

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE UN EXTRACTOR DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS BAJO NORMATIVIDAD INVIAS

CARLOS ENRIQUE SOTO LOPEZ

SERGIO ALEXANDER TROCHES FORONDA

Programa Académico

INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Director(es) del trabajo de grado

LUIS FERNANDO CARDONA SEPULVEDA

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En las diferentes obras civiles tales como edificaciones, túneles, presas, vías, estabilización de terrenos y en todo aquel proceso que lleve un estudio ingenieril, se deben obtener datos de laboratorio confiables para el posterior diseño de las obras civiles. Los diversos laboratorios de geotecnia y/o pavimentos realizan diferentes ensayos normalizados, basados en criterios establecidos en las normas de la asociación americana de prueba de materiales (ASTM por sus siglas en inglés) y/o sus equivalentes, como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y Las Normas Técnicas Colombianas (NTC). Estas normas estipulan, según el tipo de ensayo, equipos a utilizar y métodos para la preparación de la muestra.

Uno de los requerimientos más comunes y presentes en estas normas es la implementación de un equipo extractor o extrusor de muestras, ya sean para testigos de suelos, agregados o pavimentos, para la adecuada ejecución de cada ensayo y la obtención de datos veraces y confiables para los diseños ingenieriles.

En este trabajo se realizó el diseño conceptual y de detalle de un equipo extractor de muestras de laboratorio. Para realizar el diseño conceptual se realizó la división del equipo en subsistemas y se evaluaron las mejores alternativas para cada uno de ellas dependiendo de su función dentro del equipo. Para realizar el diseño de detalle se realizó el dimensionamiento de las partes que componen cada uno de los elementos del equipo y se consultaron las dimensiones de las partes comerciales. Al final del trabajo se obtuvo planos generales del equipo, una descripción del funcionamiento de cada una de las partes que componen, así como los planos de construcción de cada una de las partes que compone el equipo de extracción de muestras de laboratorio.

Palabras clave: Extractor muestras Shelby, diseño mecánico, máquina universal ensayos, suelos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar en todo este proceso de mi educación. A mis padres y familia, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por su apoyo incondicional que soy la persona y profesional, que soy ahora.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro director de proyecto profesor LUIS FERNANDO CARDONA SEPULVEDA, quien a lo largo de este tiempo han puesto a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 GENERALIDADES	6
1.2 EQUIPOS ENCONTRADOS EN EL MERCADO.....	8
1.3 EQUIPOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES LABORATORIOS	15
1.4 OBJETIVOS.....	18
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 SUELOS	20
2.2 PERFORACIÓN Y MUESTREO.....	22
2.3 NORMAS DE REFERENCIA PARA EJECUTAR ENSAYOS DE MUESTRAS DE SUELOS OBTENIDAS MEDIANTE TUBOS SHELBY.	30
2.4 NORMAS DE REFERENCIA PARA EJECUTAR ENSAYOS DE SUELOS, UTILIZANDO ENERGIA DE COMPACTACIÓN EN CILINDROS.....	33
2.5 SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	41
2.6 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS	43
3. METODOLOGÍA.....	57
3.1 EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE EQUIPOS COMERCIALES	57
3.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA PARA EXTRAER LAS MUESTRAS	59
3.3 SISTEMA DE SUJECCIÓN PARA LOS CILINDROS Y TUBOS SHELBY.....	61
3.4 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE SUJECCIÓN, SEGÚN LA LONGITUD DEL CILINDRO O TUBO SHELBY A EXTRAER.....	62
3.5 ESTRUCTURA DEL EQUIPO SEGÚN EL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA SELECCIONADO.	64
3.6 SISTEMA DE CONTROL PARA LA APLICACIÓN DE CARGA, POSICIONAMIENTO DE SUJECCIÓN Y PARO DE EMERGENCIA.	66
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1 DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO DE APLICACIÓN DE CARGA	69
4.2 DISEÑO DE SISTEMA DE SUJECIÓN PARA LOS CILINDROS Y TUBOS SHELBY.	82
4.3 DISEÑO DE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE SUJECIÓN, SEGÚN LA LONGITUD DEL CILINDRO O TUBO SHELBY A EXTRAER	85
4.4 DISEÑO DE ESTRUCTURA DEL EQUIPO SEGÚN EL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA SELECCIONADO.	92
4.5 DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA LA APLICACIÓN DE CARGA, POSICIONAMIENTO DE SUJECIÓN Y PARO DE EMERGENCIA.	100
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	103
REFERENCIAS	104
ANEXOS.....	105

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En las diferentes obras civiles tales como: edificaciones, túneles, presas, vías, estabilización de terrenos y en todo aquel proceso que lleve un estudio ingenieril, se deben obtener datos de laboratorio confiables para el posterior diseño y ejecución de las obras civiles.

Los laboratorios de geotecnia y/o pavimentos realizan ensayos normalizados de laboratorio con el fin de elaborar diseños ingenieriles. Estos diseños se basan en criterios establecidos en las normas como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Estas normas estipuladas según el tipo de ensayo, contienen dentro de sus numerales especificaciones tales como equipos a utilizar y métodos para la preparación de la muestra. En el numeral de equipos de algunas de las normas INVIAS, se referencia la implementación de un equipo extractor o extrusor de muestras, ya sean para testigos de suelos, agregados o pavimentos, para la adecuada ejecución del ensayo y la obtención de datos veraces y confiables para los diseños ingenieriles.

En los laboratorios de ingeniería civil se realizan dos tipos de extracción de muestras, por lo consiguiente dos tipos de equipos, los cuales cumplen la función extraer o forzar la salida de la muestra alojada en su interior sin perturbar su estructura o condiciones naturales (in situ), tales equipos son los siguientes:

- **Extractor de tubos de pared delgada (Shelby)**

Este tipo de extractores es utilizado para muestras de suelo inalterado y debe ser capaz de extraer el núcleo de suelo del tubo de pared delgada, en la misma dirección de desplazamiento en que entró el tubo y con la menor alteración posible a esta. Si el núcleo no es extraído verticalmente, debe tratarse de evitar esfuerzos de flexión sobre el núcleo debido a la gravedad. Las condiciones existentes en el momento de extraer la muestra pueden dictar la dirección de extracción, pero lo más importante es mantener un grado de alteración mínimo.

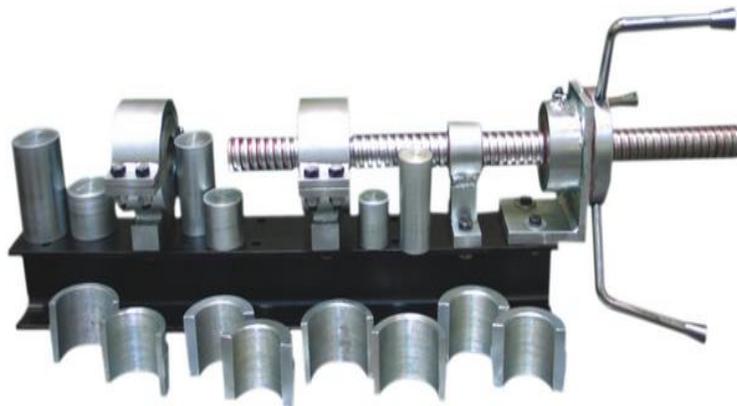


Figura1. Extractor horizontal de tubos de pared delgada (Shelby). www.pinzuar.com.co[15]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Extractor de muestras universal**

Este tipo de extractor es utilizado generalmente en los laboratorios de pavimentos y es llamado universal ya que es capaz de extraer muestras de varios tipos de moldes, estos son de forma cilíndrica con diámetros y alturas normalizadas según el tipo de ensayo a ejecutar. Las muestras son alojadas en el interior de los moldes por medio de una energía de compactación (esta energía cambia respecto al ensayo a ejecutar). Las muestras compactadas son extraídas de los moldes en algunos casos para su análisis y otro posterior al ensayo.



Figura2. Extractor universal, Pavimentos; www.ele.com[13]

Los laboratorios de suelos y/o de pavimentos, para lograr una buena ejecución de ensayos y obtención de resultados veraces, las muestras o testigos a ensayar se deben manipular con extremo cuidado para minimizar su alteración, cambios de sección transversal, o variación en el contenido de humedad dado el caso.

Las muestras de suelos obtenidas según la norma INVIAS INV E-105-13 OBTENCIÓN DE MUESTRAS SUELO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA, se deben tratar con mucho cuidado ya que estas representan las condiciones in situ del terreno. La mayoría de estas muestras se obtienen mediante equipos de perforación y obtener una nueva muestra incrementa los costos del proyecto.

En los distintos laboratorios de la ciudad de Medellín, ya sean de las diferentes universidades o del sector privado, se cuentan con equipos de extracción de muestras mecánicos, sean por medio de una volante con un tornillo sin fin o por medio de gatos hidráulicos manuales. En estos laboratorios se cuenta con diferentes tipos de extractor de muestras dependiendo del tipo de ensayo a ejecutar, ya que las muestras poseen distintas dimensiones y estructura, por lo tanto, se manejan diferentes tipos de moldes o tubos de muestreo, cambiando tanto en su diámetro como en su longitud.

En la mayoría de los casos donde se utiliza un equipo de extracción manual, para la correcta extracción de las muestras se requiere de dos o hasta tres operarios en el proceso: uno o dos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

operarios aplicando la fuerza mecánica para desplazar la muestra de su molde o tubo de muestreo y otra recibiendo la muestra para que no sufra ningún daño en su estructura, especialmente en las muestras inalteradas las cuales poseen las condiciones in situ.

Los equipos comerciales y encontrados en la mayor parte de Colombia prestan el servicio para una de las dos condiciones únicamente, sea suelos o pavimentos. En este trabajo se realizará el diseño de un equipo versátil que permitirá la extracción de muestras de suelos y pavimentos utilizando un mismo equipo y ahorrando espacio dentro del laboratorio, lo cual permitirá disminuir la mano de obra durante la extracción, dado que un solo operario con el mínimo esfuerzo podrá operar la máquina en ambos casos de extracción (suelos o pavimentos)

1.2 EQUIPOS ENCONTRADOS EN EL MERCADO

En el mercado se encuentra gran cantidad de empresas dedicadas a la fabricación y diseño de diversos equipos de laboratorio para el área de geotecnia y pavimentos; tomando un muestreo de estas empresas se hace referencia de tres empresas internacionales (HUMBOLDT, CONTROLS y ELE (SOILTEST)) y a dos empresas nacionales (DIRIMPEX y PINZUAR).

1.2.1 Equipos HUMBOLDT

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p>EYECTOR DE MUESTRA HORIZONTAL H-4185</p>  <p><i>Figura 3. Ejector de Muestra Horizontal HUMBOLDT H-4185. www.humboldtmg.com [14]</i></p>	<p>Extractor de muestras horizontal de accionamiento hidráulico, está diseñado para una rápida expulsión de muestras de los tubos de pared delgada (Tubos Shelby), de 3 "(76,2 mm) de diámetro, de 30" (762 mm) y 36 "(914 mm) de longitud.</p> <p>El sistema de unidad hidráulica controla con precisión el pistón horizontal, aplicando 5600 lbf (24.9 kN) de fuerza para expulsar la muestra sin problemas.</p> <p>El eyector utiliza 1.7 gpm, en la bomba hidráulica accionada por un motor eléctrico 1 hp, Y proporciona 2,5 gal de capacidad (9.5 L).</p> <p>Esta expulsión de la muestra también se puede utilizar tubos shelby con diámetros de 2 in o 2,5 in, utilizando el kit de conversión correspondiente para cada diámetro.</p> <p>Dimensiones generales son: 84 "(2134 mm) de largo x 23" (584 mm) W x 18 "(457 mm) H.</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fácil aplicación de la fuerza. • Operado por una solo persona. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo sirve para extracción de muestras de tubo shelby. • Diámetros limitados

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p>EYECTOR DE MUESTRAS MOTORIZADO H-4150.</p>  <p><i>Figura 4. Eyector de Muestras Motorizado, HUMBOLDT H-4150. www.humboldtmg.com [14]</i></p>	<p>Los eyectores de muestra motorizados H-4150 y H-4150.4F, están diseñados para extraer muestras a partir de moldes y/o tubos. Cuentan con una capacidad de 5 toneladas con bomba hidráulica motorizado en el pistón, el montaje incorporar barras verticales largas con el fin de dar cabida a ambos estándar de 4 "o 6" moldes de compactación de asfalto [14].</p> <p>Dimensiones totales excluyendo bomba 13 "W x 6" D x 29 "H (330 x 152 x 737mm).</p> <p>El Modelo H-4150 consta de los siguientes componentes principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> * 1.1 H-4150.2 - Conjunto de la bomba. * 1.2 H-4150.21 - bastidor de montaje. * 1.6 Una placa de plástico con cuello. * Un conjunto de 4 discos y 3 anillos de eyección.
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fácil aplicación de fuerza • Piezas intercambiables para diferentes diámetros. • Operado por una solo persona. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo sirve para extracción de muestras de pavimentos en moldes.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p>EYECTOR DE MUESTRAS DE OPERACIÓN MANUAL H-4155A.</p>  <p><i>Figura 5. Extractor universal manual CONTROLS 16-T0082/A. www.controls-group.com[11]</i></p>	<p>Este equipo está diseñado para extraer muestras de los moldes y tubos, con una fuerza de eyección de hasta 3 toneladas se puede aplicar con el gato hidráulico que permite una rápida la extracción de las muestras con el mínimo daño. [14]</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Piezas intercambiables para diferentes diámetros. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo sirve para extracción de muestras de pavimentos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2.2 Equipos CONTROLS

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">EXTRACTOR UNIVERSAL MANUAL 16-T0082/A</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 6. Extractor universal manual CONTROLS 16-T0082/A. www.controls-group.com[11]</i></p>	<p>A este aparato se pueden conectar tubos de muestras U4 estándar y toda una gama de adaptadores para extraer muestras de suelo de 38, 101 y 151 mm de diámetro. También puede utilizarse para obtener muestras Marshall, Proctor y CBR.</p> <p>Especificaciones: Capacidad de carga máxima: 60 kN (6000 kgf) Recorrido del pistón: 480 mm Dimensiones: 1140x300x370 mm Peso aproximado: 50 kg (sin accesorios).</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Piezas intercambiables para diferentes diámetros, tubos y moldes. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud del vástago muy corta par los tubos shelby. • Aplicación de carga del pistón manual.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">EXTRACTOR UNIVERSAL 16-T0080.</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 7. Extractor universal manual CONTROLS 16-T0080. www.controls-group.com[11]</i></p>	<p>Se utiliza principalmente para extraer muestras de 4 y 6 pulgadas de moldes Marshall, Proctor y CBR.</p> <p>Capacidad: 30 kN. Recorrido del pistón: 197 mm (pistón) + 68 mm tornillo [11]</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fácil mantenimiento y aplicación de la carga. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sirve solo para 3 tipos de moldes. • Solo sirve para extracción de muestras de pavimento

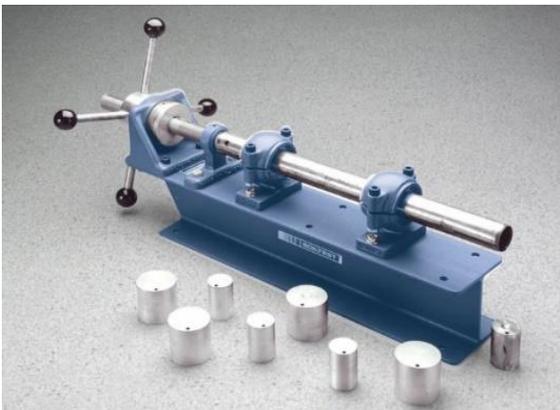
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">EXTRACTOR DE MANO PARA MUESTRAS DE 38 MM DE DIÁMETRO 16-T0010/8.</p>  <p><i>Figura 8. Extractor de mano para muestras de 38 mm de diámetro CONTROLS, www.controls-group.com[11]</i></p>	<p>Tipo tornillo; se puede utilizar con el tubo de muestra largo modelo 16-T0010/6 de acero inoxidable, 38 mm de diámetro interno y 230 mm de longitud. Peso aproximado: 1 kg</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ocupa poco espacio • Portátiles de poco peso 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sirven para un solo diámetro • Aplicación de carga del vástago manual y de poca palanca para aplicar la misma.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">EXTRACTOR HIDRÁULICO CON MOTOR 16-T0083/A.</p>  <p><i>Figura 9. Extractor hidráulico con motor CONTROLS 16-T0083/A. www.controls-group.com[11]</i></p>	<p>Los tubos de muestra se mantienen en su posición mediante un soporte en “V” ajustable que puede extraer tanto en posición horizontal como vertical. El conjunto de cilindro hidráulico y la plataforma de recepción pueden abatirse fácilmente en el costado de la máquina para ahorrar espacio cuando no se está utilizando. La máquina se suministra sin adaptadores de tubos, que deberán solicitarse por separado.</p> <p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Corriente: 230 V, 50 Hz, monofásico* -Carga máx.: 60 kN (6000 kgf) -Carrera máxima del pistón: 900 mm -Diámetro externo máximo de los tubos de muestras: 160 mm -Dimensiones totales: - Posición de funcionamiento horizontal: 2.370 x 409 x 1.180 mm - Posición de funcionamiento vertical: 1.025 x 409 x 1.080 mm (sin accesorios) <p>Peso aproximado: neto 160 kg</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rápida aplicación de la carga. Motor eléctrico. • Trabaja en posición horizontal y vertical • Trabaja con diferentes diámetros y longitudes 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ocupa demasiado espacio. • Altos costos de Importación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2.3 Equipos ELE (SOILTEST)

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">Eyector Muestra Horizontal 23-1370</p>  <p><i>Figura 10. Eyector Muestra Horizontal ELE (SOILTEST 23-1370). www.ele.com[13]</i></p>	<p>Con el eyector de muestra horizontal, las muestras pueden ser empujadas de manera uniforme desde los tubos de muestreo hasta que se alcanza la longitud deseada. Equipado con separadores y soportes intercambiables, el eyector puede acomodar tubos de muestras que varía en longitud de 4 "a 24" (102 mm a 610 mm). El eyector estándar se suministra con soportes de tubos y mordazas para 2 "y 3" (50,8 mm y 76,2 mm) de diámetro.</p> <p>Especificación: Descripción de la muestra Horizontal eyector Capacidad de 2 "y 3" de diámetro. (50,8 y 76,2 mm) x 4 "a 24" L. Construcción Base I-Beam. Caja de engranajes del cojinete de empuje; unidad de montaje manivela. Mesa o banco de montaje. Peso neto 130 libras. (59 kg); Shpg. 162 libras. (73,6 kg).</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Diferentes diámetros y longitudes de tubos shelby. Costos más asequibles. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ocupa demasiado espacio. Es necesario dos personas para extracción. Aplicación de fuerza manual Solo sirve para tubos shelbys

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">Eyector Muestra 23-4085</p>  <p><i>Figura 11. Eyector Muestra ELE (SOILTEST 23-4085). www.ele.com[13]</i></p>	<p>Extrusión rápida y expulsión de muestras de suelo de moldes y longitudes cortas de tubo de la muestra, se llevan a cabo por el eyector de muestra ELE. Diseñado en un estilo de banco de trabajo pesado, para su uso tanto en el laboratorio como en campo, el eyector tiene una fuerza de empuje de 6000 lbf. (26,7 kN), que se desarrolla a través de un gato hidráulico accionado manualmente. La unidad se suministra con accesorios para expulsar muestras de 2 "(50,8 mm) y 3" (76,2 mm) tubos Shelby, 4 "(101,6 mm) o 6" (152.4 mm) moldes, hasta 7 "(178 mm) de largo. [13]</p> <p>Especificaciones: Fuerza de empuje 6000 lbf. (26,7 kN). Gato hidráulico; de accionamiento manual; 7 "(178 mm) Carrera. Construcción Todo el metal; extrusión plateada sobre la vivienda y la bomba. Dimensiones 10-1 / 2 "w. x 8 "d. x 22 -1/2 "h. (267 x 203 x 571 mm). Peso neto 64 libras. (29 kg); Shpg. 75 libras. (34 kg).</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Rápida aplicación de la carga Diferentes diámetros de moldes 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Longitud del vástago limitado Solo sirve para extracción de muestras de pavimentos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2.4 Equipos DIRIMPEX

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p>Extractor horizontal de muestras de tubos Shelby P-107.</p>  <p><i>Figura 12. Extractor horizontal de muestras de tubos Shelby (DIRIMPEX S.A.S P-107). www.dirimpex.com[12]</i></p>	<p>Extractor horizontal de muestras de tubos shelby, equipado con tornillo sin fin, volante para maniobra, émbolos y mordazas para tubos de pared delgada de 1-1/2" a 3" de diámetro.</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Diferentes diámetros y longitudes de tubos Costos asequible 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ocupa demasiado espacio Es necesario dos personas para extracción Aplicación de fuerza manual Solo sirve para tubos shelby

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p>Extractor de muestras de moldes para compactación P-103</p>  <p><i>Figura 13. Extractor de muestras de moldes para compactación (DIRIMPRX S.A.S P-103). www.dirimpex.com[12]</i></p>	<p>Extractor de muestras de moldes para compactación, equipado con gato hidráulico de 2 Ton de capacidad y platos de 4" y 6" de diámetro.</p>
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fácil adquisición 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Solo sirve para extracción de muestras de pavimentos Longitud del vástago limitado

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
<p style="text-align: center;">Extractor universal de muestras P-120</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 14. Extractor universal de muestras (DIRIMPRX S.A.S P-120). www.dirimpex.com[12]</i></p>	<p>Para muestras de ensayos con tubos Shelby, CBR, Proctor, Marshall y Suelo cemento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empuje hidráulico de 44 kN de capacidad máxima. • Versátil, se puede utilizar vertical y horizontalmente. • Con palanca para controlar la velocidad de extracción y una válvula de dos posiciones que controla el movimiento de extrusión y retorno. • Se puede detener en cualquier punto de su recorrido. • Diseñado para tubos shelby de 2", 2,5" y 3".
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extrae todas las diferentes muestras, sea de shelby o muestras compactadas o de cilindro. • Equipo compacto. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operación manual. • Demasiadas piezas intercambiables.

1.2.5 Equipos PINZUAR

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p style="text-align: center;"><i>Figura 15. Eyector Muestras horizontal. www.pinzuar.com.co[15]</i></p>	<p>Se utiliza para empujar la muestra contenida en los tubos de pared delgada (shelby), con el fin de eliminar la necesidad de cortar los tubos sacamuestras para recuperar la muestra a ensayar.</p> <p>Especificaciones técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tornillo sinfín con manivela manual. - Construido sobre viga de alta resistencia. - Capacidad para tubo: de 2" \varnothing - 2 1/2" \varnothing y 3" \varnothing. - Mordazas con anillos intercambiables y posición móvil.
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diferentes diámetros y longitudes de tubos • Costos más asequibles 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ocupa demasiado espacio • Es necesario dos personas para extracción • Aplicación de fuerza manual • Solo sirve para tubos shelby

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 Figura 16. Extractor vertical para proctor, cbr y Marshall. www.pinzuar.com.co [15]	<p>Se utiliza para extraer las muestras del molde CBR y Proctor</p> <p>Especificaciones técnicas: Discos extractores para 4"Ø y 6" Ø, con gato de 5 t.</p>
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> fácil adquisición 	Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> solo sirve para extracción de muestras de pavimentos longitud del vástago limitado aplicación de carga manual

1.3 EQUIPOS ENCONTRADOS EN DIFERENTES LABORATORIOS

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 Figura 17. Extractor Horizontal para tubos shelby, proctor, cbr y Marshall. Universidad de Medellín, Fuente: los autores.	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby, proctor, cbr y Marshall. Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por tornillo de potencia manual. Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de cilindro o tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. Cuenta con base independiente, no requiere de un mesón para su instalación. Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción. Equipo no anclado al piso, lo cual genera que el equipo se incline cuando se genera la fuerza para extraer la muestra.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p>Figura 18. Extractor Horizontal para shelby, SENA, CENTRO DEL HABITAT Y LA CONSTRUCCIÓN, Medellín, Fuente: los autores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por tornillo de potencia manual. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Requiere de un mesón para su instalación y estar anclado a este. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p>Figura 19. Extractor Horizontal para shelby, CONSULCIVIL S.A.S, Medellín, Fuente: los autores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por tornillo de potencia manual. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Requiere de un mesón para su instalación y estar anclado a este. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p>Figura 20. Extractor Horizontal para shelby, UNIVERSIDAD NACIONAL, Medellín, Fuente: los autores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por tornillo de potencia manual. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Requiere de un mesón para su instalación y estar anclado a este. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p>Figura 21. Extractor Horizontal para shelby, LABORATORIO CIVIL EPM, Medellín, Fuente: los autores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por unidad hidráulica y cilindro. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Cuenta con base independiente, no requiere de un mesón para su instalación. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción. • Requiere de gran espacio en el laboratorio, su longitud es de dos metros, se requiere de por lo menos tres metros lineales para realizar la extracción.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p>Figura 22. Extractor Horizontal para shelby, INTEINSA S.A, Medellín, Fuente: los autores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por tornillo de potencia manual. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Requiere de un mesón para su instalación y estar anclado a este. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p>Figura 23. Extractor vertical para proctor, cbr y Marshall, INTEINSA PAVIMENTOS S.A.S, Medellín, Fuente: los autores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción vertical para proctor, cbr y Marshall. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es cilindro hidráulico manual. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de cilindro, y herramientas menores para el cambio de estas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p><i>Figura 24. Extractor Horizontal para shelby, CONSUAS S.A.S, Manizales, Fuente: los autores.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción horizontal para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por tornillo de potencia manual. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Requiere de un mesón para su instalación y estar anclado a este. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES
 <p><i>Figura 25. Extractor vertical para shelby, proctor, cbr y Marshall, DEACIVIL S.A.S, Medellín, Fuente: los autores.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de extracción vertical para muestras de tubos shelby. • Sistema de aplicación de carga para extraer las muestras es por unidad hidráulica y cilindro. • Cuenta con piezas intercambiables para cada diámetro de tubo shelby, y herramientas menores para el cambio de estas. • Cuenta con base independiente, no requiere de un mesón para su instalación. • Se requiere de dos técnicos de laboratorio para realizar la extracción. • Carrera del cilindro demasiado corta, se utiliza cilindro de aluminio y madera para alcanzar extraer la totalidad de la muestra del tubo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Diseñar un equipo de extracción de muestras con una capacidad de 5 toneladas, en el que se unifique la extracción de muestras de suelos y pavimentos de forma cilíndrica.

1.4.2 Específicos

- Evaluar las ventajas de diseño de los diferentes equipos comerciales, para seleccionar cual será la forma más eficiente y compacta para diseñar la estructura del equipo.
- Seleccionar el sistema de aplicación de carga para extraer las muestras.
- Diseñar estructura del equipo según el sistema de aplicación de carga seleccionado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Diseñar sistema de sujeción para los cilindros y tubos shelby.
- Diseñar sistema de posicionamiento de sujeción, según la longitud del cilindro o tubo shelby a extraer.
- Diseñar sistema de control para la aplicación de carga, posicionamiento de sujeción y paro de emergencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

El equipo a diseñar, tendrá la función de extraer muestras de suelos y de pavimento compactadas en el laboratorio.

2.1 SUELOS

2.1.1 Investigación de suelos para propósitos de ingeniería INV E – 101 – 13

Los métodos para el muestreo y la investigación de suelos son basados en procedimientos normalizados. El muestreo y la identificación de materiales del subsuelo implican técnicas simples y complejas, acompañadas de procedimientos e interpretaciones diferentes, las cuales están influenciadas por las condiciones geológicas y geográficas, por el propósito de la investigación y por los conocimientos, la experiencia y el entrenamiento del ingeniero.

Antes de comenzar cualquier trabajo de exploración de campo, el sitio debe ser estudiado para comprobar si existen conexiones de servicios públicos bajo tierra. En caso de que se encuentren evidencias de materiales contaminados o condiciones peligrosas que puedan surgir en el curso de la investigación, el trabajo se debe interrumpir hasta el instante en que las circunstancias hayan sido evaluadas y se reciban nuevas instrucciones antes de reiniciar el trabajo.

La investigación de suelos requiere la toma de muestras representativas y de calidad tal, que permitan determinar la clasificación del suelo o el tipo mineralógico de la roca, o ambos, así como las propiedades de ingeniería pertinentes al diseño propuesto.

2.1.2 Equipos a usar en la exploración de suelos

El tipo de equipo requerido para la investigación sub-superficial depende de diferentes factores, entre los que se pueden mencionar el tipo de material que se encuentre, la profundidad hasta la cual se debe llevar la exploración, la naturaleza del terreno y el uso que va a tener la información obtenida.

- Los equipos de manejo manual resultan apropiados para la ejecución de exploraciones hasta, aproximadamente, 5 m (15 pies) de profundidad.
- Los equipos de movimiento de tierras, como retroexcavadoras y dragas de arrastre permiten el examen de los depósitos de suelos directamente en el terreno, así como el muestreo de materiales que contiene partículas de gran tamaño.
- Los equipos mecánicos de perforación pueden alcanzar profundidades hasta de 100 m (300 pies) en suelos y aún mayores en rocas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1.3 Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual) INV E - 102 - 13

Esta norma describe un procedimiento para identificar suelos con base en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). La identificación se hace mediante un examen visual y ensayos manuales.

Al suelo se le puede dar una identificación asignándole un(os) símbolo(s) de grupo y un nombre. Los diagramas de flujo para suelos de grano fino y para suelos de grano grueso, se pueden usar para asignar símbolos de grupo y nombres apropiados.

Tipos de muestras de suelo:

- **Muestras Alteradas:** Es aquella muestra de suelo que es representativa del suelo, conservan su composición mineralógica y algo de humedad natural, pero no conserva la estructura y las demás condiciones que tenía en el terreno (condiciones in situ).
- **Muestras Inalteradas:** Es aquella muestra del suelo que conserva las condiciones in situ, composición mineralógica, contenido de humedad, y principalmente su estructura, este tipo de muestras se obtienen mediante tubos shelby o bloques de suelo.

Existe una nomenclatura fundamental común, válida en todos los casos, que coloca los suelos existentes dentro de alguno de cinco grandes grupos: gravas, arenas, limos, arcillas y suelos altamente orgánicos. Esta es la que se puede llamar "Clasificación Primaria de Suelos". A continuación, se exponen detalles de cada uno de estos tipos de suelos y las claves que suelen usarse para su clasificación primaria.

Cascajos o gravas (G - Gravel)

Son partículas de roca resultantes básicamente de la desintegración física de la misma. Se les asigna la letra inicial G por Gravel. Tienen un diámetro menor que 76.2 mm y mayor que 4.76 mm, es decir, pasan la malla de 3" y se retienen en la malla No.4.

- Las gravas gruesas son aquellas que pasan el tamiz de 75 mm (3") y quedan retenidas sobre el tamiz de 19 mm (3/4").
- Las gravas finas son las que pasan el tamiz de 19 mm (3/4") y quedan retenidas sobre el tamiz de 4.75 mm (No.4).

Arenas (S - Sand)

Partículas de roca resultantes de la desintegración mecánica o física de las mismas. Se le asigna la letra inicial S por Sand. Comprende tamaños menores que 4.76 mm y mayores que 0.074 mm, es decir, incluye suelos que pasan la malla No. 4 y se retienen en la No. 200.

- Las arenas gruesas pasan el tamiz de 4.75 mm (No.4) y quedan retenidas sobre el tamiz de 2.00 mm (No.10).
- Las arenas medias pasan el tamiz 2.00 mm (No.10) y quedan retenidas sobre el tamiz de 425 μ m (No.40).
- Las arenas finas pasan el tamiz de 425 μ m (No.40) y quedan retenidas sobre tamiz de 75 μ m (No.200).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los cascajos o gravas, junto con las arenas, forman el grupo de los llamados suelos grueso granulares o simplemente gruesos o granulares, en razón del tamaño de sus granos, predominantemente gruesos.

Las gravas gruesas y finas y las arenas gruesas incluyen tanto los materiales de grano redondeado como los angulosos y los aplanados o alargados. Estos aspectos, si bien no son importantes en la clasificación como tal, aportan información importante sobre las características geotécnicas de los suelos, tales como la permeabilidad, la compresibilidad y la resistencia al corte, entre otras.

Limos (M - Mo)

Suelo fino que puede presentar poca plasticidad o ninguna y que cuando se encuentra en estado seco es muy frágil. Se le asigna la letra inicial M por Mo. Normalmente comprende tamaños de partículas menores que 0.074 mm y mayores que 0.002 mm, aunque actualmente no se considera adecuado diferenciarlo por el tamaño de sus granos mientras que si por sus características de plasticidad, entre otras.

Arcillas (C - Clay).

Suelo fino que presenta plasticidad si tiene un contenido de humedad adecuado y que en estado seco presenta una resistencia muy alta. Se le asigna la letra inicial C por Clay. Normalmente comprende tamaños de partículas menores que 0.002 mm, aunque, igual que en el caso de los limos, actualmente no se considera adecuado diferenciarlas por el tamaño de sus granos mientras que sí por sus características de plasticidad, entre otras.

Los limos y las arcillas son llamados suelos fino granulares o finos, si están formados de partículas llamadas arbitrariamente finas, o si la proporción de estas en el agregado es tal que su influencia en el comportamiento del suelo predomina sobre la de los granos gruesos.

Suelos altamente orgánicos (O – Organic)

Son suelos que por su alto contenido de materia orgánica deben ser diferenciados de los demás grupos de suelos. Son fácilmente identificables por su olor, color, sensación esponjosa y por su textura fibrosa.

2.2 PERFORACIÓN Y MUESTREO

Se deben obtener muestras representativas de suelo, de cada material encontrado que sea de importancia para el diseño y la construcción. El tamaño y el tipo de las muestras dependen de los ensayos que se vayan a efectuar o del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, así como de las limitaciones del equipo de ensayo por emplear.

Se debe identificar cuidadosamente cada muestra en relación con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Se coloca una etiqueta impermeable dentro del recipiente o bolsa, se cierra ésta en forma segura, se protege del manejo rudo y se marca

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

exteriormente con una identificación apropiada. Las muestras destinadas a la determinación de la humedad natural se deben guardar en recipientes sellados, para evitar pérdidas de la misma. El transporte de las muestras del campo al laboratorio se debe realizar de acuerdo con las normas INV E-103 e INV E-113.

Los procedimientos usados con mayor frecuencia para el muestreo en el sitio, la identificación y los ensayos son los siguientes:

2.2.1 Calicatas, apiques y trincheras

Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener. Es el método más barato de exploración superficial. Los pozos se pueden excavar manualmente empleando mano de obra local, pero las pequeñas excavadoras mecánicas en un tractor son, si están disponibles localmente, económicas y rápidas.

Ventaja:

- Extracción de muestras alteradas e inalteradas
- Visualización directa de la estratigrafía

Desventaja:

- Profundidad limitada
- Paredes inestables ante la presencia de agua.



Figura26. Calicatas y trincheras, Universidad Nacional de Ingeniería Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado.



Figura 27. Apiques, Universidad del Cauca, Mec. Suelos I (Geo tecnología), Prof. Lucio Gerardo Velasco

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.2 Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada (norma INV E-105)

Esta norma presenta un procedimiento para el uso de un tubo metálico de pared delgada para la obtención de muestras relativamente inalteradas de suelos, apropiadas para realizar sobre ellas pruebas de laboratorio destinadas a establecer las propiedades empleadas en los estudios y diseños de ingeniería, tales como resistencia, compresibilidad, permeabilidad y densidad. Los tubos de pared delgada usados en tomamuestras de tipo pistón, tapón o rotatorio.

El método descrito en esta norma se limita a suelos que puedan ser penetrados por el tubo de pared delgada. No se recomienda para el muestreo de suelos que contengan grava, partículas cementadas de gran tamaño o suelos muy duros. Se obtiene una muestra relativamente inalterada al presionar un tubo de pared delgada dentro del suelo in-situ en el fondo de una perforación, removiendo posteriormente el tubo lleno de suelo, y sellando las superficies del suelo para prevenir movimientos de la muestra y cambios en su humedad.

Los tubos de pared delgada deben ser manufacturados con las dimensiones que se muestran en la Figura 28. Deben tener un diámetro exterior de 50.8 a 127.0 mm (2 a 5") y ser de un metal lo suficientemente resistente para su uso en los suelos y formaciones por muestrear. Los tubos deben estar limpios y libres de cualquier irregularidad en su superficie, incluyendo protuberancias en las soldaduras. Se pueden usar otros diámetros, pero las dimensiones del tubo deben ser proporcionales al diseño del tubo presentado en esta norma.

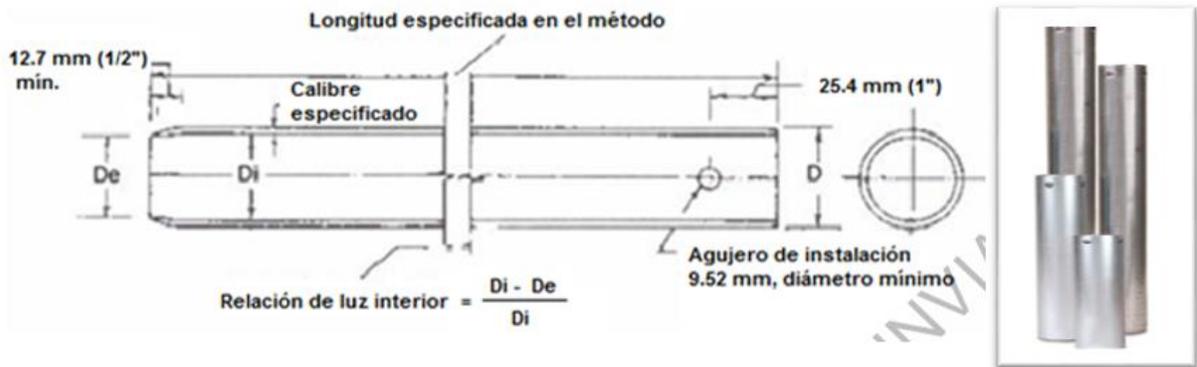


Figura 28. Tubo de pared delgada para muestras. "Obtención de muestras suelo mediante tubos de pared delgada", norma INV E-105-13 [5], pág. 105-4.

Los tres diámetros recomendados en la Tabla 1 se presentan con fines de normalización, y no intentan indicar que los tubos muestreadores de diámetros intermedios o mayores no sean aceptables. Las longitudes de tubos que se muestran, son ilustrativas. Las longitudes apropiadas se deberán determinar según las condiciones del terreno.

Diámetro exterior (D):			
mm	50.8	76.2	127
pulgadas	2	3	5
Espesor de la pared:			
Bwg	18	16	11
mm	1.24	1.65	3.05
pulgadas	0.049	0.065	0.120
Longitud del tubo			
m	0.91	0.91	1.41
pulgadas	36	36	54
Relación de luz interior, %	< 1	< 1	< 1

Tabla 1. Tubos de acero de pared delgada de tamaños apropiados para muestreo, "Obtención de muestras suelo mediante tubos de pared delgada", norma INV E-105-13 [5], pág. 105-4.

Procedimiento

- Se avanza la perforación hasta la profundidad de muestreo. Se retira el material suelto que esté dentro del revestimiento o de la tubería de vástago hueco, tan cuidadosamente como sea posible, para no perturbar el material que va a ser muestreado. Si se encuentran aguas freáticas, se debe mantener el líquido en el orificio al mismo nivel o a un nivel superior durante la operación de perforación y muestreo.
- No se permite el uso de brocas de descarga por el fondo. Se pueden usar brocas de descarga lateral con cautela. No se permite la inyección de agua a presión a través de un muestreador de tubo abierto para limpiar el orificio hasta la profundidad del muestreo.
- Se consiguen brocas de rodillos en configuraciones de inyección descendente o inyección difusa.
- No se aceptan brocas de inyección descendente. Las configuraciones de inyección difusa son, por lo general, aceptables.
- Se coloca el tubo de muestreo de manera que su extremo descansa en el fondo del orificio. Se registra la profundidad hasta el fondo del tubo muestreador, redondeada a 0.03 m (0.1 pie).
- El tubo de muestreo se debe mantener en posición vertical durante su descenso, previniendo así que su borde cortante raspe la pared del orificio.
- Se inserta el tomamuestras mediante un movimiento continuo y relativamente rápido, sin rotación, y se registra la longitud de avance con aproximación a 25 mm (1").
- Se fija la longitud de avance dependiendo de la resistencia y de las condiciones del terreno, pero la longitud nunca debe pasar de 5 a 10 diámetros del tubo en arenas o de 10 a 15 diámetros del tubo en arcillas. En ningún caso, la longitud penetrada puede ser mayor que la longitud del tubo muestreador menos un margen para la cabeza del muestreador y un mínimo de 76.2 mm (3") para cortes y desperdicios.
- Cuando el suelo es demasiado duro para usar el muestreador de empuje, se puede usar un martillo para hincarlo, o emplear la norma INV E-109. Si se usan métodos de hincado por golpes, se deberá anotar el peso y la altura del martillo y la profundidad de penetración

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

alcanzada. Además, se debe marcar el tubo, de manera bien visible, con una etiqueta que diga: “muestreador hincado a golpes”.

- Se retira el muestreador tan cuidadosamente como sea posible, con el fin de minimizar la alteración de la muestra. El tubo se puede rotar lentamente para separar la muestra del fondo y/o aliviar la presión o la succión del agua, así como para mejorar la recuperación de la muestra. Donde haya suelos blandos, el retardo en la extracción del tubo muestreador (generalmente de 5 a 30 minutos), puede mejorar la recuperación de la muestra.

