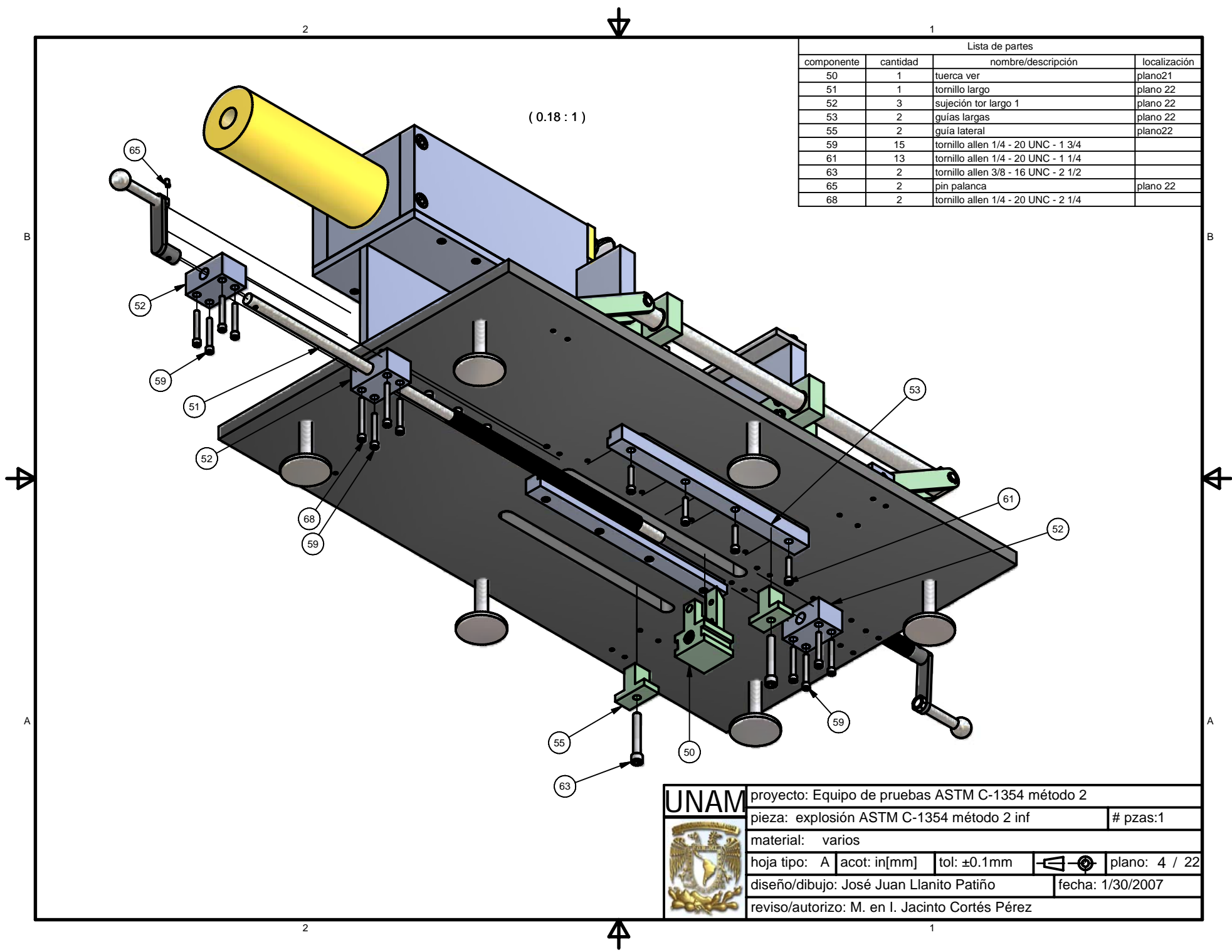
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: dimensiones gales. ASTM C-1354 método 2	# pzas:1		
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 2 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

Lista de partes			
componente	cantidad	nombre/descripción	localización
1	1	BCR-106 cil	enerpac
3	1	plataforma 1	plano 6
5	2	eslabón largo	plano 6
6	4	buje eslabón	plano 7
7	4	eslabón corto manija	plano 7
8	1	clevis émbolo	plano 7
9	1	placa tirante	plano 8
10	1	placa fija	plano 8
11	1	placa base	plano 9
13	1	placa móvil	plano 10
14	2	anillo de retención externo BS 3673/1 - S0075	
15	1	pin 0.75_2	plano 10
16	2	base mecanismo	plano 10
18	4	guía plataforma	plano 11
19	8	tornillo allen 1_4-1.75-UNC	
20	8	rondana plana 1_4	
21	1	base cil BRC 106	plano 11
22	1	columna comp cil	plano 12
23	1	columna comp cil_izq	plano 12
24	1	base columnas cil	plano 13
25	1	escuadra base cil	plano 13
27	13	anillo de retención externo BS 3673/1 - S0037	
28	1	seguridad tirante	plano 14
29	2	pin eslabón corto	plano 14
30	2	rondana plana 1_2	
32	2	tornillo con mariposa 1_2-1.75-UNC	
33	1	elem torsión	plano 16
35	2	eslabón corto	plano 14
36	2	base mecanismo separado	plano 15
37	2	eslabón corto interior	plano 16
39	2	palanca	plano 16
40	1	contra palanca	plano 17
41	1	cofle palanca	plano 17
42	2	guías palanca	plano 17
45	1	restricción 2	plano 18
46	1	tuerca palanca	plano 18
47	1	tor acme 3_4	plano 18
48	2	manivela hor	plano 19
49	2	manivela hor 2	plano 19
54	1	plataforma 2	plano 20
56	4	base mecanismo fijación	plano 15
57	4	tornillo allen 1/2 - 13 UNC - 1 3/4	
58	24	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 1/2	
59	15	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 3/4	
60	4	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1	
61	13	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 1/4	
62	5	tornillo allen 3/8 - 16 UNC - 1 1/2	
64	2	pin de retención	plano 20
66	2	manivela	plano 19
67	2	tuerca manivela	plano 19
69	6	tornillo allen cabeza plana 1/4-20 UNC x 1,5	
70	4	pin 3_8 1.75	plano 20
70 b	2	pin 3_8 2	plano 20
71	1	pin 1_2 1 3_4	plano 15
72	2	anillo de retención externo ASME B18.27.1 NA1 - 1/2	
73	6	base 1354-2	plano 21
75	1	perno central	plano 21



(0.15 : 1)


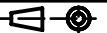
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: Explosión ASTM C-1354 método 2 sup		# pzas:1	
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 3 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



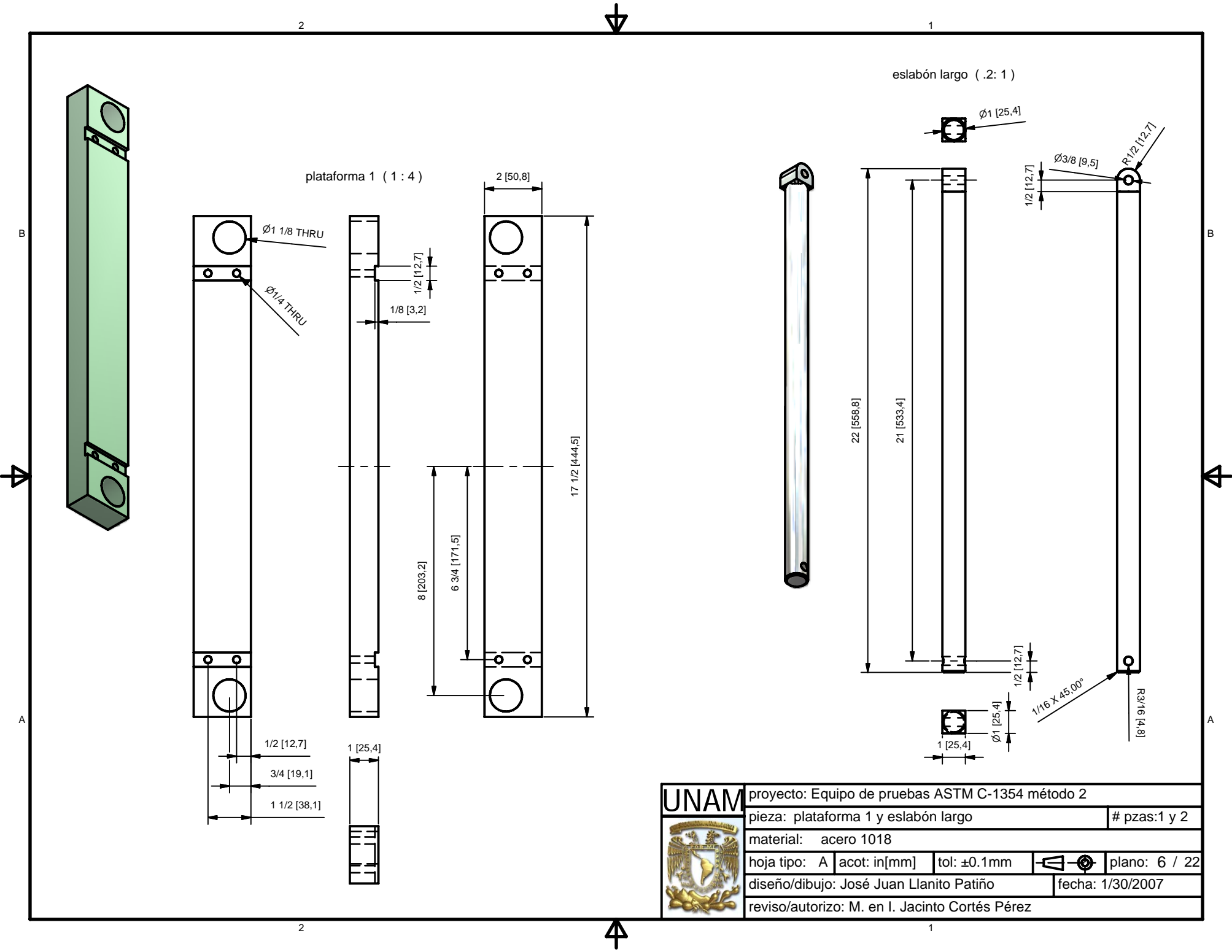
Lista de partes			
componente	cantidad	nombre/descripción	localización
50	1	tuerca ver	plano21
51	1	tornillo largo	plano 22
52	3	sujeción tor largo 1	plano 22
53	2	guías largas	plano 22
55	2	guía lateral	plano22
59	15	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 3/4	
61	13	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 1/4	
63	2	tornillo allen 3/8 - 16 UNC - 2 1/2	
65	2	pin palanca	plano 22
68	2	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 2 1/4	

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: explosión ASTM C-1354 método 2 inf		# pzas:1	
	material: varios			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 4 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

