



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DISEÑO E INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE UN
VISCOSÍMETRO DE CAÍDA DE BOLA.

Tesis que para obtener título de

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

ANDRÉS HUMBERTO REYES JURADO

DIRECTOR: M. en I. HUMBERTO MANCILLA ALONSO



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2017.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO	9
3. ANTECEDENTES	11
3.1 NECESIDADES:	14
3.2 PROCEDIMIENTO ACTUAL:	15
3.3 PROBLEMÁTICA:	15
3.4 LIMITACIONES U OBSTÁCULOS	16
4. ESTADO DEL ARTE	18
5. MARCO TEÓRICO.....	25
5.1 DENSIDAD.....	26
5.2 FLUIDOS.....	27
5.3 VISCOSIDAD.....	30
5.4 VISCOSÍMETRO	31
5.5 PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES.....	35
5.6 ARRASTRE	36
5.7 NÚMERO DE REYNOLDS	36
5.8 LEY DE STOKES.....	38
5.9 VELOCIDAD LÍMITE	40
5.10 SENSOR INDUCTIVO	41
5.11 ADQUISICIÓN DE DATOS	42
5.12 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES	42
5.13 CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL (ADC)	43
5.14 BUS DE LA COMPUTADORA	43
5.15 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL	43
6. DISEÑO CONCEPTUAL	45
7. DISEÑO DE DETALLE	54
8. MANUFACTURA.....	60
9. PROGRAMACIÓN.....	71
9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	72
9.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO I/O	72

9.3 DESCRIPCIÓN DE LAS I/O.....	72
9.4 PSEUDOCÓDIGO	74
9.5 DIAGRAMA DE FLUJO	75
9.6 PROGRAMA	76
10. CONCLUSIONES	77
11. ANEXOS	77
12. FUENTES DE CONSULTA	77

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Aragón mi alma mater, por otorgarme el honor de haber estudiado en sus aulas y brindarme el conocimiento necesario para desarrollar con dignidad mi carrera.

A mi padre, Humberto, por enseñarme la magia de la ingeniería y por mostrarme la clase de ingeniero que quiero ser, por corregirme cuando era necesario y por siempre creer en mí.

A mi madre, Alejandra, por no dejarme olvidar que siempre se es niño, por apoyarme incondicionalmente y estar conmigo en todo momento .

A mis Abuelos, por acompañarme siempre y por darme su paciencia y su cariño por mantenerme enfocado, darme ánimos y desvelarse a mi lado

Al Club de Mecatrónica por todo el apoyo que me dieron, por el gran recibimiento que me brindaron, por las enseñanzas que aquí obtuve , por las grandes personas que encontré aquí y que me ayudaron en la realización de este proyecto en particular agradezco a Juan Escalante, Luis Rodríguez , Cesar Camacho , Joel Valerio , Fernando Rubio, Ruben Romero, Victoria Sánchez .

A mi asesor de tesis Humberto Mancilla, por ser mi profesor y un gran amigo, por ayudarme, explicarme y mostrarme apoyo en esta difícil aventura, por enseñarme lo valioso e importante de mi carrera y sobre todo por la paciencia mostrada.

INTRODUCCIÓN

*“Las matemáticas son el alfabeto con el cual
Dios ha escrito el Universo.” Galileo Galilei*

El presente trabajo tiene la finalidad de reportar los avances de un dispositivo de medición de viscosidad que satisfaga las necesidades académicas de la comunidad estudiantil y la planta docente del laboratorio **L2 “térmica y fluidos”** relativas a la realización de la práctica de viscosidad, la cual se realiza a lo largo del semestre en algunas asignaturas del plan de estudios de la carrera de ingeniería Mecánica en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, (UNAM), con lo cual beneficia a un aproximado de 435 alumnos al año.

Éste dispositivo para la medición de viscosidad se realizó bajo el esquema del siguiente método de diseño:

Es importante tener definidos con claridad los alcances del proyecto, con la intención de enfocar bien los medios disponibles y no generar situaciones que no son del interés del proyecto.

En el capítulo de antecedentes se realizó una explicación de las necesidades que tienen los profesores y los alumnos al realizar la práctica, los problemas que presenta y los principales riesgos que conlleva, se describe el modo actual en el que se realiza el proceso, además del viscosímetro que está en laboratorio el cual sirvió como parámetro de arranque para este proyecto

Además se realizó una investigación que tiene el fin de conocer cómo se componen las funciones que brindan los viscosímetros en la industria, así como realizar el mercado e indirectamente determinar las oportunidades de mejora.

Para comprender el funcionamiento del dispositivo se brinda una explicación general, sin llegar a profundizar en ninguno de los aspectos relacionados, de la viscosidad, los viscosímetros, velocidad límite, instrumentación virtual, entre otras definiciones.

Partiendo del viscosímetro ya existente como antecedente directo, se hicieron bocetos con las propuestas de solución de las necesidades establecidas, en este capítulo se puede observar la evolución entre cada boceto y entre cada idea, hasta llegar al diseño conceptual final.

En el diseño de detalle este capítulo se procede a definir las medidas y seleccionar los materiales con los cuales el viscosímetro será construido. En esta etapa se realizaron los planos descriptivos que estarán presentes en el capítulo de anexos.

Para el apartado dedicado a la manufactura se hace mención, paso por paso, de la realización de los modelos necesarios para verificar el principio de operación, como de la programación.

Se describe la lógica de operación del dispositivo, así como la manera en la que los sensores y demás elementos electrónicos funcionarán en conjunto con la interfaz y con el usuario.

Se hace una revisión de todo lo anterior comparando si se satisface las necesidades y la medida en que los objetivos propuestos fueron alcanzados.

En el último capítulo se incluyen los planos del dispositivo, así como las hojas de datos de los componentes electrónicos para su consulta

Todo lo anterior responde a la metodología de diseño (ver Fig. 1.1) que se utiliza para trabajar en el Club de Mecatrónica de la FES Aragón propuesta por el M. en I. Humberto Mancilla Alonso,

cabe resaltar que el proceso aunque se muestra lineal puede presentar iteraciones para resolver conflictos en algunas de los pasos, por lo cual se debe de regresar un paso atrás para resolver dicho problema y poder continuar.

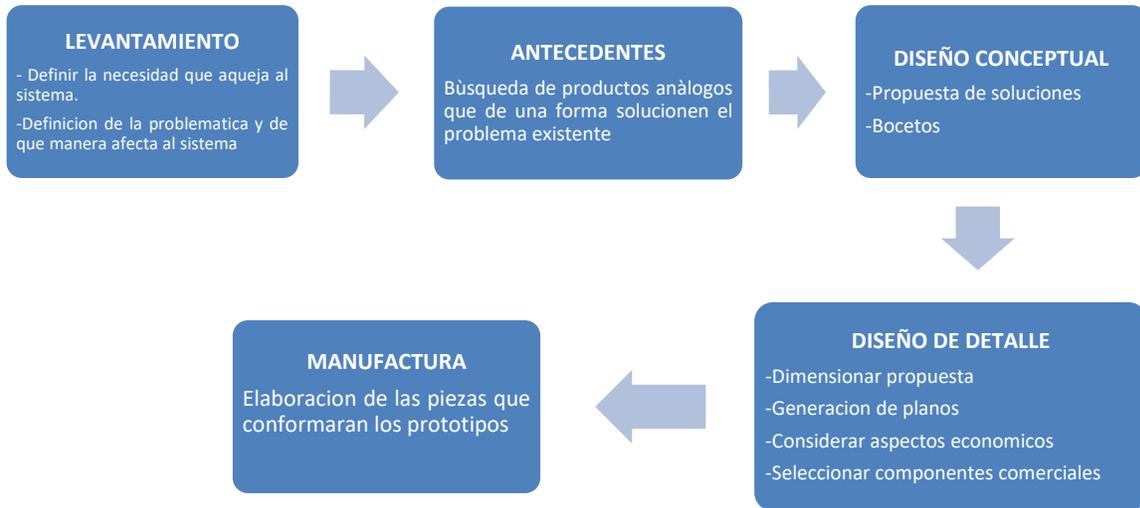


Fig. 1.1 Metodología de diseño

OBJETIVO

“El mejor científico está abierto a la experiencia, y ésta empieza con un romance, es decir, la idea de que todo es posible.” Ray Bradbury

Colaborar y mejorar la enseñanza de diversas materias de la carrera de ingeniería mecánica al diseñar y construir un dispositivo capaz de medir la velocidad con la que se desplaza un balón en 3 líquidos diferentes, a través de la técnica de caída de bola y la ley de Stokes para posteriormente estimar el valor de viscosidad de los líquidos a prueba.

Cabe mencionar que el dispositivo tiene una finalidad didáctica, dirigida a los alumnos que cursan la carrera de ingeniería mecánica, por lo cual es posible de que tanto el precio como el método de medición de viscosidad no sean los adecuados en aplicaciones industriales, por lo que dejan a buen criterio del lector que pueden existir procesos de manufactura o materiales que reduzcan el costo, el tiempo de fabricación, de igual manera también existen métodos de medición que podrían ser más exactos.

ANTECEDENTES

*“La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento,
sino también en la destreza de aplicar los
conocimientos en la práctica.” Aristóteles*

El plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Estudios Superiores Aragón requiere para el laboratorio de algunas asignaturas, prácticas de viscosidad, que hasta el momento se realizan con dispositivos armados que sirven momentáneamente (ver Fig. 3.1); el primer antecedente de un viscosímetro que haya aparecido en las prácticas, fue realizado con elementos improvisados:

- Balín
- Termómetro
- Cronometro manual
- Cinta métrica
- Gancho para ropa
- Pinzas de punta
- Probeta de vidrio transparente de 250 ml
- Plumón



Fig. 3.1 Las partes primordiales para el dispositivo son la probeta y el cronometro manual

Para realizar las pruebas necesarias se ocupan las siguientes sustancias:

- Aceite SAE 40
- Glicerina
- Aceite de cocina
- Agua

Sin embargo, las sustancias en este dispositivo son ilimitadas dado que se puede vaciar cualquier fluido que se desee estudiar, debido a la facilidad de cambio, únicamente se debe de limpiar la probeta entre una sustancia y otra.

La ventaja que presenta dicho dispositivo se obtiene en que es completamente armado con piezas de laboratorio, la desinstalación y su limpieza son de facilidad considerable, además de que todas las piezas al momento de ser almacenadas requieren de muy poco espacio.

En respuesta a la necesidad de tener un dispositivo preciso para realizar una práctica de viscosidad, se inició con la realización de la presente tesis con la finalidad de construir un

viscosímetro para solucionar todas las fallas del método proceso actual que posteriormente será descrito.



Fig. 3.2 Prototipo de viscosímetro anterior [Fuente: Elaboración propia]

Sin embargo, el prototipo construido (ver Fig. 3.2) quedó inconcluso, pues presentó varias fallas de diseño y construcción. Entre los problemas más críticos se encuentran los derrames de fluidos contenidos en los tubos de acrílico que no sellaban, por lo tanto, al girar el dispositivo 180° los fluidos fugaban por la parte superior, además con el giro que tenía el dispositivo perdía estabilidad y tenía tendencia a voltearse si no se sostenía de la base.



Fig. 3.3 Perno que sirve para que el dispositivo gire (izquierda), sujeción de los tubos de acrílico en la parte superior sin sellar (derecha). [Fuente: Elaboración propia]

Para intentar mantener la verticalidad del dispositivo se utilizó un nivel de burbuja (ver Fig. 3.4), con la cual se pretendía visualizar la inclinación que presentaba.



Fig. 3.4 Nivel de burbuja utilizado para visualizar la inclinación del dispositivo. [Fuente: Elaboración propia]

Aunque el prototipo construido ya presentaba un avance considerable quedó inconcluso más de un año por lo que en este momento se retomó poniendo atención en los fallos que presentaba.

Los antecedentes más cercanos, en cuanto a la instrumentación virtual que se trabajaron en el laboratorio, son los proyectos relacionados con el ciclo Rankine los cuales tienen que ver con cada una de las partes que componen al mismo:

- Martínez, P... (2016). Instrumentación virtual de la caldera Clayton del laboratorio L2 de la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Nezahualcóyotl, Estado de México: UNAM.
- Velázquez, R... (2015). Diseño de una servo válvula para turbina Coppus. Nezahualcóyotl, Estado de México: UNAM.
- Carbajal, G. (2016). Instrumentación virtual y supervisión a distancia para una planta de vapor generadora de energía. Nezahualcóyotl, Estado de México.: UNAM.
- Millán, C. (2016). Diseño y construcción de control de servo válvulas para cabezal de turbina Coppus tipo RLA. Nezahualcóyotl, Estado de México: UNAM.

Todas realizadas en el Club de Mecatrónica de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, con la intención de ayudar a la comunidad estudiantil de las carreras de ingeniería que se imparten en esta facultad.

3.1 NECESIDADES:

- El proyecto deberá tener 3 fluidos en estudio, los cuales tendrán diferentes valores de viscosidad.
- El dispositivo deberá ser visible en el laboratorio, con la finalidad de que los estudiantes aprecien el fenómeno en estudio.
- El uso del dispositivo será fácil, ya que no se restringe a una sola persona (profesor, técnico o alumno).
- El prototipo debe ser resistente y de buena manufactura, para ser operativo por un largo periodo teniendo en cuenta que se realizan un promedio de 10 prácticas al semestre.

3.2 PROCEDIMIENTO ACTUAL:

1. Se realizan dos marcas en una probeta con un plumón y una cinta métrica, la primera a 5 cm del extremo inferior y la segunda a 30 cm en dirección ascendente a partir de la marca antes realizada.
2. Se mide el diámetro del balón para calcular su volumen y su masa.
3. Se realiza el llenado de la probeta con 4 sustancias, teniendo en cuenta que el fluido tendrá que llenar por completo la probeta hasta llegar a casi 4 cm antes de que se desborde, se deberá tener especial cuidado en no dejar burbujas en el interior de la probeta, ya que estas afectan las mediciones, por lo cual se dan unos leves golpes para que estas asciendan y desaparezcan o se espera hasta que estas salgan del fluido por si solas.
4. Se usa un termómetro para tomar la lectura de la temperatura interna del fluido.
5. Con unas pinzas se sujeta el balón en la entrada de la probeta y se sumerge hasta antes de la primera marca.
6. Se abren las pinzas y se deja caer el balón, teniendo cuidado de que el balón descienda en la parte central de la probeta y que no toque las paredes.
7. Cuando el balón pase la marca superior, se activa un cronometro manual el cual deberá de seguir activo durante todo el trayecto descendente hasta que llegue a la marca inferior, cuando esto suceda el cronometro es detenido.
8. Con ayuda de un imán se saca el balón del fondo de la probeta.
9. Con los datos obtenidos se llena una tabla de registro.
10. Se repiten los pasos del 1 al 9 para las 4 sustancias.
11. Con todos los datos obtenidos de la tabla de registro se procede a llenar la tabla de resultados con ayuda de las ecuaciones necesarias para estimar el valor de la viscosidad.

Desventajas del procedimiento actual:

- Depende de la velocidad de reacción del operador para iniciar y detener el cronómetro manual.
- La posición en la que se encuentra el operador que está viendo la probeta es importante, debido a que la perspectiva visual de donde se encuentra el balón varía (Error de paralelaje).
- Se necesitan varias personas trabajando simultáneamente alrededor de la probeta para poder realizar la práctica, lo cual lleva a que no presten atención al fenómeno en estudio.
- Durante el desarrollo de la práctica y hasta su finalización es necesario realizar actividades de limpieza a cada objeto que se utiliza, dado que la constante manipulación de sustancias así lo exige.
- Realizar operaciones manuales al sustituir los valores obtenidos en las ecuaciones, se tiene la posibilidad de tener un error en el resultado debido a una equivocación o a un redondeo de valores excesivo.

3.3 PROBLEMÁTICA:

La problemática que actualmente tiene el equipo que se encuentra en el laboratorio principalmente se divide en tres:

1. La principal preocupación es la precisión de las medidas y ya que para la realización se hace uso de cronómetros manuales, estos dependen en su totalidad del operario y ya que como antes se mencionó la precisión forma parte fundamental, lo que se desea es erradicar el problema del “error humano” el cual se ve influido por los reflejos del operario así como por el posicionamiento que tenga enfrente del dispositivo.
2. El dispositivo que se encuentra actualmente tiene varias fallas en su operación dado que no está terminado, algunas de sus funciones no son útiles, por ejemplo, el dispositivo está diseñado para rotar 180° para poder de esta forma regresar el balín a la parte superior del tubo sin embargo la falta de hermeticidad del dispositivo provoca el derramamiento del líquido en estudio, otra falla es que en cada ocasión en la que se desea rotar el dispositivo, este tiende a volcarse debido a la falta de estabilidad y el poco soporte que brinda la base en la cual está dispuesto.
3. Un problema presente es a causa de la modernización del laboratorio; la práctica se realiza por métodos de cálculo convencionales en los que el operario debe de recopilar los datos, vaciarlos en una memoria de cálculo y de esta forma calcular los valores de viscosidad para el fluido en estudio, esta forma de cálculo aunque convencional, resulta muy poco práctica en cuestión de tiempo y de que aun así el operario podría incurrir en algún error al momento de calcular, por lo cual el dispositivo no cuenta con una interfaz que con ayuda de una computadora pueda realizar el cálculo por sí solo.

3.4 LIMITACIONES U OBSTÁCULOS:

- La falta de presupuesto ha impedido que la Facultad de Estudios Superiores Aragón pueda adquirir dispositivos didácticos los cuales sirvan para la enseñanza de las diversas asignaturas que se imparten en la carrera de ingeniería mecánica.
- La maquinaria, así como el equipo con el que cuenta la Facultad de Estudios Superiores Aragón, en muchas ocasiones es obsoleto debido al tiempo de funcionamiento que tienen, a su vez la falta de mantenimiento correctivo es una agravante del mal estado en el que se encuentra, debido a esto, se han tenido que improvisar arreglos a estos dispositivos los cuales afectan el funcionamiento para el cual fueron diseñados.
- En ocasiones los profesores o técnicos que laboran dentro del área de laboratorios no cuentan con la capacitación adecuada en cuanto al manejo de cierto tipos de instrumentos y maquinarias se refiere, dando como resultado en el mal uso de dichos dispositivos, lo que conlleva un desgaste prematuro o en algunos casos a que queden fuera de servicio por ser inoperables.
- La falta de equipo especializado para realizar algunas prácticas que se requieren para comprender ciertos fenómenos que se explican a lo largo del temario de las materias de la carrera de ingeniería mecánica es de vital importancia, y debido a que no se cuenta con dicho equipo se hace uso de métodos más rústicos o caseros para que los alumnos realicen dichas prácticas.

- Para realizar cambios y adquisiciones dentro del inventario universitario, la documentación y el proceso administrativo es largo y en muchos casos muy pocos funcionarios son capaces de poder dar la asesoría necesaria para terminar el complicado proceso en el cual la mayoría de los profesores y técnicos declinan después de ver el panorama burocrático.
- La renovación del equipamiento en los laboratorios es de vital importancia dado que las exigencias de una carrera como ingeniería mecánica, que está en constante innovación y actualización, lo requiere, la maquinaria y dispositivos que son utilizados, en la gran mayoría de los casos son antiguos y muchas veces son imprecisos, para lo cual la adquisición de instrumentos digitales de mayor precisión sería una gran apuesta para el mejoramiento en la enseñanza.



ESTADO DEL ARTE

“El auténtico problema no es si las máquinas piensan, sino si lo hacen los hombres.”

Frederic Burrhus Skinner

Un viscosímetro se utiliza sobre todo en laboratorios, pero también es necesario en procesos de control de calidad. Existen diferentes tipos de viscosímetro, se diferencian en los principios de funcionamiento. Actualmente se encuentran diferentes tipos de viscosímetro en muchas aplicaciones, que cumplen con diferentes propósitos de medición. Existen varios modelos de viscosímetro que se utilizan para mediciones sencillas de un punto. Se trata de medidores portátiles que no solo sirven para mediciones estacionarias, sino que también permiten mediciones en cualquier lugar. Los diferentes tipos de viscosímetro estacionarios también constituyen un amplio segmento. Se trata por lo general de sistemas de medición complejos y grandes que permiten un examen detallado de muestras de líquidos.

Actualmente los viscosímetros con fines didácticos no son comunes por el mismo motivo en esta parte se muestran los tipos de viscosímetros más utilizados en la industria, puede variar su marca, precio y especificaciones técnicas, sin embargo son los que por sus características generales son más recurridos.

VISCOSÍMETRO DE CAÍDA DE BOLA LOVIS 2000 M/ME

Lovis 2000 M/ME (ver Fig. 4.1) es un viscosímetro de caída de bola que mide el tiempo de caída de una bola a través de los líquidos transparentes y opacos de acuerdo al principio de caída de bola de Höppler. La medición requiere sólo un volumen de muestra de 100 μ L. Los resultados se proporcionan como viscosidad intrínseca, cinemática o dinámica. Lovis 2000 M/ME es compacto, económico y ocupa poco espacio en el laboratorio.



Fig. 4.1 Viscosímetro Lovis 2000 M/ME. [Fuente: Anton Paar]

- A partir de una muestra de 100 μ L
- Viscosímetro modular que ocupa poco espacio.
- Termostato Peltier rápido y preciso.
- Posible combinación eficiente con densímetros, medidores de la velocidad de sonido y cambiadores de muestras.
- Alta precisión y comparabilidad de los resultados de medición.
- Sistema cerrado: sin contacto de la muestra con el aire.
- Ángulo de medición variable para el cálculo de la viscosidad de cizalla nula.
- Máxima resistencia a las muestras corrosivas.

- Para muestras de hasta 10.000 mPas entre 5 °C y 100 °C.
- Los primeros resultados están listos en sólo 30 segundos.
- Software eficiente para la grabación y el análisis de los datos.

Precio: \$50,000 MXN

VISCOSÍMETRO DE CAÍDA DE BOLAS HÖPPLER



Fig. 4.2 Viscosímetro Visco Ball. [Fuente: Directindustry]

El viscosímetro de caída de bola VISCO BALL (ver Fig. 4.2) mide el tiempo que una esfera sólida necesita para recorrer una distancia entre dos puntos de referencia dentro de un tubo inclinado con la muestra. Los resultados obtenidos se determinan como viscosidad dinámica en la medida estandarizada en el Sistema Internacional (mPa.s).

El VISCO BALL determina la viscosidad de líquidos Newtonianos y gases (con una bola especial para gases).

Cumple los requerimientos de las normativas DIN 53015 e ISO 12058.

Entre sus aplicaciones figuran la investigación, el control de procesos y el control de calidad.

Este viscosímetro se utiliza principalmente para sustancias de baja viscosidad, como:

- Industria de aceites minerales (aceites, líquidos hidrocarburos)
- Industria alimentaria (soluciones de azúcar, miel, cerveza, leche, gelatina, zumos de frutas)
- Industria química (soluciones de polímeros, disolventes, soluciones de resinas, dispersiones de látex, soluciones adhesivas)

- Industria cosmética/Farmacéutica (materias primas, glicerina, emulsiones, suspensiones, soluciones, extractos)
- Industria petrolera (crudo, aceite para máquinas, petróleo)
- Carburantes (petróleo, aceite diésel y parafina)
- Industria papelera (emulsiones, dispersiones de pigmentos, aditivos del papel)
- Pinturas y barnices (tintas para impresión, barnices, acuarelas, tintas)
- Detergentes

Rango de viscosidad	0,5 a 100.000 mPa·s (cP)
Rango de temperatura	-20 °C hasta +120 °C
Reproducibilidad	Mejor que el 0,5%
Comparabilidad	Mejor que el 1%
Materiales	Bolas 1,2 y G, Vidrio borosilicato Bolas 3 y 4, aleación de níquel hierro Bolas 5 y 6, acero inoxidable

Fig. 4.3 Tabla de datos técnicos del viscosímetro VISCO BALL

Bola N°	Rango de medidas en mPa·s (cP)
1	de 0,6 hasta 10
2	de 7 hasta 130
3	de 30 hasta 700
4	de 200 hasta 4.800
5	de 1.500 hasta 45.000
6	> 7.500

Fig. 4.4 Tabla de medidas de bolas que puede utilizar el viscosímetro

Precio: \$3,000 MXN

VISCOSÍMETRO CUPTIMER 243 T-1

Estación electrónica que determina de forma precisa el tiempo de flujo en el viscosímetro de copa normalizado para determinar de la viscosidad. El CUPTIMER 243 T (ver Fig. 4.6) se suministra con un certificado de fábrica M según la norma DIN 55 350-18, que contiene la siguiente información: Resultado de la comprobación de función del viscosímetro de copa, precisión del dispositivo de medición de tiempo, instrumentos de control insertados con estándares de calibración, autenticación del producto, fecha, nombre del comprobador. La precisión del dispositivo de medición de tiempo se determina con un cronómetro digital inalámbrico.

- Desarrollo de la medición automático con muestreo óptico del chorro de flujo
- Tiempos de flujo hasta 1000 s con una resolución de hasta 0,01 s en pantalla LCD

- Adecuado para cualquier fluido (aceite de calibración transparente y barnices opacos)
- Concepto de temperación cercano a la práctica: carcasa de atemperado extraíble del aparato principal, adaptación a diferentes copas de viscosímetro mediante adaptador
- Funciona con una tecla
- Confeccionado como estación móvil: soporte compacto y firme sobre una plataforma nivelable; conexiones de tubo; alimentación por componente de red.

Indicación del valor de medición	Pantalla LCD de 4 dígitos, con conmutación automática entre los rangos de medición
Dimensiones	Altura: 310 mm (aparato base) ancho: 200 mm Fondo: 280 mm
Peso (aparato base)	Aprox. 3 kg
Alimentación / componente de red	Primario: 230 V AC Secundario: 12 V DC, 100 mA
Potencia absorbida	Aprox. 0,8 VA

Fig. 4.5 Tabla de especificaciones técnicos del viscosímetro CUPTIMER 243 T-1



Fig. 4.6 Viscosímetro Cuptimer 243 T-1 [Fuente: Pce-iberica]

Precio: \$41,000 MXN

Viscosímetro móvil PCE-RVI 3 VP 20

El viscosímetro móvil flexible PCE-RVI 3 (ver Fig. 4.8) es especialmente apto para una medición rápida de la viscosidad de diferentes líquidos. El viscosímetro móvil determina la viscosidad con base en el método de Brookfield, muy frecuente y fijado como método de medición estándar en muchas empresas. La viscosidad se calcula por el número de alabes y la velocidad. Así no sólo se generan resultados de medición precisos sino también comparables a nivel internacional. El

manejo amigable para el usuario del viscosímetro móvil PCE-RVI 3 se debe a su diseño ergonómico y a su uso fácil. El viscosímetro móvil se entrega con una cantidad fija de revoluciones, de modo que solamente hay que seleccionar el husillo adecuado para cubrir el rango de medición deseado. La viscosidad determinada se indica en la pantalla. A la vez, se indican la velocidad (rpm), el tipo de husillo (R1-R7) y la parte de oscilación completa. Alimentado por baterías, el viscosímetro móvil PCE-RVI 3 proporciona resultados de medición exactos durante 24 h. A parte del empleo móvil en prácticamente cualquier lugar, el viscosímetro también puede instalarse de modo fijo mediante un soporte de laboratorio opcionalmente disponible. Así, el viscosímetro móvil PCE-RVI 3 puede emplearse siempre cuando haya que determinar valores de viscosidad de modo rápido y fiable, en procesos de producción, laboratorios o proyectos de investigación.

Principio de medición	Método Brookfield (viscosímetro de rotación)
Velocidad de revoluciones Viscosímetro móvil PCE-RVI 3 VP 20	20 r.p.m.
Viscosidad Viscosímetro móvil PCE-RVI 3 VP 20	200 ... 200000 mPa·s (50 - 500 mPas con el husillo especial R 1 opcional)
Precisión	±2 %
Repetitividad	±1 %
Indicaciones de pantalla	Revoluciones Sistema de medición Viscosidad Porcentual al valor fondo de escala Estado de la batería
Alimentación	4 pilas alcalinas AA
Condiciones ambientales	+10 ... +40 °C / < 80 % h. r. sin condensar
Dimensiones	10,5 x 16 x 25,5 cm
Peso	1150 g
Tipo de protección	IP 20

Fig. 4.7 Especificaciones técnicas del viscosímetro móvil PCE-RVI 3



Fig. 4.8 Viscosímetro móvil PCE-RVI 3 VP 20 [Fuente: Pce-instruments]

Precio: \$34,740 MXN

Como una breve aclaración a este capítulo se debe de mencionar que los precios mostrados de todos los dispositivos son una conversión de su precio (en el país que se venden) a pesos mexicanos consultados en el mes de Febrero del 2016, por lo tanto, el precio puede variar al día de hoy debido a la fluctuación del peso mexicano frente al dólar o al euro.

Además como se dijo al inicio del apartado y como se pudo constatar con la presentación de los viscosímetros, no existen viscosímetros cuyo principal enfoque sea didáctico, por lo cual, la compra de alguno de estos dispositivos para ser usado en el laboratorio sería innecesario, por lo cual se propone la construcción de un dispositivo el cual pueda ser utilizado para fines de enseñanza.

MARCO TEÓRICO

“Un ordenador es para mí la herramienta más sorprendente que hayamos ideado. Es el equivalente a una bicicleta para nuestras mentes.”

Steve Jobs

En esta sección se proporcionan las bases teóricas necesarias para abordar los capítulos subsiguientes, referentes al diseño y funcionamiento del viscosímetro propuesto en este trabajo.

La mecánica de fluidos es la ciencia que estudia el efecto de fuerzas aplicadas a los fluidos. En contraste con un sólido, un fluido es una sustancia cuyas partículas pueden moverse fácilmente y cambiar su posición relativa. Técnicamente, la diferencia entre ambos es que el sólido puede resistir un esfuerzo cortante con una deformación estática; mientras que el fluido no. Cualquier esfuerzo cortante aplicado a un fluido, no importa cuán pequeño sea, provoca el movimiento del fluido

5.1 DENSIDAD:

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra ρ rho del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (1)$$

Densidad absoluta

La densidad o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia. Su unidad en el Sistema Internacional es kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente también es expresada en g/cm^3 . La densidad es una magnitud intensiva.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (2)$$

Siendo ρ , la densidad; m , la masa; y V , el volumen de la sustancia.

Densidad relativa

La densidad relativa de una sustancia es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia; en consecuencia, es una magnitud adimensional (sin unidades)

$$P_r = \frac{\rho}{\rho_0} \dots \dots \dots (3)$$

Donde P_r es la densidad relativa, ρ es la densidad de la sustancia, y ρ_0 es la densidad de referencia o absoluta.

Los instrumentos más comunes para medir la densidad son:

- El densímetro, que permite la medida directa de la densidad de un líquido.
- El picnómetro, que permite la medida precisa de la densidad de sólidos, líquidos y gases (picnómetro de gas).
- La balanza hidrostática, que permite calcular densidades de sólidos.
- La balanza de Mohr (variante de balanza hidrostática), que permite la medida precisa de la densidad de líquidos.

Las unidades de medida más usadas son:

En el Sistema Internacional de Unidades (SI):

- kilogramo entre metro cúbico (kg/m^3).
- gramo entre centímetro cúbico (g/cm^3).
- kilogramo entre litro (kg/L) o kilogramo entre decímetro cúbico. La densidad del agua es aproximadamente 1 kg/L ($1000 \text{ g/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ g/ml}$).
- gramo entre mililitro (g/ml), que equivale a (g/cm^3).
- Para los gases suele usarse el gramo entre decímetro cúbico (g/dm^3) o gramo entre litro (g/L), con la finalidad de simplificar con la constante universal de los gases ideales:

$$R = 0,082 \frac{\text{atm}\cdot\text{L}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \dots\dots\dots (4)$$

5.2 FLUIDOS:

Para el estudio de los fluidos es indispensable referirnos a la mecánica de fluidos que estudia los movimientos de los fluidos y una rama de la mecánica de medios continuos. También estudia las interacciones entre el fluido y el contorno que lo limita.

Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas sólo hay una fuerza de atracción débil. Una característica de los fluidos es que pueden cambiar de forma sin que aparezcan en su seno fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma "original" (lo cual constituye la principal diferencia con un sólido deformable, donde sí hay fuerzas restitutivas).

Un fluido es un conjunto de partículas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas cohesivas débiles y las paredes de un recipiente; el término engloba a los líquidos y los gases. En el cambio de forma de un fluido la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen. Los líquidos toman la forma del recipiente que los contiene, manteniendo su propio volumen, mientras que los gases carecen tanto de volumen como de forma propios.

Características:

- *Compresibilidad.* Todos los fluidos son compresibles en cierto grado. No obstante, los líquidos son altamente incompresibles a diferencia de los gases que son altamente compresibles. Sin embargo, la compresibilidad no diferencia a los fluidos de los sólidos, ya que la compresibilidad de los sólidos es similar a la de los líquidos.
- *Viscosidad,* aunque la viscosidad en los gases es mucho menor que en los líquidos. La viscosidad hace que la velocidad de deformación pueda aumentar las tensiones en el seno del medio continuo. Esta propiedad, acerca a los fluidos viscosos con sólidos viscoelásticos.
- *Distancia Molecular Grande:* Esta es una de las características de los fluidos en la cual sus moléculas se encuentran separadas a una gran distancia en comparación con los sólidos y esto

le permite cambiar muy fácilmente su velocidad debido a fuerzas externas y facilita su compresión.

- *Fuerzas de Van der Waals*: Esta fuerza fue descubierta por el físico holandés Johannes Van der Waals, el físico encontró la importancia de considerar el volumen de las moléculas y las fuerzas intermoleculares y en la distribución de cargas positivas y negativas en las moléculas estableciendo la relación entre presión, volumen, y temperatura de los fluidos.
- *Ausencia de memoria de forma*, es decir, toman la forma del recipiente que lo contenga, sin que existan fuerzas de recuperación elástica como en los sólidos. Debido a su separación molecular los fluidos no poseen una forma definida por tanto no se puede calcular su volumen o densidad a simple vista, para esto se introduce el fluido en un recipiente en el cual toma su forma y así podemos calcular su volumen y densidad, esto facilita su estudio. Esta última propiedad es la que diferencia más claramente a fluidos (líquidos y gases) de sólidos deformables.

Clasificación

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo con diferentes características, y su comportamiento viscoso, que presentan en:

Fluidos perfectos:

El fluido perfecto es un estado de la materia caracterizado por la ausencia total de viscosidad (lo cual lo diferencia de una sustancia muy fluida, la cual tendría una viscosidad próxima a cero, pero no exactamente igual a cero), de manera que, en un circuito cerrado, fluiría interminablemente sin fricción. Fue descubierta en 1937 por Piotr Kapitsa, John F. Allen y Don Misener

Fluido newtoniano:

Un fluido newtoniano es un fluido cuya viscosidad puede considerarse constante en el tiempo. Los fluidos newtonianos son uno de los fluidos más sencillos de describir. La curva que muestra la relación entre el esfuerzo o cizalla contra su velocidad de deformación es lineal (ver Fig. 5.1). El mejor ejemplo de este tipo de fluidos es el agua en contraposición al pegamento, la miel o los geles y sangre que son ejemplos de fluido no newtoniano.

Un buen número de fluidos comunes se comportan como fluidos newtonianos bajo condiciones normales de presión y temperatura: el aire, el agua, la gasolina, el vino y algunos aceites minerales.

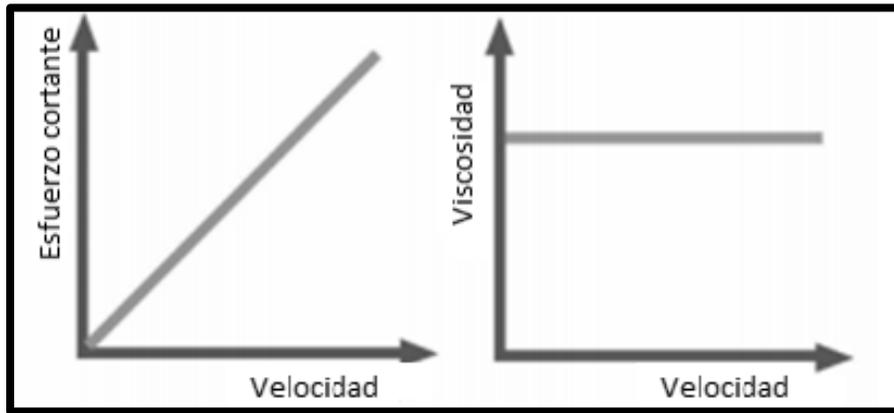


Fig. 5.1 Gráfica de comportamiento de la viscosidad en un fluido newtoniano

Fluido no newtoniano:

Un fluido no newtoniano es aquel fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica. Como resultado, un fluido no newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido newtoniano.

Se tienen dos principales clasificaciones de los fluidos no newtonianos: independientes del tiempo y dependientes del tiempo. Como su nombre lo indica, los fluidos independientes del tiempo tienen una viscosidad, a cualquier tensión de tiempo, sin embargo, cambiará con él.