2.2.3 Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con el tubo partido (norma INV E-111)

Este método describe el procedimiento conocido como Ensayo Normal de Penetración (Standard Penetration Test – SPT), el cual consiste en conducir un muestreador de tubo partido dentro del suelo para obtener muestras alteradas representativas con fines de identificación, y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador.

La perforación por percusión es uno de los procedimientos más antiguos para avanzar perforaciones profundas en la mayoría de suelos, rocas, y es notablemente superior a otros procedimientos para penetrar depósitos de grava gruesa, formaciones que contienen grandes cantos y rocas muy fisuradas o con cavernas. Es relativamente lenta en arcillas y en lutitas pegajosas, y es prácticamente imposible de usar en arena fina suelta. La utilización exclusiva del procedimiento de percusión no es conveniente como método general de exploración, por las dificultades para detectar la presencia de estratos delgados y pequeños cambios en las características del suelo; además, los barrenos pueden alterar el suelo objeto del muestreo. La utilización de pequeñas cargas explosivas para romper o aflojar obstrucciones ocasionales o formaciones duras puede considerarse como una variante de este procedimiento.

Las muestras obtenidas por este método son alteradas y sirven para realizar ensayos de contenido de humedad e identificación del suelo en laboratorio. No se deben usar para definir propiedades geomecánicas del suelo mediante ensayos avanzados de laboratorio, pues el proceso de introducción del muestreador altera el suelo y modifica sus propiedades ingenieriles. Para tal efecto, es mejor emplear en suelos blandos las muestras extraídas mediante el tubo de pared delgada (Norma INV E-105) que son mucho menos remoldeadas. En suelos duros, es preferible extraer núcleos que realizar ensayos de SPT, a menos que se trate de un suelo cementado, el cual se podría deshacer por acción del agua durante la extracción.

Se permite el empleo de cualquier equipo de perforación que realice simultáneamente con el muestreo un orificio adecuado antes de la inserción del tomamuestras y que no altere el suelo antes de la penetración del tubo muestreador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

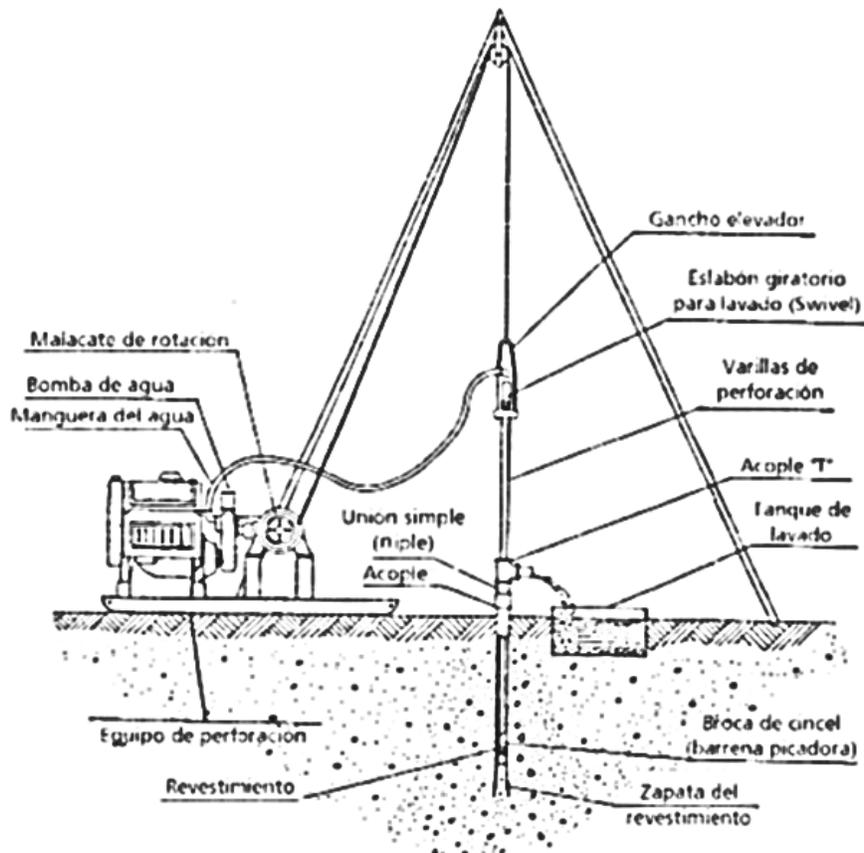


Figura 29. Equipo SPT, Universidad del Cauca, Mec. Suelos I (Geo tecnología), Prof. Lucio Gerardo Velasco

La perforación debe avanzar por incrementos, de manera que permita el muestreo intermitente o continuo. Generalmente, los intervalos y profundidades de los ensayos se definen con anticipación. El intervalo típico es de 1.5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con toma de muestra adicional en cada cambio de estrato. La profundidad de la perforación de debe anotar con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie).

Se acepta cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable antes de insertar el muestreador y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados. Para escoger el método de perforación es importante analizar previamente las condiciones sub-superficiales esperadas.

Cuando se alcanza la profundidad deseada para el muestreo, se limpia el fondo de la perforación retirando los residuos o detritos de la misma y se registra la profundidad de limpieza con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie). Para efectuar el ensayo se sigue el siguiente procedimiento:

- Se conecta el tomamuestras de tubo partido a la tubería de perforación y se baja suavemente dentro del hueco. No se debe permitir que el tubo muestreador caiga dentro del suelo que va a ser ensayado.
- Se coloca el martillo en posición y se instala el yunque en la parte superior de la tubería de muestreo. Esto se puede hacer antes de bajar la tubería y el tomamuestras.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se dejan descansar suavemente el muestreador, la tubería, el yunque y el peso de hincas sobre el fondo de la perforación. Se anota la profundidad de inicio con una aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie). Cuando los residuos encontrados en el fondo de la perforación son excesivos, ésta se debe volver a limpiar previo retiro del tomamuestras y de la tubería.
- Se marcan los tubos de perforación en tres incrementos sucesivos de 0.15 m (6"), de manera que se pueda observar fácilmente el avance del muestreador bajo el impacto del martillo para cada incremento.
- Se hincan el tomamuestras a golpes del martillo de 623 N (140 lbf) y se cuenta el número de golpes aplicados en cada incremento de 0.15 m (6"), hasta que se presente una de las siguientes condiciones:
- Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0.15 m (6").
- Que se haya aplicado un total de 100 golpes.
- Que no se observe avance del tomamuestras durante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
- Que el tubo muestreador avance los tres incrementos completos [0.45 m (18")], sin que se haya presentado ninguna de las situaciones descritas anteriormente.
- Si el muestreador se hunde bajo el peso del martillo, el peso de la tubería o de ambos, se registra la longitud recorrida con aproximación de 0.05 m (o 0.1 pie), y se continúa hincando el muestreador a través del tramo que queda de ese intervalo. Si se hunde el intervalo completo, se detiene la perforación, se retiran el tomamuestras y la tubería de muestreo y se avanza la perforación a través del suelo muy blando o suelto hasta la siguiente profundidad de muestreo.

2.2.4 Exploración y muestreo de suelos mediante barrenas (norma INV E-112)

Este método se refiere al empleo de barrenos distintos al de vástago hueco, para la investigación de suelos y muestreo a poca profundidad, donde se puedan utilizar muestras alteradas. El procedimiento es útil para la determinación del nivel freático.

La perforación mediante barrenas representa, a menudo, el método más simple de exploración y muestreo del suelo. Mediante su ejecución, se obtienen muestras alteradas del terreno; además, son de utilidad para determinar la posición del nivel freático y para detectar los cambios de estrato en el perfil; así como para el avance de perforaciones para la ejecución de ensayos de penetración normal y muestreo con tubo partido (Método de ensayo INV E-111) y para el muestreo de suelos con el tubo de pared delgada (norma INV E-105). El equipo requerido es simple y de fácil adquisición. Sin embargo, la profundidad de perforación con barrenas está limitada por las condiciones del agua subterránea y por las características del suelo y del equipo utilizado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

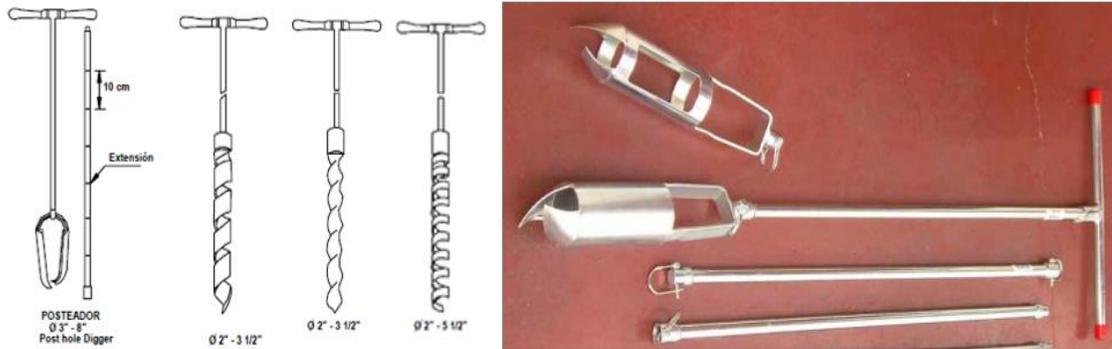


Figura 30. Barrenas, Universidad Nacional de Ingeniería Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado.



Figura 31. Muestreo, Universidad del Cauca, Mec. Suelos I (Geo tecnología), Prof. Lucio Gerardo Velasco.

2.2.5 Perforaciones con broca de diamante para investigaciones del sitio (norma INV E-108)

Esta norma se refiere al equipo y al procedimiento empleados para realizar perforaciones con brocas de diamante, con el fin de obtener núcleos de roca y de algunos suelos que no pueden ser muestreados mediante los métodos usuales por ser demasiado duros.

El procedimiento de perforación por rotación es el de mayor aceptación para perforaciones de variada finalidad en roca y materiales duros, y en una extensa gama de profundidades y diámetros. Permite obtener muestras continuas, y la velocidad de avance es mayor que la obtenida con cualquier otro método. Sin embargo, su empleo no es aconsejable o se vuelve lento en depósitos que contengan gravas de gran tamaño, fragmentos de roca y cantos en matriz de mala cementación; o en rocas muy fisuradas o cavernosas.

Se deben usar procedimientos de perforación por rotación para toma de núcleos, cuando las formaciones encontradas sean demasiado duras para utilizar métodos normales de muestreo de suelos. Una penetración igual o menor de 25.4 mm (1") en 50 golpes en el ensayo de penetración normal (norma INV E-111), (notas 1 y 2), indica que los métodos normales de muestreo de suelos no son aplicables.

Cuando se requiere una muestra de suelo para ensayo e identificación de un material con una resistencia a la penetración estándar (N) entre 50 y 100 golpes por pulgada, es necesario realizar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

una perforación por rotación para la toma de núcleos. En materiales como arcillas muy rígidas o lutitas meteorizadas se pueden obtener muestras usando tubos tomamuestras como el muestreador de tubo doble, tipo Denison. Es posible incrementar el muestreo mediante el uso de aire como medio de perforación y el empleo de brocas con dientes de acero endurecido.

Equipo:

- Máquina de perforación rotatoria – Capaz de proporcionar un movimiento rotatorio, con alimentación y retracción accionados mecánica o hidráulicamente.
- Bomba de agua o de lodos para perforación – O compresor de aire, que pueda producir un volumen y una presión de fluido de perforación suficiente para el tamaño (diámetro y profundidad) del orificio que se va a perforar.
- Tubos toma muestras como sean requeridos
- Brocas saca núcleos – Son de diversos tipos: impregnadas con partículas de diamante, con inserción de piezas de carburo de tungsteno, o de otros materiales duros similares, apropiados para enfrentar la dureza de los materiales que se perforan. Este refuerzo está distribuido en patrones con diseños en X, en M o cualquier otro que cumpla los requerimientos.

2.3 NORMAS DE REFERENCIA PARA EJECUTAR ENSAYOS DE MUESTRAS DE SUELOS OBTENIDAS MEDIANTE TUBOS SHELBY.

Los diferentes laboratorios para la correcta ejecución de los ensayos, siguen al pie de la letra la norma asociada al tipo de prueba, sea esta internacional o nacional.

A continuación se referencia algunas de estas normas y los numerales en los que se enuncia la utilización de un equipo extractor y extrusor de muestras de suelo.

2.3.1 Consolidación unidimensional de los suelos I.N.V. E – 151 – 13

En estas pruebas de laboratorio, se toma una muestra de suelo, se confina lateralmente y se carga en dirección axial con incrementos de esfuerzo total. Cada incremento de carga se mantiene constante hasta cuando el exceso de presión de poros se haya disipado. Esta situación se identifica por medio de la interpretación del comportamiento tiempo-deformación bajo esfuerzo total constante y se basa en la premisa de que el suelo está 100 % saturado. Durante el ensayo se mide el cambio de altura de la muestra y se determina la relación entre el esfuerzo axial efectivo y la relación de vacíos o la deformación unitaria. Cuando se toman las lecturas de tiempo-deformación durante la aplicación de un incremento de carga, se puede calcular la velocidad de consolidación con el coeficiente de consolidación.

Los datos del ensayo de consolidación se emplean para estimar la magnitud y velocidad de los asentamientos diferenciales y totales de una estructura o de un terraplén. Estos datos son esenciales para diseñar las estructuras civiles y evaluar su comportamiento.

Se deberán obtener y emplear muestras relativamente inalteradas para el ensayo de consolidación a causa de que la utilidad de los resultados del mismo disminuye grandemente con la alteración de la muestra. La norma INV E –105, cubren procedimientos y equipo que se deben usar para obtener muestras satisfactorias para los ensayos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3.2 Compresión inconfínada en muestras de suelos I.N.V. E – 152 – 13.

El objetivo básico del ensayo de compresión Inconfínada es obtener, de manera rápida, un valor de la resistencia a la compresión de aquellos suelos que tienen la cohesión suficiente para ser ensayados en condición Inconfínada.

Resistencia a la compresión Inconfínada (q_u) – Mínimo esfuerzo compresivo al cual falla una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica, en condiciones normalizadas. En este método, la resistencia a la compresión Inconfínada se toma como la máxima carga por unidad de área alcanzada durante el ensayo, o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15 % de deformación axial, lo que ocurra primero, durante la ejecución del ensayo.

El extractor de muestra es capaz de extraer el núcleo de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme y con mínima alteración, en la misma dirección en que la muestra entró al tubo. Las condiciones en el momento de la extracción de la muestra pueden indicar la dirección de su extracción, pero la principal preocupación es mantener en un mínimo su grado de alteración.

Las muestras de tubo se pueden ensayar sin labrar, excepto sus extremos, si las condiciones de la muestra justifican este procedimiento. Las muestras se deben manejar cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal o pérdidas en el contenido de agua. Si el aparato de extracción puede causar compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria de la muestra, el tubo de muestreo se debe dividir a lo largo o cortar en secciones pequeñas para facilitar la remoción del espécimen con una alteración mínima.

2.3.3 Ensayo de compresión triaxial sobre suelos cohesivos INV E – 153 – 13

La presente norma se refiere a la ejecución de dos ensayos de compresión triaxial sobre muestras de suelos cohesivos: (1) prueba no consolidada no drenada, UU y (2) prueba consolidada no drenada, CU.

Ensayo triaxial no consolidado no drenado, UU: Se describe el procedimiento para determinar la resistencia y el comportamiento esfuerzo-deformación de un espécimen cilíndrico, inalterado o remoldeado, de suelo cohesivo, sometido a una presión de confinamiento dentro de una cámara triaxial, y sin posibilidad de drenaje durante la prueba. El espécimen se falla bajo compresión, sin drenaje y a una velocidad constante de deformación unitaria axial (deformación unitaria controlada).

Mediante este ensayo se determinan las propiedades de resistencia no drenada y las relaciones esfuerzo-deformación de los suelos. Los resultados se entregan en términos de esfuerzos totales aplicados al espécimen, es decir, en el cálculo de esfuerzos no se tiene en cuenta la presión de poros.

Ensayo triaxial consolidado no drenado, CU: Se describe el procedimiento para determinar la resistencia y la relación esfuerzo - deformación unitaria de un espécimen cilíndrico de un suelo cohesivo saturado, inalterado o reconstituido. Las probetas se consolidan isotrópicamente y después se fallan bajo compresión, sin drenaje, a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este método proporciona los datos correspondientes a carga axial, deformación axial y presión del agua de poros a partir de los cuales se calculan los esfuerzos efectivos y totales y la compresión axial.

El extractor de muestras (para los ensayos UU y CU) debe ser capaz de extraer la probeta de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme, en la misma dirección en la que fue introducida la muestra dentro del tubo y con una mínima alteración posible. Si el espécimen no es extraído verticalmente, se deben evitar esfuerzos de flexión sobre la probeta debido a la gravedad.

2.3.4 Determinación de la resistencia a la compresión triaxial no consolidada no drenada en suelos cohesivos norma técnica colombiana NTC 2041.

El extractor de muestra debe ser capaz de extraer o forzar hacia fuera del tubo de muestreo el núcleo de suelo, en la misma dirección de desplazamiento en que entro el tubo y con la menor alteración posible a esta. Si el núcleo no es extraído verticalmente, debe tratarse de evitar esfuerzos de flexión sobre el núcleo debido a la gravedad. Las condiciones existentes en el momento de extraer la muestra pueden dictar la dirección de extracción, pero lo más importante en mantener un grado de alteración mínimo. [7]

Las muestras se deben manipular con extremo cuidado para minimizar su alteración, cambios de sección transversal, o variación en el contenido de humedad. Si ocurre compresión o algún tipo de alteración apreciable debido el dispositivo de extracción, se divide el tubo de pared delgada en sentido longitudinal o se corta en secciones adecuadas para facilitar la extracción de la muestra con la menor alteración posible. [7]

2.3.5 Ensayo de corte directo en condición consolidado drenado (CD) I.N.V. E - 154 - 13

Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo. La prueba se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca de un plano de corte determinado por la configuración del aparato de ensayo.

Generalmente, se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento. Los resultados de una serie de ensayos se combinan para determinar propiedades de resistencia del suelo, como las envolventes de resistencia de Mohr.

El ensayo de corte directo es adecuado para la determinación, relativamente rápida, de las propiedades de resistencia de materiales consolidados y drenados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros se disipe con mayor rapidez que en otros ensayos drenados.

Los especímenes se deben preparar a partir de muestras grandes inalteradas o de muestras obtenidas de acuerdo con la norma INV E-105 u otros procedimientos de muestreo inalterado con tubos. Las muestras inalteradas se deben preservar y transportar como se define para las muestras de los grupos C o D en la norma INV E-103. Los especímenes se deben manejar con cuidado para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida de humedad. Si hay lugar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

a compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria a causa del uso del extractor, el tubo de muestreo se deberá partir longitudinalmente o cortar en secciones.

2.3.6 Medida del potencial de colapso de un suelo parcialmente saturado INV E - 157 - 13

El método de ensayo consiste en colocar un espécimen de suelo con el contenido natural de humedad en un consolidómetro, aplicando una presión vertical predeterminada e inundándolo con un fluido para inducirle el potencial de colapso. El fluido debe ser agua destilada y desionizada cuando se esté evaluando el índice de colapso, i_c . El fluido puede simular el agua de los poros del espécimen u otra condición de campo tal como sea necesario, cuando se esté evaluando el potencial de colapso

El colapso es la disminución de altura que experimenta un suelo confinado lateralmente y sometido a un esfuerzo vertical constante, en el momento de ser inundado. Un suelo con susceptibilidad al colapso puede experimentar deformaciones verticales pequeñas bajo el efecto de esfuerzos verticales importantes mientras su contenido en humedad sea bajo; sin embargo, puede sufrir asentamientos (que pueden ser de gran magnitud) luego de ser inundado, sin que el esfuerzo vertical se incremente. No es necesario que los esfuerzos verticales sean de gran magnitud para que un suelo pueda colapsar.

Se deben usar muestras relativamente inalteradas para determinar el potencial de colapso, i_c . Puesto que los suelos susceptibles al colapso son sensibles a los métodos de muestreo usando fluidos, las muestras deben ser tomadas usando métodos secos. Métodos de muestreo en seco, incluyendo barrenos de doble tubo y tallado a mano de bloques, resultan satisfactorios. Los especímenes se deben preparar de acuerdo con las instrucciones de la norma INV E-151.

2.4 NORMAS DE REFERENCIA PARA EJECUTAR ENSAYOS DE SUELOS, UTILIZANDO ENERGIA DE COMPACTACIÓN EN CILINDROS.

2.4.1 Relaciones humedad - peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación) INV E - 141 - 13

Los siguientes métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro, con un martillo de 24.5 N (5.5 lbf) que cae libremente desde una altura de 305 mm (12"), produciendo una energía de compactación aproximada de 600 kN-m/m³ (12 400 lbf-pie/pie³).

Esta norma presenta tres alternativas para la ejecución del ensayo (Tabla 2). El método por utilizar deberá ser el indicado en la especificación para el material por ensayar. Si la especificación no indica un método, la elección se deberá realizar en función de la granulometría del material.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

MÉTODO	A	B	C
DIÁMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	3	3	3
GOLPES/CAPA	25	25	56
USO	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) (Ver numeral 1.4)	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8") (Ver numeral 1.4)	Si 30% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4") (Ver numeral 1.4)
OTRO USO	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	

Tabla 2. Métodos para realizar el ensayo normal de compactación.

Se coloca en tres capas una muestra de suelo, con una humedad de moldeo seleccionada, dentro de un molde, sometiendo cada capa a 25 o 56 golpes de un martillo de 24.5 N (5.5 lbf) que cae desde una altura de 305 mm (12"), produciendo una energía de compactación aproximada de 600 kN-m/m³ (12 400 lbf-pie/pie³). Se determina el peso unitario seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de humedades de moldeo, para establecer una curva que relacione las humedades con los respectivos pesos unitarios secos obtenidos. Esta curva se llama curva de compactación y su vértice determina la humedad óptima y el peso unitario seco máximo, para el ensayo normal de compactación.

Moldes: Los moldes deberán ser cilíndricos, de paredes sólidas, fabricados con metal, y con las dimensiones y capacidades mostradas más adelante. Deberán tener collares ajustables de aproximadamente 60 mm (2.373") de altura, que permitan la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua, con la altura y el volumen deseados. El conjunto de molde y collar deberá estar construido de tal manera que pueda encajar firmemente en una placa de base hecha del mismo material.

Un molde de 101.6 mm (4") - Con una capacidad de 943 ± 14 cm³ (1/30 ± 0.0005 pie³), con un diámetro interior de 101.6 ± 0.4 mm (4.000 ± 0.016") y una altura de 116.4 ± 0.5 mm (4.584 ± 0.018") se muestra a continuación:

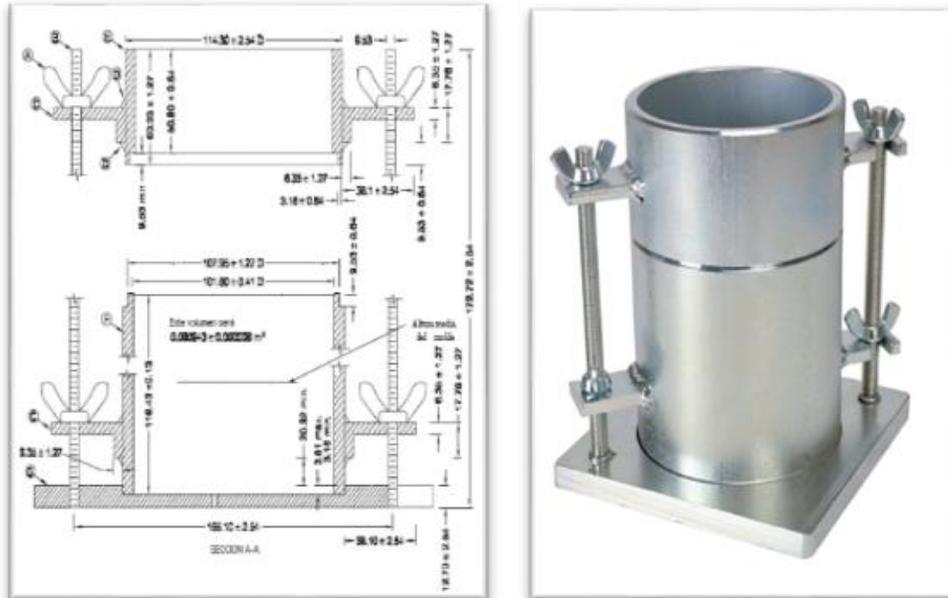


Figura 32. Molde cilíndrico de 101.6 mm (4.0") para ensayos de suelos, RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN) INV E-141-13. [2]. Pág. E 141-10

Un molde de 152.4 mm (6") – Con una capacidad de $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$ (equivalente a $1/13.33 \pm 0.0009 \text{ pie}^3$), con un diámetro interior de $152.4 \pm 0.7 \text{ mm}$ ($6 \pm 0.026 \text{''}$) y una altura de $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$ ($4.584 \pm 0.018 \text{''}$) se presenta a continuación:

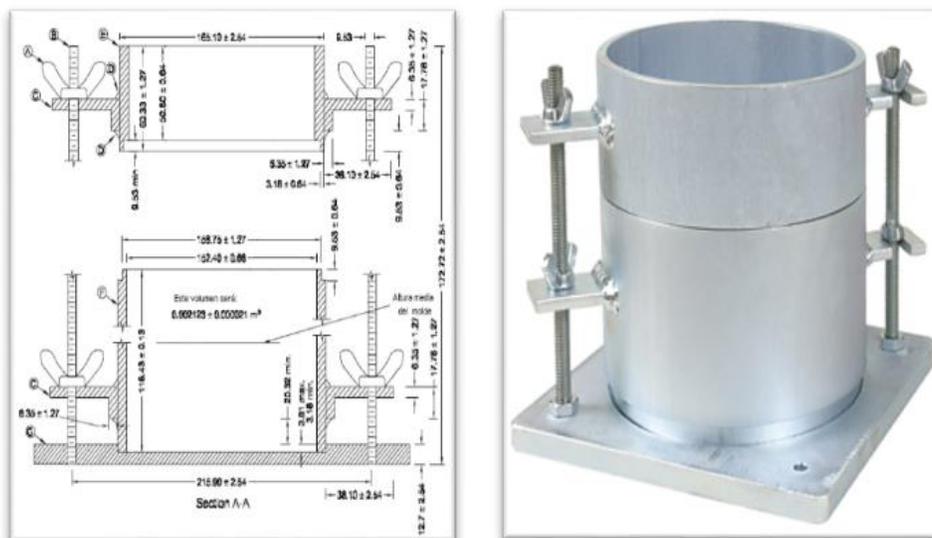


Figura 33. Molde cilíndrico de 152.4 mm (6.0") para ensayos de suelos, RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN) INV E-142-13. [3], pág. E 142-9

El suelo se debe compactar en tres capas más o menos iguales. Antes de la compactación, se coloca aproximadamente un tercio de la sub-muestra en estado suelto dentro del molde y se reparte para que dé lugar a una capa uniforme. En seguida, se oprime suavemente su superficie hasta que el suelo no presente un estado esponjoso o suelto, usando el martillo de operación manual o un

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

cilindro de unos 50 mm (2") de diámetro. Tras la compactación de las dos primeras capas, cualquier porción de suelo que no haya quedado compactada debe ser escarificada con un cuchillo u otro elemento adecuado. El suelo escarificado se deberá descartar.

La cantidad total de suelo usada deberá ser tal, que la tercera capa compactada sobrepase el borde del molde, quedando dentro del collar de extensión, pero en una longitud que no exceda de 6 mm (¼"). Si se excede este límite, se deberá descartar el punto de compactación. Adicionalmente, el punto de compactación se deberá descartar cuando el último golpe del martillo para la tercera capa tiene como resultado que el fondo del martillo llega más abajo del borde superior del molde de compactación; a menos que el suelo sea suficientemente manejable, de manera que esta superficie pueda ser forzada más arriba del borde del molde de compactación durante el enrasado.

La probeta compactada se enrasa cuidadosamente con el borde superior del molde, empleando la regla metálica dispuesta para tal fin. Los pequeños orificios que queden en la superficie de la probeta se deberán rellenar con suelo no usado o desbastado de la muestra, presionándolo con los dedos y pasando nuevamente la regla a ras con el borde del molde.

Se determina y anota la masa del molde con la probeta compactada, con aproximación de 1 g. A continuación, se extrae del molde la probeta compactada. Por medio gato con marco u otro dispositivo adecuado para extraer las muestras compactadas de los moldes. Se obtiene una muestra de ella para determinar la humedad, sea tomando el total de la muestra (método preferido) o una porción de ella.

2.4.2 Relaciones humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) INV E – 142 – 13

Los siguientes métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro, con un martillo de 44.48 N (10 lbf) que cae libremente desde una altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN–m/m³ (56 000 lbf–pie/pie³).

Esta norma presenta tres alternativas para la ejecución del ensayo (Tabla 3). El método por utilizar deberá ser el indicado en la especificación para el material por ensayar. Si la especificación no indica un método, la elección se deberá realizar en función de la granulometría del material.

MÉTODO	A	B	C
DIÁMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	5	5	5
GOLPES/CAPA	25	25	56

USO	Si 25 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25 % de la masa, se puede usar el Método A, pero se requerirá la corrección por sobretamaños (Ver numeral 1.4) y, en este caso, el uso del Método A no reportará ninguna ventaja	Si 25 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8"). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25 % de la masa, se puede usar el Método B, pero se requerirá la corrección por sobretamaños (Ver numeral 1.4). En este caso, la única ventaja de usar el Método B en lugar del Método C, es que se necesita menos cantidad de muestra y el molde pequeño es más fácil de usar.	Si 30 % o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4")
OTRO USO	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se deben usar los Métodos B o C	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	

Tabla 3. Métodos para realizar el ensayo modificado de compactación

Moldes: Los moldes deberán ser cilíndricos, de paredes sólidas, fabricados con metal, y con las dimensiones y capacidades mostradas más adelante. Deberán tener collares ajustables de aproximadamente 60 mm (2.373") de altura, que permitan la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua, con la altura y el volumen deseados. El conjunto de molde y collar deberá estar construido de tal manera que pueda encajar firmemente en una placa de base hecha del mismo material.

Un molde de 101.6 mm (4") - Con una capacidad de $943 \pm 14 \text{ cm}^3$ ($1/30 \pm 0.0005 \text{ pie}^3$), con un diámetro interior de $101.6 \pm 0.4 \text{ mm}$ ($4.000 \pm 0.016''$) y una altura de $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$ ($4.584 \pm 0.018''$) se muestra a continuación:

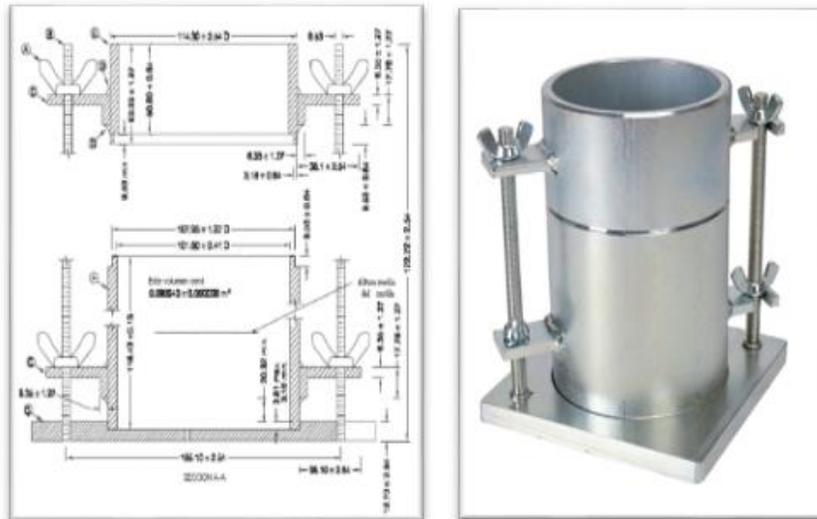


Figura 34. Molde cilíndrico de 101.6 mm (4.0") para ensayos de suelos, RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN) INV E-141-13. [2]. Pág. E 141-10

Un molde de 152.4 mm (6") – Con una capacidad de $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$ (equivalente a $1/13.33 \pm 0.0009 \text{ pie}^3$), con un diámetro interior de $152.4 \pm 0.7 \text{ mm}$ ($6 \pm 0.026''$) y una altura de $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$ ($4.584 \pm 0.018''$) se muestra a continuación:

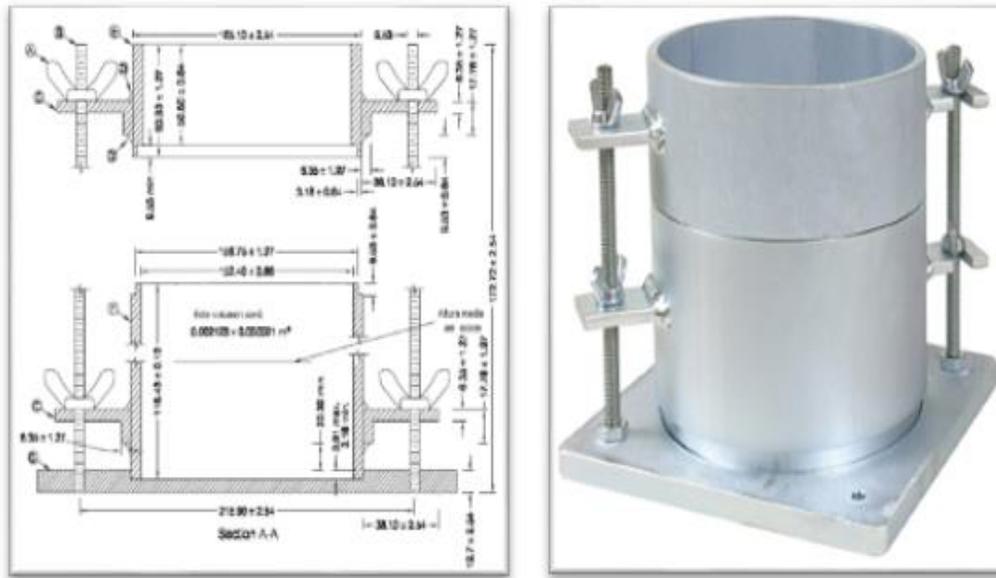


Figura 35. Molde cilíndrico de 152.4 mm (6.0") para ensayos de suelos, RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN) INV E-142-13. [3], pág. E 142-9

El suelo se debe compactar en tres capas más o menos iguales. Antes de la compactación, se coloca aproximadamente un tercio de la sub-muestra en estado suelto dentro del molde y se reparte para que dé lugar a una capa uniforme. En seguida, se oprime suavemente su superficie hasta que el suelo no presente un estado esponjoso o suelto, usando el martillo de operación manual o un cilindro de unos 50 mm (2") de diámetro. Tras la compactación de las dos primeras capas, cualquier porción de suelo que no haya quedado compactada debe ser escarificada con un cuchillo u otro elemento adecuado. El suelo escarificado se deberá descartar. La cantidad total de suelo usada deberá ser tal, que la tercera capa compactada sobrepase el borde del molde, quedando dentro del collar de extensión, pero en una longitud que no exceda de 6 mm (¼"). Si se excede este límite, se deberá descartar el punto de compactación. Adicionalmente, el punto de compactación se deberá descartar cuando el último golpe del martillo para la tercera capa tiene como resultado que el fondo del martillo llega más abajo del borde superior del molde de compactación; a menos que el suelo sea suficientemente manejable, de manera que esta superficie pueda ser forzada más arriba del borde del molde de compactación durante el enrasado.

La probeta compactada se enrasa cuidadosamente con el borde superior del molde, empleando la regla metálica dispuesta para tal fin. Los pequeños orificios que queden en la superficie de la probeta se deberán rellenar con suelo no usado o desbastado de la muestra, presionándolo con los dedos y pasando nuevamente la regla a ras con el borde del molde.

Se determina y anota la masa del molde con la probeta compactada, con aproximación de 1 g. Luego se extrae del molde la probeta compactada. Por medio gato con marco u otro dispositivo adecuado para extraer las muestras compactadas de los moldes. Se obtiene una muestra de ella para determinar la humedad, sea tomando el total de la muestra (método preferido) o una porción de ella.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

perforaciones. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde. Las perforaciones de la base deberán ser por lo menos 28, uniformemente distribuidas dentro del círculo que va a ser ocupado por el molde, de 1.59 mm (1/16") de diámetro. Al ensamblar el molde con el disco espaciador en su interior, el molde deberá tener un volumen interno (sin considerar el collar de extensión), de $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$ ($0.075 \pm 0.0009 \text{ pies}^3$).

Si se desea obtener el CBR con el contenido óptimo de humedad y a un determinado porcentaje del peso unitario seco máximo, se preparan tres especímenes con el contenido óptimo de agua $\pm 0.5 \%$ y empleando el método de compactación especificado, pero aplicando un número diferente de golpes por capa a cada espécimen. Dicho número de golpes por capa deberá variar lo necesario para que los pesos unitarios secos resultantes presenten valores por encima y por debajo del valor deseado. Típicamente, si se desea obtener el CBR de un suelo al 95 % de compactación, resulta satisfactorio compactar especímenes con 56, 25 y 10 golpes por capa. La penetración se deberá realizar sobre todos ellos.

Se preparan especímenes, salvo que todos los especímenes usados para desarrollar la curva de compactación deberán ser penetrados. Además, se deberán desarrollar relaciones completas entre el contenido de agua y el peso unitario seco para 25 golpes y 10 golpes por capa y cada espécimen de prueba compactado deberá ser penetrado. Todas las compactaciones se deben realizar en moldes de CBR. En casos en los cuales el peso unitario especificado está en o cerca del 100 % del peso unitario seco máximo, puede ser necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor de 56 golpes por capa

Si el espécimen va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra representativa del material para la determinación de humedad, de acuerdo con la norma INV E-122. Si el espécimen no va a ser sometido a inmersión, se toma una muestra para el contenido de humedad, de acuerdo con las normas INV E-141 o INV E-142, si se desea el contenido promedio de humedad.

Terminada la compactación, se quita el collar de extensión y se enrasa el espécimen con la regla metálica dispuesta para ello. Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula. Se desmonta el molde de la placa de base y se determina la masa del molde con el espécimen compactado.

Penetración de la muestra: Se aplica una carga de 44 N (10 lbf) para que el pistón asiente. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y, seguidamente, se sitúan en cero los diales medidores: el del anillo dinamométrico (u otro dispositivo para medir la carga) y el de control de la penetración.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, de manera de producir una velocidad de penetración uniforme, de 1.27 mm (0.05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones del pistón dentro del suelo: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). Si la carga

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

máxima ocurre a una penetración menor de 12.70 mm (0.500"), se hará la anotación correspondiente.

Se desmonta el molde de la prensa y si el espécimen fue sometido previamente a inmersión, se toma una muestra para determinar su humedad, de los 25 mm (1") superiores, en la zona próxima a donde se hizo la penetración. Su masa deberá ser al menos de 100 g si el suelo ensayado es de grano fino y de 500 g si es granular.

Anexo a: procedimiento para el ensayo sobre muestras inalteradas.

En el caso de muestras inalteradas, se procede como sigue: Empleando un molde de filo cortante, de 152.4 mm (6") de diámetro, se sigue el procedimiento indicado en el numeral 3.3 de la norma INV E-104 para tomar la muestra inalterada para el ensayo, la cual se traslada luego al laboratorio. Cuando se vaya a efectuar el ensayo, se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y del disco espaciador, o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación, se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio.

La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria si se utiliza un molde de 116.43 mm de altura, en vez de los 177.8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración. A voluntad del responsable, la muestra puede ser ensayada por un extremo con la humedad natural, recién retirada la parafina en el laboratorio, y por el otro extremo luego de someterla a un período de inmersión.

2.5 SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El método de elementos finitos es un método computacional para análisis de resistencia y deformación de materiales. En este método, el sistema analizado se descompone en pequeños subsistemas cuyo modelado sea más sencillo, para luego ensamblar resultados parciales y obtener el comportamiento global.

Los pasos globales que se siguen en el método de elementos finitos se describen brevemente a continuación:

2.5.1 Discretización

Es el proceso de transformar el dominio geométrico continuo en una malla de elementos finitos. En este proceso se determina el tipo, la forma y el tamaño del elemento. Los elementos están unidos entre sí mediante un número finito de nodos ubicados en el contorno de los elementos.

El método de los finitos el continuo es dividido por puntos, líneas o superficies imaginarias, obteniendo así forma geométricas sencillas. En el caso lineal el dominio es dividido por puntos, en el caso bidimensional por líneas y en caso tridimensional por superficies. En 1-D los elementos finitos son segmentos de línea.



Figura 37. Elementos finitos lineales. Tomado de: métodos numéricos para diseño en ingeniería de la universidad politécnica salesiana, Ecuador.

En 2-D son figuras geométricas de cualquier número de lados, por facilidad se usan triángulos y cuadriláteros.

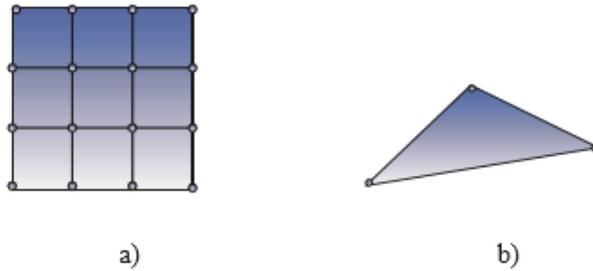


Figura 38. Elementos finitos bidimensionales, a) Cuadrilátero b) Triangular. Tomado de: métodos numéricos para diseño en ingeniería de la universidad politécnica salesiana, Ecuador.

