



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Diseño y Construcción de un Equipo de Laboratorio de Desgaste Abrasivo  
Según Normas ASTM G65, ASTM G105 y ASTM B611**

**Alex David Acurio Peralta**

**Lorena Bejarano Ph.D., (c), Directora de Tesis**

Tesis de Grado presentada como requisito  
para la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

Quito, mayo de 2015

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Diseño y Construcción de un Equipo de Laboratorio de Desgaste Abrasivo Según Normas ASTM G65, ASTM G105 y ASTM B611**

Alex David Acurio Peralta

Lorena Bejarano PhD. (c)  
Directora de Tesis

---

Alfredo Valarezo Ph.D.,  
Miembro del Comité de Tesis

---

Paúl Remache MSc.,  
Miembro del Comité de Tesis

---

Ximena Córdova Ph.D.,  
Decana de la Escuela de Ingeniería  
Colegio de Ciencias e Ingeniería

---

Quito, mayo de 2015

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: Alex David Acurio Peralta

C. I.: 1803703733

Fecha: Quito, mayo de 2015

**DEDICATORIA**

A Dios

A mis padres

## RESUMEN

Uno de los principales problemas que existen en los materiales y que han existido desde el inicio del desarrollo de la humanidad es el desgaste. Las pruebas en laboratorio han permitido estudiar y analizar el desgaste para clasificar los materiales resistentes a la abrasión y prolongar la vida útil de las máquinas y herramientas, entre otros. En el presente trabajo se realizan el diseño, construcción y puesta en marcha de un equipo para ensayos de desgaste abrasivo. El diseño del equipo de desgaste abrasivo se realiza basado en métodos de ensayo estandarizados, esto es en las normas ASTM G65 Método estándar de pruebas para medir la abrasión utilizando arena seca/disco con caucho, ASTM G105 Método estándar para realizar pruebas con arena húmeda/disco de caucho y ASTM B611 Método estándar de pruebas para determinar la resistencia a la abrasión de alto esfuerzo de materiales duros. Primero se realiza el diseño de los componentes principales de la máquina que son disco, difusor de arena y sistema de brazo de palanca. Una vez que esto está diseñado, se realiza el análisis y cálculo de: mecanismos, potencia requerida y diseño de las demás piezas. Luego de esto, se determina el tamaño del motor, el sistema de contador de vueltas y la regulación de la velocidad. Se realiza la construcción de componentes mecánicos y ensamblaje de sistemas eléctricos, para finalmente dar lugar al arranque de la máquina que incluye la prueba de los distintos mecanismos por separado: mecanismo del sistema de brazo, motor y puntos tangentes al disco. La máquina diseñada permite realizar pruebas de abrasión según las tres normas ASTM.

## ABSTRACT

One of the main problems that affect materials and that has been present since the development of humanity is wear. Tests in laboratories have been carried out to study and analyze wear in order to determine resistance of materials to scratching abrasion and to prolong the life span of equipment and tools. The design, construction and set up of an abrasive wear test apparatus is developed in this work. The design of the abrasive wear apparatus is based on the standard test methods ASTM G65 Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, ASTM G105 Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests and ASTM B611 Standard Test Method for Determining the High Stress Abrasion Resistance of Hard Materials. First, the design of the principal components such as rubber wheel, sand diffusor hole and system of levers is carried out. Once this is designed, the analysis of mechanisms, determination of power required, and design of other components are carried out. After this, the engine size, the lap timer system, and the speed regulation are determined. Finally, the setup of the apparatus is made; this includes the testing of each mechanism separately: mechanism of levers, engine and points tangent to the wheel. The apparatus that has been designed allows abrasion testing according to three ASTM standards.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Información preliminar del proyecto.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Justificación e importancia.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Objetivos del proyecto.....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos .....	16
<b>1.4 Fundamentos teóricos .....</b>	<b>16</b>
1.4.1 Introducción al desgaste.....	16
1.4.2 Categorías de Desgaste .....	17
1.4.3 Mecanismos de Desgaste .....	21
<b>2. Diseño y Construcción: Equipo de Desgaste Abrasivo .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Diseño conceptual.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Componentes y Materiales.....</b>	<b>28</b>
2.2.1 Cauchos en discos.....	28
2.2.2 Difusor de arena.....	28
2.2.3 Brazo.....	29
2.2.4 Acondicionamiento de motor .....	29
2.2.5 Agente abrasivo .....	30
2.2.6 Estructura.....	31
<b>2.3 Análisis y cálculos de puntos críticos.....</b>	<b>32</b>
2.3.1 Análisis de Mecanismos .....	33
2.3.2 Potencia Requerida .....	36
<b>2.4 Diseño Eléctrico .....</b>	<b>41</b>
2.4.1 Motor .....	41



2.4.2 Contador de vueltas. ....	41
2.4.3 Variador de velocidades .....	42
<b>2.5 Materiales y costos.....</b>	<b>42</b>
2.5.2 Materiales seleccionados .....	43
2.5.3 Presupuesto .....	45
<b>2.6 Construcción .....</b>	<b>47</b>
2.6.1 Construcción mecánica .....	48
2.6.2 Construcción eléctrica .....	52
<b>3. Pruebas y resultados .....</b>	<b>54</b>
3.1 Arranque de la máquina .....	54
3.2 Preparación de la probeta.....	54
3.3 Parámetros de pruebas .....	55
3.4 Procedimiento .....	56
3.5 Resultados.....	62
<b>4. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>65</b>
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>67</b>
<b>4. ANEXOS.....</b>	<b>69</b>
ANEXO 1 .....	69
ANEXO 2 .....	98
ANEXO 3 .....	99

## FIGURAS

Figura 1: Categoría Básica de Desgaste y Mecanismos de Desgaste (Budinski, 1988). 18	18
Figura 2: Erosión por lodos. (a) Erosión a altas velocidades, (b) Conducción de rocas en tubería, (c) Impacto de líquidos (Rabinowicz, 2013) .....	19
Figura 3 Desgaste Adhesivo. Generación del mecanismo de adhesión al ser deformadas plásticamente las asperezas. (a) Presión de contacto muy alta debido a la pequeña área de contacto, (b) La partícula es deformada plásticamente aumentando su área de contacto. (Pérez, 1993) .....	20
Figura 4 Desgaste por Fatiga. Esquema de la formación de grietas superficiales y sub-superficiales (Treviño, 2004).....	21
Figura 5 (a) Esquema de desgaste de bajo esfuerzo, (b) Desgaste abrasivo entre una punta de filo duro y un bocín plástico (Budinski, 1988). .....	22
Figura 6 (a) Esquema de Abrasión de Alto Esfuerzo. (Budinski, 1988).....	23
Figura 7 Esquema del desgaste de rozamiento. (Budinski, 1988).....	24
Figura 8 Esquema de un pulido de un metal con una rueda de pulido. (Budinski, 1988) .....	25
Figura 9 Esquema de la Máquina Abrasiva. ASTM G65 (ASTM, 2010).....	27
Figura 10 Difusor de arena. ASTM G65. (ASTM, 2007) .....	29
Figura 11 Esquema Vessel y Agitadores. ASTM.....	31
Figura 12 Cuerpo de la máquina y estructura. Solidworks.....	32
Figura 13 Mecanismo Brazo- Disco de Desgaste. SolidWorks.....	33
Figura 14 Esquema Disco- Porta Probeta.....	34
Figura 15 Mecanismo de cambio de posición de brazo.....	35
Figura 16 Porta Probetas .....	35
Figura 17 Diagrama de cuerpo libre Brazo- Máquina de Desgaste.....	36

Figura 18 Diagrama de Cuerpo Libre Disco- Maquina Abrasiva .....	38
Figura 19 Esquema Sensor- EJE. Geogebra.....	42
Figura 20 Sierra mecánica .....	49
Figura 21 Maquinado en torno discos .....	49
Figura 22 Maquinado en fresa tapas de disco.....	50
Figura 23 Rectificado tapas de disco .....	51
Figura 24 Piezas de maquina abrasiva.....	51
Figura 25 Ensamble de la estructura .....	52
Figura 26 Ubicación de componentes. ....	53
Figura 27 Máquina abrasiva, pruebas con norma ASTM G65.....	53
Figura 28 Contador de vueltas.....	57
Figura 29 Variador y potenciómetro .....	58
Figura 30 Desgaste de probeta uniforme e irregular. (ASTM, 2010).....	59
Figura 31 Desgaste acero ASME A36.....	63

**TABLAS**

Tabla 1: Especificaciones básicas cauchos. (ASTM 65 Y ASTM G105, 2007). .....	28
Tabla 2 Velocidades según cada norma. ASTM .....	29
Tabla 3 Agentes abrasivos por norma. ASTM .....	30
Tabla 4 Normas ASTM y Dimensiones. Datos obtenidos de normas ASTM.....	34
Tabla 5 Nombre de piezas y materiales.....	45
Tabla 6 Presupuesto materiales .....	47
Tabla 7: Costo de mano de obra .....	47
Tabla 8 Dimensiones de la probeta.....	54
Tabla 9 Parámetros por cada norma .....	56
Tabla 10 Velocidad y frecuencia .....	57
Tabla 11 Formato de resultados obtenidos .....	64

## 1. INFORMACIÓN PRELIMINAR DEL PROYECTO

### 1.1. Antecedentes

La Ciencia de los materiales se refiere a la investigación de la relación existente entre la estructura y las propiedades de los materiales (Callister, 2007). Uno de los principales problemas que existe en los materiales y que ha existido desde el inicio del desarrollo de la humanidad es el desgaste. Con el fin de optimizar los recursos en las industrias provocados por el desgaste se comenzó el estudio de la caracterización de los materiales.

En la actualidad dichos estudios se los hace en institutos y/o universidades como es el caso de la Universidad San Francisco de Quito. Específicamente en el Colegio de Ciencias e Ingeniería donde hace poco se implementó el laboratorio de Ingeniería de Materiales. Este laboratorio fue construido con el propósito de realizar ensayos que refuercen los conocimientos adquiridos en materias relacionadas al tratamiento de materiales y apoyar investigaciones de los profesores del área. Además para tener contacto directo con los equipos de ensayo necesarios y entender los conceptos técnicos que sólo se pueden apreciar en la práctica. Por lo tanto, para aportar al propósito del laboratorio es oportuno diseñar y construir una máquina de desgaste abrasivo.

El equipamiento de esta máquina permite la ejecución de ensayos de abrasión y desgaste según las normas ASTM G65 Método estándar de pruebas para medir la abrasión utilizando arena seca/disco con caucho, ASTM G105 Método estándar para realizar pruebas con arena húmeda/disco de caucho y ASTM B611 Método estándar de pruebas para determinar la resistencia a la abrasión de alto esfuerzo de materiales duros, para la caracterización tribológica de materiales. Actualmente, un equipo de desgaste abrasivo de este tipo bordea los \$9,000 dólares americanos (MICROTEST, 2014), por lo que el trabajo de investigación, diseño y construcción serán de gran aporte para la

universidad. Cabe decir que este tipo de ensayos no solo son usados para temas didácticos sino también en industrias que buscan la optimización de sus recursos con el fin de satisfacer sus necesidades y garantizar la fiabilidad de los materiales que usan en sus aplicaciones.

El objetivo de este proyecto es buscar un diseño que cumpla con las normas anteriormente mencionadas y a su vez optimizar el espacio disponible en el laboratorio. Una vez establecido el diseño se procede a la construcción del equipo. Finalmente se deben ejecutar pruebas con cada una de las normas mencionadas.

## **1.2. Justificación e importancia**

El desgaste de materiales en cualquiera de sus formas se refiere a anomalías o desperfectos que aparecen con frecuencia en los componentes de máquinas, disminuyendo así la vida útil de estos (Peterson & Winer, 1980). Dichas anomalías afectan la economía de las industrias, debido a los problemas que estos pueden ocasionar en equipos. Los daños ocasionados llevan al cambio prematuro y frecuente de componentes en la maquinaria, lo que provoca tiempos de parada de la producción generalmente largos. Por tal razón la caracterización de los materiales es generalmente vista como una herramienta fundamental para la selección adecuada de los mismos.

La caracterización de los materiales se refiere a establecer sus características físicas, químicas, estructurales, entre otros. Para ello, existen varias técnicas de acuerdo al interés de estudio del material (Callister, 2007). Esta tesis se enfoca en el desgaste abrasivo en un ambiente controlado. Lo mencionado quiere decir que se establece el tipo de material abrasivo, el tamaño de la probeta a ser desgastada, la frecuencia en la que va a estar expuesta la probeta al desgaste y la carga que se le aplica.

Para esto se utilizan normas de la Asociación Americana de Pruebas de Materiales ASTM (por sus siglas en inglés “American Society of Testing Materials”)

con el fin de emplear un proceso de pruebas estandarizado. A continuación, se describen las tres normas relevantes para el presente trabajo.

- ASTM G65-04, prueba estándar de métodos de medición de abrasión utilizando un aparato de arena seca y un disco de caucho. Su alcance es determinar mediante pruebas de laboratorio, la resistencia de materiales metálicos por medio de un roce abrasivo, el cual es provocado por una rueda cubierta de caucho contra un flujo laminar de arena (ASTM, 2010).
- ASTM G105-02, prueba estándar de métodos de medición de abrasión con un aparato de arena húmeda y un disco de caucho. Su alcance es el mismo de la norma anterior con la diferencia de que este tiene un sistema abrasivo húmedo que realiza un ataque abrasivo más fuerte al de la anterior norma (ASTM, 2007).
- ASTM B611-13, prueba estándar de métodos para determinar alta resistencia a la abrasión de materiales duros, que en resumen es una prueba de laboratorio para materiales de alta resistencia usando una mezcla de agua y óxido de aluminio como medio abrasivo y un disco de acero que rota para forzar un contacto abrasivo con la probeta de estudio (ASTM, 2013).

El propósito de estos métodos de prueba es generar una base de datos que sea reproducible con el fin de hacer una clasificación de materiales de resistencia a la abrasión bajo condiciones específicas y verificar la resistencia al desgaste abrasivo de piezas que han sido tratadas o tengan algún tipo de recubrimiento.

### **1.3. Objetivos del proyecto**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseño, construcción, puesta en marcha de un equipo para ensayos de desgaste abrasivo y obtención de resultados de las pruebas realizadas a las distintas probetas con las normas ASTM G65, ASTM G105 y ASTM B611.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar la máquina en función a las normas
- Diseñar un sistema de control de velocidades para las normas a utilizar
- Implementar un mecanismo que permita el cambio de dimensión de disco cumpliendo con las especificaciones de las normas
- Buscar un diseño que sea versátil y de tamaño limitado, esto sin comprometer las especificaciones de las normas
- Diseñar el control electrónico que permita visualizar el número de vueltas y parada al momento que cumpla las especificaciones de norma.

### **1.4 Fundamentos teóricos**

#### **1.4.1 Introducción al desgaste**

El desgaste forma parte del término tribología, cuya palabra deriva del griego *tribos*, que significa rozamiento. Entonces se puede decir que, la tribología es la ciencia que estudia el rozamiento entre dos o más cuerpos en un movimiento relativo (Pérez, 1993).