Se puede definir tres tipos de fluidos independientes del tiempo:

- *Seudoplásticos.* La gráfica de la tensión de corte contra el gradiente de velocidad se encuentra por encima de la línea recta, de pendiente constante, correspondiente a los fluidos newtonianos. La curva inicia abruptamente, lo que indica una alta viscosidad aparente. Luego la pendiente disminuye al aumentar el gradiente de velocidad. Algunos ejemplos de éste fluido son el plasma sanguíneo, el polietileno fundido y las suspensiones acuosas de arcilla.
- *Fluidos dilatadores.* La gráfica de tensión de corte contra el gradiente de velocidad se encuentra por debajo de la línea recta correspondiente a los fluidos newtonianos. La curva empieza con una pendiente baja, lo que indica una baja viscosidad aparente. Luego la pendiente aumenta al aumentar el gradiente de velocidad. Algunos ejemplos de fluidos dilatadores son la fécula de maíz en etilenglicol, el almidón en agua y dióxido de titanio.
- *Fluidos de Bingham.* En ocasiones conocidos como fluidos de tapón de flujo, éstos requieren el desarrollo de un nivel significativo de tensión de corte antes de que empiece el flujo. Cuando empieza el flujo, se tiene una pendiente de la curva esencialmente lineal, lo cual indica una viscosidad aparente constante. Algunos ejemplos de estos fluidos son el chocolate líquido, la catsup, la mostaza, la mayonesa, la pasta dental, la pintura, el asfalto, algunas grasas y las suspensiones acuosas de ceniza de carbón o de sedimentos de aguas residuales.

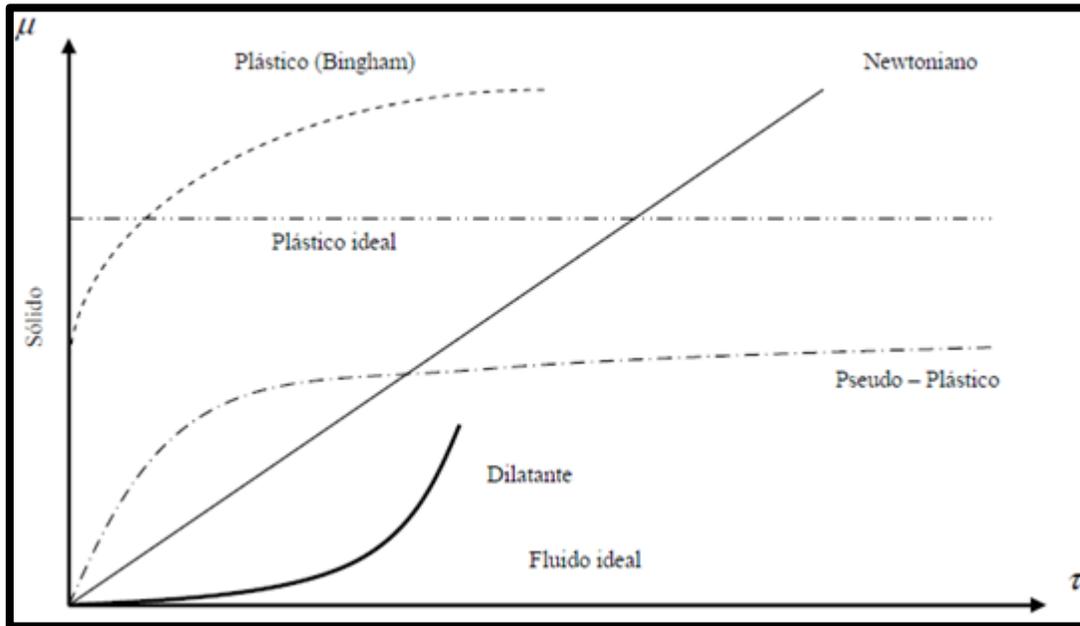


Fig. 5.2 Gráfica de comportamiento de un fluido viscoso. [Fuente: ESIME, IPN]

5.3 VISCOSIDAD:

La viscosidad es la propiedad más importante de los fluidos, y por tanto esta requiere la mayor consideración en el estudio del flujo de fluidos. Esta es la resistencia que ejercen los fluidos al ser deformado cuando este se aplica un mínimo de esfuerzo cortante. La viscosidad de un material está basada en el comportamiento cambiante entre las moléculas de un líquido. Como la movilidad de las moléculas depende de la temperatura, la viscosidad del material puede disminuir sustancialmente con el aumento de ésta. Esto significa que un fluido en movimiento (flujo) lleva fuerzas internas o fricción interna.

La medición de viscosidad es una característica fundamental, por lo cual no debe de ser tomado a la ligera. Datos físicos como temperatura, presión y densidad van a influenciar dicha medición. El hecho de que algunos materiales desarrollen distintas viscosidades en condiciones variables de proceso, hace esta medición incluso más complicada.

Cuando un fluido se mueve por un tubo horizontal, las paredes de éste ejercen una fuerza resistiva o arrastre sobre las capas de fluido adyacente. Éstas, a su vez, frenan a las siguientes capas adyacentes y así sucesivamente. En consecuencia, la velocidad de flujo es inferior cerca de las paredes del tubo y mayor en el centro del mismo. Por lo tanto, para una tasa de flujo determinada la diferencia de presión entre dos puntos a lo largo del tubo depende de su radio. La diferencia de presión entre dos puntos también se relaciona con una cantidad conocida como coeficiente de viscosidad o simplemente la viscosidad del fluido.

La viscosidad de un fluido Newtoniano se suele representar con la letra griega μ , pero para fluidos no Newtonianos la viscosidad aparente se suele representar entonces con la letra griega η .

La viscosidad dinámica normalmente se expresa en poise (P) o centipoise (cP, donde $1 \text{ cP} = 0,01 \text{ P}$), o en unidades del Sistema Internacional como pascales-segundo (Pa -s, donde $1 \text{ Pa-s} = 10 \text{ P}$). La viscosidad dinámica, la cual es función sólo de la fricción interna del fluido, es la cantidad usada

más frecuentemente en el diseño de cojinetes y el cálculo de flujo de aceites. Debido a que es más conveniente medir la viscosidad de manera tal que tenga en cuenta la densidad del aceite, para caracterizar a los lubricantes normalmente se utiliza la viscosidad cinemática.

SISTEMA DE UNIDADES	UNIDADES PARA LA VISCOSIDAD DINÁMICA
<i>Sistema Internacional (SI)</i>	$\frac{N*s}{m^2}$, $Pa*s$ ó $\frac{kg}{(m*s)}$
<i>Sistema Tradicional de Estados Unidos</i>	$\frac{lb*s}{pie^2}$ o $\frac{slug}{pie*s}$
<i>Sistema cgs</i>	$Poise = \frac{dina*s}{cm^2} = \frac{g}{cm*s} = 0.1 Pa * s$ $Centipoise = \frac{poise}{100} = 0.001 Pa * s = 1.0mPa * s$

Fig. 5.3 Tabla de unidades en diferentes sistemas de la viscosidad dinámica. [Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM]

La viscosidad dinámica en centipoise se puede convertir en viscosidad cinemática en centistokes dividiéndola por la densidad del fluido en gramos

La viscosidad cinemática de un fluido es su viscosidad dinámica dividida por su densidad, ambos medidos a la misma temperatura, y expresada en unidades consistentes. Las unidades más comunes que se utilizan para expresar la viscosidad cinemática son: stokes (St) o centistokes (cSt, donde 1 cSt = 0,01 St), o en unidades del SI como milímetros cuadrados por segundo (mm²/s, donde 1 mm²/s = 1 cSt)

SISTEMA DE UNIDADES	UNIDADES PARA LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA
<i>Sistema Internacional (SI)</i>	$\frac{m^2}{s}$
<i>Sistema Tradicional de Estados Unidos</i>	$\frac{pie^2}{s}$
<i>Sistema cgs</i>	$stoke = \frac{cm^2}{s} = 1*10^{-4} \frac{m^2}{s}$ $Centistokes = \frac{stokes}{100} = 1 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} = 1 \frac{mm^2}{s}$

Fig. 5.4 Tabla de unidades en diferentes sistemas de la viscosidad cinemática. [Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM]

5.4 VISCOSÍMETRO:

Los procedimientos y equipos para medir viscosidad son numerosos. Algunos utilizan principios fundamentales de la mecánica de fluidos para expresar la viscosidad en sus unidades fundamentales. Otros, indican solo valores relativos de la viscosidad, usados para comparar fluidos diferentes.

Un viscosímetro (denominado también viscosímetro o reómetro) es un instrumento empleado para medir la viscosidad de un fluido. Fue Isaac Newton el primero en sugerir una ecuación para medir

la viscosidad de los fluidos, postuló que dicha fuerza correspondía al producto del área superficial del líquido por el gradiente de velocidad, además de producto de un coeficiente de viscosidad.

Entre los tipos de viscosímetros resaltan los siguientes:

Viscosímetros rotacionales: Consiste en la rotación de un husillo sumergido en la muestra y una velocidad constante (ver Fig. 5.6). La resistencia generada por el producto sobre el husillo es directamente proporcional a la viscosidad. Se trata de un equipo muy versátil utilizado en laboratorio de control de calidad y líneas de producción industriales.

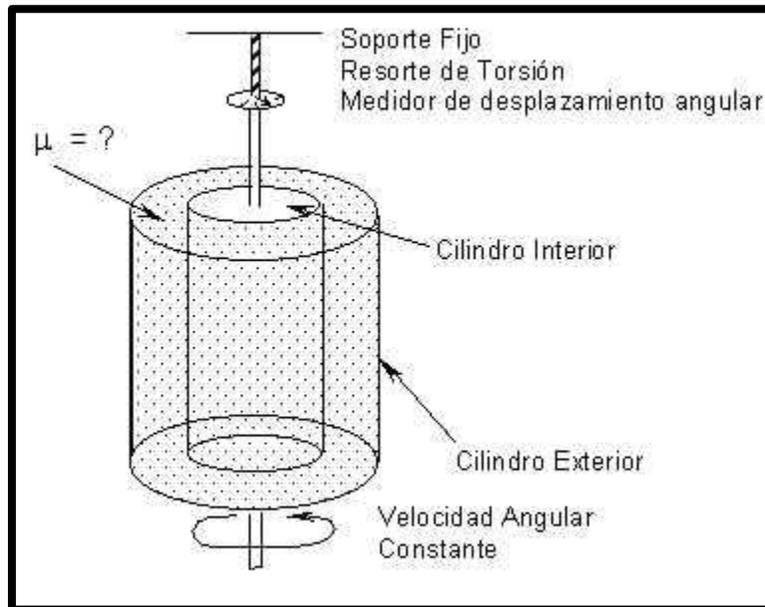


Fig. 5.5 Esquema interno de un viscosímetro rotacional. [Fuentes: Fluidos.eia.edu.co]

El viscosímetro rotacional funciona por el principio de rotación de un cilindro o bien un disco sumergido en el material que se debe probar, midiendo la fuerza de torsión necesaria para superar la resistencia viscosa de la rotación. El cilindro o disco (husillo) está acoplado con un muelle a un motor que gira a una velocidad determinada. El ángulo de desviación del eje se mide electrónicamente dando a la medida de fuerza de torsión.

El equipo dispone de varios husillos y de una gama amplia de velocidades, que permite medir viscosidades dentro de un intervalo grande. Para cualquier líquido de viscosidad determinada, la resistencia al avance crece proporcionalmente a la velocidad de rotación de un husillo o del tamaño del mismo. El viscosímetro está construido para tener en cuenta la velocidad seleccionada y el tipo de husillo seleccionado para dar los resultados en cP. Las combinación de velocidades y husillo, permiten elegir una escala óptima para cualquier medición, dentro de la gama del aparato.

Los cambios de rango se pueden realizar utilizando el mismo husillo y diferentes velocidades para determinar las propiedades reológicas de un material.



Fig. 5.6 Viscosímetro rotacional ST-2020 JP SELECTA (izquierda) y Viscosímetro VP 1000 M (derecha) [Fuentes: ictsl ; viscotech]

Viscosímetros de vibración: Los de vibración, determinan la viscosidad mediante una serie de ondas vibratorias aplicadas al fluido en cuestión y su respuesta a ellas. El resonador generalmente oscila en generando torsión o transversalmente, como un diapasón. Mientras más alta sea la viscosidad, mayor es el amortiguamiento. Se pueden obtener lecturas hasta de 1000 Pa. S.



Fig. 5.7 Viscosímetro de proceso XL/7. [Fuente: Hydramotion]

Viscosímetro capilar: En un viscosímetro de tubo, se determina el caudal de un material debido a un gradiente de presión conocido con (ΔP) o, inversamente, el gradiente de presión correlacionado con un caudal conocido. Para los líquidos diluidos, el flujo es debido mayoritariamente a la gravedad. Los viscosímetros de tubo (ver Fig. 5.8) son populares debido a que son baratos y fáciles de utilizar y comprobar la temperatura. La viscosimetría de tubo es un método muy exacto para la determinación de la viscosidad de líquidos newtonianos. Para líquidos no newtonianos, es menos adecuada debido a que la medición no se puede dar a una velocidad de deformación constante, ya que varía a lo largo del diámetro del tubo.

Los cálculos de la velocidad de deformación, esfuerzo cortante y viscosidad a partir de la relación entre el caudal y el gradiente de presión están basados en las suposiciones de que el flujo en el tubo es laminar, la velocidad en la pared del tubo es cero (condición de falta de deslizamiento), el fluido es incompresible y los efectos de entrada y salida se pueden despreciar. Entonces para un capilar de longitud



Fig. 5.8 Esquema estándar de funcionamiento de viscosímetro capilar. [Fuente: Lublearn]

Viscosímetro de caída de bola: Consiste en un recipiente que contiene un fluido viscoso (ver Fig. 5.10). Su funcionamiento se basa en introducir una pequeña esfera dentro del recipiente, la cual parte del reposo y rápidamente alcanza la velocidad límite (que es la relación que existe entre la distancia que recorre la esfera y el tiempo que tarda en hacerlo). El tiempo que le toma recorrer la distancia L determina la viscosidad del fluido.

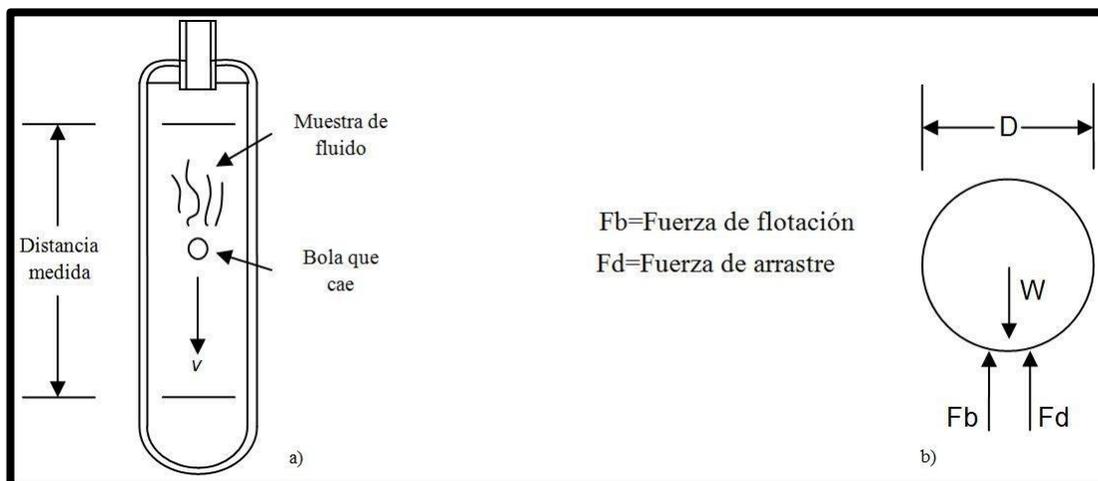


Fig. 5.9 a) Esquema del viscosímetro de bola que cae. b) Diagrama de cuerpo libre de la bola que cae en un viscosímetro. [Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM]



Fig. 5.10 Viscosímetro caída de bola. [Fuente: 3B Scientific]

Dentro del tubo, está colocado un termómetro que permite ver al usuario la temperatura que tiene el fluido. El fabricante proporciona un cronómetro para que el usuario determine el tiempo de caída de la esfera. Debido a esto, este modelo es apto para medir viscosidades bajas. Este equipo ofrece la capacidad de medir la viscosidad de gases utilizando bolas de borosilicato.

5.5 PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES:

El principio de Arquímedes es un principio físico que afirma que:

«Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja».

Esta fuerza recibe el nombre de empuje hidrostático o de Arquímedes, y se mide en Newton (en el SI). El principio de Arquímedes se formula así:

$$E = m \cdot g = \rho_f \cdot g \cdot V \dots \dots \dots (5)$$

O bien

$$E = -m \cdot g = -\rho_f \cdot g \cdot V \dots \dots \dots (6)$$

E es el empuje, ρ_f es la densidad del fluido, V el volumen de fluido desplazado por algún cuerpo sumergido parcial o totalmente en el mismo, g la aceleración de la gravedad, m la masa.

De este modo, el empuje depende de la densidad del fluido, del volumen del cuerpo y de la gravedad existente en ese lugar. El empuje (en condiciones normales y descritas de modo simplificado) actúa verticalmente hacia arriba y está aplicado en el centro de gravedad del cuerpo

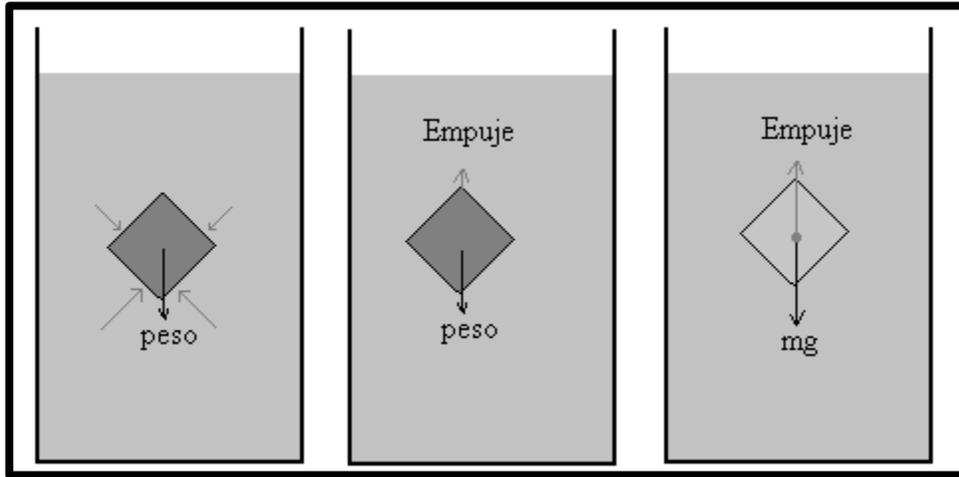


Fig. 5.11 Esquema de fuerzas relacionadas con el principio de Arquímedes [Fuente: sc.ehu]

5.6 ARRASTRE:

En dinámica de fluidos, el arrastre o fricción de fluido es la fricción entre un objeto sólido y el fluido (un líquido o gas) por el que se mueve. Para un sólido que se mueve por un fluido o gas, el arrastre es la suma de todas las fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas en la dirección del flujo del fluido externo. Por tanto, actúa opuestamente al movimiento del objeto. El arrastre es una fuerza mecánica. Es generada por la interacción y contacto de un cuerpo rígido y un fluido. Para que exista arrastre el cuerpo debe estar en contacto con el fluido.

Siendo una fuerza, el arrastre es un vector que va en la dirección contraria al movimiento del cuerpo. Existen muchos factores que afectan la magnitud del arrastre. La magnitud de la sección efectiva de impacto y la forma de la superficie.

El coeficiente de arrastre C_d está definido como:

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot v^2 \cdot A} \dots\dots\dots (7)$$

F_d fuerza de arrastre, que es por definición la componente de la fuerza en la dirección de la velocidad del flujo, ρ densidad del fluido, v es la rapidez del objeto relativa al fluido, A el área de referencia.

5.7 NÚMERO DE REYNOLDS:

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_s \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots (8)$$

O equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s \cdot D}{\nu} \dots\dots\dots (9)$$

ρ Densidad del fluido, v_s Velocidad característica del fluido, D Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema, μ Viscosidad dinámica del fluido, ν Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

Como todo número adimensional es un cociente, una comparación. En este caso es la relación entre los términos convectivos y los términos viscosos de las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el movimiento de los fluidos.

En conductos o tuberías (en otros sistemas, varía el Reynolds límite):

Si el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo será laminar y si es mayor de 3000 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Según otros autores:

Para valores de $Re \leq 2100$, (para flujo interno en tuberías circulares) el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.

Para valores de $2100 \leq Re \leq 3000$, (para flujo interno en tuberías circulares) la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.

Para valores de $Re \geq 3000$, (para flujo interno en tuberías circulares) después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

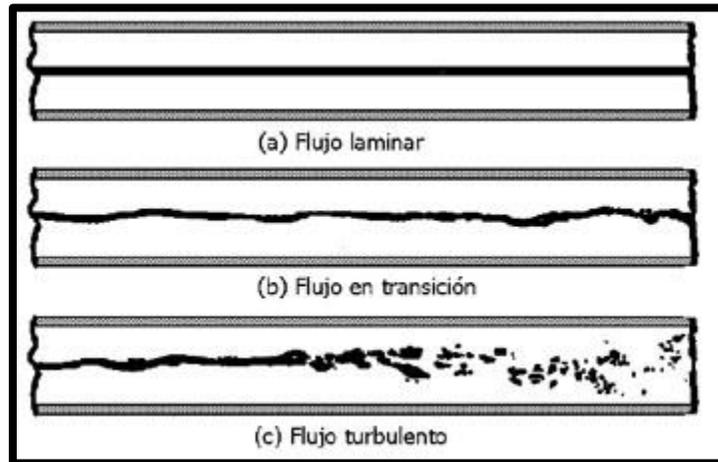


Fig. 5.12 Tipos de flujo. [Fuente: Sapiensman]

5.8 LEY DE STOKES:

La Ley de Stokes se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajos números de Reynolds. Fue derivada en 1851 por George Gabriel Stokes tras resolver un caso particular de las ecuaciones de Navier-Stokes. En general la ley de Stokes es válida en el movimiento de partículas esféricas pequeñas moviéndose a velocidades bajas. La ley de Stokes puede escribirse como:

$$R = 3\pi D\mu V \dots\dots\dots (10)$$

R fuerza viscosa resistente, D diámetro, V velocidad límite de la bola en el fluido, μ viscosidad dinámica

La condición de bajos números de Reynolds implica un flujo laminar lo cual puede traducirse por una velocidad relativa entre la esfera y el medio inferior a un cierto valor crítico. En estas condiciones la resistencia que ofrece el medio es debida casi exclusivamente a las fuerzas de rozamiento que se oponen al deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras a partir de la capa límite adherida al cuerpo. La ley de Stokes se ha comprobado experimentalmente en multitud de fluidos y condiciones.

Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido viscoso debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de caída o sedimentación igualando la fuerza de fricción con el peso aparente de la partícula en el fluido.

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 \cdot g (\rho_p - \rho_f)}{\eta} \dots\dots\dots (11)$$

V_s es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite), g es la aceleración de la gravedad, ρ_p es la densidad de las partículas, ρ_f es la densidad del fluido, η es la viscosidad del fluido, r es el radio equivalente de la partícula.

La ley de Stokes es el principio usado en los viscosímetros de bola en caída libre, en los cuales el fluido está estacionario en un tubo vertical de vidrio y una esfera, de tamaño y densidad

conocidos, desciende a través del líquido. Si la bola ha sido seleccionada correctamente alcanzará la velocidad terminal, la cual puede ser medida por el tiempo que pasa entre dos marcas de un tubo. A veces se usan sensores electrónicos para fluidos opacos. Conociendo las densidades de la esfera, el líquido y la velocidad de caída se puede calcular la viscosidad a partir de la fórmula de la ley de Stokes. Para mejorar la precisión del experimento se utilizan varias bolas.

Al caer una esfera de un fluido en reposo, debe tenerse en cuenta que al alcanzar una velocidad de caída constante, la fuerza de empuje hidrostática más la fuerza de arrastre o resistencia debe ser igual al peso, es decir:

$$W = R + E \dots \dots \dots (12)$$

W peso del cuerpo, R fuerza viscosa resistente, E empuje de Arquímedes

Así pues:

$$R = W - E \dots \dots \dots (13)$$

Dónde:

$$W = \rho_s * g * Vol \dots \dots \dots (14)$$

$$E = \rho_L * g * Vol \dots \dots \dots (15)$$

ρ_s densidad del sólido, ρ_L densidad del líquido, Vol volumen del cuerpo

$$Vol = \frac{\pi * D^3}{6} \dots \dots \dots (16)$$

Sustituyendo:

$$W = \frac{\pi * D^3}{6} * g * \rho_s \dots \dots \dots (17)$$

$$E = \frac{\pi * D^3}{6} * g * \rho_L \dots \dots \dots (18)$$

La ecuación quedará:

$$R = \frac{\pi * D^3}{6} * g * (\rho_s - \rho_L) \dots \dots \dots (19)$$

Igualando la ecuación de Stokes:

$$3\pi D\mu V = \frac{\pi * D^3}{6} * g * (\rho_s - \rho_L) \dots \dots \dots (20)$$

$$\mu = \frac{D^2 * g * (\rho_s - \rho_L)}{18V} \dots \dots \dots (21)$$

La bola desciende a una velocidad V constante. Haciendo ($V = \frac{e}{t}$) tenemos:

$$\mu = \frac{D^2}{18e} * g * (\rho_s - \rho_L) * t \dots \dots \dots (22)$$

5.9 VELOCIDAD LÍMITE:

Cuando la velocidad de penetración de un objeto en un medio es inferior a un cierto valor crítico, llamado número de Reynolds, la resistencia del medio se debe exclusivamente a fuerzas de rozamiento que se oponen al resbalamiento de unas capas de fluido sobre otras, a partir de una capa límite que queda adherida al cuerpo. En este caso, el más sencillo posible, se dice que el régimen es laminar y se ha comprobado experimentalmente que la resultante de las fuerzas de rozamiento es proporcional a una función de la velocidad. La superficie mínima que puede ofrecer un objeto en régimen laminar es la de una esfera. Entonces, la influencia de dicho objeto queda determinada por el radio de la esfera, R, y la expresión de la fuerza de rozamiento, proporcional al cuadrado de la velocidad, se conoce como ley de Stokes:

$$F_r = -6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta \cdot v \dots\dots\dots (23) \quad (\eta \text{ representa una propiedad del fluido que llamamos viscosidad})$$

La velocidad límite o velocidad terminal es la velocidad máxima que alcanzaría un cuerpo moviéndose en el seno de un fluido infinito bajo la acción de una fuerza constante.

Un movimiento interesante en el seno de un fluido viscoso en régimen laminar es la caída de objetos de forma esférica o casi esférica en el aire y en el agua. Sobre la esfera que cae se ejercen dos fuerzas constantes de sentidos opuestos (el peso y el empuje), además de la fuerza de rozamiento. Según la fórmula de Stokes, esta fuerza de rozamiento aumentará al aumentar la velocidad. Por tanto, dicha fuerza debería crecer progresivamente hasta que llegue un momento en que el objeto deje de acelerar en su caída.

Para una esfera de radio R moviéndose en un flujo no turbulento dentro de un fluido de viscosidad η , la velocidad límite viene dada por la ley de Stokes, que postula que la fuerza de resistencia F_r es proporcional a la velocidad. En ese caso la velocidad límite viene dada por:

$$V_{\infty} = \frac{F_r}{6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta} \dots\dots\dots (24)$$

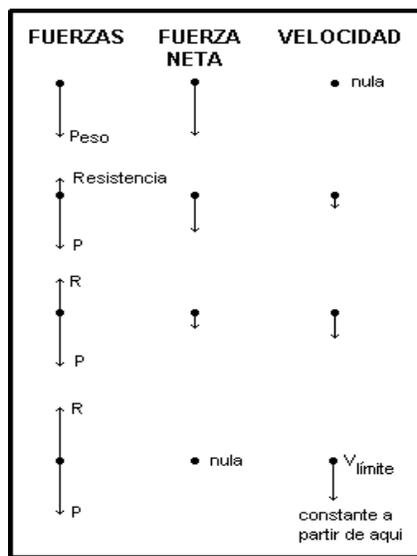


Fig. 5.13 Fuerzas en el balón [Fuente: Ciencianet]

5.10 SENSOR INDUCTIVO:

Los sensores son dispositivos que usan transductores para conocer el estado de una variable de un sistema.

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales metálicos ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo.

Los sensores de proximidad inductivos contienen un devanado interno (ver Fig. 5.14). Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado, que tiene la dirección de las flechas anaranjadas. Cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, éste es detectado.

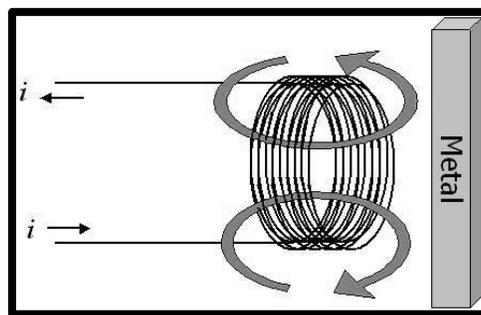


Fig. 5.14 Funcionamiento del sensor inductivo. [Fuente: Wikipedia]

Si el sensor tiene una configuración "Normal Abierta", este activará la salida cuando el metal a detectar ingrese en la zona de detección. Lo opuesto ocurre cuando el sensor tiene una configuración "Normal Cerrada". Estos cambios de estado son evaluados por unidades externas tales como: PLCs, relés, PCs, etc.

Se denomina histéresis a la diferencia entre la distancia de activación y desactivación. Cuando un objeto metálico se acerca al sensor inductivo, éste lo detecta a la "distancia de detección" o "distancia de sentido" (ver Fig. 5.15). Cuando el mismo objeto es alejado, el sensor no lo deja de detectar inmediatamente, sino cuando alcanza la "distancia de reset" o "distancia de restablecimiento", que es igual a la "distancia de detección" más la histéresis propia del sensor.

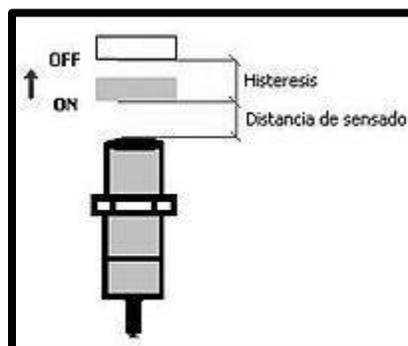


Fig. 5.15 Distancia de sentido e histéresis. [Fuente: Wikipedia]

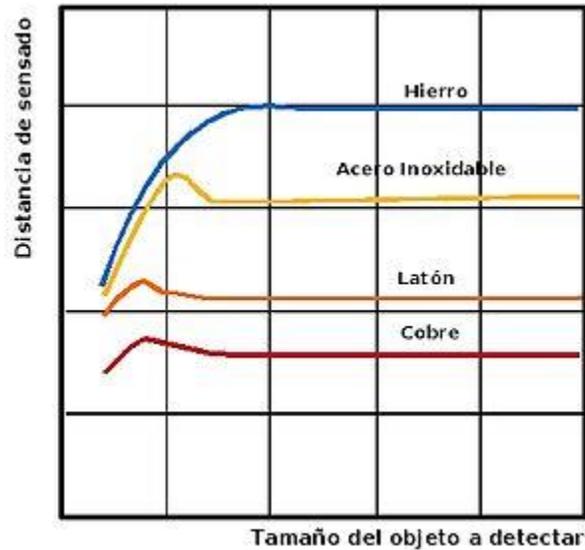


Fig. 5.16 Grafica de distancia de sensado vs tamaño en función del material [Fuente: Wikipedia]

5.11 ADQUISICIÓN DE DATOS:

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una computadora un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable (ver Fig. 5.17.). Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en computadora aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las computadoras estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.



Fig. 5.17 Proceso de adquisición de datos. [Fuente: National Instruments]

5.12 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Las señales de los sensores o del mundo exterior pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para medirse directamente. El circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal de tal forma que es apropiado para entrada a un ADC. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores.

5.13 CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL (ADC)

Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por el equipo digital como una computadora. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un ADC realiza "muestras" periódicas de la señal a una razón predefinida. Estas muestras son transferidas a una computadora a través de un bus, donde la señal original es reconstruida desde las muestras en software.

5.14 BUS DE LA COMPUTADORA

Los dispositivos DAQ (ver Fig. 5.18) se conectan a una computadora a través de una ranura o puerto. El bus de la computadora sirve como la interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y la computadora para pasar instrucciones y datos medidos. Los dispositivos DAQ se ofrecen en los buses de computadoras más comunes, incluyendo USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Recientemente, los dispositivos DAQ han llegado a estar disponibles para Wii-Fi para comunicación inalámbrica. Hay varios tipos de buses y cada uno de ellos ofrece diferentes ventajas para diferentes tipos de aplicaciones.



Fig. 5.18 dispositivos DAQ. [Fuente: National Instruments]

5.15 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL:

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal, como una forma de reemplazar equipos físicos por software, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando un instrumento real. El usuario manipula un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora, tiene sus características definidas por software pero realiza las mismas funciones que un equipo real.

La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", y para ello se emplea un procesador que ejecute un programa específico. Este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas. En muchas ocasiones el usuario final del sistema de instrumentación sólo ve la representación gráfica de los indicadores y botones de control virtuales en la pantalla de la computadora

El concepto de instrumentación virtual implica: adquisición de señales, el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales, interface gráfica hombre-máquina, visualización, monitoreo y supervisión remota del proceso, la comunicación con otros equipos.

El término "virtual" nace a partir del hecho de que cuando se utiliza la computadora como "instrumento" es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "apariencia" y por ello se dice que se "virtualiza" el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante.

DISEÑO CONCEPTUAL

*“Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo,
involúcrame y lo aprendo.”*

Benjamin Franklin

Es una fase delicada porque precede inmediatamente aquella muy importante del análisis del sistema, para la cual los objetivos y justificaciones deben haber sido ya definidos. La fase de análisis del sistema será, en práctica, definir la factibilidad de la configuración propuesta.

El diseño del dispositivo se realizó bajo las necesidades que se tenían al momento de realizar las prácticas y del antecesor directo del proyecto, dentro de este rubro se realizaron varios bocetos sin considerar aun medidas ni materiales, simplemente teniendo en cuenta las configuraciones que tenían una posibilidad de resolver la problemática planteada en el objetivo.

En este capítulo, se podrá observar la evolución que tiene el dispositivo hasta llegar al diseño de detalle, así mismo los motivos por los cuales dicho boceto no era útil.

El boceto inicial (ver Fig. 6.1), se basa en el antecedente del proyecto (ver Fig. 6.2) para el cual se conservó la misma distribución de los tubos así como la forma rectangular, se mantuvo los triángulos laterales, los cuales servían para el movimiento de rotación de 180° para la recuperación del balón, además se modificó la parte superior e inferior de la estructura debido a que contaba con un material de nylon recubierto de una lámina de aluminio por una sola pieza de aluminio para ambas partes debido a que se hizo la propuesta de sellado en la parte superior con silicón, para conocer la temperatura a la cual se encontraban los fluidos, se pretendía poner termómetros digitales, dos sensores ópticos en un extremo del dispositivo se encargarían de hacer la lectura del paso del balón dentro de los tres tubos, por ultimo dos pequeños niveles de burbuja en los extremos superiores para medir la inclinación que tiene el dispositivo al trabajar.

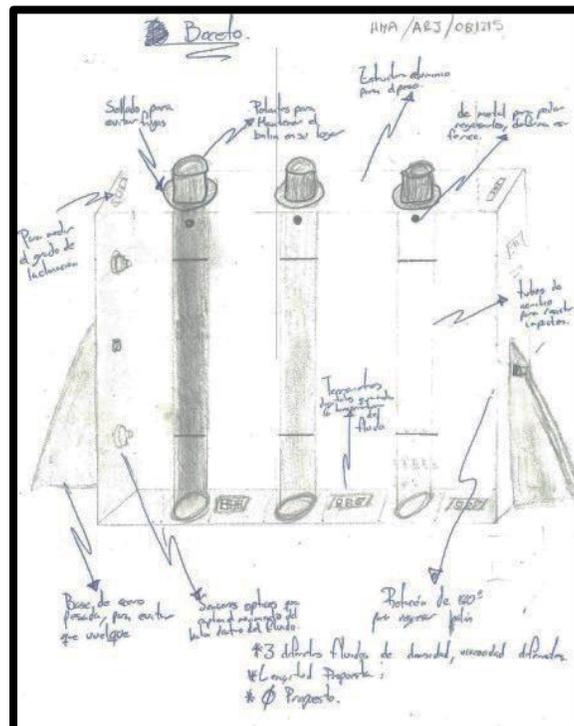


Fig. 6.1 Primer boceto del dispositivo. [Fuente: Elaboración propia]



Fig. 6.2 Viscosímetro actual del laboratorio de la Facultad de Estudios Superiores Aragón. [Fuente: Elaboración propia]

Después de realizar el primer boceto se analizó cada una de las funciones que este debía de realizar, se concluyó los tres principales problemas que tenía; el primero consistía en la forma en la que el balón es retenido en la parte superior que se pretendía resolver por medio del electroimán; el segundo problema consistía en la distancia de sensado del sensor óptico y en que la coloración del fluido afectaba a este (ver Fig. 6.3), con lo cual, si el fluido era oscuro (como algunos aceites) el sensor no detectaría la presencia del balón al interior del tubo de acrílico; el tercer problema se presentaba en la forma del retorno del balón a la parte superior del tubo de acrílico para que así nuevamente se pudiera dar comienzo con las lecturas

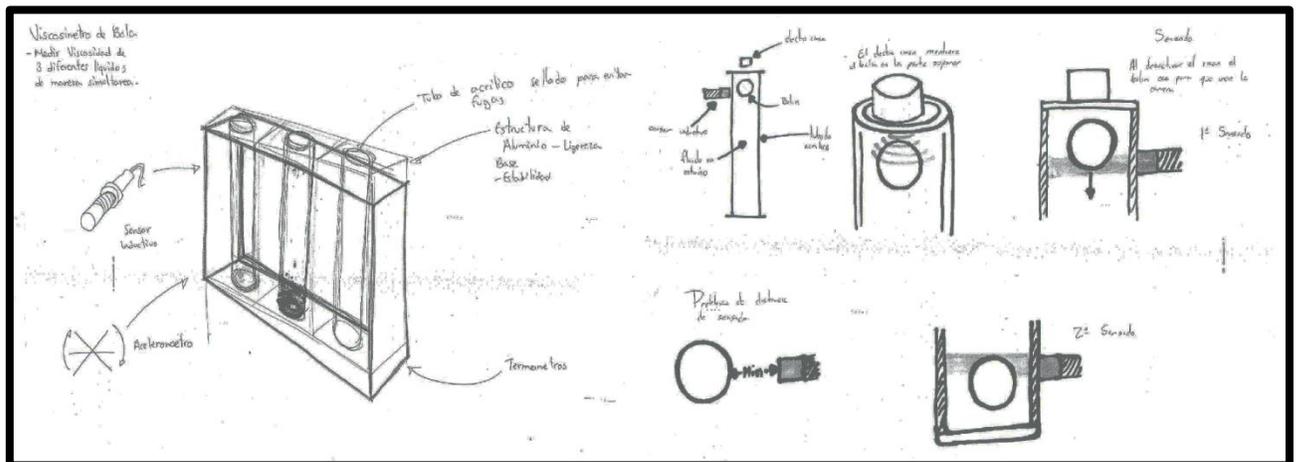


Fig. 6.3 Primeras aproximaciones realizadas para la solución de problemas. [Fuente: Elaboración propia]

Lo primero que se atendió de los problemas que se vieron antes, fue el regreso del balón, para lo cual, las propuestas que se hicieron contaban con dos vertientes con o sin giro de 180° del dispositivo (ver Figs. 6.4, 6.5, 6.6). Para las opciones en las que se voltearía se propusieron varias opciones, en todas lo que se pretende es el retraso de la caída del balón para dar tiempo a la

persona que opera el viscosímetro de voltearlo y ponerlo en su posición para que comiencen las lecturas.