En 3-D los elementos finitos so poliedros de cualquier número de caras, los más usados son los tetraedros, hexágonos, dependiendo del problema a analizar.

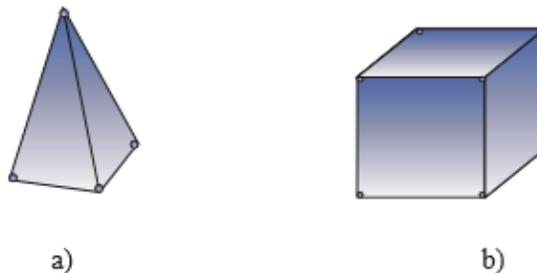


Figura 39. Elementos finitos tridimensionales, a) Tetraedro b) Hexaedro regular. Tomado de: métodos numéricos para diseño en ingeniería de la universidad politécnica salesiana, Ecuador.

Existen elementos que son incorrectos o son muy pobres por lo tanto no deben ser escogidos ya que proporcionan una solución incorrecta o simplemente no proporcionan solución.

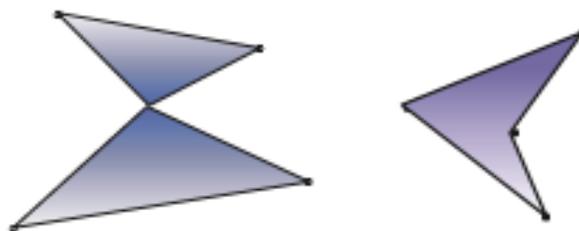


Figura 40. Elementos Incorrectos. Tomado de: métodos numéricos para diseño en ingeniería de la universidad politécnica salesiana, Ecuador.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

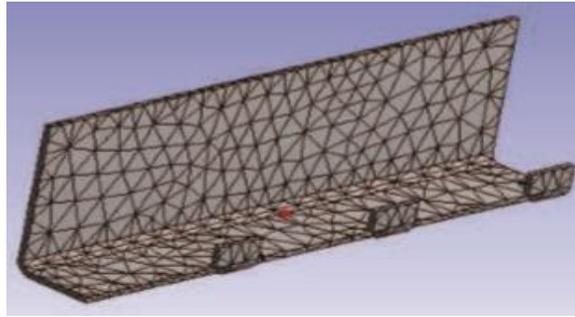


Figura 41. Mallado conectado. Tomado de: métodos numéricos para diseño en ingeniería de la universidad politécnica salesiana, Ecuador.

2.5.2 Determinación de las ecuaciones para cada elemento y ensamble

En esta etapa se aplica a cada elemento las ecuaciones que gobiernan el problema, de la misma manera se aplican las condiciones de frontera del problema a tratar. Para estos procesos se cuenta con varios métodos como: método de galerkin, de los mínimos cuadrados, de colocación, etc.

Por ejemplo, en este trabajo se realiza un análisis estático estructural, el cual determina los desplazamientos, esfuerzos, deformaciones y fuerzas en los componentes de una estructura, causados por cargas que no inducen inercia significativa en el sistema. Este tipo de análisis asume que la respuesta de la estructura a la carga es muy lenta respecto al tiempo y se desprecia cualquier comportamiento no-lineal del material. Las ecuaciones que se obtienen en este caso en particular se explican en detalle en el manual de teoría del ANSYS Mechanical (ANSYS, 2013), capítulo 2.

Luego de obtener los sistemas que nos proporcionan las ecuaciones de cada elemento, a continuación, se ensamblan en un solo sistema. El método de elementos finitos debe cumplir condiciones de continuidad en las fronteras entre los elementos. Con este proceso se logra obtener una matriz cuyo tamaño es igual al número de nodos de la malla por el número de grados de libertad.

2.5.3 Solución y postprocesado

Se soluciona el sistema matricial para calcular el valor de las variables y luego se grafican los resultados para analizar, por ejemplo, el comportamiento de una estructura ante cargas estáticas, deflexiones y factores de seguridad. Aunque la solución y el postprocesado se puede efectuar en programas diferentes, los softwares más actuales permiten realizar ambas tareas en la misma ventana.

2.6 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS

2.6.1 Sistemas de aplicación de carga

Los equipos encontrados en el mercado funcionan con dos sistemas diferentes de aplicación de carga para los extractores de muestras, los cuales son:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6.1.1 Sistemas de tornillos de potencia (tornillo sin fin)

Los tornillos de potencia, son aquellos destinados a la transmisión de potencia y movimiento, y que generalmente se utilizan para convertir un movimiento angular o de giro, en un movimiento de traslación o lineal, acompañado además de una transmisión de esfuerzo.

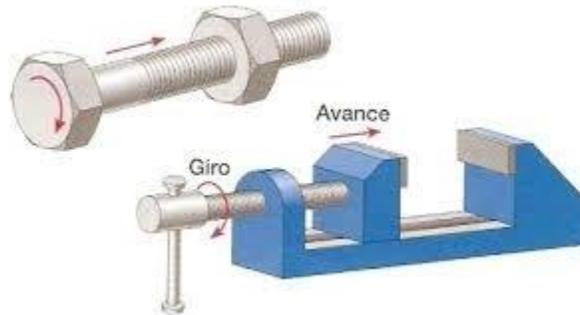


Figura 42. Tornillo de potencia, <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>

Los tornillos de potencia se usan en muchas aplicaciones, como tornillos de avance en máquinas herramientas, mordazas, gatos mecánicos para elevación de vehículos, prensas y otros dispositivos de elevación de cargas, máquinas universales de tracción y compresión, etc. En este sentido, es muy usual el empleo de mecanismos constituidos por tornillos de potencia para la elevación o traslado de cargas, debido a que permiten desarrollar grandes fuerzas a lo largo de su eje.

Este sistema de tornillo de potencia, es el más utilizado en los laboratorios de la ciudad de Medellín y gran parte de Colombia, ya que es un sistema muy simple, de fácil fabricación y bajo costo. Los extractores de muestras encontrados en el mercado, que utilizan el sistema de tornillos de potencia son diseñados solo para la extracción de muestras de suelos obtenidas mediante tubos shelby, son de operación manual, donde el giro del tornillo se realiza mediante una volante y se requiere de gran esfuerzo físico por parte de los técnicos de laboratorio.

2.6.1.2 Sistemas neumáticos-hidráulicos de aplicación de carga

Los equipos de extracción de muestras con sistema hidráulico, los podemos encontrar para extracción de tubos shelby o para cilindros de compactación, algunos son de operación manual y otros controlados por unidades hidráulicas compactas. El principio de funcionamiento del sistema es el de llenar un cilindro con un fluido con una presión determinada, existen dos tipos de fluidos para llenar el cilindro.

- **Sistema Neumático**

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos y se aplican en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc.

Las ventajas que presenta el uso de la neumática son el bajo coste de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación y el bajo par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja (típico 6 bar) lo que constituye un factor de seguridad. Otras características favorables son el riesgo nulo de explosión, su conversión fácil al movimiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

giratorio, así como al lineal, la posibilidad de transmitir energía a grandes distancias, una construcción y mantenimiento fáciles y la economía en las aplicaciones. Entre las desventajas figura la imposibilidad de obtener velocidades estables debido a la compresibilidad del aire, los altos costes de la energía neumática y las posibles fugas que reducen el rendimiento.

La neumática precisa de una estación de generación y preparación del aire comprimido formada por un compresor de aire, un depósito, un sistema de preparación del aire (filtro, lubricador y regulador de presión), una red de tuberías para llegar al utilizador y un conjunto de preparación del aire para cada dispositivo neumático individual. Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. El PLC (programmable logic controller) les permite programar la lógica de funcionamiento de un cilindro o de un conjunto de cilindros realizando una tarea específica.

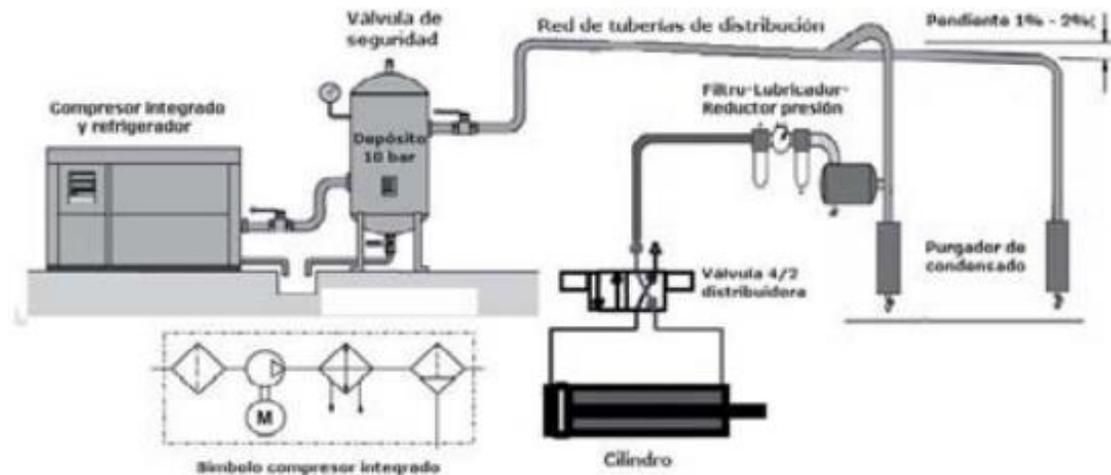


Figura 43. Preparación del aire, Creus A. (2011). *Neumática e hidráulica segunda edición*

- **Sistema Hidráulico**

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. En la figura 25 se representa el movimiento típico de un pistón dentro del cilindro gracias a la energía proporcionada por un sistema hidráulico formado por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización. Dentro de estos sistemas se encuentran los motores hidráulicos con velocidades que abarcan desde 0,5 rpm hasta 10.000 rpm y el par que proporcionan va desde 1 Nm (baja velocidad) hasta 20.000 Nm (alta velocidad). (Creus A. 2011).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

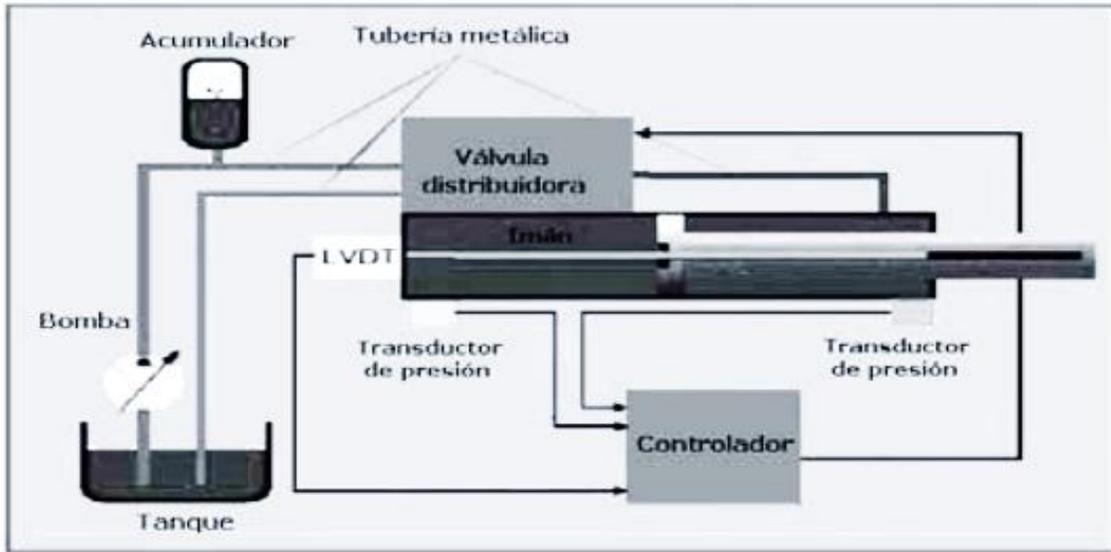


Figura 44. Circuito típico de un pistón dentro de un cilindro en un sistema hidráulico, Creus A. (2011).
Neumática e hidráulica segunda edición

Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación y transporte, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo. Sus aplicaciones en dispositivos fijos abarcan la fabricación y montaje de máquinas de todo tipo, líneas transfer, aparatos de elevación y transporte, prensas, máquinas de inyección y moldeo, máquinas de laminación, ascensores y montacargas.

Tienen las siguientes ventajas: Gran potencia transmitida con pequeños componentes, posicionamiento preciso, arranque con cargas pesadas, movimientos lineales independientes de la carga ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control, operación suave e inversa, buen control y regulación y disipación favorable de calor.

Y entre sus desventajas figuran: Polución del ambiente con riesgo de incendio y accidentes en el caso de fuga de aceite, sensibilidad a la suciedad, peligro presente debido a las excesivas presiones, dependencia de la temperatura por cambios en la viscosidad.

Análogamente a los sistemas neumáticos, los sistemas hidráulicos se complementan con los eléctricos y electrónicos mediante dispositivos tales como válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. Es fácil, en particular en sistemas complejos, acoplarles un PLC (programmable logic controller) que les permite programar la lógica de funcionamiento de varios cilindros.

En determinadas aplicaciones, tales como en movimientos de aproximación rápido y avance lento, típicos de las fresadoras y rectificadoras, en la sujeción de piezas utilizada en los cortes a alta velocidad sobre materiales duros y en la automatización de procesos de producción, se combinan los sistemas neumático, hidráulico y eléctrico. (Creus A. 2011).

- **Unidad de potencia hidráulica.**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los sistemas hidráulicos proporcionan pares y fuerzas elevados y un buen control del movimiento y esta es su principal ventaja frente a los sistemas neumáticos y eléctricos. Los fluidos hidráulicos son virtualmente incompresibles y gracias a las altas presiones con que trabajan (35 a 350 bares) permiten un control del caudal lo suficientemente preciso para el actuador. Sus desventajas son el coste elevado y la necesidad de acondicionar, contener y filtrar el fluido hidráulico a temperaturas seguras y en centrales hidráulicas o unidades de potencia (power pack). Las aplicaciones típicas residen en vehículos, elevadores, grúas hidráulicas, maquinas herramientas, simuladores de vuelo, accionamiento de timones en los aviones, etc.

En un sistema hidráulico, la bomba aporta la presión necesaria sobre el fluido hidráulico para que el circuito pueda proporcionar la potencia requerida por los equipos que alimenta, mientras que el cilindro o el motor realizan el trabajo externo requerido por una carga (Creus A. 2011).

Entre los tipos de motores (bomba) hidráulicos se encuentran:

- **Motor de paletas:**

Son las más populares si bien tienen algunas limitaciones en el par de arranque y a bajas velocidades debido al alto porcentaje de deslizamiento o a las fugas internas de fluido. Asimismo, no pueden emplearse en sistemas de muy alta presión. (Creus A. 2011).

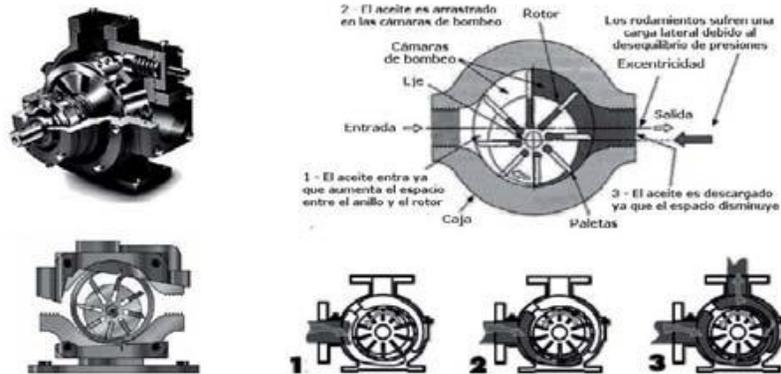


Figura 45. Motor de paletas, Creus A. (2011). Neumática e hidráulica segunda edición.

- **Motor de pistón axial o radial:**

El axial tiene los pistones dispuestos a lo largo de un eje, mientras que en el radial están posicionados radialmente a la generación de energía. Son más caros pero pueden adaptarse mejor a alto par, bajas velocidades de operación y en aplicaciones de alta presión (Creus A. 2011).

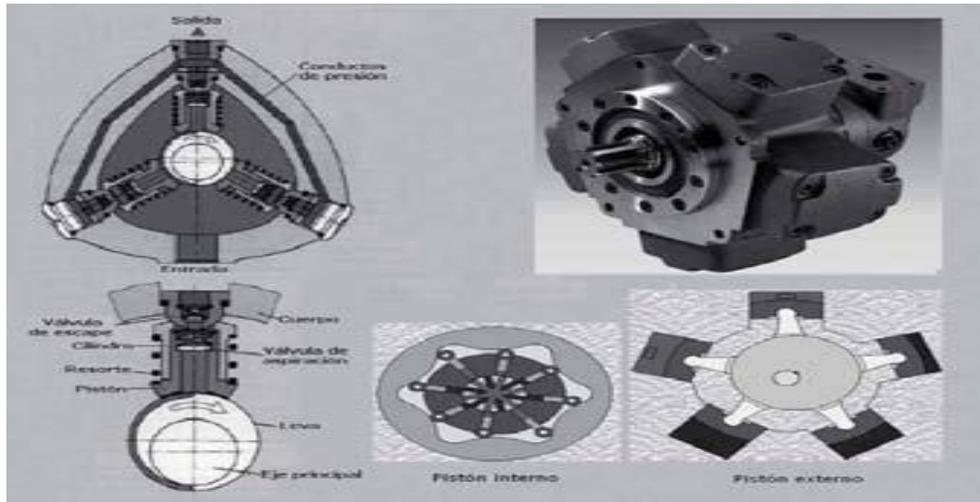


Figura 46. Motor de pistón axial o radial, Creus A. (2011). *Neumática e hidráulica segunda edición*

- **Motor de engranajes:**

Son los más baratos pero los más ruidosos. Pueden trabajar a altas velocidades pero de forma análoga a los motores de paletas, su rendimiento cae a bajas velocidades (Creus A. 2011).

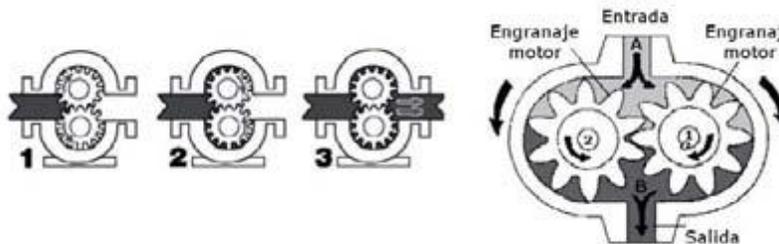


Figura 47. Motor de engranajes, Creus A. (2011). *Neumática e hidráulica segunda edición*

- **Motor gerotor:**

Son motores de engranajes con engranajes internos de diferente número de dientes. Son excelentes motores de baja velocidad, alto par gracias a su inherente operación reducida de los engranajes. (Creus A. 2011).

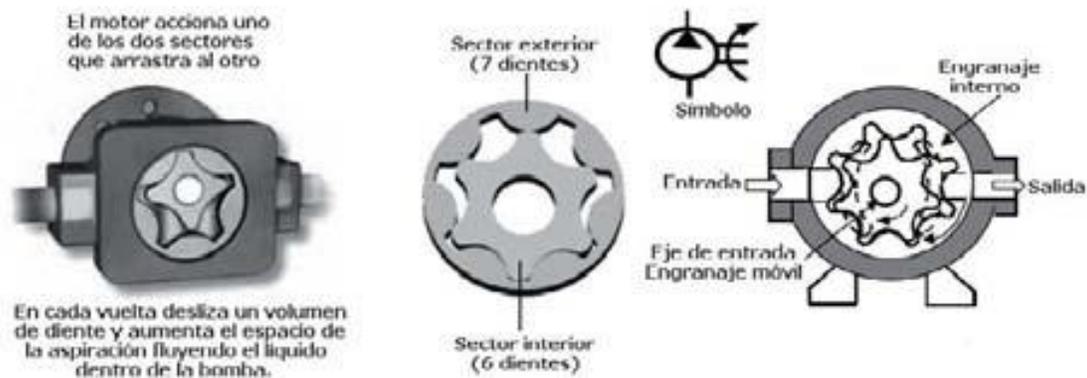


Figura 48. Motor gerotor, Creus A. (2011). *Neumática e hidráulica segunda edición*

- **Cilindro telescópico**

Los cilindros telescópicos se caracterizan por conseguir largas carreras (mucho longitud de trabajo) utilizando una camisa relativamente corta pudiendo se estos cilindros de doble efecto y de simple efecto. En los cilindros de simple efecto telescópicos, el cilindro sale cuando se le aplica presión y el retroceso normalmente es por fuerza externa. En los cilindros de doble efecto telescópicos tanto el avance como el retroceso es mediante el fluido hidráulico.

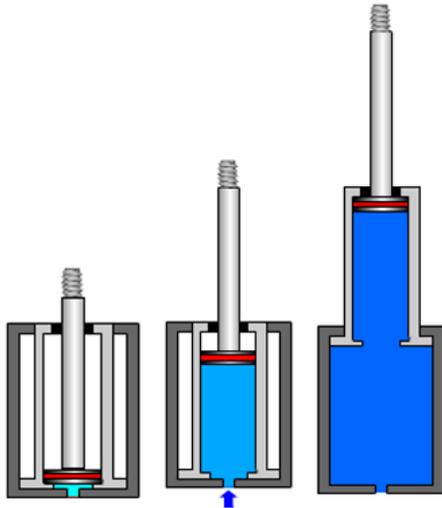


Figura 49. Cilindro telescópico de simple efecto

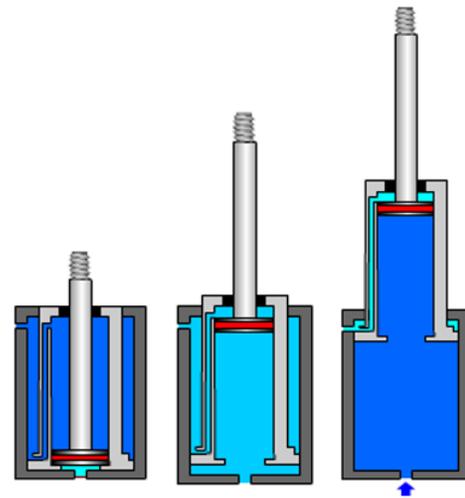


Figura 50. Cilindro telescópico de doble efecto

- **Comparación entre Neumática e Hidráulica.**

Los sistemas neumáticos no pueden soportar una carga rígidamente como lo hace el sistema hidráulico, ya que el aire es compresible y el fluido hidráulico no lo es. Los sistemas neumáticos tienden a ser más simples que los hidráulicos, pero los costos de operación tienden a ser más elevados haciendo que la hidráulica sea más rentable a largo plazo. En la siguiente tabla se presentan las características comparativas entre los sistemas neumáticos e hidráulicos. (Creus A. 2011).

Características	Neumática	Hidráulica
Efecto de las fugas	Solo pérdida de energía	Contaminación
Influencia del ambiente	A prueba de explosión. Insensible a la temperatura	Riesgo de incendio en caso de fuga. Sensible a cambios de la temperatura
Almacenaje de energía	Fácil	Limitada
Transmisión de energía	Hasta 1.000 m. Caudal $v = 20 - 40$ m/s. Velocidad de la señal $20 - 40$ m/s	Hasta 1.000 m... Caudal $v = 2 - 6$ m/s. Velocidad de la señal hasta 1.000 m/s
Velocidad de operación	$V = 1,5$ m/s	$V = 0,5$ m/s
Coste de la alimentación	Muy alto	Alto
Movimiento lineal	Simple con cilindros. Fuerzas limitadas. Velocidad dependiente de la carga	Simple con cilindros. Buen control de velocidad. Fuerzas muy grandes
Movimiento giratorio	Simple, ineficiente, alta velocidad	Simple, par alto, baja velocidad
Exactitud de posición	1/10 mm posible sin carga	Puede conseguirse 1 mm

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Estabilidad	Baja, el aire es compresible	Alta, ya que el aceite es casi incompresible, además el nivel de presión es más alto que en el neumático
Fuerzas	Protegido contra sobrecargas. Fuerzas limitadas por la presión neumática y el diámetro del cilindro ($F = 30 \text{ kN}$ a 6 bar)	Protegido contra sobrecargas, con presiones que alcanzan los 600 bar y pueden generarse grandes fuerzas hasta 3.000 kN

Tabla 4. Características comparativas entre los sistemas neumáticos e hidráulicos, Creus A.(2011).
Neumática e hidráulica segunda edición.

2.6.2 Sistema de sujeción para los cilindros y tubos shelby

Los equipos encontrados, en el mercado cuentan con calzas para cada diámetro, sea para tubos shelby o cilindros de compactación. Se debe contar con herramientas para sujetar cada cilindro, ya sea para sujetar los tubos en las mordazas o para intercambiar los diámetros de calzas. Para el extractor de muestras, se va a abolir todas estas piezas intercambiables y la utilización de herramientas menores para sujetar los cilindros y shelbys. Para lograr esto se utilizará el principio de funcionamiento de los mandriles de brida, el cual es centrar y sujetar piezas cilíndricas.



Figura 51. Mordazas de Autocentrado platos de Torno Para Madera cuarto Eje CNC Mesa Giratoria, Alibaba Group.

La máquina roscadora utiliza un mandril de brida para sujetar y central los tubos en el proceso de generar la rosca. Básicamente, las roscadoras de tubos son máquinas eléctricas activadas por un motor, el cual cumple la función de centrar y sujetar un tubo en una unidad de mandril a los efectos de hacer girar ese tubo para efectuarle no sólo una operación de roscado, sino también, si la máquina lo permite, de corte y escariado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

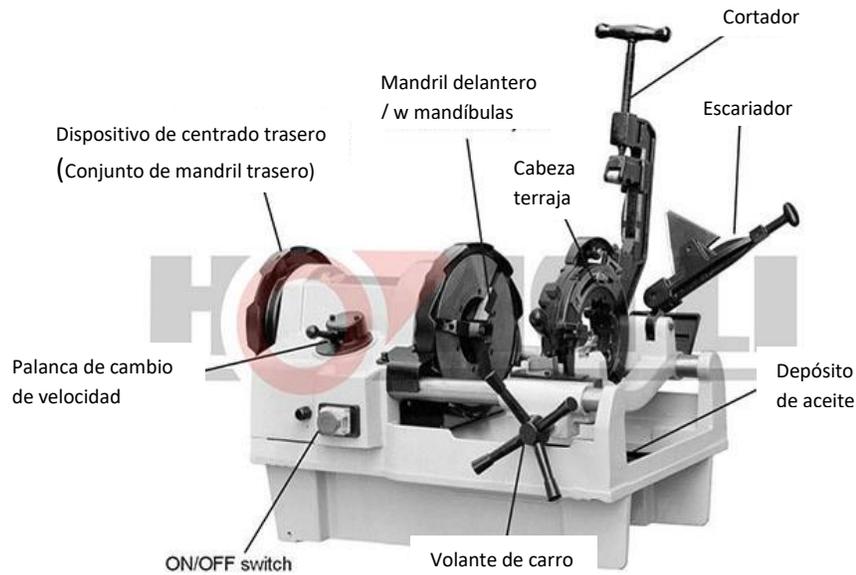


Figura 52. SQ100F 4 "máquina roscadora de tubos automática/máquina de hilo, Alibaba Group.

La roscadora eléctrica cuenta con dos mandriles de bridas, mandril delantero sujeta y centra la tubería a ser roscada cerca a la terraja que fabrica la rosca, mandril trasero centra la tubería en la parte posterior y así garantizar que la tubería este centrada en su eje. El principio de funcionamiento del mandril delantero es el sistema de sujeción que se desea utilizar en el equipo de extracción.



Figura 53. Mandril de brida, roscadora eléctrica, fotografía tomada por los autores.

El mandril de la roscadora eléctrica consta de cuatro piezas:

- a. Cuerpo o base del mandril de brida.
- b. Mordazas de sujeción.
- c. Espira que genera el movimiento uniforme de las mordazas.
- d. Manigueta que gira la espira y aprieta las mordazas al tubo.



Figura 54. Mandril de brida roscadora eléctrica, fotografía tomada por los autores.

2.6.3 Sistema de posicionamiento de sujeción, según la longitud del cilindro o tubo shelby a extraer

2.6.3.1 Tornillos de potencia

Los tornillos de potencia se usan en muchas aplicaciones, como tornillos de avance en máquinas herramientas, mordazas, gatos mecánicos para elevación de vehículos, prensas y otros dispositivos de elevación de cargas, máquinas universales de tracción y compresión, etc.

En tornillos de potencia, las roscas más empleadas en el fileteado del tornillo son la rosca Cuadrada, la rosca ACME y la rosca Unificada.

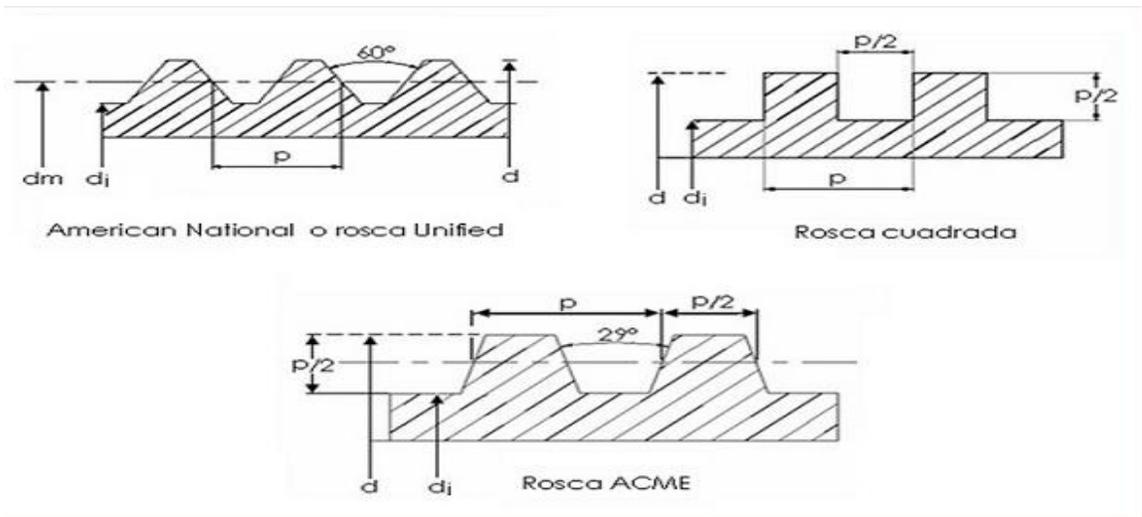


Figura 55. Tipos de rosca de los tornillos de potencia, <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>

2.6.3.2 Sistema de engranajes para generar el giro del tornillo de potencia.

Los engranes son ruedas cilíndricas dentada, para transmitir movimiento y potencia de un eje giratorio a otro, la mayor parte de las transmisiones con engrane causan un cambio de la velocidad de salida del engrane en relación con la del engrane de entrada. Algunos de los tipos más comunes de engranes son rectos, helicoidales, cónicos y sin fin/cremallera (robert L. Mott, 2006).

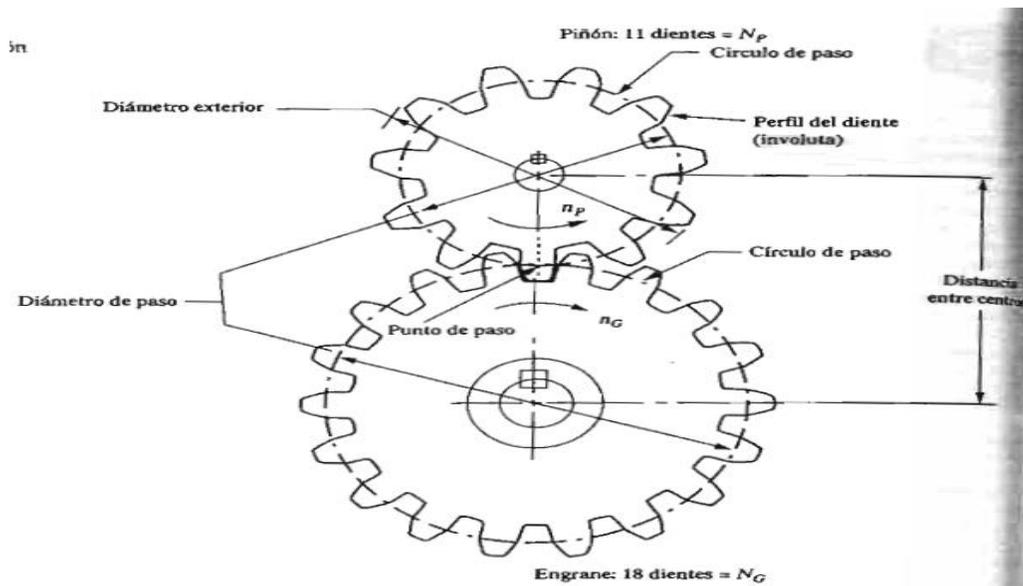


Figura 56. Par de engranajes rectos. El piñón impulsa al engranaje, (robert L. Mott, 2006)

Engranajes rectos

Los engranajes rectos tienen dientes rectos y paralelos al eje del árbol que los sostiene. La forma curva de las caras de los dientes de engranajes rectos tiene una geometría especial, llamada *curva involuta*. Con esta forma es posible que dos engranajes trabajen juntos con una transmisión de potencia uniforme y positiva.

Engranaje helicoidal

Los dientes de los engranajes helicoidales forman un ángulo con respecto al eje de árbol. El ángulo se llama *ángulo de hélice* y puede ser virtualmente cualquier ángulo. Los ángulos típicos van desde unos 10 hasta unos 30°, pero son prácticos los ángulos hasta de 45°. Los dientes helicoidales trabajan con más uniformidad que los dientes rectos, y los esfuerzos son menores. En consecuencia, se puede diseñar un engranaje helicoidal menor para determinada capacidad de transmisión de potencia en comparación con los engranajes rectos.

Engranajes cónicos

Los engranajes cónicos tienen dientes colocados como elementos sobre la superficie de un cono. Los dientes de los engranajes cónicos rectos parecen semejantes a los del engranaje recto, pero tienen lados inclinados entre sí, son más anchos en el exterior y más estrechos hacia la parte superior del cono, en forma típica, operan en ejes a 90° entre sí. En realidad, con frecuencia esta es la causa para especificar engranajes cónicos en un sistema de transmisión. Especialmente los engranajes cónicos diseñados pueden trabajar en ejes que formen cierto ángulo entre sí, distintos de 90. Cuando se fabrican los engranajes cónicos con sus dientes formando un ángulo de hélice similar al de los engranajes helicoidales, se les llama *engranajes cónicos espirales*. Trabajan en forma más constante que los cónicos rectos, y pueden ser menores para determinada capacidad de transmisión de potencia.

2.6.3.3 Sistema de polea para generar el giro del tornillo de potencia.

Una banda es un elemento flexible de transmisión de potencia que asienta firmemente en un conjunto de poleas. Cuando se usa la banda para reducir la velocidad que es el caso típico, la polea menor se monta en el eje de alta velocidad, que puede ser el eje de un motor eléctrico la polea mayor se monta en la maquina impulsada. La banda se diseña para montarse en las dos poleas.

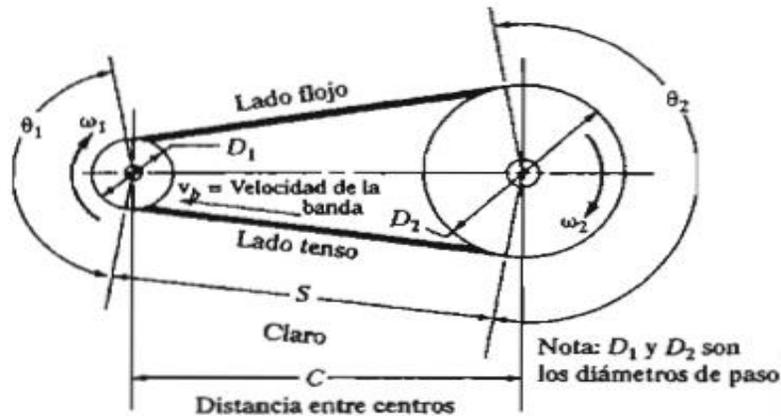


Figura 57. Geometría básica de una transmisión por bandas, (robert L. Mott, 2006)

La banda se instala el colocarlas alrededor de las poleas, mientras se reduce la distancia entre centros en ellas. A continuación, se separan las poleas y se ponen la banda en una tensión inicial bastante alta cuando la banda transmite potencia, la fricción hace que se agarre a la polea impulsora, e incrementa la tensión en un lado, que es el “lado tenso” de la transmisión. La fuerza de tensión en la banda ejerce una fuerza tangencial en la polea conducida con lo que se aplica un par torsional al eje conducido. El lado contrario de la banda se encuentra todavía en tensión, pero con un valor menor (robert L. Mott, 2006).

Un sistema de transmisión por correa es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre árboles paralelos que se encuentran a una cierta distancia.

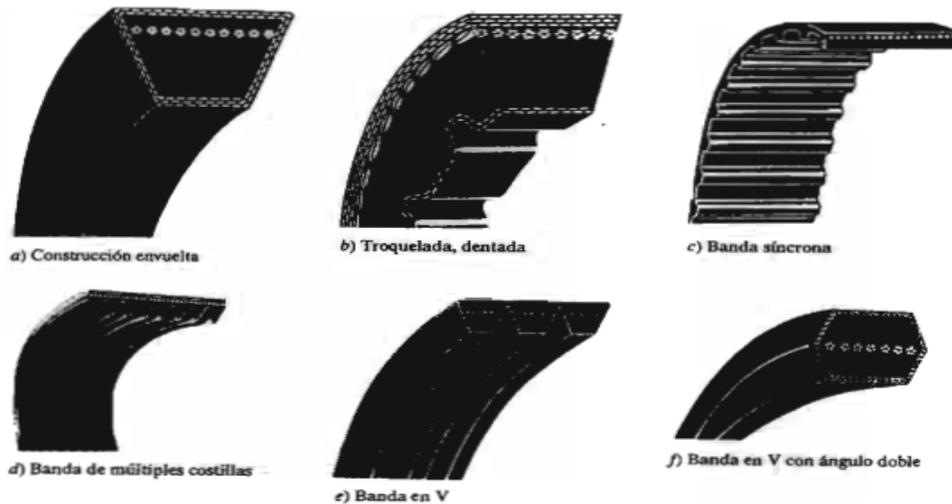


Figura 58. Tipos de bandas, (robert L. Mott, 2006)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En este caso se va usar los sistemas de banda asíncrona o de tiempo por su alta eficiencia a la hora de transmitir. Cuando se requiere transmitir elevados régimen de potencia, en transmisiones que son compactas, lo cual va a suponer el empleo de poleas de reducido diámetro y elevadas velocidades de giro, lo normal es utilizar poleas dentadas o síncronas. Las poleas dentadas garantizan una relación de transmisión constante al disminuir el riesgo de deslizamiento sobre la polea. Por otro lado, la incorporación del dentado a la correa le confiere de una mayor flexibilidad longitudinal lo que le permite poder adaptarse a poleas de diámetros más pequeños. En definitiva, para aplicaciones donde se requiera exactitud en la relación de transmisión, unido a exigencias de altas velocidades de giro, o que por consideraciones de diseño no sea posible el engrase o lubricación de los componentes de la transmisión, entonces el empleo de correas dentadas o síncronas es la mejor opción.

2.6.4 Sistema de control para la aplicación de carga, posicionamiento de sujeción y paro de emergencia.

Un control eléctrico es un conjunto de elementos eléctricos o electrónicos que accionan contactos, todos interconectados eléctricamente a través de conductores, con el propósito de establecer una función de control sobre un equipo o conjunto de equipos. Los elementos que conforman un sistema de control eléctrico se pueden clasificar de acuerdo a la función que desempeñan. Se definen las siguientes funciones dentro del sistema de control eléctrico:

- Maniobras
- Mando Manual
- Mando Auxiliar o Automático

Para la ejecución de cada una de estas funciones existen elementos especializados. Dentro del sistema de control eléctrico tenemos: Elementos de maniobras, elementos de mando, elementos auxiliares de mando, elementos de señalización y elementos de protección.

Elementos de Maniobras: En los circuitos de control eléctrico la función de maniobras consiste en energizar o desenergizar los equipos de potencia del sistema; tales como motores eléctricos, cargas de alumbrado, calentadores, etc.

Elementos de maniobras manuales: Son aparatos que requieren la acción de un operador para ejecutar la operación de energización o desenergización de una carga o equipo eléctrico. Estos dispositivos pueden tener poder de corte o no. El poder de corte se refiere a la capacidad que posee el aparato para interrumpir una corriente o para conectar una carga. La capacidad de corte se expresa por lo general en amperios o Kilo-amperios.

Los principales elementos de maniobras manuales usados en controles eléctricos son los siguientes:

- Interruptores: son aparatos con cierto poder de corte para abrir y/o cerrar circuitos bajo carga normal y circunstancialmente en condiciones de sobrecarga. Puede soportar cierto tiempo las condiciones anormales de corriente durante un cortocircuito pero no las interrumpe.
- Pulsadores: Son aparatos de maniobra con cierto poder de corte. Se diferencian de los interruptores porque cierran o abren circuitos mientras actúa sobre ellos una fuerza externa (del

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

operador o usuario) en el mecanismo de accionamiento, el dispositivo retoma su posición de reposo una vez que cesa la fuerza aplicada. En los circuitos de control eléctrico son usados más a menudo como elementos de mando, que como elementos de maniobras.