La tribología es un fenómeno que incluye el estudio de aspectos relacionados a la fricción y lubricación. Este tema se desarrolla en el año de 1966 cuando se publica el “Reporte de Jost” (conocido como “Jost Report”), en éste se pone en conocimiento que el Reino Unido logró un ahorro de más de 500 millones de libras esterlinas por poner en



práctica la tecnología tribológica en el diseño, construcción y operación de maquinaria industrial (Pérez, 1993).

En la actualidad las industrias buscan generar ahorros importantes por medio de la conservación de materiales y/o disminución de consumo energético, esto hace que sean dos pilares fundamentales del diseño. El desgaste y la corrosión son causas principales de pérdidas de recursos en las empresas. Asimismo, la fricción es una causa de pérdida de energía. De manera que si dichos factores se controlan es posible obtener ahorros significativos para la industria (Bushan & Gupta, 1997). La lubricación es parte de la tribología, y su rol es separar las superficies en movimiento por medio de una película de baja resistencia, ya sea esta sólida, líquida o gaseosa (Totten, 2006). Este proyecto se enfoca únicamente en el desgaste, por lo que los demás temas no serán tratados.

#### **1.4.2 Categorías de Desgaste**

Para poder entender de mejor manera los múltiples términos de los efectos del desgaste Kenneth G. Budinski, lo describe en cuatro categorías como se puede ver en la siguiente figura (Budinski, 1988).

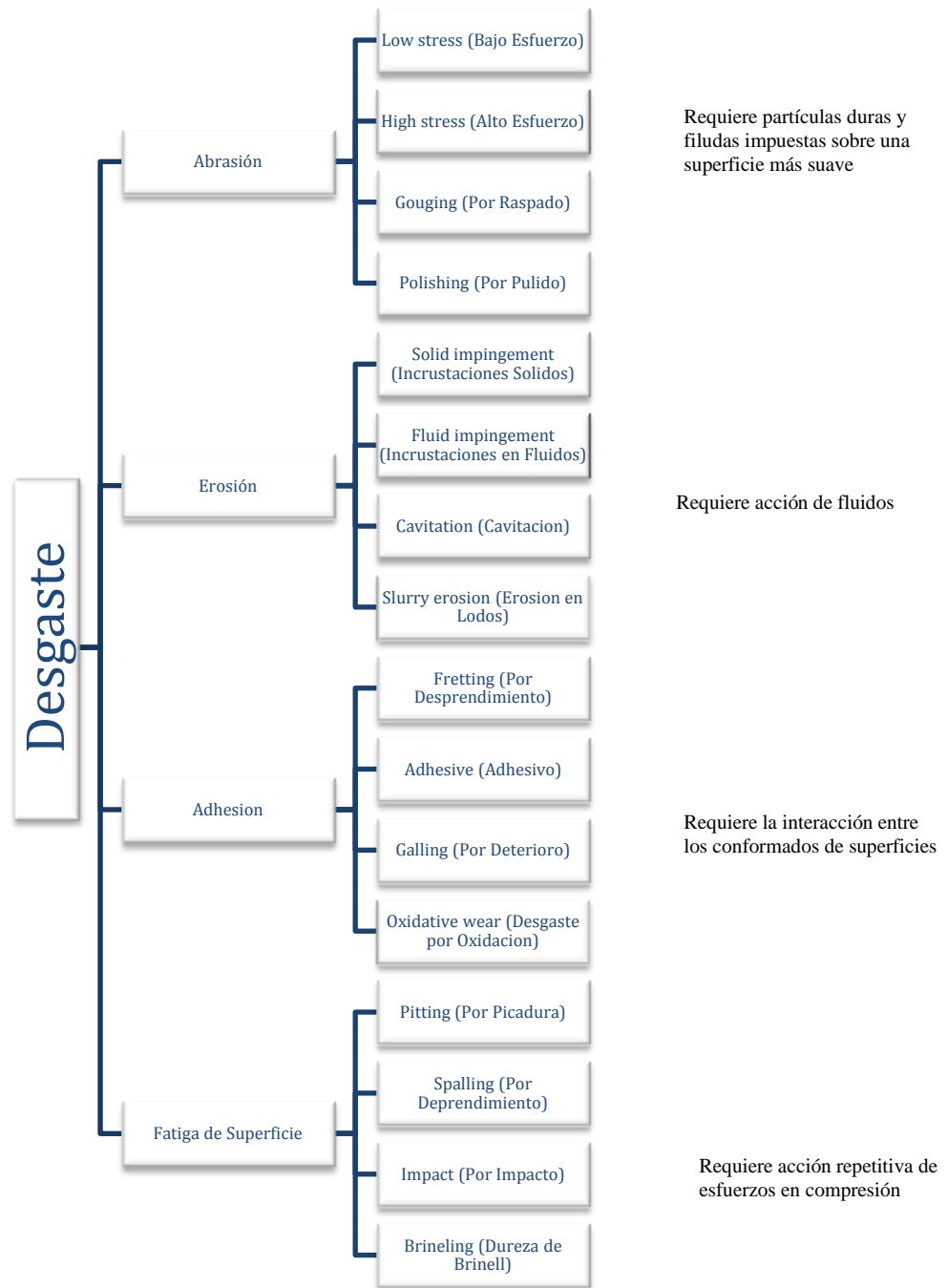
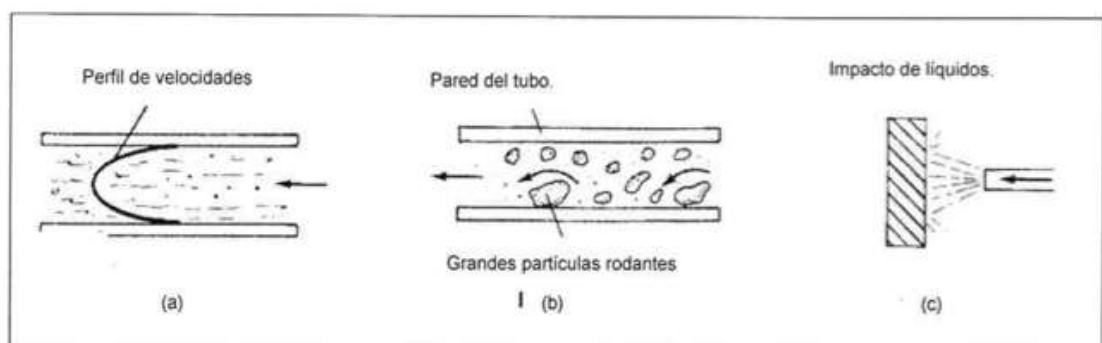


Figura 1: Categoría Básica de Desgaste y Mecanismos de Desgaste (Budinski, 1988).

Como se puede observar en la figura las cuatro categorías del desgaste son: *abrasión, erosión, adhesión y fatiga de superficie*. *Abrasión*, según la norma ASTM G40-92, se refiere a la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas duras que son forzadas contra una superficie que tiene movimiento relativo. Además el

agente abrasivo tiene bordes cortantes que son los que producen un corte en la superficie sólida que empieza a ser afectada. (Budinski, 1988)

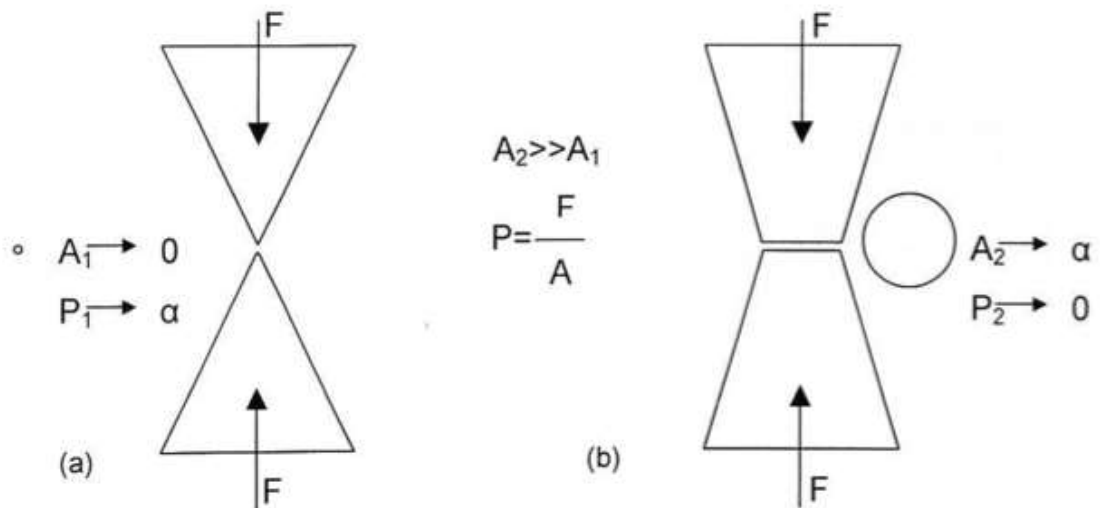
La *erosión* se refiere a la pérdida del material debido a la interacción mecánica entre un fluido y la superficie, por lo general estos fluidos contienen sólidos, un ejemplo es el caso del transporte de lodos en una tubería de petróleo (Treviño, 2004). La erosión afecta a muchos materiales en ingeniería, un ejemplo importante es en las industrias mineras. Algunas de las formas de erosión se presentan en las siguiente Figura 2.



**Figura 2: Erosión por lodos. (a) Erosión a altas velocidades, (b) Conducción de rocas en tubería, (c) Impacto de líquidos (Rabinowicz, 2013)**

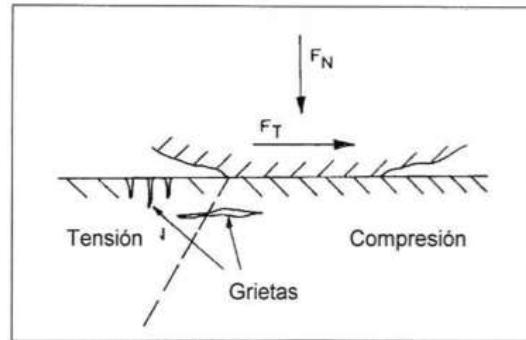
En la Figura 2, se presenta (a) la erosión que existe en un perfil de altas velocidades provocado por un fluido que genera un desgaste uniforme, (b) partículas grandes que pasan a través de un tubo provocando impactos entre sólidos y (c) el impacto de líquidos, en forma de lodos, sobre una superficie que provoca un desgaste en las zonas donde el líquido hizo contacto.

Desgaste Adhesivo, este ocurre cuando se tienen dos superficies que se encuentran en contacto, las cuales se adhieren formando una adhesión entre ellas (Budinski, 1988).



**Figura 3** Desgaste Adhesivo. Generación del mecanismo de adhesión al ser deformadas plásticamente las asperezas. (a) Presión de contacto muy alta debido a la pequeña área de contacto, (b) La partícula es deformada plásticamente aumentando su área de contacto. (Pérez, 1993)

*Desgaste de Fatiga*, es el resultado de esfuerzos cíclicos entre las asperezas de dos superficies en contacto (Treviño, 2004). Un ejemplo de esto es una pista que está sometida a vueltas repetitivas con una bola o rodillo (Budinski, 1988). El Coeficiente de fricción es el factor determinante, ya que existen casos donde se tiene lubricación y la adhesión es mínima, pero también hay sistemas donde el coeficiente es alto y se tendrá zonas de deformación intensa más cercanas a la superficie como se puede apreciar en la figura 4. En esta figura se puede ver las fuerzas normales y tangenciales aplicadas sobre una superficie, que provocan una formación de grietas superficiales y sub-superficiales.



**Figura 4** Desgaste por Fatiga. Esquema de la formación de grietas superficiales y sub-superficiales  
(Treviño, 2004)

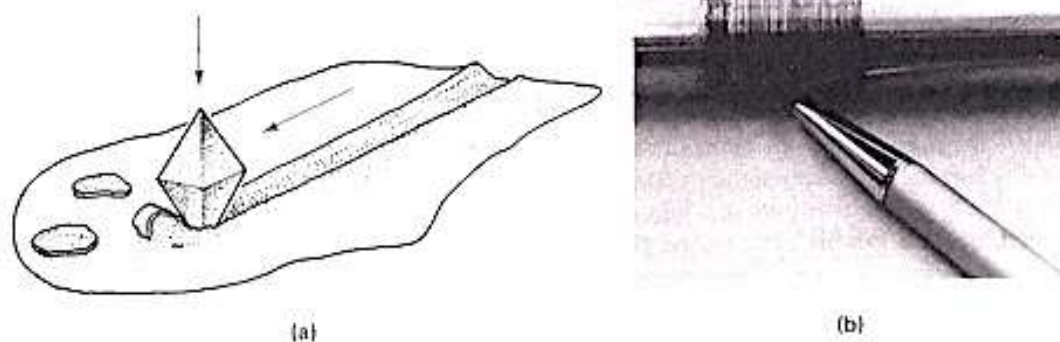
De todas las categorías de desgaste antes mencionadas este proyecto tiene como objetivo solo los temas a desgaste abrasivo y sus respectivos mecanismos, este proyecto se enfoca en el tema de desgaste abrasivo y sus respectivos mecanismos, por lo que el estudio del resto de mecanismo no profundizará mas..

### **1.4.3 Mecanismos de Desgaste**

El desgaste puede presentarse en diferentes formas y para identificarlo y valorar su comportamiento se lo define en función de sus distintos mecanismos. A continuación se describe los más importantes mecanismos de desgaste, como se muestran y que los provoca.

#### **1.4.3.1 Desgaste Abrasivo de Bajo Esfuerzo**

Todo tipo de desgaste empieza como un desgaste abrasivo de bajo esfuerzo. Las partículas abrasivas por lo general tienen que ser duras y afiladas para poder provocar pequeñas ranuras en el material que está en desgaste. Según H. Avery el criterio de un desgaste de bajo esfuerzo está en que el material abrasivo debe tener la fuerza suficiente para desgastar el material y el agente abrasivo se mantenga intacto. Como se puede ver en la figura 5.



**Figura 5 (a) Esquema de desgaste de bajo esfuerzo, (b) Desgaste abrasivo entre una punta de filo duro y un bocín plástico (Budinski, 1988).**

En la figura 5 en (a) se presenta el esquema de cómo el agente abrasivo afecta a la superficie debido a su forma cortante. En (b) se puede ver el desgaste de un eje en movimiento contra una punta cortante.

Algunas características a tener en consideración:

- La tasa de desgaste abrasivo aumenta en relación a lo filudo del agente abrasivo.
- La tasa de abrasión disminuye si la superficie de material aumenta en dureza.
- La tasa de abrasión es directamente proporcional a la distancia de deslizamiento y a la fuerza de las partículas abrasivas.
- En metales, la tasa de desgaste está en relación a la micro estructura, ya que la presencia de micro componentes duros reduce el desgaste.
- Materiales como el caucho tienen mayor resistencia a la abrasión por su deformación elástica al momento de estar en contacto con el agente abrasivo. Y por lo general su resistencia al desgaste es mayor a la de los metales.
- Materiales cerámicos y carburos cementados son más resistentes a la abrasión de bajo esfuerzo.