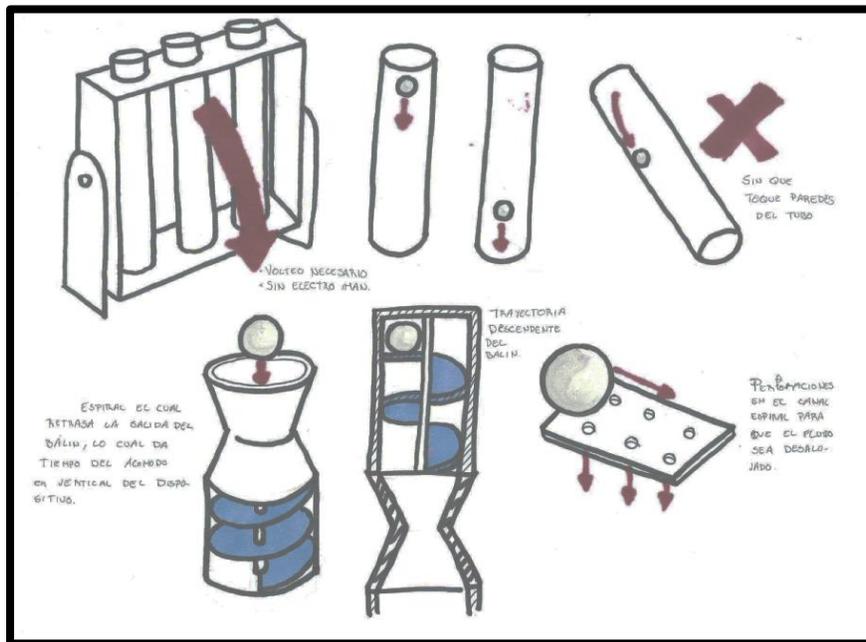


Fig. 6.4 En la primera propuesta se observa que el balón tiene que pasar alrededor del espiral, el cual también cuenta con las perforaciones para desalojar el fluido que se almacene en el mismo. [Fuente: Elaboración propia]

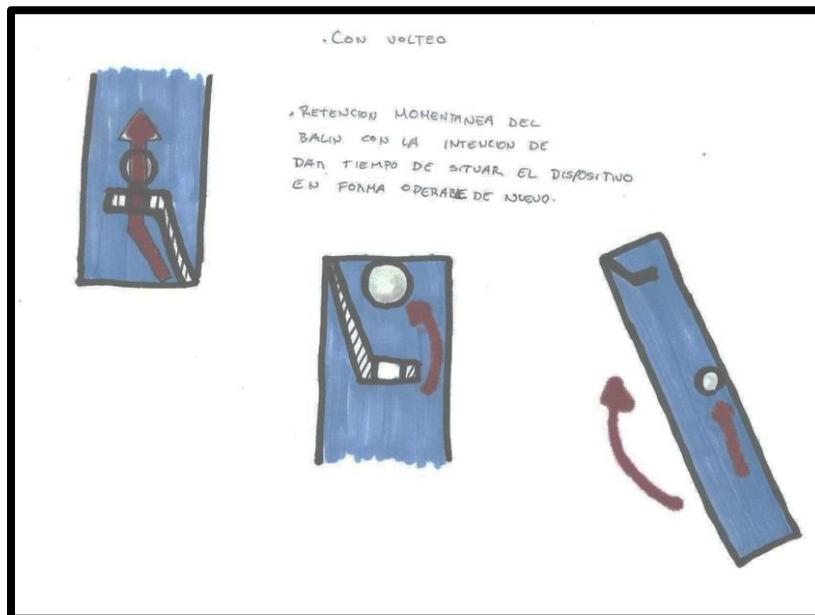


Fig. 6.5 Esta propuesta tipo "resbaladilla" cuenta con las mismas perforaciones en el canal para el desalojo del fluido. [Fuente: Elaboración propia]

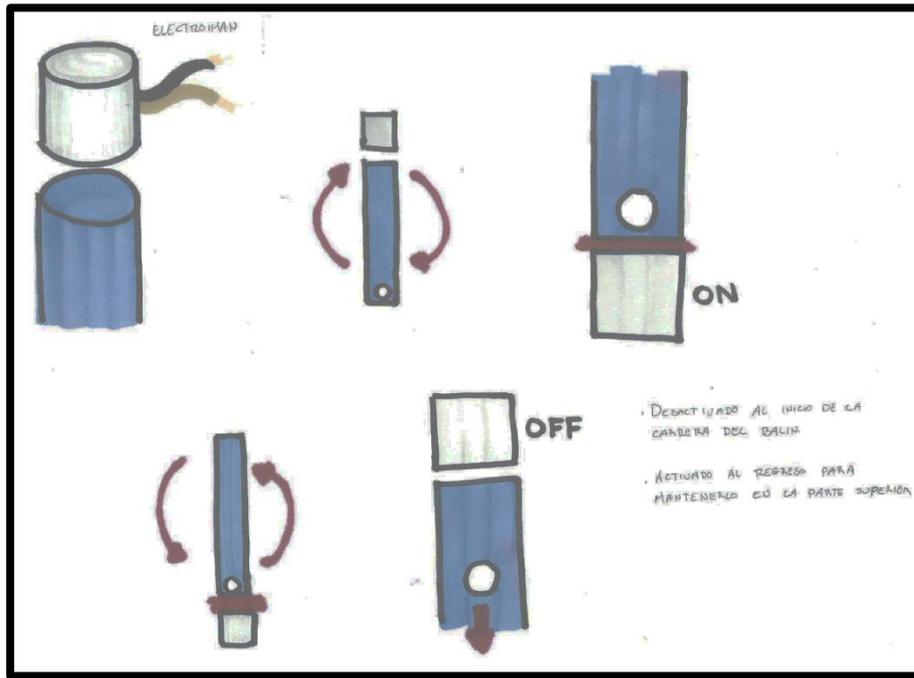


Fig. 6.6 El uso del electroimán fue la propuesta que se eligió por la facilidad de controlar la caída del balón, debido que una vez activado, el balón no se mueve y puede realizarse el acomodo del dispositivo con tranquilidad. [Fuente: Elaboración propia]

La propuesta en la cual el dispositivo no tiene giro se basó en el hecho de que el sensor inductivo de rosca tiene una distancia de sensado corta, por lo tanto se propuso utilizar un sensor inductivo de anillo el cual rodea el tubo de acrílico, para el regreso del balón se usará un bastón el cual tiene en la punta un imán de neodimio que moverá el balón de la parte inferior del tubo a la parte superior donde el electroimán lo retendrá.

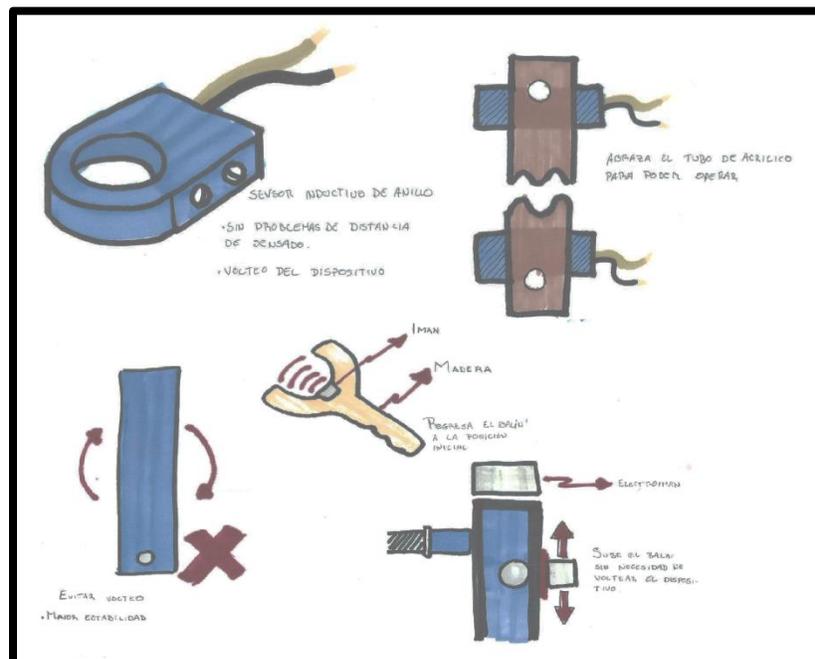


Fig. 6.7 Sensor de anillo y bastón para el regreso del balón. [Fuente: Elaboración propia]

El dispositivo que antecede a este proyecto así como la forma de realizar la práctica, como ya se mencionó anteriormente tienen diversos puntos a mejorar, por ésto además del diseño del viscosímetro también se realizó el diseño de una mesa en la que se pondrá el dispositivo de forma que permita la completa visión, así como el espacio suficiente para poner la computadora para operar el dispositivo.

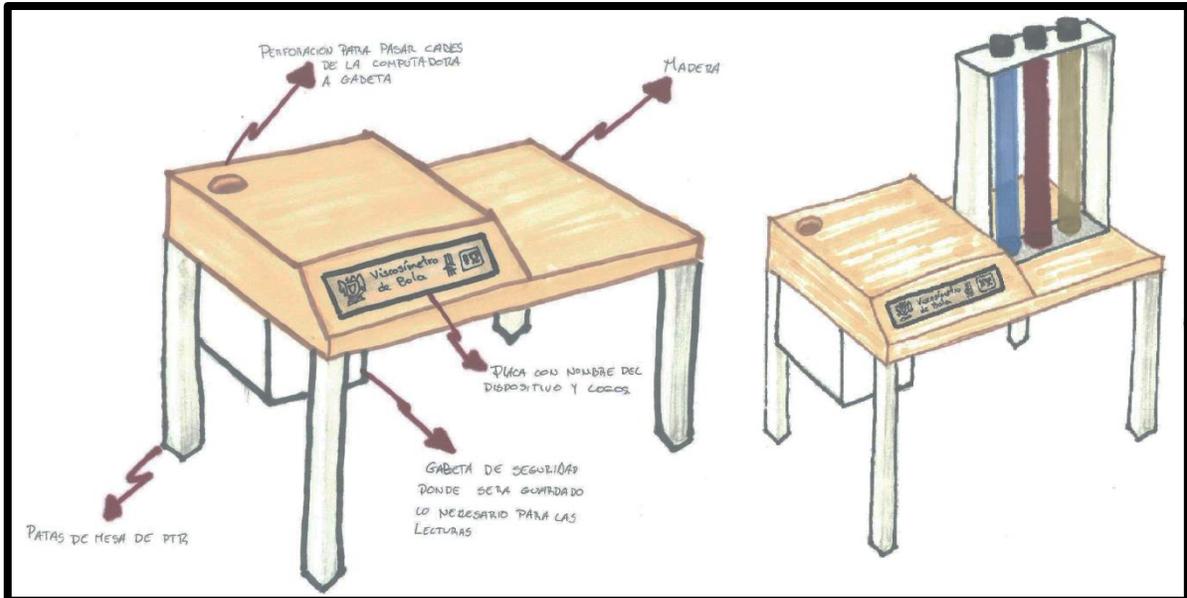


Fig. 6.8 La mesa cuenta con dos niveles diferentes, el superior para la computadora y el inferior para el viscosímetro, está a una altura en la cual una persona al estar junto a él podrá apreciar la práctica. [Fuente: Elaboración propia]

Se debía resolver el problema del sellado de los tubos, por que la solución que se tenía de poner solo el tubo en las partes inferior y superior y sellarlo con silicón no era la adecuada dado que no se garantiza que no habrá fugas, por lo que se propuso sellar los extremos de los tubos con un tapón de nylon en el cual, además, se pondrán dos o´rings; para mantener una presión entre los tubos y las partes que sellan, se pondrán soportes los cuales serán sujetados con tornillos

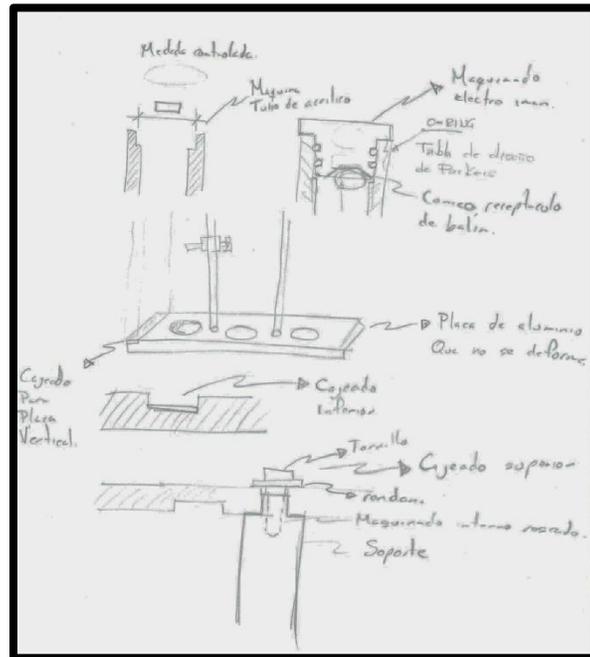


Fig. 6.9 Se puede observar en qué posición quedaría el tapón con los o rings dentro del tubo, así como las adecuación que se le deberán hacer a las partes superior e inferior, también se muestra como se sujetarían las barras de soporte.
 [Fuente: Elaboración propia]

Después de analizar los bocetos anteriores se llegó a la conclusión de que el dispositivo no se giraría, utilizaría los sensores inductivos de rosca, el regreso del balón se haría con el bastón, sería sellado por medio de los tapones de nylon y los o rings, sin embargo se vio que no era posible que solo un par de sensores realizaran las lecturas de los tres tubos, debido a que los balines se desplazarían en diferentes tiempos y la distancia con el tubo más lejano sería excesiva, por lo que se propusieron distintas maneras de sujeción de los sensores

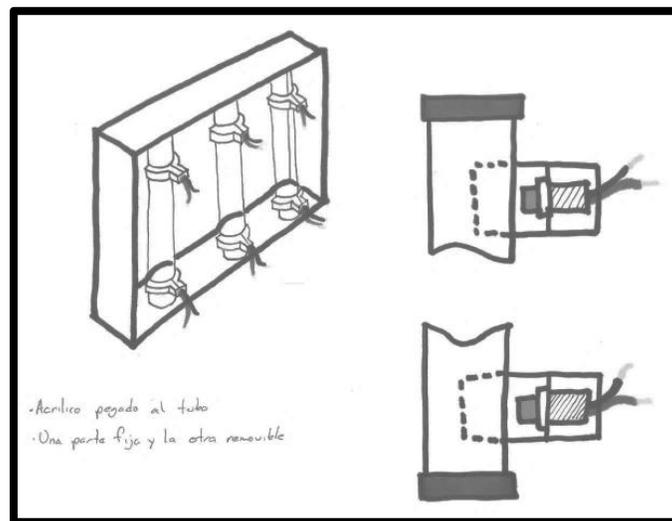


Fig. 6.10 Esta sujeción va en dos partes, una va pegada al tubo de acrílico, mientras que la otra sostiene al sensor en la posición deseada, ambas partes se unen por medio de un tornillo. [Fuente: Elaboración propia]

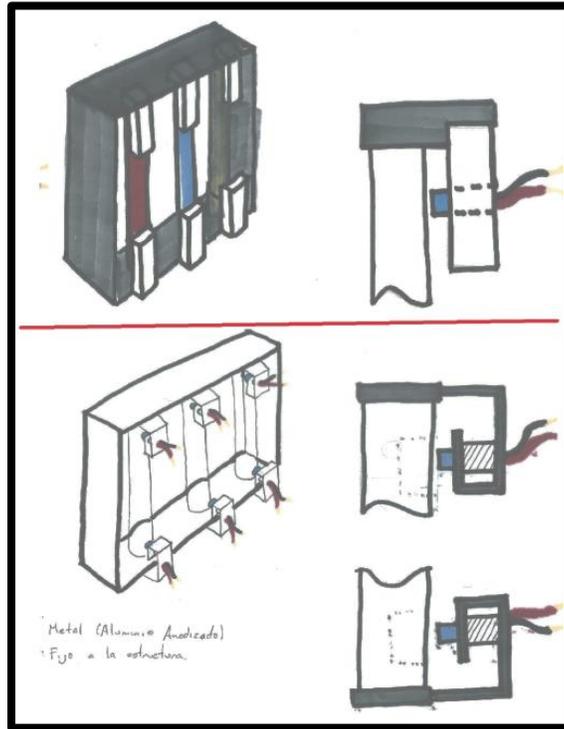


Fig. 6.11 Estas propuestas de sujeción se sostienen de la parte superior e inferior del dispositivo y solo deja la distancia necesaria para poner el sensor. [Fuente: Elaboración propia]

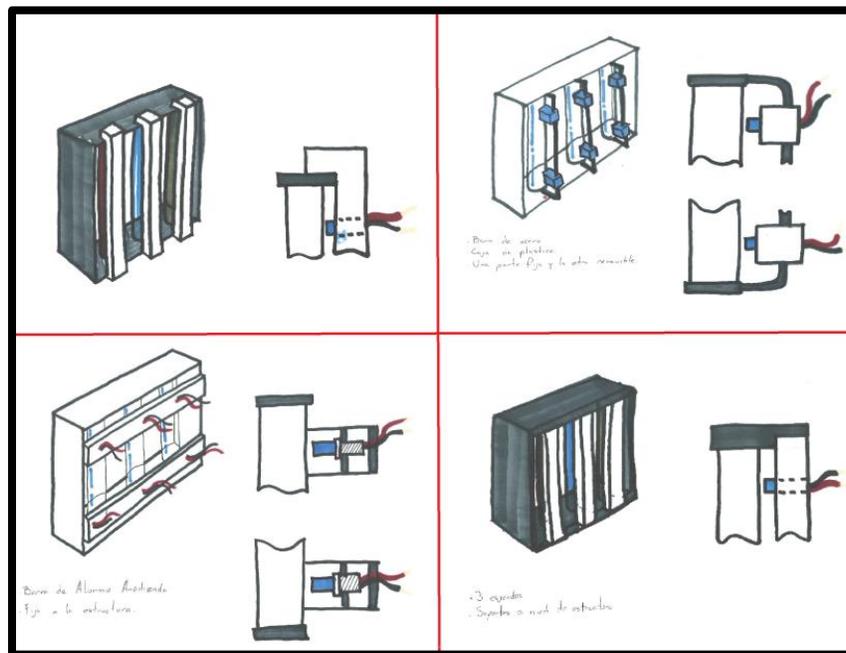


Fig. 6.12 Todas estas formas de sujeción propuestas tienen en común que el soporte que tiene a los sensores cruza por completo al dispositivo, manteniendo a todos los sensores en su lugar. [Fuente: Elaboración propia]

Con toda la información recabada en el diseño conceptual se obtuvo la información necesaria para poder pasar a la fase de detalle, y poder armar el dispositivo en su totalidad, teniendo en cuenta que se utilizarán los sensores inductivos de rosca, electroimanes para mantener el balín en la parte superior del tubo y evitar el giro del dispositivo, así como la forma en la cual se tendrá un

soporte para mantener a los sensores inductivos en su posición y la forma en la que el balón será regresado a su posición.

DISEÑO DE DETALLE

“Las verdaderas cosas de valor son aquellas que se hacen con un verdadero esfuerzo.”

Humberto Reyes D

El diseño de detalle está relacionado con el diseño de componentes, que integran el conjunto, independientemente de para lo que se vaya a utilizar el producto. Todos estos componentes estarán en mayor o menor grado definidos en la fase de diseño conceptual, pero pueden variar considerablemente en la de detalle, debido a distintas alternativas de fabricación, conocimientos sobre materiales, nuevas tecnologías y formas.

Una vez que se llegó al concepto final (ver Fig. 7.1) con el cual se cree que las necesidades para lo cual fue diseñado se procedió a realizar el diseño de detalle, en el cual se vio a profundidad la geometría y las medidas de las piezas que conforman el proyecto.

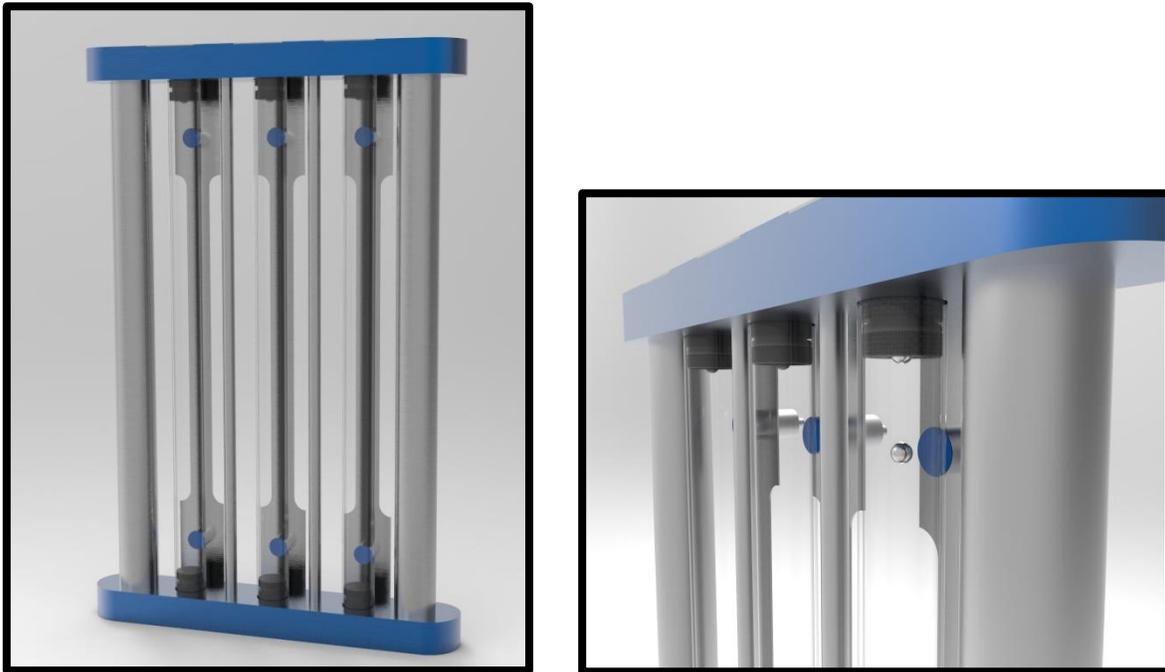


Fig. 7.1 Render del viscosímetro terminado. [Fuente: Elaboración propia]

En este punto se determinó los materiales y elementos de los cuales estará conformado el dispositivo siendo estos:

- Acrílico: el material utilizado para contener los fluidos que se van a estudiar, se escogió debido a su resistencia ya que al momento de que se realice la práctica se podría golpear; cuenta con la transparencia necesaria para que los alumnos pudieran visualizar el fenómeno en estudio; el costo en relación con el material típicamente utilizado en estos dispositivos (vidrio) es menor.
- Aluminio anodizado: se escogió este material por ser un material ligero, resistencia y durabilidad a los agentes externos, un buen aislante eléctrico, estéticamente mejora el diseño, resistencia a la abrasión y al desgaste.
- Nylon: este material fue escogido para la fabricación de los tapones de los tubos y los coplees para los laterales, no reacciona al contacto directo con las sustancias en estudio, permite maquinabilidad.
- Electroimán: dispositivo utilizado por su facilidad de poder accionarlo o apagarlo, por sus dimensiones es ideal para estar dentro del tapón de nylon, tiene la suficiente fuerza para retener el balón en la parte superior.

- Sensor inductivo: el sensor inductivo de rosca de largo alcance es tal vez el elemento más importante del dispositivo, por su distancia de sensado de casi 4 cm es capaz de poder realizar la lectura del paso del balín aun si el líquido en estudio es completamente oscuro
- Balín de acero: se utiliza por tener una geometría esférica, por ser de acero permite que el sensor inductivo pueda detectarlo, es de bajo costo.
- Tornillería: necesaria para unir todas partes del dispositivo, se diseñó de forma que la utilización de estos no tenga una gran variedad, esto se hizo para facilidad de armado y montaje.
- O ´ring: este elemento es el indicado para resolver el problema de fugas de líquido, el o´rings utilizado será de la marca Parker y su número Parker es el 2-324.
- Madera de pino: utilizado en la elaboración de la mesa, se escogió por ser una madera resistente, de fácil manejo y económica.
- Perfil tubular cuadrado: utilizado en la elaboración de la mesa por su forma dará fortaleza a la estructura y siendo uno de los perfiles más comunes también es económico.

La solución del problema de fugas radicaba en la separación que existía entre el tubo de acrílico y las partes superior e inferior del dispositivo, por lo tanto el diámetro del tapón de nilón debía de tener una variación mínima respecto al diámetro interno del tubo; además no es suficiente con solo las dimensiones del tapón, para lo cual el uso de un elemento que sirva de “sellador” entre ambos elementos que evita el paso del fluido se vuelve de una importancia primordial.



Fig. 7.2 Render de cómo quedaría el tapón de nylon con los dos o´rings. [Fuente: Elaboración propia]

El o´ring en este caso toma el papel de “sellador” (ver Fig. 7.2) debido a que su uso es expreso para evitar fugas de fluidos, sin embargo para su correcto uso se debe revisar la guía de diseño del proveedor en el cual se abordan temas como la correcta colocación del anillo, almacenamiento así como su mantenimiento pero principalmente, habla de la forma en la que se debe diseñar el alojamiento donde irá colocado, para ésto se deben tener en cuenta tres parámetros: las dimensiones de ranura "L" y "G" pueden obtenerse de la tabla de diseño y "W" es la deformación de la sección transversal del o'ring (ver Fig. 7.3), los valores obtenidos para el diseño del alojamiento del o'ring se hicieron en el tapón de nylon.

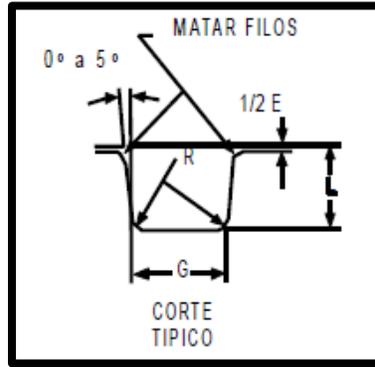


Fig. 7.3 Elementos o características que conforman el alojamiento para el o´ring. [Fuente: Guía de diseño del proveedor]

Para saber cuánto se tiene que deformar el o´ring se debe de conocer qué tipo de uso se le dará, en nuestro particular caso el uso será estático, en el cual el aplastamiento varía del 12% al 25%, la cota "L" debe garantizar una deformación de la sección "W", no inferior a 0.25 mm en valor absoluto.

TABLA DE DISEÑO				
Secc. "W"	Dimensiones de Alojamiento			
	Profundidad "L"		Ancho "G" ± 0.1	Radio "R"
	Estático	Dinámico		
1.78	1.25 1.35	1.40 1.45	2.5	0.1 0.4
2.62	2.05 2.15	2.25 2.30	3.7	0.1 0.4
3.53	2.80 2.95	3.05 3.10	4.9	0.2 0.6
5.33	4.30 4.50	4.65 4.75	7.3	0.5 1.0
6.99	5.75 5.95	6.00 6.10	9.7	0.5 1.0

Fig. 7.4 Tabla presenta en la guía de diseño del proveedor en la cual se muestran los valores que pueden tomar las dimensiones del alojamiento para el o´ring en función de la sección "W" que es el diámetro que tendrá el sello. [Fuente: Guía de diseño del proveedor]

Realizando los cálculos necesarios y teniendo los parámetros antes mencionados se revisa en la segunda tabla en la cual se observa primero "W" y posteriormente el diámetro interno y externo que debería tener el o´ring, siempre cumpliendo con las limitantes según su uso, en este caso el utilizado será el número Parker 2-324 como ya se había mencionado anteriormente.

Entre los valores que se tienen de profundidad, se escogió un punto medio el cual fue calculado por medio de una interpolación entre los valores máximo y mínimo para poder tener un valor en el cual la tolerancia se divida.

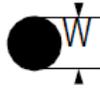
	Parker Nº	DI mm	DE mm	Parker Nº	DI mm	DE mm
 <p>5.33 ± 0.13</p>	2-309	10.46	21.12	2-324	34.29	44.95
	2-310	12.07	22.73	2-325	37.47	48.13
	2-311	13.64	24.30	2-326	40.64	51.30
	2-312	15.24	25.90	2-327	43.82	54.48
	2-313	16.81	27.47	2-328	46.99	57.65
	2-314	18.42	29.08	2-329	50.17	60.83
	2-315	19.99	30.65	2-330	53.34	64.00
	2-316	21.59	32.25	2-331	56.52	67.18
	2-317	23.16	33.82	2-332	59.69	70.35
	2-318	24.77	35.43	2-333	62.87	73.53
	2-319	26.34	37.00	2-334	66.04	76.70
	2-320	27.94	38.60	2-335	69.22	79.88
	2-321	29.51	40.17	2-336	72.39	83.05
	2-322	31.12	41.78	2-337	75.57	86.23
2-323	32.69	43.35	2-338	78.74	89.40	

Fig. 7.5 Tabla que se encuentra en la guía de diseño del proveedor en la cual se muestra el diámetro interno y el diámetro externo del o´ring usando como punto inicial su diámetro transversal. [Fuente: Guía de diseño del proveedor]

El tema de la retención del balín, como se había mencionado, se realizó con la ayuda de un electroimán HCNE1-P20 el cual ira dentro del tapón de nylon estando muy cerca del receptáculo del balín (ver Fig. 7.6), para elegir dicho electroimán se observó el datasheet y se comparó con otros para elegir el que satisfacía mejor con las características mostradas, entre dimensiones (para saber si podría estar dentro del tapón) y peso que podría cargar.

La esfericidad y el material del objeto que se va a dejar caer dentro del líquido son características muy importantes, debido a que según la ley de Stokes y por las ecuaciones utilizadas se necesita que el objeto que se deja caer sea esférico, en cuanto al material, es indispensable sea de un material metálico y de preferencia de acero debido a que los sensores inductivos utilizados tienden a detectarlo mejor que otros metales.

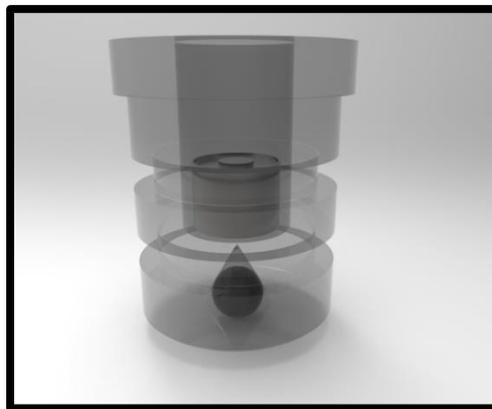


Fig. 7.6 Render de cómo se vería por dentro del tapón de nylon el lugar en el que iría el electroimán y el receptáculo del balín, con el balín en él. [Fuente: Elaboración propia]

La parte más importante del dispositivo y la cual en su mayoría permite cumplir con los objetivos planteados es el sensor inductivo, con el cual se produjeron algunas dificultades, principalmente

en cuestión de la distancia de sensado ya que en la mayoría de los sensores la distancia suele de ser en promedio de 2 a 20 milímetros y con la opción de ser blindado o no, ésto aunque podría servir, no es recomendable, dado que los sensores manejan dos distancias diferentes, la distancia máxima es aquella en la que el sensor podría llegar a detectar el material metálico, aunque no es siempre de esta forma, y la segunda, es la distancia de seguridad en la cual es casi imposible que el sensor no detecte el material, por lo tanto la distancia de sensado debe ser mayor.



Fig. 7.7 Render con acercamiento a como se vería la distancia entre el sensor y el balón. [Fuente: Elaboración propia]

Una vez que se vio este problema, se hizo una investigación de mercado en la cual se buscaba un sensor capaz de satisfacer una distancia de sensado mayor de 20 milímetros.

El arreglo general del dispositivo quedó en los planos que se realizaron tomando en cuenta todo lo que se vio en este capítulo, las medidas de algunos elementos se basan en las medidas comerciales que se manejan.

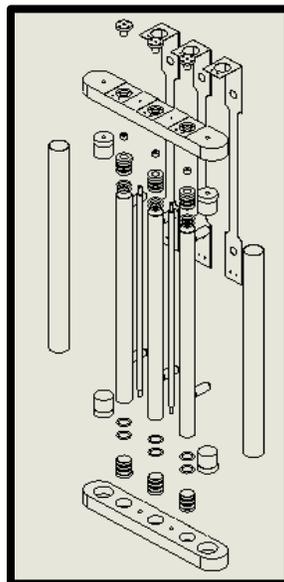


Fig. 7.8 Vista Explosionada del dispositivo. [Fuente: Elaboración propia]

MANUFACTURA

“Es el peso, no el número de experimentos lo que debe ser considerado.” Isaac Newton

El desarrollo de la manufactura de este viscosímetro tiene inicio al obtener el diseño y las medidas propuestas en los capítulos anteriores, sin embargo, se presentó un problema relacionado con el precio que la opción anterior representaba, debido al alto costo de los sensores y el material necesario, para lo cual se optó por la construcción de dos modelos, uno simplemente es visual y con este se pretende sustentar el diseño de cada uno de los tubos (ver Fig. 8.1), mientras que el segundo funcionará para poder revisar si la programación de los sensores y el electroimán funciona correctamente.

Una vez aclarado la problemática que se tuvo se procedió a manufacturar el primer modelo, se le hicieron pequeñas modificaciones al modelo general propuesto, quedando de la siguiente manera.

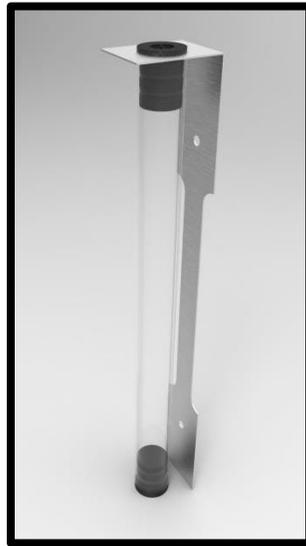


Fig. 8.1 Render del modelo de prueba. [Fuente: Elaboración propia]

Las primeras partes que se manufacturaron fueron los tapones, para los cuales se utilizó una barra de nylon (ver Fig. 8.2) de la marca nylamid, para la cual sólo se le hicieron unas marcas las cuales eran aproximadas a la medida de la altura del tapón, considerando que aún se le debían realizar un desbaste para dejarlo en la medida exacta.

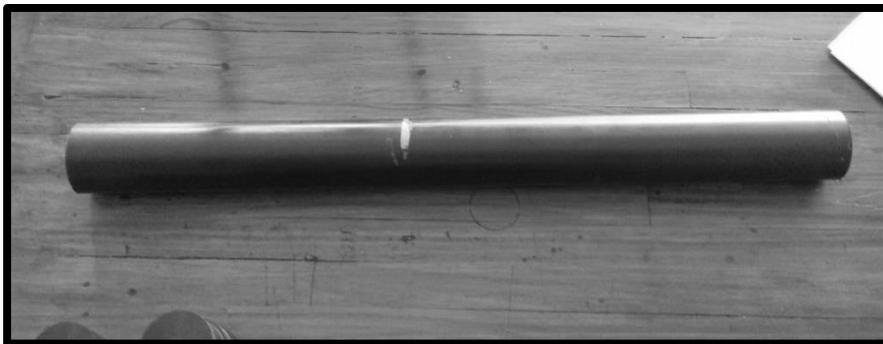


Fig. 8.2 Nylon marcado listo para el corte. [Fuente: Elaboración propia]

Con ayuda del torno en la velocidad más baja y de una segueta se procedió a cortar el nylon en donde previamente fue marcada, en el proceso solo se requirió de acercar y de presionar

levemente la segueta contra el material mientras el torno gira, de esta manera después de un par de minutos la parte a cortar se desprende.