Elementos de Maniobras Automáticos: Son dispositivos diseñados para abrir y/o cerrar circuitos en función de las magnitudes que alcanzan ciertas variables físicas tales como: corriente, voltaje, frecuencia, temperatura, presión, espacio, tiempo, etc. Los más importantes son los interruptores automáticos; que son aparatos de conexión - desconexión de circuitos; capaces de establecer, soportar e interrumpir corrientes bajo condiciones normales del circuito, así como establecer, soportar durante un tiempo determinado e interrumpir corrientes de cortocircuito.

Al producirse cualquiera de estas anomalías desconectan automáticamente la fuente de alimentación del circuito. Para volver a recuperar el circuito se procede a una acción de rearme manual. Uno de los interruptores automáticos más usado es el breaker, el cual protege los circuitos ramales y alimentadores de instalaciones eléctricas. Los contactores también pueden ser agrupados dentro de los aparatos automáticos de maniobras.

Aparatos de protección: Son dispositivos destinados a interrumpir la alimentación del circuito cuando se presenta una irregularidad en su funcionamiento, particularmente sobrecargas y cortocircuitos. Dentro de esta categoría se ubican dos elementos particulares:

- **Fusibles:** Son conductores calibrados para permitir el paso de una determinada magnitud de corriente, de manera tal que al producirse una sobre-corriente el conductor se fundirá y desconecta la fuente de alimentación de la carga. En los circuitos de control eléctrico se usan comúnmente los fusibles como elementos de protección contra cortocircuitos y no contra sobrecargas
- **Protección automáticos:** protección contra sobrecargas se usan en combinación con los contactores para despejar los problemas de sobrecarga en el circuito. Los más utilizados son los relés térmicos, termo-magnéticos y electromagnéticos.
- **Microswitch:** son pequeños interruptores, se usan como fin de carrera o detectores de algún movimiento, también suelen usarse como botoneras.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para diseñar el equipo completo se siguió una metodología de dividir el equipo en subsistemas y diseñar cada uno de ellos. A grandes rasgos los pasos seguidos fueron:

1. Recolección de información sobre equipos comerciales.
2. Análisis del principio de funcionamiento de los equipos.
3. Evaluar y seleccionar el principio de funcionamiento más adecuado para cada subsistema.
4. Diseño del subsistema.
5. Diseño del equipo.

3.1 EVALUACIÓN DEL SENTIDO DE EXTRACCIÓN DE LOS EQUIPOS COMERCIALES

Después de analizar las ventajas y desventajas de los diferentes equipos de extracción encontrados en el mercado y en algunos laboratorios de suelos y pavimentos de la ciudad de Medellín, se encontró que existen dos sentidos de orientación para realizar la extracción de las muestras, horizontal y vertical.

3.1.1 Sentido de extracción horizontal

El sentido de orientación más común para extraer los tubos shelby, pero no la más compacta ni acta para realizar la extracción. Según la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2041 en el numeral 5.9 Extractor de muestras, si el núcleo no es extraído verticalmente, debe tratarse de evitar esfuerzos de flexión sobre el núcleo debido a la gravedad. Las condiciones existentes en el momento de extraer la muestra pueden dictar la dirección de extracción, pero lo más importante en mantener un grado de alteración mínimo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 59. Extracción muestra sentido horizontal. Fotografía tomada por los autores

3.1.2 Sentido de extracción vertical

Los equipos que trabajan de forma vertical son comúnmente utilizados para extraer muestras de los cilindros de compactación y son de poca carrera, se encontró uno para realizar la extracción de muestras de tubos shelby en la empresa DEACIVIL S.A.S, pero con la limitante de la carrera lo cual no permite la extracción de las muestras de forma continua.

Según la norma INV E – 153 – 13, ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL SOBRE SUELOS COHESIVOS en el Numeral 4.16 Extractor de muestras (Ensayos UU y CU), este aparato debe ser capaz de extraer la probeta de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme, en la misma dirección en la que fue introducida la muestra dentro del tubo y con una mínima alteración posible. Si el espécimen no es extraído verticalmente, se deben evitar esfuerzos de flexión sobre la probeta debido a la gravedad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 60. Extracción muestra sentido vertical, fotografía tomada por los autores

Se selecciona el sistema de extracción de muestras en sentido vertical ya que las normas NTC 2041 e INV E – 153 – 13, sugieren la extracción en forma vertical para evitar esfuerzos de flexión sobre el núcleo debido a la gravedad y en la misma dirección en la que fue introducida la muestra dentro del tubo, los métodos de exploración de campo son de forma vertical y las muestras obtenidas son tomadas en este mismo sentido.

3.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA PARA EXTRAER LAS MUESTRAS.

El sistema de aplicación de carga para lograr la extracción de las muestras alojadas en el interior de los moldes o de tubos shelbys debe ser de forma constante para garantizar la mínima alteración de la muestra, en el mercado podemos encontrar varios sistemas que cumplen con los requerimientos antes mencionados, entre estos sistemas podemos encontrar:

- Sistema de Tornillo de Potencia.
- Sistema Neumático.
- Sistema Hidráulico.

3.2.1 Análisis Sistema de Tornillo de Potencia

- Los equipos de extracción encontrados en el mercado que utilizan este sistema, son solo para extracción de tubos shelby.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Los extractores de muestras que utilizan este sistema de aplicación de carga de tornillo de potencia, por lo general la forma de generar el giro de la volante es manual, donde la fuerza necesaria para extraer la muestra es generada por el laboratorista o personal técnico.
- Utilizar un sistema eléctrico de moto reductora o poleas, para realizar el giro de la volante y la fuerza necesaria para que el tornillo de potencia realice el desplazamiento y extraiga la muestra alojada en el cilindro.

Desventajas:

- **Longitud del equipo:** El tornillo de potencia debe de tener una longitud superior a las muestras a extraer, la cual es de 1.0 metros, el equipo a diseñar quedaría con una altura de más de 2.0 metros, lo cual dificultaría al momento de la extracción de muestra poder sujetarla y evitar la alteración de la misma.
- **Mantenimiento:** El tornillo de potencia al ingresar a los tubos shelby por lo general quedan con residuos de suelo en ellos, por lo cual el mantenimiento debe ser más constante que otros tipos de sistemas de aplicación de carga.
- **Carga:** Este sistema es de compleja visualización de la carga aplicada, lo cual limita la generación de un paro de emergencia por sobre carga del equipo.

Ventajas:

- Fácil adquisición o fabricación.
- Bajo costo.

Resultado:

El sistema de tornillo de potencia no es el más adecuado para el diseño, ya que la altura final del equipo quedaría de más de 2.0 metros, lo que hace que el equipo no sea compacto y dificulta la extracción de muestra de 1.0 metros de longitud.

3.2.2 Análisis sistema Neumático

- Los equipos encontrados en el mercado ninguno funciona con sistema neumático.
- Los cilindros neumáticos de movimiento lineal podemos encontrar: de doble efecto, simple efecto, guiado, de impacto y de rotación, de estos cilindros se puede utilizar los de simple o doble efecto.
- Utilizar un sistema neumático para generar la carga de extracción de las muestras.

Desventajas:

- El sistema hidráulico no cuenta con la capacidad para alcanzar la carga máxima de 5 toneladas (49.03 kN).
- Al utilizar un cilindro de simple o doble efecto, igual que en el sistema de tornillo de potencia el equipo en su diseño quedaría demasiado alto.
- El equipo de extracción tendrá que contar con una unidad neumática, lo cual ocupa otro espacio más en el laboratorio.

Ventajas:

- Fácil adquisición o fabricación.
- Costo moderado.

Resultado:

El sistema neumático no es el más apto para utilizar en el equipo de extracción, por no contar con la fuerza máxima de extracción, el diseño con este sistema el equipo queda con demasiada altura y la unidad neumática hace que el equipo de extracción de muestras no sea compacto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2.3 Análisis Sistema Hidráulico

- Los equipos encontrados en el mercado funcionan de operación manual y algunos por unidades hidráulicas.
- Los cilindros hidráulicos de movimiento lineal podemos encontrar: Cilindro de simple efecto con retorno por muelle y gravedad, doble efecto y cilindros telescópicos.
- Unidades hidráulicas, se encuentran unidades compactas para cilindros de simple y doble efecto, estas unidades son de fácil adquisición.
- Utilizar una unidad compacta y un cilindro telescópico para generar la fuerza de extracción de las muestras.

Ventajas

- Facilidad de las unidades hidráulicas compactas para generar la fuerza requerida para extraer las muestras.
- Los cilindros telescópicos contienen otros cilindros en su interior de diámetros menores y cada uno de estos se extiende por etapas, lo cual hace que un cilindro de poca longitud, alcance grandes recorridos.
- La unidad hidráulica y el cilindro son de poca dimensión, logran que el equipo de extracción sea de una altura de trabajo razonable, permitiendo la extracción de muestras de 1.0 metros de longitud.

Desventajas

- Costo de compra o fabricación más elevada.
- Por trabajar con un fluido inflamable, existe la posibilidad incendio y accidentes en el caso de fuga del fluido.
- Explosión por sobrecarga del sistema.

Resultado

El sistema hidráulico con un cilindro telescópico es la opción más apta, para generar la fuerza necesaria para extraer las muestras y alcanzar la extracción de muestras de 1.0 metros de longitud.

3.3 SELECCIÓN SISTEMA DE SUJECIÓN PARA LOS CILINDROS Y TUBOS SHELBY

El sistema de sujeción debe soportar la máxima carga generada por la unidad hidráulica y transmitida a la muestra por medio del cilindro telescópico, y tan versátil que pueda sujetar todos los diferentes diámetros de los tubos y cilindros a extraer su muestra.

3.3.1 Análisis sistema de calzas o placas para reducir el diámetro.

- Este sistema de calzas intercambiables, es el más utilizado en los equipos comerciales encontrados.
- Sistema funcional para los diferentes diámetros.

Ventajas

- Se encuentra tanto en los extractores de tubos shelby como en los de los cilindros de compactación y muestreo.
- Fácil adquisición o fabricación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desventajas

- Demasiadas piezas sueltas, sujetas a pérdida de las más pequeñas.
- Uso de herramientas menores para el intercambio de las piezas.

Resultado

Este sistema de sujeción a pesar de ser el más utilizado y que cumple con su trabajo, no aporta una solución a la cantidad de piezas intercambiables y a la utilización de herramientas menores.

3.3.1 Análisis sistema de mandril de brida.

- Este sistema de sujeción es muy utilizado en la industria metal mecánica para sujetar piezas de forma cilíndrica, para su posterior mecanizado.
- Sujeta y centra el cilindro para su mecanizado.
- En cada de la roscadora eléctrica, se encuentra una gran variedad de equipos que trabajan para realizar la rosca a diferentes dimensiones de tubería.

Ventajas

- No se requiere de herramientas menores para el montaje y desmontaje del cilindro.
- Sujeta y centra el cilindro para realizar la extracción de la muestra.

Desventajas

- No se encontró equipo de roscado comercial que para los diámetros requeridos, que van de seis pulgadas a dos pulgadas.
- Fabricación de las piezas del sistema.

Resultado

La selección de este tipo de sujeción de tuberías corresponde a que no se requiere ningún tipo de piezas intercambiables y de herramientas menores para sujetar los tubos, ya que tan solo girar la manivela, esta automáticamente hace girar en el mismo sentido la espira la cual está unida a las mordazas por medio de roscas, lo cual garantiza que las mordazas salgan al mismo tiempo y la misma distancia para sujetar la tubería.

3.4 SELECCIÓN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE SUJECIÓN, SEGÚN LA LONGITUD DEL CILINDRO O TUBO SHELBY A EXTRAER

Para el sistema de posicionamiento, se analizan los diferentes sistemas mecánicos y se opta que el sistema de tornillo de potencia (tornillo sin fin), es el ideal para cumplir con la función de subir y bajar el cabezal; ya que este trabajará sometido a una carga constante de 56 kg (masa del cabezal), una presión de extensión de 50kN generada por la bomba por la presión ejercida por el cilindro extrayendo la muestra.

3.4.1 Análisis de sistema de Tornillos de potencia

- La rosca cuadrada es la que posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca ACME, con un ángulo de 29°, por su buen ajuste; además tomando en consideración que la rosca cuadrada no está normalizada mientras que la ACME es de fácil construcción mediante todos los procedimientos existentes.
- El tornillo de potencia con rosca ACME es de fácil adquisición en el mercado o mecanizado de sus piezas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- La gran mayoría de equipos de extracción utilizan los tornillos de potencia para la extracción de sus muestras
- Obtención de un buen posicionamiento en un movimiento axial.
- Alta resistencia mecánica a la fricción con otros metales



Figura 61. Tornillo de potencia, Solid Edge ST8, Autores.

Teniendo ya el escogido el sistema que se encargara de subir y bajar el cabezal procedemos a escoger el sistema para hacer girar los tornillos para generar el posicionamiento del cabezal. Para este sistema encontramos dos mecanismos de transmisión de potencia.

- * Engranaje
- * Polea

3.4.2 Análisis Sistema de engranajes para generar el giro del tornillo de potencia.

El sistema de engranajes es muy usado en la transmisión de potencia de alto esfuerzo. Los engranes son más comunes en moto reductores o en cajas cerradas por su necesidad de mantenerse siempre lubricados

Desventajas

- Poco espacio para la instalación de los engranajes ya que en el centro de los tornillos de potencia va instalado un cilindro de aplicación de carga.
- Costos fabricación

Ventajas

- Durabilidad
- Alta eficiencia en el momento de transmisión de potencia

Resultado

El sistema de engranajes no cumple en el diseño planteado ya que el espacio que se ofrece para los engranajes es muy limitado y se deben instalar otros sistemas para la aplicación de carga, por lo cual se impide acoplar los engranajes de los tornillos de potencia con el motor impulsor.

3.4.3 Sistema de polea para generar el giro del tornillo de potencia.

El sistema de polea es muy común en la transmisión de potencia de alta velocidad y de poco esfuerzo por lo cual es muy común encontrarlas en los equipos electromecánicos que tengan algún sistema de transmisión de potencia. Las poleas y bandas son comerciales y de fácil adquisición en el mercado.

Desventajas

- Mantenimiento con una rutina más frecuente.
- Desgate de la banda con frecuencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ventajas

- Eficiencia al conducir transmisión de potencia.
- Piezas comerciales de fácil adquisición.

Resultados

Se escoge el sistema de transmisión de potencia por banda asíncrona por su fácil adquisición de repuestos y su eficiencia al transmitir potencia. Este sistema nos cumple con el propósito del diseño por la fácil de acomodación de los componentes

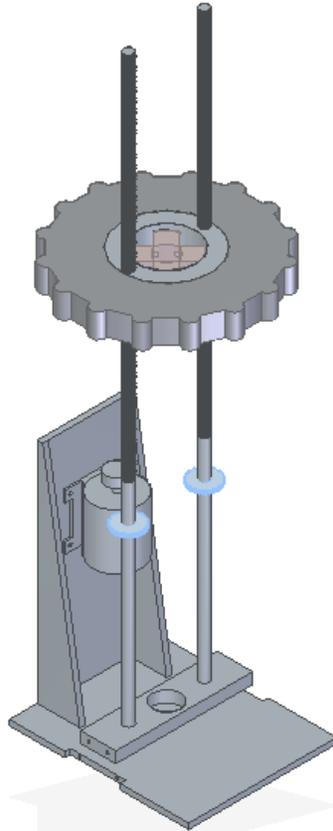


Figura 62. Sistema de poleas, Solid Edge ST8, Autores.

3.5 ESTRUCTURA DEL EQUIPO SEGÚN EL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA SELECCIONADO.

La estructura del equipo de extracción de muestras según el numeral 3.1 el equipo debe ser de sentido vertical de extracción y cumplir con los siguientes parámetros:

- Alojar en su interior el sistema de aplicación de carga, unidad hidráulica, mangueras y cilindro telescópico.
- Poseer espacio para incorporar el sistema de posicionamiento del sistema de sujeción, tornillos sin fin, poleas, correas y motor eléctrico.
- Poseer un sistema de control para el funcionamiento de la unidad hidráulica y sistema de posicionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Resultado

Para dar cumplimiento a las exigencias del diseño anteriormente mencionadas se fabrica una estructura vertical la cual está compuesta por una base principal de 485 mm x 404,4 mm que llevará en sus extremos laterales dos soportes de 630mm de altura que estará ubicado a 150 mm de la espalda de la base y a 185 mm del frente de la base.

- En su parte superior lleva una base que cumple con la función de guía de alineamiento de los ejes de potencia, en su parte inferior va fijada a la base y a 25 mm de altura lleva otra base guía donde se soportaran los ejes de potencia.
- En su parte delantera va ubicada la bomba hidráulica con sus mangueras hacia el cilindro telescópico que está alojado en el medio de la base guía inferior. También en su parte delantera van ubicados los pedales de control del sistema hidráulico y del sistema de posicionamiento.
- En su parte trasera estará ubicada una base como espaldar del equipo fijado a la base principal. En el espaldar se ubica el motor que brindara el movimiento a los tornillos de potencia; este motor va a 360 mm de altura de la base principal. A esa altura en los tornillos de potencia van ubicadas un par de poleas que son las que van en conjunto con el motor para dar movimiento a los tornillos que serán los encargados de posicionar el cabezal dependiendo el tubo a extraer. Esta base llevará una cubierta que tapaná y protegerá los sistemas del polvo, humedad y contactos del operario con estos sistemas electromecánicos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

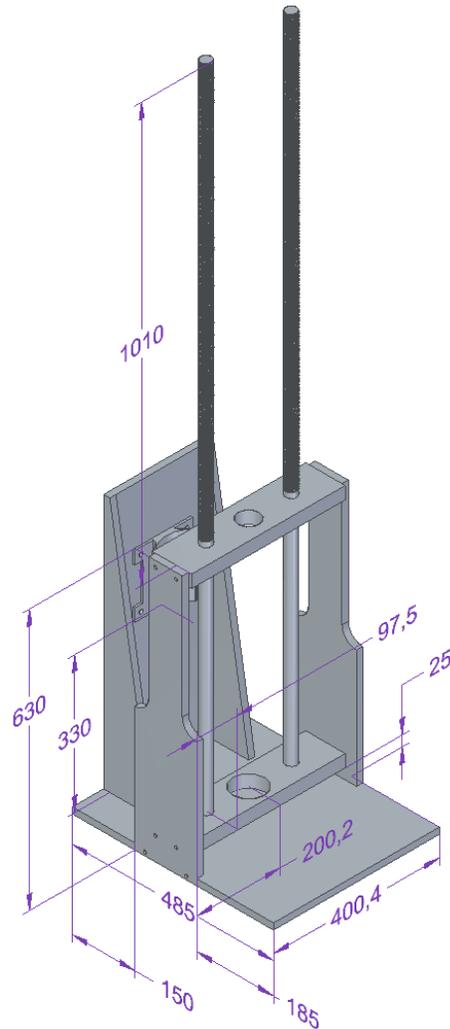


Figura 63. Estructura del equipo, Solid Edge ST8, Autores.

3.6 SISTEMA DE CONTROL PARA LA APLICACIÓN DE CARGA, POSICIONAMIENTO DE SUJECIÓN Y PARO DE EMERGENCIA.

El sistema de control que se desea implementar debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Sistemas de seguridad para evitar que el cabezal se salga de los tornillos de potencia
- Con un control independiente para función a cumplir dentro del sistema
- Fácil manipulación del operario
- Sistema de apagado de todo el sistema

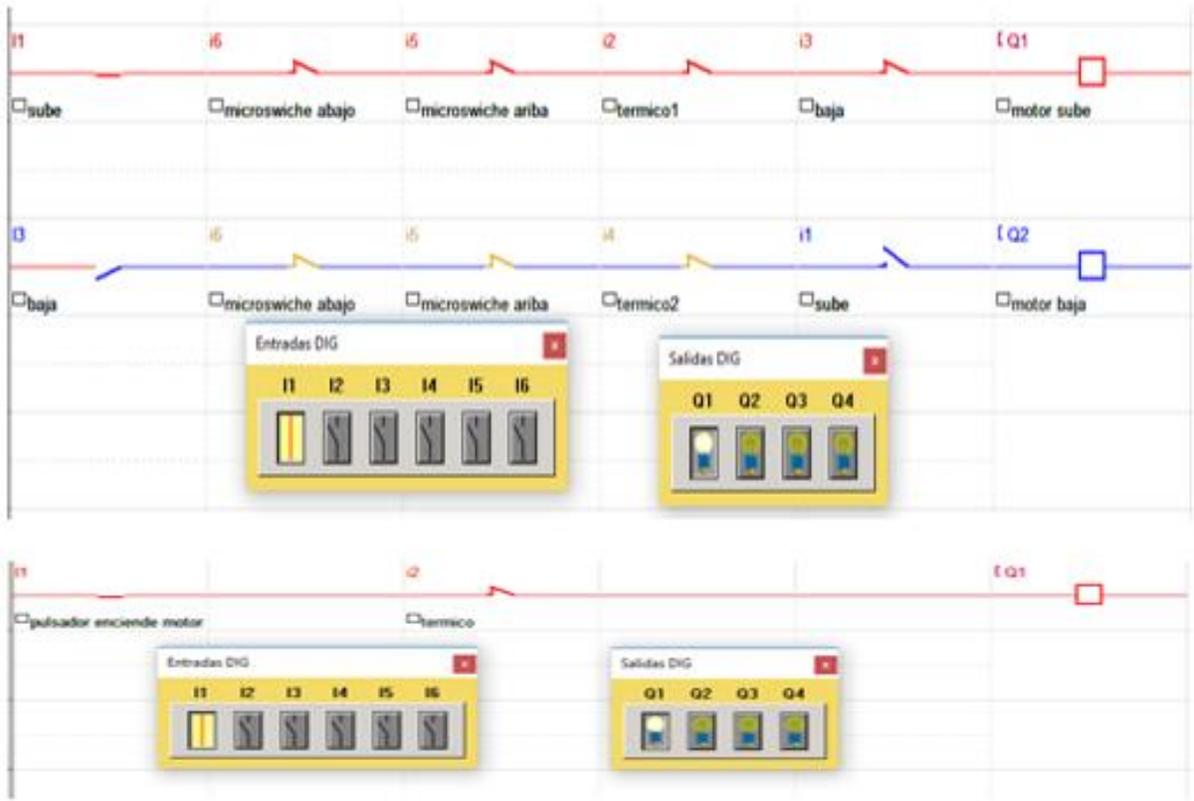


Figura 64. Sistema de control, Solid Edge ST8, Autores.

Para el sistema de seguridad del cabezal se opta por usar finales de carrera en cada extremo de los tornillos de potencia que pararan el motor que genera el movimiento rotatorio, se instalan dos pulsadores para las funciones de subir y bajar el motor cada uno será accionado por un pedal instalado en la parte inferior del equipo al igual que para el sistema de aplicación de carga y un paro de emergencia. Al motor que moverá los tornillos de potencia se le instalara una protección térmica contra corriente, al igual que a la bomba hidráulica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

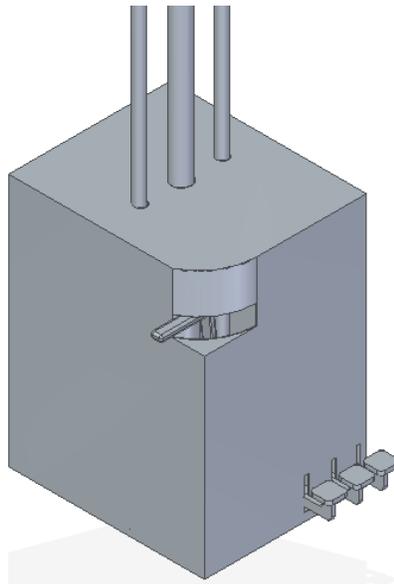


Figura 65. Sistema de pedales de control, Solid Edge ST8, Autores.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO DE APLICACIÓN DE CARGA

El sistema hidráulico consta de tres partes principales, unidad de potencia, cilindro y control.

4.1.1 Cálculo del cilindro

Las fuerzas generadas en un cilindro en la extensión del pistón son:

$$F_{\text{extensión}} (\text{Newton}) = P (\text{MPa}) * \frac{\pi * D^2}{4} * 0,9 = P (\text{bar}) * \frac{\pi * D^2}{40} * 0,9$$

$$F_{\text{retracción}} (\text{Newton}) = P (\text{MPa}) * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * 0,9 = P (\text{bar}) * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{40} * 0,9$$

Siendo

P = Presión de operación (MPa o bar)

D = Diámetro interior del cilindro (mm)

d = Diámetro del vástago del pistón (mm)

0,9 = Coeficiente de rozamiento de rodamientos, juntas y partes móviles del cilindro.

El factor de carga es la relación entre la carga real y la fuerza teórica de salida del cilindro. La tabla indica la relación entre el factor de carga y la velocidad del pistón.

Velocidad del pistón (mm/s)	Factor máximo de carga
8 a 100	70%
101 a 200	30%
201 a 300	10%

Tabla 5. Relación entre el factor de carga y la velocidad del pistón, Creus A. (2011). Neumática e hidráulica segunda edición

Para calcular el diámetro mínimo del cilindro para el equipo de extracción, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- La carga de diseño del equipo de extracción es de 50 kN.
- La presión de servicio es de 70 MPa, según el numeral 4.1.4 Selección Unidad Hidráulica.
- Velocidad del pistón = 100 mm/s, para un Factor de carga = 70%

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Calculo del diámetro mínimo del cilindro.

Datos

Carga = 50.000 N

Presión de servicio = 70 MPa = 700 bar (Numeral 4.1.4 Selección Unidad Hidráulica)

Velocidad del pistón = 100 mm/s

Factor de carga = 70%

Para calcular la fuerza de salida del cilindro se toma la carga de diseño y se divide por el factor de carga.

Carga: 50.000 N

Factor de carga: $F = 70\% = 0,7$

Presión de servicio = $P = 70 \text{ MPa} = 700 \text{ bar}$ (Numeral 4.1.4 Selección Unidad Hidráulica)

$$F = 50.000/0,7 = 71.428,57 \text{ N}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F(N)}{0,9 \cdot \pi \cdot P(MPa)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 71.428,57(N)}{0,9 \cdot \pi \cdot 70(MPa)}} = 37,99 \text{ mm}$$

Se considera un diámetro comercial de 1,5 pulgadas (38,1 mm).

Calculo Fuerza de extensión

Al forzar las muestras a salir de los moldes, el cilindro hidráulico experimenta una fuerza de extensión, por lo cual se utiliza la siguiente formula:

$$F = P * \frac{\pi \cdot D^2}{4} * 0,9$$

$P =$ Presión de servicio = 70 MPa = 700 bar (Numeral 4.1.4 Selección Unidad Hidráulica)

$D =$ Diámetro interno del cilindro hidráulico = 38,1 mm

$$F = 70 \text{ MPa} * \frac{\pi \cdot (38,1 \text{ mm})^2}{4} * 0,9 \qquad F = 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{\pi \cdot (38,1 \text{ mm})^2}{4} * 0,9$$

$$F = 71.825,7851 \text{ N} = 71,825 \text{ kN}$$

4.1.2 Carrera del pistón

Existen límites en la carrera del pistón en diversos montajes para prevenir que el vástago se doble cuando ejerce una determinada fuerza contra una carga. No se encontraron tablas de curvas de límite de carrera para el pistón a la presión a utilizar. Como estos elementos del cilindro son largos y esbeltos, y van a estar sometidos a cargas de compresión que pueden hacer que los cilindros se flexionen lateralmente hacia los lados generando pandeo. Con frecuencia el pandeo de una columna puede causar falla repentina de la estructura.

Según R. C. Hibbeler, Mecánica De Materiales Edición 6, la ecuación de pandeo se puede formar como sigue:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

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

P_{cr} = Carga axial crítica o máxima sobre la columna justo antes de que se comience a pandear.

E = Módulo de elasticidad del material

I = Momento de inercia mínimo del área transversal de la columna.

L = Longitud no soportada de la columna cuyos extremos estan articulados.

Esta formula de Euler fue deducida para el caso de una columna con extremos articulados o libres de girar. En otras palabras L en la ecuacion representa la distancia no soportada entre puntos con momento cero. A esta distancia se le llama longitud efectiva de la columna.

Para la columna con un extremo libre y otro empotrado, se encontro que la curva de deflexion fue la mitad de la columna con sus extremos articulados, cuya longitud es $2L$, como se muestra a continuación:

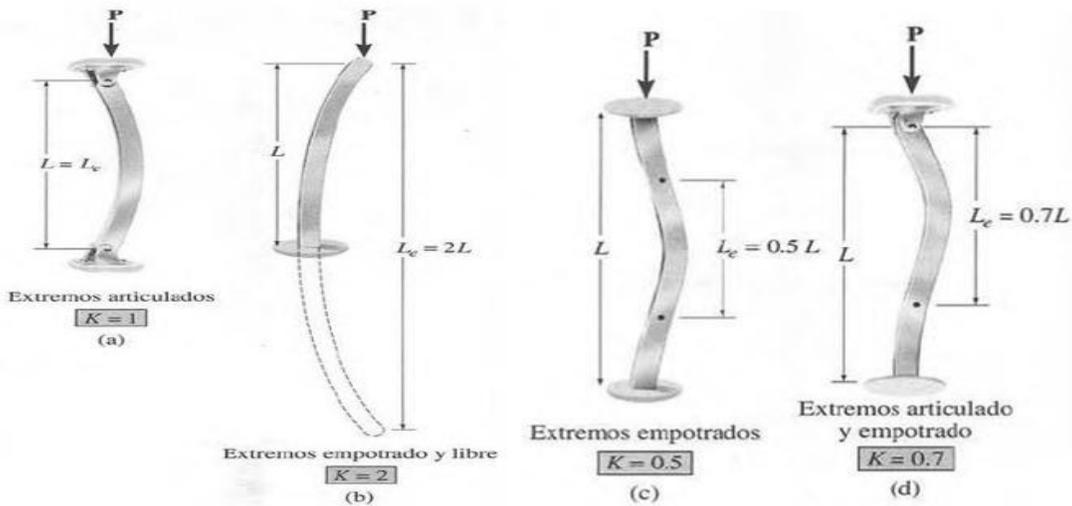


Figura 66. Columnas con diferentes tipos de apoyo en sus extremos, R. C. Hibbeler, Mecánica De Materiales Edición 6

Para calcular la longitud efectiva de la columna se usa un coeficiente adimensional, llamado factor de longitud efectiva K , que se define como:

$$L_e = KL$$

La figura 61, incluye valores específicos de K . Con base en esta generalización, la formula de Euler se puede escribir como:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El esfuerzo crítico, que es el esfuerzo promedio en la columna justo antes de que se pandee. Este es un esfuerzo elástico.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso unitario w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/ft ³	kN/m ³
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5

Tabla 6. Constantes físicas de materiales, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Octava edición

Calculo carga axial crítica o máxima (Pcr)

$$\phi_{int} = 38,1 \text{ mm} = 0,0381 \text{ m}$$

$$\phi_{ext} = 44,4 \text{ mm} = 0,0444 \text{ m}$$

$$E = 207,0 \text{ GPa} = 207\,000\,000 \text{ kN/m}^2$$

$$I = \frac{1}{4} \pi (\phi_{ext})^4 - \frac{1}{4} \pi (\phi_{int})^4$$

$$K = 2$$

$$L = 574 \text{ mm} = 0,574 \text{ m}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \left(207\,000\,000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \left(\frac{1}{4} \pi (0,0444 \text{ m})^4 - \frac{1}{4} \pi (0,0381 \text{ m})^4 \right)}{(2(0,574 \text{ m}))^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \left(207\,000\,000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) (1,3973 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}{1,317 \text{ m}^2}$$

$$P_{cr} = \frac{2854,681 \text{ kN}}{1,317} \rightarrow P_{cr} = 2167,564 \text{ kN}$$

Esfuerzo Crítico

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad \sigma_{cr} = \frac{2167,564 \text{ kN}}{\frac{\pi}{4} (0,0444 \text{ m})^2 - \frac{\pi}{4} (0,0381 \text{ m})^2} \quad \sigma_{cr} = 5286741,4634 \text{ kN/m}^2$$

El factor de seguridad (Fs.) en este caso se calcula de la siguiente manera:

$$Fs = \frac{P_{cr}}{\text{Fuerza de extension}} \quad Fs = \frac{2167,564 \text{ kN}}{71,825 \text{ kN}} \quad Fs = 30,18$$

El espesor de cilindro móvil analizado se dio por la selección de los sellos comerciales de pistón, lo que hace que el factor de seguridad sea elevado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.3 Diseño cilindro telescópico de simple efecto

El conjunto de piezas y sellos del cilindro telescópico esta formado por cuatro piezas y 4 sellos. Cada cilindro esta unido al otro por medio de los sellos que impiden la fuga de aceite y por lo tanto de presión. El conjunto de piezas son las siguientes:

- Base y cilindro fijo
- Cilindro móvil
- Pistón
- Sellos

Diseño de la base y cilindro fijo.

El cilindro fijo consta de una base unida a un cilindro, que permite el ingreso y salida del fluido hidráulico, en el interior del cilindro fijo se alojan el cilindro móvil y el pistón. La unidad hidráulica ingresa fluido hidráulico por la base, este fluido desplaza el pistón y luego el cilindro móvil hasta llenar completa mente el interior de los dos cilindros huecos.

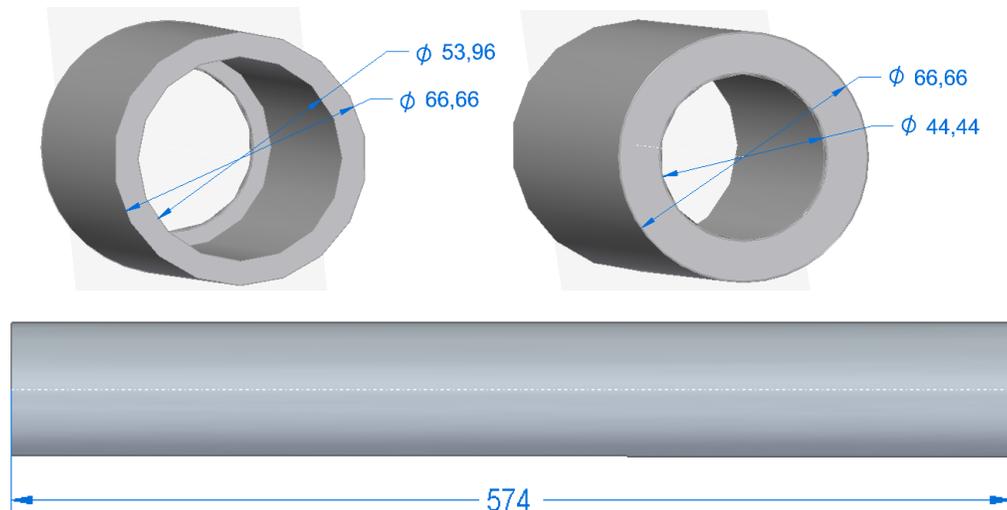


Figura 67. Cilindro fijo, Solid Edge ST8, Autores.

Este cilindro en su interior alojara los dos cilindros móviles, un cilindro hueco de 44,44 mm de diámetro externo y 38,1 mm interno y otro cilindro macizo de 31,74 mm. La base se une al cilindro fijo por medio de rosca, permitiendo el ingreso de fluido hidráulico al interior del sistema por medio de la unidad hidráulica.

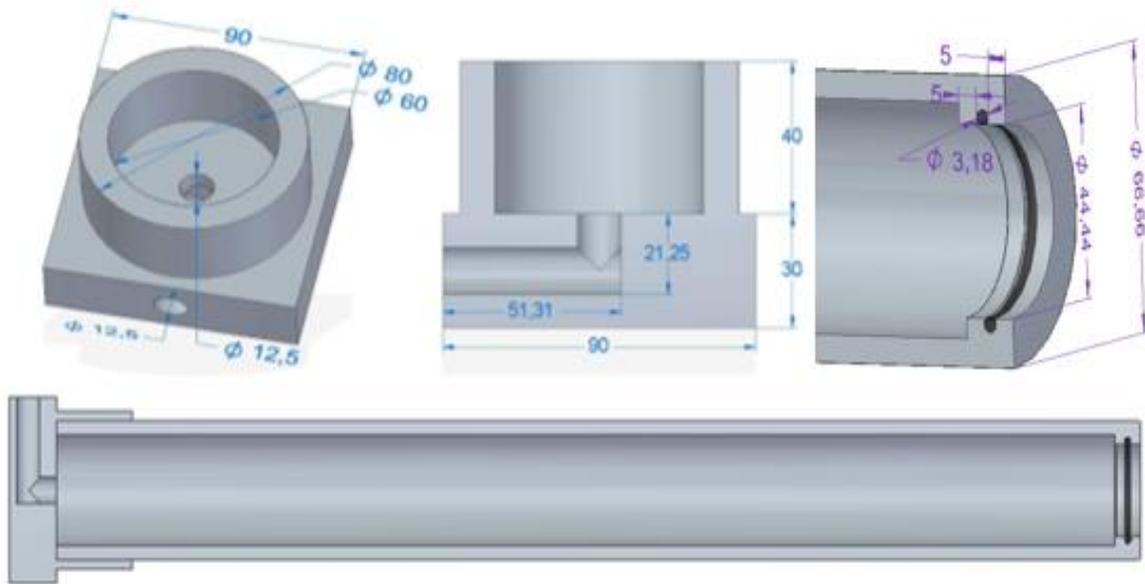


Figura 68. Cilindro fijo y base, Solid Edge ST8, Autores.

El cilindro fijo lleva un sello limpiador en el extremo contrario a la base. Se utiliza un sello comercial tipo o-ring, AS 568A SIZE A0031.

GMORS Match You Always!

<http://www.gmors.com>

AS 568A SIZE	NOMINAL (REF.) MEASUREMENTS IN INCHES			STANDARD O-RING MEASUREMENTS IN INCHES				METRIC O-RING MEASUREMENTS IN MILLIMETERS			
	ID	OD	CS	ID	±	CS	±	ID	±	CS	±
A0031	1 3/4	1 7/8	1/16	1.739	0.015	0.070	0.003	44.17	0.38	1.78	0.08

Tabla 7. Diámetros comerciales, Catalogo O-Ring AS 568A, <http://www.gmors.com>

Capacidad de aceite del cilindro fijo.

$$V = b * h = \left(\frac{\pi * (5,396 \text{ cm})^2}{4} \right) * (57 \text{ cm}) \quad V = 1303,492747 \text{ cm}^3$$

$$1303,492747 \text{ cm}^3 * \frac{0,001 \text{ litro}}{1 \text{ cm}^3} = 1,30349 \text{ litros}$$

Diseño cilindro hueco movil.

Según el cálculo del numeral 4.1.1, el diámetro interno del cilindro es de 1,5 pulgadas (38,1 mm). Se diseñó un cilindro de 40 mm de diámetro interno y 49,5 mm de externo, con una longitud de 574 mm, para una carrera del pistón de 536,29 mm.

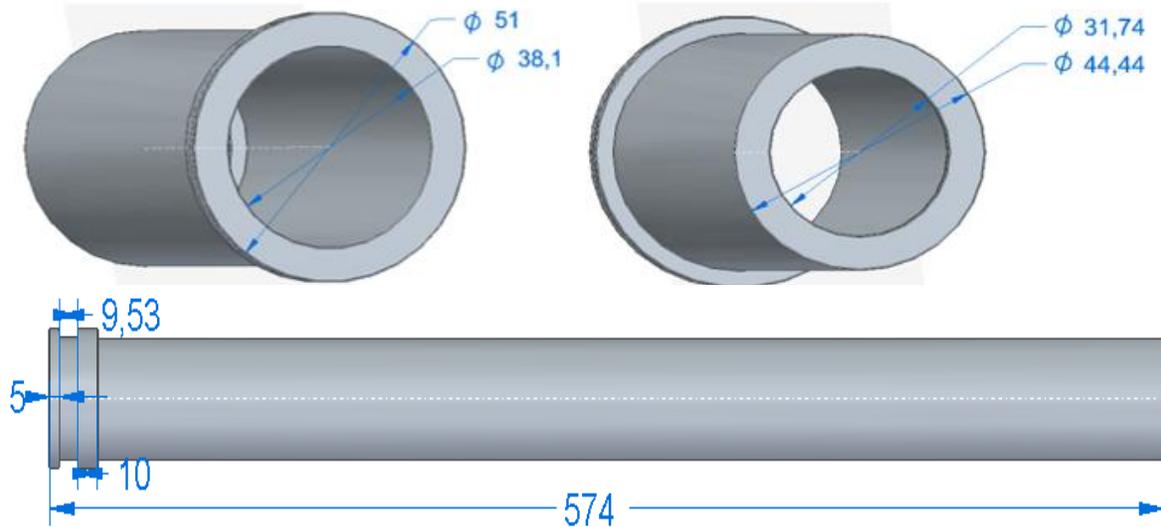


Figura 69. Cilindro hueco móvil, Solid Edge ST8, Autores.

El cilindro hueco móvil consta de:

- Dos guías de 51 mm de diámetro, para dar estabilidad al cilindro al momento de realizar la extensión o retracción.
- Un sello tipo U-Copas de varilla labial doble cargada de alto rendimiento, que va ubicado en medio de las dos guías.
- Un sello tipo oring, este sello cumple la función de limpiar y sellar.