Lista de partes				Lista de partes			
componente	cantidad	nombre/descripción	localización	componente	cantidad	nombre/descripción	localización
1	1	BCR-106 cil	enerpac	39	2	palanca	plano 16
2	1	BCR-106 émbolo		40	1	contra palanca	plano 17
3	1	plataforma 1	plano 6	41	1	cople palanca	plano 17
4	1	anillo cil		42	2	guías palanca	plano 17
5	2	eslabón largo	plano 6	45	1	restricción 2	plano 18
6	4	buje eslabón	plano 7	46	1	tuerca palanca	plano 18
7	4	eslabón corto manija	plano 7	47	1	tor acme 3_4	plano 18
8	1	clevis émbolo	plano 7	48	2	manivela hor	plano 19
9	1	placa tirante	plano 8	49	2	manivela hor 2	plano 19
10	1	placa fija	plano 8	50	1	tuerca ver	plano 21
11	1	placa base	plano 9	51	1	tornillo largo	plano 22
13	1	placa móvil	plano 10	52	3	sujeción tor largo 1	plano 22
14	2	anillo de retención externo BS 3673/1 - S0075		53	2	guías largas	plano 22
				54	1	plataforma 2	plano 20
15	1	pin 0.75_2	plano 10	55	2	guía lateral	plano 22
16	2	base mecanismo	plano 10	56	4	base mecanismo fijación	plano 15
17	1	ancla CCB M24		57	4	tornillo allen 1/2 - 13 UNC - 1 3/4	
18	4	guía plataforma	plano 11	58	24	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 1/2	
19	8	tornillo allen 1_4-1.75-UNC		59	15	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 3/4	
20	8	rondana plana 1_4		60	4	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1	
21	1	base cil BRC 106	plano 11	61	13	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 1 1/4	
22	1	columna comp cil	plano 12	62	5	tornillo allen 3/8 - 16 UNC - 1 1/2	
23	1	columna comp cil_izq	plano 12	63	2	tornillo allen 3/8 - 16 UNC - 2 1/2	
24	1	base columnas cil	plano 13	64	2	pin de retención	plano 20
25	1	escuadra base cil	plano 13	65	2	pin palanca	plano 22
27	13	anillo de retención externo BS 3673/1 - S0037		66	2	manivela	plano 19
				67	2	tuerca manivela	plano 19
28	1	seguridad tirante	plano 14	68	2	tornillo allen 1/4 - 20 UNC - 2 1/4	
29	2	pin eslabón corto	plano 14	69	6	tornillo allen cabeza plana 1/4-20 UNC x 1,5	
30	2	rondana plana 1_2		70	4	pin 3_8 1.75	plano 20
31	1	pared		70b	2	pin 3_8 2	
32	2	tornillo con mariposa 1_2-1.75-UNC		71	1	pin 1_2 1 3_4	plano 15
33	1	elem torsión	plano 16	72	2	anillo de retención externo ASME B18.27.1 NA1 - 1/2	
34	1	anillo de retención externo BS 3673/1 - S0043		73	6	base 1354-2	plano 21
35	2	eslabón corto	plano 14	75	1	perno central	plano 21
36	2	base mecanismo separado	plano 15				
37	2	eslabón corto interior	plano 16				

	UNAM			proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2	
				pieza: listado completo de partes # pzas:1	
				material: varios	
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm		plano: 5 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez					





B

A

B

A

2

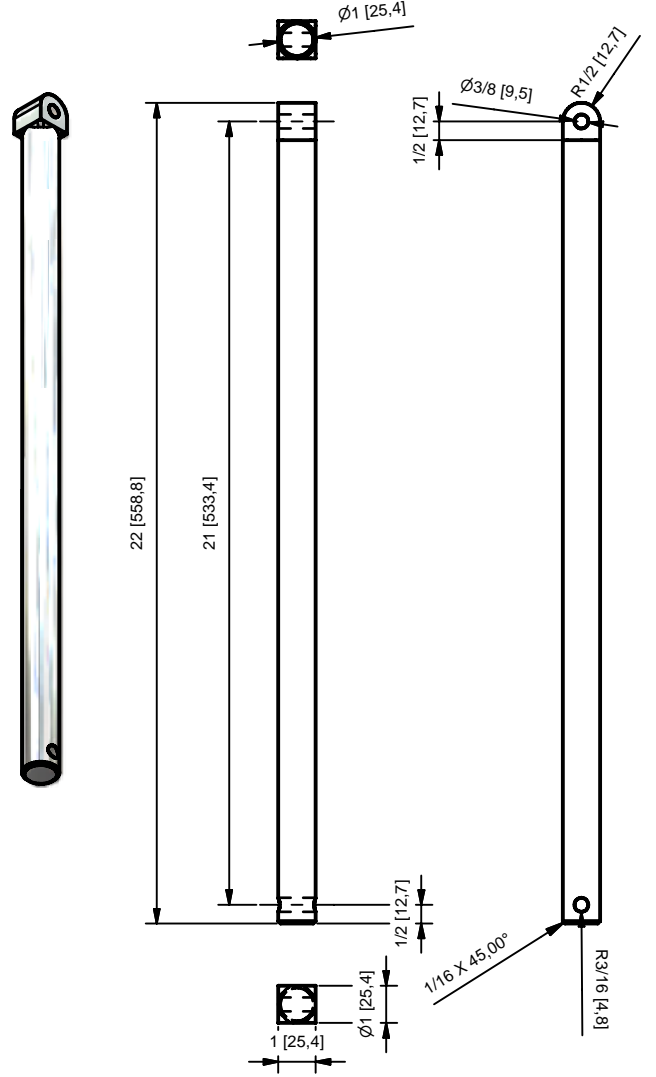
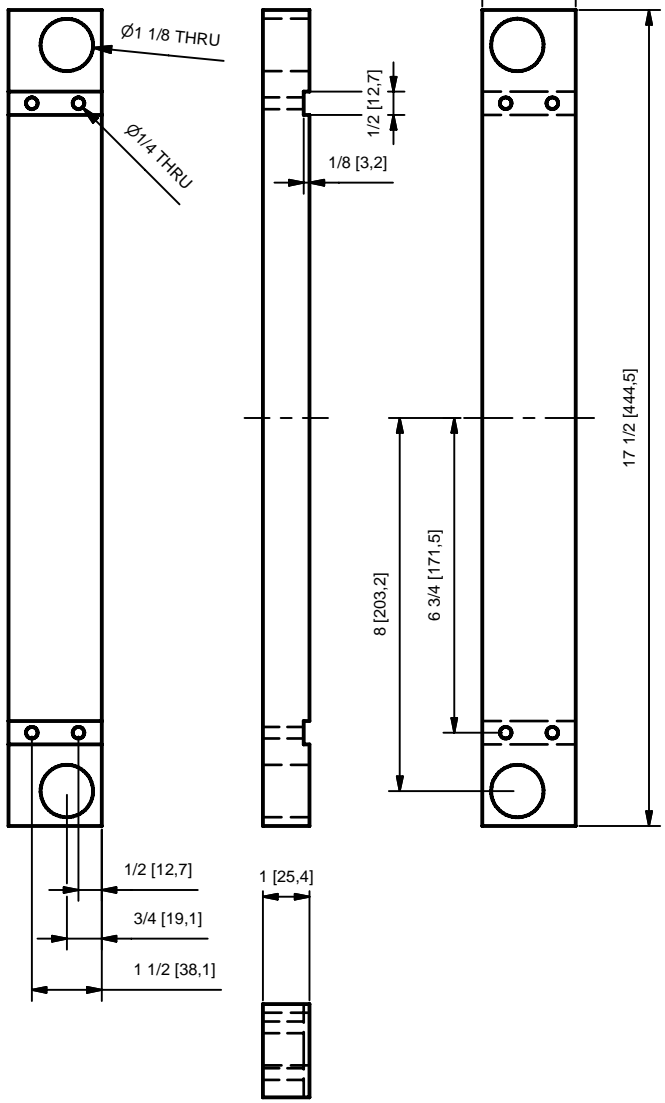
1


2

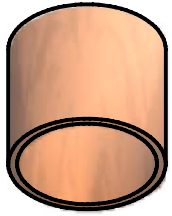
1

plataforma 1 (1 : 4)

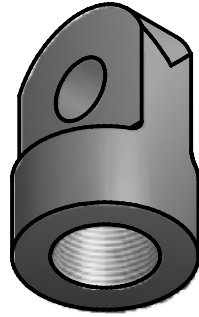
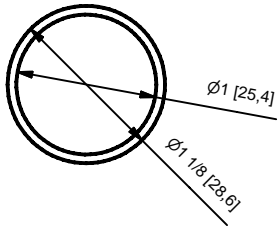
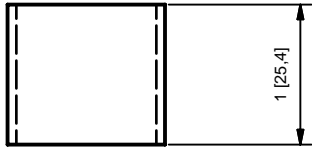
eslabón largo (.2 : 1)



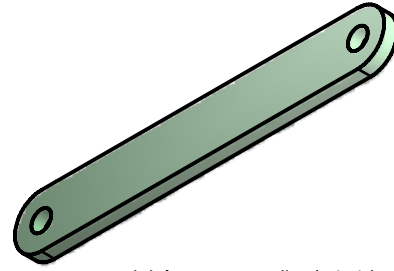
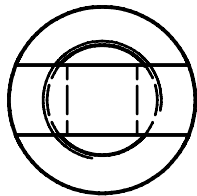
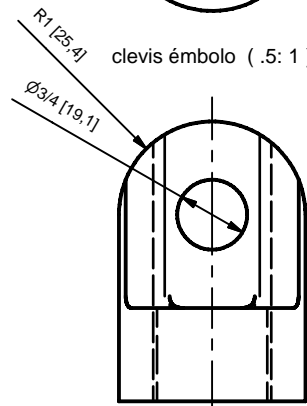
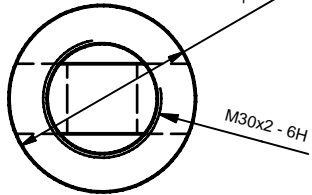
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: plataforma 1 y eslabón largo		# pzas: 1 y 2	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1 \text{ mm}$	plano: 6 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