Cuando se tienen ambos trozos se procedió a realizar un refrentado con ayuda del torno, esto con la intención de dejar lisas y en ángulo de 90° la parte donde se realizó el corte, además con éste proceso se asegura la medida exacta que se tiene en los planos (ver Fig. 8.3).

Posteriormente a las piezas que se obtuvieron, se les da tres pasadas de desbaste para acercar a la medida del diámetro externo del cuerpo del tapón (la parte que irá dentro del tubo de acrílico), solo se deja sin desbaste la parte del hombro que va afuera del tubo.



Fig. 8.3 Tapones con corte de aproximación. [Fuente: Elaboración propia]

Ya realizado el acercamiento al diámetro interno del tubo, al tapón se le hacen dos pasadas de rectificadas con lo cual se garantiza la medida deseada. Cuando se alcanzó las medidas requeridas se realizó el último trabajo al cuerpo del tapón, en el que a cada tapón se le realizan dos ranuras, las cuales serán el alojamiento del o-ring cuyas dimensiones fueron obtenidas con ayuda de la guía de diseño del proveedor, para esto la velocidad del torno a utilizar es media, debido a que el nylon presenta una deformación al utilizarse altas velocidades y con lo cual sería imposible obtener las medidas que se necesitan para el correcto funcionamiento.

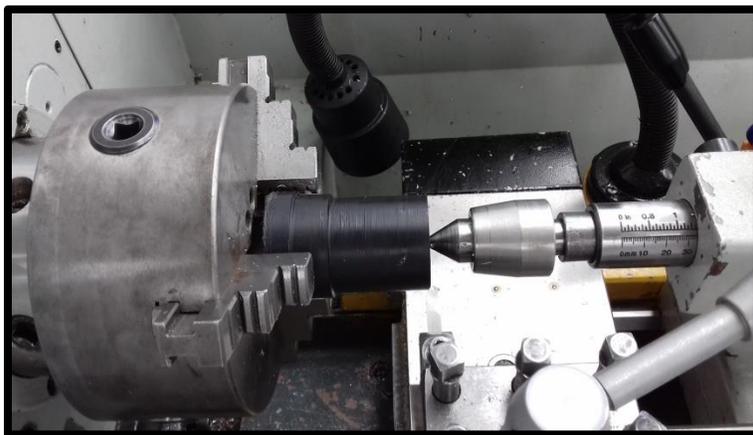


Fig. 8.4 Tapón maquinado en el torno. [Fuente: Elaboración propia]

Cuando llegamos a este punto se tuvo que hacer una diferencia entre ambos tapones dado que a partir de este momento solo se trabajó con uno y este será el tapón superior, el tapón inferior quedará como hasta lo que se ha explicado hasta este momento.

Para el tapón superior, primero se le realizó el maquinado del receptáculo del balín para esto y una vez más siguiendo las dimensiones que se presentan en los planos, se utilizó el torno y en lugar de utilizar una broca de centros se usó un avellanador de 60° (ver Fig. 8.5).



Fig. 8.5 Avellanador utilizado para el receptáculo del balín. [Fuente: Elaboración propia]

Para que la pieza fuera sujeta en el chuck (ver Fig. 8.6) se utilizó una pequeña lámina de latón, para evitar que las mordazas dejen marcas en la pieza y se pierda el acabado superficial que se obtuvo antes, una vez sujeta, a revoluciones bajas y agregando una abundante cantidad de aceite se va introduciendo poco a poco el avellanador en la parte inferior del tapón.

Para realizar el último maquinado del tapón, se utilizó primero una broca de centros de 1/2" para empezar el barrenado el cual servirá como el cajeado en el cual irá dentro el electroimán.

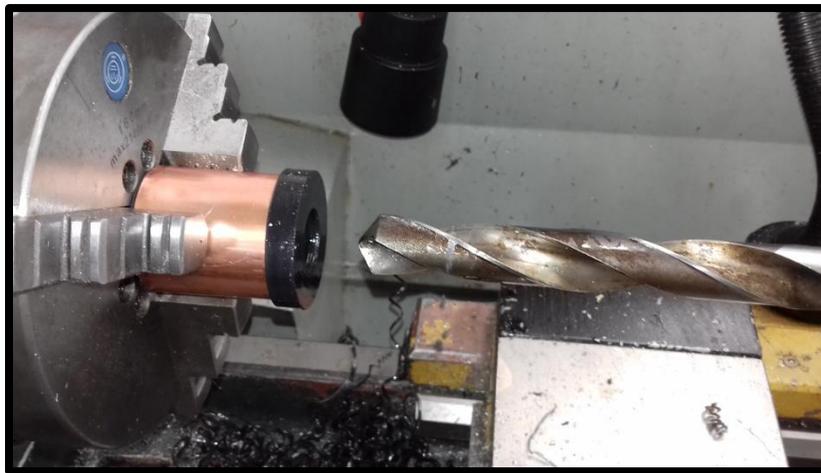


Fig. 8.6 Tapón siendo maquinado con una broca para el cajeado. [Fuente: Elaboración propia]

Después del uso de la broca y de tener una aproximación a la dimensión deseada, se retira la broca y se procedió a utilizar una pastilla de tungsteno para terminar de realizar el desbaste interno del cajeado con el que se da la dimensión exacta y el acabado superficial deseado.

Para terminar el trabajo se pusieron los tapones uno por uno en el torno a velocidad alta y se procedió a darles una pulida haciendo uso de una lija fina de agua con el fin de borrar las pequeñas asperezas o imperfecciones que hayan quedado, al terminar este proceso ambos tapones se limpiaron con un paño húmedo para retirar todo el exceso de aceite y viruta que haya quedado.

Por último se colocan los dos o-rings (ver Fig. 8.7) en las cavidades de cada tapón tratando de que no se estiren más del 50% del diámetro total del empaque y cuidando que no se tuerzan para evitar el daño



Fig. 8.7 Tapones terminados con los o-rings colocados en sus ranuras. [Fuente: Elaboración propia]

Lo siguiente que tuvo que trabajarse fue el tubo de acrílico en el cual en cada extremo ira un tapón y dentro estará el fluido y el balón. Empezamos marcando con un plumón indeleble el tubo en los lugares en los cuales se realizaran los cortes, previamente se midió para tener la medida deseada.

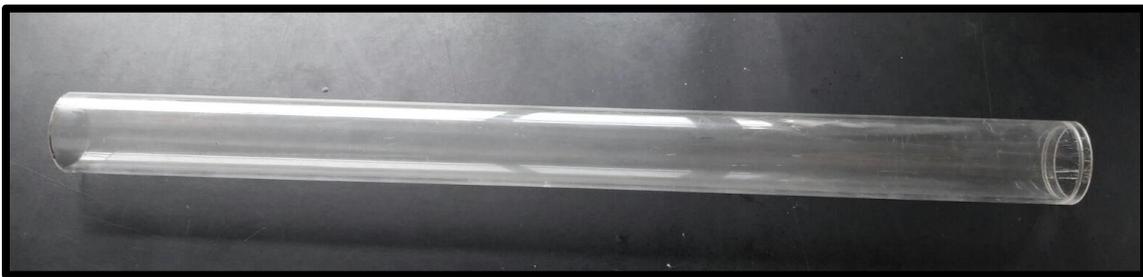


Fig. 8.8 Tubo de acrílico. [Fuente: Elaboración propia]

Una vez que el tubo tiene las marcas, se procedió a cortar con la ayuda de la cierra cinta ambos bordes, teniendo en cuenta que se debía de tener mucho cuidado debido a que la velocidad y los dientes de la cierra podían quebrar el acrílico en vez de cortarlo, por lo cual se cortó de manera lenta.

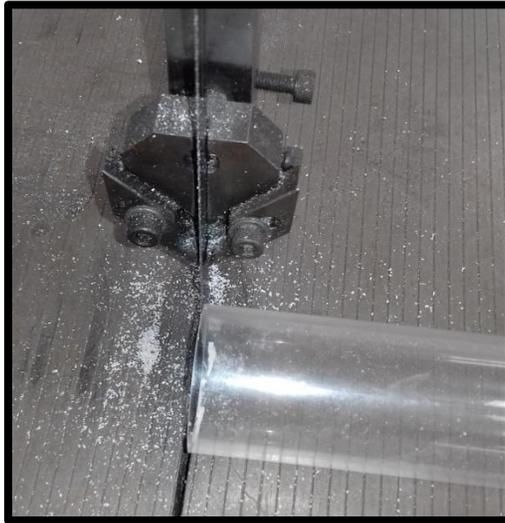


Fig. 8.9 Tubo de acrílico siendo cortado por la cierra cinta. [Fuente: Elaboración propia]

Una vez que se terminó de realizar el corte el tubo necesitaba pasar por un proceso de lijado debido a que el corte dejó rebabas, además se debía asegurar que el corte fuera exactamente a 90° y dado que esto no se pudo garantizar se procedió a utilizar una lija de disco, a la cual primero se tuvo que poner en ángulo recto auxiliándonos de una escuadra, para posteriormente lijar el tubo.

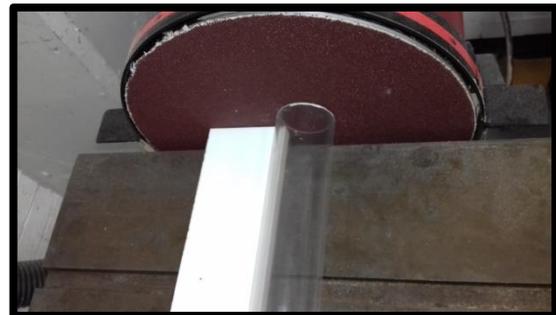
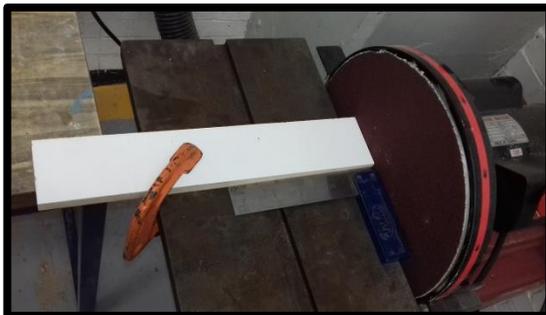


Fig. 8.10 Lijado del tubo para quitar asperezas. [Fuente: Elaboración propia]

Una vez terminado el proceso de lijado se hace una rectificación del ángulo con ayuda de la escuadra.



Fig. 8.11 Rectificado del corte del tubo. [Fuente: Elaboración propia]

Para terminar se realizaron dos maquinados en el tubo uno en cada extremo (ver Fig. 8.12), en los cuales se realizó un ajuste para asegurar la circunferencia del tubo de acrílico, debido a que por su forma de ser elaborado (extrusión), no se tiene una circunferencia exacta y esto podría llevar a un mal funcionamiento de los tapones, esto consistió en realizar un desbaste interno con un buril de interiores una longitud de 5 centímetros y dejando un diámetro final de 1.777" pulgadas, para ayudar a tener un mejor acabado en la última pasada de rectificado.



Fig. 8.12 Maquinado del tubo de acrílico en el torno Pinacho. [Fuente: Elaboración propia]

Al terminar de maquinar, se limpió el tubo de pequeñas imperfecciones y de viruta con ayuda de una lija y el torno para posteriormente lavarlo con agua y jabón; una vez limpio se pusieron en su lugar ambos tapones (ver Fig. 8.13), siempre con ayuda de un poco de aceite para facilitar la inserción.



Fig. 8.13 Tubo de acrílicos con tapones. [Fuente: Elaboración propia]

La construcción de la segunda parte del dispositivo fue más sencilla debido a que este dispositivo no necesita de dimensiones exactas, porque lo único que pretende probar es si la programación es viable. Para la construcción de este modelo se utilizaron los siguientes materiales:

- Madera de pino
- Esparrago de $\frac{1}{2}$ "
- Tuercas de $\frac{1}{2}$ "
- Bisagra
- Balín acero inoxidable de 5 mm

Lo primero que se necesitó fue tomar las medidas deseadas de la madera y del esparrago, las cuales fueron marcadas con un plumón permanente para posteriormente cortarlas con un arco con segueta (ver Fig. 8.14).



Fig. 8.14 Corte de la madera y el esparrago. [Fuente: Elaboración propia]

Lo siguiente que se tuvo que trabajar, fue con la base en la cual ira empotrada el esparrago, para lo cual se siguió el mismo procedimiento de medir y de utilizar el arco con segueta para cortarlo, después de tener un cuadrado de 13 cm x 13 cm se utilizó una broca de $\frac{1}{2}$ " y un taladro para realizar una perforación en la parte central de la base por la cual pasará el esparrago y éste será sujetado con dos tuercas en cada extremo de la base (ver Fig. 8.15).



Fig. 8.15 Base del prototipo en el cual se aprecia la forma de sujeción por medio de tuercas. [Fuente: Elaboración propia]

Posteriormente se procedió a realizar un canal por el centro de la madera que anteriormente fue cortada (ver Fig. 8.16), en toda su longitud con ayuda de un mototool y una fresa de $\frac{1}{4}$ " , dicha herramienta tuvo que ser puesta en una base especial para poder realizar el corte y dejara el canal recto y sin mucha profundidad para que el balín pueda pasar sin detenerse, una vez que se realizó el corte, se dio una ligera lijada con una lija fina con el objetivo de reducir las imperfecciones que dejó la fresa y el balín pudiera circular con mayor facilidad y sin movimientos indeseables .



Fig. 8.16 Corte del canal para el balín. [Fuente: Elaboración propia]

Para poder asegurar la correcta sujeción de la madera con el canal al esparrago, se cortaron dos pequeñas piezas de madera de 4 cm x 4 cm a los cuales, de la misma manera que a la base se les hizo un barreno en el centro (ver Fig. 8.17), una de estas piezas se unió a un extremo de la madera con el canal con una bisagra, la cual permitirá con una altura variable dar una gama de ángulos, con los cuales el balín se desplazara a diferentes velocidades.

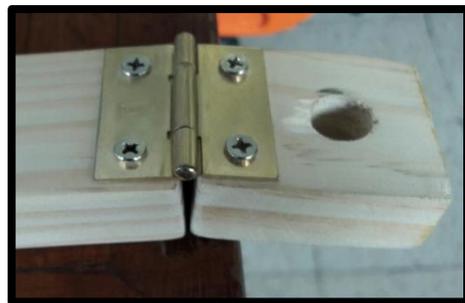


Fig. 8.17 Montura de la bisagra en la madera. [Fuente: Elaboración propia]

Para armar el dispositivo primero se deben poner una tuercas en el cuerpo del esparrago a la altura deseada, para después meter la pieza de madera con la bisagra, posteriormente se introduce la pieza de madera sobrante y arriba de ella la última tuerca de manera que si se desea que el dispositivo se eleve o baje simplemente se deben de subir o bajar las tuercas (ver Fig. 8.18).

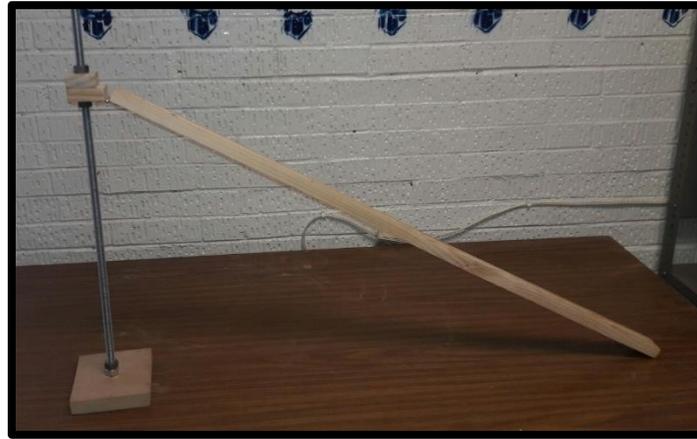


Fig. 8.18 Armado del prototipo. [Fuente: Elaboración propia]

Lo último que se realizó en el dispositivo, fue añadirle dos soportes en los cuales irán montados los dos sensores inductivos a un lado del canal por el que pasara el balón (ver Fig. 8.19), estos soportes fueron manufacturados a partir de una lámina de aluminio; a cada soporte se le realizaron tres barrenos, en uno entraría el sensor (el diámetro de este barreno es el diámetro externo del sensor), y los dos barrenos sobrantes sirven para fijar el soporte a la madera del canal.



Fig. 8.19 Montaje de los soportes en el canal del balón. [Fuente: Elaboración propia]

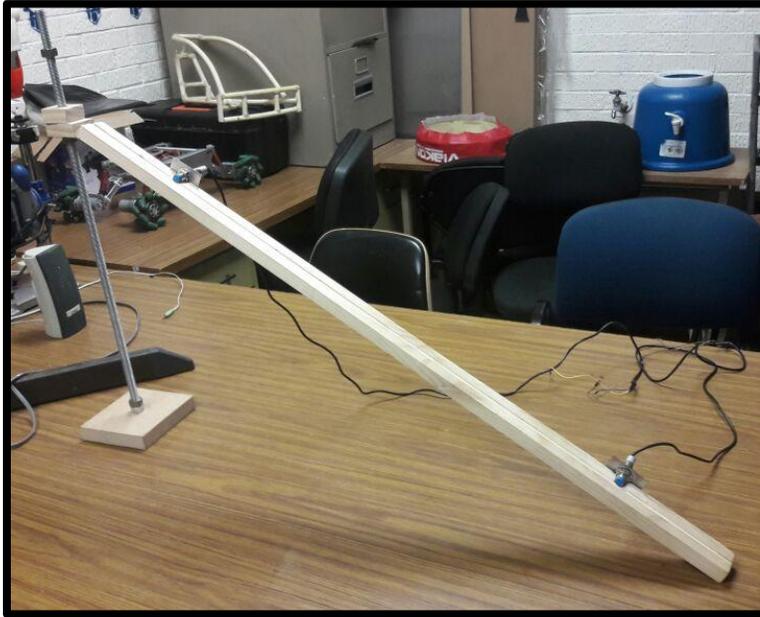


Fig. 8.20 Prototipo final. [Fuente: Elaboración propia]

En resumen los dos dispositivos construidos sirven para validar el diseño del dispositivo y la programación que se utilizara para que funcione, esto debido a que por cuestiones de presupuesto no se pudieron utilizar los sensores ideales; ambos dispositivos se le realizaron pruebas que fueron exitosas para sus objetivos específicos.

PROGRAMACIÓN

“Los ordenadores son inútiles. Sólo pueden darte respuestas” Pablo Picasso

La programación es importante dado que gracias a la ayuda de los sensores se pretende disminuir el error humano presente en las prácticas, y con esto cumplir con el objetivo antes planteado, para esto se debe lograr el armónico y sincronizado trabajo de todos los elementos que están involucrados en este capítulo, así mismo se debe tener en cuenta dos puntos, el primero es que es imposible eliminar el error presente en cada medición, esto debido a que los sensores por si mismos ya cuentan con un rango de falla, el segundo punto a considerar, es que aunque es de conocimiento del tesista que el arreglo del circuito o el uso de algún tipo de sensor puede mejorar, pero por cuestión de precio y de conocimiento se utilizaron los que a continuación se presenta.

9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

El proceso del dispositivo comienza con la correcta energización, cuando se pretende iniciar, se debe presionar un botón con el que se suspende la corriente eléctrica al electroimán con esto se interrumpe su funcionamiento permitiendo la liberación del balón y por consiguiente que este caiga, cuando el primer sensor inductivo detecta el balón se activará el cronómetro, este permanecerá activo hasta que el segundo sensor lo detenga, al terminar el sistema se reiniciará.

LÓGICA DE OPERACIÓN:

9.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO I/O

1. Encender computadora
2. Presionar botón
3. Desenergizar el electroimán
4. Activar el primer sensor
5. Sensado del primer sensor
6. Activar cronometro
7. Activar el segundo sensor
8. Sensado del segundo sensor
9. Parar cronometro
10. Reiniciar sistema

9.3 DESCRIPCIÓN DE LAS I/O

- Botón verde (virtual)
- Sensor inductivo: LJ12A3-4-Z/BX I=300 mA Tipo: NPN Normalmente abierto
Voltaje= 6VDC-36VDC distancia de sensado= 4 mm



Fig. 9.1 Sensor inductivo [Fuente: Elaboración propia]

- Electroimán: HCNE-P20/15 V= 12 VDC peso que puede levantar= 2.5 kg Marca: HCN

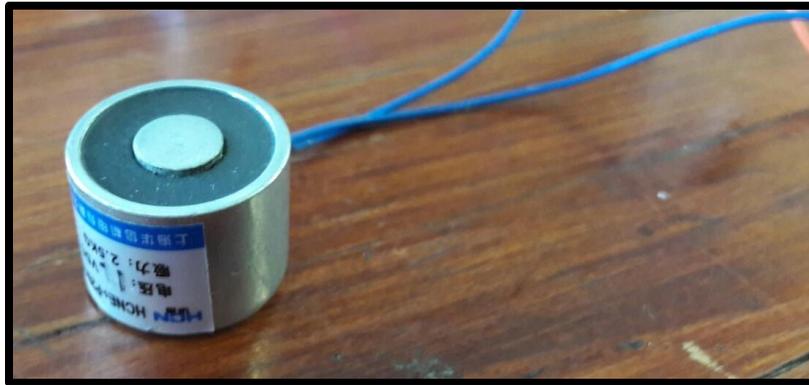
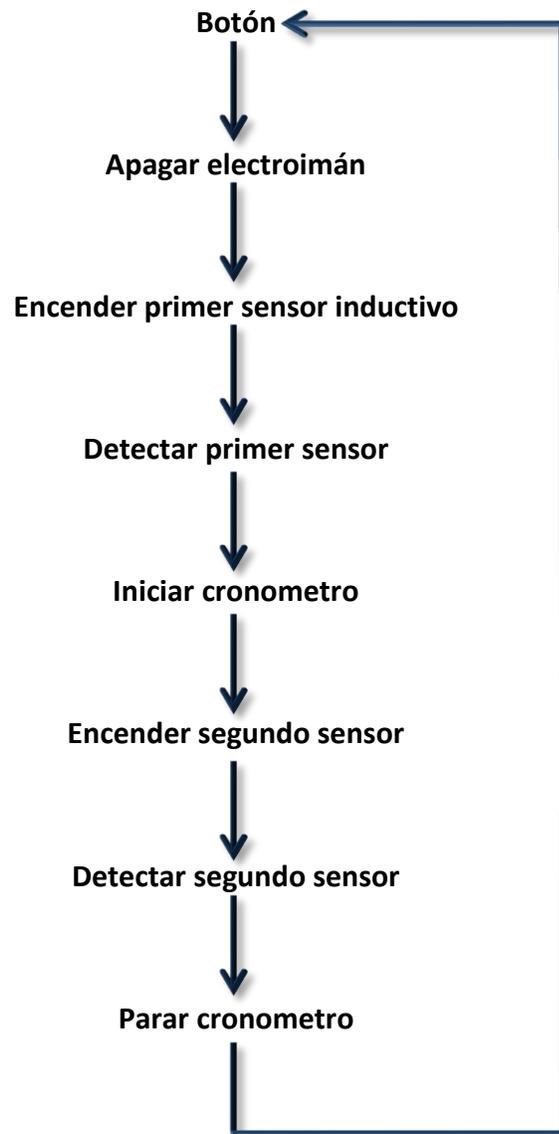
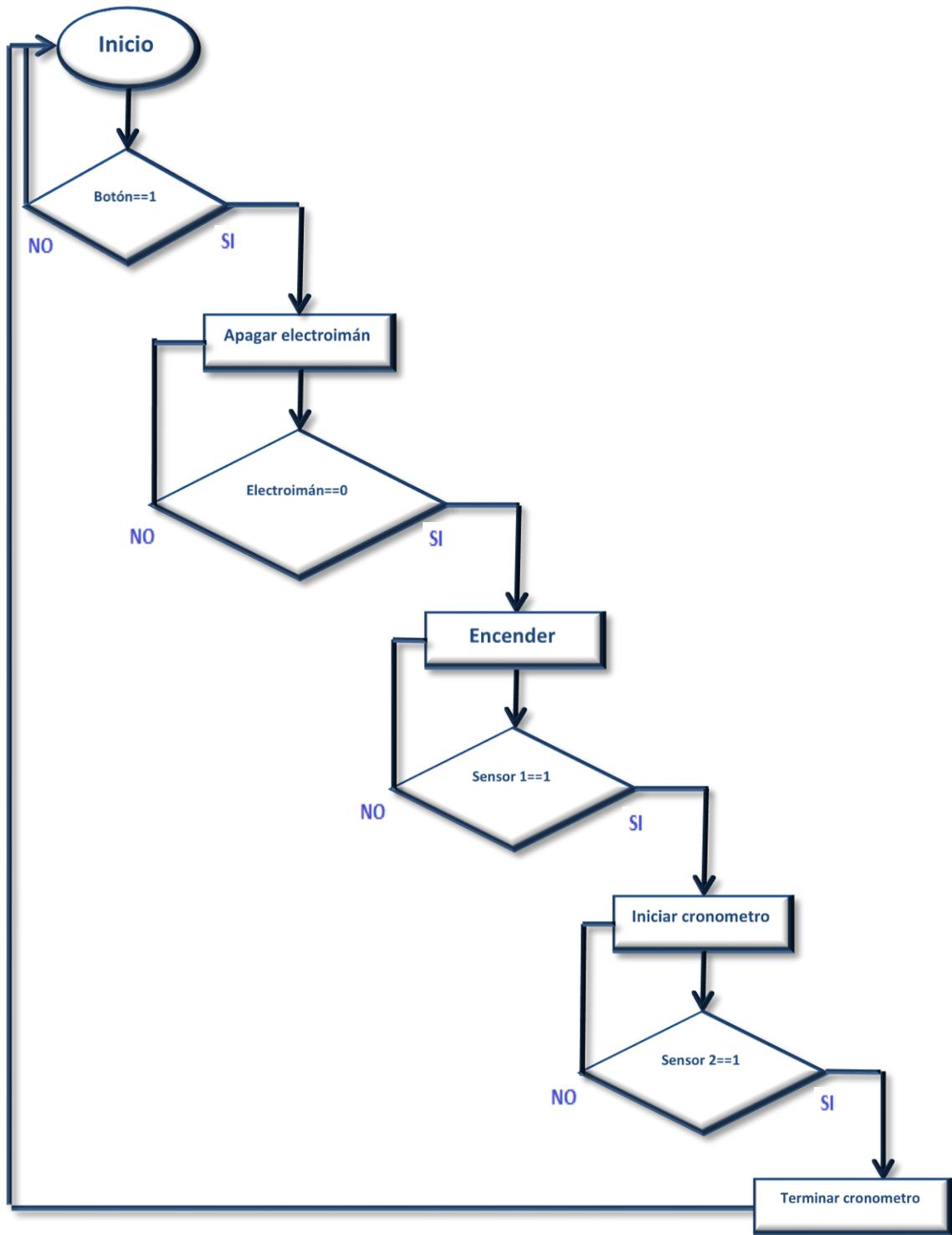


Fig. 9.2 Electroimán [Fuente: Elaboración propia]

9.4 PSEUDOCÓDIGO



9.5 DIAGRAMA DE FLUJO:



9.6 PROGRAMA:

Una vez que se estableció el pseudocódigo y el diagrama de flujo, se tiene el rumbo por el cual la programación debe ir, antes de llegar al programa final en el cual todos los elementos electrónicos trabajan en conjunto, se realizaron pequeños programas en arduino de cada uno de los dispositivos trabajando por separado, esto con la finalidad de poder comprender su funcionamiento y los elementos particulares que necesitaban cada uno de ellos.

Con el dispositivo que más se tuvieron improvisados fue con el sensor inductivo, debido a que el acondicionamiento de señal no era el correcto, debido a que cuando el sensor era alimentado y se monitoreaba su actividad nos percatamos que en realidad había mucha variación en los valores que arrojaba, para lo cual se optó por varias opciones para que esto no pasara, entre ellas el uso de un transistor y de un relevador, los cuales funcionarán como interruptores, así mismo, al utilizar el transistor se tuvo una complicación con la corriente de salida que daba, el sensor inductivo era mayor que la que podría recibir el transistor, para la cual se utilizó una resistencia de potencia la cual fue calculada a partir de la corriente de salida del sensor y la corriente de entrada del transistor, dando como resultado una resistencia de 68Ω a 2 W, para reducir la corriente y de esta forma evitar que el transistor se caliente y se dañe .

A su vez, se trabajó individualmente con el electroimán realizando distintas conexiones para lograr que éste trabaje, al igual que con el sensor inductivo, se tuvieron muchas opciones y diagramas de conexión entre los que destacaron el uso de resistencias, transistores y bobinas, sin embargo se optó por utilizar un módulo MOSFET IRF520 el cual internamente cuenta con un transistor IRF520 y resistencias internas, cabe mencionar que el uso del módulo fue utilizado por practicidad y sencillez de conectar, aunque de no usarse el módulo físicamente se puede utilizar un diagrama equivalente utilizando los elementos electrónicos por separado.

Para realizar dichos circuitos de prueba para ambos elementos, se utilizaron protoboards y placas Arduino para realizar las conexiones o modificaciones en su caso con mayor facilidad y rapidez. Además de que ambos elementos fueron programados en el IDE arduino. Sin embargo una vez que se realizaron las pruebas pertinentes y se llegó a los circuitos finales de cada elemento la programación pasó a LabVIEW en cuyo programa además de utilizar los sensores trabajando (ver Fig. 9.1), se agregaron elementos virtuales en la interfaz como un cronómetro o indicadores de en qué momento los sensores están detectando.

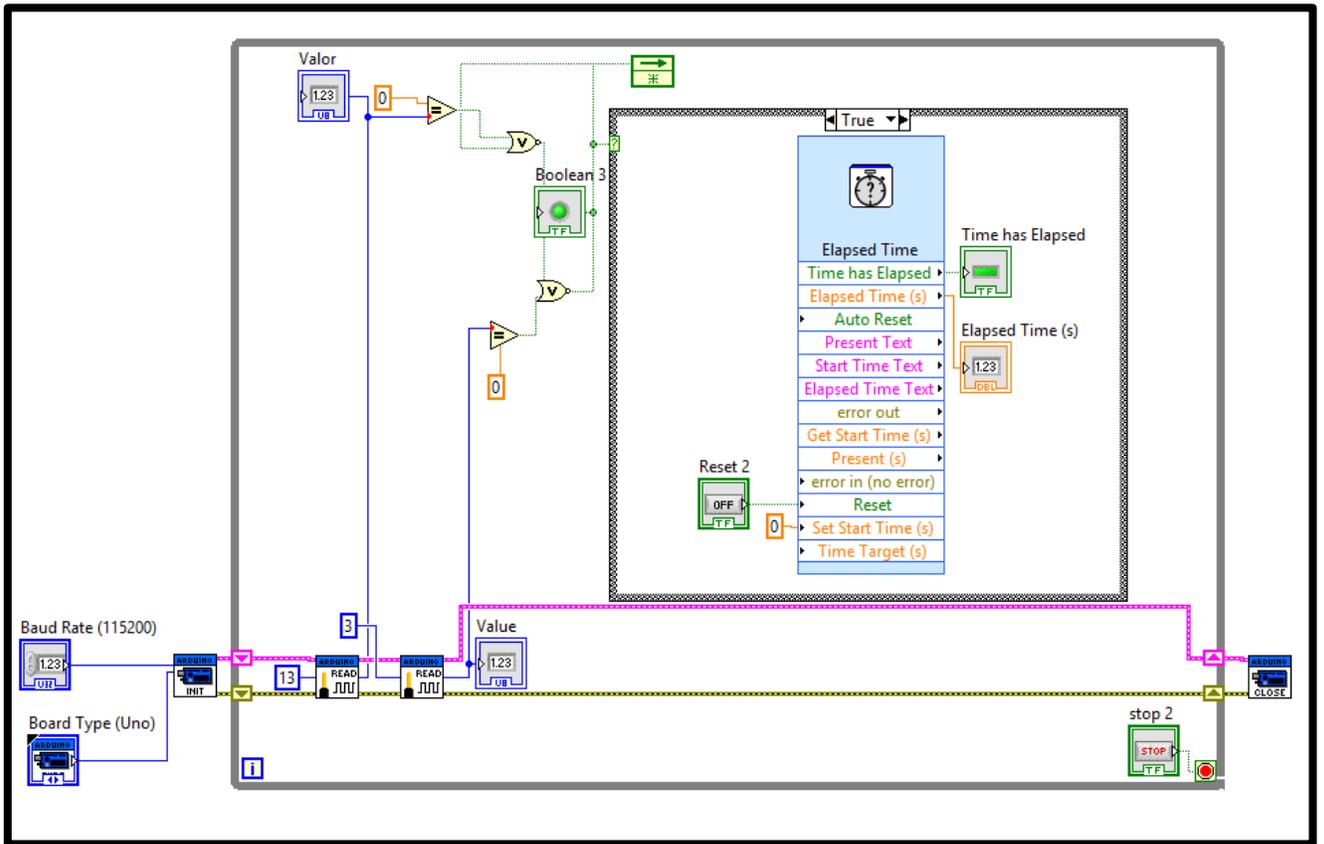


Fig. 9.1 Programa visto desde de LabVIEW. [Fuente: Elaboración propia]

CONCLUSIONES

“En la crítica seré valiente, severo y absolutamente justo con amigos y enemigos. Nada cambiará este propósito.” *Edgar Allan Poe*

Para obtener a las conclusiones que a continuación se mencionarán, se realizaron distintas pruebas en los prototipos que se manufacturaron, con el ideal de poder constatar que tanto el diseño como la programación son válidos y se pueden utilizar en el dispositivo final.

El primer dispositivo que se probó fue el que utiliza el balín, en este dispositivo se pretendía corroborar la programación haciendo pasar un balín en la parte del canal de madera y realizando las lecturas por parte de los sensores, los cuales iniciaban y detenían el cronometro virtual en la interface del programa, así mismo en dicha interface se puede reiniciar el cronometro para una nueva lectura, cabe mencionar que el control del solenoide se hizo de forma separada sin embargo el programa aparte que se hizo, funciona de forma adecuada, así como los circuitos de los elementos (sensores y solenoide).

El segundo prototipo en ser exigido fue el del tubo de acrílico con los tapones de nylon en los cuales estaban los o'rings, para este prototipo las pruebas realizadas eran simplemente el del poder dar visto bueno al diseño, de forma que una vez se instaló el primer tapón (inferior) se llenó el dispositivo con agua y se observó si el dispositivo mostraba fuga de agua, sin embargo el dispositivo permaneció seco, con lo cual se muestra que el sellado es correcto, la segunda prueba que se le hizo al prototipo fue el de llenarlo por completo con agua, poner el segundo tapón en su lugar (superior) y agitar vigorosamente el dispositivo, con lo cual se demostró una vez más que el dispositivo se mantenía seco y por lo tanto no fugaba de parte alguna.

Una vez realizadas las pruebas y sin perder de vista todo lo observado en los procesos de manufactura y programación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El diseño cumple con las necesidades de sellado, dado que no presenta fuga y con lo cual se pueden cumplir necesidades que se derivan de este punto, como la seguridad tanto para los alumnos como para los técnicos o profesores que manipulen el dispositivo, así como el de la higiene y limpieza al no derramar nada que posteriormente tenga que ser limpiado.
- La programación aunque se presenta en dos partes por un lado el sensor inductivo el cual detecta correctamente el paso del balín y es capaz de iniciar y detener un cronometro y por otro el electroimán el cual es capaz mediante el ingreso de un "1" o un "0" detener o soltar el balín; es correcta dado que cumple con las funciones para lo cual fue escrito.
- Dado los dos puntos anteriores y aunque ambos dispositivos están separados, cumplen con la función, por lo tanto el diseño, la manufactura y la programación fueron correctas. Por lo que no existirá problema alguno si se implementan como están estipulados en los planos.
- Se debe de dar un incremento de 20 milésimas de pulgada al ajuste del tubo de acrílico respecto a los planos, debido que aunque se siguieron las medidas y los cálculos necesarios según la guía del diseñador de empaques, la presión que ejercía el o'ring contra el acrílico era demasiada para el tubo y este se rompía, por lo tanto con dicha precaución se evita el quiebre del material.
- La interfaz que se elaboró en el programa LabVIEW es de fácil uso y entendimiento para el operador, debido a que la limpieza de la pantalla y la presencia austera de botones e indicadores que la hacen más amigable y limpia.

- Existe mucha proyección a futuro en relación a este viscosímetro, dando como etapa más próxima la manufactura del dispositivo final, así como la unión de todos los dispositivos electrónicos en un solo programa y que pudieran ser visualizados en una misma interfaz, también la supervisión a distancia del dispositivo o la impresión de un formato de prácticas en cual se reflejen los valores de las sustancias en estudio.
- En el caso de que se construya y se ensamble todo lo requerido para el viscosímetro final éste siempre podrá ser mejorado con sensores o formas de adquisición de datos más rápidos y certeros, dichos dispositivos fueron conocidos durante la etapa de investigación pero debido al alto costo y el tiempo que llevaría la adaptación, se optó por otros más sencillos, sin embargo, de ser usados serían una mejora sustancial al viscosímetro.
- El avance obtenido fue el diseño y la programación de una interfaz con un respaldo en lenguaje G; así como un compendio de planos para la construcción del viscosímetro final, en el cual, se replicarán los resultados expuestos en los apartados de manufactura y programación.
- Con la implementación de este dispositivo en el desarrollo de la práctica, los alumnos tienen mayor libertad para apreciar el fenómeno mientras el sistema realiza automáticamente la recolección de datos, mejorando el entendimiento del caso práctico en cuestión. Al mismo tiempo se reducen los errores por paralaje e inherentes a las mediciones por medios convencionales, es decir, el uso de cronómetros manuales, que a su vez se encuentran influenciados por la habilidad del usuario, generando con este hecho un error importante en las mediciones, que al final se traduce en una mala caracterización de la sustancia de trabajo.