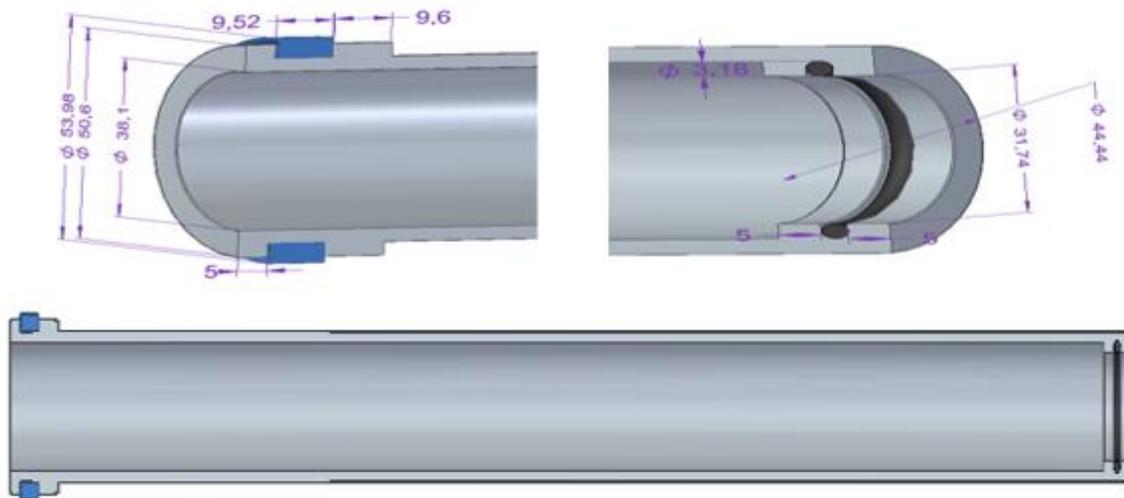


Figura 70. Cilindro hueco móvil, Solid Edge ST8, Autores.

Sello tipo U-Copas de varilla labial doble de alto rendimiento

La función principal de un sello de pistón es proveer la estanqueidad suficiente para mantener la presión hidráulica necesaria que hace mover al pistón; sin embargo, debe permitir una cierta

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

película de aceite para minimizar la fricción y el desgaste. La selección del sello de pistón adecuado para una aplicación dada depende principalmente de cómo opera el cilindro.

Para cilindros que son exclusivamente de simple efecto, es mejor seleccionar un sello diseñado para proporcionar cualidades de sellado óptimas para funciones de simple efecto, con la película lubricante más delgada posible que pueda pasar a través del área de contacto entre el sello y la superficie del tubo del cilindro.



Figura 71. U-Copas de varilla labial doble de alto rendimiento <http://www.theoringstore.com/>

Para el cilindro se selecciono el sello RTUL187-1.750-375B Rod U-Cups con labio doble de alto rendimiento 1-3 / 4 "ID X 2-1 / 8" OD X 3/16 "W 3/8" H, que utiliza una carcasa de poliuretano activada por una junta tórica flexible de alta especificación. Con cero o baja presión, la junta tórica ayuda a aumentar la fuerza de sellado evitando cualquier bypass. A medida que aumenta la presión, la fuerza de sellado aumenta y la junta tórica asegura el funcionamiento completo de los labios en la mayoría de las condiciones.

Sello tipo o-ring

Se selecciona un sello comercial AS 568A SIZE A0026.

GMORS *Match You Always!*

<http://www.gmors.com>

AS 568A SIZE	NOMINAL (REF.) MEASUREMENTS IN INCHES			STANDARD O-RING MEASUREMENTS IN INCHES				METRIC O-RING MEASUREMENTS IN MILLIMETERS			
	ID	OD	CS	ID	±	CS	±	ID	±	CS	±
A0026	1 1/4	1 3/8	1/16	1.239	0.011	0.070	0.003	31.47	0.28	1.78	0.08

Tabla 8. Diámetros comerciales, Catalogo O-Ring AS 568A, <http://www.gmors.com>

Capacidad de aceite cilindro hueco movil.

$$V = b * h = \left(\frac{\pi * (3,81 \text{ cm})^2}{4} \right) * (57 \text{ cm}) = 649,8523 \text{ cm}^3$$

$$649,8523 \text{ cm}^3 * \frac{0.001 \text{ litro}}{1 \text{ cm}^3} = 0,6498523 \text{ litros}$$

Capacidad total de aceite requerida por el cilindro telescopico.

Capacidad de aceite del cilindro fijo: 1,30349 litros
 Capacidad de aceite cilindro hueco movil: 0,64985 litros
 Capacidad total de aceite requerida: 1,95334 litros

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Según el numeral 4.1.4 Selección de la unidad hidráulica, esta trabaja con un volumen de aceite utilizable de 4 litros, por tanto el cilindro telescópico solo utiliza el 50% de la capacidad del aceite de la unidad hidráulica.

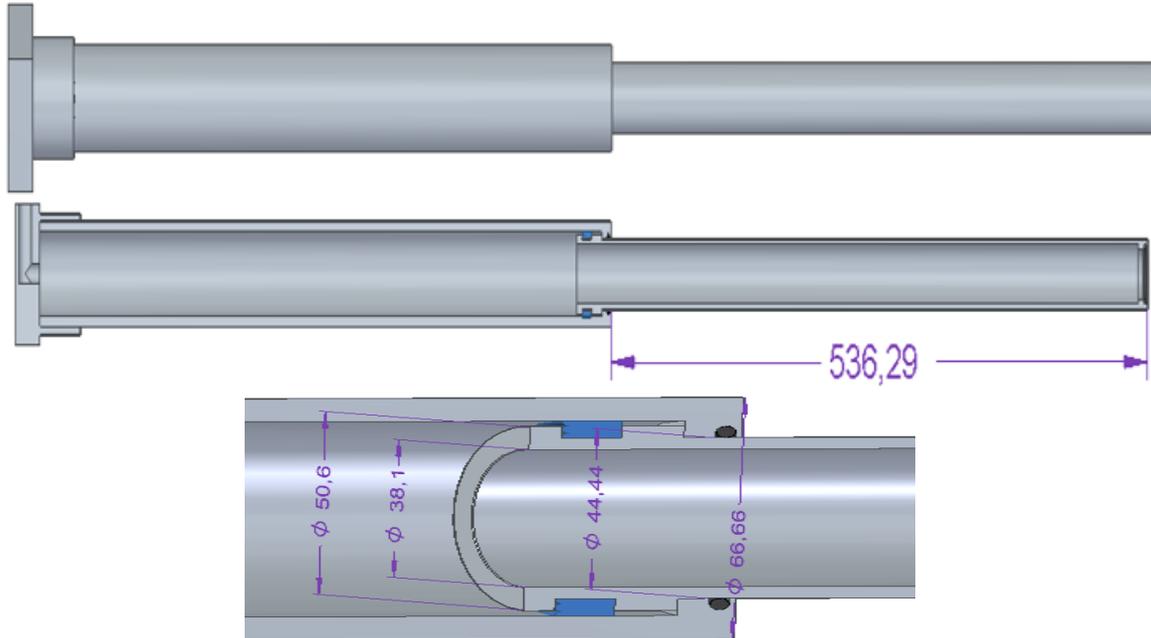


Figura 72. Ensamble cilindro fijo y cilindro hueco móvil, Solid Edge ST8, Autores.

Diseño cilindro macizo o pistón

Este cilindro macizo de 31,74 mm de diámetro, 570 mm de longitud y 539,43 mm de carrera. Se encuentra en el interior del cilindro móvil hueco. Al momento de ejercer presión en el cilindro telescópico por medio de la unidad hidráulica, este pistón será el primero en salir hasta completar la carrera y forzar la salida del cilindro móvil para muestras de tubos shelby, en el caso de muestras de cilindro de compactación será el único en salir del conjunto de cilindros que conforman el telescópico.

Este pistón también contiene dos guías y un sello en la parte inferior que cumplen la misma función que en el cilindro móvil.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

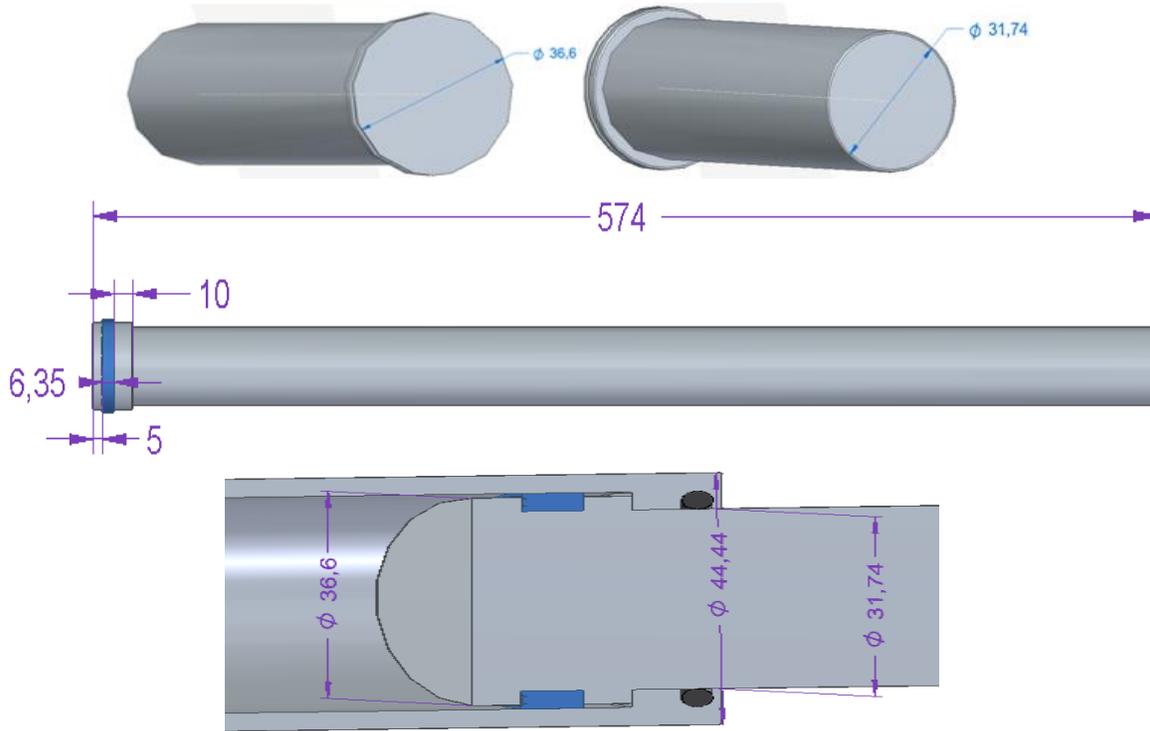


Figura 73. Pistón y/o vástago, Solid Edge ST8, Autores.

Sello tipo U-Copas de varilla labial doble de alto rendimiento

Para el cilindro macizo o pistón se seleccionó el sello RTUL125-1.250-250B Rod U-Cups con labio doble de alto rendimiento, 1.250 "ID X 1.500" OD X .125 "CS X .250" H.

Cilindro telescópico.

Una vez diseñado cada componente de cilindro telescópico y seleccionado los sellos, se procede a ensambla cada componente en su lugar. El cilindro completamente extendido tendrá una altura de 1,679 metros y retraído de 0,599 metros, con una carrera para extraer las muestras de 1,081 metros.

Para las tolerancias el ajuste que se toma para el cilindro es H8/f7 ajustes tomados y calculado de DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Octava edición se encuentran las tolerancias para cada uno de los cilindros telescópico hidráulicos.

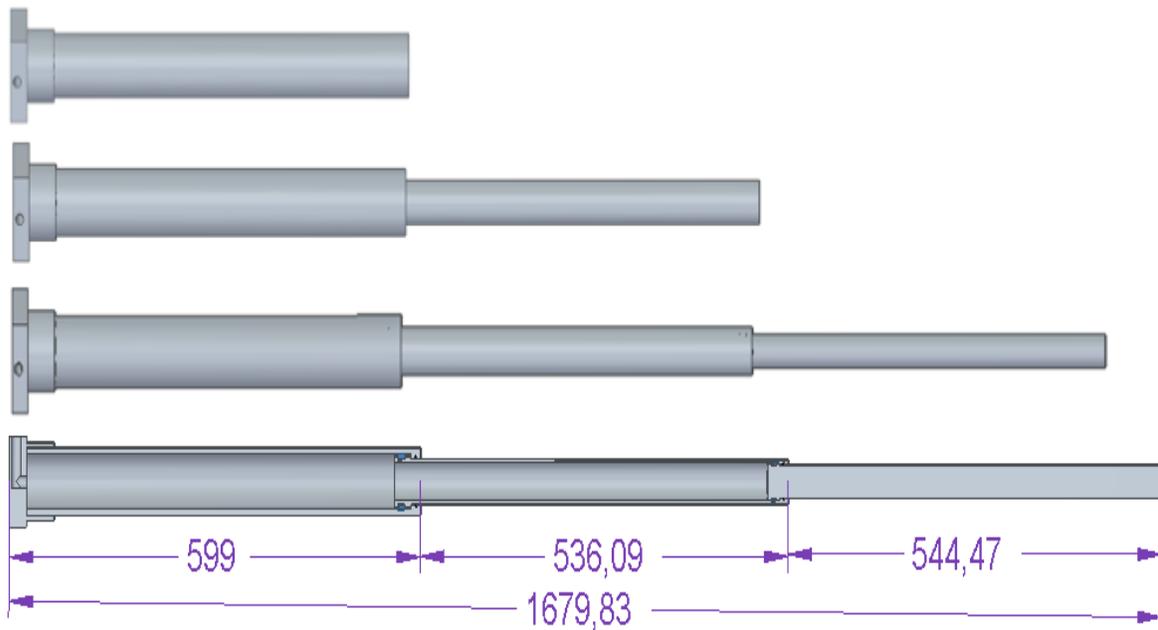


Figura 74. Cilindro telescópico, Solid Edge ST8, Autores.

Se realiza un análisis mediante el software ansys de resistencia a la tensión simulando su máximo esfuerzo que será de 50000 N

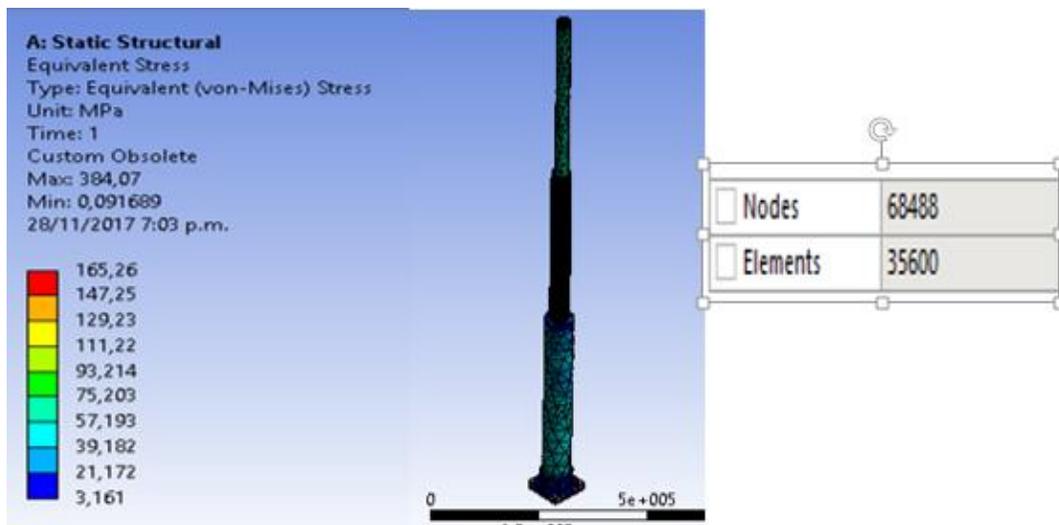


Figura 75. Resultados del análisis con las cilindro (von-mises), Ansys 18.1, Autores.

Como se puede apreciar en la imagen se tenemos un esfuerzo máximo y un esfuerzo mínimo que en la imagen se nos presenta como negativos pero que en realidad lo que nos está indicando es la dirección del vector, el máximo esfuerzo principal se nos presenta en la unión entre el cilindro móvil y el cilindro superior macizo pero no superando la resistencia del material.

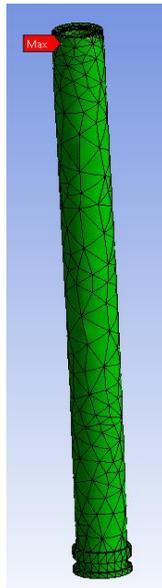
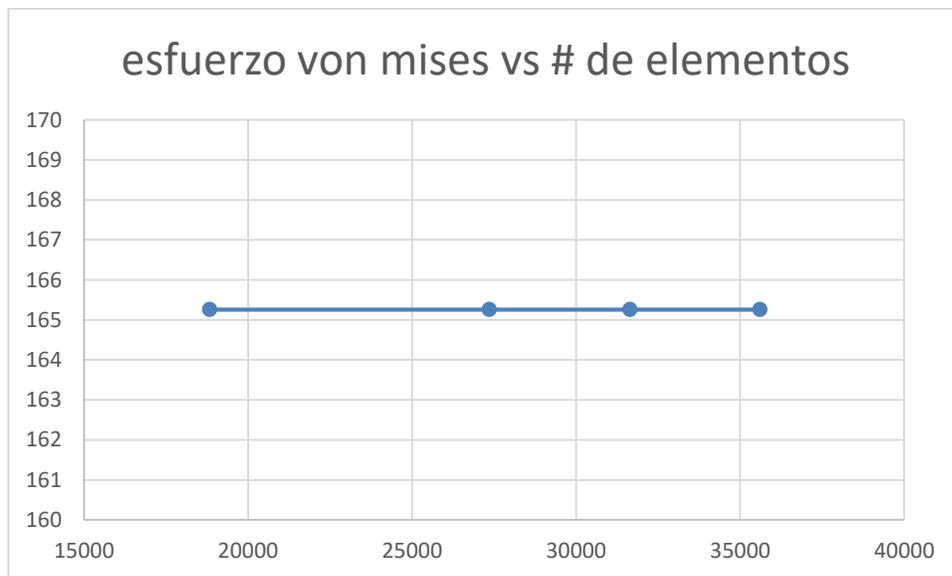


Figura 76. Resultados del análisis del cilindro móvil, Ansys 18.1, Autores.

A continuación se realiza el análisis del cilindro simulando su máximo esfuerzo al cual va estar sometido arrojando los siguientes datos positivos para el diseño ya que sus esfuerzos equivalentes von mises no superan a los que resiste el materia.



Grafica 1. analisis del cilindro

4.1.4 Selección de la unidad hidráulica

En el mercado existe una gran variedad de unidades hidráulicas, las cuales generan diferentes presiones y capacidad de almacenamiento del fluido hidráulico. Para la selección de la unidad hidráulica tenemos en cuenta que la presión de operación sea lo suficiente para alcanzar las 5

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

toneladas fuerza para extraer la muestra y la capacidad de almacenamiento del fluido, supere el volumen del cilindro y las mangueras de conexión y demás accesorios.

La serie HPE 103 de electrobombas hidráulicas de dos etapas es adecuada para generar la presión hidráulica para extraer la muestra. Son unidades hidráulicas con motor eléctrico monofásico de 110 o 240 Voltios. Ofrecen además válvulas de control manuales o eléctricas de 2,3 ó 4 vías con características adicionales disponibles como diseños de válvulas de centro abierto, centrado cerrado y válvulas de bloqueo.

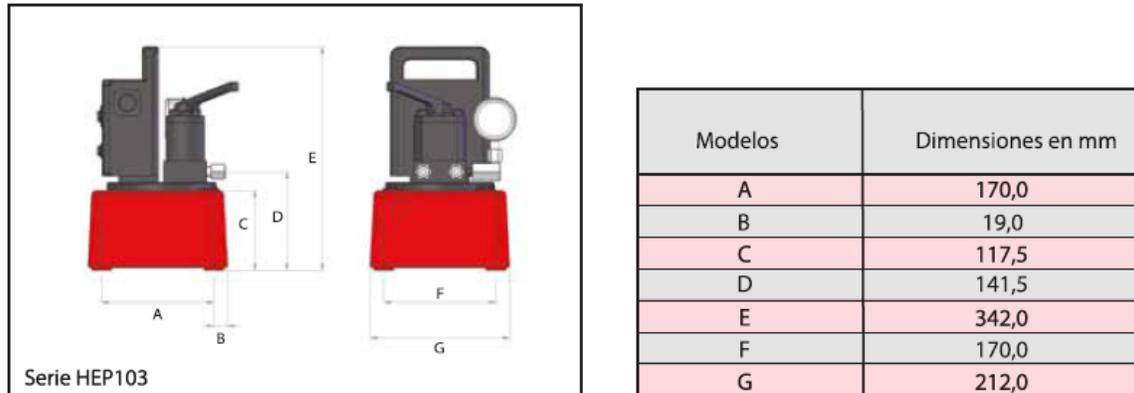


Figura 77. Electrobomba HI FORCE serie HEP 103, <http://www.ciedecolombia.com/productos/bombas-hidraulicas/>

La presión máxima de trabajo es de 700 bares (70 MPa) con cambio automático de baja presión a alta presión. Todos los modelos se suministran completos con un manómetro hidráulico de glicerina un depósito lleno de 4 litros de aceite utilizable con un indicador visual de nivel de aceite y un asa de transportadora integrada para el fácil transporte de estas bombas ligeras, compactas y versátiles al lugar donde deban utilizarse.

La unidad hidráulica marca HI FORCE de referencia HEP 103041, es la adecuada para el sistema de aplicación de carga, la cual tiene la siguiente especificación:

Modelo número	Tensión motor	Presión máxima	Máxima velocidad de caudal l/min		Presión de cambio	Función de control remoto	Vol. De aceite utilizable	Peso
			1ª Etapa	2ª Etapa				
HEP103041	110V 1 Ph	700 bar	2,5	0,35	150 bar	motor on/off	4 litros	18,1 kg

Tabla 9. Ficha técnica electrobomba, Marca HI FORCE, Cotización DC-20255 CIE DE COLOMBIA S.A.S

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 78. Electrobomba Marca HI FORCE, Cotización DC-20255 CIE DE COLOMBIA S.A.S

4.2 DISEÑO DE SISTEMA DE SUJECIÓN PARA LOS CILINDROS Y TUBOS SHELBY.

El sistema de sujeción se denominará “Cabezal”, donde se instalará las mordazas, espira y manigueta.

4.2.1 Base cabezal

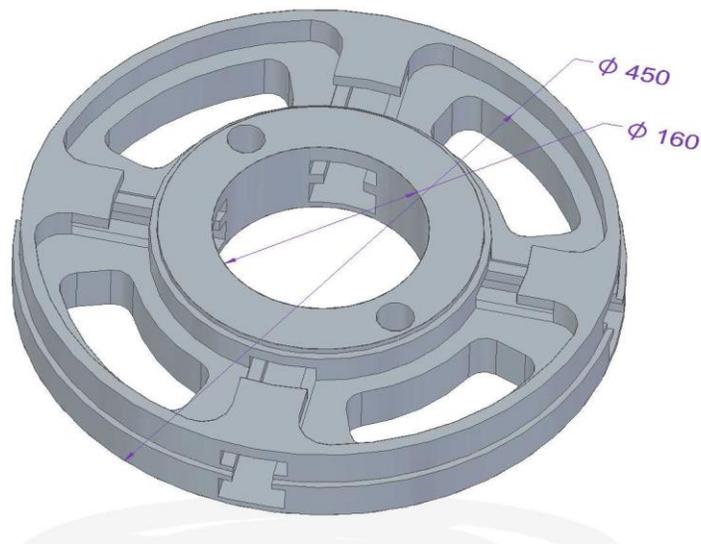


Figura 79. Base cabezal, Solid Edge ST8, Autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La base del cabezal es de forma cilíndrica, cuenta con las siguientes características:

- 450 mm de diámetro externo.
- 160 mm de diámetro interno.
- 60 mm de espesor.
- Cuatro orificios o cavidades perpendicularmente, para alojar las mordazas.
- Dos orificios roscados para subir a bajar el cabezal, mediante el tornillo de potencia.

4.2.2 Mordazas

Las mordazas son cuatro elementos de acero estructural, las cuales cumplen la función de sujetar y centrar los diferentes diámetros de tubos shelby y cilindros de compactación. Estas mordazas sujetan cilindro desde 6 pulgadas a 2 pulgadas, este rango es suficiente para los diferentes diámetros de los shelby y cilindros.

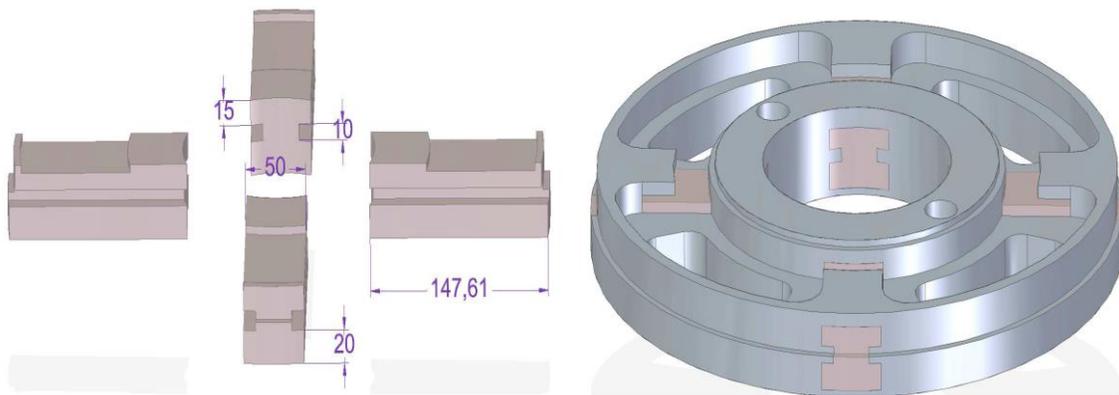
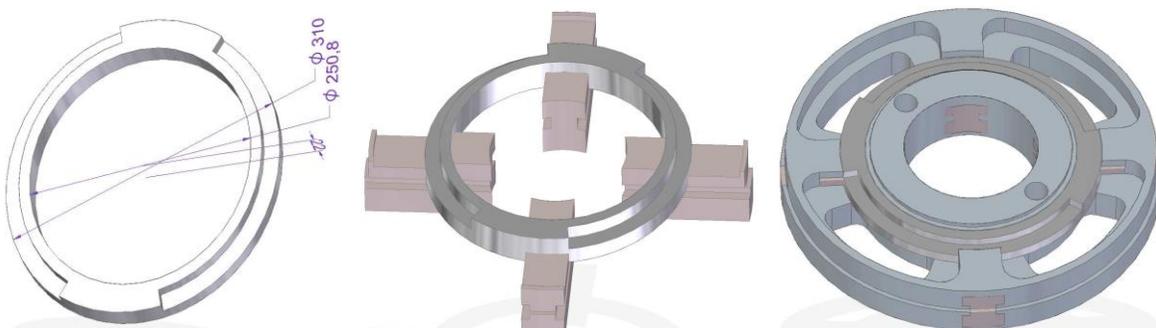


Figura 80. Mordazas y base del cabezal, Solid Edge ST8, Autores.

Las mordazas en la parte superior constaran de una rosca en espiral para controlar y forzar la salida de las mismas. Las mordazas saldrán de la base uniformemente, a la misma velocidad y mismo recorrido, hasta chocar y sujetar el cilindro o shelby.

4.2.3 Espira

La espira es un aro diámetro interno de 250.8 mm, 310 mm de diámetro externo y una altura de 22 mm. En la parte inferior de la espira existe una rosca en forma de espira que hace contacto con las mordazas que tienen el mismo tipo de rosca y paso de la misma. En la cara superior existe dos pestañas que al entrar en contacto con el gira de la manivela hace girar la espira.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 81. Espira, mordazas y base, Solid Edge ST8, Autores.

4.2.4 Manigueta

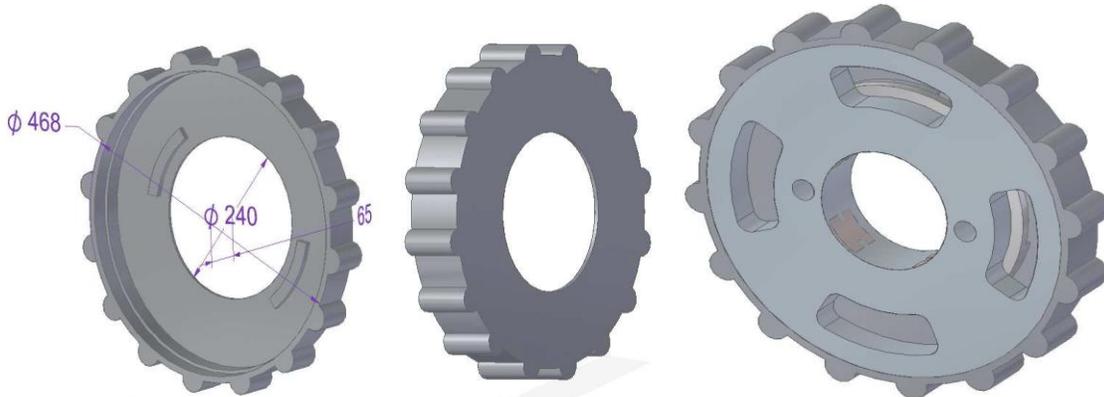


Figura 82. Manigueta, Solid Edge ST8, Autores.

4.2.5 Cabezal

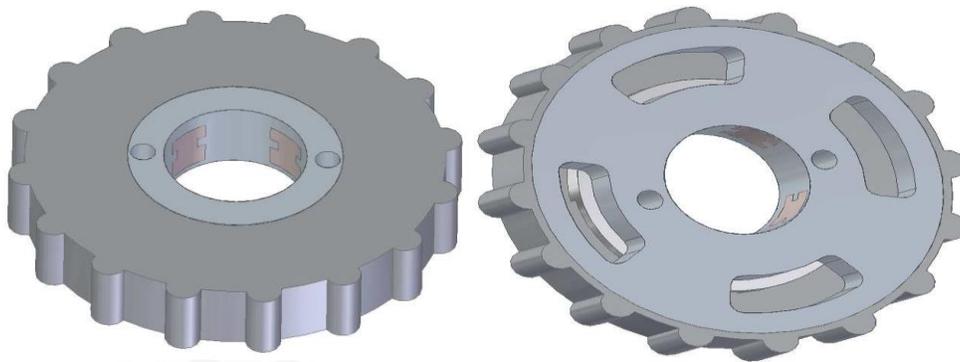


Figura 83. Cabezal, Solid Edge ST8, Autores.

Análisis de esfuerzos del cabezal en el programa Ansys 18.1

Se le realiza un análisis al cabezal poniendo como parte fija la manigueta y el porta-espira que por donde van guiadas las mordazas y se le aplica una carga a la cara frontal de las mordazas de 50000 N dividida entre las 4 mordazas del cabezal. Se le realiza un mallado al cabezal con parámetros por defecto y relevancia igual a 100 para obtener un resultado más preciso y se le calcula su resistencia máxima a partir del esfuerzo máximo de Von-Mises.

Primero se analiza con las mordazas a 2 pulg por fuera del cabezal se le aplica la carga y los resultados son:

- Tensión max. 207,77 Mpa
- tensión min. 1,83336 Mpa

El cálculo se le realiza con acero estructural A-36 que tiene una resistencia a la fluencia de 250 Mpa, con estos resultados hallamos el factor de seguridad.

$$F_s = \frac{\text{resistencia de fluencia}}{\text{fuerza equivalente von-mises}} \quad F_s = \frac{250\text{Mpa}}{207,77\text{Mpa}} \quad F_s = 1,203$$

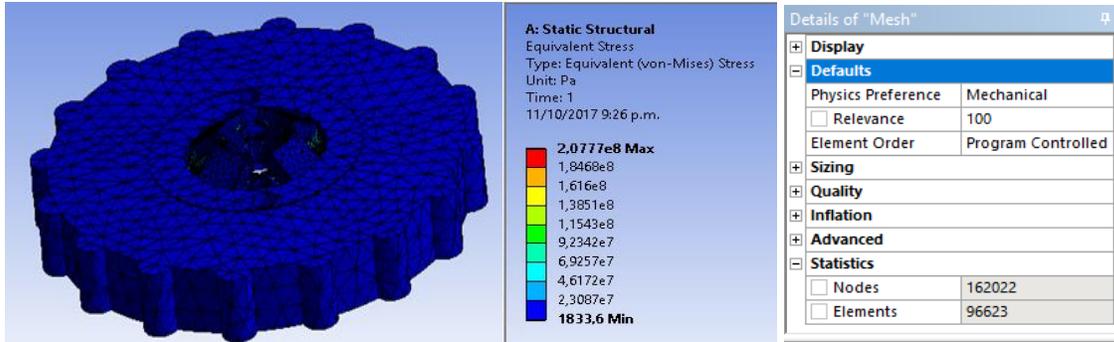


Figura 84. Análisis del Cabezal, con mordazas una pulgada por fuera, ANSYS 18.1, Autores.

Se analiza el cabezal con las mordazas con una pulgada por fuera. Se le realiza un mallado de 96449 elementos para analizar y se obtiene que:

- Tensión max 85,797 Mpa
- Tensión min 1,6689Mpa
-

Con estos resultados obtenidos hallamos el factor de seguridad

$$F_s = \frac{\text{resistencia de fluencia}}{\text{fuerza equivalente von-mises}} \quad F_s = \frac{250\text{Mpa}}{85,797\text{Mpa}} \quad F_s = 2,913$$

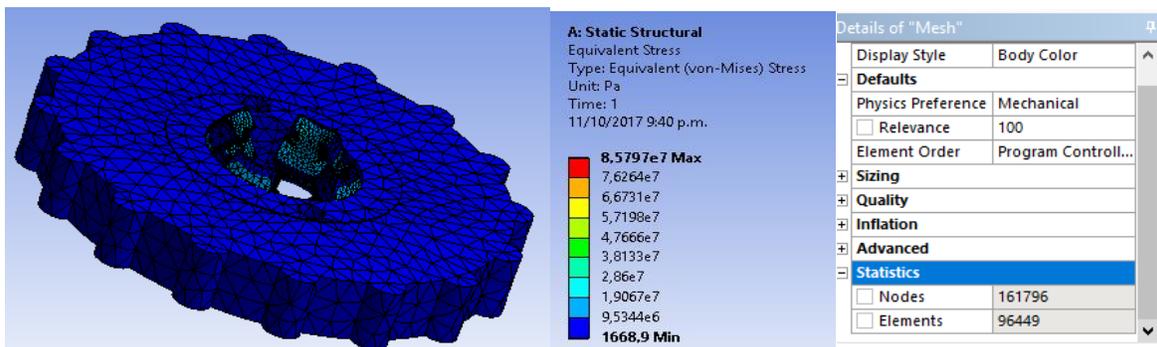


Figura 85. Análisis del Cabezal, con mordazas dos pulgadas por fuera, ANSYS 18.1, Autores.

4.3 DISEÑO DE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE SUJECIÓN, SEGÚN LA LONGITUD DEL CILINDRO O TUBO SHELBY A EXTRAER

4.3.1 Cálculo del tornillo de potencia

Para este diseño se opta por emplear un sistema de tornillo de potencia por su alta resistencia mecánica y su gran capacidad de carga. Para este diseño, los tornillos de potencia serán sometidos a una fuerza de compresión de 56,6 kg y a otra de tensión de 50kN.

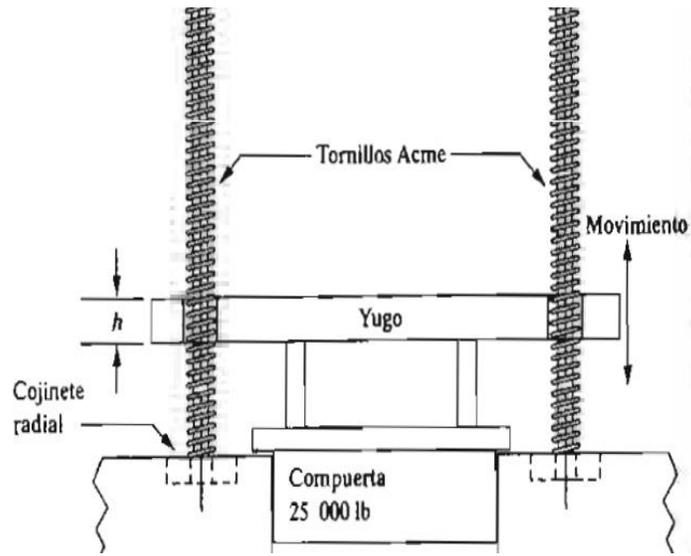


Figura 86. Sistema impulsado por tornillo Acme para subir y bajar una compuerta, Robert L. Mott, 2006.

El sistema constara de dos tornillos de potencia con rosca Acme, con las siguientes características:

- Diámetro externo (Dex) = 1 1/8'' (28.575mm).
- Numero de rosca n = 5 roscas por pulg.
- Paso de p = 0,200'' (5,08mm).
- Diámetro medio (Dm) = 0,9967'' (25,3161 mm).
- F = 56.6 kg teniendo en cuenta que son dos tornillos los que van a soportar la carga la F es dividida en dos F = 28,3 kg
- Coeficiente de fricción = 0,15 (superficie lubricada)

Para el caso de un tornillo de filete sencillo, el avance es igual al paso lo cual se puede ver en siguiente la tabla o calcular $L = p = 1/n$.

Diámetros preferidos para roscas Acme						
Diámetro mayor nominal, D (pulg)	Roscas por pulg, n	Paso, p = 1/n (pulg)	Diámetro menor mínimo, D _r (pulg)	Diámetro mínimo de paso, D _p (pulg)	Área al esfuerzo de tensión, A _t (pulg ²)	Área al esfuerzo cortante, A _s (pulg ²) ²
1 1/8	5	0.2000	0.8753	0.9967	0.6881	1.722

Tabla 10. Diámetros preferidos para roscas Acme, Robert L. Mott, 2006.

Los tornillos estarán sometidos a dos tipos de torque, uno para hacer ascender y otro para descender la carga, por lo cual aplicamos las siguientes formulas:

Torque necesario para mover la carga rosca arriba:

$$T = \frac{F \cdot D_p}{2} \left(\frac{\cos \alpha \cdot \tan \beta + f}{\cos \alpha - f \cdot \tan \beta} \right)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Donde $\tan\beta = L/(\pi Dp)$

$$\beta = \tan^{-1}(0,00508/\pi * 0,02531) \quad \beta = 3,6556$$

β es el ángulo de avance (ángulo que forma la tangente a la hélice de la rosca y el plano transversal).

Dado que $f > \tan(\beta)$, el tornillo es autobloqueante (0,15 vs 0,0639 respectivamente).

Teniendo ya el valor de beta hallamos el torque necesario para subir la carga

$$T = \frac{28,3\text{kg} \cdot 0,0253161\text{m}}{2} \left(\frac{\cos(14,5) \cdot \tan(3,6556) + 0,15}{\cos(14,5) - 0,15 \cdot \tan(3,6556)} \right) \quad T = 0,0787\text{kg} - \text{m}$$

Convertimos en lb-pulgadas para poder hallar el potencia necesaria para la elevación de la carga y a N – m para para calcular su resistencia mecánica y su factor de seguridad

$$T = 0,0787\text{kg} - \text{m} * \frac{86,79\text{lb-pulg}}{1\text{kg-m}} = 6,8308\text{lb} - \text{pulg}$$

$$T = 6,8308\text{lb-pulg} * \frac{0,113 \text{ N-m}}{1 \text{ lb-pulg}} = 0,771686 \text{ N-m}$$

Par torsional para mover la carga rosca abajo:

$$T = \frac{F * Dp}{2} \left(\frac{f - \cos\alpha * \tan\beta}{\cos\alpha + f * \tan\beta} \right)$$

$$T = \frac{28,3\text{kg} \cdot 0,0253161\text{m}}{2} \left(\frac{0,15 - \cos(14,5) * \tan(3,6556)}{\cos(14,5) + 0,15 * \tan(3,6556)} \right) = 0,0322 \text{ kg} - \text{m}$$

Convertimos kg-m a lb-pulg :

$$T = 0,0322\text{kg-m} * \frac{86,79\text{lb-pulg}}{1\text{kg-m}} \quad T = 2,8 \text{ lb-pulg}$$

Y luego convertimos de lb-pulg a N – m:

$$T = 2,8 \text{ lb-pulg} * \frac{0,113 \text{ N-m}}{1 \text{ lb-pulg}} \quad T = 0,317 \text{ N-m}$$

Se desea que el sistema tarde se demore un minuto en subir el cabezal a lo largo del tornillo que será de 1 m el recorrido del cabezal para llegar a lo más alto.