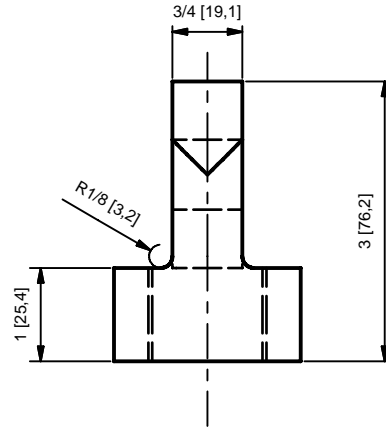
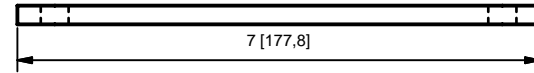
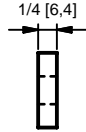
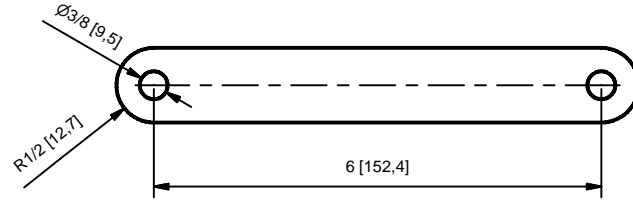
buje eslabón (.75: 1)



clevis émbolo (.5: 1)



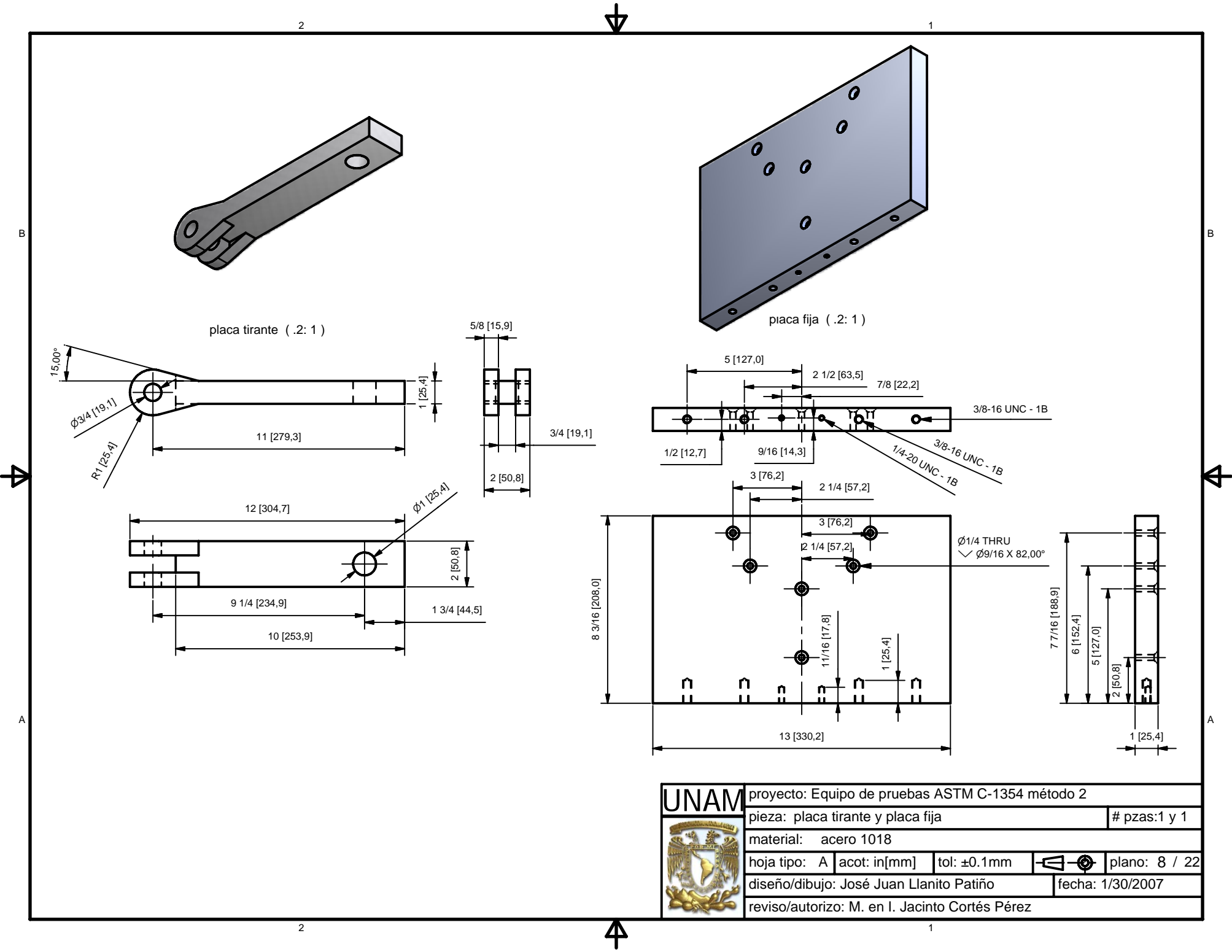
eslabón corto manija (.4: 1)



UNAM



proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
pieza: buje eslabón, eslabón corto manija, clevis émbolo			# pzas: 4, 4 y 1
material: bronce, acero 1018, acero 1018			
hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 7 / 22
diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez			



placa tirante (.2: 1)

placa fija (.2: 1)


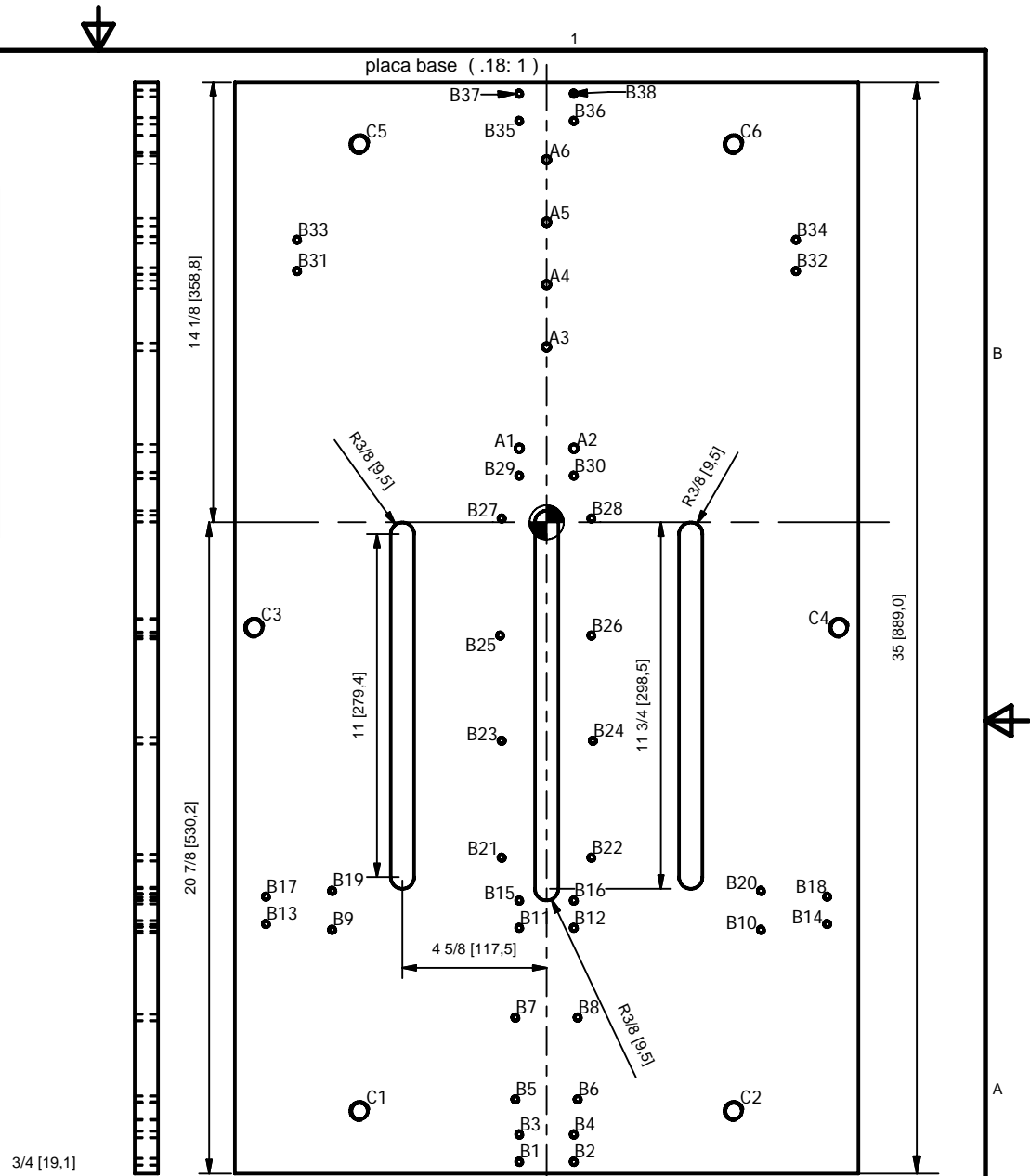
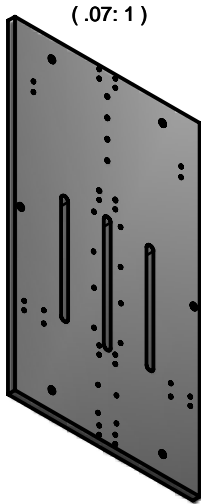
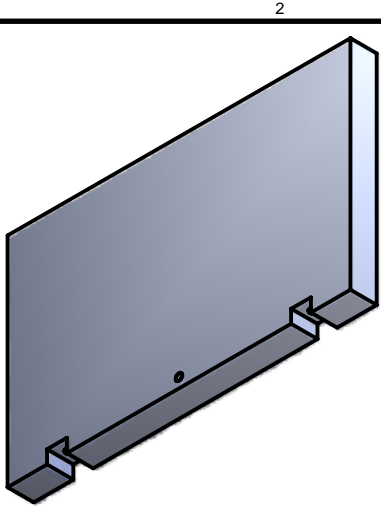
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			# pzas: 1 y 1
	pieza: placa tirante y placa fija			
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 8 / 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