ANEXOS

*“El futuro pertenece a quienes creen en la
belleza de sus sueños.”*

Eleanor Roosevelt

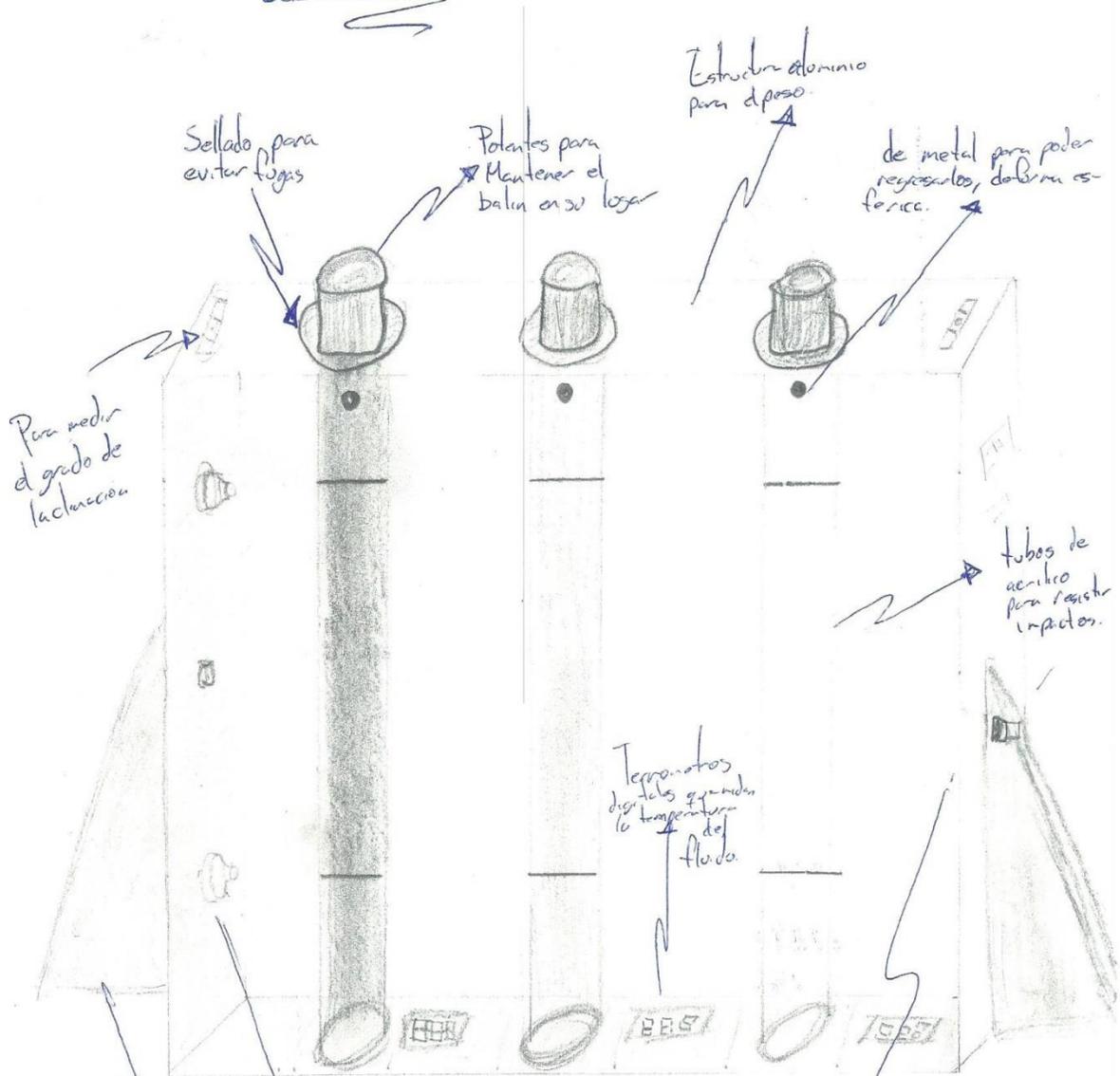
La intención de este último capítulo es el de recopilar todos los documentos que fueron realizados a lo largo de la elaboración de esta tesis, por lo cual se tienen los bocetos que se realizaron en el capítulo de diseño conceptual, los planos con medidas que se vieron en el capítulo de diseño de detalle, y por último los datasheet de los elementos electrónicos que se ocuparon en el apartado de programación.

APÉNDICE “A”

BOCETOS

Bareto.

HNA/ARJ/081215



Para medir el grado de inclinación

Sellado para evitar fugas

Potentes para mantener el balón en su lugar

Estructura aluminio para el peso

de metal para poder registrarlos, deberán ser férricos.

Tubos de acero para resistir impactos.

Termómetros digitales que miden la temperatura del fluido.

Sensores opticos que captan el movimiento del balón dentro del fluido.

Base de acero pesada, para evitar que vuelque

Rotación de 180° para registrar balón

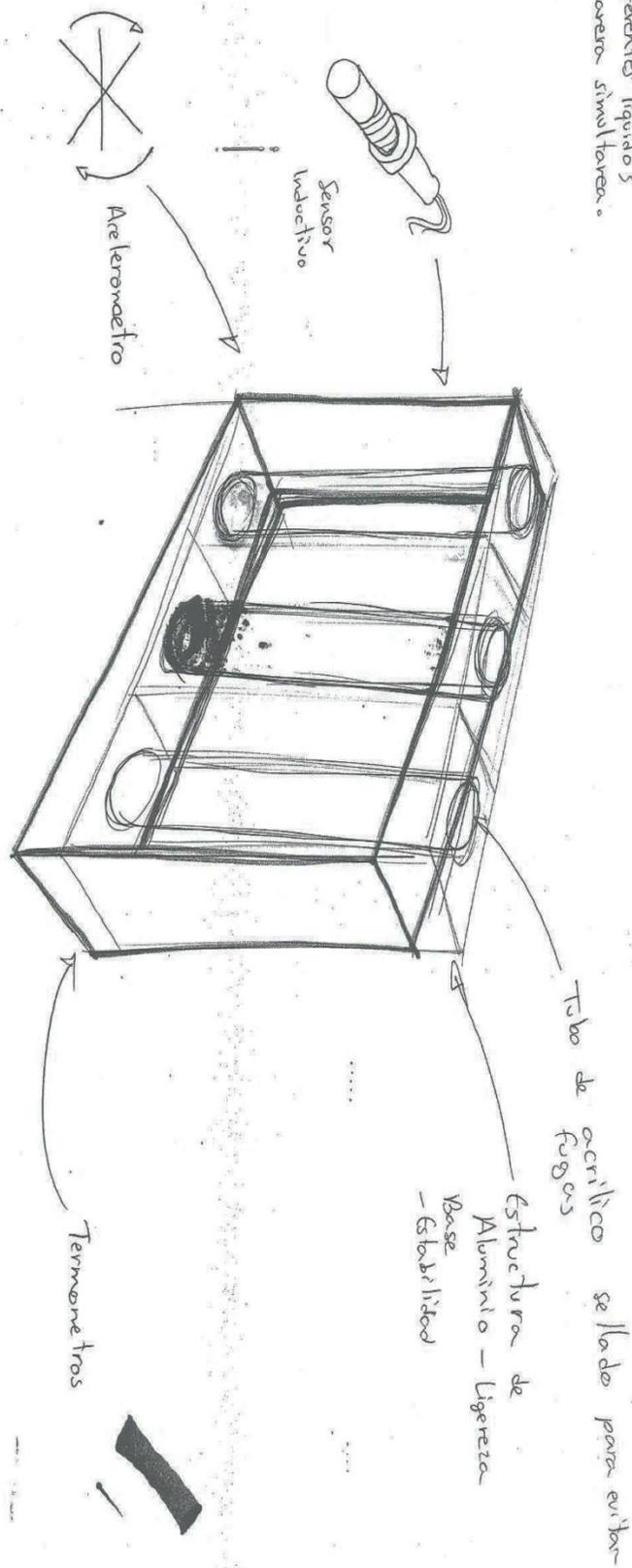
- * 3 diferentes fluidos de densidad, viscosidad diferentes.
- * Longitud Propuesta: :
- * ϕ Propuesto.

20/10/2016

Viscosímetro de Bola

- Medir Viscosidad de 3 diferentes líquidos de manera simultánea.

12



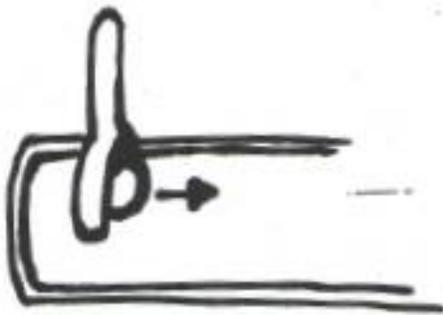
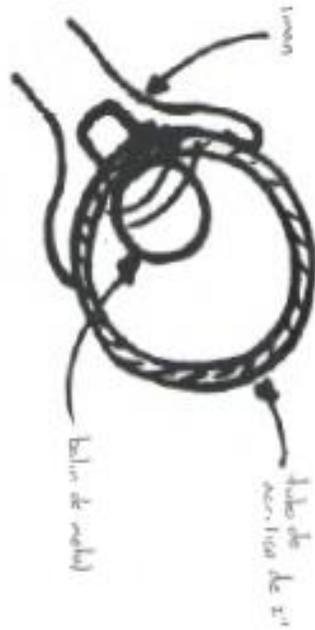
ARRS 20/ENERO/2016

Revisor 20/ENERO/2016
HERRERA

Godillo Augusto

Procedendo de baixo

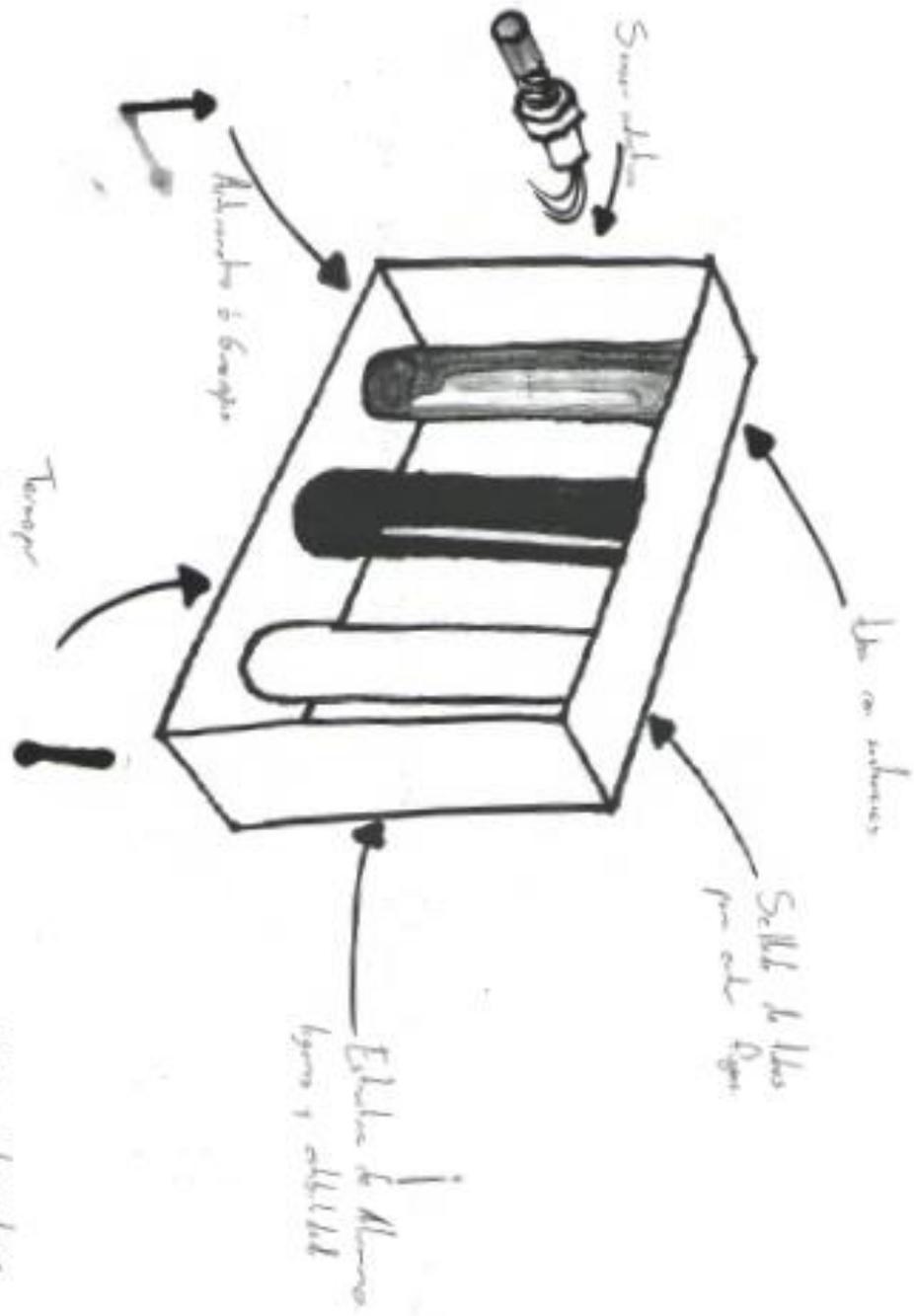
Giro de 180° para o mesmo
Al. Exter



Movimento semelhante
de giracao de bola

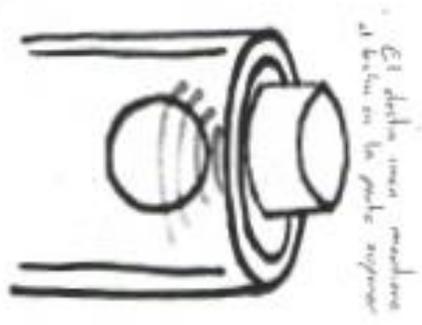
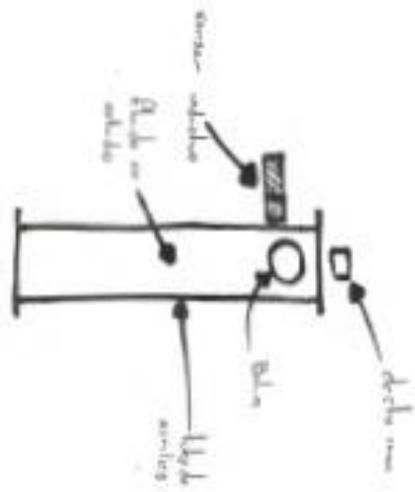
Alto de vertice de 20
Razo: 0,5/1,0/1,5

Tarifa Agosto

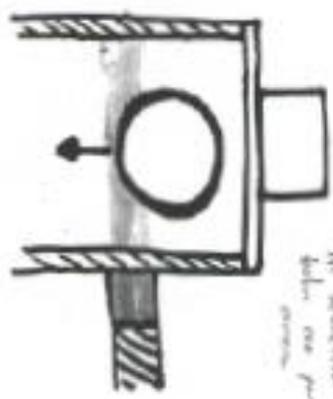


ALIAS coluros/cons
Paseo: apuntes/cons

File August

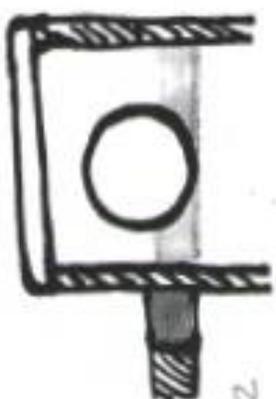


Et d'ailleurs, mes machines à l'usine en la partie supérieure



15 Serrats
All kinds of iron of tubes are put into one to

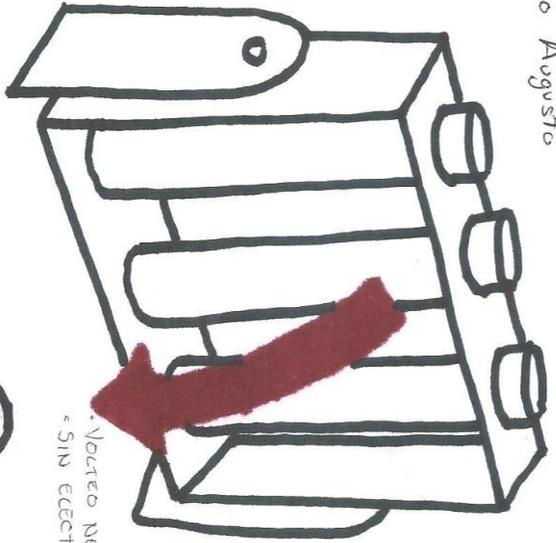
Problème de l'usine à serrats



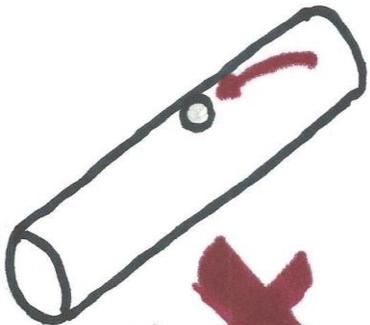
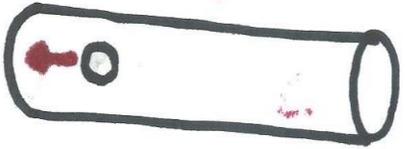
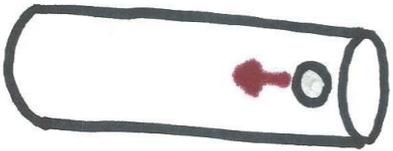
21 Serrats

AHS of l'usine
Rue de l'usine
Paris

Teófilo Augusto



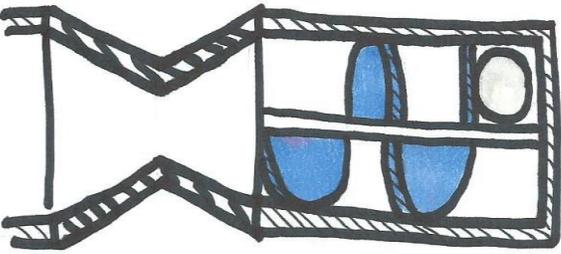
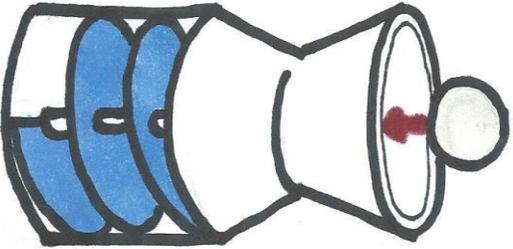
• Vórtice NECESARIO
• SIN ELECTRO MAN.



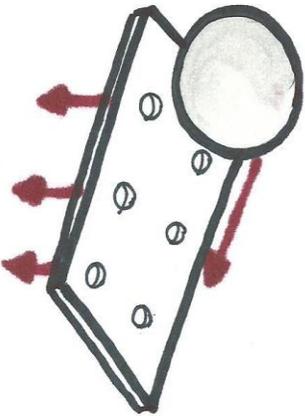
SIN QUE
TOQUE PAREDES
DEL TUBO

NO!

ESPIRAR EL CUAL
RETIRAR LA SALIDA DEL
BÁLUL, LO CUAL DA
TIEMPO DEL ACORRIDA
EN VERTICAL DEL DISPO-
SITIVO.



TRAYECTORIA
DESCENDENTE
DEL
BÁLUL



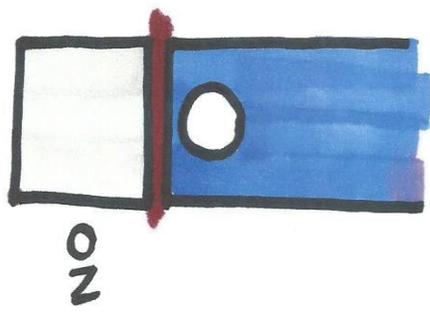
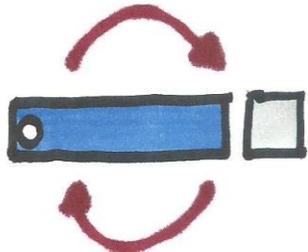
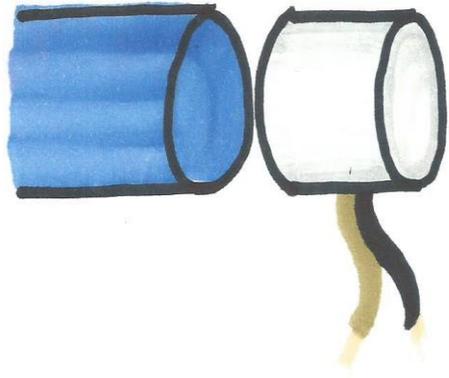
FERRENTACIONES
EN EL CABLE
ESPIRAL PARA
QUE EL FLUIDO
SEA DESALO-
JADO

AHRD 27/01/2016

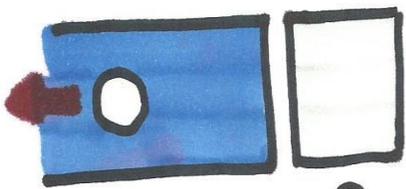
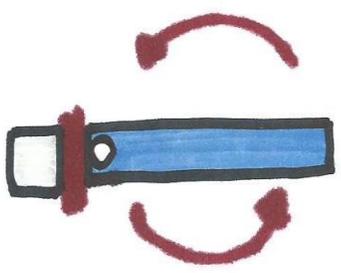
Revisó: J. HEZEL
27/enero/16

Teófilo Augusto

ELECTROIMAN



Queda



OFF

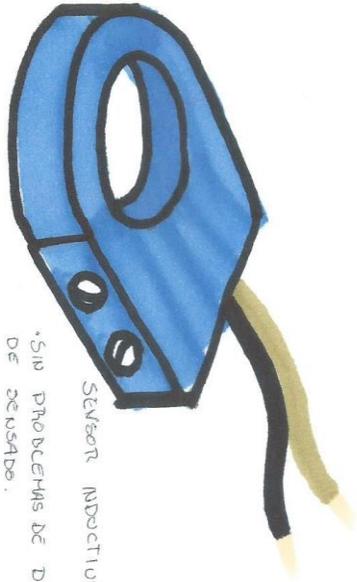
ON

· Desactivando Al inicio de la carrera del Balin.
· Activado Al regreso para mantenimiento en la parte superior

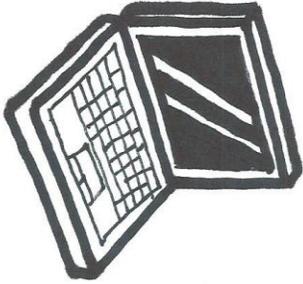
AHRG 23/01/2016

Reviso: HERNANDEZ
27/enero/16

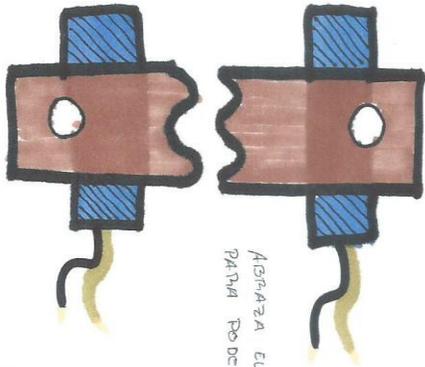
Teófilo Augusto



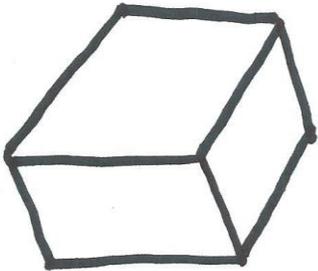
SENSOR INDUCTIVO DE ALIUMIO
• SIN PROBLEMAS DE DISTANCIA DE SENSADO.
• VELOCIDAD DEL DISPOSITIVO



SE HANDE LOS DATOS A LA COMPUTADORA



ASIMAZA EL TUBO DE ACRILICO PARA PODEN OPERAR



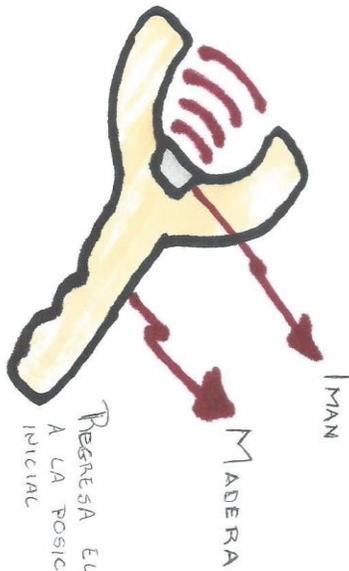
SE ENVIA A LOS DISPOSITIVOS ATENCIONADOS EN LA ETOETA

No

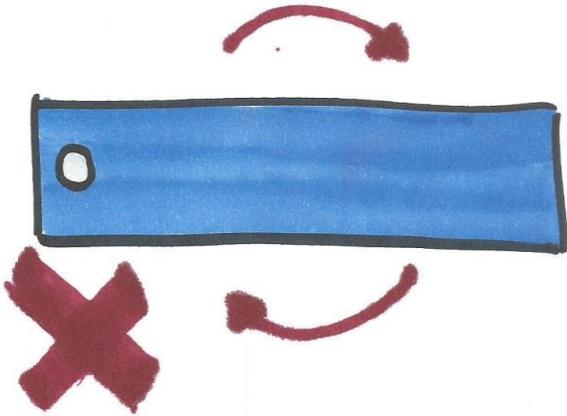
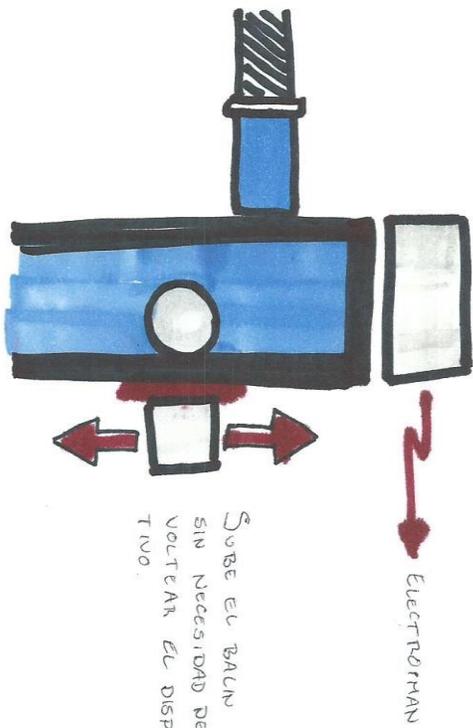
AHRD 23/01/2016
Reviso: J. BAZIL
27/enero/16

Fco Filo Agosto

QUEDA



Regresa el BALIN
A LA POSICION
INICIAL



EVITAR VOLTTEO
• Mayor ESTABILIDAD

AHRJ 27/01/2016

Reviso: FILIO
27/01/2016

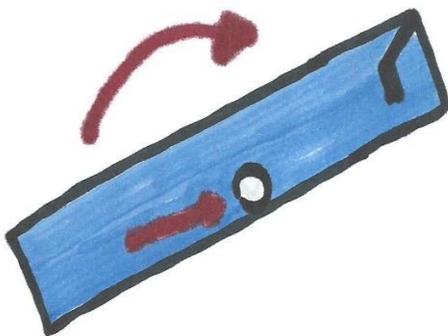
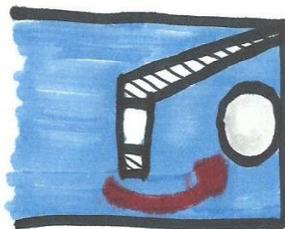
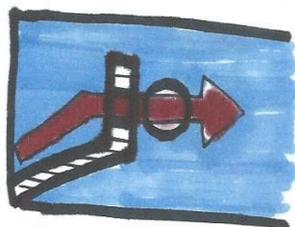
Teófilo Augusto

No!

(10)

• Con volteo

* Retención momentánea del
balón con la intención de
dará tiempo de situar el dispositivo
en forma operativa de nuevo.