### 1.4.3.2 Desgaste Abrasivo De Alto Esfuerzo

Esta forma de abrasión se caracteriza por dejar ranuras, deformación plástica en la superficie y además picaduras generadas por impregnación de partículas. El daño que esta produce es mucho más severo que el desgaste abrasivo de bajo esfuerzo. Este tipo de desgaste en metales genera una deformación plástica en la superficie que ocurre por lo general en la dirección del movimiento. La figura 6 ilustra este tipo de desgaste en el que las partículas que se encuentran entre la superficie y la masa que genera un esfuerzo en forma tangencial y normal provocando así un desgaste abrasivo de alto esfuerzo. (Triviño, 2000)

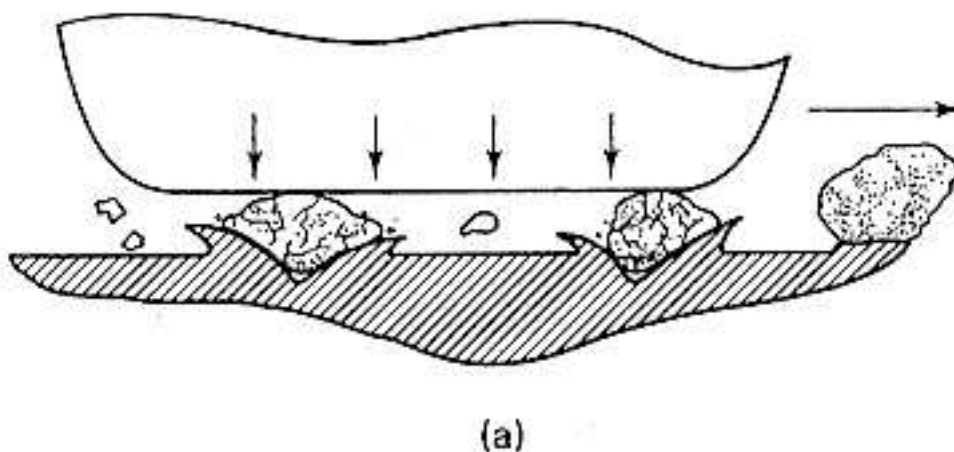


Figura 6 (a) Esquema de Abrasión de Alto Esfuerzo. (Budinski, 1988)

Un ejemplo de este tipo de desgaste esta en rodillos en funcionamiento con la cara de contacto que se encuentra en un ambiente con polvo.

### 1.4.3.3 Desgaste Abrasivo Por Rozamiento (Gouging Abrasion)

Este tipo de desgaste es la remoción de material causada por la acción de una carga repetitiva de un material duro sobre una superficie, dicho material puede ser por ejemplo; rocas contra una superficie de menor dureza. El desgaste por rozamiento se puede decir que es la unión del desgaste de bajo y alto esfuerzo. Este mecanismo de

desgaste al tener el desgaste de bajo esfuerzo provocara remoción de material y el de alto esfuerzo será el que produzca la deformación plástica de la superficie, todos estos desgates son usualmente de carácter macroscópico. En la figura 7 se puede ver un esquema de dicho desgaste en el cual hay un impacto de una partícula grande, que cumple con las características de un agente de desgaste bajo y alto esfuerzo, contra una superficie provocando un desgaste por rozamiento. (Budinski, 1988)

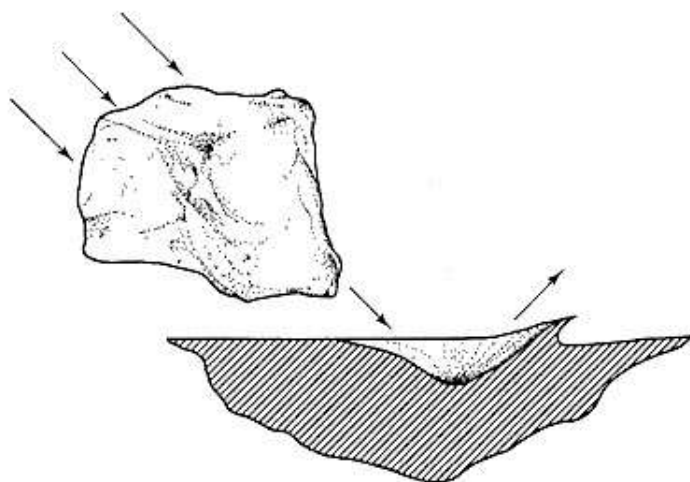


Figura 7 Esquema del desgaste de rozamiento. (Budinski, 1988)

#### 1.4.3.4 Desgaste Abrasivo De Pulido.

El desgaste de pulido es la remoción de material de superficie de manera progresiva todo esto sin obtener debilitamiento, fractura o deformación plástica. Por definición el pulido es la obtención de una superficie suave y brillante, pero para obtener dicha superficie se requiere la remoción de material que puede provocar pérdida de sensibilidad en mecanismos precisos si no se la realiza con precaución.

El pulido no es considerado como desgaste abrasivo pero según Budinski (1988) existen debilitamientos de 3 micras, en su contra parte Rabinowicz (2013) propone que no existe debilitamiento alguno a nivel de micras. Además, Rabinowicz (2013) establece que este mecanismo de desgaste produce una remoción de material de carácter



molecular. Budinski (1988) propone que átomos y moléculas son removidos individualmente de la superficie que está siendo pulida por frotamiento.

Aunque no hay evidencia de esta teoría, desde el punto de vista práctico el pulido es realizado por un constante frotamiento. En la figura 8 se puede ver un esquema de pulimiento con su debida remoción de material donde se asume que el material pulido no sufre debilitamiento.

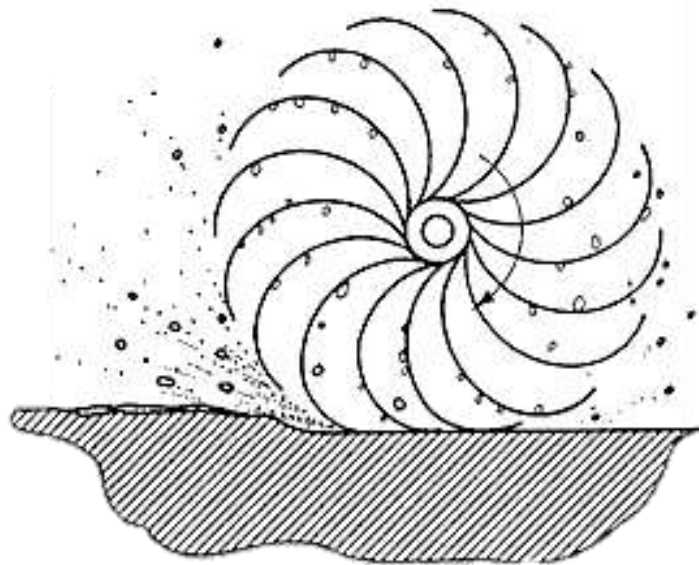


Figura 8 Esquema de un pulido de un metal con una rueda de pulido. (Budinski, 1988)

## **2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: EQUIPO DE DESGASTE ABRASIVO**

Teniendo en cuenta que existen diferentes tipos de desgaste y que dicho fenómeno está presente en todos los materiales, es razonable considerar necesario el desarrollo de un equipo que permita el estudio de la resistencia a la abrasión.

### **2.1 Diseño conceptual**

Para diseñar un equipo de desgaste abrasivo robusto es importante tomar en cuenta métodos de ensayo basados en estándares. La Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) cuenta con normas para la realización de pruebas de abrasión; presenta métodos de ensayo por medio de pruebas de laboratorio para determinar la resistencia de materiales metálicos sometidos al desgaste (ASTM, 2013). Los métodos establecidos por la ASTM tienen como objetivo producir datos para categorizar los materiales de acuerdo a su resistencia a la abrasión bajo un conjunto de condiciones específicas (ASTM, 2013).

Por lo tanto, el diseño del equipo se basa en las siguientes normas:

- ASTM G65 para desgaste de bajo esfuerzo
- ASTM G105 para desgaste de bajo y alto esfuerzo
- ASTM B611 para desgaste de alto esfuerzo

Las normas mencionadas describen los mecanismos básicos necesarios para el bosquejo general de la maquinaria. En la Figura 9 mostrada a continuación se presenta lo mencionado:



Figura 9 Esquema de la Máquina Abrasiva. ASTM G65 (ASTM, 2010)

En la Figura 9 se presentan los principales componentes de la máquina para obtener un desgaste abrasivo según las normas especificadas:

- **Agente abrasivo:** es el reactivo que provocará el desgaste a la probeta. Estos pueden ser arena seca para la norma ASTM G65, “slurry” (mezcla entre arena y agua) para la norma ASTM G105 y alúmina para la norma ASTM B611
- **Mecanismo de desgaste:** está compuesto por un *disco de desgaste* y un brazo. El disco, dependiendo de la norma puede estar cubierto de caucho (ASTM G65 y ASTM G105). El brazo está compuesto por un porta probetas y sistema de anclaje para el peso.

## 2.2 Componentes y Materiales

En la Figura 9 se presentaron varios componentes necesarios para la construcción de la maquinaria, algunos de ellos varían de acuerdo a la norma. El tipo de caucho, el tipo de agente abrasivo, la abertura del difusor y el sistema de brazo de palanca deben ser considerados ya que de ellos depende el buen desgaste abrasivo.

### 2.2.1 Cauchos en discos

Anteriormente se mencionó que las normas ASTM G65 y ASTM G105 son para ensayos de desgaste de bajo esfuerzo y alto esfuerzo en la última mencionada. En estas normas es necesario utilizar cauchos en el disco para disminuir el esfuerzo. Los cauchos a usarse varían en cuanto a dureza y dimensiones según la norma aplicada. En la siguiente Tabla 1 podemos observar el valor de dureza del caucho requerida y las dimensiones de acuerdo a la norma ASTM G65 y ASTM G105:

NORMAS	DUREZA (SHORE A)	DIMENSIONES [mm]
		<i>Diámetro exterior x altura x espesor</i>
ASTM G65	A-60	228.6 x 12.7 x 12.7
ASTM G105	A-50/A-60/A-70	178 x 12.7 x 12.7

Tabla 1: Especificaciones básicas cauchos. (ASTM 65 Y ASTM G105, 2007).

Se debe tomar en consideración que al realizar la construcción de los cauchos prensados, se debe realizar una relajación de tensiones a una temperatura de 153 grados Celsius por un lapso de tiempo entre 40 y 60 min (ASTM, 2010).

### 2.2.2 Difusor de arena

El difusor de arena se lo utiliza en la norma ASTM G65. Para que los ensayos sean de acuerdo a lo establecido en la norma la apertura del difusor no debe exceder los 1.59 mm, además la abertura debe ser uniforme (ASTM, 2007). Esto se ejemplifica en la Figura 10, mostrada a continuación:



Figura 10 Difusor de arena. ASTM G65. (ASTM, 2007)

En la Figura 10 se puede observar la forma que deber tener el difusor con el fin de obtener un flujo laminar. Además, según la norma es importante que se cumpla con una tasa de flujo de 300 a 400 g/min (ASTM, 2007).

### 2.2.3 Brazo

Se refiere a un sistema de brazo de palanca adecuado para aplicar la fuerza requerida. El brazo de palanca es analizado en la sección 2.3 Análisis y cálculos de puntos críticos. Posteriormente, en la Figura 13 podemos observar el esquema del diseño de brazo.

### 2.2.4 Acondicionamiento de motor

Para la selección del motor se deben tomar en consideración las distintas velocidades para cumplir con cada una de las normas esto es:

Normas	Revoluciones por minuto (RPM)
ASTM G 65	200 +- 10
ASTM G105	245 +- 5
ASTM B611	100+-2

Tabla 2 Velocidades según cada norma. ASTM

Para poder cumplir con estas especificaciones es necesario utilizar un variador de frecuencia que permita modificar la configuración de la velocidad de acuerdo a cada una de las tres normas. Se utilizará el siguiente esquema: motor, reductor y variador de frecuencia. Es importante mencionar que se requiere un motor de 1HP (ASTM, 2007), dicho valor será comprobado en la sección 2.3 Análisis y cálculos de puntos críticos.

### 2.2.5 Agente abrasivo

Los agentes abrasivos varían de acuerdo a la norma que sea aplicada; para un mejor entendimiento referirse a la Tabla 3 donde se presenta el tipo de agente requerido por cada norma:

NORMA	AGENTE ABRASIVO
ASTM G65	AFS 50/70
ASTM G105	AFS 50/70
ASTM B611	Óxido de aluminio en malla de 30

Tabla 3 Agentes abrasivos por norma. ASTM

Donde:

- AFS 50/70: es el tipo de arena utilizada como agente abrasivo. 50/70 representa el rango del tamaño del grano (-50/+70 verificado en mallas).
- Óxido de aluminio en malla de 30: significa que el tamaño del grano de óxido de aluminio se encuentra cernido en una malla de 30mm.

Es importante aclarar que para las normas ASTM G105 y ASTM B611 el agente abrasivo es húmedo. Esto genera la necesidad de diseñar un recipiente, mostrado en la Figura 11, para contener la mezcla de agua des-ionizada con el agente abrasivo. De igual manera, para que dicha mezcla no se sedimente (arena o el óxido de aluminio con agua) se deben diseñar unas tapas agitadoras que van montadas al disco de desgaste para mantener la mezcla agitada.

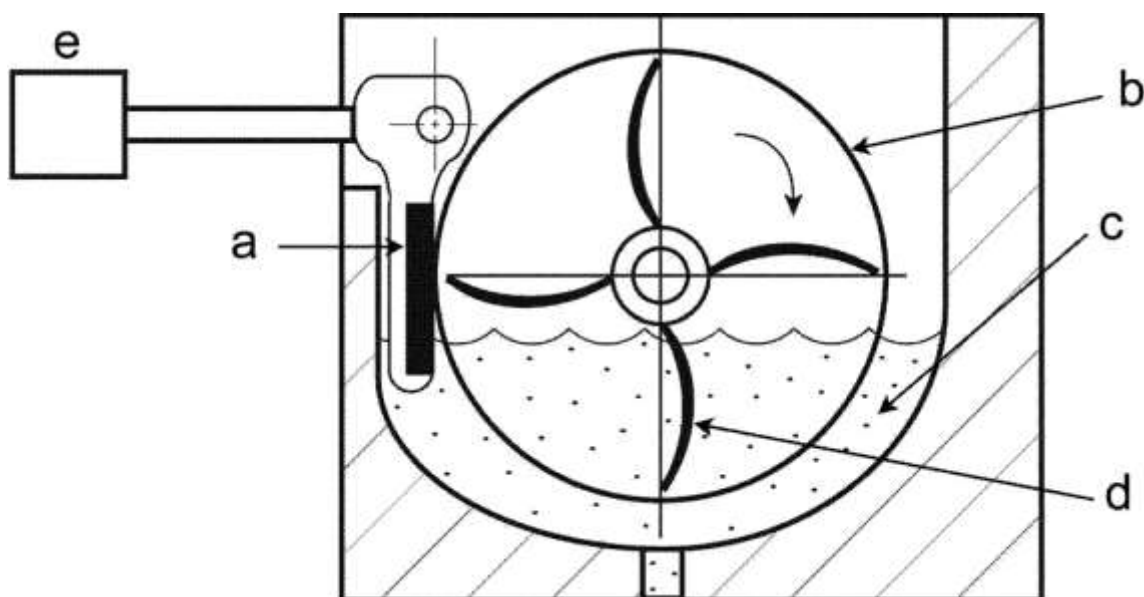


Figura 11 Esquema Vessel y Agitadores. ASTM

En la Figura 11 podemos observar esquemáticamente los distintos tipos de componentes del contenedor para agentes abrasivos húmedos:

- a: porta probetas
- b: disco de desgaste
- c: mezcla abrasiva con el vessel
- d: tapas de agitación
- e: peso necesario para mantener la pieza en contacto.