Teniendo en cuenta el tornillo tiene 5 roscas x pulg entonces la carga se moverá 1/5 de pulg en cada revolución: $0,2 \text{ pulg} * \frac{0,0254\text{m}}{1\text{pulg}} = 5,08 \times 10^{-3}\text{m}$

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$N = 1 \frac{m}{\text{min}} * \frac{1 \text{ rev}}{5,08 \times 10^{-3} m} \quad n = 196,85 \text{ rpm}$$

Luego hallamos la potencia que requiere el sistema para mover su mayor torque formula extraída del libro de Robert L Mott diseño y elementos de maquinas

$$P = \frac{Tn}{63000} \quad P = \frac{6,830 \text{ lb-pulg} * 196,85 \text{ rpm}}{63000} \quad P = 0,0213 \text{ HP}$$

Multiplicamos por este resultado por 2 ya que el motor moverá dos tornillos de potencia para elevar la carga

$$P_{\text{total motor}} = 0,0213 * 2 \rightarrow P_{\text{total motor}} = 0,0426 \text{ HP}$$

Después de obtenidos los resultados de la potencia necesaria para elevar una carga con los tornillos de potencia procesemos a analizar su resistencia máxima con el método de Von-Mises para lo cual usamos la fórmula:

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma(x)^2 + \sigma(y)^2 - \sigma(x) * \sigma(y) + 3\tau(xy)^2)}$$

$$\text{donde: } d_r = d - p = 28,575 - 5,08 = 23,495 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d r^3} = \frac{(16)(0,771686 \text{ N-m})}{\pi \left(\frac{23,495 \text{ m}}{1000}\right)^3} \quad \tau = 0,303 \text{ MPa}$$

$$\sigma(x) = \frac{6F}{\pi d_r n_t p}$$

Algunos experimentos muestran que la primera rosca en contacto soporta 0.38 de la carga, la segunda 0.25, la tercera 0.18 y la séptima está libre de carga. Al estimar los esfuerzos de las tuercas con las ecuaciones anteriores, sustituyendo 0.38F por F y haciendo nt igual a 1, se obtendrá el nivel máximo de esfuerzos en la combinación rosca-tuerca:

$$\sigma(x) = \frac{6(0,38)F}{\pi d_r n_t p} \quad \sigma(x) = \frac{(6)(0,38) * (0,28 \text{ kN}) 10^3}{\pi (23,495)(1)(5,08)} \quad \sigma(x) = 1,705 \text{ MPa}$$

Sabiendo que solo existen esfuerzos cortantes sobre el eje x la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\sigma' = \sqrt{(1,705^2 + 0^2 - 1,705 * 0 + 3(0,305)^2)} \quad \sigma' = 1,784 \text{ Mpa}$$

Obtenido el esfuerzo cortante bajo el método de von mises procedemos a hallar el factor de seguridad

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad N = \frac{250}{1,784} \quad N = 140,134$$

El factor de seguridad es sobre-dimensionado, pero se escoge el tornillo por ser una pieza comercial y de fácil adquisición.

4.3.2 Cálculo de bandas y poleas

De acuerdo con el procedimiento a seguir sugerido en el libro de Robert L Mott “diseño y elementos de máquinas”, se identifica la velocidad a la cual operara el sistema de la polea conducida que para este caso es de 196,85rpm y se halló la velocidad de la polea motriz para realizar la selección del motor o en nuestro caso motor reductor.

El equipo trabajará aproximadamente 15h por día y sabiendo que la potencia que consumirá el tipo de impulsor para elevar su carga será de 0,0426HP. Esa potencia la multiplicamos por el factor de servicio que en este caso va ser 1.2 y nos da por resultado la potencia de diseño.

Tipo de máquina impulsada	Motores de CA: par torsional normal ² Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3

Tabla 11. Factor de servicio. Robert L. Mott diseño y elementos de maquinas

Potencia de diseños es igual a

$$P_d = P_m \times f_s \quad P_d = 0,0426 \text{ HP} * 1,2 \quad P_d = 0,05112 \text{ HP}$$

teniendo ya la potencia de diseño y la potencia de la polea menor y en nuestro caso polea motriz procedemos a seleccionar el paso de la correa:

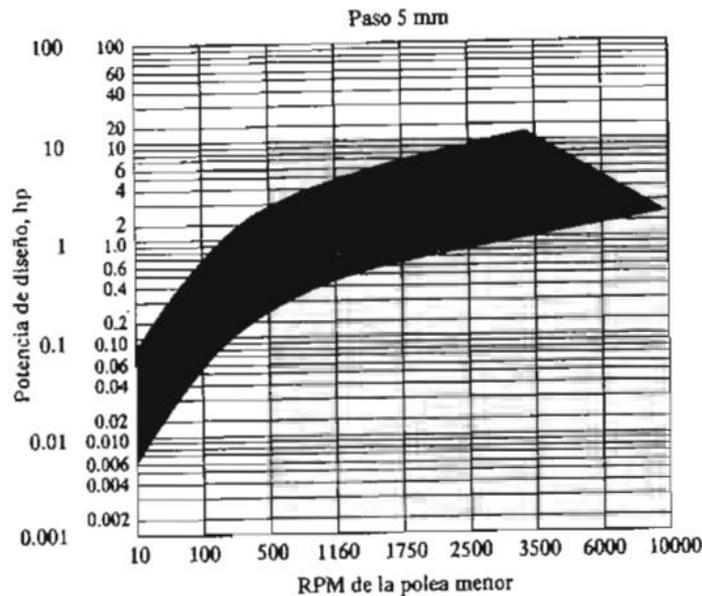


Tabla 12. Guía para la selección del paso de bandas sincronas Robert L. mott

Ya escogiendo el paso de la banda, procedemos a seleccionar los diámetros de la polea basándonos en la tabla de un fabricante de bandas síncronas para transmisión de potencia.

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
15	22,73	36,81		
16	24,32	39,36		
17	25,92	41,91		
18	27,51	44,45	77,56	
19	29,10	47,00	82,00	
20	30,69	49,54	86,47	
21	32,28	52,00	90,93	
22	33,87	54,64	95,37	135,76
23	35,47	57,20	99,83	142,12
24	37,06	59,74	104,29	148,49
25	38,65	62,28	108,75	154,85
26	40,24	64,85	113,20	161,22
27	41,83	67,39	117,66	167,59
28	43,42	70,08	122,12	173,95
29	45,01	72,62	126,57	180,32
30	46,61	75,13	130,99	186,69
31	48,20	77,65	135,46	193,05
32	48,79	80,16	139,88	199,42
33	51,38	82,68	144,35	205,78
34	52,97	85,22	148,79	212,15
35	54,56	87,76	153,24	218,52
36	56,16	90,30	157,68	224,88
37	57,75	92,85	162,13	231,25
38	59,34	95,39	166,60	237,61
39	60,93	97,94	171,02	243,98
40	62,52	100,49	175,49	250,35
41	64,11	103,03	179,92	256,71

http://www.intermec.com.co/pdf/tabla_diametros_poleas_sincronicas.pdf

Tabla 13. Diámetros de poleas dentadas para correas síncronas

Basados en la tabla anterior para seleccionar el paso para la correa síncrona y se escoge el paso de 5mm. Después de seleccionar el paso paraseamos a escoger la polea basándonos en las tablas y se escoge para el motor impulsor una polea de 38,3mm y para el lado conducido 60,93mm diámetro externo. Se escogen estas poleas por su fácil adquisición en el mercado.

Aplicándole los cálculos con las propiedades conocidas encontramos que:

$$D_1 \cdot n_1 = D_2 \cdot n_2 \rightarrow 38,65\text{mm} \cdot n_1 = 60,93\text{mm} \cdot 196,85 \text{ rpm}$$

$$n_2 = \frac{60,93\text{mm} * 196,85\text{rpm}}{38,65\text{mm}}$$

$$n_1 = 310,325 \text{ rpm}$$

Teniendo ya las dimensiones de las poleas hallamos la longitud de la banda. La distancia entre centros tentativa:

$$D_2 < C < 3(D_1 + D_2) \quad 60,93 < C < 3(38,65+60,93) \quad 60,93 < C < 298,74$$

Ya plasmado los limites tomamos una distancia tentativa de la distancia entre poleas guiándonos por el diseño en Solid Edge hallamos la distancia entre diagonal entre los centros

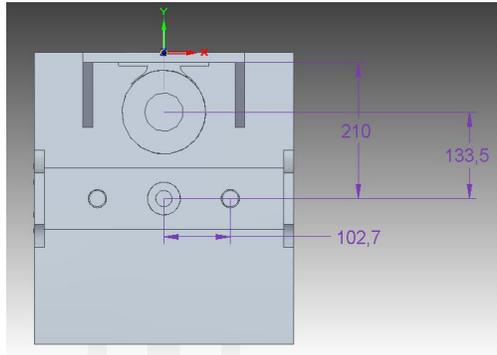


Figura 87. Diagonal entre centros, Solid Edge ST8, Autores

$$h^2 = \sqrt{a^2 + b^2} \quad h = \sqrt{102,7^2 + 133,5^2} \quad h = 168,4 \text{ mm}$$

Conociendo la distancia que se tiene de se le da un valor a la distancia entre centro Se toma $C = 164\text{mm}$. La longitud de la banda está dada por la ecuación:

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

$$L = 2 * 164\text{mm} + 1.57(60,93\text{mm} + 38,65\text{mm}) + \frac{(60,93\text{mm} - 38,65\text{mm})^2}{4 * 164\text{mm}}$$

Convertimos mm a pulg $L = 492,486\text{mm} \times \frac{1''}{25,4\text{mm}} \rightarrow L = 19,38''$

Teniendo en cuenta esta longitud nos vamos a la tabla de referencia de correa y escogemos la más aproximada a nuestro resultado que para este caso se escoge la correa de referencia 500-5M-15



CORREAS 5M (PASO 5mm)

Referencia	No. de Dientes	Longitud (mm)	Pulg.
500-5M-9	100	500	19,69
500-5M-15	100	500	19,69
500-5M-25	100	500	19,69

http://www.intermec.com.co/pdf/correas_sincronicas.pdf

Tabla 14. referencias de correas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.4 DISEÑO DE ESTRUCTURA DEL EQUIPO SEGÚN EL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA SELECCIONADO.

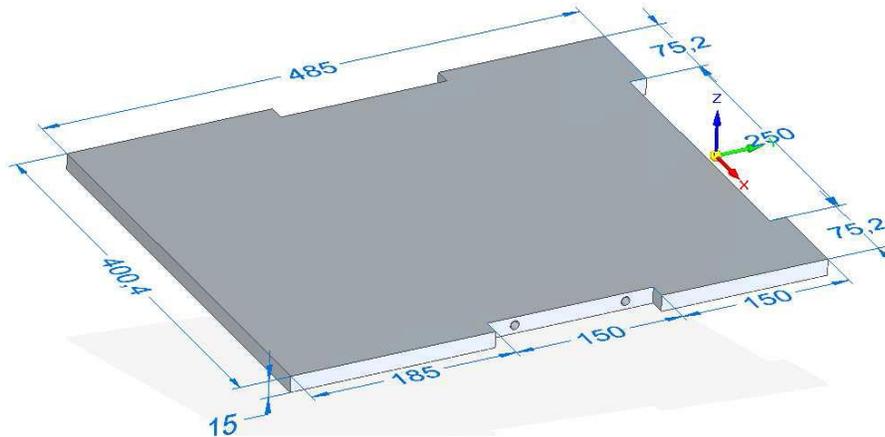


Figura 88. Placa base, Solid Edge ST8, Autores

En la figura anterior se muestra la base de la estructura donde irán soportado todos los sistemas del extractor que se diseñó, sistema hidráulico tanto la bomba como el cilindro telescópico, la base del motor del sistema de posicionamiento y las bases laterales, que irán sujetas a los lados con tornillos de 8 mm de diámetro.

La placa tiene unas dimensiones de 400,4mm x 485 mm x 15mm; esta medida está dividida por unas entradas donde se ajustarán las diferentes bases.

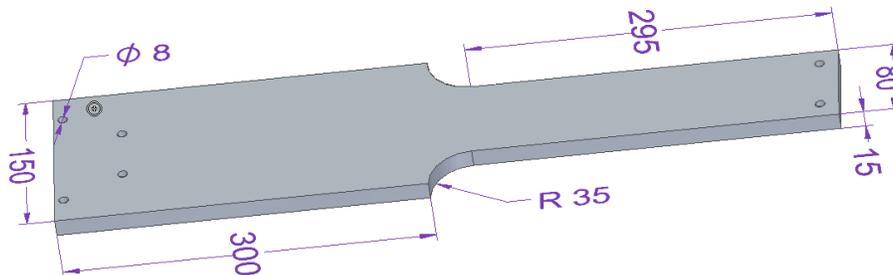


Figura 89. Lateral base, Solid Edge ST8, Autores

En la anterior figura se muestra la base lateral, donde se va instalar un par de guías para alinear los tornillos de potencia. Esta placa tiene una forma de tabla con un extremo más delgado que el otro.

Lado ancho: 150mm

Lado delgado 80mm

Largo total: 630mm

Y tiene en sus extremos unos orificios por donde pasan los tornillos que lo sujetan a la base y a sus ves sujetan las guías de los tornillos.

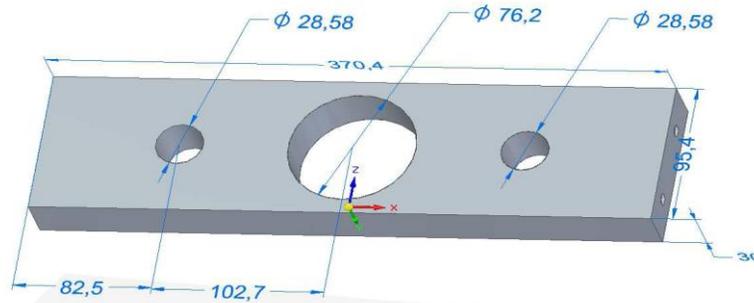


Figura 90. Soporte ejes inferior, Solid Edge ST8, Autores

Este soporte inferior es donde estarán ubicados dos rodamientos cónicos para los tornillos de potencia en la parte inferior tiene un largo de 370,4 mm y un ancho de 30mm. Esta tiene 3 orificios por donde pasaran los tornillos de potencia y la base del cilindro telescópico en sus extremos tiene de a dos orificios de los cuales ira sujeta a las bases laterales.

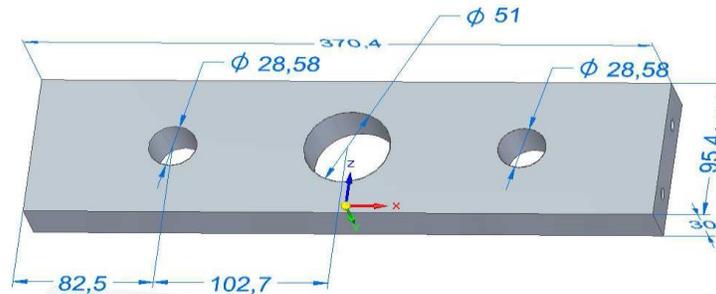


Figura 91. Soporte ejes superior, Solid Edge ST8, Autores

El soporte superior cumple la función de soporte y de guía para tener alineador a los tornillos de potencia y el cilindro telescópico en los orificios de los tornillos de potencia irán ubicados 2 rodamientos de 28,575mm de diámetro interno y el orificio del medio tendrá un diámetro de 51mm por donde pasara el cilindro.

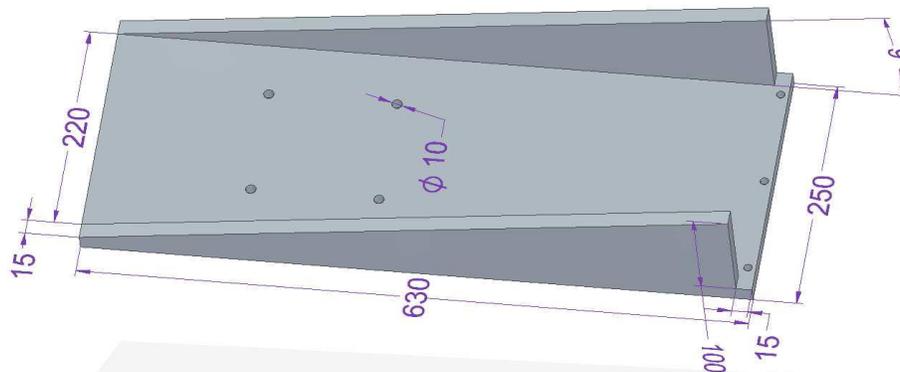


Figura 92. Soporte motor base, Solid Edge ST8, Autores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La base del motor estará sujeta a la base del extractor por medio de tres tornillos en su parte inferior tiene una altura de 630mm y un ancho de 250 la base tiene un espesor de 15mm y los orificios para los tornillos tienen un diámetro de 10mm. Esta base también cumple funcionara de soporte para la tapa de la base del extractor.

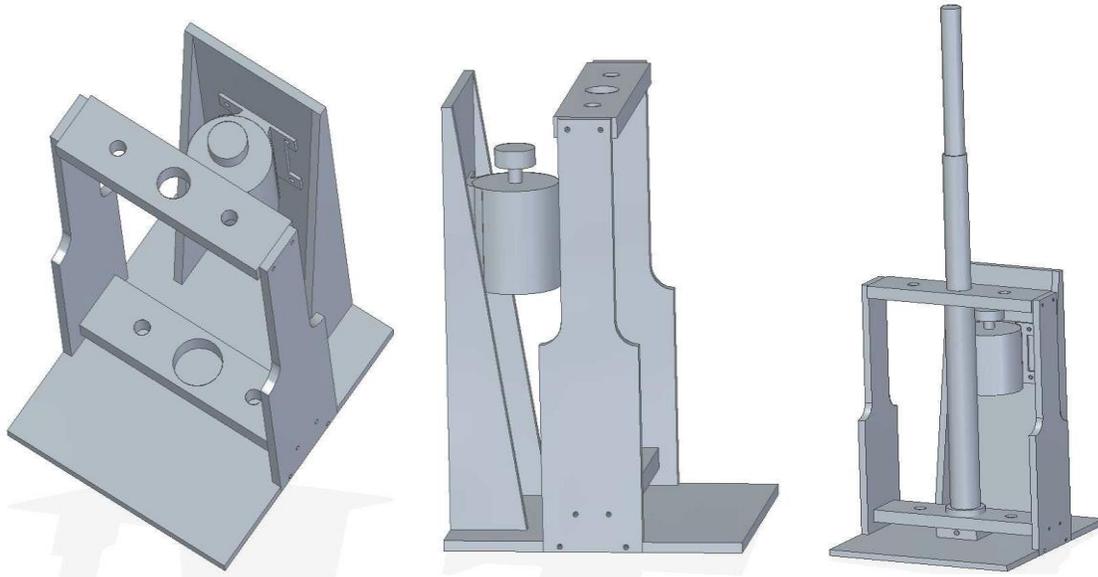


Figura 93. Ensamble estructura, Solid Edge ST8, Autores

En la figura anterior se muestra la estructura de la base del extractor ensamblada con su base del motor y cilindro telescópico soportes de los tornillos de potencia.

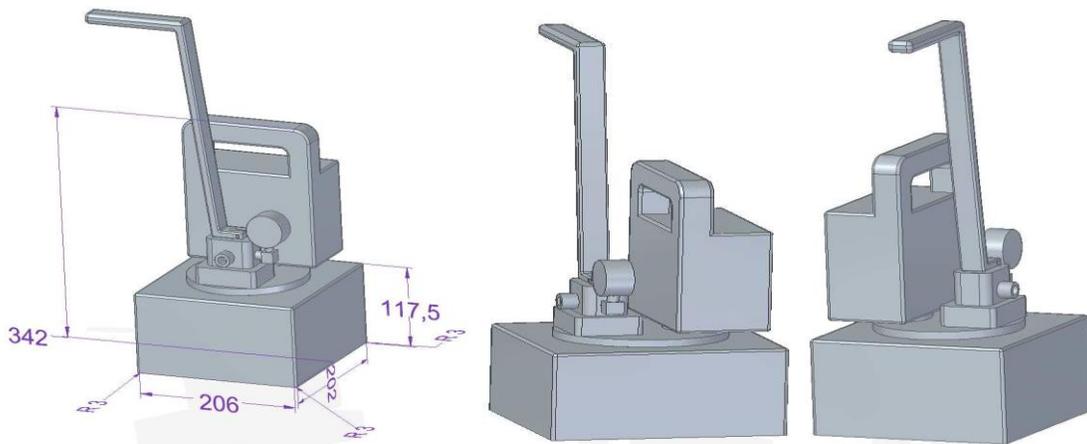


Figura 94. Unidad Hidráulica, Solid Edge ST8, Autores

En la anterior imagen se muestra la bomba hidráulica dibujada bajo medidas del fabricante, modificando la palanca para liberar la presión del sistema para poder adaptarla al diseño y de fácil acceso a la hora de operarla.

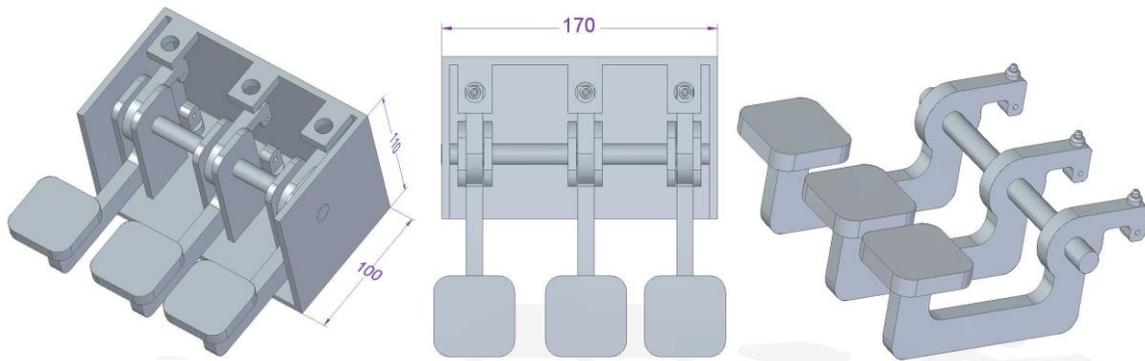


Figura 95. Sistema de control por pedales, Solid Edge ST8, Autores

En la anterior imagen se muestra el sistema de control de pedales el cual funcionara para subir y bajar el cabezal y para accionar la bomba hidráulica. Este sistema va ubicado en la parte frontal del equipo para brindarle al operario mayor facilidad de operación de la máquina y poder tener sus manos libres para estar pendiente de la extracción de la muestra. Los pedales tendrán un resorte que harán que se devuelva le pedal a su estado normal, que es normalmente de los pulsadores que controlaran los sistemas.

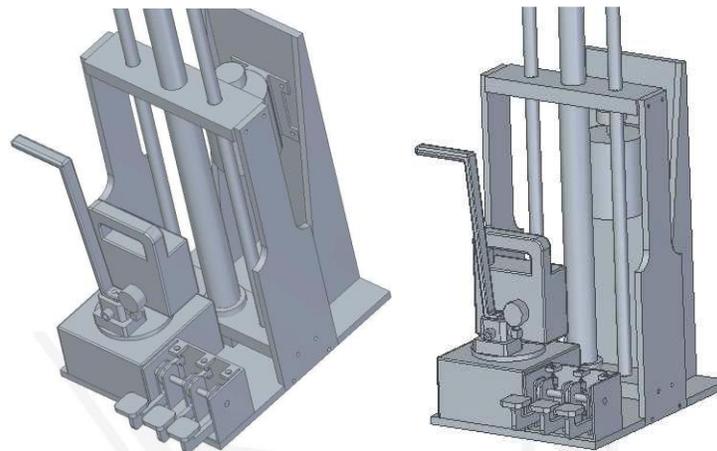


Figura 96. Ensamble bomba hidráulica y control por pedales, Solid Edge ST8, Autores

Así será el ensamble del todo los sistemas, así garantizando que lo único que el operario manipula con la mano es la palanca para liberar la presión, de resto el equipo se opera por medio de los pedales ubicados en la parte inferior del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

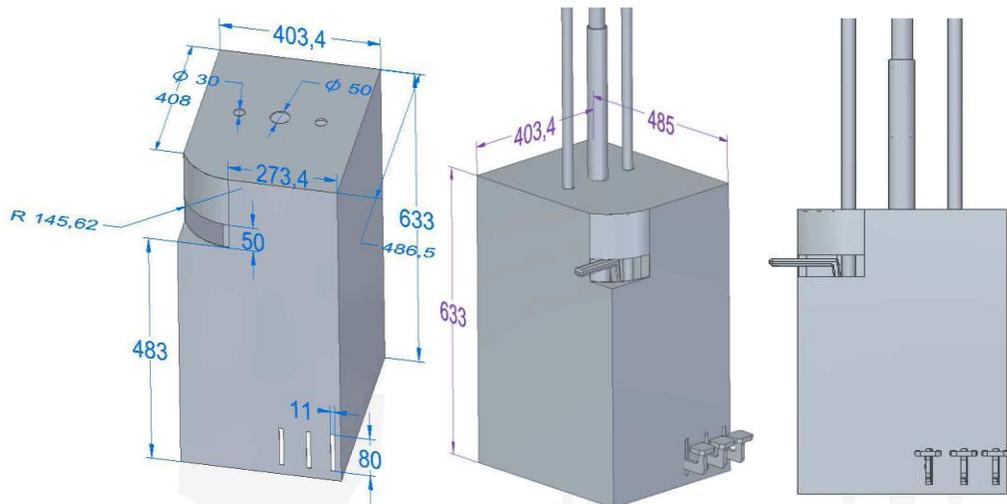


Figura 97. Cubierta equipo de extracción, Solid Edge ST8, Autores

La anterior imagen muestra la cubierta de la base del extractor, de la cual solo sobresalen los pedales de control y la palanca de liberación de la presión de la bomba hidráulica. Ésta cubierta cuenta con una altura de 633 mm x 403,4mm x 485mm, unos de sus extremos en parte superior tiene una forma ovalada en donde va ir ubicada la palanca de libración de presión.

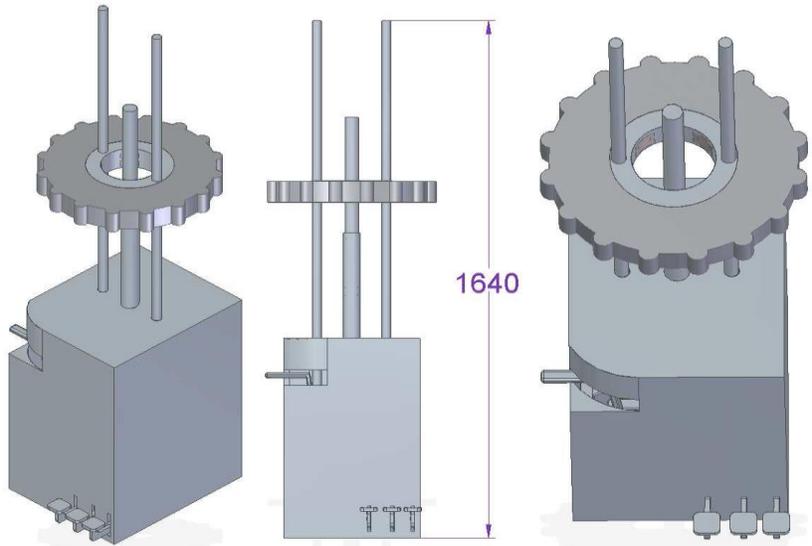


Figura 98. Equipo de extracción de muestras, Solid Edge ST8, Autores

La anterior figura muestra el ensamble total del equipo extractor de muestras de suelos, que tendrá una altura de 1640mm. A este equipo se le realizaron sus debidas verificaciones de resistencia para soportar la carga a extraer.

Usando el programa de análisis de estructuras ANSYS18.1, por el método de elementos finitos, se le realizaron los cálculos necesarios para garantizar una excelente resistencia cuando esté sometido

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

a una carga tensión alta. Analizando el equipo en su punto más crítico se garantiza que cuando el equipo esté operando bajo otras fuerzas de menor magnitud su factor de seguridad será alto y así brindarle una seguridad y satisfacción al operario. El diseño del programa se realizó en SolidEdge ST8, totalmente compatible con ANSYS18.1.

Se selecciona “static estructural” para analizar la estructura del bajo el método de elementos finitos que analizara la mayor cantidad de puntos posibles dentro de la estructura

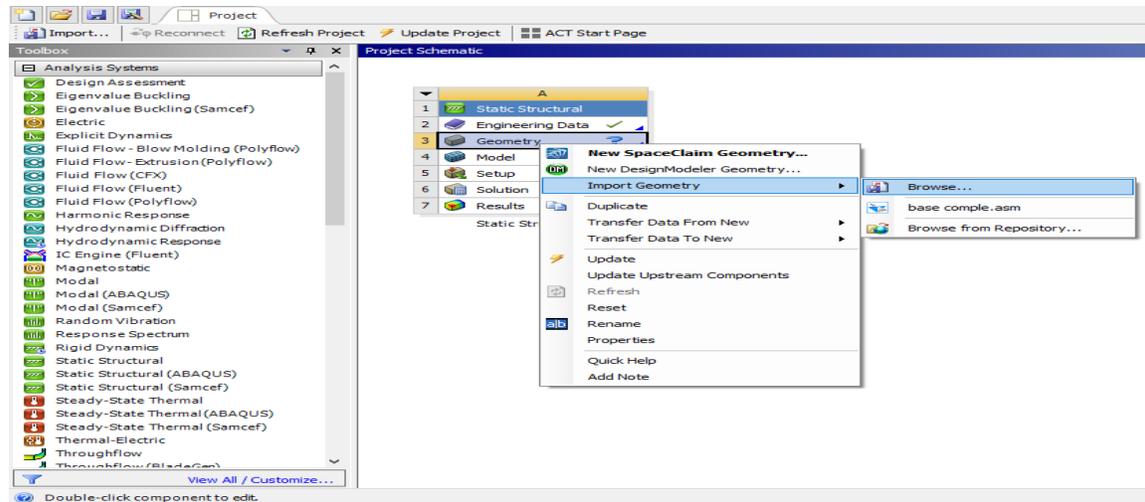


Figura 99. Llamado de Solid Edge ST8 conjunto a Ansys 18.1, Autores

Se analiza el equipo simulado un tubo Shelby de 2” de diámetro, por lo cual cada mordaza se deberá desplazar 2” por fuera del cabezal para para abrazar el tubo y evitar que se mueva el tubo. Se le aplica una fuerza de 50000N y se podar evidenciar su reacción a esta fuerza vertical de todo el equipo. El equipo será fabricados en acero estructural y basándonos en las propiedades del material tomado del libro diseño y elementos de máquinas de Robert L. Mott se analiza y se entrega un resultado.



Figura 100. Estructura con el extractor con las mordazas a 2pul, Ansys18.1, Autores.

Después de aplicarles la carga al equipo se procedió analizar sus resultados bajo el método de Von-Mises, realizándole un mallado o divido en elementos finitos 134243 elementos para ser analizado más minuciosamente cada elemento. Los resultados arrojados son:

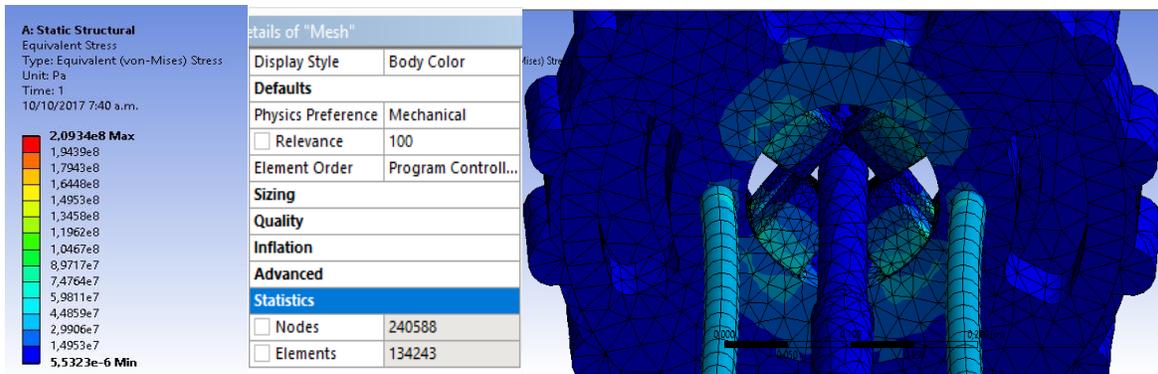


Figura 101. Resultados del análisis con las mordazas a 2pul (von-mises), Ansys 18.1, Autores.

Tensión máxima principal 209,34 Mpa y está situada en la raíz de la mordaza.

Tension min 5,532 Mpa alojada en gran parte del equipo.

Según el libro de diseño y elementos de máquinas de R.L. Mott en su análisis de resistencia de los materiales

Designación del material (número ASTM)	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
A36	$t \leq 8$ pulg	58	400	36	250	21

Tabla 11. Propiedades de los aceros estructurales.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tomando la resistencia a la fluencia se tiene que el factor de seguridad en el peor de los escenarios es:

$$F_s = \frac{\text{resistencia de fluencia}}{\text{esfuerzo equivalente von-mises}} \quad F_s = \frac{250\text{Mpa}}{209,34\text{Mpa}} \quad F_s = 1,194$$

El equipo despues de ser sometido a la tension maxima y en su punto mas critico de trabajo para la cual fue diseñada, se evidencia teoricamente que resistente los esfuerzos sometidos. Se procede a realizar otra pueba con las mordas del cabezal, esta vez mas adentro, a 1" por fuera del cabezal simulando un cilindro de 4".

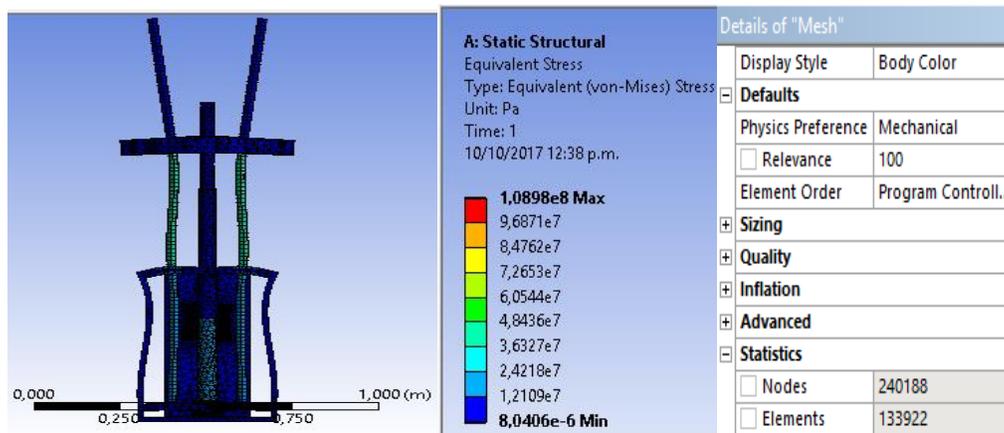


Figura 102. Análisis estructura mordazas 1 pulgada por fuera del cabezal, Ansys v18.1, Autores

Tension principal max 108,98 Mpa, localizada en la parte de la raiz de la mordaza y en los tornillos de potencia

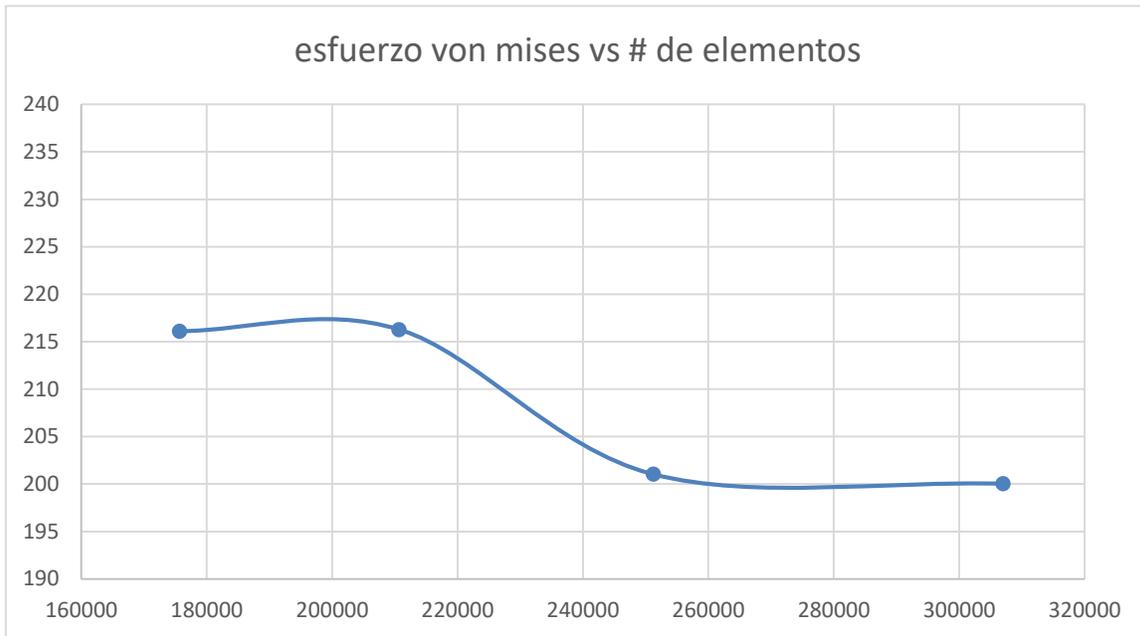
Tension min 8,0406 Mpa

Con esta tension hallamos el factor de seguridad cuando el equipo este sometido a a las condiciones anteriores:

$$F_s = \frac{\text{resistencia de fluencia}}{\text{esfuerzo equivalente von-mises}} \quad F_s = \frac{250\text{ Mpa}}{108.98\text{Mpa}} \quad F_s=2,29$$

Se realiza el analisis del equipo simulando su punto mas critico al que va estar sometido el equipo que es con 50 kN y con las mordazas a 2" y analizamos su comportamiento con el enmallado mas refinado.

Se nota que entre mas refinada sea la maya sus esfuerzon van disminuyendo



Grafica 2. analisis de la estructura

4.5 DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL PARA LA APLICACIÓN DE CARGA, POSICIONAMIENTO DE SUJECCIÓN Y PARO DE EMERGENCIA.

Para el sistema de control se emplean dos pulsadores para para arrancar el motor según el sentido de giro que se desee en el momento, ya sea en sentido anti-horario para subir o horario para bajar. Se diseñó el sistema de control para manejar las bobinas de un par de contactores.

Lo principal que se tiene son dos pulsadores, dos microswitch y un térmico como protección del motor y los microswitch como final de carrera del cabezal para evitar que se choque contra la base o se salga de los tornillos. Esta es la parte del control que se necesita para el manejo del giro del motor, se tiene un pulsador para accionar la subida del cabezal, pero a su vez está condicionado por los finales de carrera y por un contacto NC para evitar que cuando el motor este ejecutando una acción reciba otra orden poniendo en corto el motor.

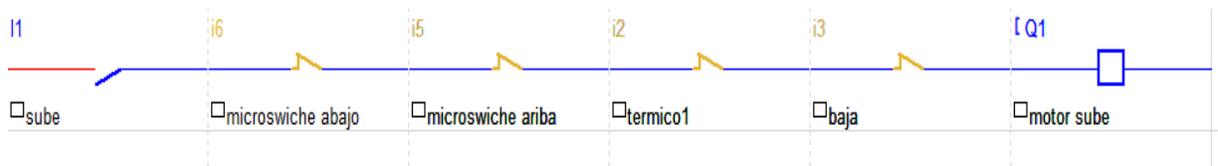


Figura 103. Control giro derecha del motor, zelio soft, Autores

De igual manera se tiene condicionado el pulsador para bajar el motor con las mismas protecciones que el pulsador para subir el cabezal



Figura 104. Restricciones de pulsador, zelio soft , Autores.

Acá evidenciamos la condición de los dos pulsadores accionado a la vez. Observamos su reacción frente a este caso que es de apagar el motor y no cumplir ninguna condición hasta que solo se ordene una a la vez.

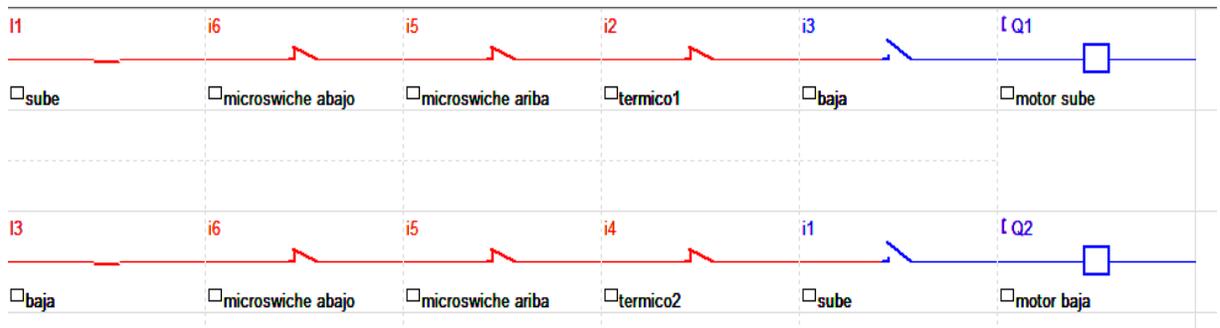


Figura 105. Dos pulsadores accionados a la vez, Autores.

Si el cabezal se sube más de lo normal se activa un final de carrera que tiene en la parte superior para evitar que el cabezal se salga de los tornillos de potencia. Lo mismo sucede si se tiene que el cabezal baja más de lo normal, ya que se activa el final de carrera de la parte inferior y evita que el cabezal sea chocado contra su base.

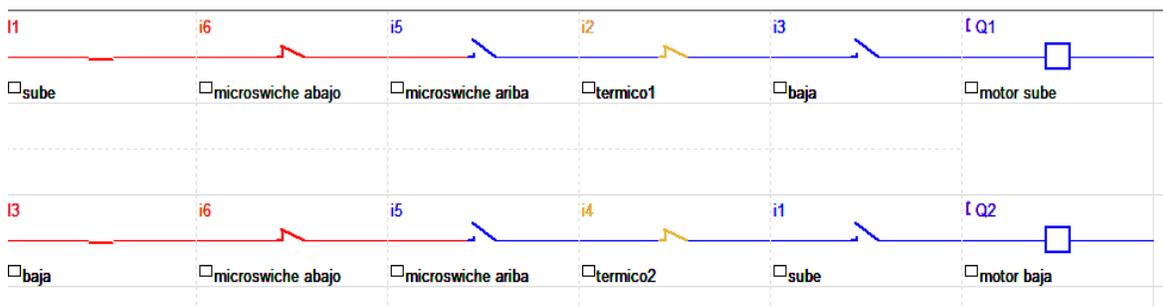


Figura 106. Protección final de carrera, zelio soft, Autores

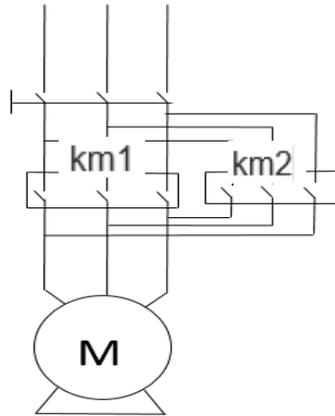


Figura 107. Esquema de potencia motor elevador de cabezal, Autores.