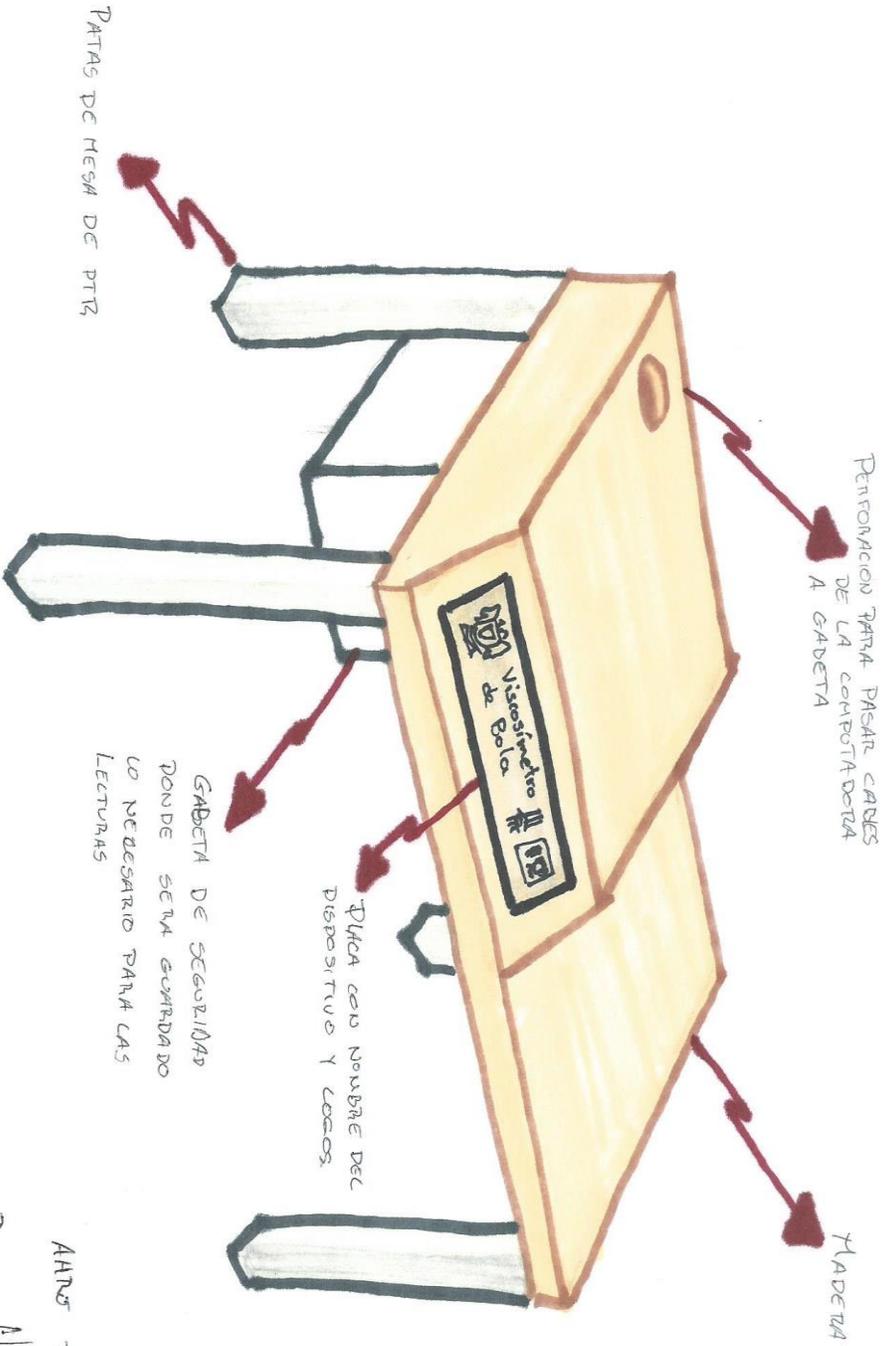


AARRT 27/01/2016

Reuso ~~1~~ MEZTI
27 Febrero/16

Teófilo Augusto

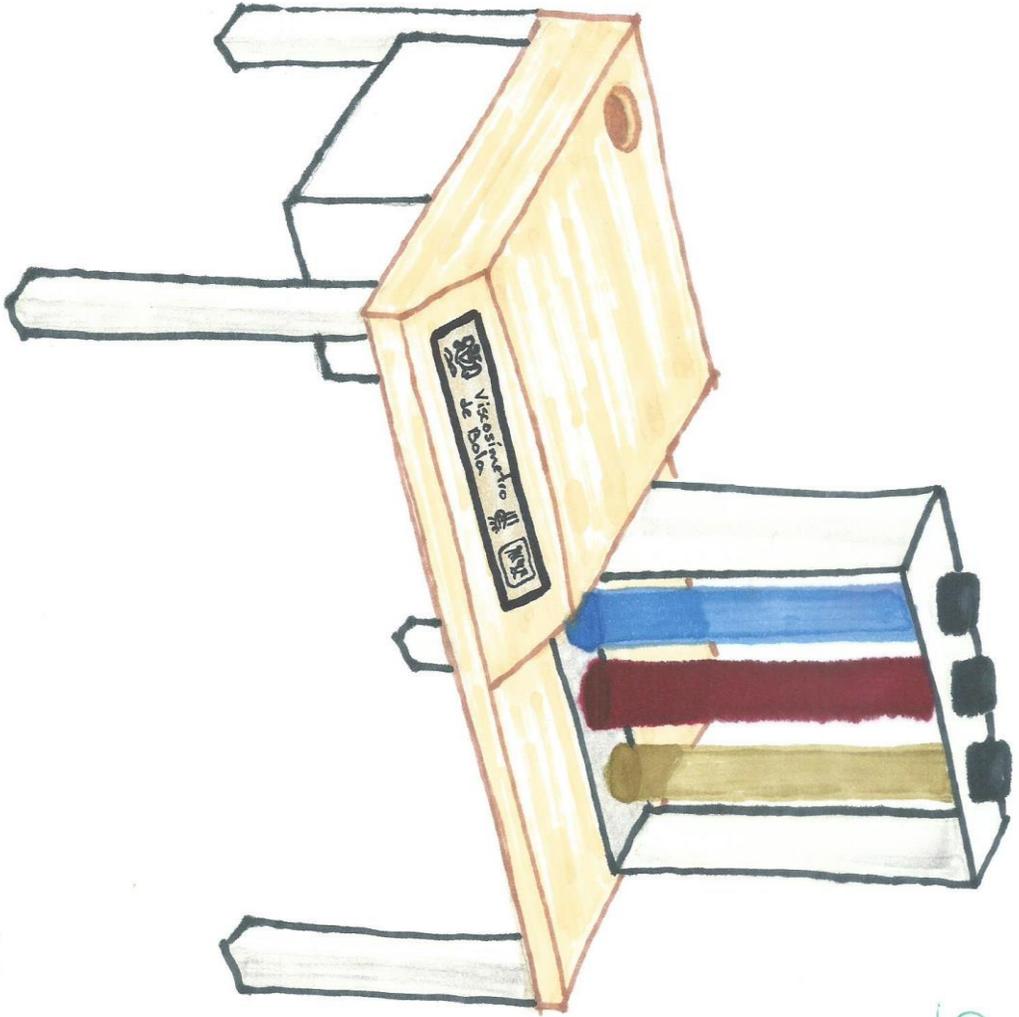
Green



AÑO 27/01/2016

Revisó: A. HERRERA
27/enero/16

Teófilo Augusto

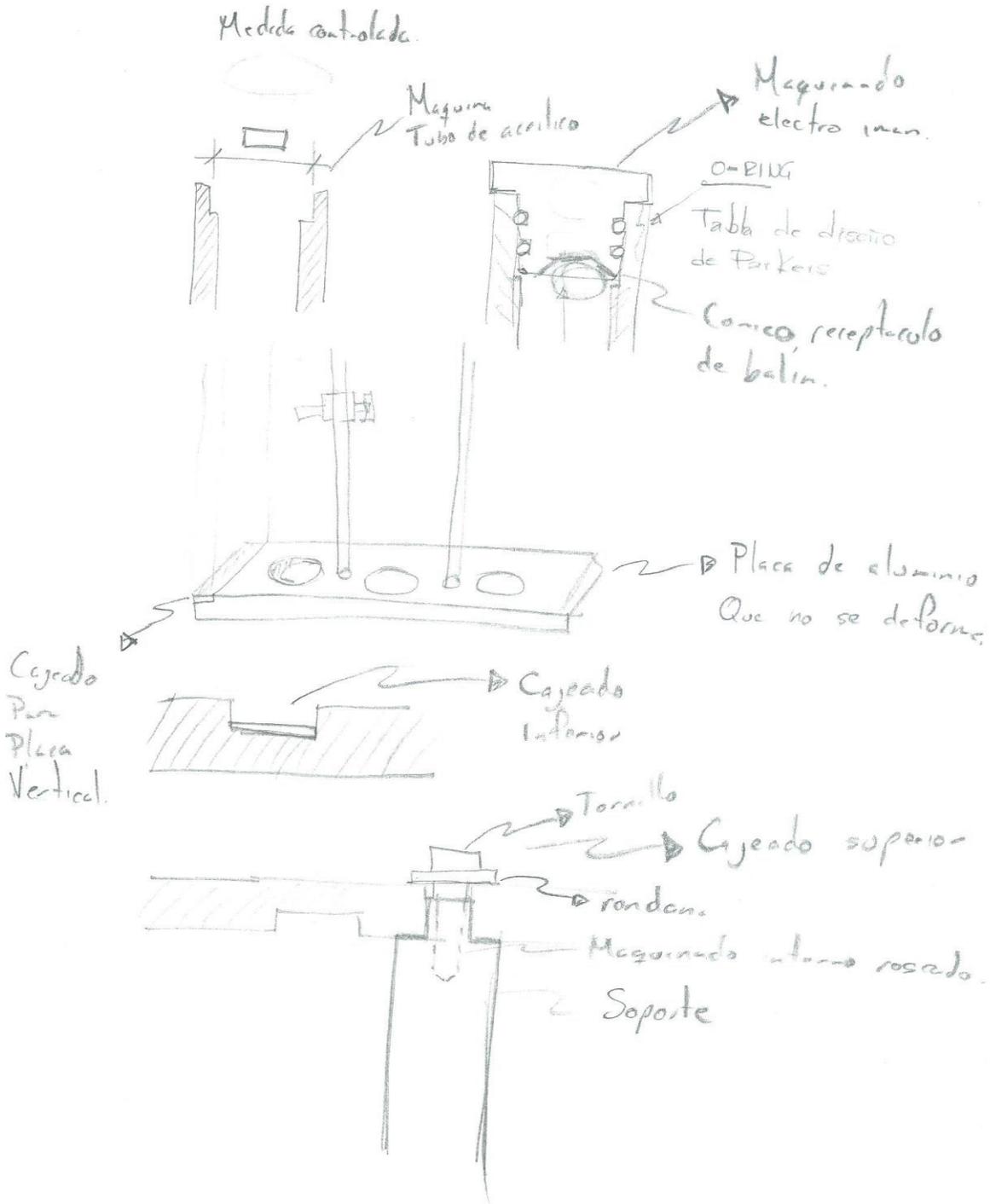


Quepa

VISTA DE LA MESA
CON DISPOSITIVO MONTADO

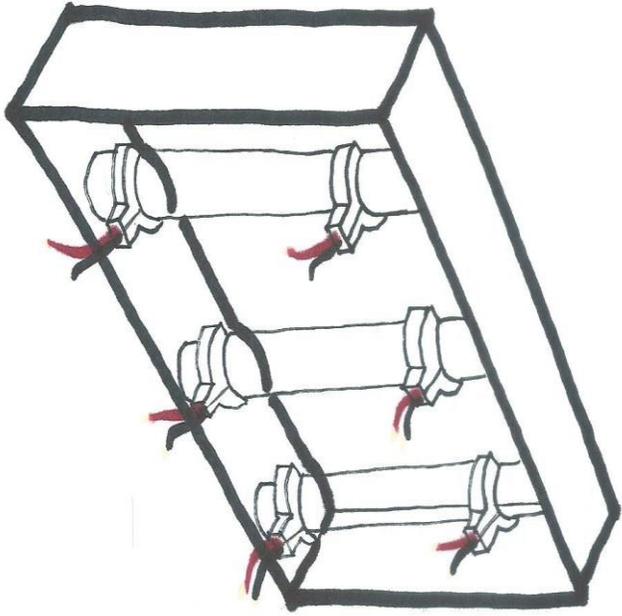
AHRD 27/01/2016

Revisó: ~~HERNANDEZ~~ 27/01/2016

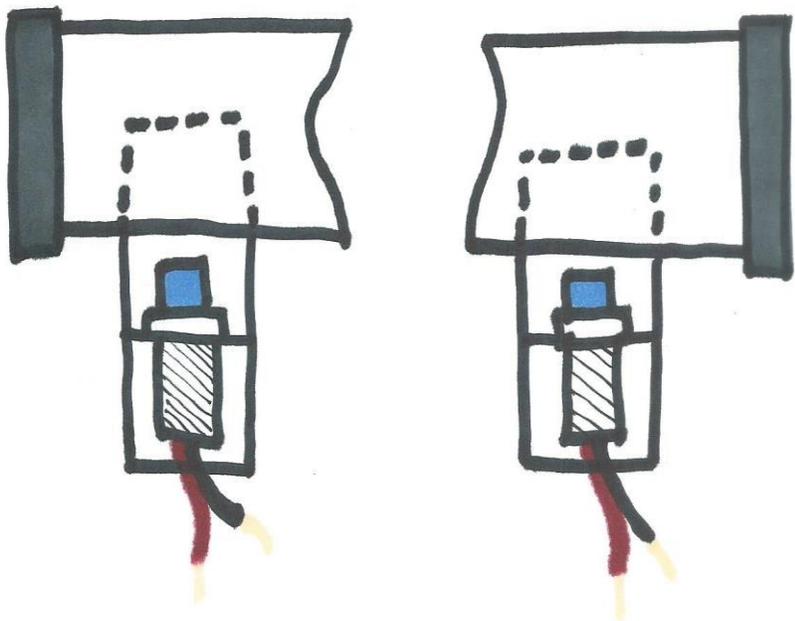


HMA 29/01/2015

Ted Filo Augusto



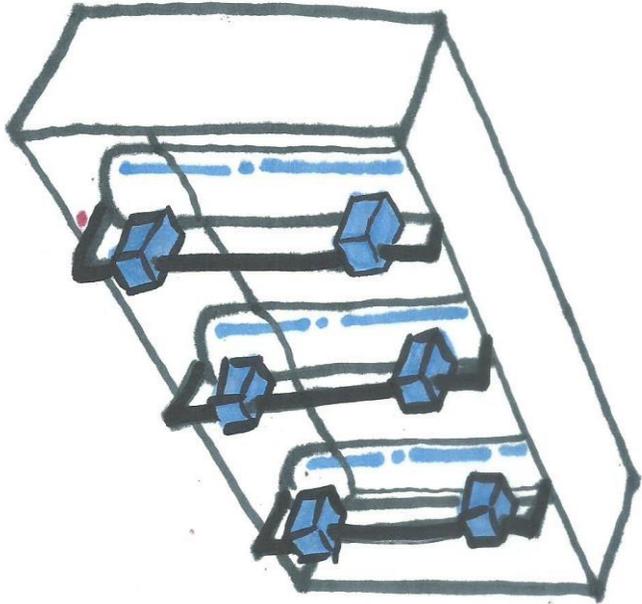
- Acrílico pegado al tubo
- Una parte fija y la otra removible



Nov

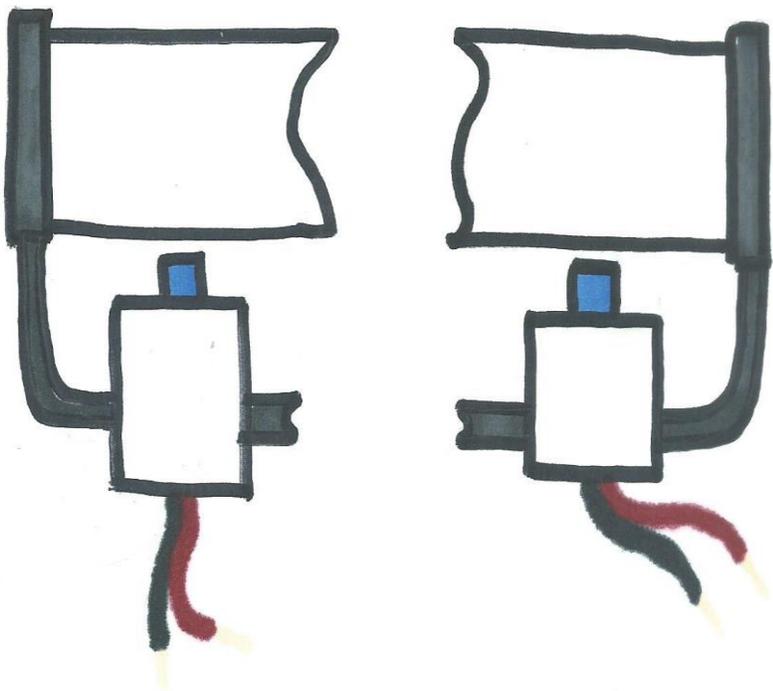
AHR5 2/MARZO/2016
Revisó: ~~HR5~~

Teófilo Augusto



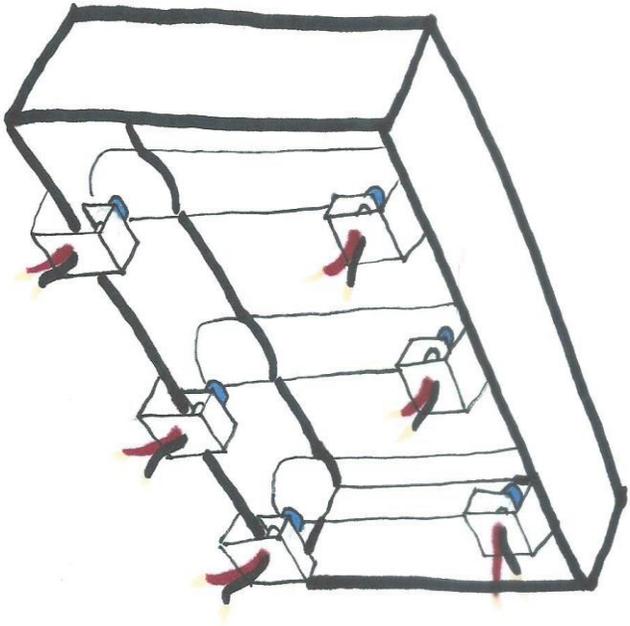
- Barra de acero
- Caja de plástico.
- Una parte fija y la otra reversible.

No 1



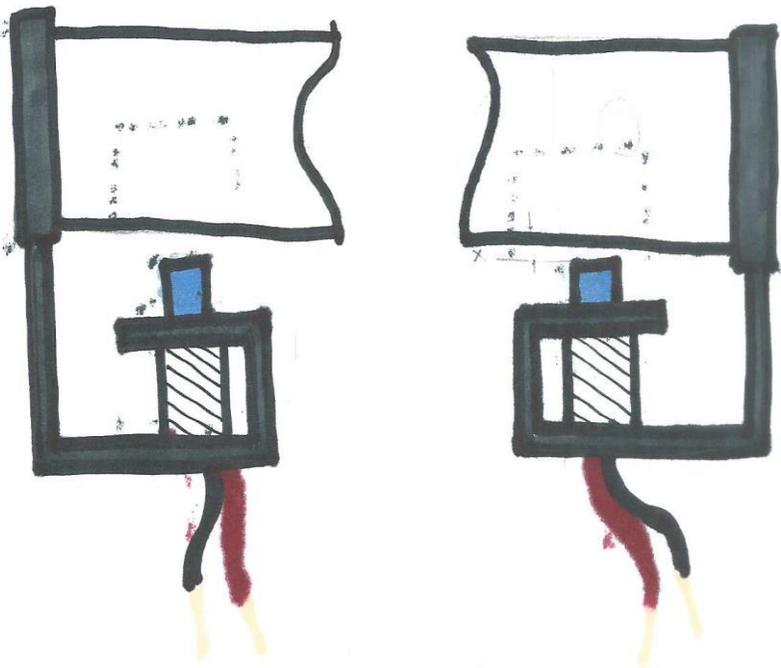
AHRD 2/MARZO/2016
Previsión: 1/2016

Teófilo Augusto



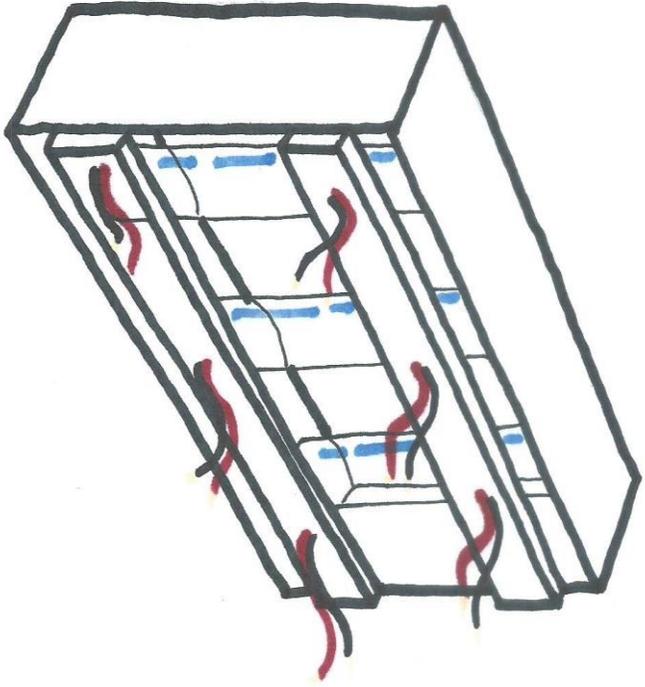
- Metal (Aluminio Anodizado)
- Fijo a la estructura.

Queda

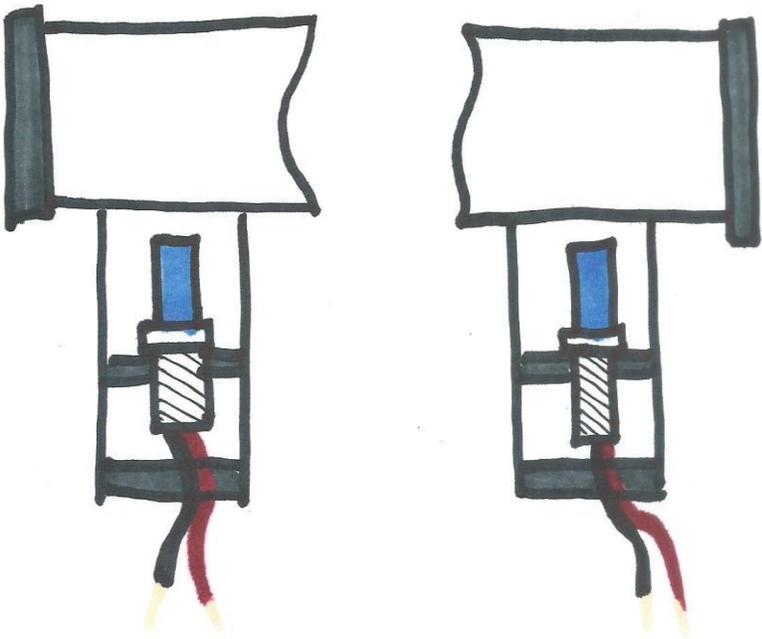


AHJ 2/MARZO/2016
Revisó: ~~...~~

Teófilo Augusto



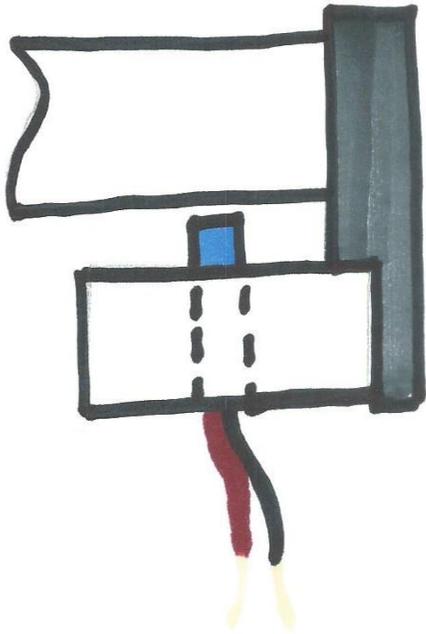
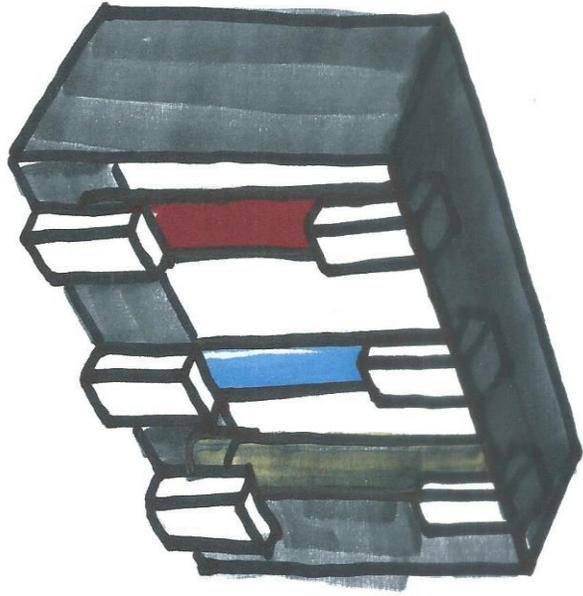
Barras de Aluminio Anodizado
- Fija a la estructura.



Not

AHRD 2/MARZO/2016
Revisó: 

Teófilo Augusto



• Corte de Metformol
• 2 Cajas

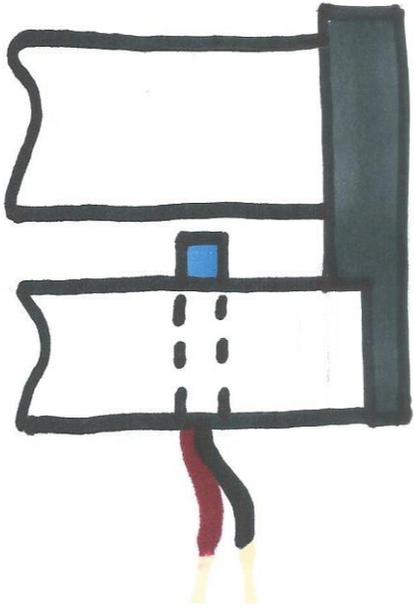
AHRJ 17/03/2010
Reviso:

Teófilo Augusto



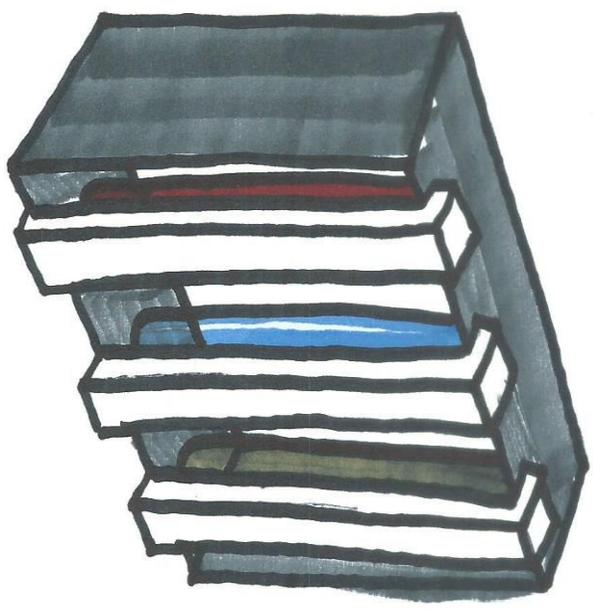
- 3 cajeados
- Soportes a nivel de estructura

Teófilo

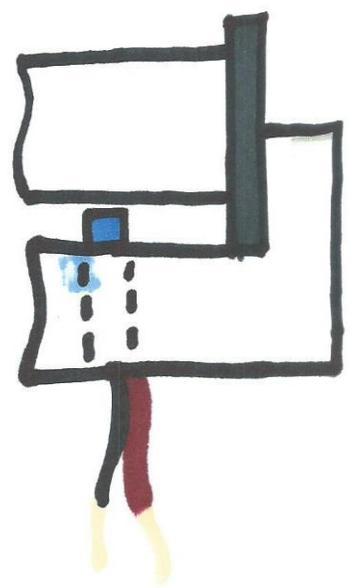


AHRJ 17/03/2016
Revisó :

Teófilo Augusto



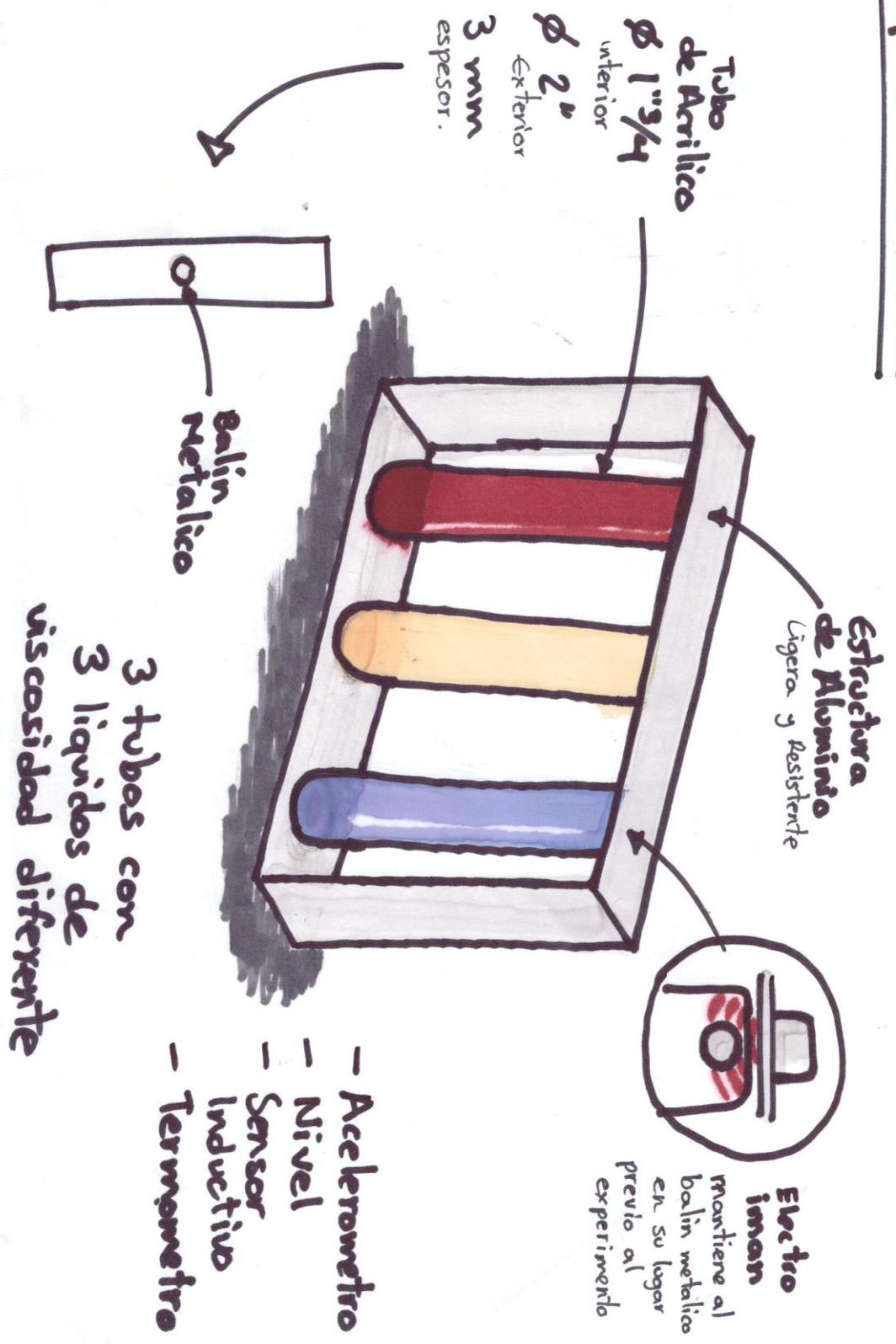
Par fuera
Sin ejesados.



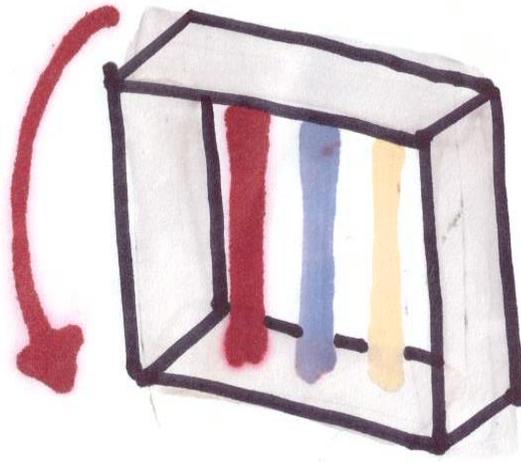
AHRJ 17/03/2016

Reuso :

Propuesta General

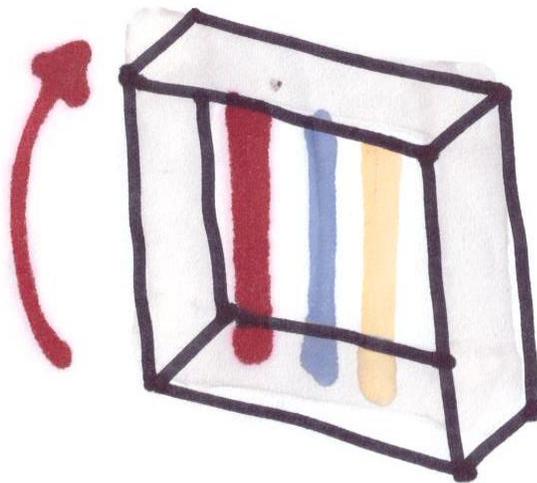


Para que el balin
regrese a su posicion
inicial tras el experimento.



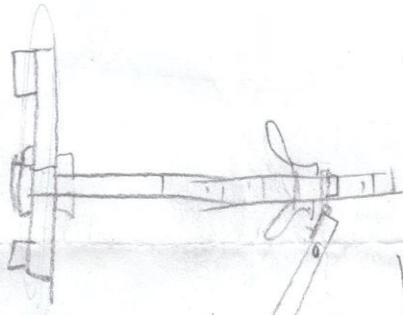
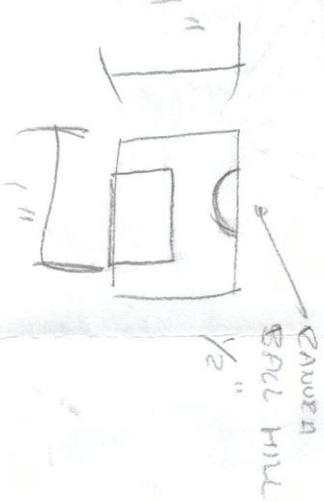
el bastidor
girara
para que
el balin
caiga

ó

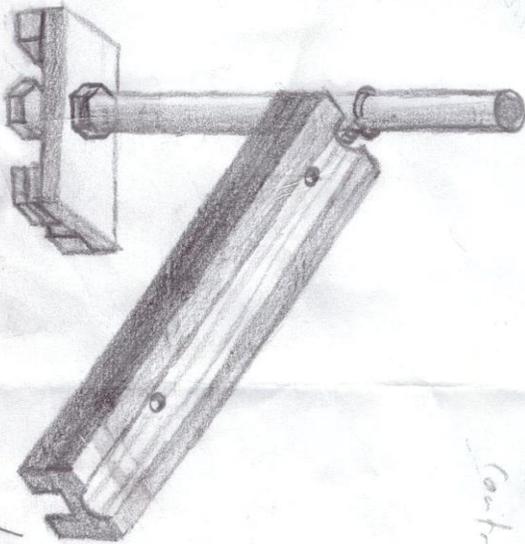
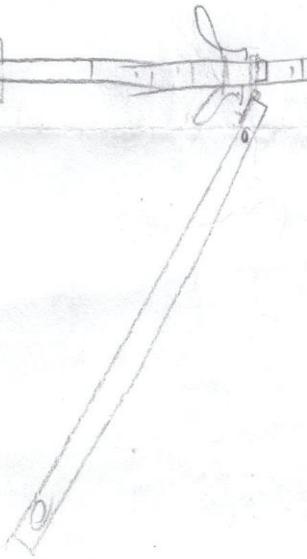


y girara
otra vez
cuando el
iman tenga
retenido el
balin

Rod



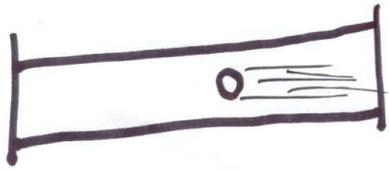
Plano includes



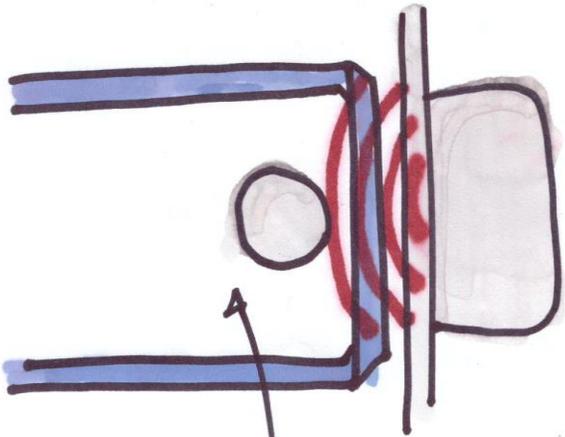
- Esparago 1/2"
- Nylon
- Bisaya
- + turne Murgose
- Bese
- turne
- cahu turne

2/05/2017
AMA

Medicion de la Caída



El balin comienza en la parte superior del Tubo



Se mantiene gracias al electroimán

Cada Tubo tendra un liquido con viscosidad diferente

Al dejar caer el balin

un sensor medira el inicio de la caída



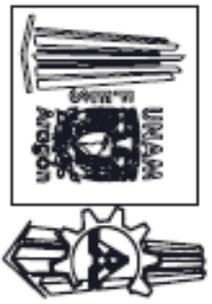
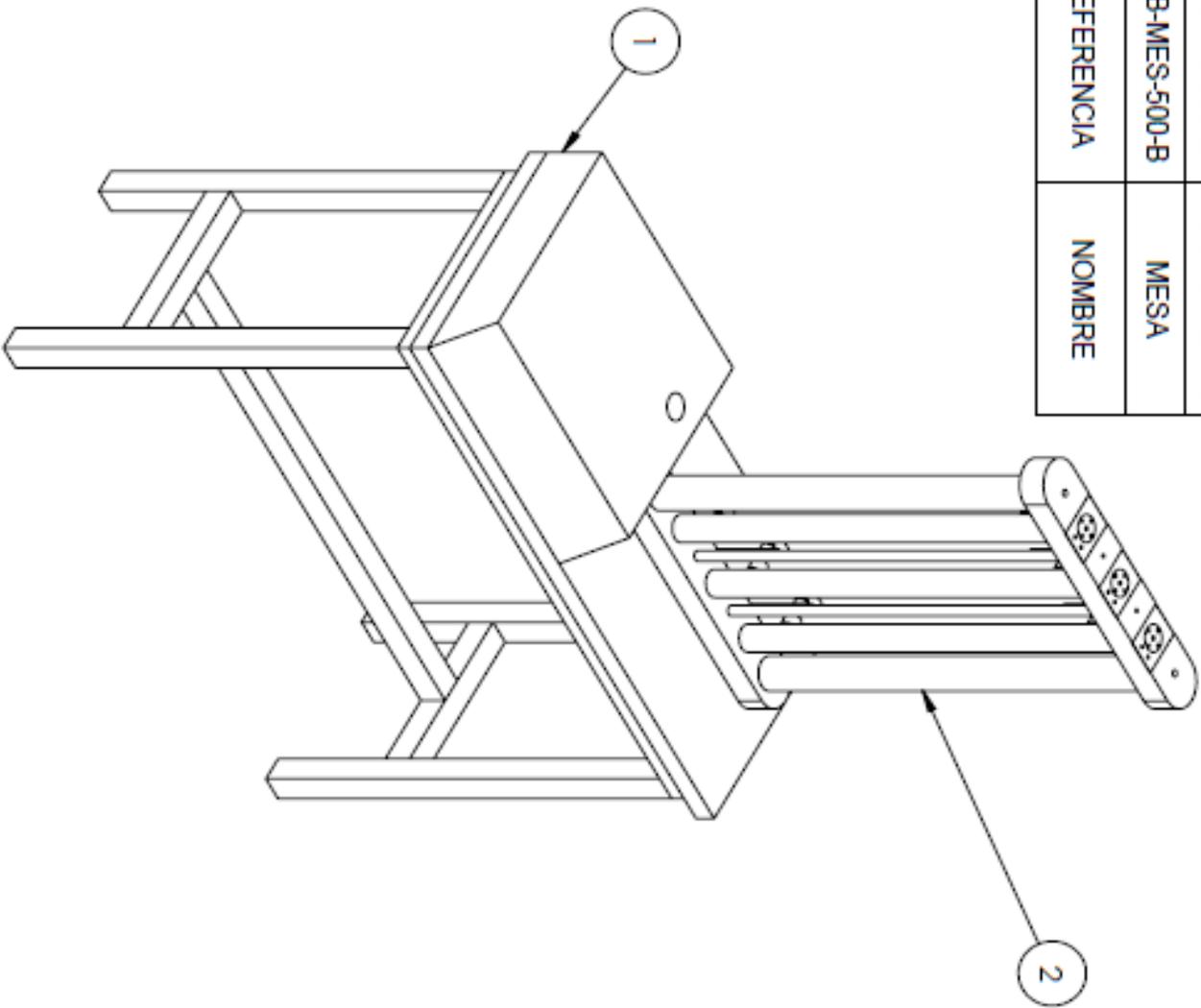
y un segundo medira el fin de la caída.