### 2.2.6 Estructura

El espacio provisto por la Universidad San Francisco de Quito, para ubicar el equipo es limitado; el área donde se va a colocar no puede exceder los 1200mm de largo por 700mm de ancho. En la figura a continuación se presenta el cuerpo de la máquina con las dimensiones necesarias para cumplir con la restricción de espacio:

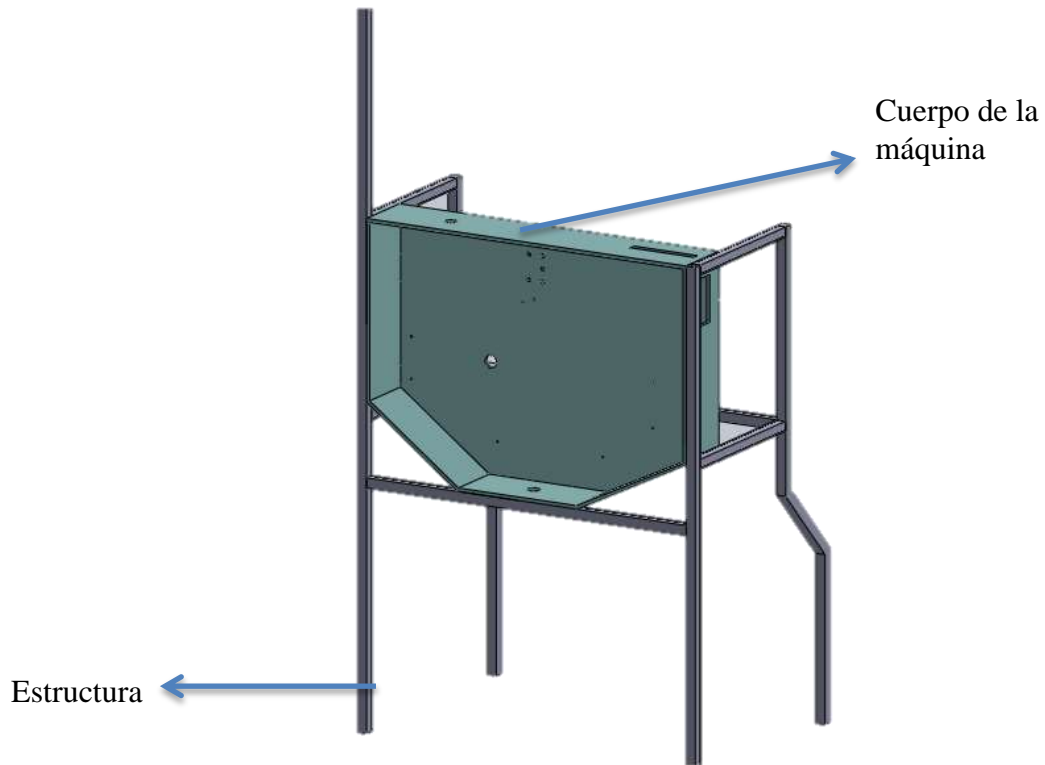


Figura 12 Cuerpo de la máquina y estructura. Solidworks

En la Figura 12 en verde, se puede observar el cuerpo de la máquina ensamblada y la estructura en color gris. La forma de la máquina está dada por el espacio necesario para ubicar los componentes, en el caso de la estructura se toma en cuenta la posición del motor y el espacio para ubicar el tablero eléctrico.

### 2.3 Análisis y cálculos de puntos críticos

Una vez presentados los componentes del diseño de la máquina, es necesario realizar el análisis de mecanismos, el cálculo de potencia requerida, el estudio de puntos críticos, piezas y componentes en la máquina de ensayos de desgastes abrasivos.



### 2.3.1 Análisis de Mecanismos

En la Figura 9 y en la Figura 10 se puede observar que existe el mismo mecanismo entre el disco de desgaste, la probeta y sistema de aplicación de peso (brazo). Aun cuando el medio de abrasión es distinto, el mecanismo se mantiene:

- En el primer caso existe un medio húmedo el cual utiliza un tanque y aspas de agitación en el disco.
- El segundo caso representa un medio seco el cual utiliza una tobera para dispersión de la arena.

Se puede observar que los mecanismos son los mismos entre el disco y la probeta. Para que el mecanismo anteriormente mencionado cumpla con las normas se necesita que la fuerza aplicada sobre la probeta sea normal a la línea horizontal del eje del disco de desgaste:

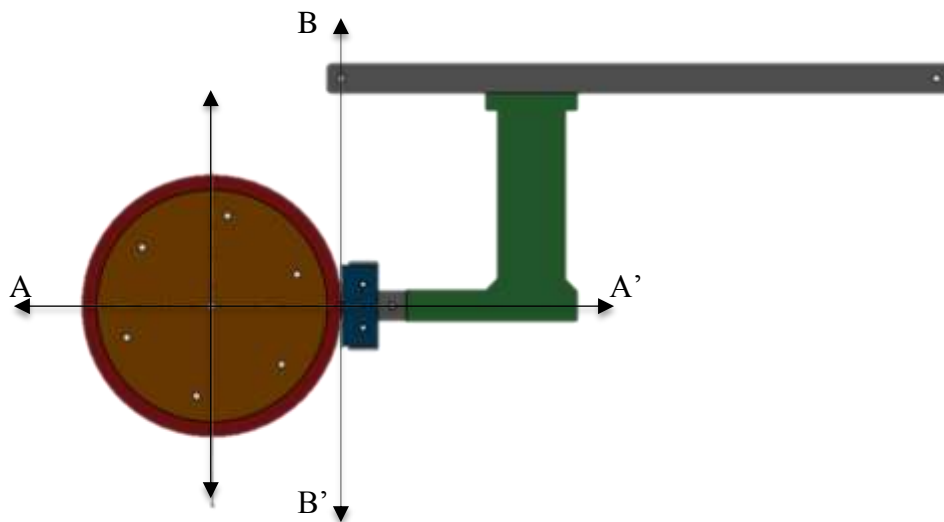


Figura 13 Mecanismo Brazo- Disco de Desgaste. SolidWorks

En la Figura 13 se puede observar como la Línea AA', la cual está horizontal al centro del disco de desgaste, es perpendicular a la Línea BB'. Dicha línea vertical parte del punto pivote del brazo. A su vez el disco y la probeta deben estar en contacto

tangencial (Figura 14) por lo que la perforación del pivote debe cumplir con esta condición.

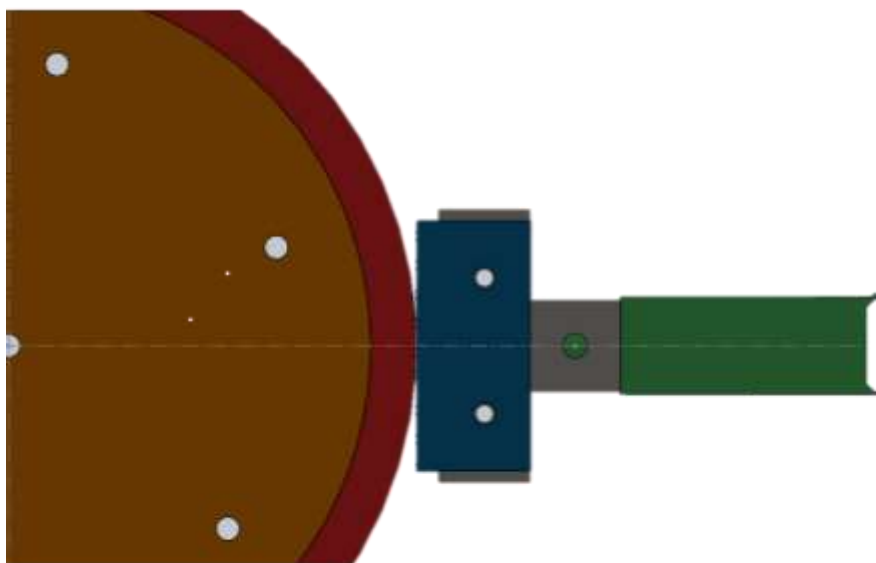


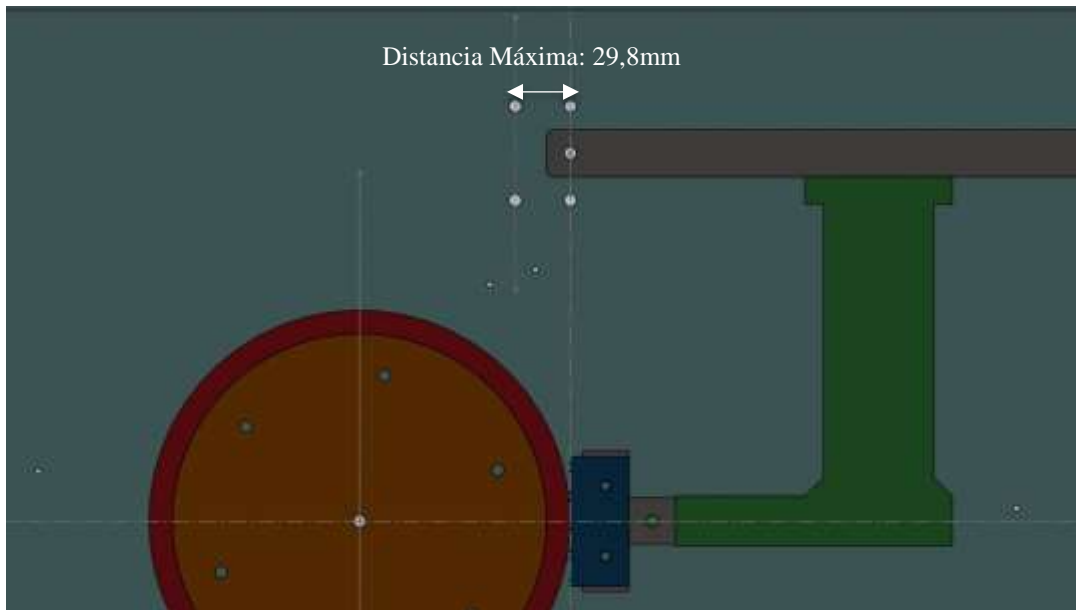
Figura 14 Esquema Disco- Porta Probeta

El contacto tangencial es una condición que debe ser cumplida para cada una de las normas. En la Tabla 4, se pueden ver las diferentes medidas de los discos de desgaste requeridos por cada una de las normas:

NORMA	DIMENSIÓN [mm]	DIFERENCIAL RADIOS [mm]
<b>ASTM G65</b>	228,6	0
<b>ASTM G105</b>	177,8	25,4
<b>ASTM B611</b>	169,0	29,8

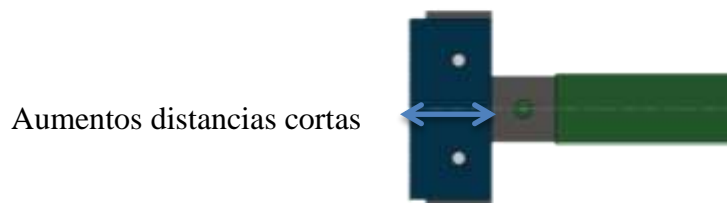
Tabla 4 Normas ASTM y Dimensiones. Datos obtenidos de normas ASTM.

La variación en los tamaños de discos según la norma que sea aplicada hace que se tenga que usar un sistema de cambio de medida. Es necesario realizar un mecanismo para poder variar las distancias en la posición del brazo, manteniendo fijo el disco.



**Figura 15 Mecanismo de cambio de posición de brazo**

En la Figura 15 se muestra el sistema de cambio de posición del brazo para la distancia máxima entre los radios de los discos que es 29,8 mm (diferencia entre el disco especificado por la norma ASTM G65 y el disco especificado por la norma ASTM B611). Para poder cumplir con la distancia del disco especificado por la norma ASTM G105 se realiza un mecanismo de aumento de medida de 4,4mm con el porta probeta.



**Figura 16 Porta Probetas**

La Figura 16, indica la manera en que se debe aumentar la distancia corta, a través de un prisionero que mantendrá la posición deseada.

### 2.3.2 Potencia Requerida

Para determinar la potencia del motor, primero se deben definir los componentes que actúan sobre éste: el brazo con el peso máximo, la velocidad máxima a la que gira el motor, el tamaño del disco de desgaste y el sistema desgaste de materiales.

#### a) Brazo:

En la Figura 17 se muestra el diagrama de cuerpo libre del brazo. la configuración geométrica es la siguiente:

- A es el punto pivote
- B es el punto de aplicación de la fuerza
- C es el punto del centro de masa
- R es el punto donde se mide la fuerza

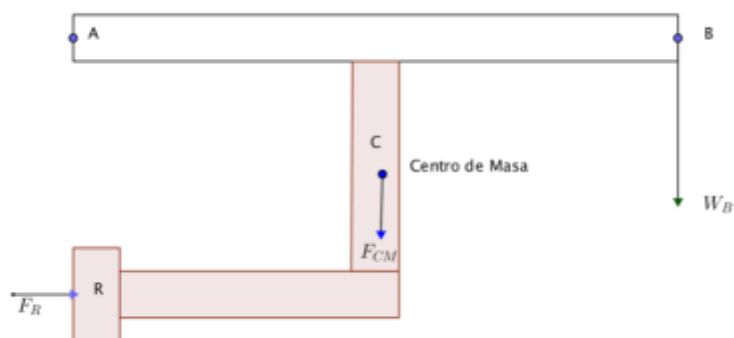


Figura 17 Diagrama de cuerpo libre Brazo- Máquina de Desgaste

$W_B$  Fuerza que ejerce el peso externo colgado en el punto B

$M_{CM}$  Masa del centro de masa del brazo.

$\overline{AB}$  distancia del punto A al punto B

$\overline{AR}$  distancia del punto A al punto R

Datos:

$$W_B = 200 [N]$$

$$M_{CM} = 6 [Kg]$$

$$\overline{AB} = 524,60 [mm]$$

$$\overline{AR} = 199,20 [mm]$$

*Análisis:*

El brazo cuenta con un pivote (A) el cual genera un momento. En el punto R se genera una fuerza resultante por el contacto que se tiene con el disco.

Adicional a esto tenemos la geometría del brazo que tiene su peso por lo cual se tiene que encontrar la posición del centro de masa respecto al punto A. Una vez definidas las fuerzas que actúan sobre el brazo se busca obtener la fuerza resultante mediante una sumatoria de momentos.