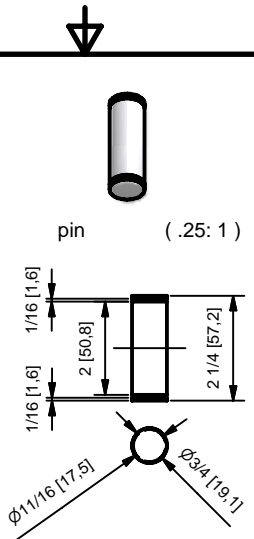
TABLA DE BARRENOS			DESCRIPCIÓN	
BARRENO	XDIM	YDIM		
A1	-0.88	2.38	Ø1/4 THRU	
A2	0.88	2.38		
A3	0.00	5.63		
A4	0.00	7.63		
A5	0.00	9.63		
A6	0.00	11.63		
B1	-0.88	-20.50		1/4-20 UNC - 1B
B2	0.88	-20.50		
B3	-0.88	-19.63		
B4	0.88	-19.63		
B5	-1.00	-18.50		
B6	1.00	-18.50		
B7	-1.00	-15.88		
B8	1.00	-15.88		
B9	-6.88	-13.06		
B10	6.88	-13.06		
B11	-0.88	-13.00		
B12	0.88	-13.00		
B13	-9.00	-12.88		
B14	9.00	-12.88		
B15	-0.88	-12.13		
B16	0.88	-12.13		
B17	-9.00	-12.00		
B18	9.00	-12.00		
B19	-6.88	-11.81		
B20	6.88	-11.81		
B21	-1.44	-10.75		
B22	1.44	-10.75		
B23	-1.44	-7.00		
B24	1.49	-7.00		
B25	-1.49	-3.63		
B26	1.44	-3.63		
B27	-1.44	0.13		
B28	1.44	0.13		
B29	-0.88	1.50		
B30	0.88	1.50		
B31	-8.00	8.06		
B32	8.00	8.06		
B33	-8.00	9.06		
B34	8.00	9.06		
B35	-0.88	12.88		
B36	0.88	12.88		
B37	-0.88	13.75		
B38	0.88	13.75		
C1	-6.00	-18.88	5/8-11 UNC - 1B	
C2	6.00	-18.88		
C3	-9.38	-3.38		
C4	9.38	-3.38		
C5	-6.00	12.13		
C6	6.00	12.13		



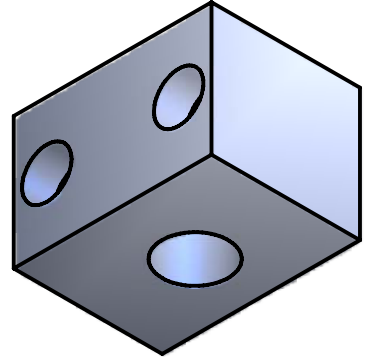
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2		
	pieza: placa base		# pzas:1
material: acero 1018			
hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 9 / 22
diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez			



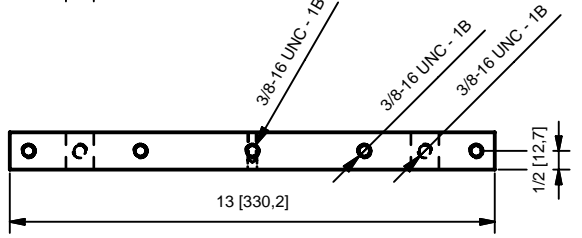
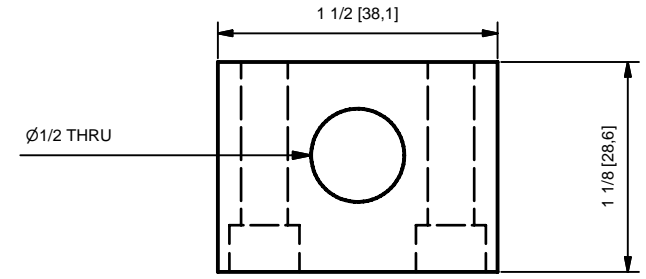
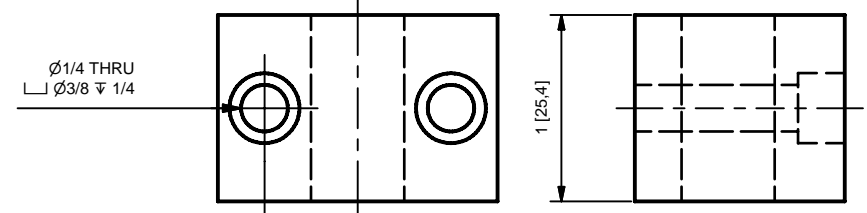
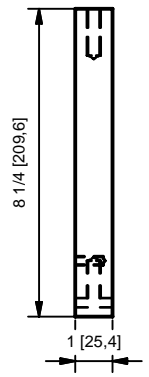
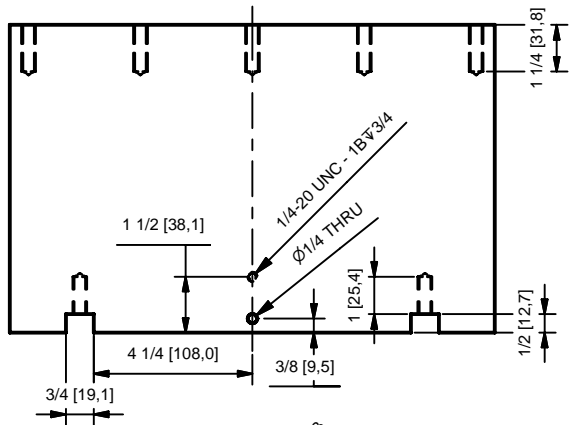
placa móvil (.2: 1)




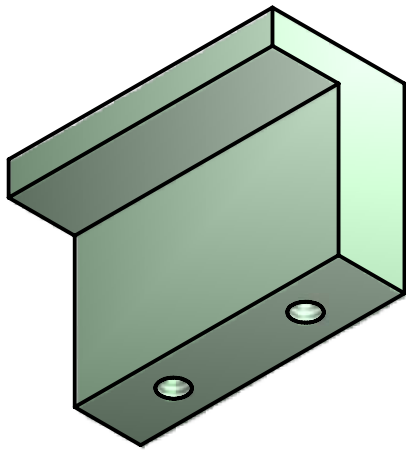
pin (.25: 1)



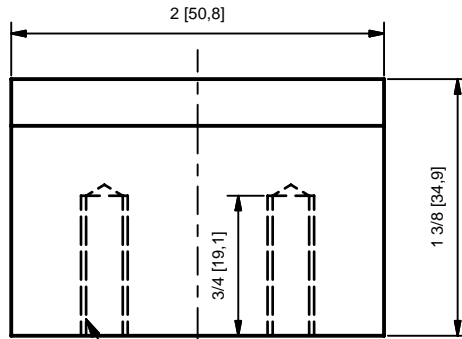
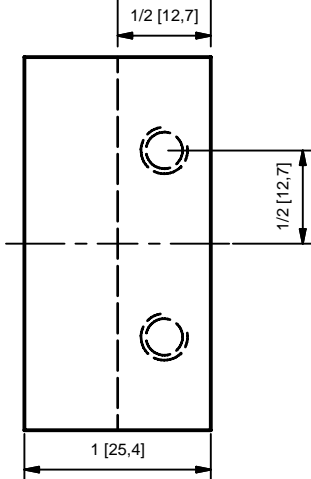
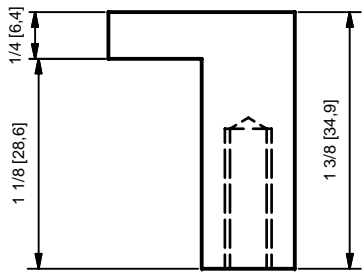
base mecanismo (1: 1)



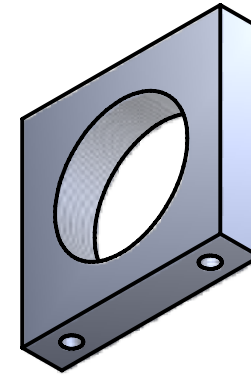
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: placa móvil, pin 0.75_2 y base mecanismo		# pzas: 1, 1 y 2	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 10/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



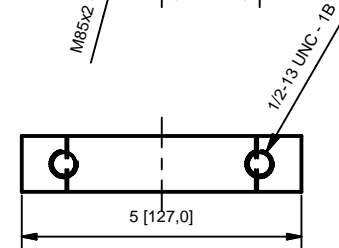
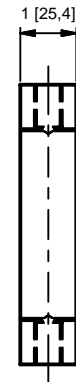
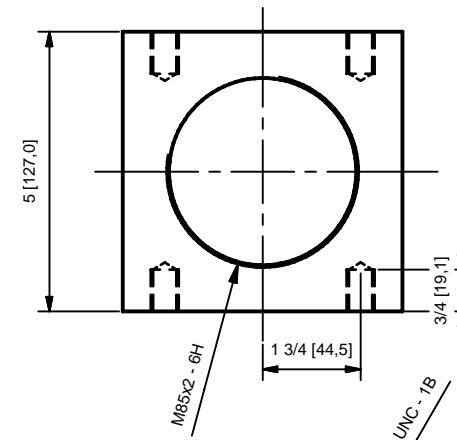
guía plataforma ( 1 : 1 )




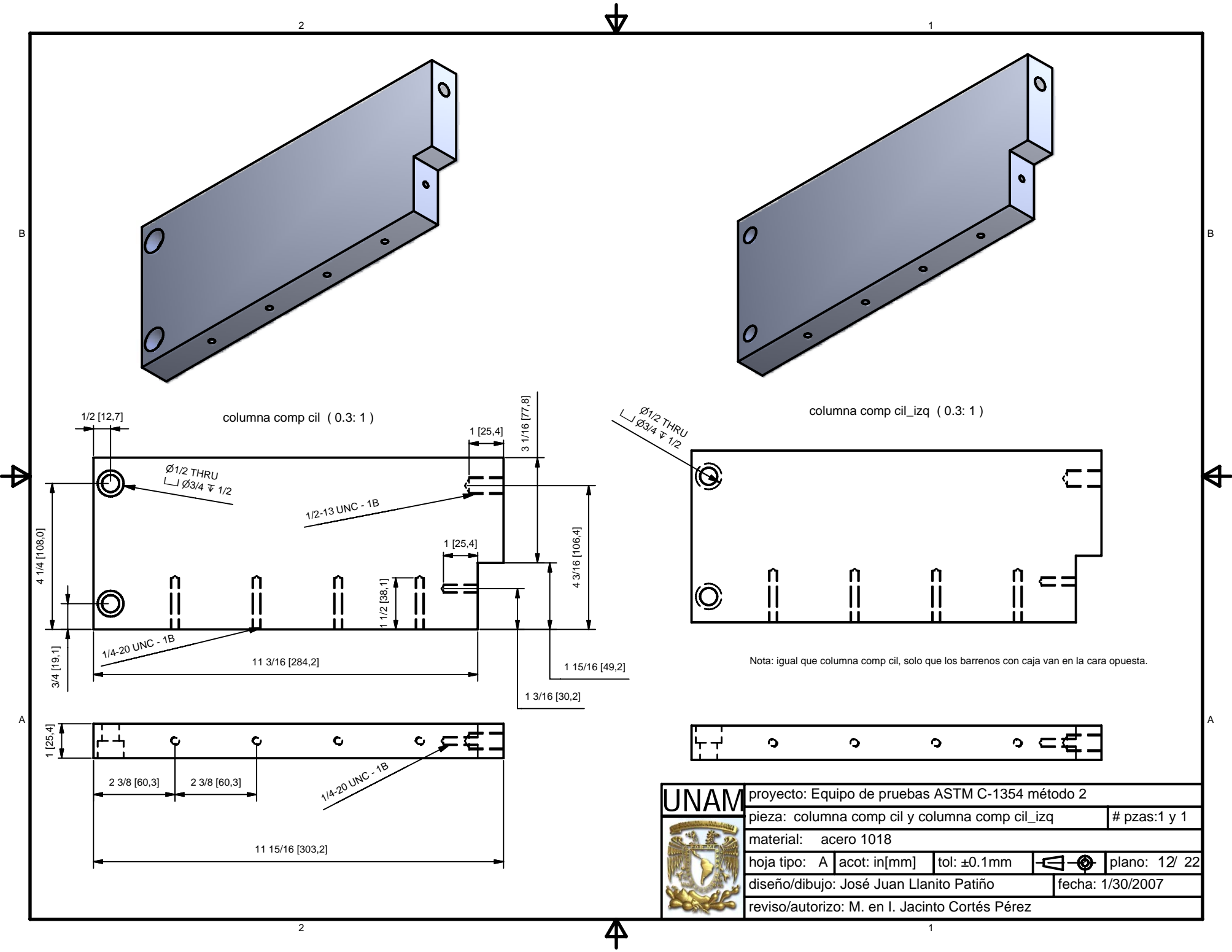
1/4-20 UNC - 1B



base cil BRC 106 ( 0.3 : 1 )