APÉNDICE “B”

PLANOS

2	VCB-VIS-500-B	VISCOSIMETRO
1	VCB-MES-500-B	MESA
Nº DE ELEMENTO	REFERENCIA	NOMBRE



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

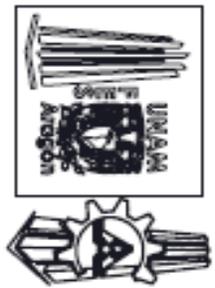
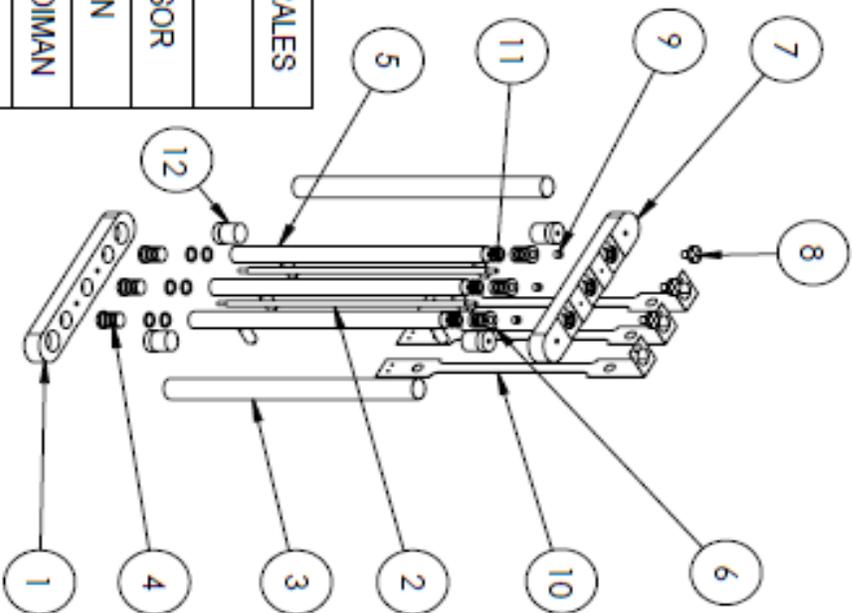
Pieza: Ensamble completo

Plano No. :
VCB-AGE-500-B

Dibujó: AHRJ	Cotas: mm
Revisó: HMA	Escala: 1:10
Aprobó: HMA	Fecha Rev:



N° DE ELEMENTO	REFERENCIA	NOMBRE
12	VCB-VIS-516-B	COPLE DE LATERALES
11	VCB-VIS-511-B	O-RING
10	VCB-VIS-510-B	SOPORTE SENSOR
9	VCB-VIS-609-B	ELECTROIMAN
8	VCB-VIS-508-B	REJILLA ELECTROIMAN
7	VCB-VIS-507-B	SUPERIOR
6	VCB-VIS-506-B	TAPON SUPERIOR
5	VCB-VIS-505-B	TUBO DE ACRILICO
4	VCB-VIS-504-B	TAPON INFERIOR
3	VCB-VIS-503-B	LATERAL
2	VCB-VIS-502-B	BARRA DE SOPORTE
1	VCB-VIS-501-B	INFERIOR



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Viscosímetro

Plano No. :

VCB-VIS-500-B

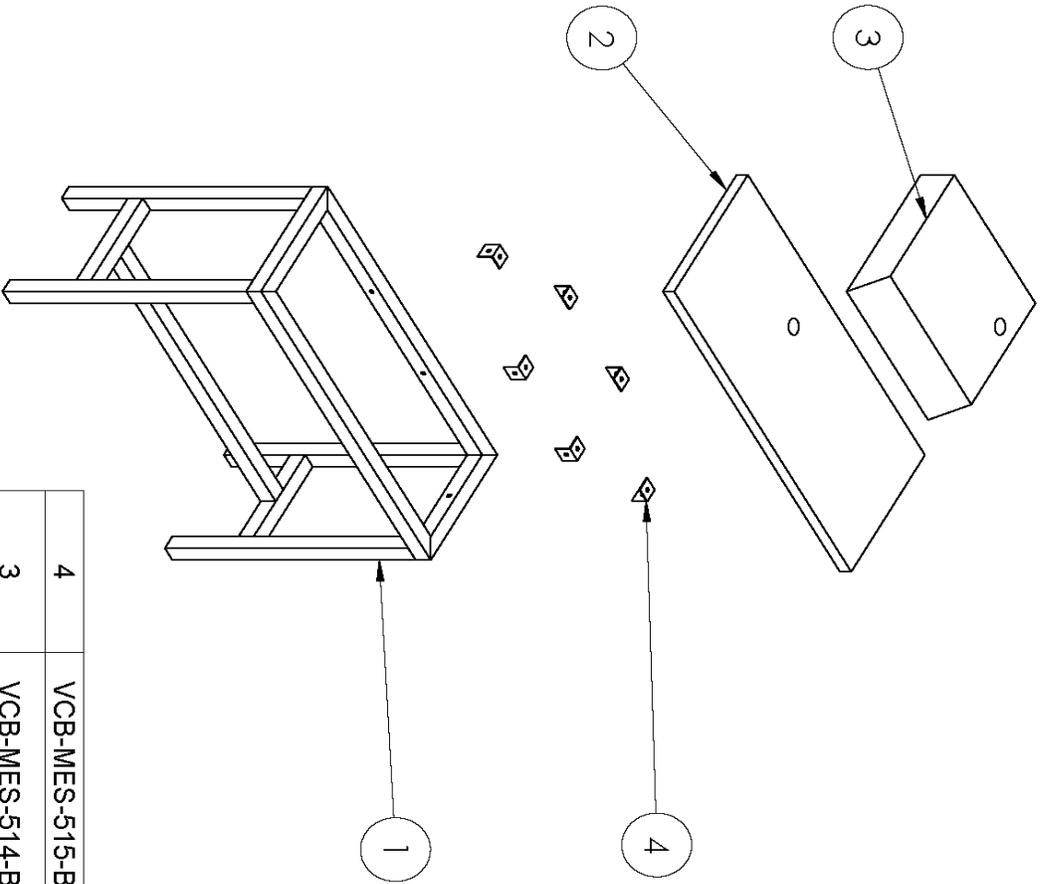
Dibujó: AHRJ Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:20

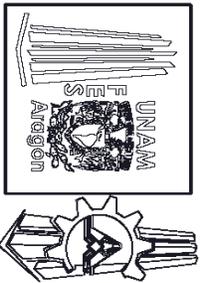
Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A



N° DE ELEMENTO	REFERENCIA	NOMBRE
4	VCB-MES-515-B	HERRAJE
3	VCB-MES-514-B	CUBIERTA SUPERIOR
2	VCB-MES-513-B	CUBIERTA INFERIOR
1	VCB-MES-512-B	ESTRUCTURA MESA



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Mexi

Plano No. :

VCB-MES-500-B

Dibujó: AHRJ

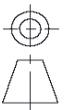
Cotas: mm

Revisó: HMA

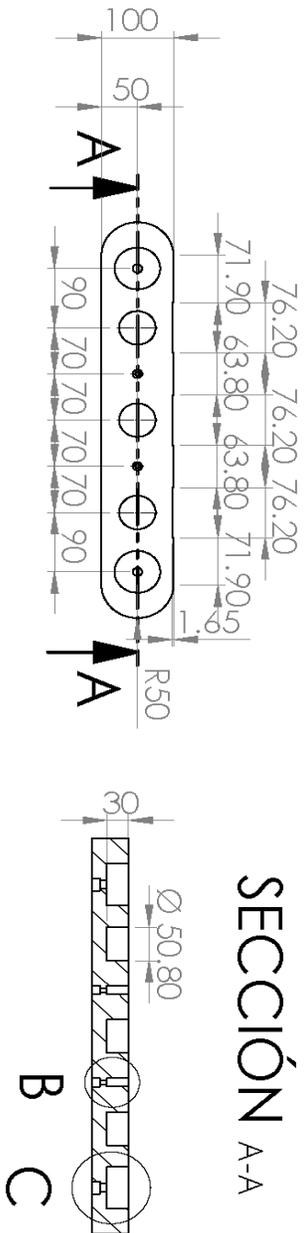
Escala: 1:20

Aprobó: HMA

Fecha Rev:



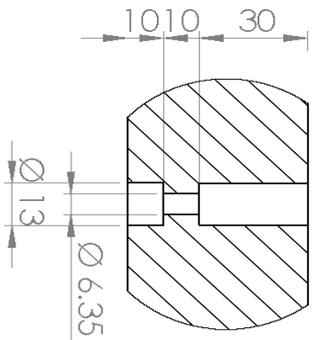
ANSI A



SECCIÓN A-A

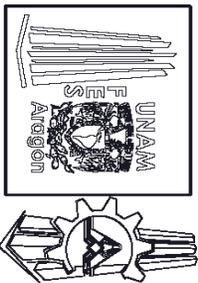
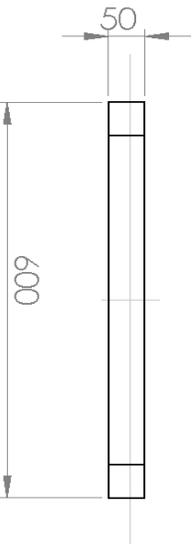
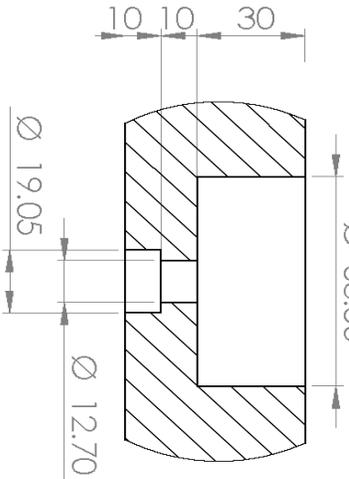
DETALLE B

ESCALA 1 : 2



DETALLE C

ESCALA 1 : 2



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Interior

Plano No. :

VCB-VIS-501-B

Dibujó: AHRJ

Cotas: mm

Revisó: HMA

Escala: 1:10

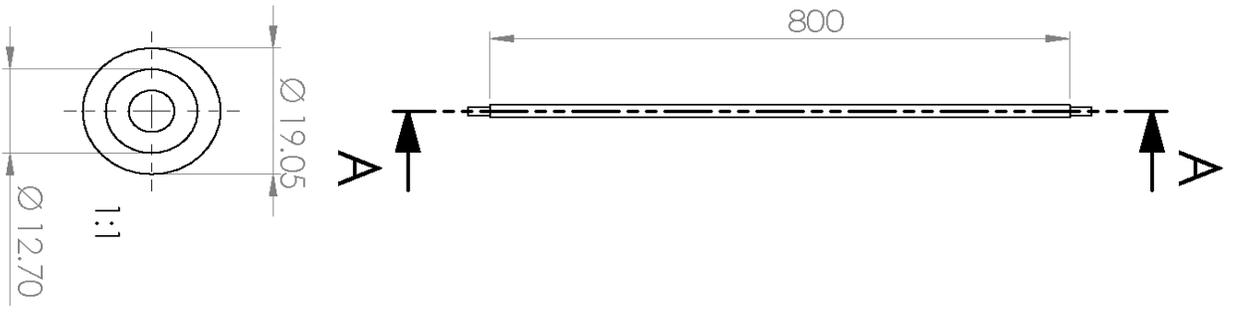
Aprobó: HMA

Fecha Rev:

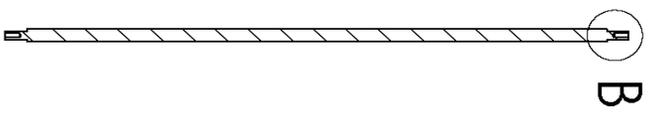


ANSI A

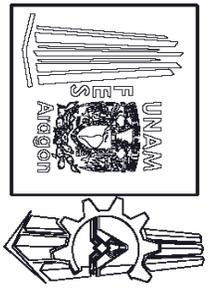
Material: Aluminio anodizado



SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 1 : 2



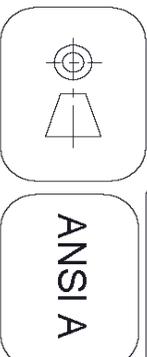
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

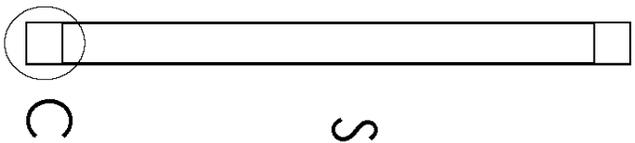
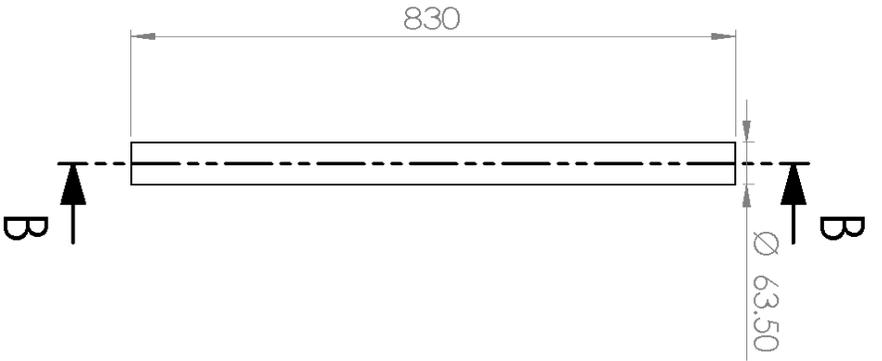
Pieza: Barra de soporte

Plano No. :
VCB-VIS-502-B

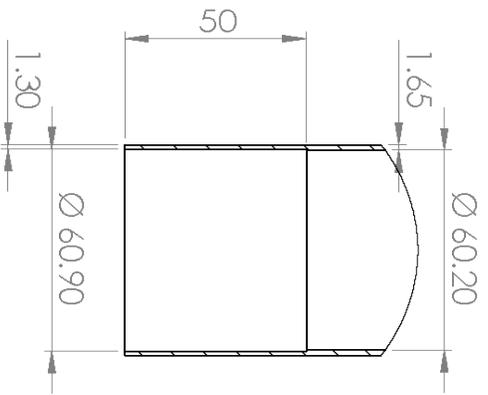
Dibujó: AHRJ	Cotas: mm
Revisó: HMA	Escala: 1:10
Aprobó: HMA	Fecha Rev:



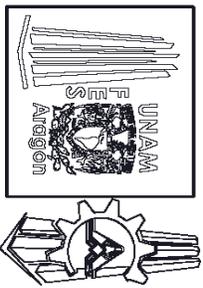
Materia: Aluminio anodizado



SECCIÓN B-B



DETALLE C ESCALA 1:2



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Lateral

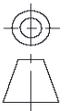
Plano No. :

VCB-VIS-503-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

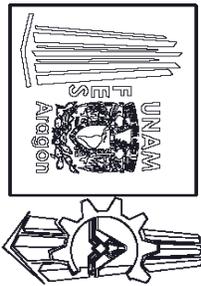
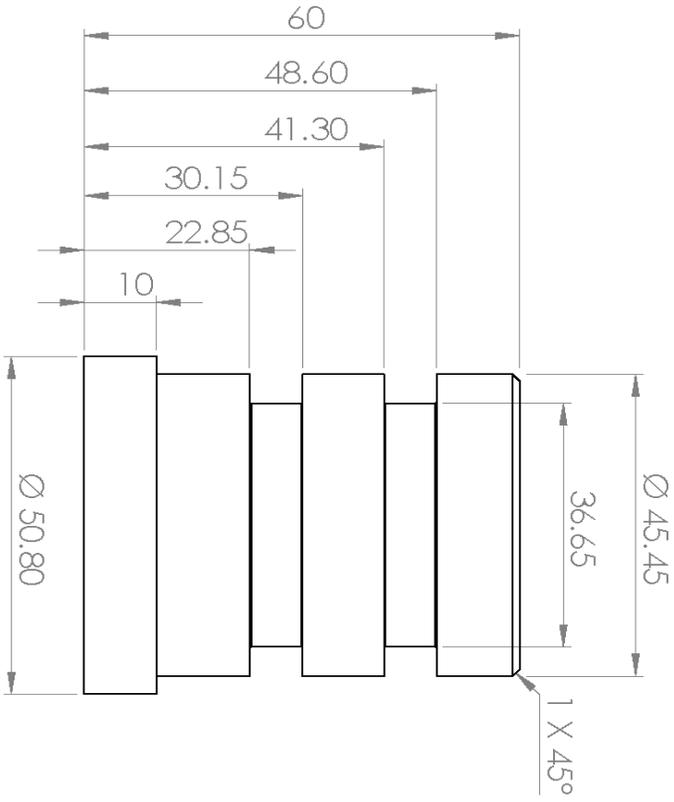
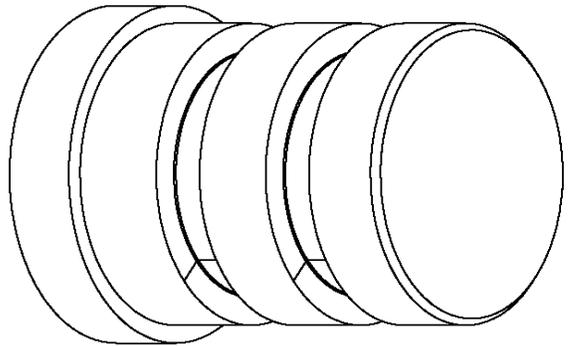
Revisó: HMA Escala: 1:10

Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A

Materia: Aluminio anodizado



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Tapón inferior

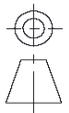
Plano No. :

VCB-VIS-504-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

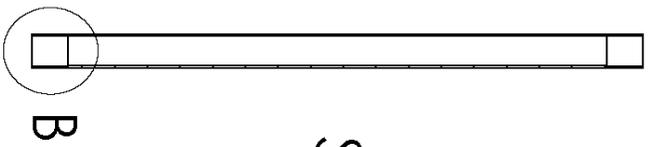
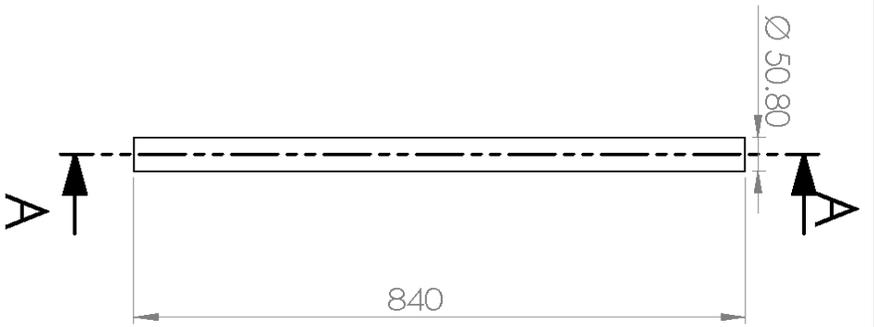
Revisó: HMA Escala: 1:1

Aprobó: HMA Fecha Rev:

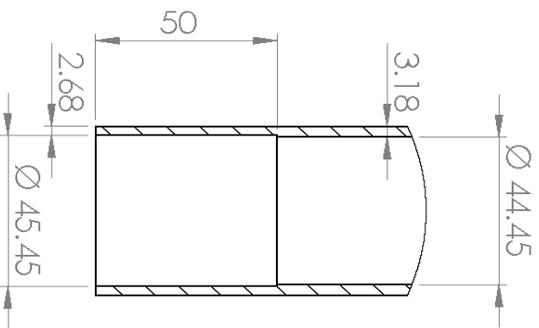


ANSI A

Materia: Nylon
Tipo: M

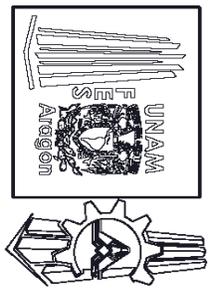


SECCIÓN A-A



DETALLE B

ESCALA 1 : 2



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Tubo de acrílico

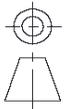
Plano No. :

VCB-VIS-505-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

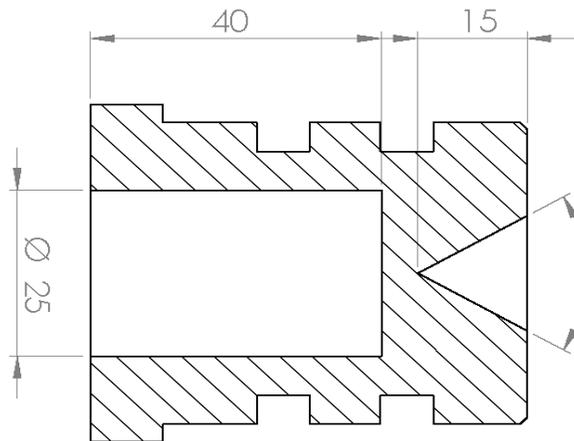
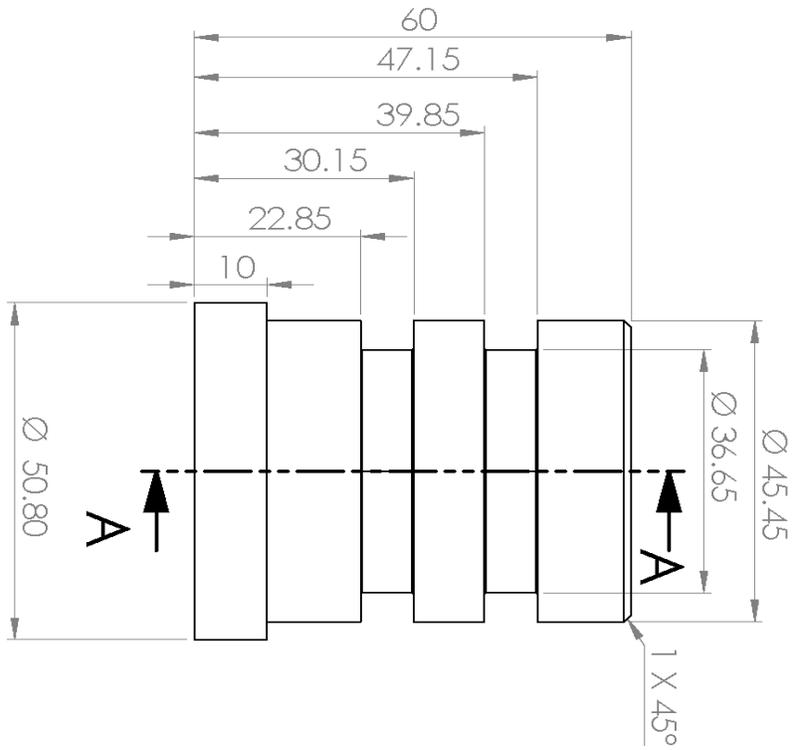
Revisó: HMA Escala: 1:10

Aprobó: HMA Fecha Rev:

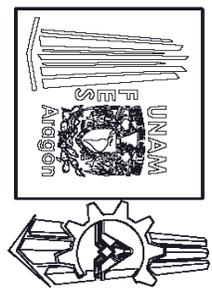


ANSI A

Materia: Acrílico transparente



SECCIÓN A-A



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

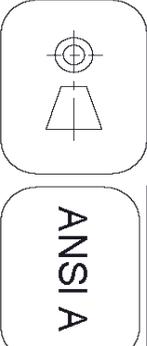
Pieza: Tapón superior

Plano No.: VCB-VIS-506-B

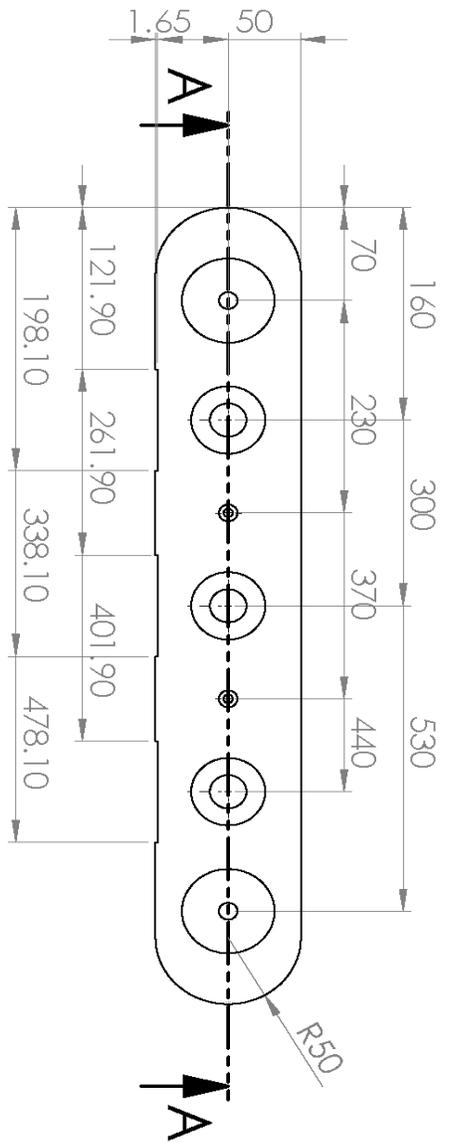
Dibujó: AHRJ Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:1

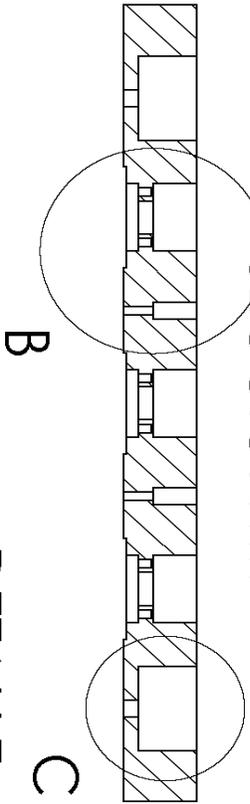
Aprobó: HMA Fecha Rev:



Material: Nylon
Tipo: M

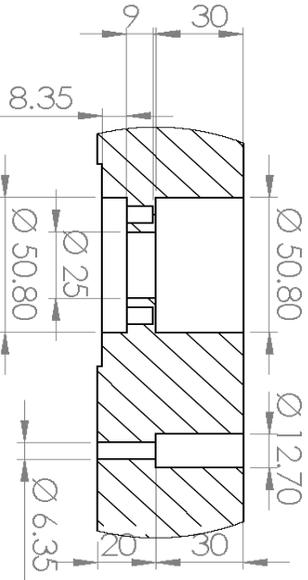


SECCIÓN A-A



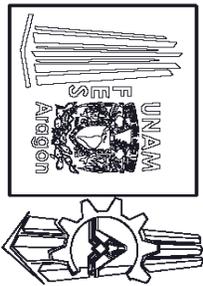
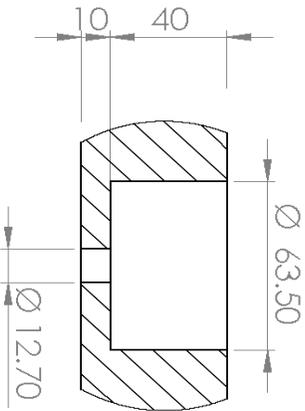
DETALLE B

ESCALA 2:5



DETALLE C

ESCALA 2:5



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Superior

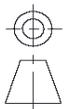
Plano No. :

VCB-VIS-507-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:5

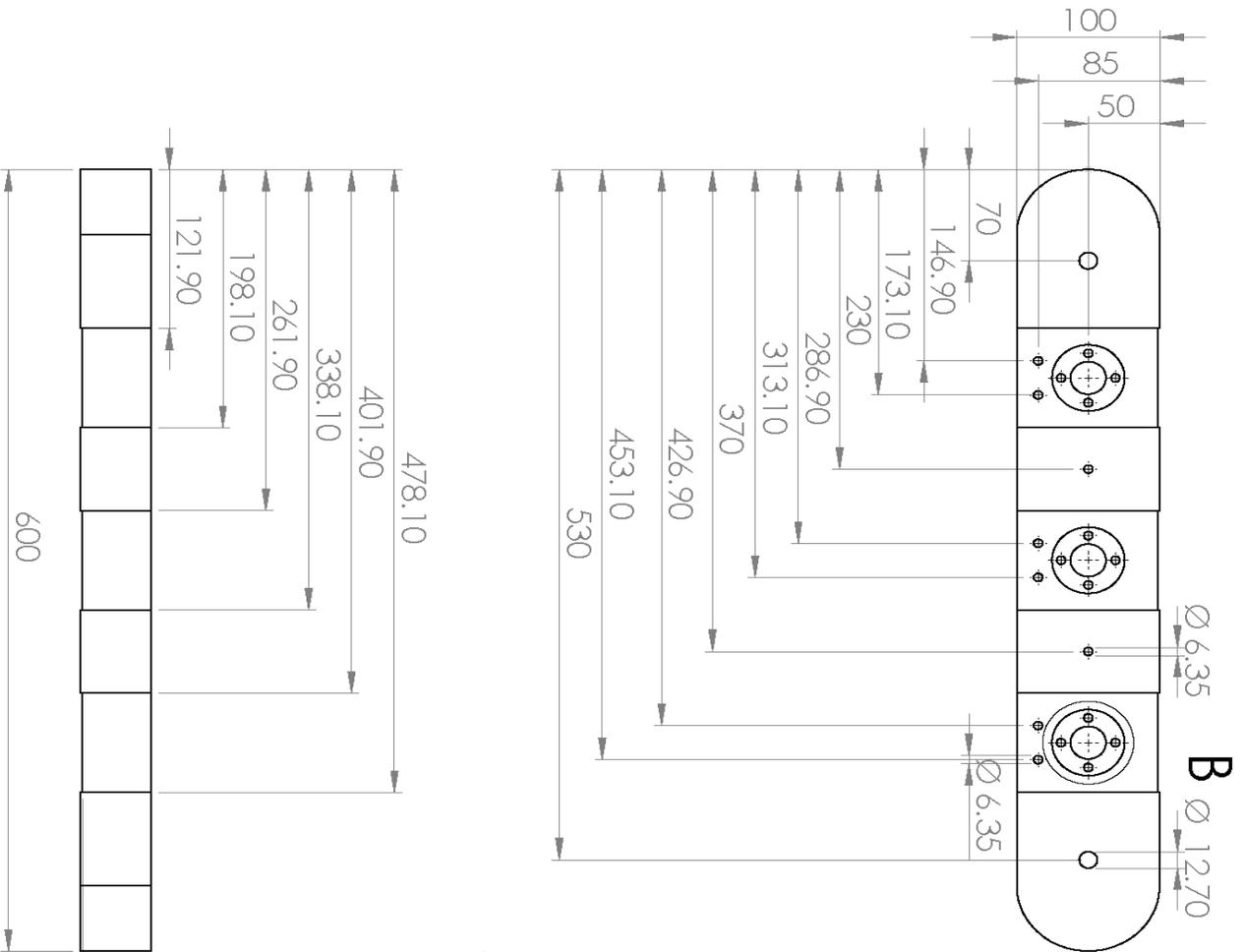
Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A

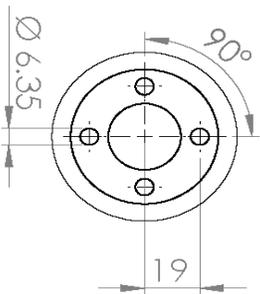
Materia: Aluminio anodizado

PLANO: 1/2

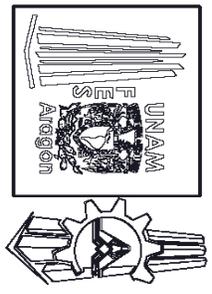


DETALLE B

ESCALA 2 : 5



BARRENO
6.35 @ Ø 38



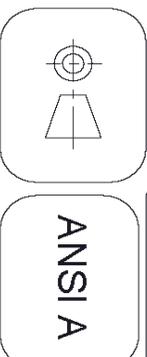
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Superior

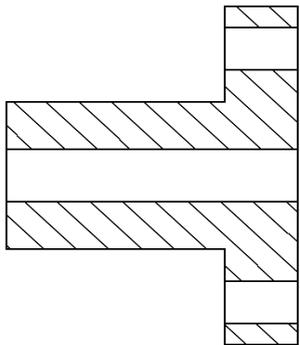
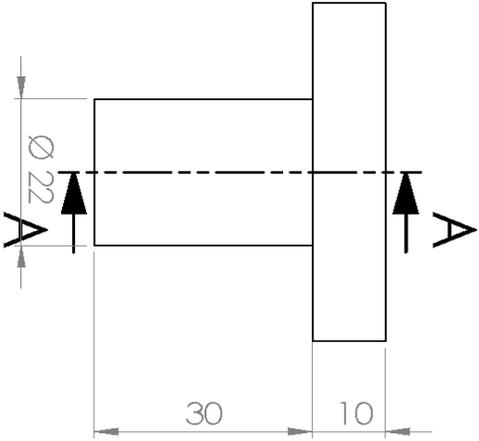
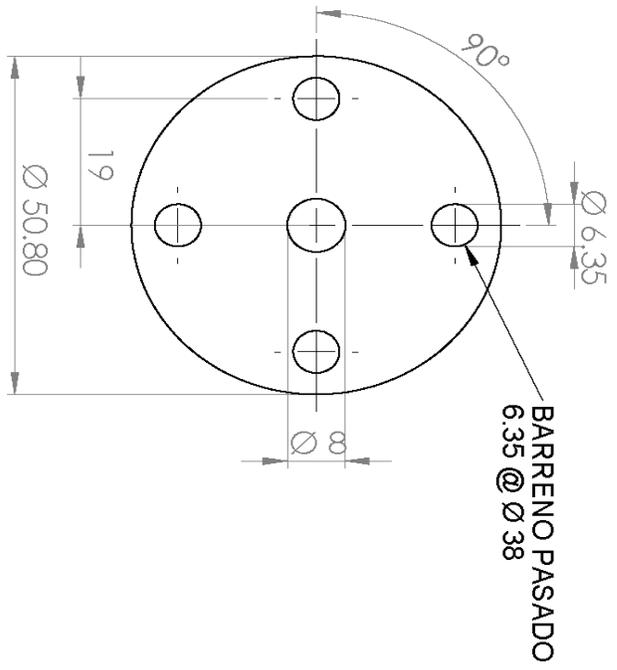
Plano No. :
VCB-VIS-507-B

Dibujó: AHRJ	Cotas: mm
Revisó: HMA	Escala: 1:5
Aprobó: HMA	Fecha Rev:

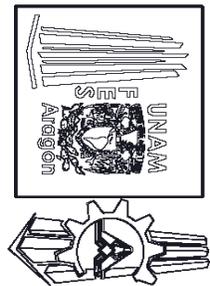


Material: Aluminio anodizado

PLANO: 2/2



SECCIÓN A-A



Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad de Estudios Superiores
 Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Rejilla electroimán

Plano No. :

VCB-VIS-508-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:1

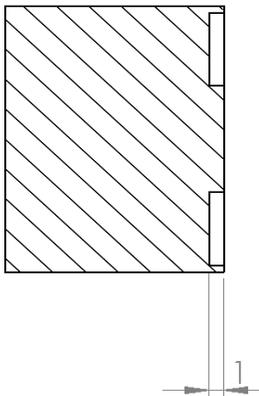
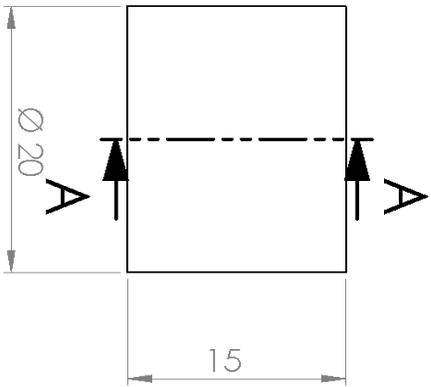
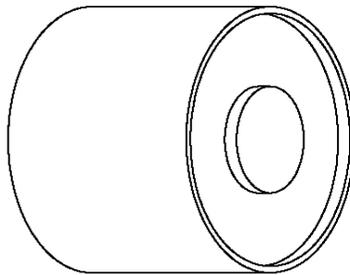
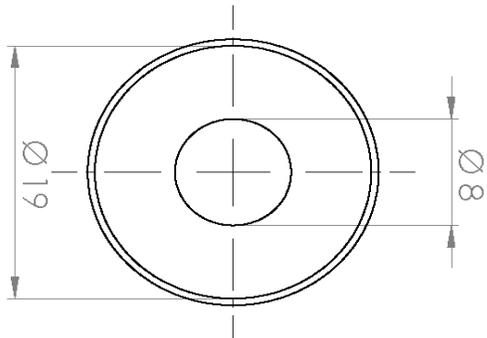
Aprobó: HMA Fecha Rev:



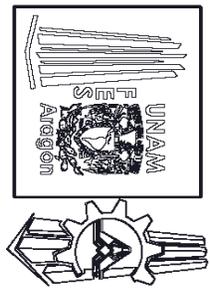
ANSI A

Materia: Nylon

Tipo: M



SECCIÓN
A-A



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

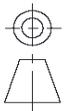
Pieza: Electroimán

Plano No. :
VCB-VIS-609-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

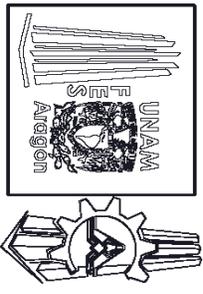
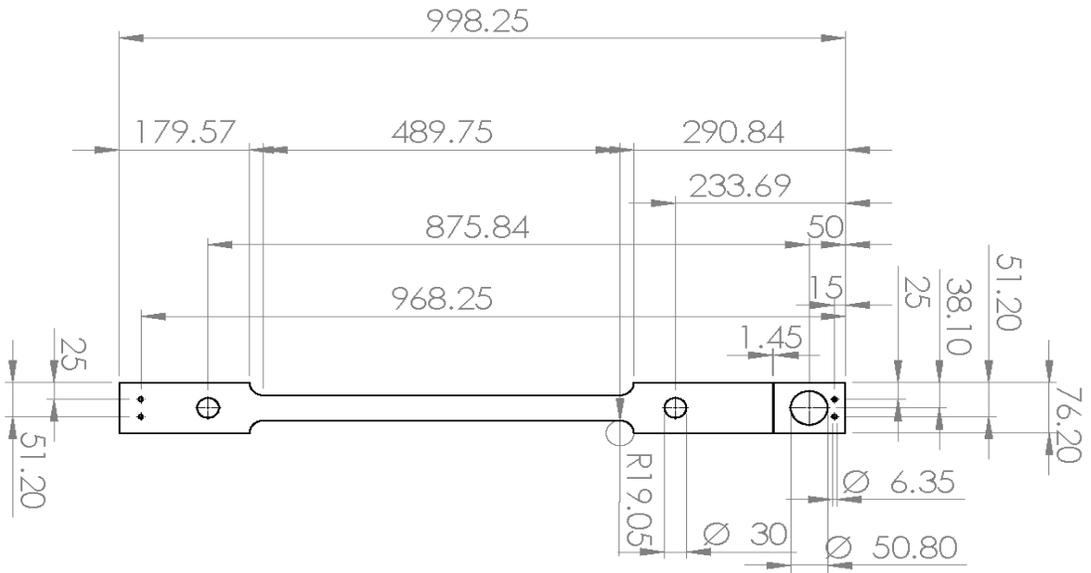
Revisó: HMA Escala: 2:1

Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A

Tipo: HCNEI-P20



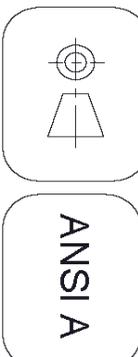
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Soporte sensor

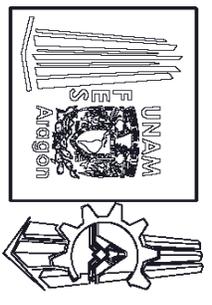
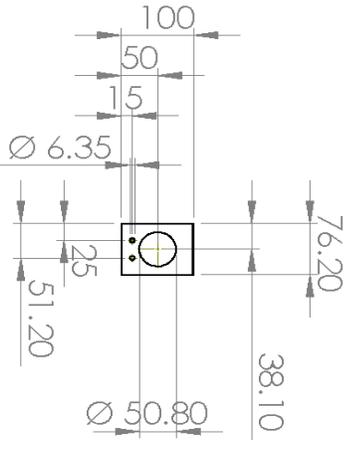
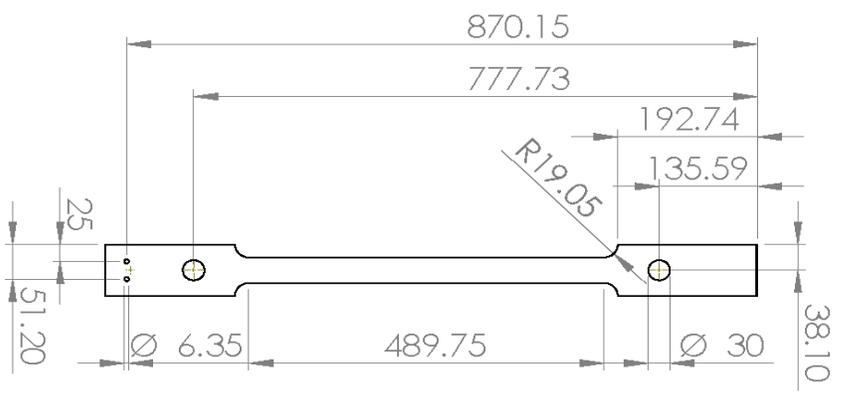
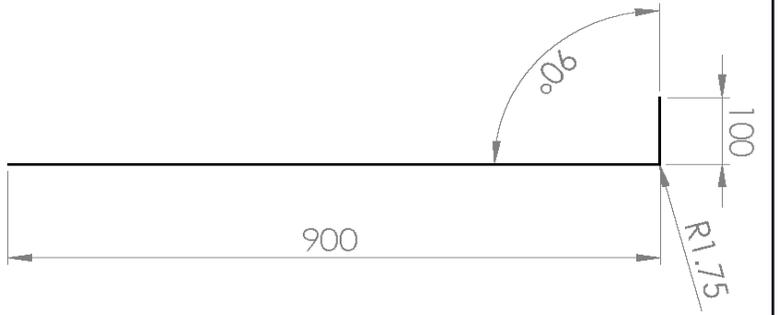
Plano No. :
VCB-VIS-510-B