*Resolución:*

Mediante el programa de diseño SolidWorks se obtuvo la posición del centro de masa (CM) del brazo que es:

$$CM_A = (189.41, 104.26).$$

Sumatoria de Momentos en A

$$\sum M_A = 0$$

$$-F_B \times \overline{AB} - F_{CM} \times CM_x + F_R \times \overline{AR} = 0$$

$$W_B \times g \times \overline{AB} + M_{CM} \times g \times CM_x = F_R \times \overline{AR}$$

$$F_R = \frac{W_B \times g \times \overline{AB} + M_{CM} \times g \times CM_x}{\overline{AR}}$$

$$F_R = 572,08 [N]$$

La fuerza resultante ( $F_R$ ) de la sumatoria de momentos es 572,08N que es la fuerza ejercida sobre el disco.

b) Disco:

Aunque se estén utilizando 3 normas, la configuración es la misma con la diferencia de los tamaños de los discos, como demostrado anteriormente. Por lo tanto para estos cálculos se utilizará el disco de mayor dimensión que es el de la norma ASTM G65. Se escoge el disco de mayor dimensión porque es el que requerirá mayor potencia. Asimismo la velocidad angular es de 245rpm que es la velocidad máxima establecida entre las tres normas; ASTM G105.

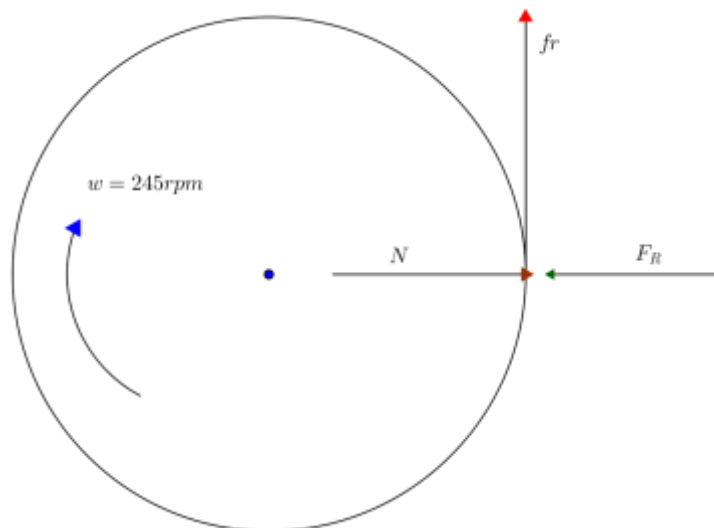


Figura 18 Diagrama de Cuerpo Libre Disco- Maquina Abrasiva

$w$  Velocidad angular máxima

$F_R$  fuerza resultante

$\phi$  diámetro máximo

*Datos:*

$$w = 245[\text{rpm}]$$

$$F_R = 572,08 [N]$$

$$\phi = 228,6 [mm].$$

*Análisis:*

El disco estará en contacto contra una probeta y un agente abrasivo (arena o alúmina) que realizan una fuerza de rozamiento, la misma que es necesario vencerla para poder generar un movimiento. Para esto es necesario definir la constante de rozamiento, esta se refiere al contacto de caucho contra la alúmina que es 0,52 según la empresa 3M, especialista en este tipo de trabajos (JVM, 2014).

## Resolución:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_R - N = 0$$

$$N = F_R$$

$$N = 572,08 [N]$$

La fuerza de rozamiento va a estar determinada por su fuerza normal y su constante de rozamiento, entonces.

$$fr = N \times \mu$$

$$fr = 297,48 [N]$$

La fuerza de rozamiento es tangencial al movimiento del disco por lo que para la siguiente ecuación  $fr$  equivale a  $F$ .

$$P = T \times \omega$$

$$P = F \times r \times \omega ;$$

Donde:

$F$  es la fuerza máxima

$r$  es el radio máximo

$\omega$  es velocidad angular máxima

$$\omega = 245 \text{ rpm} = 25,64 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$r = 0,1143 \text{ m}$$

$$F = fr = 297,48 \text{ [N]}$$

Por lo tanto  $P = 871,8 \text{ [watts]}$  esto es 1,17 [HP] y según las normas el dato de motor es de 1 [HP]. El valor obtenido es un valor referencial para poder comparar con lo establecido en la norma. Si bien existe una variación del 17% entre el valor obtenido y el establecido en la norma, se utilizará el presentado por la norma que es 1[HP].

Se seleccionó un sistema de motor con caja reductora para obtener las RPMs bajas, esto es un motor de 1HP que tiene una velocidad de 1700 rpm. Se quieren obtener las siguientes velocidades 50, 100, 200 y 245 rpm. La caja reductora tiene un  $i = 16$ , por lo que el motor girará a 106,25 rpm y mediante el variador de frecuencia es posible obtener las velocidades establecidas por las normas.

Debido a que se utiliza una caja reductora la fuerza de salida va a variar manteniéndose la potencia constante, pues se cumple la ley de la conservación de la energía, como se puede ver en la siguiente ecuación:

$$H = T_i \times W_i = T_o \times W_o$$

Donde:

$H$  Potencia

$T_i$  Trabajo inicial

$W_i$  velocidad angular inicial

$T_o$  Trabajo final

$W_o$  velocidad angular final

Al igualar la ecuación obtenemos la siguiente ecuación:

$$i = \frac{W_o}{W_i} = \frac{T_i}{T_o}$$



donde  $i$  es la constante que relaciona la velocidad y el trabajo.

$$T_o = \frac{W_i}{W_o} \times T_i = \frac{1700}{106,25} \times 297.48 = 4759,68 [N]$$

Por lo que la fuerza de salida del reductor aumenta a 4759 N que representa 16 veces más a la fuerza calculada para vencer la fuerza de rozamiento ( $F_R$ ).

## 2.4 Diseño Eléctrico

Para el diseño eléctrico se tiene que tomar en consideración lo hablado anteriormente en la sección 2.2 Componentes y Materiales esto es, tamaño motor, contador de vueltas y regulación de velocidad. Por lo que para cada uno de estos se van a necesitar varios componentes.

### 2.4.1 Motor

En la sección 2.3.2 Potencia Requerida se estableció que la potencia del motor es de 1 HP. Además se establece que el voltaje debe ser de 220V a 60 Hz.

### 2.4.2 Contador de vueltas.

En las normas mencionadas anteriormente se establece que es indispensable tener un sistema para contar las vueltas. Esto se realiza por medio de un sensor inductivo NPN que estará posicionado perpendicular al eje transmisor de movimiento al disco de desgaste. En la Figura 19 a continuación se presenta lo mencionado:

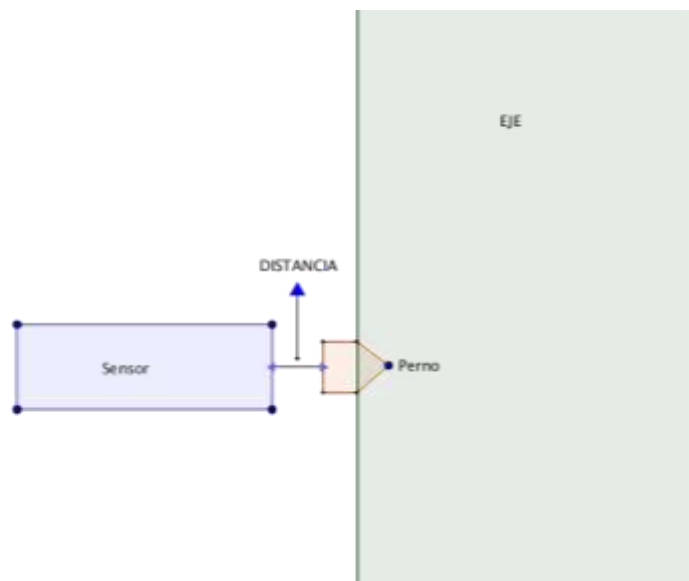


Figura 19 Esquema Sensor- EJE. Geogebra

En la Figura 19, podemos observar el esquema para el conteo de vueltas. El sensor solo detecta materiales ferrosos que estén a una distancia máxima de 4 mm.

### 2.4.3 Variador de velocidades

En la Tabla 2, presentada anteriormente en la sección 2.2.4 Acondicionamiento de motor, se pueden observar las distintas velocidades a las que debe estar configurada la máquina. Para poder hacer eso se utiliza un variador de frecuencia y un potenciómetro. Esta configuración permite al usuario realizar las configuraciones de velocidad para cada una de las normas en estudio.

## 2.5 Materiales y costos

Luego de la descripción de los componentes en la sección 2.1 Diseño conceptual, se realiza la selección de materiales de acuerdo a su aplicación y ambiente al que va a estar expuesto. Además de eso se realiza el presupuesto con todos los materiales que deberán adquirirse.

## 2.5.2 Materiales seleccionados

Los materiales necesarios para la construcción de la maquina se detallan a continuación con su respectivo nombre.

NOMBRE PIEZA	MATERIAL	ANEXO
VESSEL O CONTENEDOR	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 1.5 mm	1.1
TOBERA DE ARENA PLACAS	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 4 mm	1.2
TOBERA DE ARENA EJE	Eje de acero transmisión, día 18 mm	1.3
TAPA DISCO B ASTM G65 Y G105	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 6 mm	1.4
TAPA DISCO B ASTM G65	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 6 mm	1.5
TAPA DISCO A ASTM G65 Y G105	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 6 mm	1.6
TAPA DISCO A ASTM G65	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 6 mm	1.7
TANQUE DE ARENA	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 1.5 mm	1.8
SUJETA TOBERA B	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 15 mm	1.9
SUJETA TOBERA A	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 15 mm	1.10
SUJETA BRAZO B	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 26 mm	1.11
SUJETA BRAZO A	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 26 mm	1.12
PORTA PROBETA SUJETADOR B	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 4 mm	1.13
PORTA PROBETA SUJETADOR A	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 4 mm	1.14
PORTA PROBETA PLACA DE RESPALDO	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 1"	1.15
PLACA PORTA MOTOR	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.16
PLACA CUERPO MAQUINA SUPERIOR	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.17
PLACA CUERPO MAQUINA POSTERIOR	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.18
PLACA CUERPO MAQUINA LAT. IZQUIERDA	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.19
PLACA CUERPO MAQUINA LAT. INF IZQUIERDA	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.20
PLACA CUERPO MAQUINA LAT. INF DERECHA	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.21
PLACA CUERPO MAQUINA LAT. DERECHA	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.22
PLACA CUERPO MAQUINA	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	1.23

<b>NOMBRE PIEZA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ANEXO</b>
ESTRUCTURA MAQUINA PARANTE POSTERIOR	Tubo cuadrado 20 x 20 x 2	1.24
ESTRUCTURA MAQUINA PARANTE IZQUIERDO	Tubo cuadrado 20 x 20 x 2	1.25
ESTRUCTURA MAQUINA PARANTE INFERIOR	Tubo cuadrado 20 x 20 x 2	1.26
ESTRUCTURA MAQUINA PARANTE DERECHO	Tubo cuadrado 20 x 20 x 2	1.27
ESTRUCTURA MAQUINA LATERAL	Tubo cuadrado 20 x 20 x 2	1.28
EJE	Eje de acero transmisión, dia 30 mm	1.29
DISCO ASTM G65	Eje de acero AISI 1045, Espesor 15 mm	1.30
DISCO ASTM G105	Eje de acero AISI 1045, Espesor 15 mm	1.31
DISCO ASTM B611	Eje de acero AISI 1045, Espesor 15 mm	1.32
CHAVETA	Eje cuadrado de acero ASME A-36, 8x8 mm	1.33
BRAZO P. VERTICAL	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 1"	1.34
BRAZO P. HORIZONTAL	Eje cuadrado de acero ASME A-36, 1"x 1"	1.35
BOCINES	Eje bronce fosfórico perforado	1.36
BLOQUE RETENEDOR	Eje de acero transmisión, dia 65 mm	1.37
SENSOR INDUCTIVO M12 4MM 12/24VDC NPN-NO EMPOTRABLE	Tablero eléctrico	1.38
SENSOR INDUCTIVO M12 20-240VAC, 2 HILOS NO/EMP. Sn= 4mm		
RELE AUXILIAR 2P/10A /230VAC TELEMECANIQUE		
BASE 8 PINES TELEMECANIQUE		
CONTADOR TIMER DIGITAL 6 DIGITOS 48x48mm 100-240VAC		
VARIADOR DE FRECUENCIA 1.0HP 1-3F 240 V G110 SIEMENS		
PANTALLA PARA VARIADOR G110		
GABINETE METALICO S. PESADO 40x40x20		
LUZ PILOTO ELECTRONICA 22mm 220V VERDE CSC		
LUZ PILOTO ELECTRONICA 22mm 220V AMARILLO CSC		
BREAKER 2P 2AMP 230/400 P/RIEL LS		
CONMUTADOR 3P 16A 300V ON-OFF- ON CSC		
CABLE FLEXIBLE # 18AWG GTP		
TERMINAL PUNTERA 2.5mm # 18-16 AMAR.		
SELECTOR 2 POS. 22mm CSC		

NOMBRE PIEZA	MATERIAL	ANEXO
POTENCIÓMETRO 10K 3W 10 VUELTAS E/METAL		
LUZ PILOTO ELECTRONICA 22mm 220V VERDE CSC		
BORNERA P/RIEL 2.5mm 12AWG 20AMP LEGRAND		
TAPA P/BORNERA 39060/61 LEGRAND		
TOPE P/TODA BORNERA LEGRAND		
RIEL DIN m.		
PLAQUETA ADHESIVA		
AMARRA PLASTICA 10CM TRANSPARENTE		

Tabla 5 Nombre de piezas y materiales

### 2.5.3 Presupuesto

Una vez hecha de descripción de los materiales se identifica a los posibles proveedores para la construcción de las piezas y adquisición de otras. A continuación el detalle:

TIPO	MATERIAL	PROVEEDOR	VALOR
MECANICA	Eje bronce fosfórico perforado	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$10,00
	Eje cuadrado de acero ASME A-36, 1"x 1"	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$15,00
	Eje cuadrado de acero ASME A-36, 8x8 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$3,00
	Eje de acero AISI 1045, Espesor 15 mm	BOHLER	\$15,00
	Eje de acero AISI 1045, Espesor 15 mm	BOHLER	\$15,00
	Eje de acero AISI 1045, Espesor 15 mm	BOHLER	\$20,00
	Eje de acero transmisión, dia 18 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$10,00
	Eje de acero transmisión, dia 30 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$12,00
	Eje de acero transmisión, dia 65 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$15,00
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 1"	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$10,00
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 1.5 mm	ZOLV	\$65,00
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 15 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$5,00