Control bomba hidraulica:

Este control consta de un pulsador para encender el motor que se debera sostenes accionado para que la bomba trabaje y inmediatamente se suelte la bomba dejara de trabaja y un termico como proteccion del motor por sobre corriente.

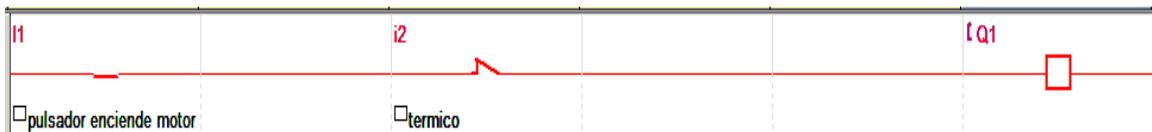


Figura 108. Control motor bomba hidraulica zelio soft, Autores

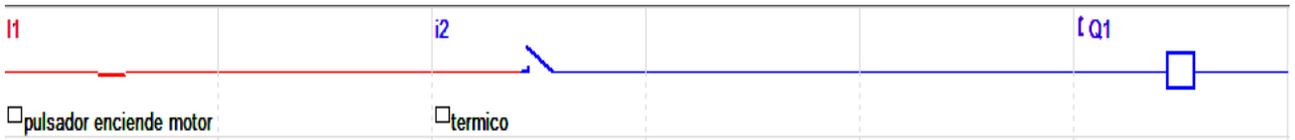


Figura 109. Control con restricción térmica activada zelio soft, Autores.

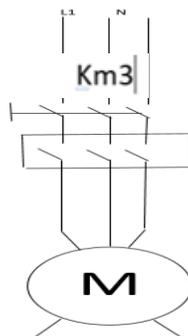


Figura 110. Esquema de potencia bomba hidráulica, Autores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El equipo diseñado cumple con los requerimientos de las normas INVIAS para extracción de tubos shelby y cilindros, aboliendo la necesidad de tener piezas intercambiables y herramientas menores para la extracción de las muestras.
- El sistema de pedales de control optimiza la utilización del equipo ya que para la extracción de la muestra solo se requiere de un solo operario o personal técnico para realizar la extracción de cualquiera de las muestras, ya que sus manos quedaran libres y no requiere ningún esfuerzo físico.
- Se utiliza el sistema de sujeción de una rascadora industrial para facilitar la manipulación y evitar la manipulación de herramienta para apretar los cilindros y tubos shelby.
- Se realiza el cálculo de resistencia del equipo para dar cumplimiento a las especificaciones requeridas, siendo satisfactorio el resultado en cada elemento analizado.

TRABAJO FUTURO

- Fabricar el equipo según planos y especificaciones dadas en este proyecto.
- El equipo de extracción tiene el mismo principio de funcionamiento de una prensa hidráulica, por lo que se puede convertir en una de ellas, convirtiéndose en una prensa universal para el laboratorio.
- Instalando una celda de carga en el cabezal, un medidor de deformación y un sistema para controlar la velocidad de aplicación de carga, se podrá visualizar la carga recibida por el elemento fallado a compresión, rocas blandas o suelos duros.
- Se podrá realizar la penetración de las muestras de los cilindros según la norma CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA INV E – 148 – 13
- Instalando un sistema de puntas según la norma ASTM D 2166-91 ENSAYO CARGA POR PUNTA PARA ROCAS, se podrá realizar dicho ensayo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

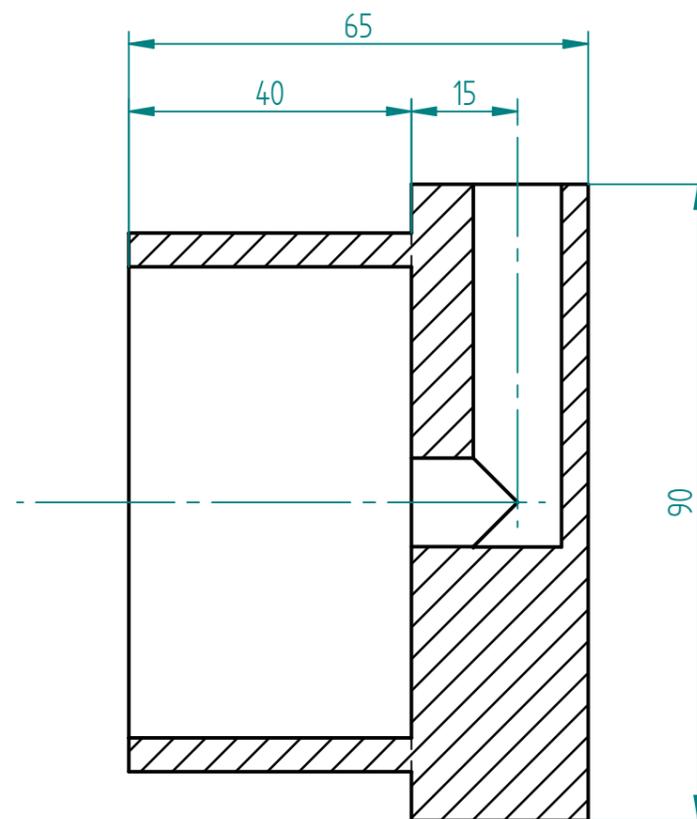
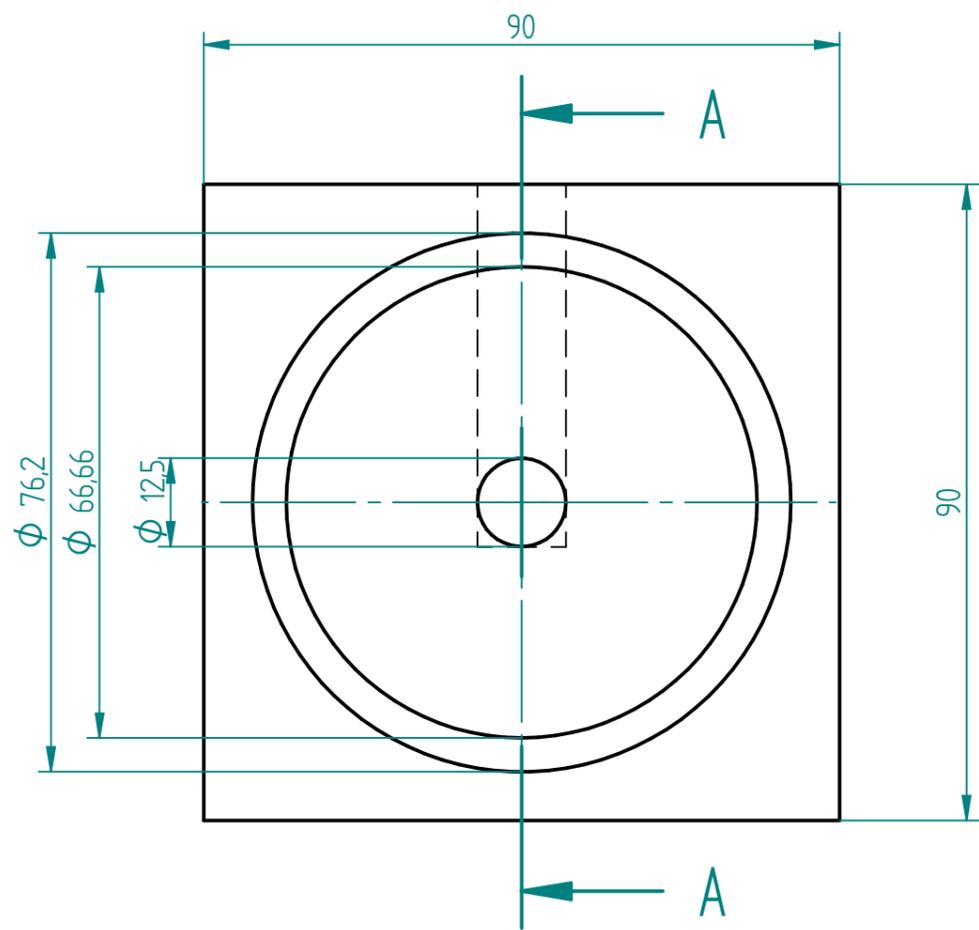
- ANSYS V18.1.
- CBR DE LOS SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA INV E-148-13
- CIE DE COLOMBIA S.A.S
- COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS I.N.V. E – 152 – 13.
- CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS I.N.V. E – 151 – 13.
- CREUS A. (2011). NEUMÁTICA E HIDRÁULICA, segunda edición
- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL NO CONSOLIDADA NO DRENADA EN SUELOS COHESIVOS NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2041.
- DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Octava edición
- ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL PARA SUELOS COHESIVOS I.N.V. E – 153 – 13.
- ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADO DRENADO (CD) I.N.V. E – 154 – 13.
- ESTABILIDAD Y FLUJO DE MAZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL INV E -748-13
- INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y ROCAS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERIA I.N.V. E – 101 – 13.
- OBTENCIÓN DE MUESTRAS SUELO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA INV E-105-13.
- R. C. HIBBELER, MECÁNICA DE MATERIALES EDICIÓN 6
- RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN) INV E-142-13
- RELACIONES HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN) INV E-141-13
- ROBERT L. MOTT, DISEÑO Y ELEMENTOS DE MAQUINAS, 2006.
- SOLID EDGE ST8.
- WWW.CONTROLS-GROUP.COM
- WWW.DIRIMPEX.COM
- WWW.ELE.COM
- WWW.GMORS.COM
- WWW.HUMBOLDTMFG.COM
- WWW.INTERMEC.COM.CO
- WWW.PINZUAR.COM.CO
- WWW.THEORINGSTORE.COM

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

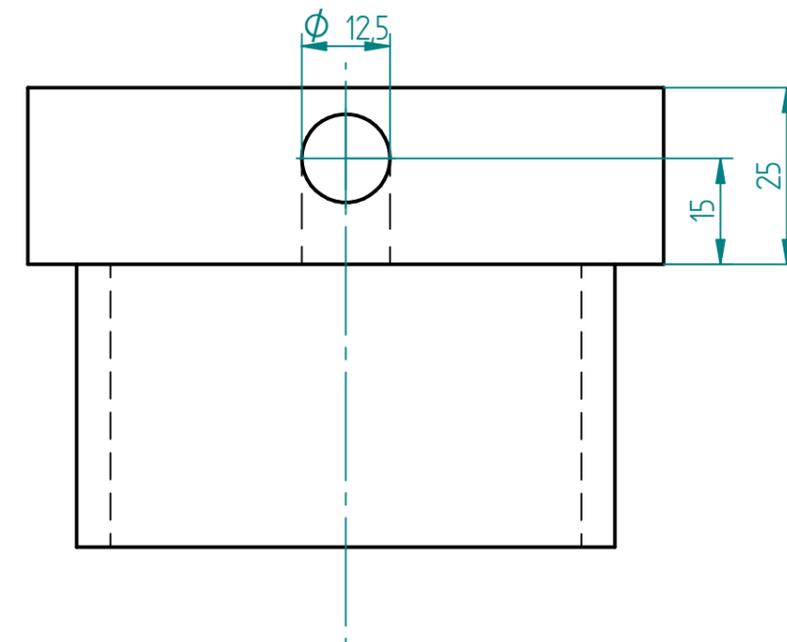
ANEXOS

A continuación, se presentan los siguientes planos:

- Plano 1 Base cilindro
- Plano 2 Cilindro fijo
- Plano 3 cilindro móvil
- Plano 4 pistón + telescópico
- Plano 5 bases sin fin y cilindro
- Plano 6 base estructura
- Plano 7 laterales
- Plano 8 ensamble estructura
- Plano 9 mandril
- Plano 10 Porta espira
- Plano 11 Espira
- Plano 12 base pedales
- Plano 13 Pedal
- Plano 14 equipo

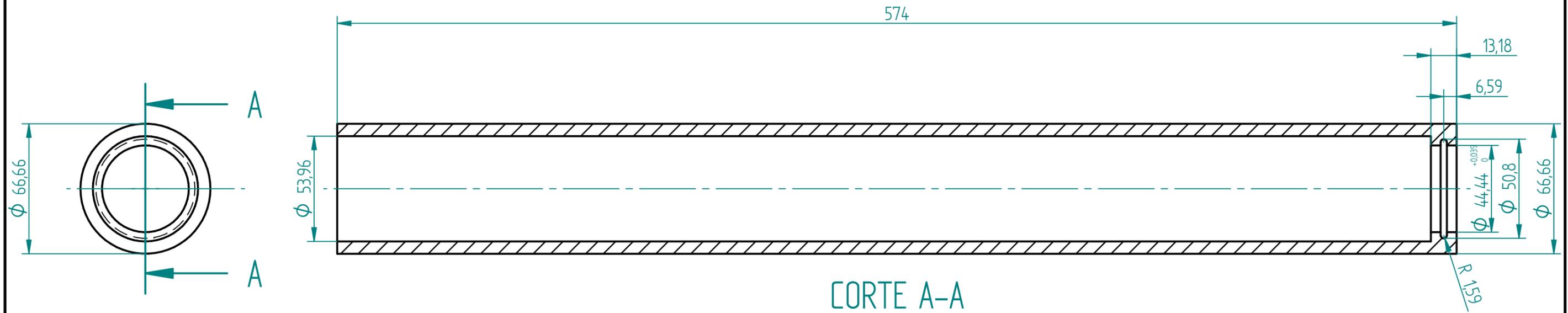


CORTE A-A

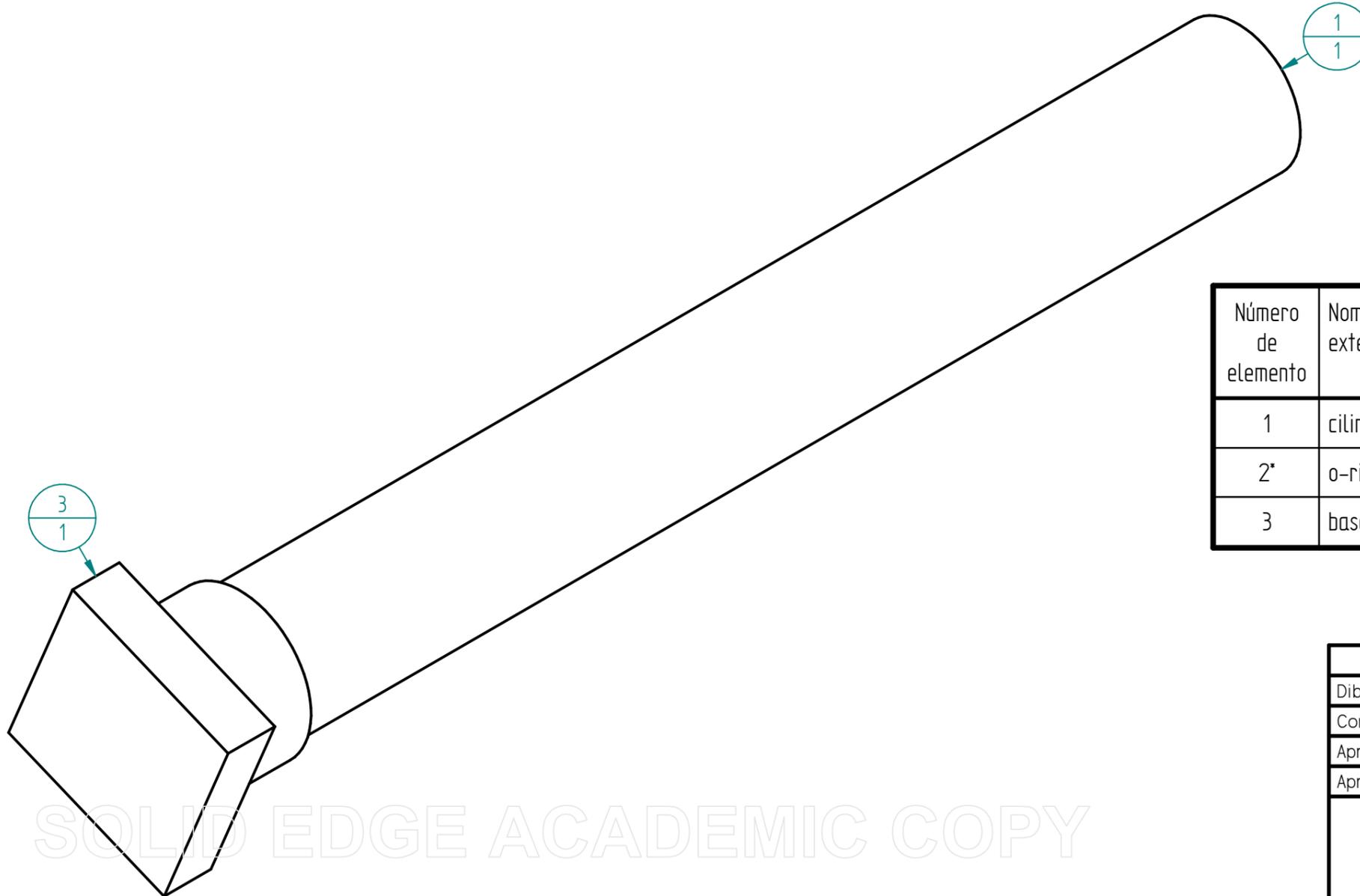


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			Título Base Cilindro		
Aprobado 1					
Aprobado 2			A3	Plano 1	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: Plano 1 Base cilindro.dft		
			Escala	1:1	Hoja 1



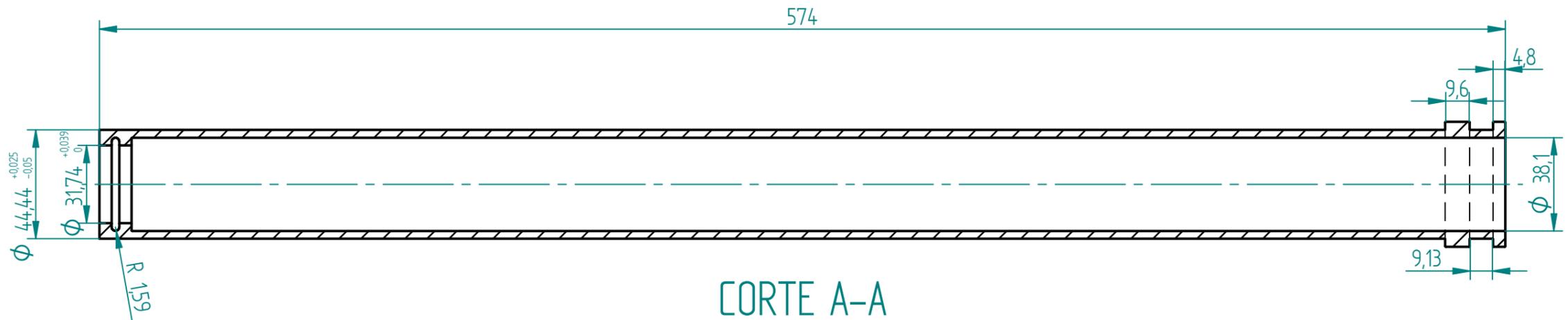
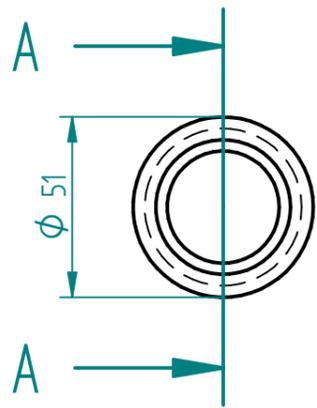
CORTE A-A



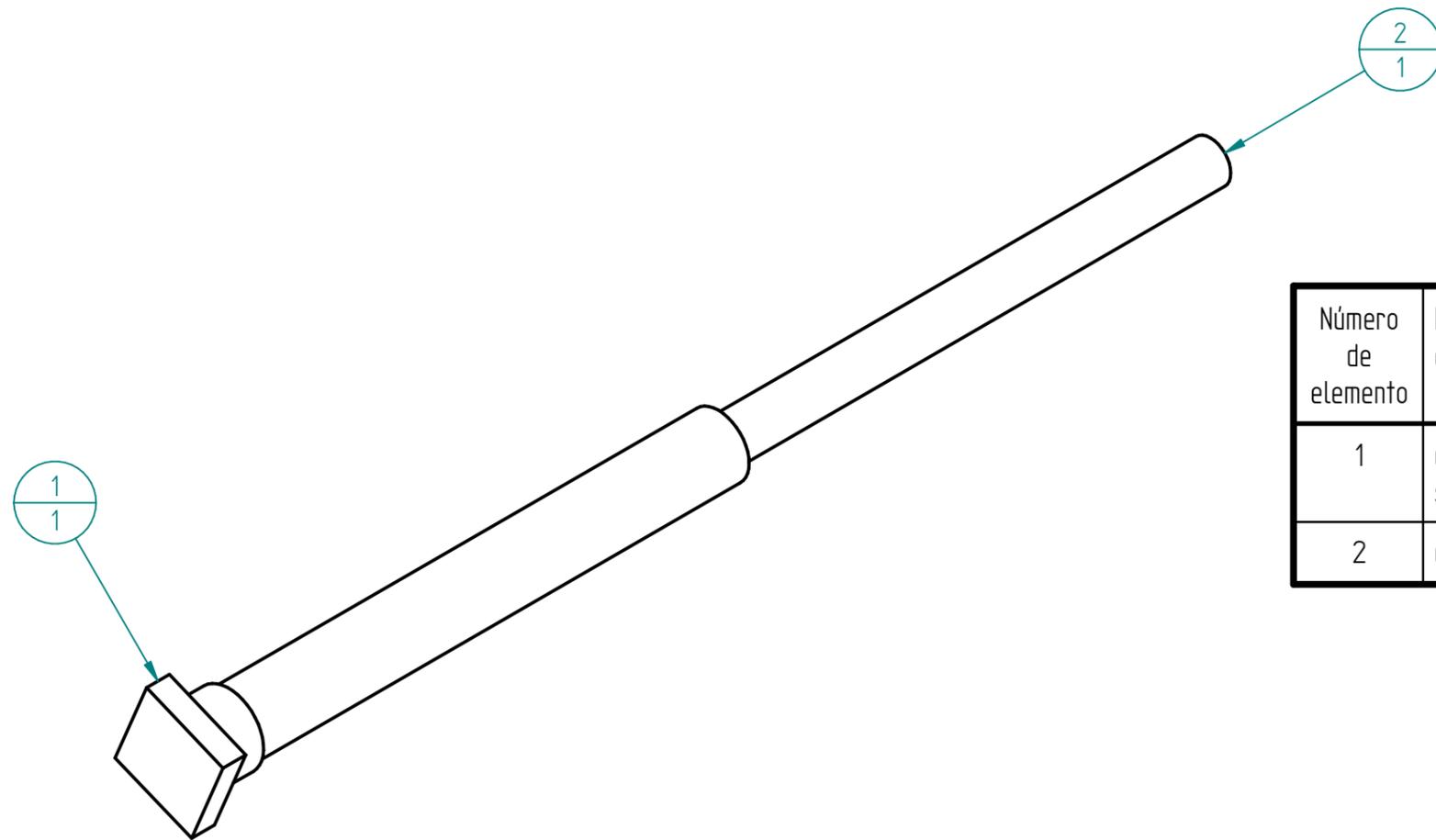
Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	cilindro fijo	Troches-Soto	1
2*	o-rin ext.	Troches-Soto	1
3	base cilindro	Troches-Soto	1

		Nombre	Fecha	 Institución Universitaria	
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2				A3 Plano 2 Rev Archivo: Plano 2 Cilindro fijo.dft Escala 1:2 Hoja 1	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°					

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

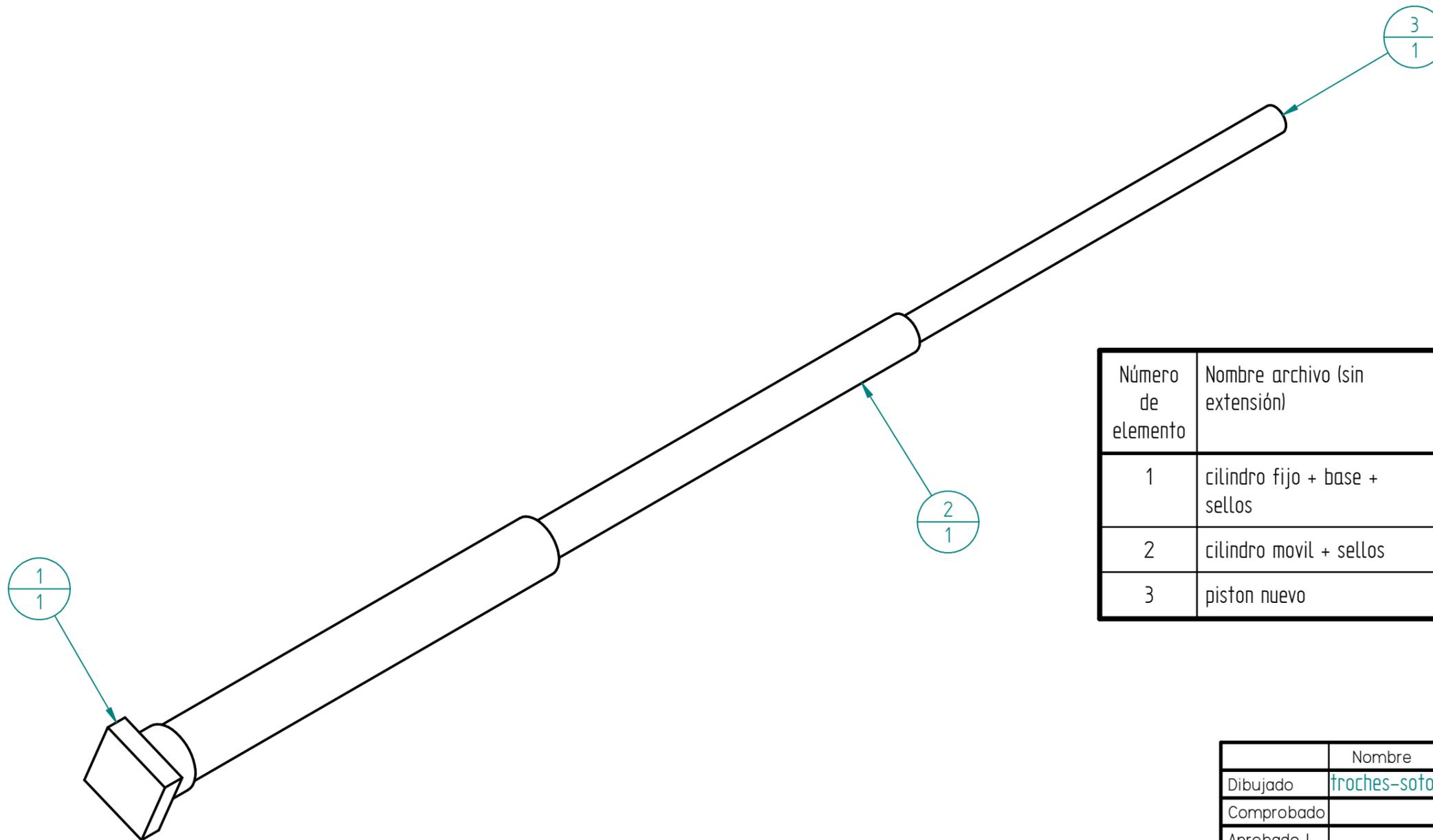
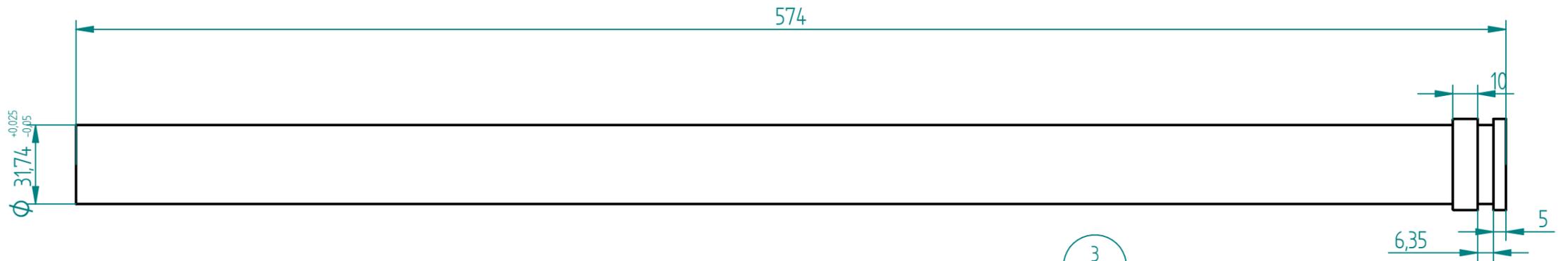
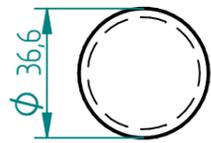


CORTE A-A



Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	cilindro fijo + base + sellos	Troches-Soto	1
2	cilindro movil + sellos	Troches-Soto	1

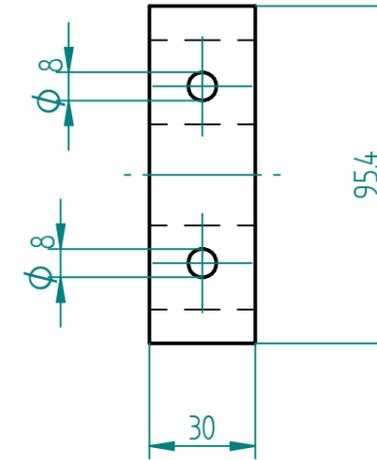
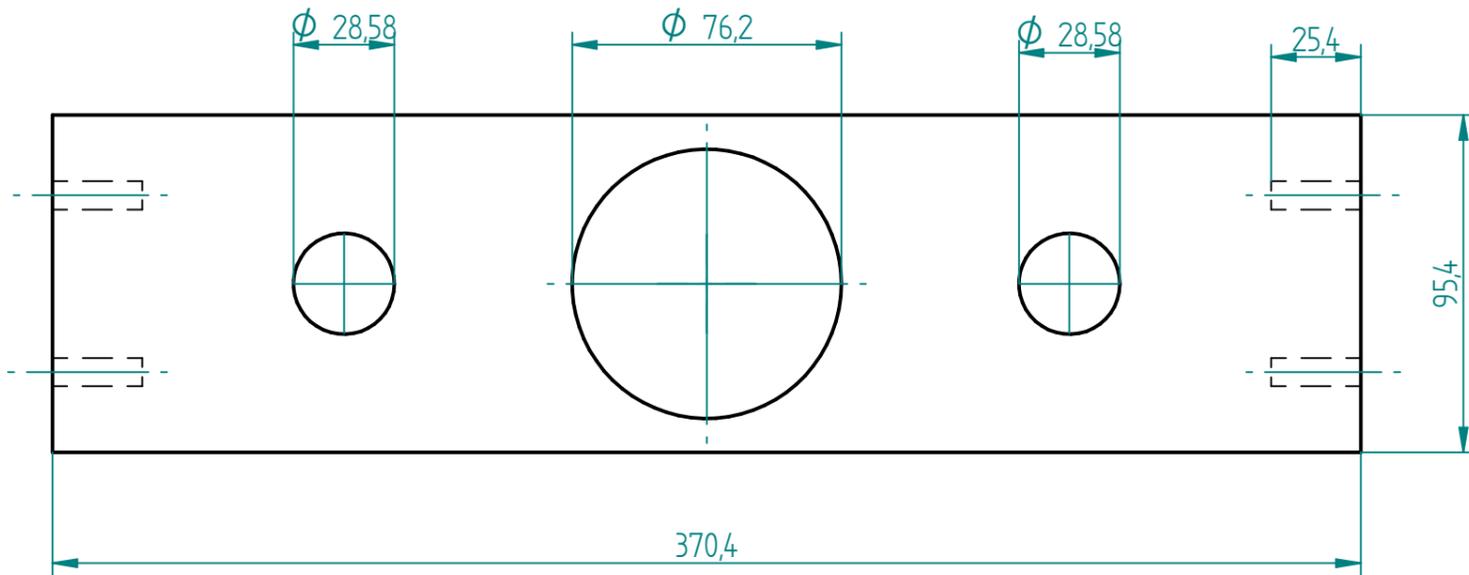
		Nombre	Fecha	 Institución Universitaria			
Dibujado	troches-soto	28/11/17				Título Cilindro Movil	
Comprobado							
Aprobado 1							
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°				A3	Plano	3	Rev
				Archivo: plano 3 cilindro movil.dft			
				Escala	1:2	Hoja 1	



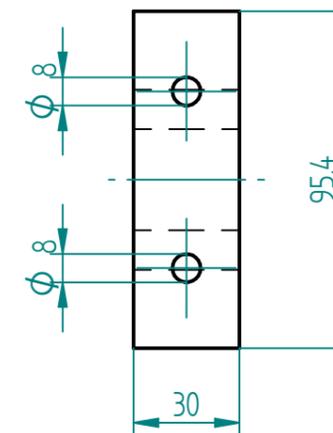
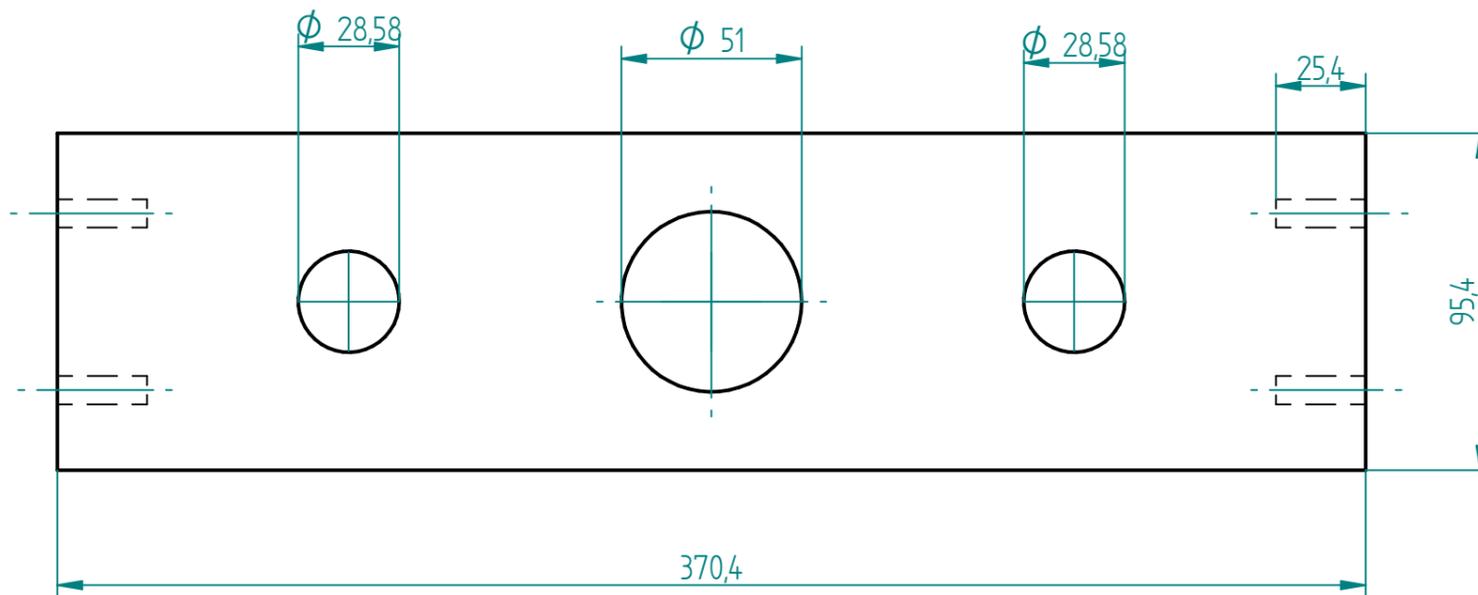
Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	cilindro fijo + base + sellos	Troches-Soto	1
2	cilindro movil + sellos	Troches-Soto	1
3	piston nuevo	Troches-Soto	1

	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria			
Dibujado	troches-soto	28/11/17				Título Cilindro macizo o piston
Comprobado						
Aprobado 1						
Aprobado 2						
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A3	Plano	4	Rev
			Archivo: Plano 4 piston + telescopico.dft			
			Escala	1:2	Hoja 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



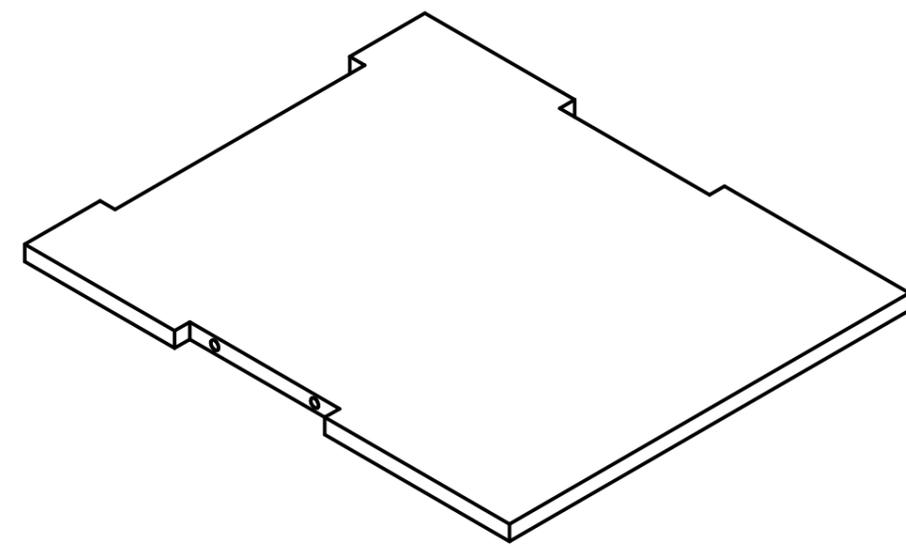
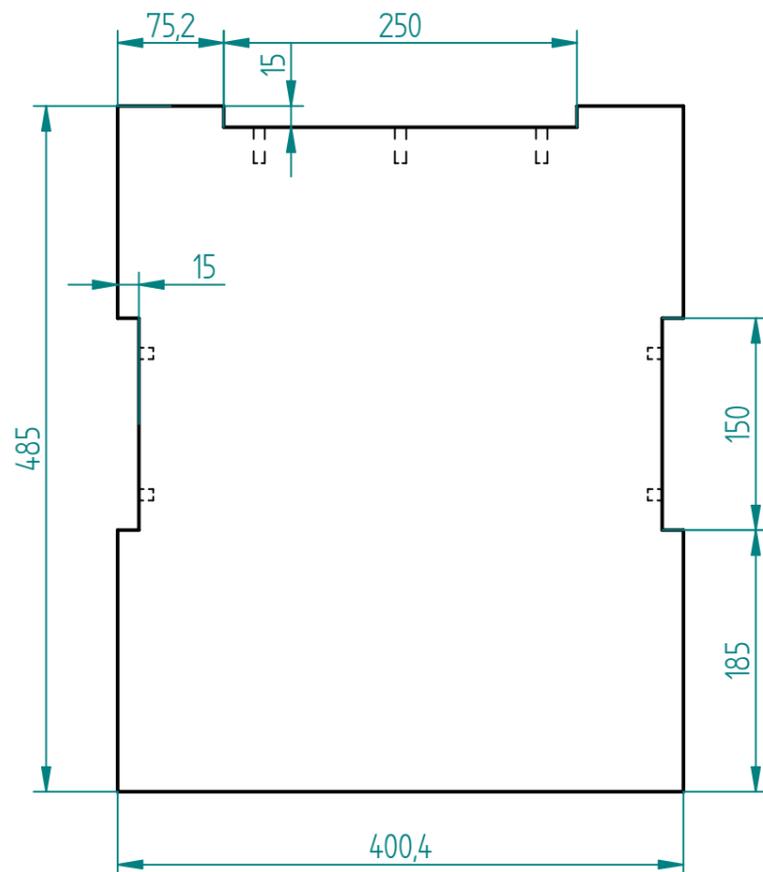
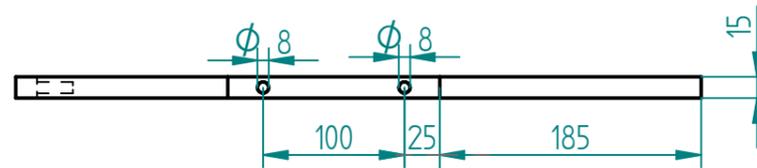
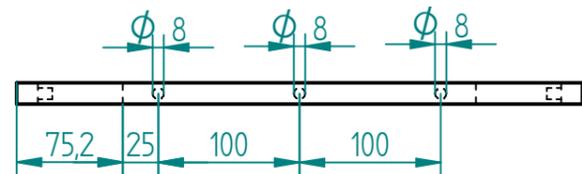
Base
Inferior