Dibujó: AHRJ	Cotas: mm
Revisó: HMA	Escala: 1:10
Aprobó: HMA	Fecha Rev:



Materia: Laminia aluminio anodizado
Calibre: 16

Plano 1/2



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de calda de bola

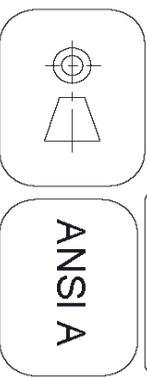
Pieza: Soporte sensor

Plano No. :
VCB-VIS-510-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

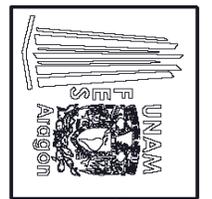
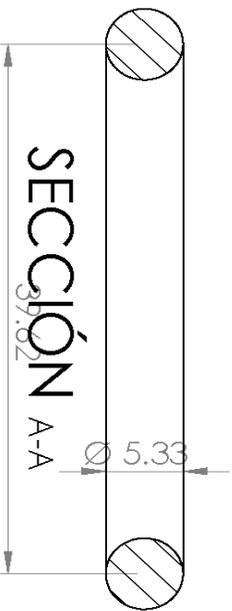
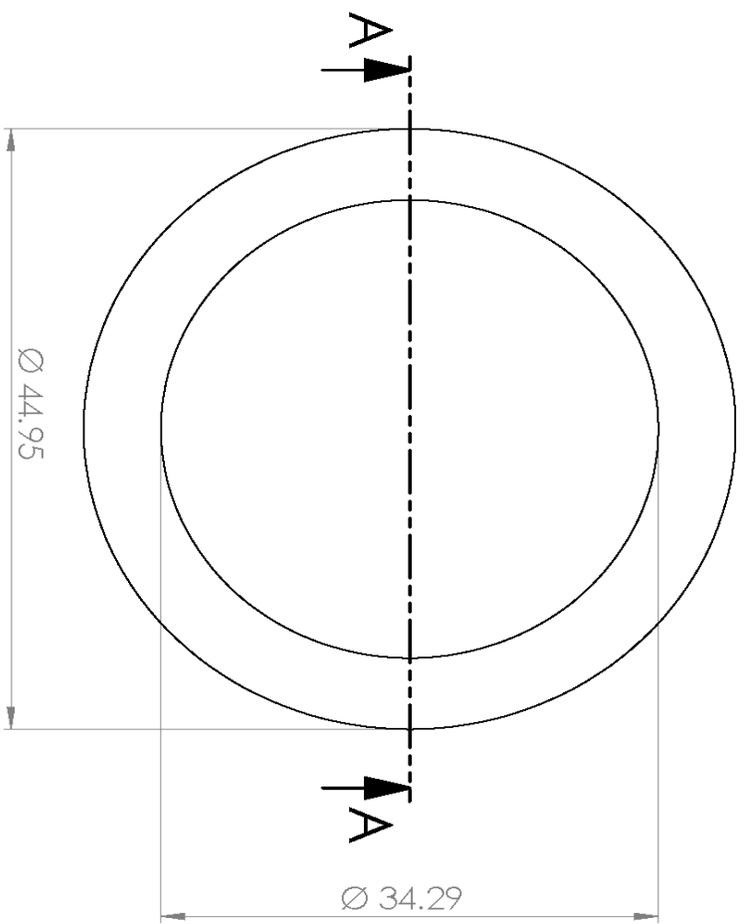
Revisó: HMA Escala: 1:10

Aprobó: HMA Fecha Rev:



Material: Lámina aluminio anodizado
Calibre: 16

PLANO 2/2



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

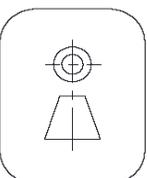
Pieza: O-Ring

Plano No. :
VCB-VIS-511-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

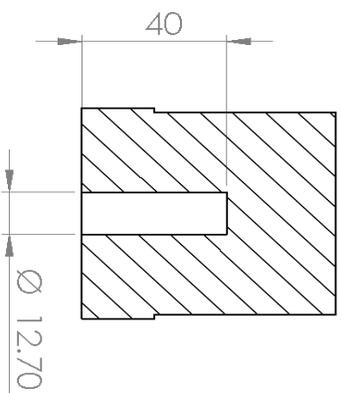
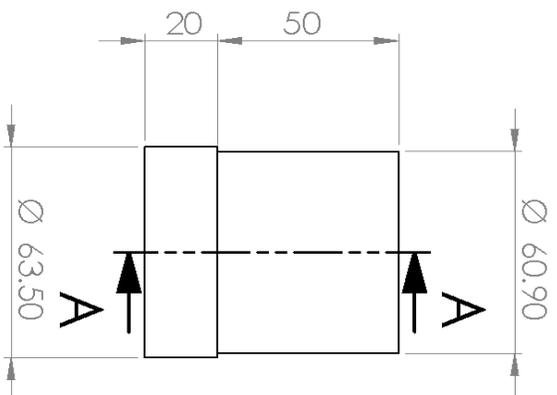
Revisó: HMA Escala: 2:1

Aprobó: HMA Fecha Rev:

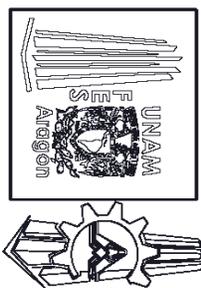


ANSI A

Marca: PARKER
Nº Parker: 2-324
Compuesto Parker: N0674
Polímero base: Nitrilo o Buna "N"



SECCIÓN A-A



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Cople de laterales

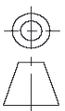
Plano No. :

VCB-VIS-516-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:2

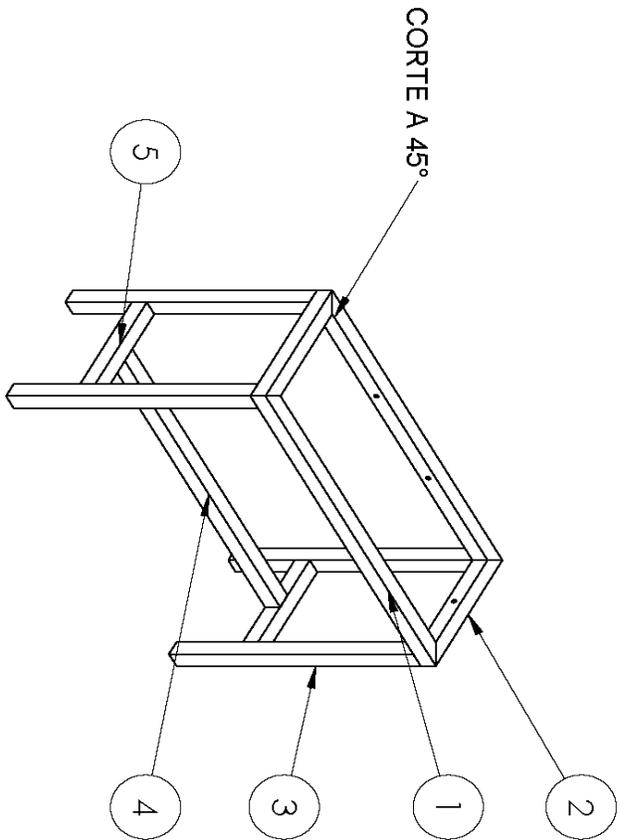
Aprobó: HMA Fecha Rev:



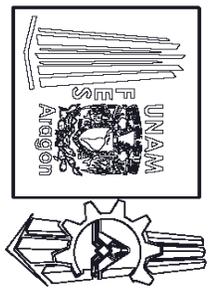
ANSI A

Materia: Nylon

Tipo: M



N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
			8250
5	2	PTR CUADRADO 50.8 X 50.8 X 2	349.2
4	1	PTR CUADRADO 50.8 X 50.8 X 2	1049.2
3	4	PTR CUADRADO 50.8 X 50.8 X 2	824.6
2	2	PTR CUADRADO 50.8 X 50.8 X 2	450.8
1	2	PTR CUADRADO 50.8 X 50.8 X 2	1150.8



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

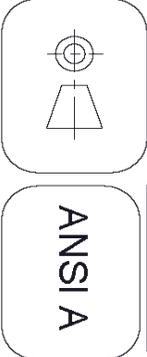
Pieza: Estructura mesa

Plano No. :
VCB-MES-512-B

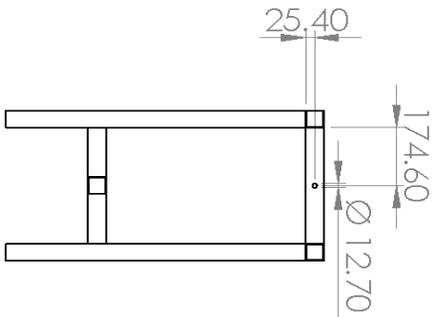
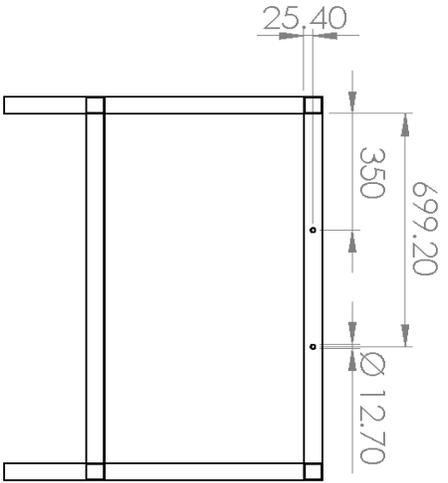
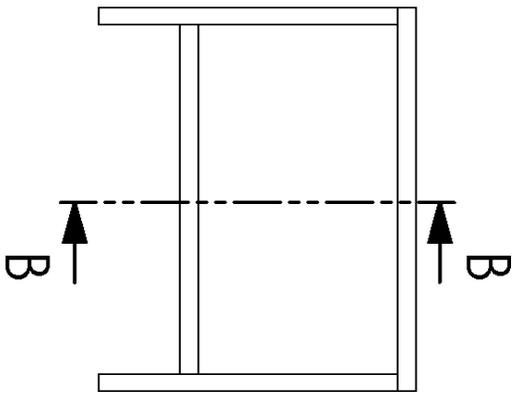
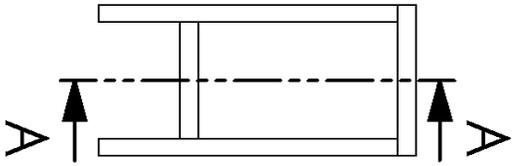
Dibujó: AHRJ Cotas: mm

Revisó: HMA Escala: 1:20

Aprobó: HMA Fecha Rev:

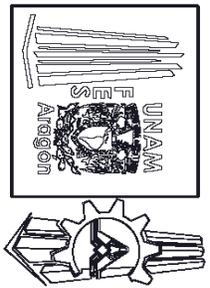


PLANO 1/2



SECCIÓN A-A

SECCIÓN B-B



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

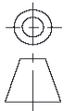
Pieza: Estructura mesa

Plano No.:
VCB-MES-512-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

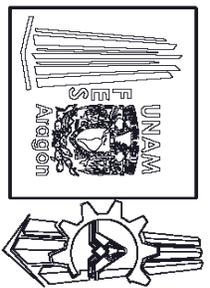
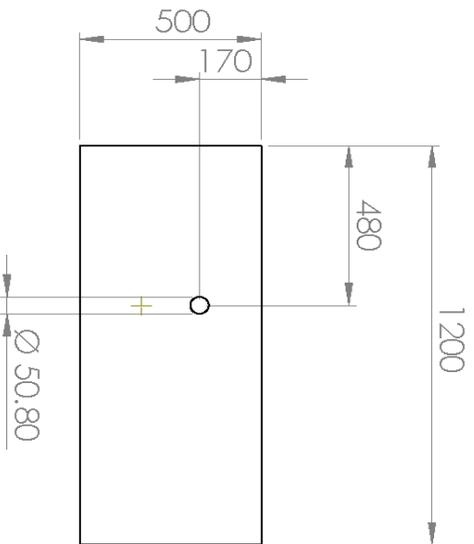
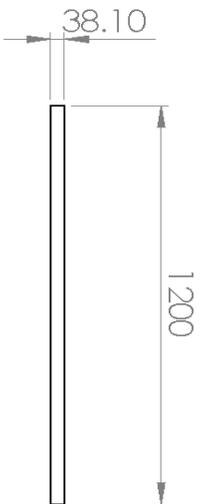
Revisó: HMA Escala: 1:20

Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A

PLANO 2/2



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

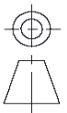
Pieza: Cubierta interior

Plano No. :
VCB-MES-513-B

Dibujó: AHRJ Cotas: mm

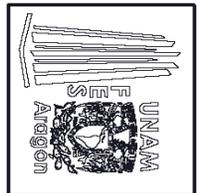
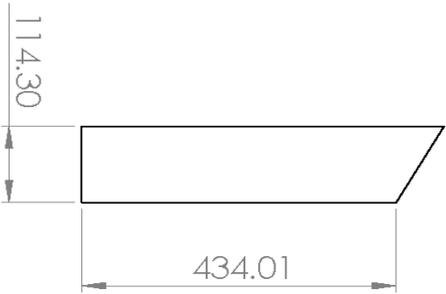
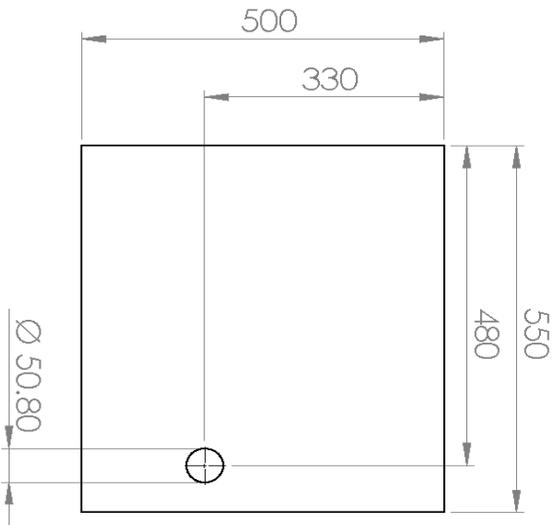
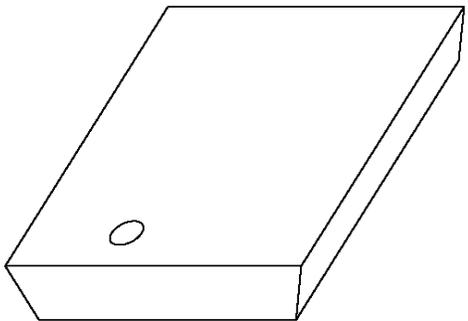
Revisó: HMA Escala: 1:20

Aprobó: HMA Fecha Rev:



ANSI A

Materia: Madera de Pino



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Cubierta superior

Plano No. :

VCB-MES-514-B

Dibujó: AHRJ

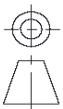
Cotas: mm

Revisó: HMA

Escala: 1:10

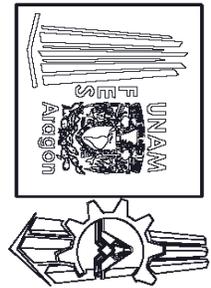
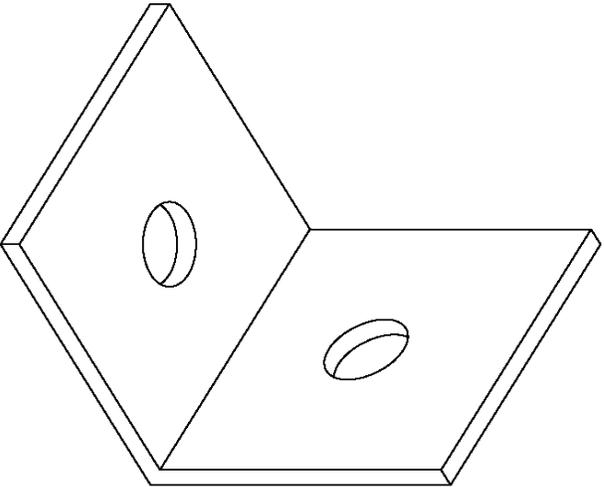
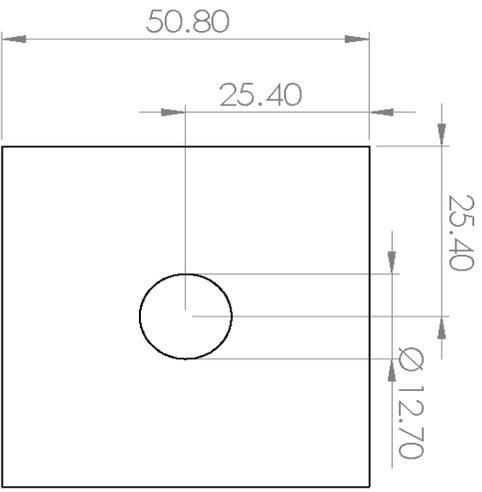
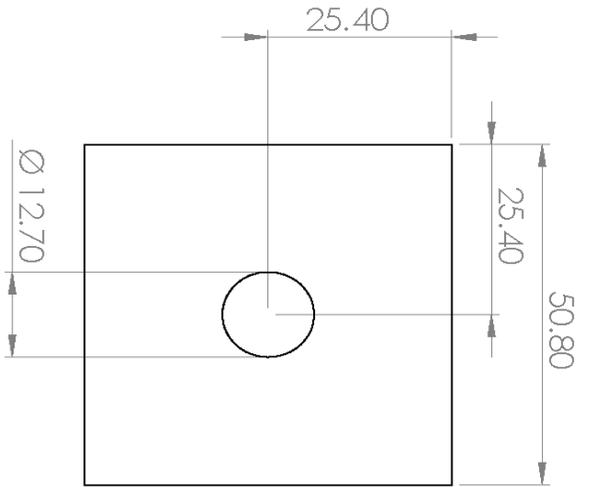
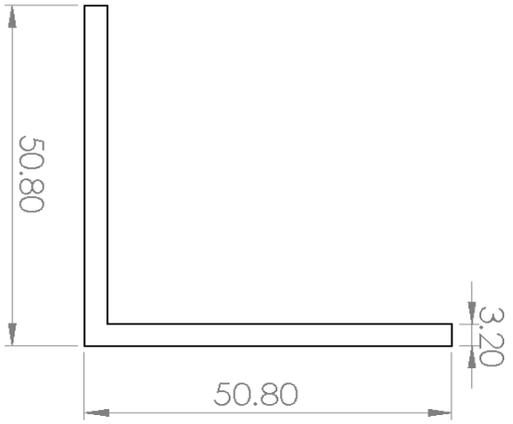
Aprobó: HMA

Fecha Rev:



ANSI A

Material: Madera de Pino



Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Herraje

Plano No. :

V/CB-MES-515-B

Dibujó: AHRJ

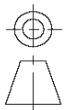
Cotas: mm

Revisó: HMA

Escala: 1:1

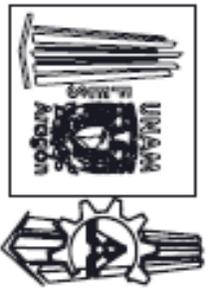
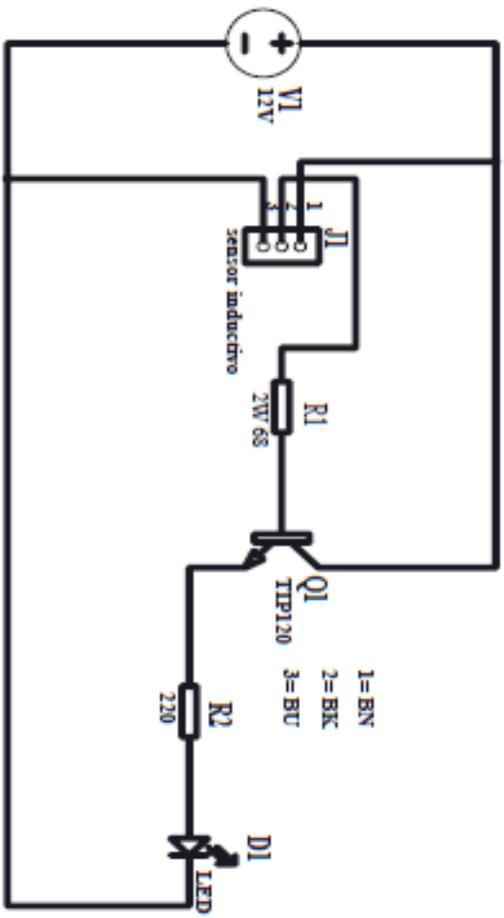
Aprobó: HMA

Fecha Rev:



ANSI A

Materia: Angulo de acero inoxidable



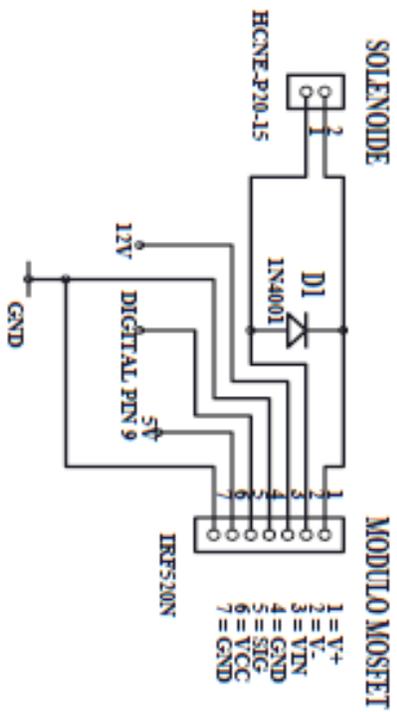
Universidad Nacional
 Autónoma de México
 Facultad de Estudios Superiores
 Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola
 Pieza: Circuito Sensor Inductivo

Plano No. :
 VCB-VIS-610-B

Dibujó: AHRJ	Cotas: mm
Revisó: HMA	Escala:
Aprobó: HMA	Fecha Rev:





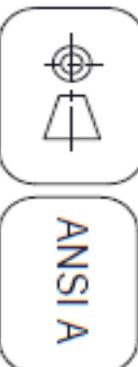
Universidad Nacional
Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores
Aragón

Proyecto: Viscosímetro de caída de bola

Pieza: Circuito sensor

Plano No. :
VCB-VIS-620-B

Dibujo: AHRJ	Cotas: mm
Revisó: HMA	Escala:
Aprobó: HMA	Fecha Rev:



APÉNDICE “C”

DATASHEET



[Plásticos de Ingeniería]

Nylamid

[Descripción]

Familia de las Poliamidas (PA) Nylon. Su combinación de propiedades mecánicas y eléctricas y su amplia gama de presentaciones y medidas, lo han hecho el material ideal para la fabricación de diversas piezas en el ramo industrial.

[Características]

- Gran resistencia térmica y al desgaste
- Maquinabilidad
- Buenas propiedades mecánicas y eléctricas
- Balance ideal de resistencia y tenacidad
- Amplio rango de presentaciones y medidas

[Aplicaciones generales]

- Engranajes
- Ruedas
- Cojinetes
- Poleas
- Slippers
- Guías de desgaste

[Tipos]

Nylamid 6/6 = Color natural

Fabricado por extrusión, es higiénico y está disponible en barras de hasta 96" de largo

Nylamid 6/6 SL = Gris marmoleado

Extruido y cargado con disulfuro de molibdeno, es rígido, disponible en barras de hasta 96" de largo

Nylamid M = Color natural

El más usado en la industria, puede trabajar en contacto directo con alimentos

Nylamid SL = Color negro

Cargado con disulfuro de molibdeno, brinda soluciones a problemas de lubricación

Nylamid XL = Color verde

Extralubricado con aceite, permite el suave deslizamiento con otros componentes

Nylamid 901 = Color azul

Su estabilidad térmica permite que su rigidez se conserve a mayor temperatura (127°C)

[Presentaciones]

Marca	Barra Cilíndrica Sólida		Barra Cilíndrica Hueca			Barra Cuadrada		Placa	
	Diámetro	Longitud	Diam. Ext.	Diam. Int.	Longitud	Lado	Longitud	Espesor	Ancho por Largo
Nyl M	1 3/4" a 8"	24" y 48"	2" a 17"	1" a 15"	24"	1" a 2"	24", 48" y 120"	1/4"	24"x24" a 48"x120"
	9" a 15"	12" y 24"				2 1/2" a 4"	24" y 48"		2 1/4" a 3"
Nyl SL	16"	6" y 12"	18" a 30"	Varios	Varios	Nylamid M		2 1/4" a 4"	24"x24" y 24"x48"
Nyl XL						5" a 8"	24"		5"
Nyl 901	2" a 6 1/2"	24" y 48"	ND	ND	ND	ND	ND	1/4" a 2 1/2"	24"x24" y 24"x48"
	7" a 12"	24"							
Nyl 6/6	1/16" a 2 3/4"	96"	ND	ND	ND	ND	ND	1/16" a 3/16"	24"x48"
	3/8" a 1 3/4"	24" y 96"							
Nyl 6/6 SL	3/16" a 2"	96"	1/2" a 2"	3/8" a 1 1/2"	96"	ND	ND	1/8" a 3/16"	24"x48"
	3/8" a 1 3/4"	24" y 96"							

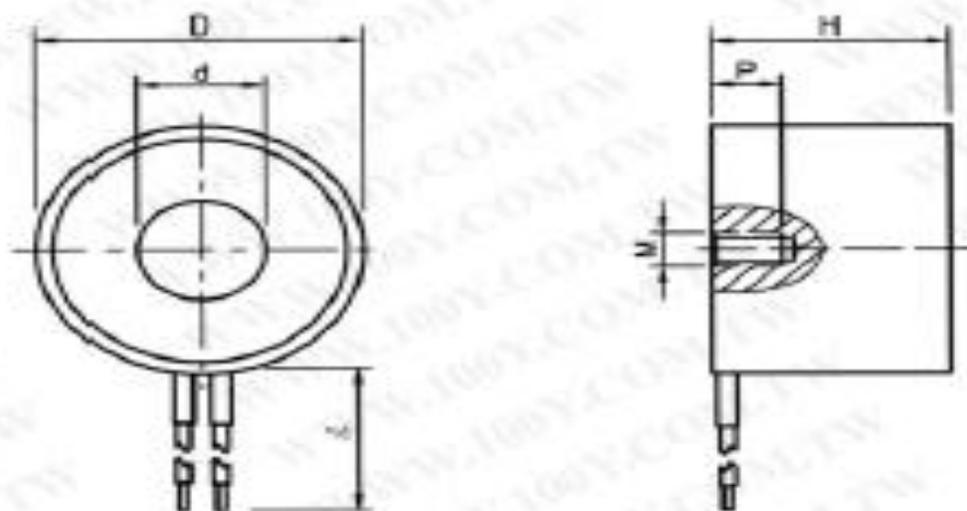
HCNE1-P 吸盤式電磁鐵

適用範圍

吸盤式電磁鐵在通電狀態下可產生強勁吸附力，把它安裝在自動化設備中可對被吸附物體起到停止或移動作用，廣泛應用於自動化配送生產線、分揀機器、機械手、實驗設備、醫療、研磨、切割、切削等自動化加工生產線上材料或產品的輸送、傳遞、控制簡單、省力省電、安全可靠，並可進行遠端操作。

使用注意事項

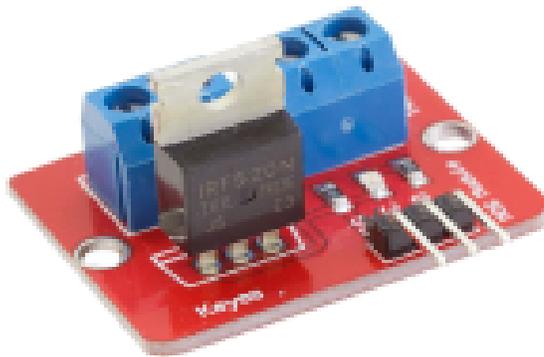
被吸附物體表面應盡可能平整，且吸附面積不宜小於電磁鐵吸合面。



Type	D	d	H	M	P	L	功率 W	吸引力 N	重量 g	說明
	mm	mm	mm	-	mm	mm				
HCNE1-P13	Φ13	Φ5	30	M3	6	200	2.5	12	20	1.DC24V100%TD 2.H 可根據使用者要求定制 3.HCNE1-P100 型安裝孔為 2-M8(中心距 25mm)
HCNE1-P20	Φ20	Φ8	15	M3	6	200	3	25	15	
HCNE1-P25	Φ25	Φ10	20	M4	6	200	4	50	50	
HCNE1-P30	Φ30	Φ12	22	M4	6	250	5	100	80	
HCNE1-P32	Φ32	Φ13	22	M4	6	250	5	140	90	
HCNE1-P34	Φ34	Φ15	18	M4	6	250	6	180	90	
HCNE1-P40	Φ40	Φ18	20	M5	8	250	8	250	130	
HCNE1-P49	Φ49	Φ22	21	M6	8	300	10	400	230	
HCNE1-P50	Φ50	Φ20	27	M6	8	300	10	500	300	
HCNE1-P59	Φ59	Φ27	34	M8	10	300	12	700	560	
HCNE1-P65	Φ65	Φ26	30	M8	12	300	13	800	600	
HCNE1-P80	Φ80	Φ34	38	M8	12	300	14	1000	1100	
HCNE1-P100	Φ100	Φ42	40	M8	15	300	15	1200	1900	

MODULO CONTROLADOR MOSFET

MODULO DE CONTROL QUE UTILIZA UN SEMICONDUCTOR MOSFET IRF520, PERMITE CONTROLAR DISPOSITIVOS DE MAYOR POTENCIA A TRAVÉS DE ARDUINO.



ATRIBUTOS

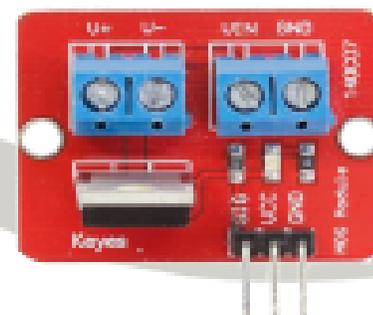
- El módulo AR-IRF520 es un módulo controlador mediante MOSFET que utiliza el circuito semiconductor IRF520, y que puede ser implementado en circuitos y proyectos con Arduino.
- Puede funcionar directamente conectándolo a la tarjeta principal de Arduino u otro microcontrolador ya que puede funcionar con voltajes de alimentación desde 3V hasta 5V. Y puede controlar dispositivos que requieran un voltaje de operación de hasta 24v y un máximo de 5A. Cuenta con terminales a presión de tornillo para una fácil interconexión.
- Este módulo es realmente muy fácil de usar. La forma más sencilla de explicar cómo funciona este módulo es: se conecta la alimentación del dispositivo que desea controlar a las terminales (VIN) y (GND). Después debemos conectar el dispositivo a controlar a las terminales (V+) y (V-). Cuando el valor del pin (SIG) es un estado "Alto" (HIGH), el LED indicador se ilumina, y el pin (GND) se conecta a la terminal (V-). Cuando el valor del pin (SIG) es "Bajo" (LOW), el LED se apaga y el pin (GND) se desconecta de la terminal (V-). Las terminales (V+) y (VIN) están conectadas de forma continua todo el tiempo.
- Es posible alimentar este módulo desde la tarjeta Arduino, el pin (VCC) se conecta directo a 5V y el pin (GND) se debe conectar al pin GND de Arduino.
- Cuenta con dos orificios con diámetro diseñado para tornillos M3, que facilita su montaje e instalación de manera práctica y sencilla.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DIMENSIONES:	33 mm x 24 mm x 15 mm
MATERIAL:	FR-4
PESO:	6 gramos
ALIMENTACIÓN:	3.3 – 5 Vcc
CAPACIDAD MÁXIMA:	24Vcc 5A
INTERFACE:	Digital PWM
PINOUT:	1. SIG 2. VCC 3. GND
COMPATIBILIDAD:	Arduino
COLOR:	Negro

ACCESORIOS

- 1 x AR-IRF520



PARA MAYOR INFORMACIÓN VISITA:



Illustration may differ



Ordering Information

Type	Part no.
IM30-40NPS-ZC1	6027622

Other models and accessories: [+ www.sick.com/IM_Triplex](http://www.sick.com/IM_Triplex)

Detailed technical data

Features

Housing	Cylindrical thread design/standard
Thread size	M30 x 1.5
Diameter	Ø 30 mm
Sensing range S_s	40 mm
Safe sensing range S_{sa}	32.4 mm
Installation type	Non-flush
Switching frequency	100 Hz
Connection type	M12, 4-pin male connector
Output type	PNP
Output function	NO
Electrical wiring	DC 3-wire
Enclosure rating	IP 67 ²⁾
Special features	Triple sensing range

²⁾ According to EN 60529.

Mechanics/electronics

Supply voltage	10 V DC ... 30 V DC
Ripple	≤ 20 % ²⁾
Voltage drop	≤ 2 V ²⁾
Current consumption	≤ 10 mA ²⁾
Time delay before availability	≤ 200 ms
Hysteresis	1 % ... 15 %

²⁾ at I_{sc} .

³⁾ At I_{sc} max.

⁴⁾ Without load.

⁵⁾ at S_s .

⁶⁾ at 20 V DC ... 30 V DC, T_{amb} 23 °C ± 5 °C.

FUENTES DE CONSULTA

“Todos los libros pueden dividirse en dos clases: libros del momento y libros de todo momento. John Ruskin

BIBLIOGRAFIA

- MIGUEL ÁNGEL PEÑA MARTÍNEZ. (2012). VISCOSÍMETRO CON BASE EN UN PIC18F4550. MÉXICO, D.F.: FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM .
- BLANCA ESTELA SANCHEZ HERNANDEZ. (2008). VISCOSÍMETRO DE BOLA. MEXICO, D.F.: ESIME IPN.
- REED B. C. ARCHIMEDES' LAW SETS A GOOD ENERGY-MINIMIZATION EXAMPLE. PHYSICS EDUCATION, 39 (4) JULY 2004, PP. 322-323.
- KEEPORTS D. HOW DOES THE POTENCIAL ENERGY OF A RISING HELIUM-FILLED BALLOON CHANGE? THE PHYSICS TEACHER, VOL 40, MARCH 2002, PP. 164-165.
- SILVA A., ARCHIMEDES' LAW AND THE POTENTIAL ENERGY: MODELLING AND SIMULATION WITH A SPREADSHEET. PHYS. EDUC. 33 (2) MARCH 1998. PP. 87-92.
- BIEMAN J, KINCANON E. RECONSIDERING ARCHIMEDES' PRINCIPLE. THE PHYSICS TEACHER, VOL 41, SETEMBER 2003, PP. 340-344.

CIBERGRAFIA

- NATIONAL INSTRUMENTS. (---). ¿Qué es Adquisición de Datos?. SEPTIEMBRE 2016, de NATIONAL INSTRUMENTS Sitio web: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- BROOKFIELD AMETEK. (---). BrookField's Falling Ball Viscometer. SEPTIEMBRE 2016, de direct industry Sitio web: <http://www.directindustry.es/prod/ametech-brookfield/product-20805-495260.html>
- PCE Ibérica. (---). Estación para viscosímetro de copa Cuptimer 243T -1/2. SEPTIEMBRE 2016, de PCE Ibérica Sitio web: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-medida-laboratorio/estacion-viscosimetro-copa-cuptimer.htm>
- WIKIPEDIA. (2016). SENSOR INDUCTIVO. SEPTIEMBRE 2016, de WIKIPEDIA Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_inductivo
- CIENCIANET. (---). VELOCIDAD LÍMITE. SEPTIEMBRE 2016, de CIENCIANET Sitio web: <http://www.ciencianet.com/paraca.html>
- SAPIENSMAN. (---). TIPOS DE FLUJO. SEPTIEMBRE 2016, de SAPIENSMAN Sitio web: <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/doc15.php>
- ---. (---). PRINCIPIO DE ARQUIMIDES. SEPTIEMBRE 2016, de sc.ehu Sitio web: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>
- 3B SCIENTIFIC. (---). Viscosímetro de caída de bola. SEPTIEMBRE 2016, de 3B SCIENTIFIC Sitio web: https://www.a3bs.com/viscosimetro-de-caida-de-bola-u14260,p_859_18614.html
- LUBLEARN. (---). TIPOS DE VISCOSIMETRO. SEPTIEMBRE 2016, de LUBLEARN Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/anatomia-de-un-viscosimetro/>
- HYDRAMOTION. (---). VISCOSÍMETRO DE PROCESO XL/7. SEPTIEMBRE 2016, de INTEREMPRESAS.NET Sitio web: <https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Viscosimetro-de-proceso-Hydrmotion-XL-7-34624.html>
- GRUPO SELECTA. (---). VISCOSÍMETRO ROTACIONAL ST-2020 JP SELECTA. SEPTIEMBRE 2016, de ICT SL Sitio web: <http://www.ictsl.net/productos/aparatos/viscosimetrorotacionalst2020jpselecta.html>
- VISCOTECH. (---). VISCOSÍMETRO VP 1000 M. SEPTIEMBRE 2016, de VISCOTECH Sitio web: http://viscotech.es/viscometer_vp1000m.php

- FLUIDOS .EIA. (---). VISCOSIMETRO DE ROTACION. SEPTIEMBRE 2016, de FLUIDOS.EIA Sitio web:
<http://fluidos.eia.edu.co/fluidos/propiedades/viscosidad/rotacionvis.html>
- PCE Instruments. (---). Viscosímetro de rotación PCE-RVI 3 VP 20. SEPTIEMBRE 2016, de PCE Instruments Sitio web:
<https://www.pceinstruments.com/espanol/laboratorio/instrumento-de-laboratorio/viscosimetro-pce-instruments-viscosmetro-de-rotacion-pce-rvi-3-vp-20-det-400794.htm>