<b>TIPO</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>PROVEEDOR</b>	<b>VALOR</b>
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 26 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$5,00
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 4 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$10,00
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 6 mm	OXI-CORTE	\$10,00
	Plancha Acero ASME A-36, Espesor 8 mm	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$90,00
	Tubo cuadrado 20 x 20 x 2	HGB ACEROS INDUSTRIALES	\$20,00
	Caucho 50 dureza		\$90,00
	Caucho 60 dureza		\$90,00
	Caucho 70 dureza		\$90,00
	Caucho 60 dureza g65		\$90,00
	Cacho retenedor	CAUCHOS VIKINGO	\$10,00
	Pernos varios	CASTILLO HERMANOS	\$20,00
<b>ELECTRIC A ELECTRON ICA</b>	SENSOR INDUCTIVO M12 4MM 12/24VDC NPN-NO EMPOTRABLE	CEIN	\$63,58
	SENSOR INDUCTIVO M12 20-240VAC, 2 HILOS NO/EMP. Sn=4mm	CEIN	\$92,40
	RELE AUXILIAR 2P/10A /230VAC TELEMECANIQUE	CEIN	\$16,27
	BASE 8 PINES TELEMECANIQUE	CEIN	\$5,47
	CONTADOR TIMER DIGITAL 6 DIGITOS 48x48mm 100-240VAC	CEIN	\$156,80
	VARIADOR DE FRECUENCIA 1.0HP 1-3F 240 V G110 SIEMENS	CEIN	\$320,40
	PANTALLA PARA VARIADOR G110	CEIN	\$54,00
	GABINETE METALICO S. PESADO 40x40x20	CEIN	\$66,43
	LUZ PILOTO ELECTRONICA 22mm 220V VERDE CSC	CEIN	\$3,50
	LUZ PILOTO ELECTRONICA 22mm 220V AMARILLO CSC	CEIN	\$3,50
	BREAKER 2P 2AMP 230/400 P/RIEL LS	CEIN	\$13,57
	CONMUTADOR 3P 16A 300V ON-OFF-ON CSC	CEIN	\$18,24
	CABLE FLEXIBLE # 18AWG GTP	CEIN	\$6,30
	TERMINAL PUNTERA 2.5mm # 18-16 AMAR.	CEIN	\$0,80
	SELECTOR 2 POS. 22mm CSC	CEIN	\$2,92
	POTENCIÓMETRO 10K 3W 10	CEIN	\$32,91

<b>TIPO</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>PROVEEDOR</b>	<b>VALOR</b>
	VUELTAS E/METAL		
	LUZ PILOTO ELECTRONICA 22mm 220V VERDE CSC	CEIN	\$3,50
	BORNERA P/RIEL 2.5mm 12AWG 20AMP LEGRAND	CEIN	\$13,60
	TAPA P/BORNERA 39060/61 LEGRAND	CEIN	\$0,55
	TOPE P/TODA BORNERA LEGRAND	CEIN	\$4,74
	RIEL DIN mts.	CEIN	\$3,29
	PLAQUETA ADHESIVA	CEIN	\$0,95
	AMARRA PLASTICA 10CM TRANSPARENTE	CEIN	\$0,10
	MOTOR	BKB	\$200,00
	REDUCTOR	BKB	\$250,00
	<b>TOTAL</b>		<b>\$2.053,82</b>

Tabla 6 Presupuesto materiales

Es importante mencionar que en la Tabla 6 Presupuesto materiales, solo se contempla el material mas no la mano de obra. En la Tabla 7 se desglosan los costos de mano de obra estimados:

<b>Tipo de trabajo</b>	<b>Costo/hora</b>	<b>Horas</b>	<b>Total</b>
<b>CNC Fresa</b>	\$40,00	2	\$80,00
<b>Torno</b>	\$25,00	8	\$200,00
<b>Fresa</b>	\$25,00	24	\$600,00
<b>Corte en plasma</b>	\$5,00	1	\$5,00
<b>Rectificadora</b>	\$30,00	3	\$90,00
<b>Soldadura y pintura</b>	\$15,00	16	\$240,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$1.215,00</b>

Tabla 7: Costo de mano de obra

Por lo tanto, el costo estimado de la máquina es de **\$3268,83**.

## 2.6 Construcción

Como podemos ver en la Tabla 6, se tiene la columna “tipo” y sus categorías son mecánico y eléctrico.

### 2.6.1 Construcción mecánica

Para la construcción mecánica se comienza por la adquisición del material. El lugar donde se va a realizar la construcción es en un centro de mecanizado que cuenta con:

- 2 Fresadoras CNC
- 2 Fresadoras manuales
- 1 torno manual
- 1 sierra mecánica
- 1 rectificadora mecánica
- 2 sueldas MIG manuales

Con las maquinas manuales se puede tener hasta una tolerancia de  $\pm 0,2$  mm y con las máquinas de control numérico (CNC) una tolerancia de  $\pm 0.01$  mm por lo que para piezas de más precisión se usaran las fresadoras CNC.

Las piezas que se construyeron pasaron primero por una aproximación de medidas ya sea con la sierra (mecánica o manual) o por cortes mas complejos con plasma.





**Figura 20 Sierra mecánica**

En la Figura 20 Sierra mecánica se puede observar el corte para un posterior ajuste de medidas en fresadora o torno.

Siguiendo con el proceso de construcción las piezas pasan por un torno o una fresa, dependiendo de la pieza a construir.



**Figura 21 Maquinado en torno discos**

En la Figura 21 Maquinado en torno discos se muestra el ajuste de medidas de acuerdo a los planos de las piezas, en este caso para un disco de desgaste.



Figura 22 Maquinado en fresa tapas de disco

En la Figura 22 se muestra en maquinado realizado por una fresa en una tapa de discos, siguiendo las medidas de acuerdo a los planos de diseño.

Dependiendo del trabajo que va a realizar cada pieza este también puede pasar por un proceso de rectificado.



**Figura 23 Rectificado tapas de disco**

En la Figura 23 se muestra el proceso de rectificado de la tapa del disco, el criterio para rectificar esta pieza se basa en la precisión que estos deben tener para no provocar un desbalance en el ensamble en general.

Para piezas de mayor precisión o a su vez de tamaños grandes se utilizó la fresadora CNC para la fabricación de las mismas.



**Figura 24 Piezas de maquina abrasiva**

En la Figura 24 se muestran las piezas de la maquina abrasiva en proceso de construcción.

Después de contar con todas las piezas se comienza a realizar el ensamble comenzando con el lugar donde todas las piezas van a estar, la estructura.



**Figura 25** Ensamble de la estructura

En la Figura 25 se muestra el proceso de ensamble de la estructura mediante suelda MIG.

Una vez terminado el ensamble y comprobado su correcto funcionamiento las piezas que fueron especificadas en los planos pasan por el proceso de pintura. (foto)

### **2.6.2 Construcción eléctrica**

Para la construcción eléctrica se establece un plano con todas las conexiones respecto al control y a la fuerza (ver Anexo 1.38). Una vez establecidas las conexiones se procede a la ubicación de los componentes en el gabinete.



**Figura 26** Ubicación de componentes.

Se realizan las perforaciones en el tablero y se ubican los componentes. Una vez ubicados se comienza con el cableado y luego el ordenamiento de cables.

Posteriormente se realizan las configuraciones para contador de vueltas y variador de frecuencia en un banco de pruebas, culminada esta etapa se instalan los sensores en la máquina y el tablero.



**Figura 27** Máquina abrasiva, pruebas con norma ASTM G65

### 3. PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 3.1 Arranque de la máquina

Para el arranque de la máquina primero se hace la prueba de los distintos mecanismos por separado, esto es, mecanismo del sistema de brazo, motor y puntos tangentes al disco. Así también las pruebas de hermeticidad para el tanque y el contenedor. Para el contenedor se ponen a prueba los sellos en el eje y el sello del contenedor. Las normas ASTM G105 y B611 utilizan agitadores por lo que estos se los prueba primero con agua, después con arena y por último con alúmina. Una vez superadas todas las pruebas individuales se procede al ensamble y se prueba el funcionamiento completo con cada norma y con cada uno de sus parámetros descritos de la Tabla 9.

Para la parte eléctrica se realizan las conexiones para energizar el tablero, se comprueba que los sensores estén funcionando según lo planeado, se revisa que la fuente este entre 208 y 230 V

#### 3.2 Preparación de la probeta

La probeta con la que se van a realizar las pruebas de desgaste debe cumplir con las siguientes dimensiones de acuerdo a la norma con la que se va a trabajar.

NORMA	DIMENSIONES (ancho X alto X espesor) [mm]
ASTM G65	25.4 x 76.2 y entre 3.2 – 12.7
ASTM G105	25.4 x 57.2 y entre 6.4 – 15.9
ASTM B611	25.4 x 76.5 x 12.7

Tabla 8 Dimensiones de la probeta

Además de su tamaño, la cara que va a estar contra el disco debe ser completamente lisa con una variación de 0.125 mm como máximo.

Este tipo de ensayos permite hacer pruebas a todo tipo de metales incluyendo metales forjados, piezas fundidas, piezas termorociadas, piezas cementadas, piezas cerámicas, entre otros. Esto es para las normas ASTM G65 y G105. Para la norma ASTM B611 metales con recubrimiento tales como carburos cementados, cerámicos, cementados y metales con una dureza superficial mayor a 55 HRC.

El acabado final de la probeta tiene que ser suave, plano y libre de impurezas. Superficies con imperfectos tales como porosidades o asperezas pueden dar un falso resultado en una prueba de desgaste, solo en casos donde la probeta tenga un tipo específico de rugosidad que este bajo investigación, los datos serán válidos. El tipo de rugosidad se tendrá que poner en la hoja de datos, esto puede ser acero laminado, recubrimiento por electro depósitos, termorociado, etc.

### 3.3 Parámetros de pruebas

Cada norma cuenta con parámetros de prueba, como: número de vueltas, velocidad, fuerza resultante entre la probeta y el disco y peso en brazo. El peso necesario para generar la fuerza establecida entre la probeta y el disco se calcula por medio de los momentos que actúan alrededor del punto pivote del brazo (en la sección 2.3.1 Análisis de Mecanismos se puede observar la manera de realizar el cálculo mencionado). En la Tabla 9 se muestra cada parámetro detallado por norma.

Norma ASTM	Parámetro	# de Vueltas	Velocidad [rmp]	Fuerza [N]	Peso en brazo [Kg]
<b>G65</b>	A	6000	200	130	3
<b>G65</b>	B	2000	200	130	3
<b>G65</b>	C	100	200	130	3

<b>G65</b>	D	6000	200	45	0
<b>G65</b>	E	1000	200	130	3
<b>G105</b>	A	1000	245	222	6,5
<b>B611</b>	A	1000	100	200	5,5
<b>B611</b>	B	1000	50	200	5,5

**Tabla 9** Parámetros por cada norma

Cada uno de los parámetros tienen distintos usos por lo que para mayor información se debe revisar la norma.

Los tipos de agentes abrasivos que deben ser utilizados se especifican en la Tabla 3.

### 3.4 Procedimiento

El procedimiento a seguir depende de la norma aplicada. Sin embargo el resultado obtenido por cualquiera de ellas es el mismo.

A continuación se detalla el procedimiento según cada una de las tres normas en estudio.

#### 3.4.1 Procedimiento ASMT G65

1. Pesar la probeta teniendo en cuenta que se debe realizar una limpieza previa exhaustiva. En caso de probetas con residuos magnéticos es necesario realizar una desmagnetización o preferiblemente no utilizarlas. La balanza en la que se pesa la probeta debe tener una precisión de 0.0001g.
2. Con el brazo levantado colocar la probeta en el sujetador y ajustar correctamente, asegurarse que el porta probetas este limpio. Añadir el peso adecuado de acuerdo a la Tabla 9.



3. Programar el contador de vueltas de acuerdo a la Tabla 9.



Figura 28 Contador de vueltas

Para que la máquina comience a funcionar siempre se debe tener el contador en 0 para eso se debe oprimir el botón RST. Para programar el número de vueltas utilice el botón >> oprimiéndolo dos veces seguidas y para modificar el número por línea oprimir las dos flechas en dirección hacia arriba.

4. Regular el flujo de la arena mediante la válvula para mantener un flujo entre 300g/min y 400g/min. No comenzar las pruebas hasta que el flujo no sea constante y laminar. Para verificar el flujo de arena se debe utilizar un cronómetro y una balanza.
5. Fijar la velocidad de acuerdo a la Tabla 10 mostrada a continuación:

Norma	Velocidad (rpm)	Frecuencia (Hz)
ASTM G65	200	113
ASTM G105	245	138,5
ASTM B611	100	56,5
	50	30

Tabla 10 Velocidad y frecuencia

En este caso, la velocidad a la que se debe calibrar la máquina es 200 rpm es decir 113Hz.

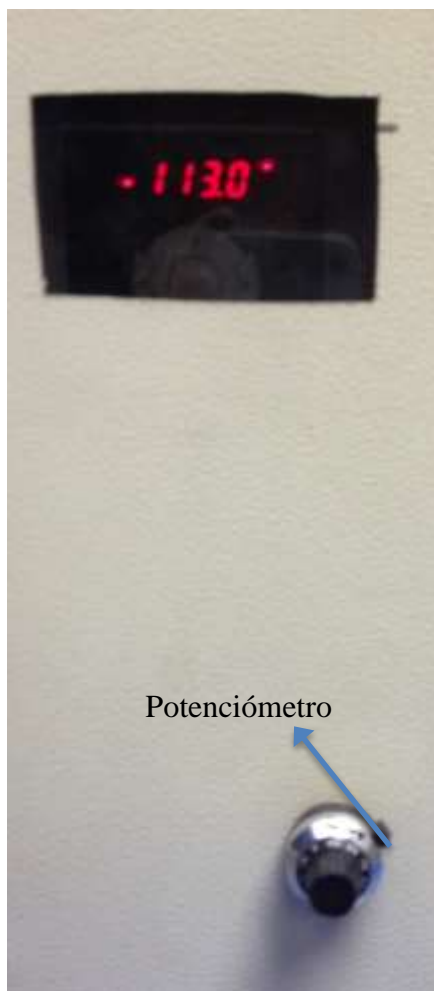
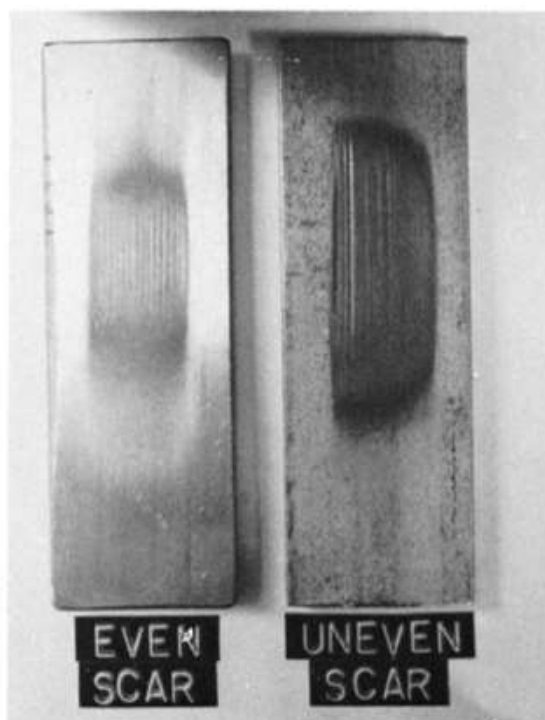


Figura 29 Variador y potenciómetro

En la Figura 29 se tiene el potenciómetro con el que se regula la velocidad según cada norma.