	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: guía plataforma y base cil BCR 106		# pzas:4 y 1	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 11/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

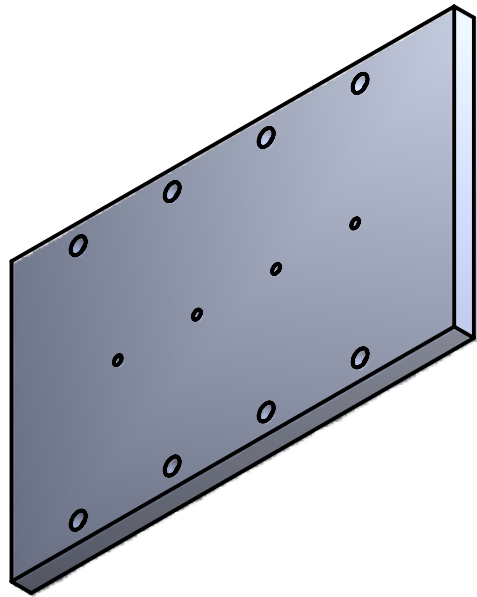


columna comp cil ( 0.3: 1 )

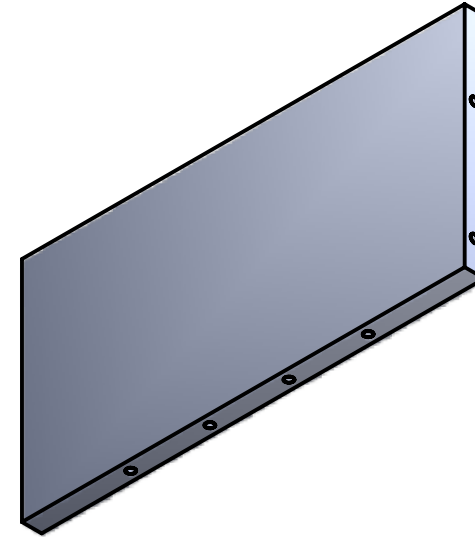
columna comp cil\_izq ( 0.3: 1 )

Nota: igual que columna comp cil, solo que los barrenos con caja van en la cara opuesta.

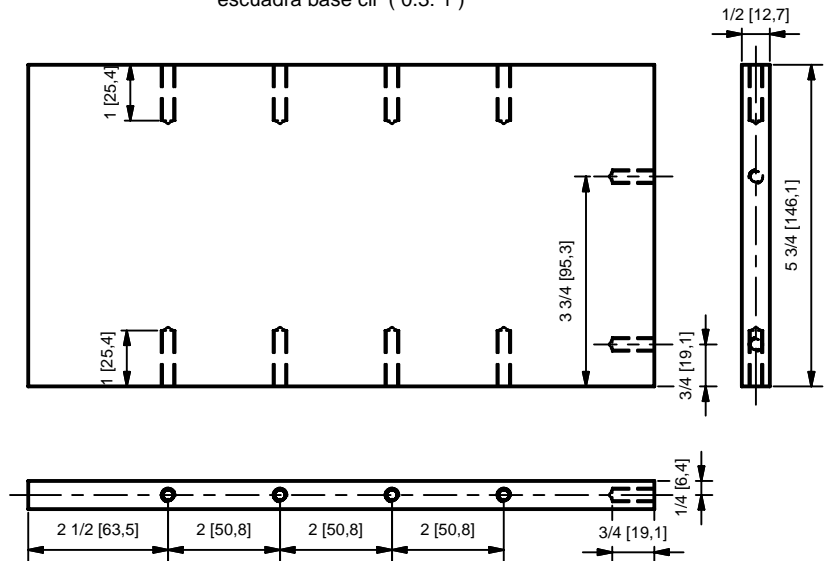
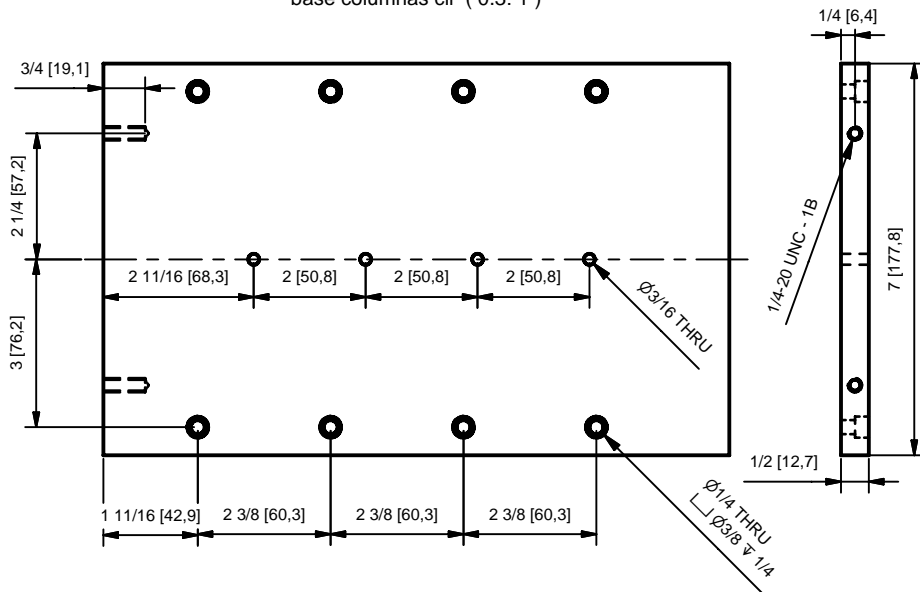
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: columna comp cil y columna comp cil_izq		# pzas:1 y 1	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 12/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				




base columnas cil ( 0.3: 1 )

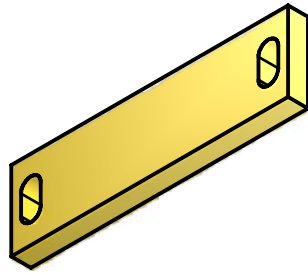


escuadra base cil ( 0.3: 1 )

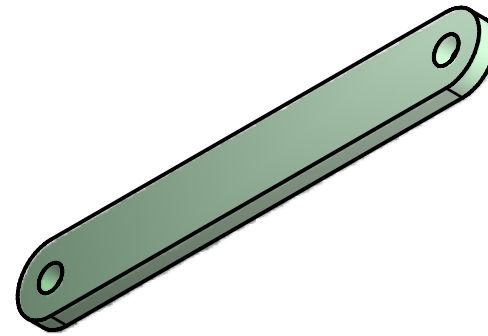
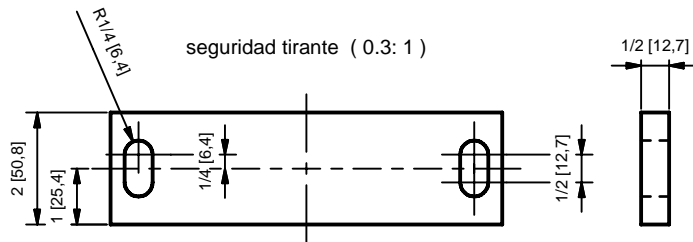


	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: base columnas cil y escuadra base cil		# pzas:1 y 1	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 13/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				

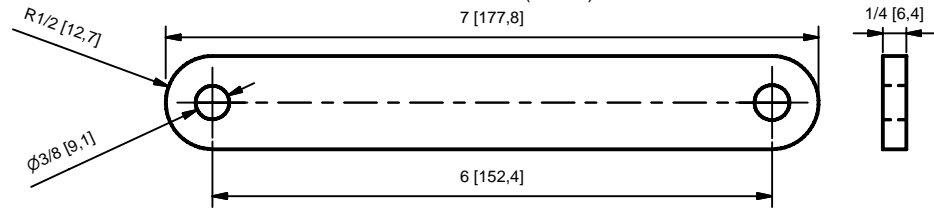




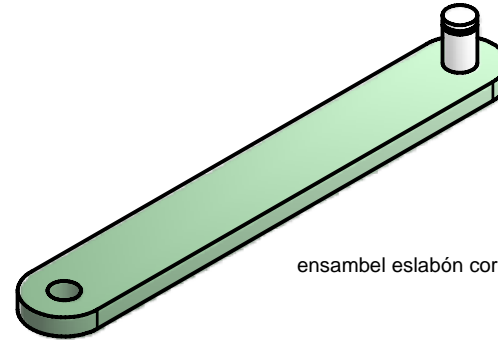
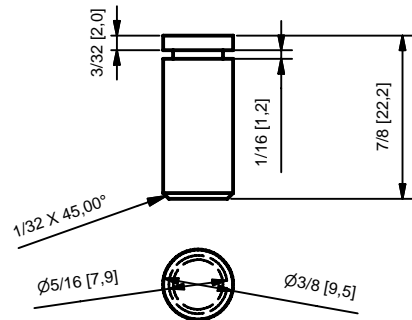
seguridad tirante ( 0.3 : 1 )