Base
Superior

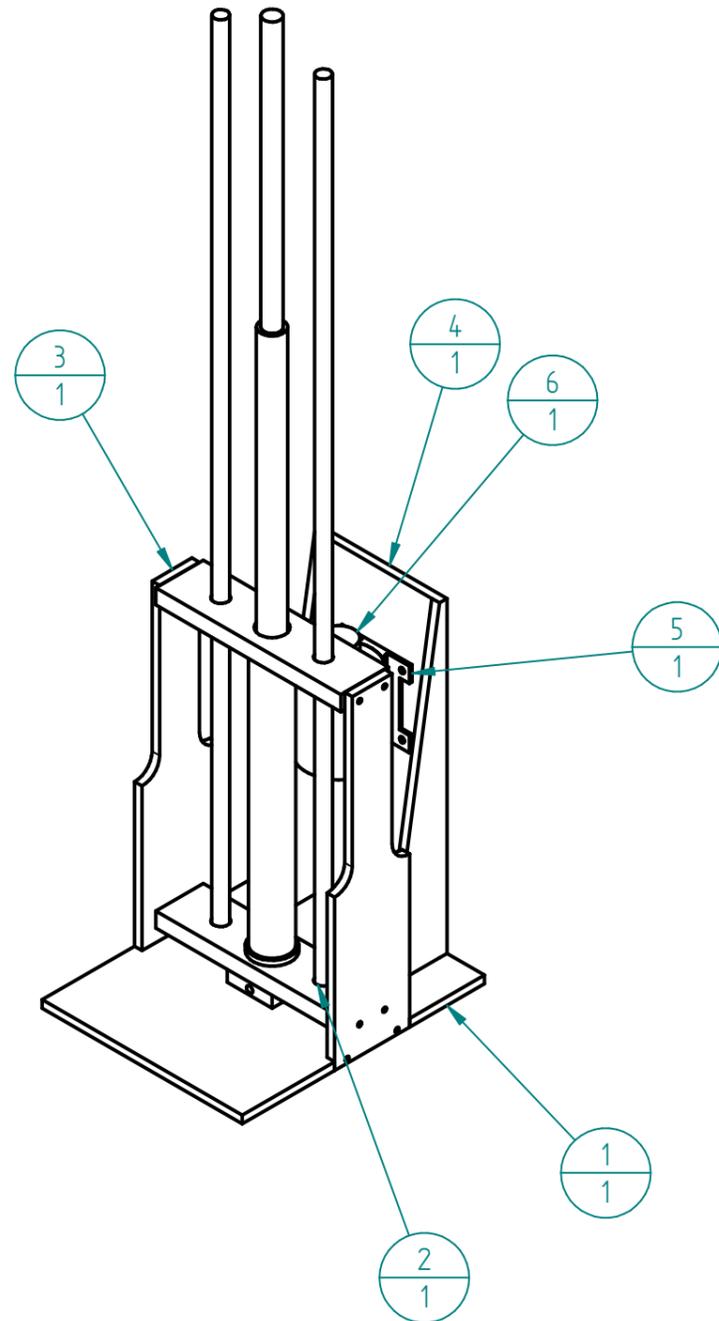
	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			Título Bases Tornillo de potencia y cilindro telescopico		
Aprobado 1					
Aprobado 2			A3	Plano 5	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: plano 5 bases sin fin y cilindro.dft		
			Escala	1:2	Hoja 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

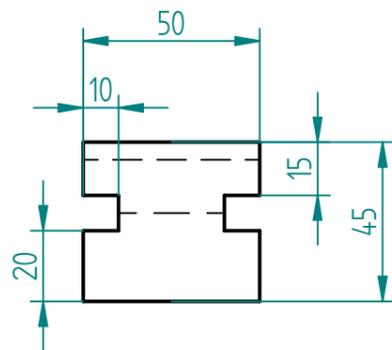
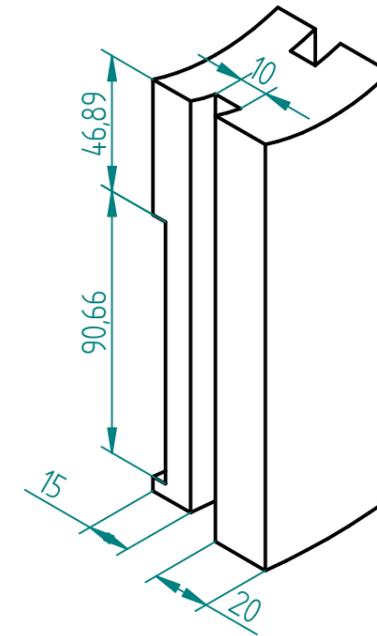
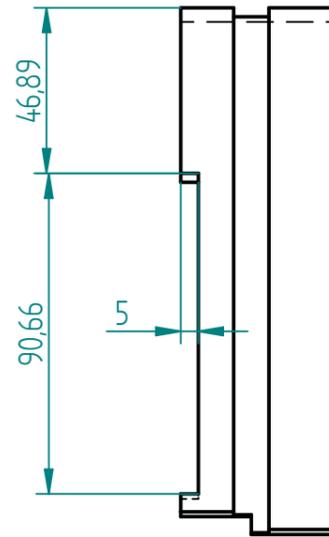
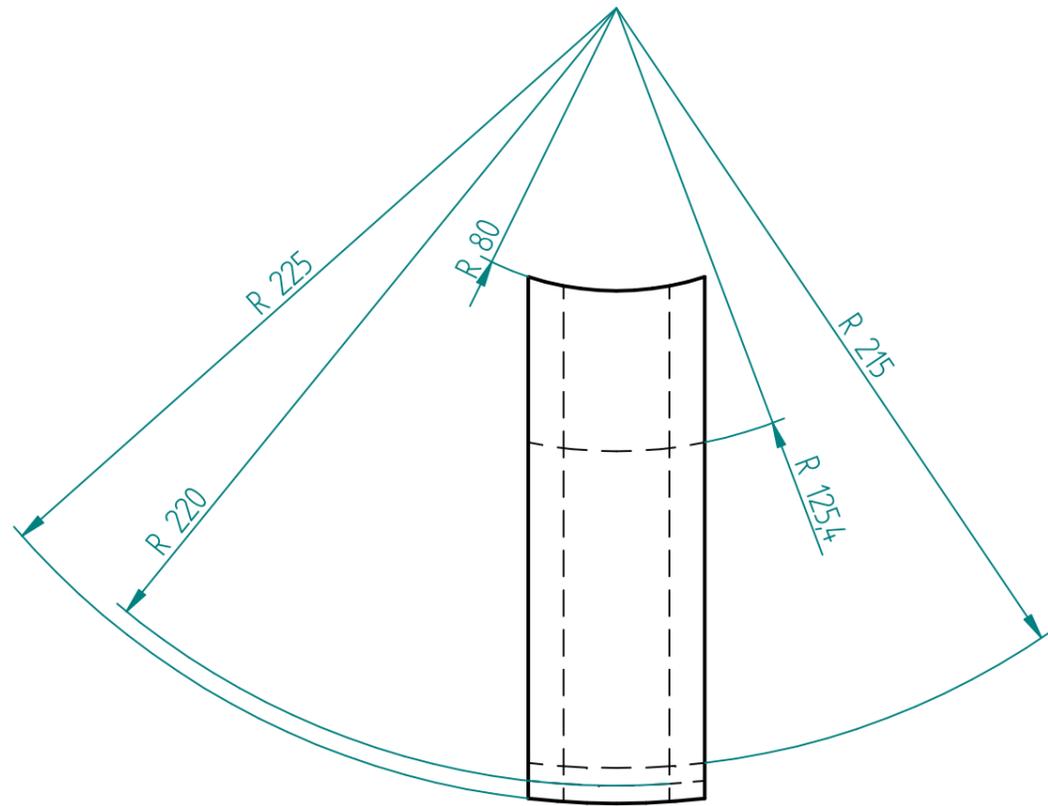
	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			Título		
Aprobado 1			Base Estructura		
Aprobado 2			A3	Plano 6	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: Plano 6 base estructura.dft		
			Escala	1:5	Hoja 1



Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	base	Troches-Soto	1
2	base inferior	Troches-Soto	1
3	lateral	Troches-Soto	1
4	porta motor	Troches-Soto	1
5	base motor	Troches-Soto	1
6	motor1	Troches-Soto	1

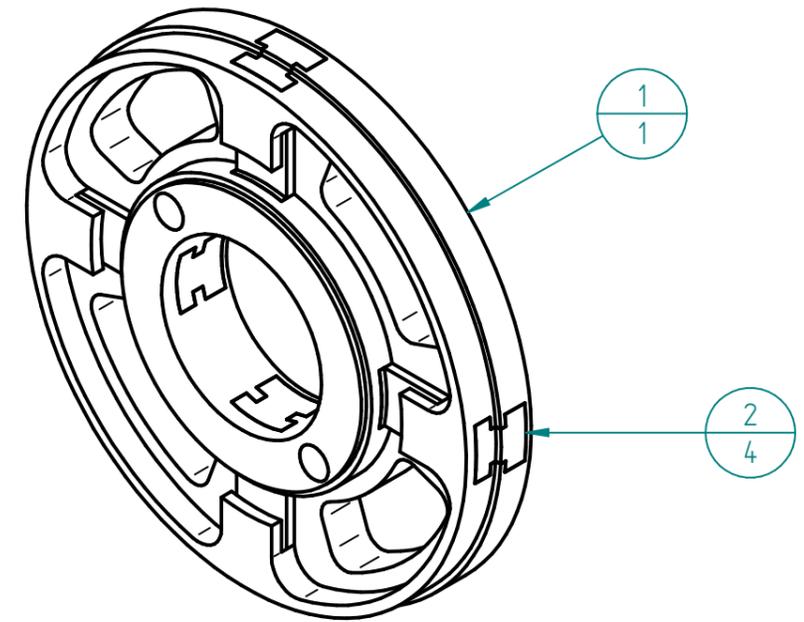
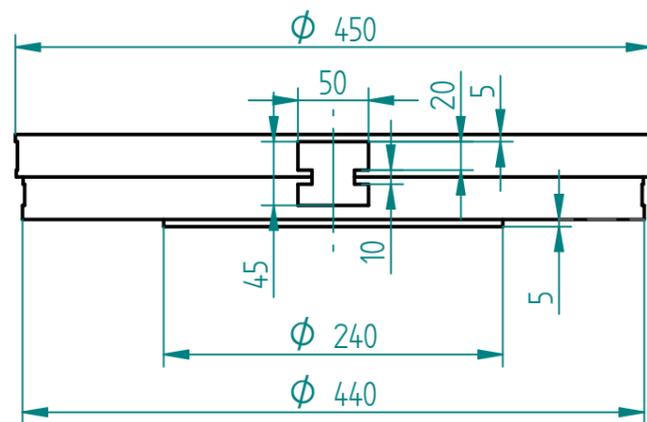
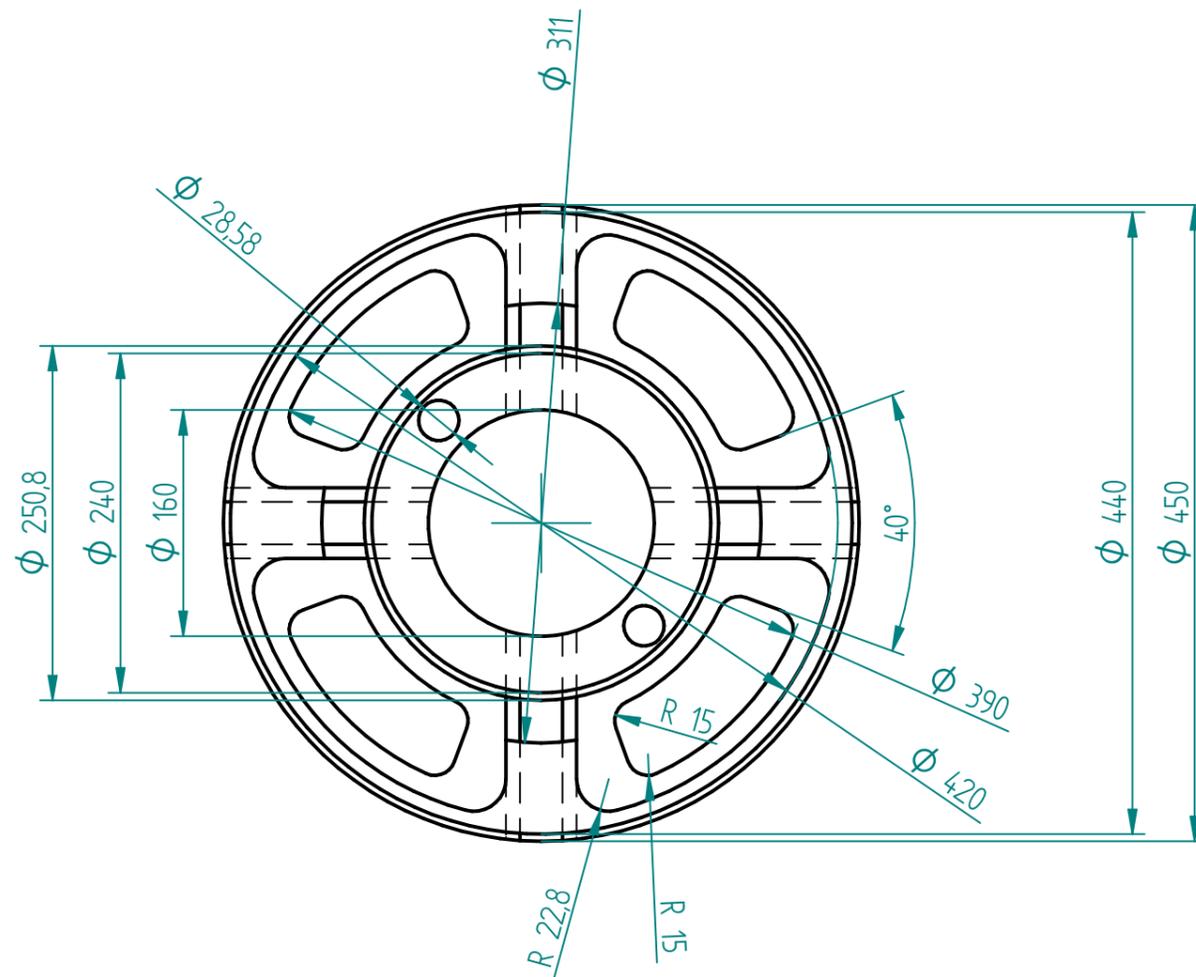
	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			Título Ensamble Estructura		
Aprobado 1					
Aprobado 2			A3	Plano 8	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			Archivo: plano 8 ensamble estructura.dff		
			Escala	1:10	Hoja 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria			
Dibujado	troches-soto	28/11/17				Título Mandril
Comprobado						
Aprobado 1						
Aprobado 2						
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano	9	Rev
			Archivo: Plano 9 mandril.dft			
			Escala	1:2	Hoja 1	

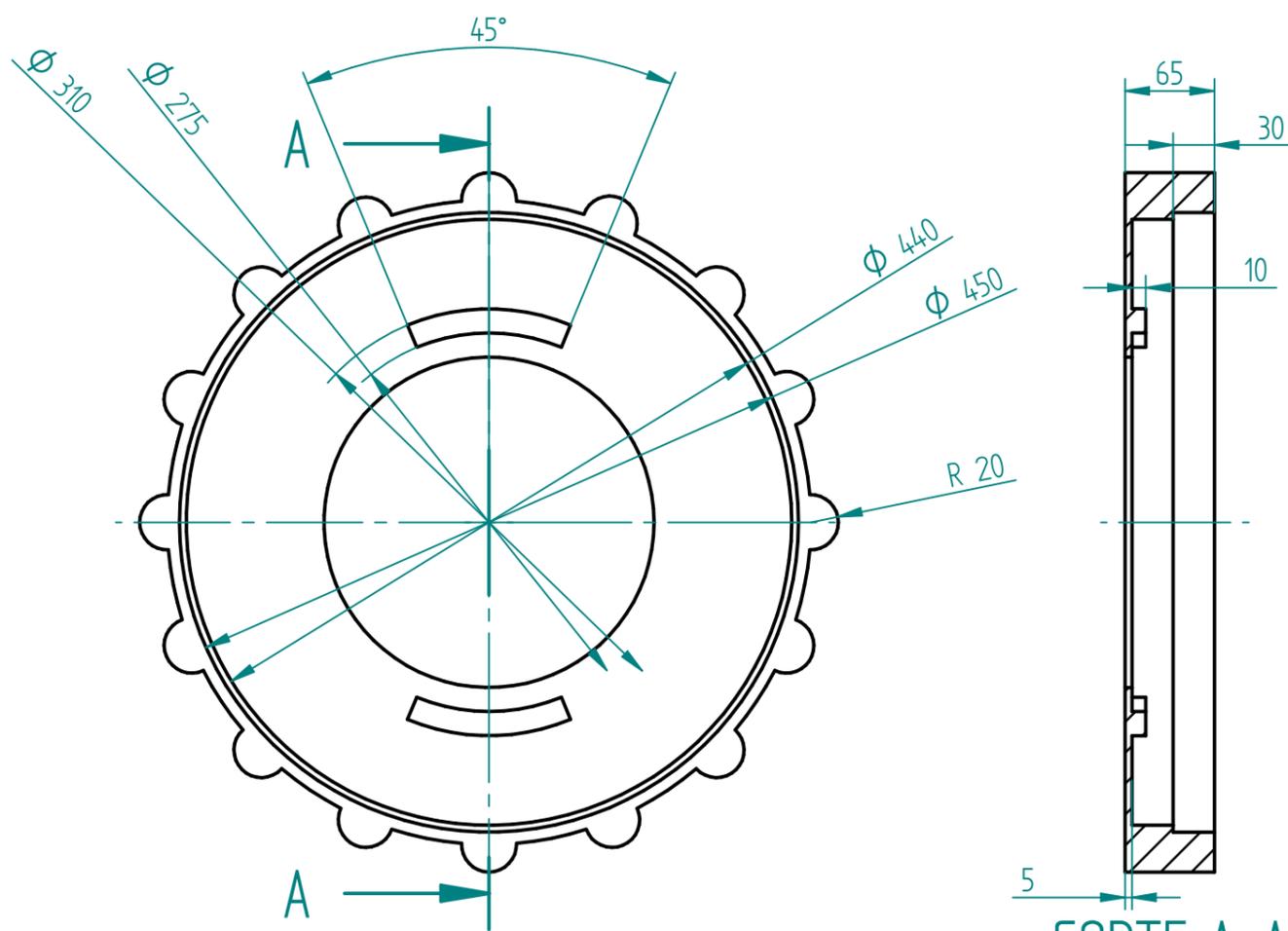
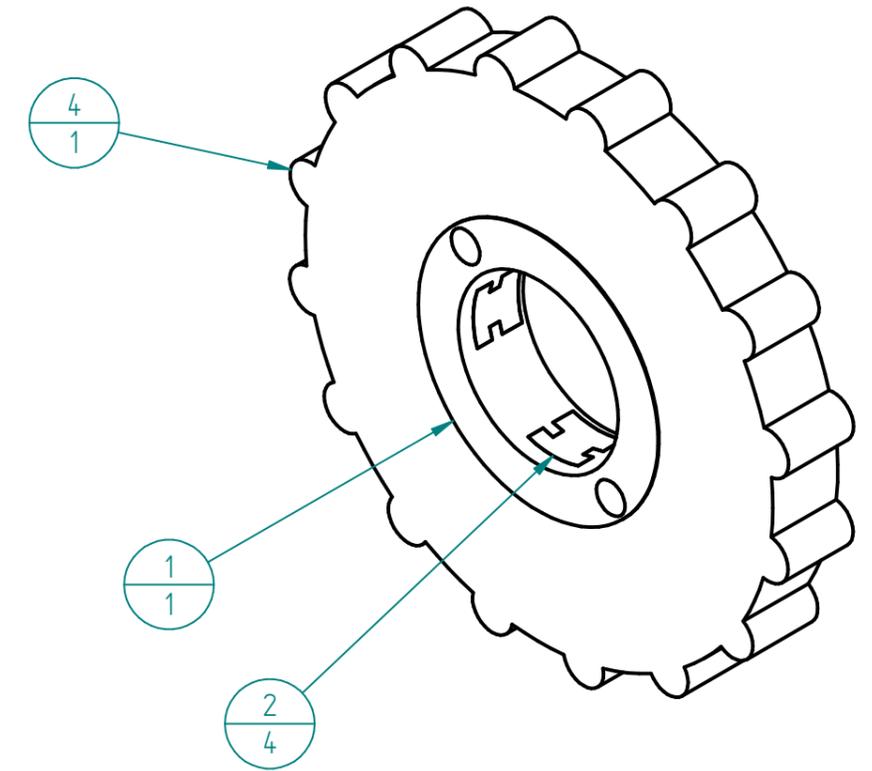
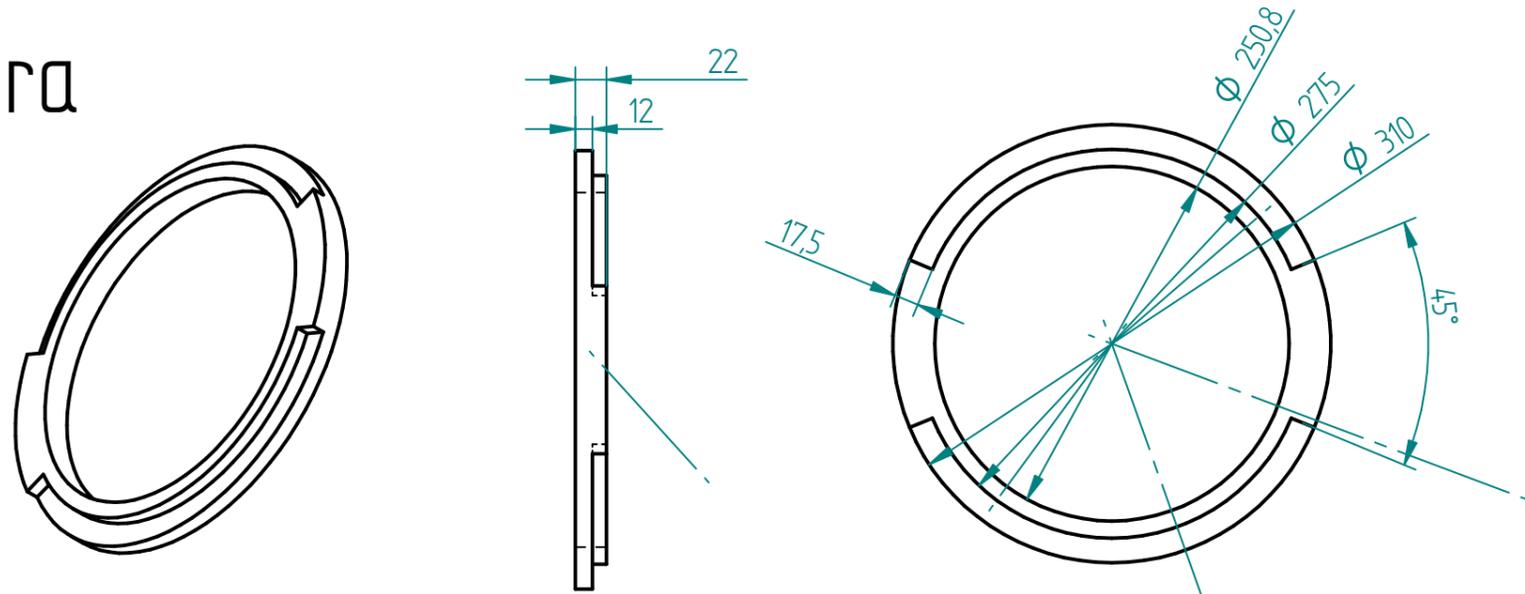


Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	Porta espira	Troches-Soto	1
2	mandril	Troches-Soto	4

	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			A3 Plano 10 Rev		
Aprobado 1			Archivo: Plano 10 Porta espira.dft		
Aprobado 2			Escala	1:5	Hoja 1
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°					

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Espira



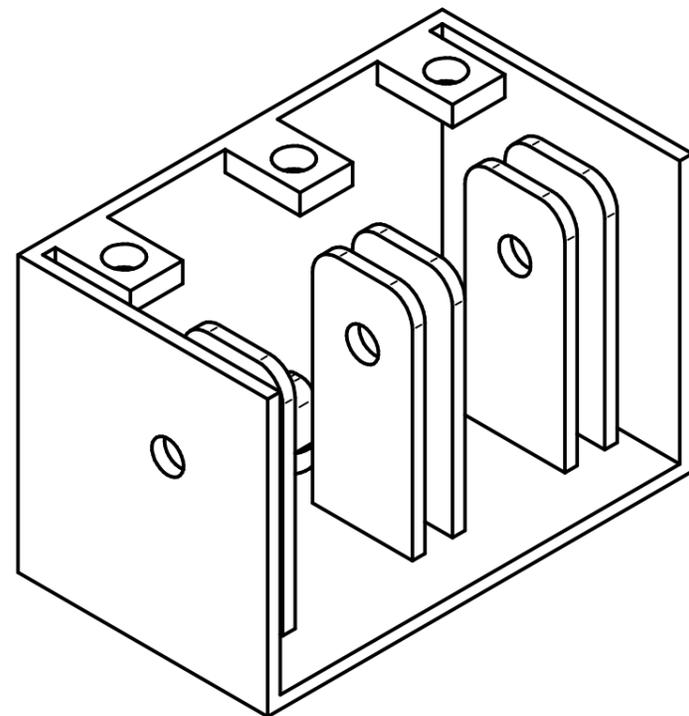
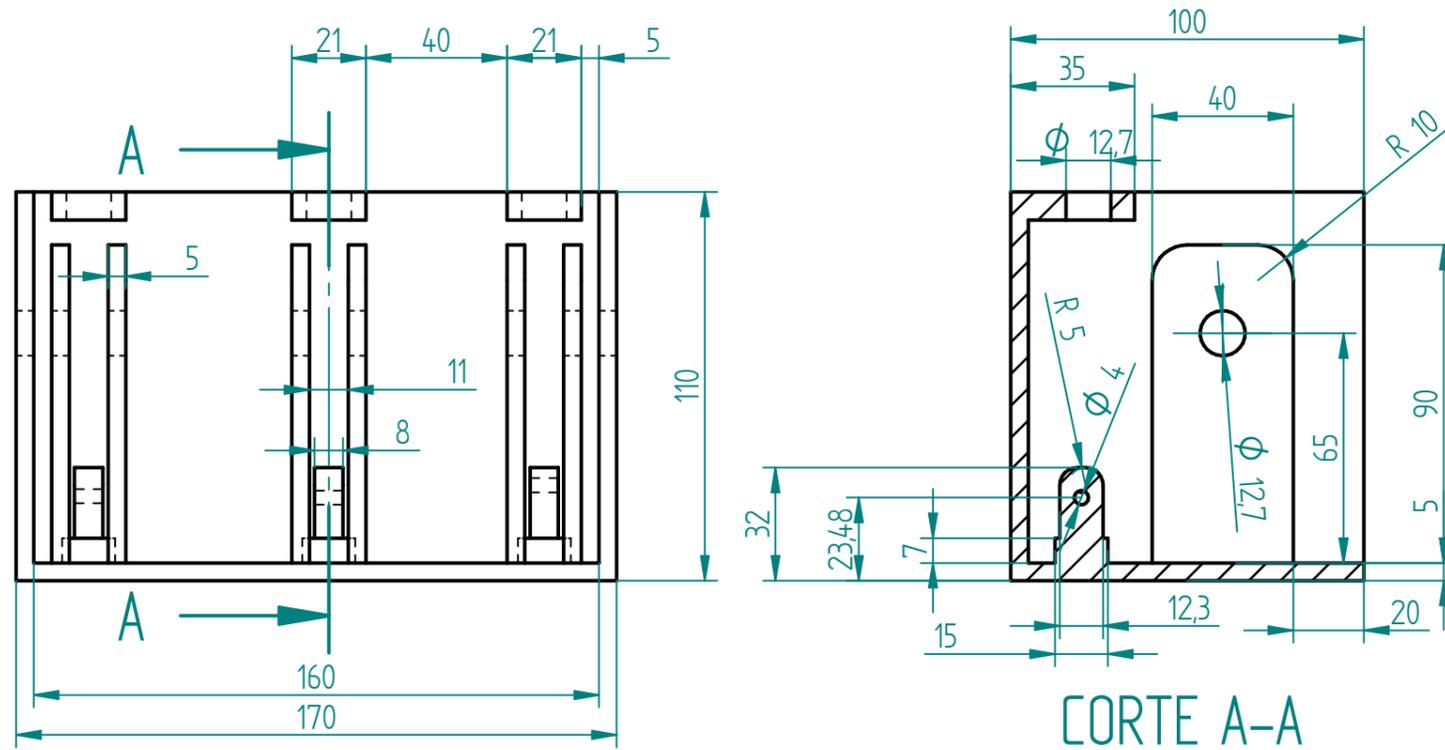
CORTE A-A

Manigueta

Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	Porta espira	Troches-Soto	1
2	mandril	Troches-Soto	4
3*	SPIRA	Troches-Soto	1
4	manigueta	Troches-Soto	1

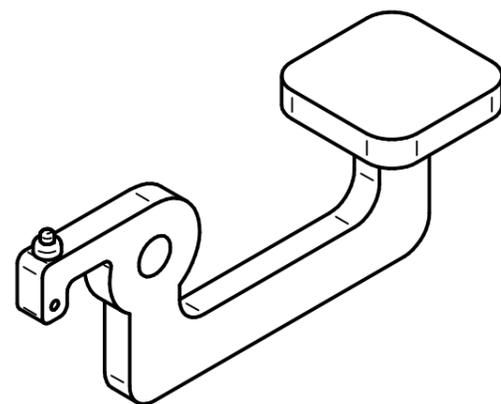
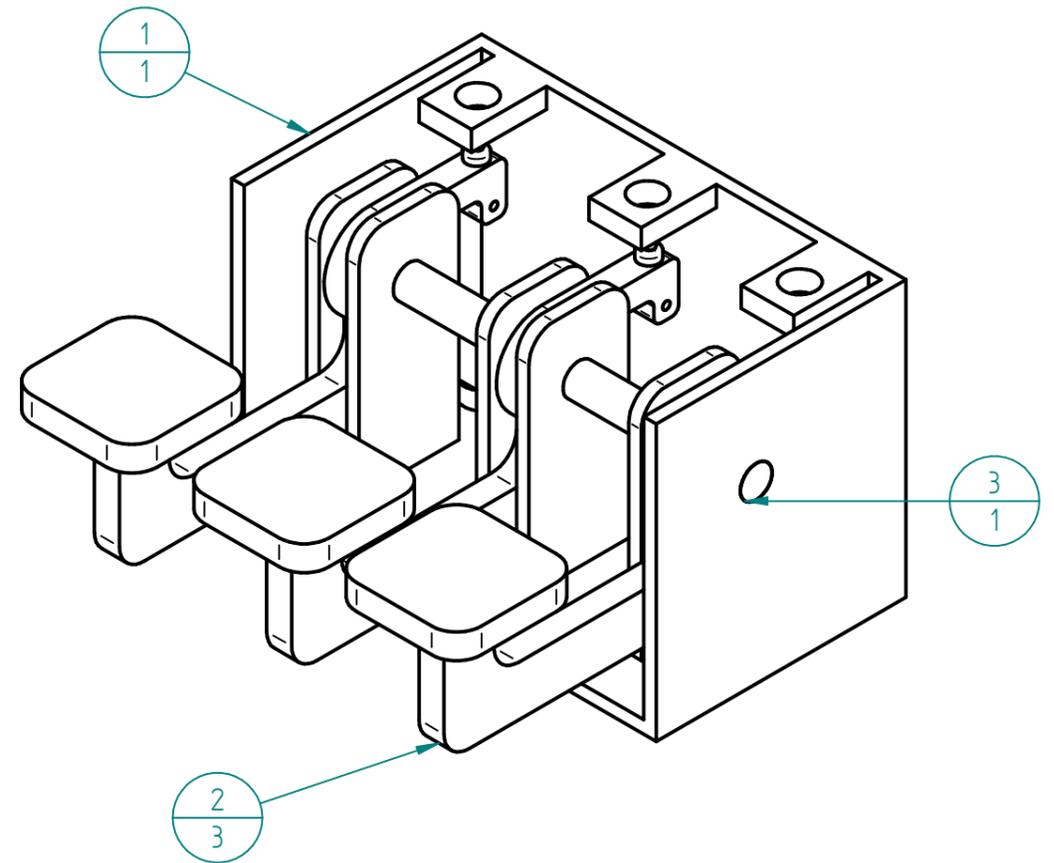
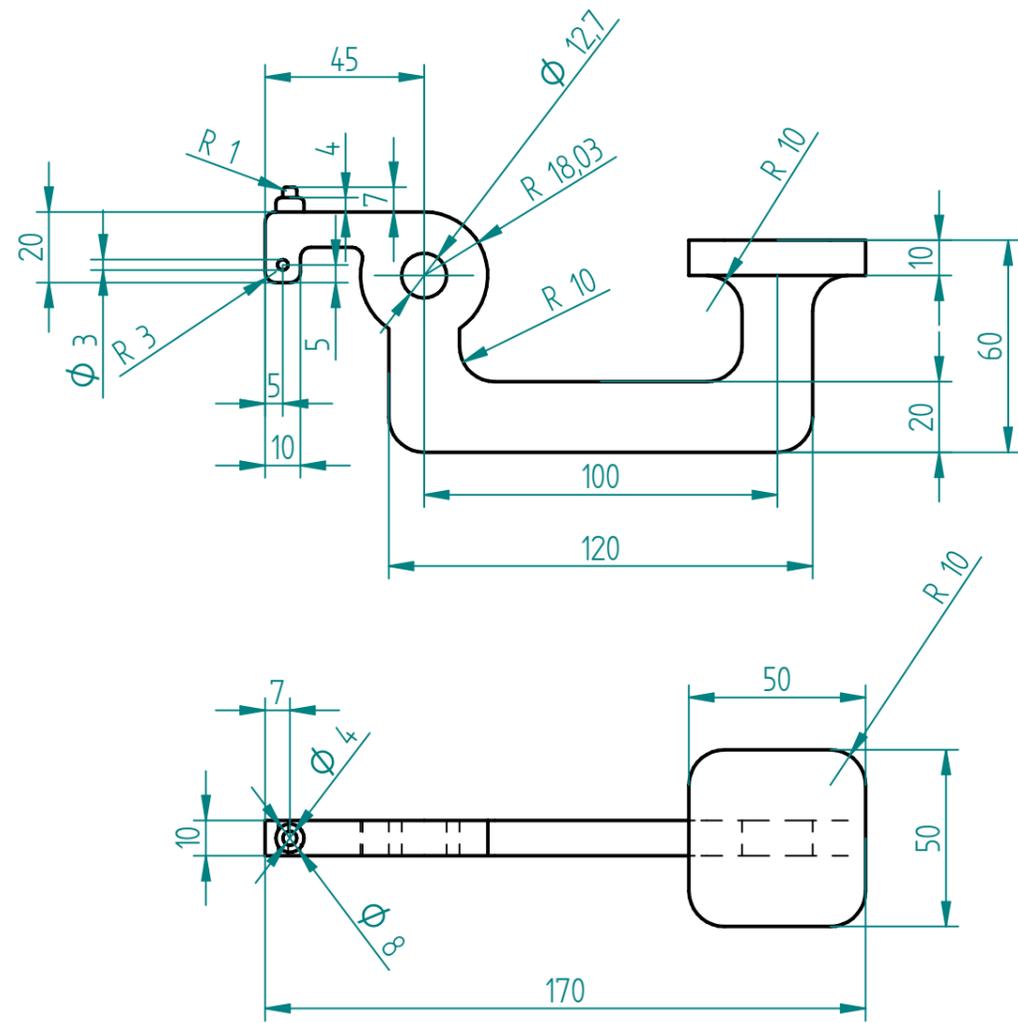
	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			Manigueta y espira		
Aprobado I			A3	Plano	11
Aprobado 2			Rev		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			Archivo: Plano 11 SPIRA.dft		
			Escala	1:5	Hoja 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha	 Institución Universitaria		
Dibujado	troches-soto	28/11/17			
Comprobado			Título		
Aprobado 1			Bese Pedales		
Aprobado 2			A3	Plano 12	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: Plano 12 base pedales.dft		
			Escala	1:2	Hoja 1

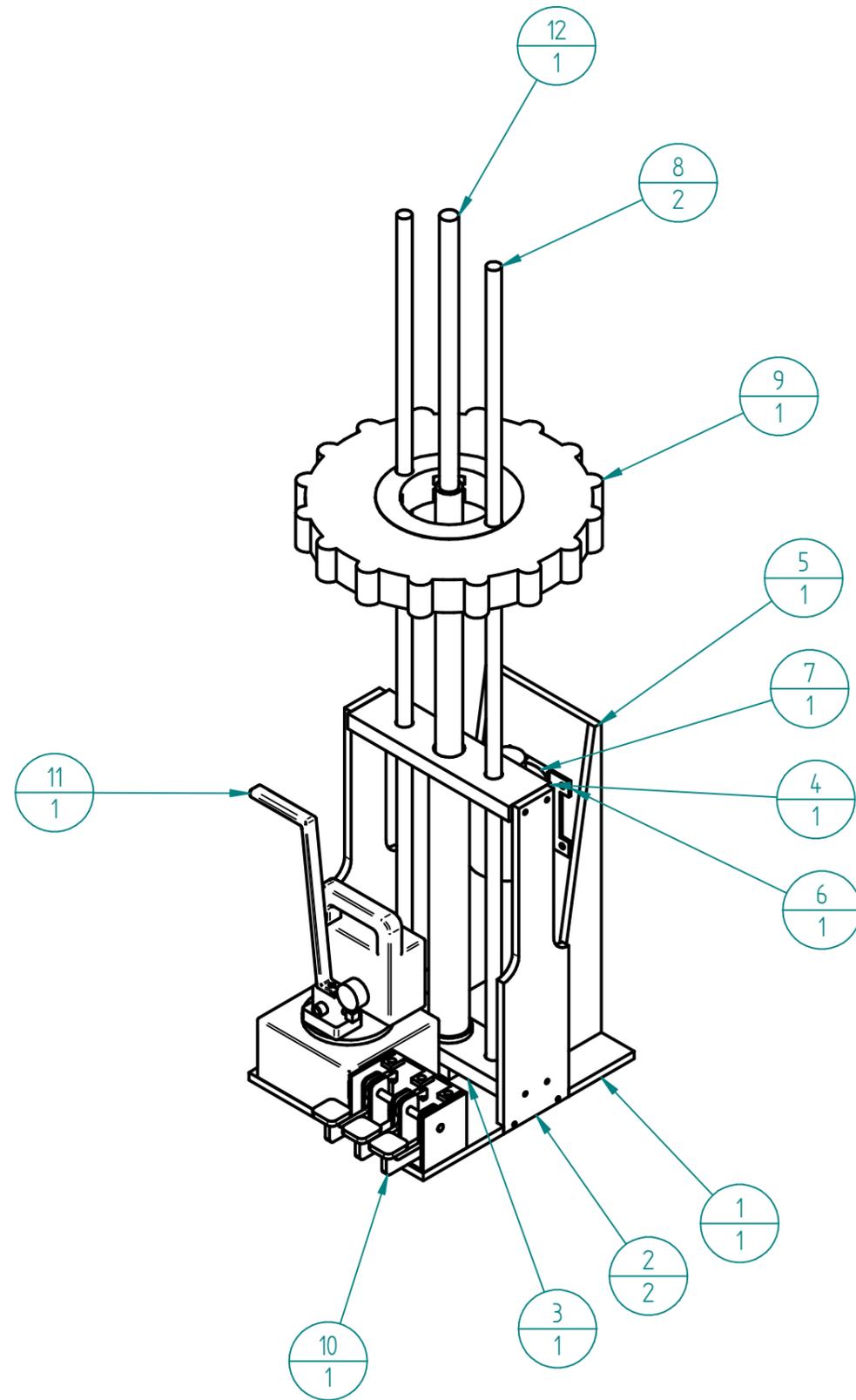
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	base pedales	Troches-Soto	1
2	Pedal	Troches-Soto	3
3	eje pedales	Troches-Soto	1

Nombre		Fecha	 Institución Universitaria	
Dibujado	troches-soto	28/11/17		
Comprobado			Pedales	
Aprobado I			A3	Plano
Aprobado 2			13	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: Plano 13 Pedal.dft	
			Escala	1:2

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Autor	Cantidad
1	base	Troches-Soto	1
2	lateral	Troches-Soto	2
3	base inferior	Troches-Soto	1
4	base superior	Troches-Soto	1
5	porta motor	Troches-Soto	1
6	base motor	Troches-Soto	1
7	motor1	Troches-Soto	1
8	eje	Troches-Soto	2
9	CABEZAL	Troches-Soto	1
10	sistema de pedales medio	Troches-Soto	1
11	bomba completa	Troches-Soto	1
12	cilindro nuevo completo	Troches-Soto	1

Nombre		Fecha	 Institución Universitaria	
Dibujado	troches-soto	28/11/17	Título	
Comprobado			Equipo Completo	
Aprobado I			A3 Plano 14 Rev	
Aprobado 2			Archivo: Plano 14 equipo.dft	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			Escala	I:10 Hoja 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

 Institución Universitaria	PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 088
		Versión	04
		Fecha	2016-10-03

FIRMA ESTUDIANTES Carlos E. Soto L.

[Signature]

FIRMA ASESOR Luis Fernando Cardona S.

INFORME FINAL APROBADO
CON CORRECCIONES 5:00 PM FECHA ENTREGA: 06-02-2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____