6. Bajar el brazo para que la probeta esté en contacto con el disco girando y la arena fluyendo. Durante la prueba, tener en consideración el nivel de arena disponible en el tanque, si esta está cerca del nivel mínimo volver a llenar el tanque.
7. Revisar constantemente que el sensor de posición no esté tocando el brazo. Una vez que se terminan de contar las vueltas y el motor se

detiene, se debe retirar la probeta y comparar el desgaste con el de la figura mostrada a continuación:



**Figura 30** Desgaste de probeta uniforme e irregular. (ASTM, 2010)

En caso de obtener un desgaste uniforme (EVEN SCAR) como el mostrado en la Figura 30 pasar al siguiente paso. En caso de que se obtenga un desgaste irregular (UNEVEN SCAR) es necesario realizar la prueba nuevamente ya que esto indica que la rueda no estaba balanceada.

8. Remover la probeta y pesarla.
9. Registrar los resultados obtenidos.

### **3.4.2 Procedimiento ASTM G105**

1. Lavar minuciosamente el tanque donde se encuentra la arena húmeda antes de empezar las pruebas para eliminar los remanentes de pruebas anteriores.
2. Instalar el disco de 50 Durómetro nominal, medir y registrar su dureza.

- a. Tomar por lo menos cuatro (preferiblemente ocho) lecturas de dureza en lugares equidistantes del perímetro del disco. Tomar las medidas después de un tiempo de permanencia de 5 segundos.
3. Antes de realizar las pruebas, desmagnetizar la probeta. Luego, limpiar la probeta de manera que quede libre de suciedades, en caso de que sea necesario desengrasar con acetona antes de pesarla. Asegurarse que la probeta tenga las medidas especificadas en la Tabla 8.
4. Pesar la probeta con una precisión de 0,0001g.
5. Configurar el contador de revoluciones para que el motor se detenga automáticamente cuando llegue 1000 revoluciones del disco. Ver en la Figura 28
6. Con el brazo levantado colocar la probeta en el sujetador; si la superficie de la probeta se encuentra a menos de 9.5mm sobre la superficie del sujetador se debe utilizar una lana apropiada; luego se debe instalar el sujetador en la posición necesaria para realizar las pruebas. Llenar el tanque con 1,500kg de arena de cuarzo y 0,940kg de agua des-ionizada a temperatura ambiente; por cada 1,6g de arena se debe colocar 1 ml.
7. El peso que se debe añadir para generar la fuerza contra el disco se puede observar en la Tabla 9.
8. Iniciar la rotación del disco. El disco debe rotar a una velocidad periférica de 245rpm o 2.5m/s (ver Tabla 10 para la configuración de la frecuencia).
9. Al finalizar el ensayo, se debe quitar la probeta de la máquina. La probeta se debe limpiar, secar y volver a pesar. Sacar la arena húmeda del tanque y botarla.
10. Utilice el mismo procedimiento, repitiendo los pasos 1-8 con discos de dureza 60 y 70, para incrementar la severidad del ensayo.

## 11. Registrar los resultados obtenidos

Es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a. Se recomienda que el disco sea re-vestido cuando se acumulen aproximadamente 6.000 revoluciones. Se ha demostrado que más de 6.000 revoluciones pueden afectar la reproducibilidad de los resultados.
- b. Si el caucho presenta ranuras o genera marcas desiguales o trapezoidales debe ser cambiado.
- c. El disco del caucho puede ser usado hasta que el diámetro sea reducido a 165 mm (6.5in.). La duración del caucho no debe exceder 2 años.  
  
Almacenar los discos de manera que no se ejerza ningún tipo de fuerza sobre el caucho.

### **3.4.3 Procedimiento ASTM B611**

1. Antes de realizar las pruebas, desmagnetizar la probeta. Luego, limpiar la probeta de manera que quede libre de suciedades, en caso de que sea necesario desengrasar con acetona antes de pesarla. Asegurarse que la probeta tenga las medidas especificadas en la Tabla 8.
2. Pesar la probeta con una precisión de 0,0001g.
3. Poner la probeta en el brazo levantado: colocar la probeta en el brazo sin tocar la superficie que será analizada.
4. El peso que se debe añadir para generar la fuerza contra el disco se puede observar en la Tabla 9
5. Preparar la alúmina húmeda: colocarla en el tanque una vez que la probeta esté colocada contra el disco. El nivel de la alumina debe ser entre 25 y 30mm abajo del centro del disco. Se debe determinar el peso de la arena utilizada para llenar el tanque poniendo la arena en un contenedor que haya sido pesado: vacío y con

la arena. La alúmina húmeda tiene una relación abrasiva de 4g de arena por cada mililitro de agua. El agua destilada debe ser agregada en el tanque cuando empiece a rotar el disco. Es necesario utilizar nueva alumina húmeda para cada prueba realizada.

6. La velocidad de la rueda debe ser 50rpm o 100rpm dependiendo del procedimiento utilizado. Ver la Tabla 10 para la configuración de la frecuencia.
7. La correcta preparación de alúmina húmeda se presenta si es posible observar cómo la arena pasa por el disco y si se escucha un sonido debido al contacto generado por el disco, la probeta y la arena.
8. Pesar la probeta luego de la prueba. La probeta y el tanque deben ser lavados para remover impurezas. Se debe pesar la probeta con una precisión de  $\pm 0.001\text{g}$  y calcular la pérdida de masa.

### **3.5 Resultados**

Luego de hablar sobre los procedimientos de cada norma, se realizan pruebas para comprobar el funcionamiento correcto de la máquina, para lo cual se realiza una prueba de desgaste a un acero ASME A36 obteniéndose lo siguiente:



**Figura 31** Desgaste acero ASME A36

En la Figura 31 se muestra el desgaste realizado con la máquina, este comparado con la Figura 30, se puede decir que el desgaste es uniforme por lo que la máquina esta trabajando correctamente.

Después de realizar el análisis de funcionamiento se realizan pruebas ya teniendo en cuenta el peso inicial y después de realizar el desgaste se tiene la siguiente información:

<b>Prueba de desgaste abrasivo</b>							
ASTM:	G65	Pruebas realizadas por: David Acurio					
Procedimiento:	A	Fecha: 18/5/15					
<b>Datos de la prueba</b>							
Descripción del material	Acero ASME A 36	Diámetro del disco [mm]				228.6	
Tratamiento térmico:	NO	Ancho del disco [mm]				12.7	
Preparación de la superficie:	LISA						
<b>Prueba No.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Dureza [Shore A]	<b>58,5</b>						
Peso aplicado [Kg]	<b>3</b>						
Revoluciones del disco [RPM]	<b>200</b>						
Flujo de arena [g/min]	<b>200</b>						
Masa inicial [g]	<b>121,6</b>						
Masa final [g]	<b>114</b>						
Pérdida de masa [g]	<b>7,6</b>	0	0	0	0	0	0
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	<b>7,85</b>						
Pérdida de volumen, mm <sup>3</sup> (pérdida de masa/densidad)x1000	<b>968,2</b>						
Pérdida de volumen Ajustado (mm <sup>3</sup> ) = (pérdida de volumen medida * (228.6/diámetro del disco luego del uso)							
Comentarios:							

**Tabla 11 Formato de resultados obtenidos**

En la Tabla 11 se obtuvo como resultado un pérdida de volumen de 968,15 mm<sup>3</sup> y según la norma (ASTM, 2007) para un desgaste de un acero K4340 con características de mayor dureza se obtuvo una pérdida de volumen de 310 mm<sup>3</sup> por lo que la máquina está realizando un desgaste mayor en aceros suaves.



#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen varios puntos a concluir, después de realizar el diseño, construcción y pruebas, estos son:

- La máquina diseñada permite realizar pruebas de abrasión según tres normas internacionales. La incorporación de las tres normas en una sola máquina fue posible debido a que en las tres normas existen parámetros parecidos.
- En las tres normas las principales diferencias, en cuanto al diseño, son los discos, las velocidades y el número de vueltas a las que debe parar el motor. Por lo tanto, el diseño cuenta con la facilidad de cambiar los discos de manera rápida. Se ha implementado un mecanismo que permite el cambio de dimensión del disco, cumpliendo con lo establecido en las normas. Sin embargo, hay que tener precaución al momento de instar los discos ya que siempre deben estar alineados con el eje. Además, se diseñó un sistema de control de velocidades que permite adaptar la máquina a cada una de las tres normas. El diseño del control electrónico permite visualizar el número de vueltas según las especificaciones de la norma. Es decir, se han tomado en cuenta las principales diferencias para hacer las adaptaciones necesarias en el diseño de la máquina.
- En cuanto a la construcción se puede concluir que es importante contar con buenas herramientas de trabajo para poder obtener la precisión y tolerancias deseadas.
- Es importante mencionar que aun cuando la máquina ha sido construida bajo todos los parámetros especificados por la norma, el operario y los

agentes abrasivos utilizados pueden ingresar una variación en los resultados obtenidos.

- Se recomienda que el operador lea con precaución los procedimientos establecidos en el presente trabajo para que las pruebas realizadas sean óptimas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Callister, W. D. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* (Vol.

I). Barcelona, España: REVERTE.

MICROTEST. (2014). *Microtest*. Obtenido de Products:

<http://www.microtest.com.tw/index.html>

Totten, G. E. (2006). *Handbook of Lubrication and Tribology* (Segunda ed., Vol. I).

Estados Unidos: CRC Press.

Flores, N., & Figueroa, J. (2007). *Física moderna*. México: PEARSON.

Pérez, A. (1993). *Wear resistance of Pearlitic Rail Steels*. Reino Unido: University of

Leicester.

Bushan, B., & Gupta, B. (1997). *Handbook of Tribology, Materials, Coatings, and*

*Surface Treatments*. Krieger Pub Co.

Treviño, M. (2004). *Desarrollo de una metodología para pruebas de erosión*. México:

Universidad Autónoma Nuevo León.

Rabinowicz, E. (2013). *Friction and Wear of Materials*. Wiley.

JVM. (2014). *JVM Rodillos*. Obtenido de JVM Rodillos de tracción - en servicio en

todo el mundo en multitud de aplicaciones: <http://www.jvm->

[industries.com/es/programm\\_zugrollen.html](http://www.jvm-industries.com/es/programm_zugrollen.html)

Peterson, M., & Winer, W. (1980). *Wear Control Handbook*. New York: ASME.

ASTM. (2007). *ASTM International*. Recuperado el Diciembre de 2014, de ASTM

G105 Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion

Tests: <http://www.astm.org/Standards/G105.htm>

ASTM. (2010). *ASTM International*. Recuperado el Diciembre de 2014, de ASTM G65

Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber

Wheel Apparatus: <http://www.astm.org/Standards/G65.htm>

ASTM. (2013). *ASTM International*. Recuperado el Diciembre de 2014, de ASTM

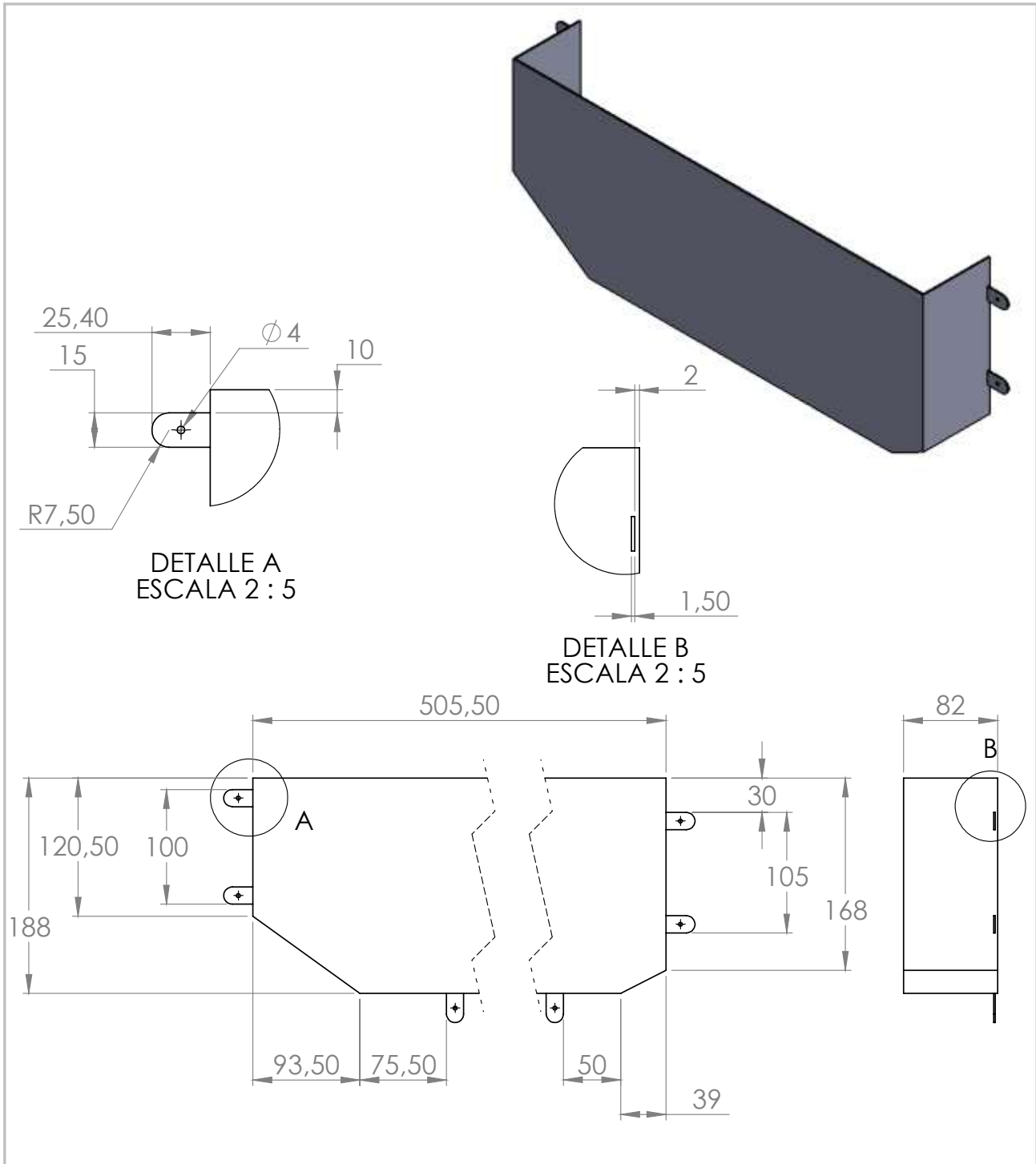
B611 Standard Test Method for Determining the High Stress Abrasion

Resistance of Hard Materials: <http://www.astm.org/Standards/B611.htm>

Budinski, K. G. (1988). *Surface Engineering for Wear Resistance*. New York: Prentice Hall.