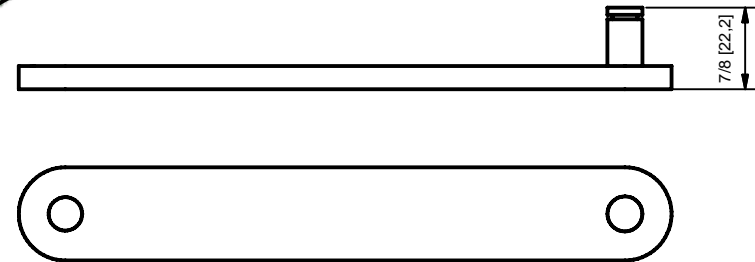
eslabón corto ( .5 : 1 )



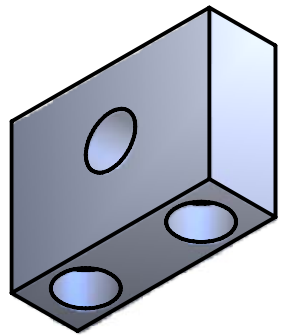
pin eslabón corto ( 1 : 1 )



ensambel eslabón corto ( .5 : 1 )



	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: seguridad tirante, pin eslabón corto, eslabón corto # pzas:1, 2, 2			
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 14/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



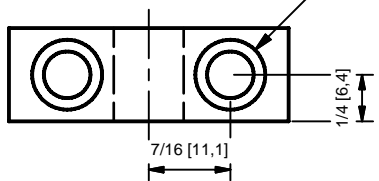
2

1

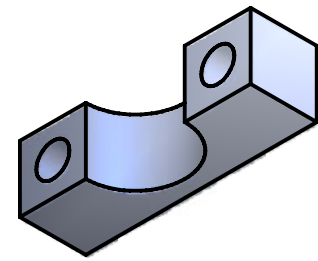
B

B

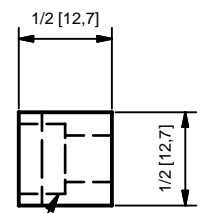
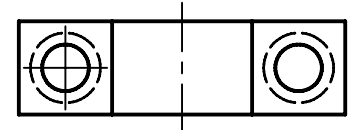
$\varnothing 1/4$  THRU  
 $\perp \varnothing 3/8 \nabla 1/4$



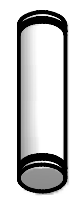
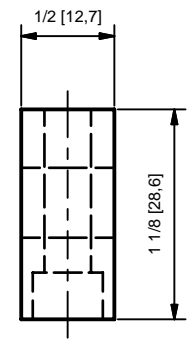
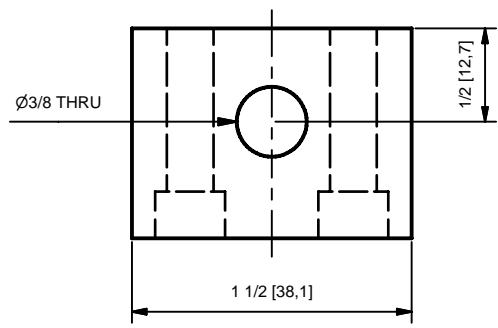
base mecanismo separado ( 1 : 1 )



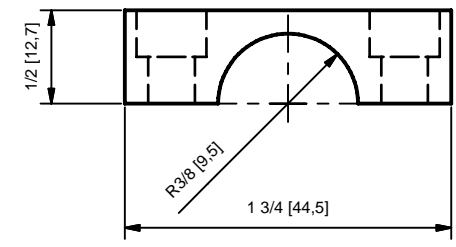
base mecanismo fijación ( 1 : 1 )



$\varnothing 1/4$  THRU  
 $\perp \varnothing 3/8 \nabla 1/4$

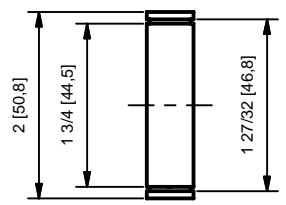


VIEW88 ( .5 : 1 )



A


A

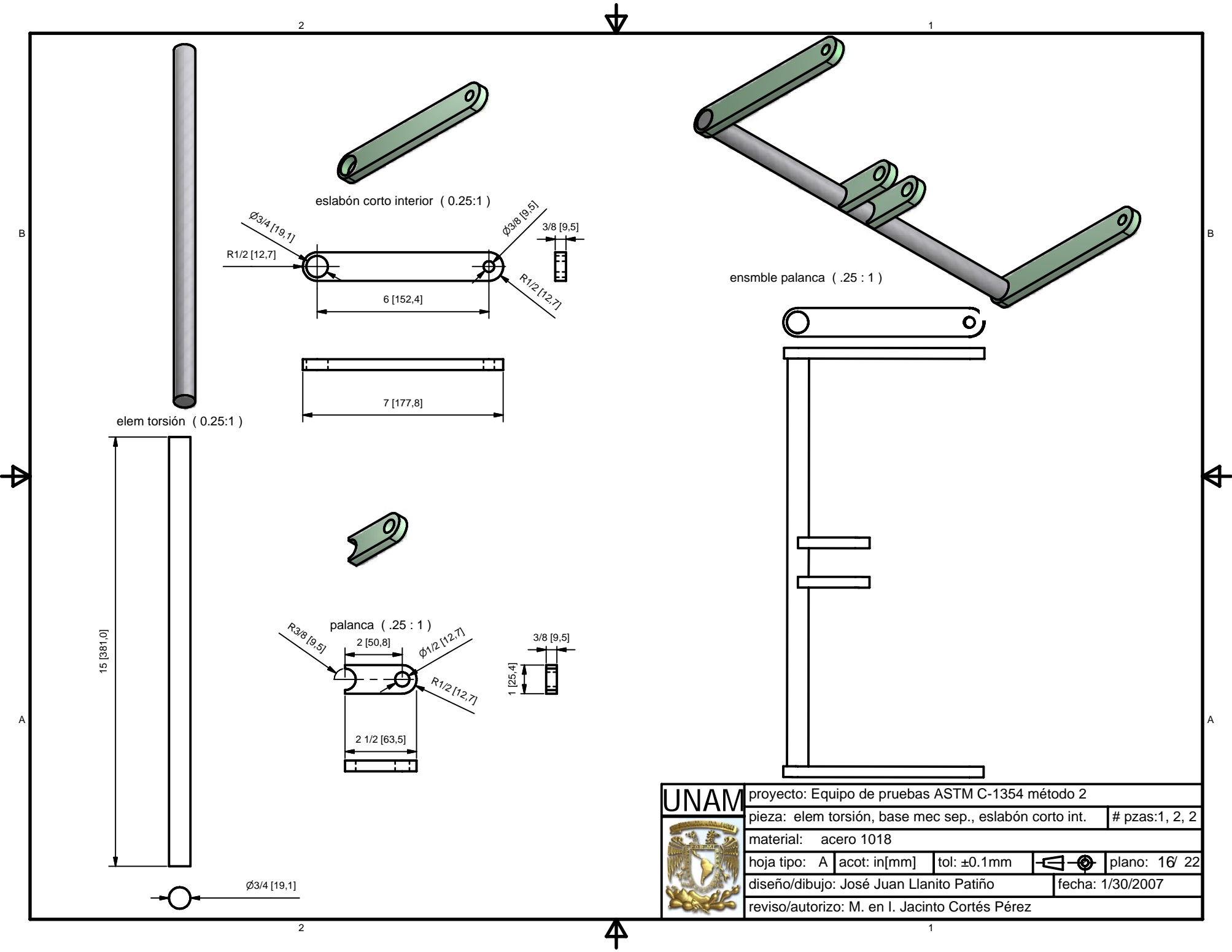



2

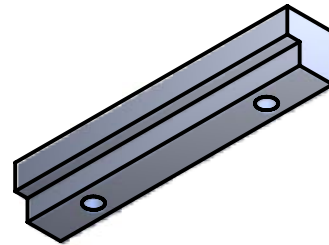
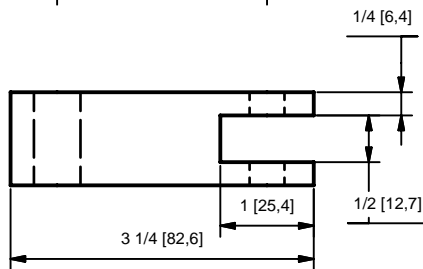
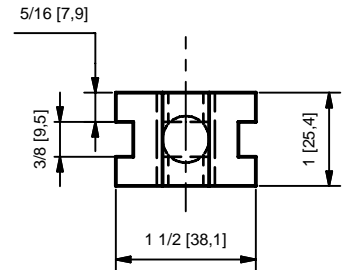
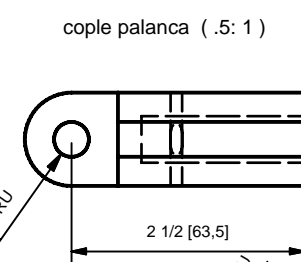
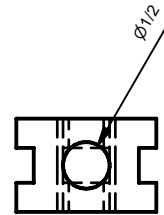
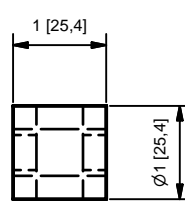
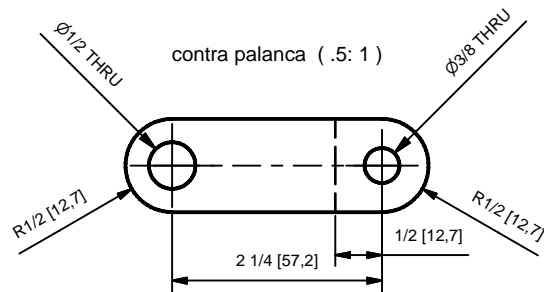
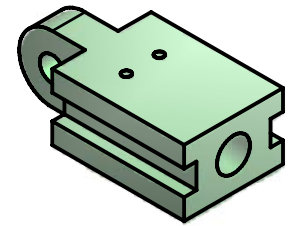
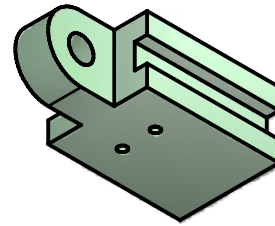
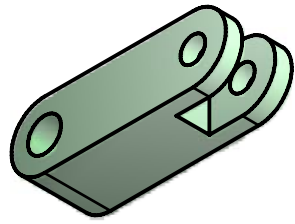
1



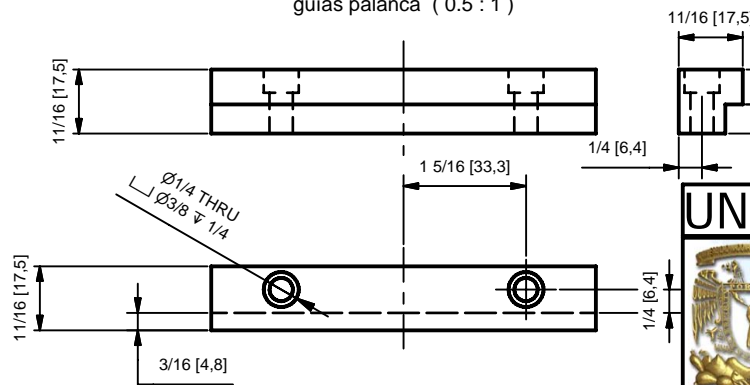
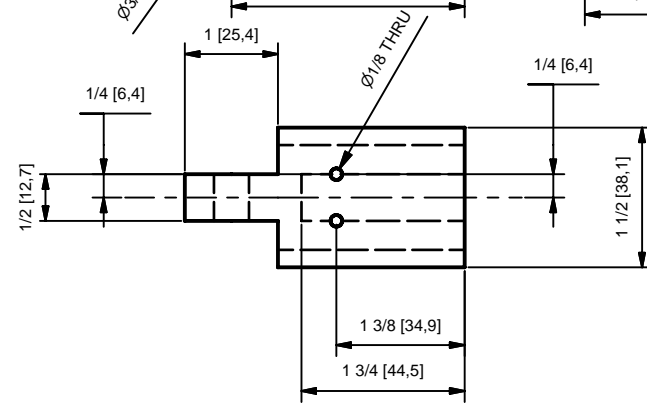
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: base mec separado, base mec fij., pin 1_2 1 3_4		# pzas: 2, 4, 1	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 15/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				




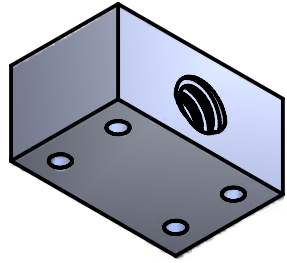
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: elem torsión, base mec sep., eslabón corto int.	# pzas:1, 2, 2		
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 16/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



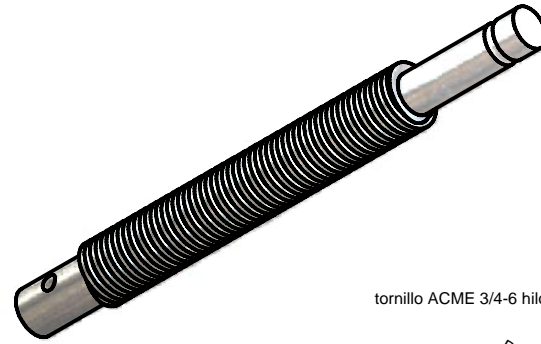
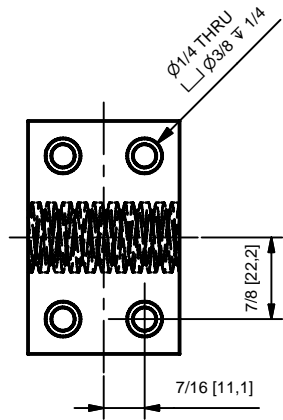
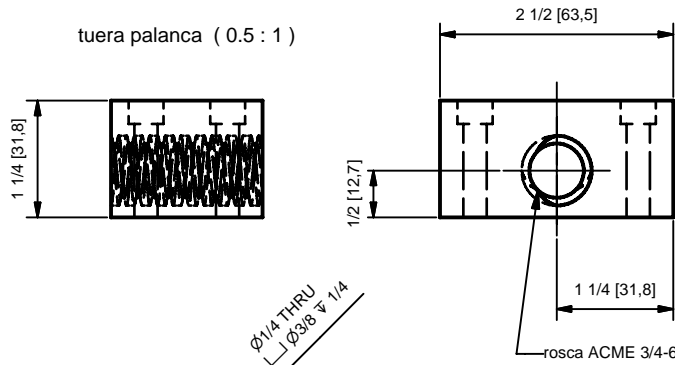
guías palanca (0.5 : 1)



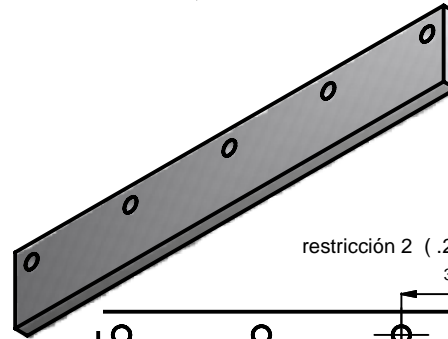
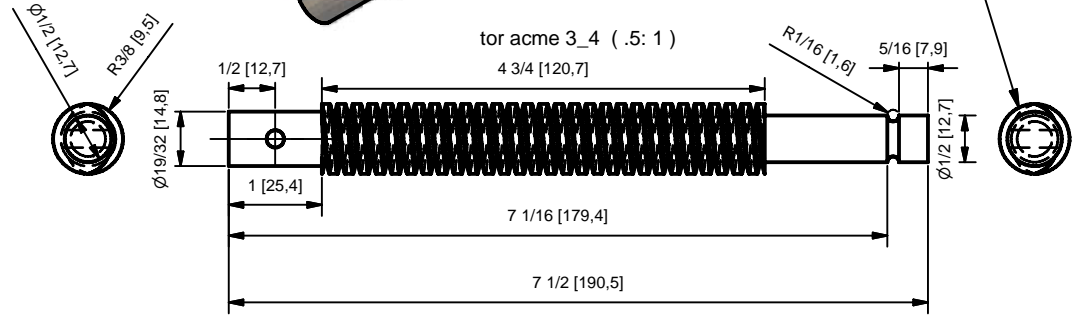
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2		
	pieza: contra palanca, cople palanca, guías palanca	# pzas: 1, 1, 2	
	material: acero 1018		
	hoja tipo: A	acot: in[mm] tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 17/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez			



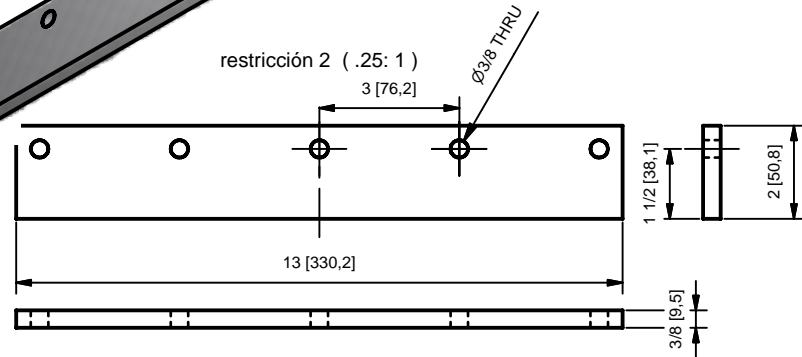
tuera palanca (0.5 : 1)



tornillo ACME 3/4-6 hilos por pulgada



restricción 2 (.25 : 1)  
3 [76,2]

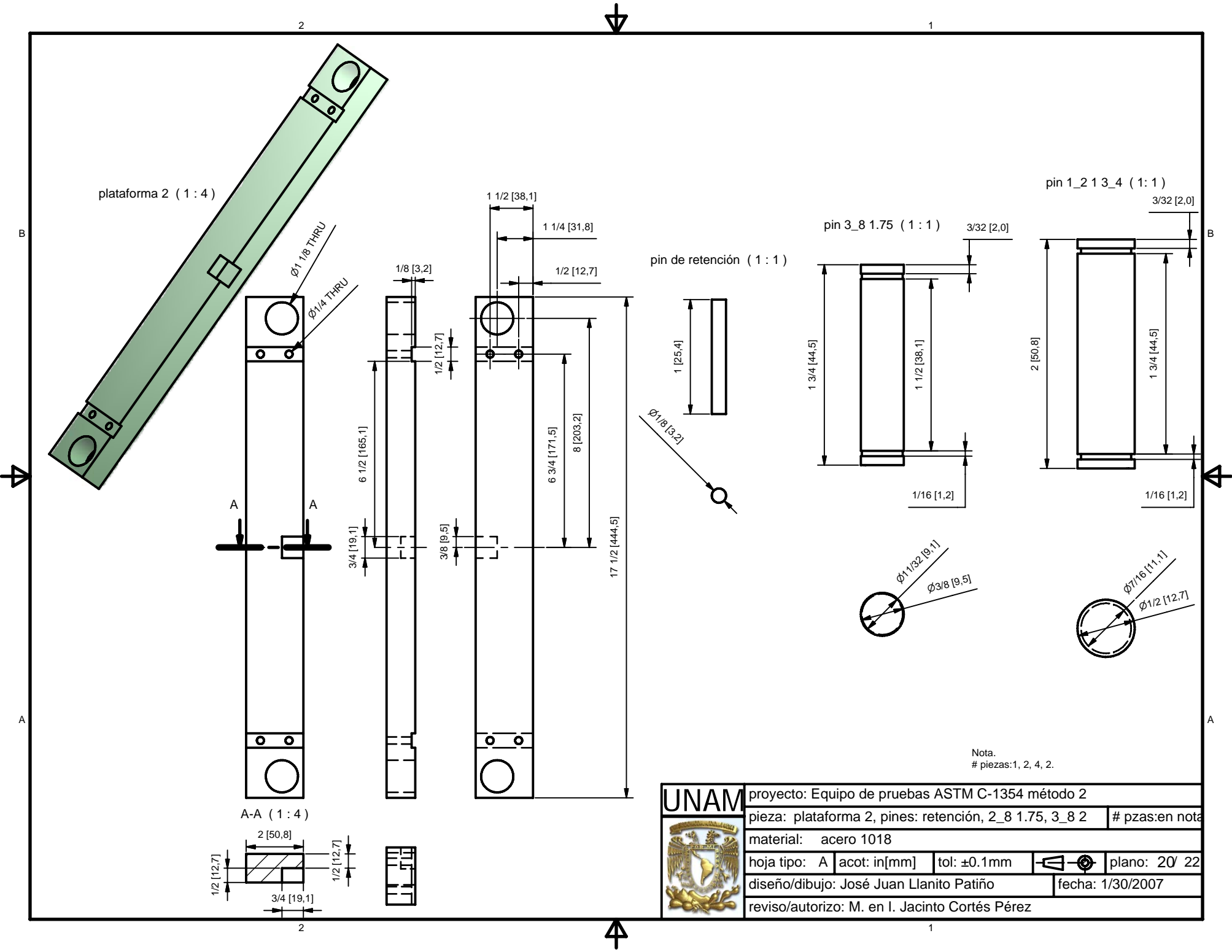



UNAM

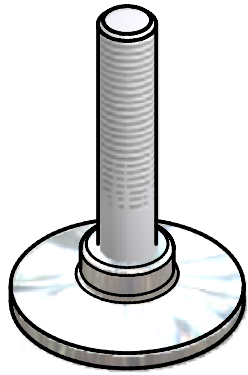


proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
pieza: tuera palanca, tor acme 3_4, restricción 2			# pzas: 1, 1, 1
material: acero 1018			
hoja tipo: A	acot: in[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 18/ 22
diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño			fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez			





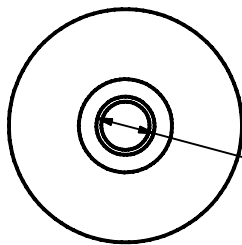
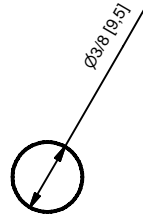
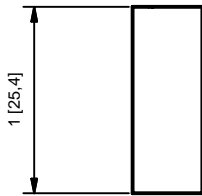
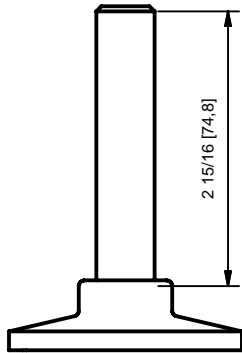
	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: plataforma 2, pines: retención, 2_8 1.75, 3_8 2	# pzas: en nota		
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in/[mm]	tol: $\pm 0.1$ mm	plano: 20/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				



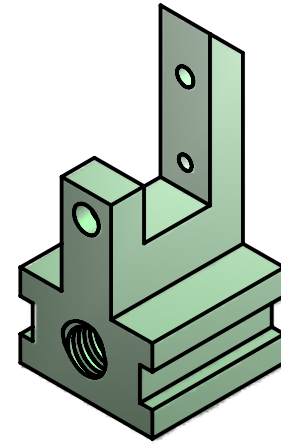
base 1354-2 (0.5: 1)



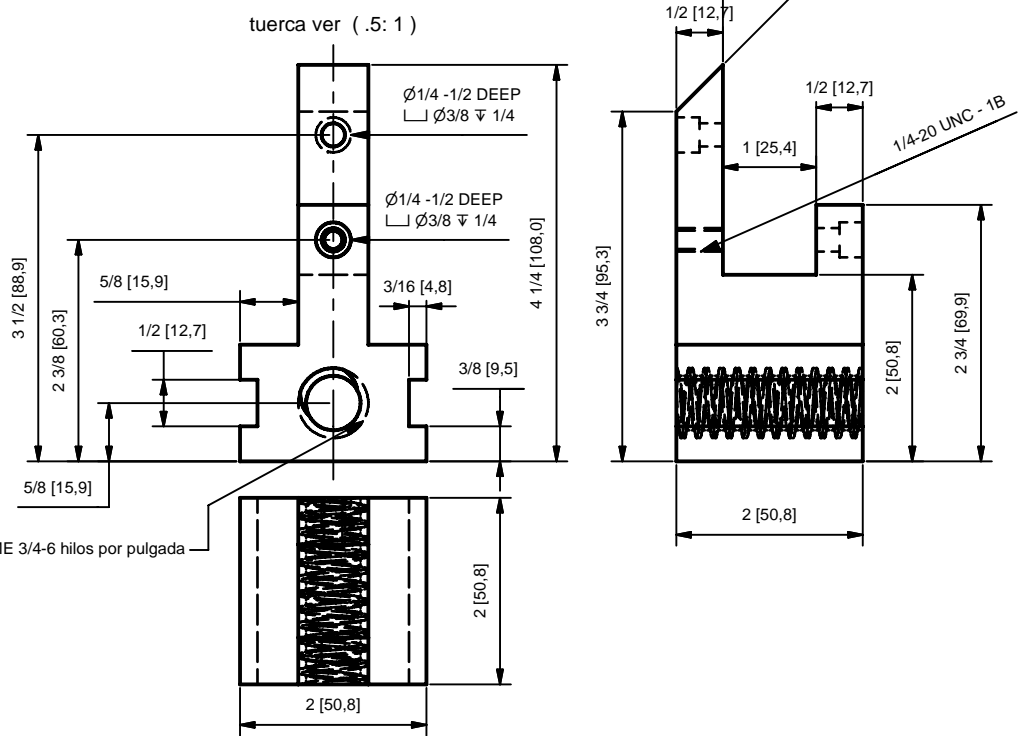
perno central (1: 1)




5/8-11 UNC



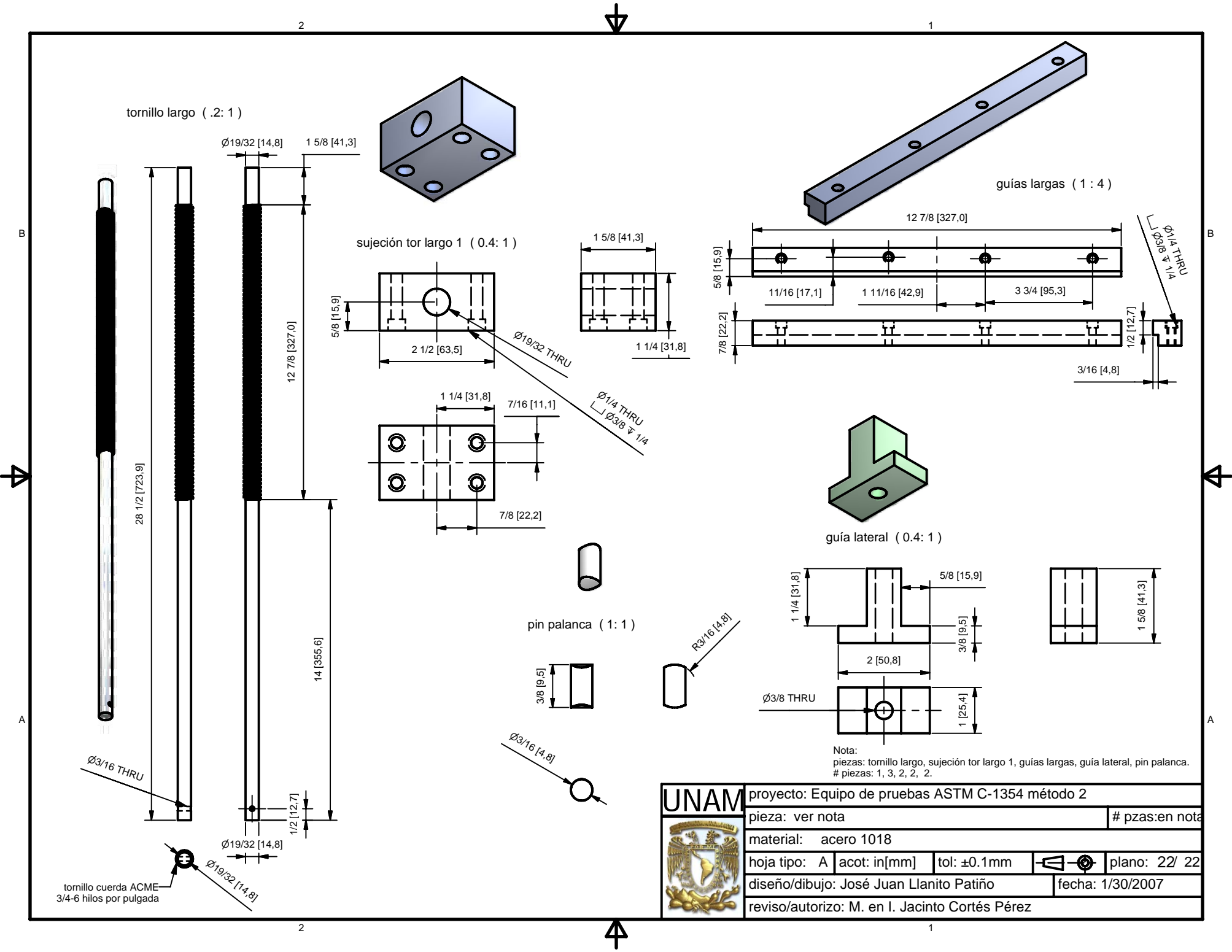
tuerca ver (.5: 1)



cuerda ACME 3/4-6 hilos por pulgada

	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2			
	pieza: base 1354-2, perno central, tuerca ver		# pzas: 6, 1, 1	
	material: acero 1018			
	hoja tipo: A	acot: in/[mm]	tol: ±0.1mm	plano: 21/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño		fecha: 1/30/2007	
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez				





	proyecto: Equipo de pruebas ASTM C-1354 método 2	# pzas: en nota
	pieza: ver nota	
	material: acero 1018	
	hoja tipo: A    acot: in[mm]    tol: ±0.1mm	plano: 22/ 22
	diseño/dibujo: José Juan Llanito Patiño	fecha: 1/30/2007
reviso/autorizo: M. en I. Jacinto Cortés Pérez		

## ***Bibliografía***

- [1] Pettijohn F. J. Sedimentary rocks, edit. Harper & Brothers, New York, 1949.
- [2] John A. Hudson and John P. Harrison, Engineering rock mechanics, edit. Pergamon, 2000.
- [3] Hoek Brown, Excavaciones subterráneas en rocas.
- [4] Walter T. Huang, Ph. D. Petrología, Unión tipográfica Editorial Hispano-Americana, México 1981.
- [5] Ahrens T.J. Mineral physics and crystallography. 1995 edit. American Geophysical Union. United States of America.
- [6] Andrew Pytel y Ferdinand L. Singer, Resistencia de materiales, 1994, 4ª. Adición, edit. Harla, México.
- [7] Wilson and Quereau, A simple method of determining stresses in curved beams, circular 16, Engineering experiment station, University of Illinois.
- [8] Frank Kreith, Mechanical engineering handbook, CRC Press LLC, 1999, Boca Raton.
- [9] E. J. Hearn, Mechanics of materials I, (*An Introduction to the Mechanics of Elastic and Plastic Deformation of Solids and Structural Materials*), 2000, edit. Butterworth-Heinemann, Great Britain.
- [10] E. J. Hearn, Mechanics of materials II, (*An Introduction to the Mechanics of Elastic and Plastic Deformation of Solids and Structural Materials*), 2000, edit. Butterworth-Heinemann, Great Britain.
- [11] Paul J. Drake, Jr., Dimensioning and Tolerancing Handbook, 1999, edit. McGraw-Hill, United States of America.
- [12] <http://webmineral.com>
- [13] Hawkes y Meyor Pruebas uniaxiales en los laboratorios de mecánica de rocas,
- [14] Jack McCorman y Rudolf E. Elling, Análisis de estructuras, 1994, edit. Alfaomega, México.
- [15] James W. Ralby and William F. Riley, Experimental stress analysis, 1978, McGraw-Hill, United States of America.
- [16] <http://www.measurementsgroup.com>
- [17] Chris McClauley, Machinery's handbook, 26th edition, Industrial Press, New York, United States of America.