## **4. ANEXOS**

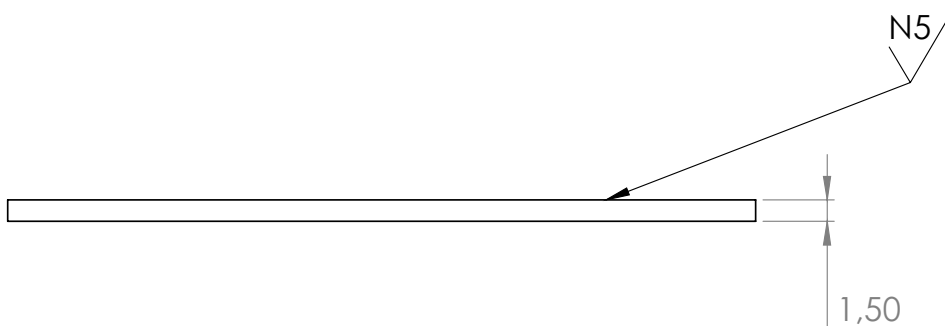
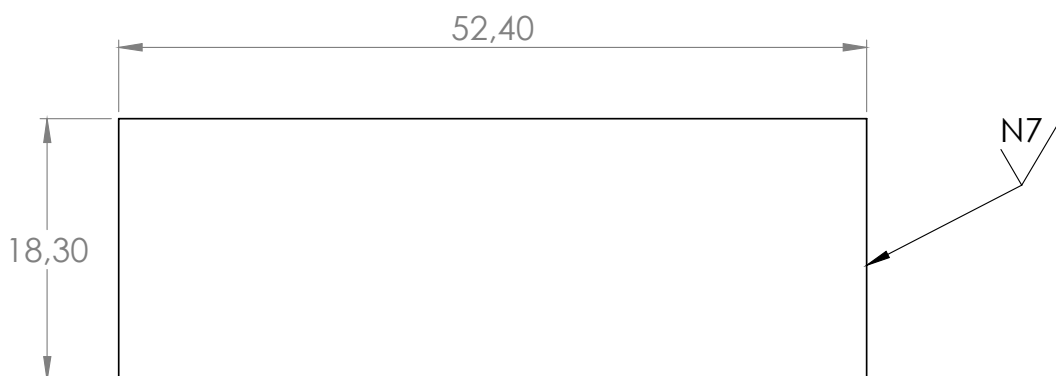
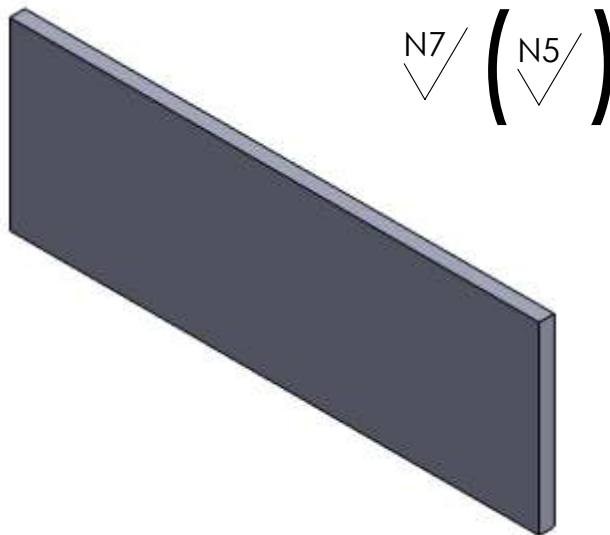
### **ANEXO 1**



NOTA:  
Perforaciones al centro

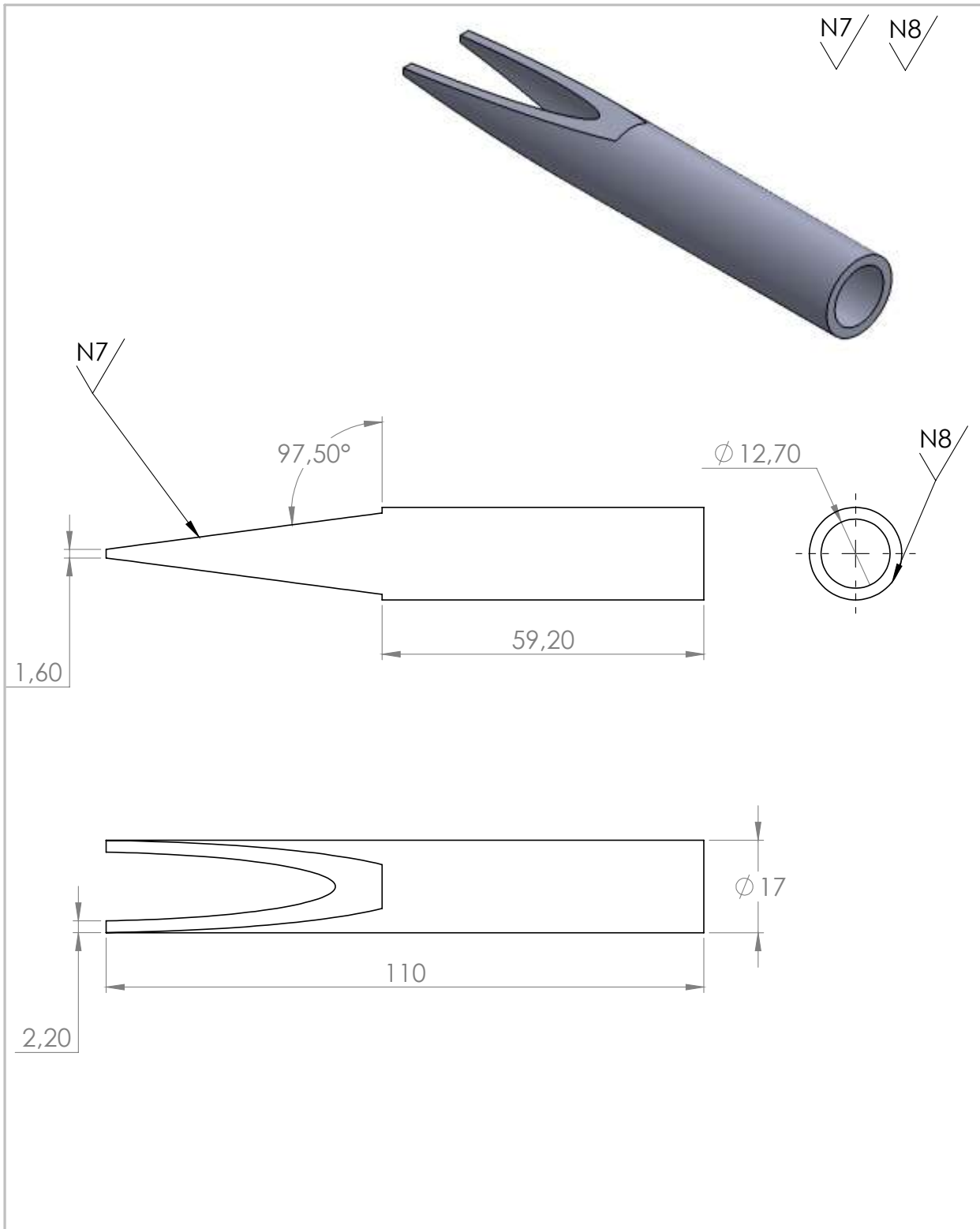
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Dib.	David Acurio	
Plancha Acero ASME A36, espesor 1.5mm	+0.5	1:5	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
VESSEL		MAQ-ABR-01-V001			Fecha: 15/03/2015


1.2 Tobera de Arena Placas



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Dib.	David Acurio	
Plancha Acero A36, espeso 3mm	+0.5	2:1	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
TAPA TOBERA		MAQ-ABR-01-TTB01			Fecha: 15/03/2015

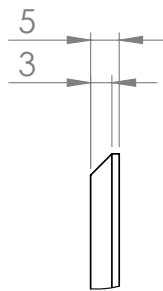
### 1.3 Tobera de arena Placas



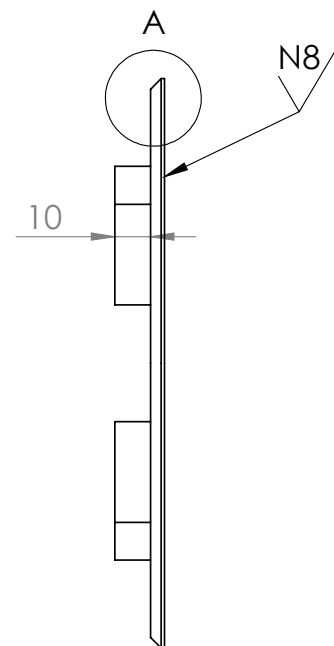
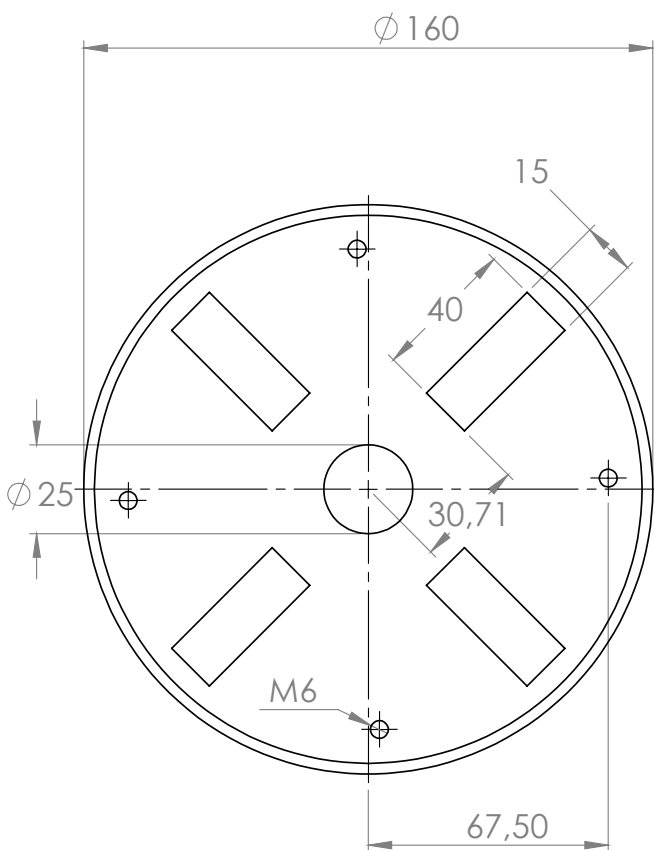
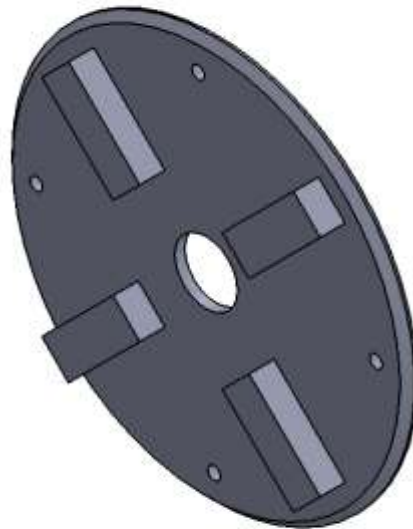
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material: EJE AISI 1045, Esperor 20 mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:1	Dib. Rev. Apro.	David Acurio David Acurio Lorena Bejarano	
SAND NOZZLE		MAQ-ABR-01-SN-01		Fecha: 15/03/2015	



N8

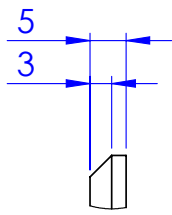


DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

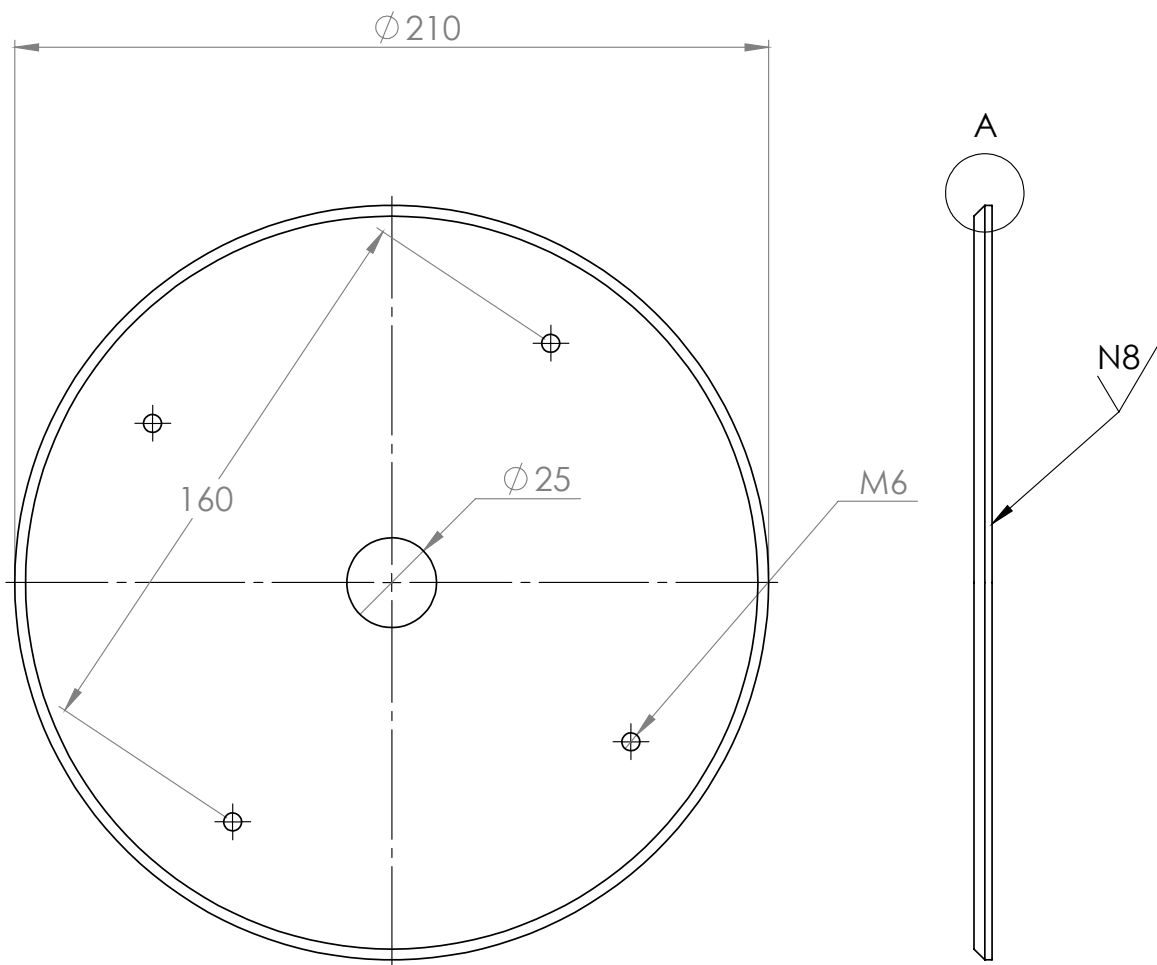
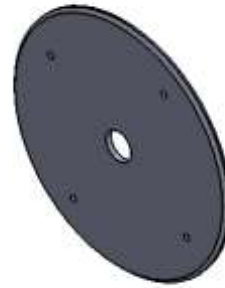


Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Dib.	David Acurio	
Plancha ASTM A36, esperor 6mm	+0.5	1:2	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
TAPA DISCO ASTM G105 B		MAQ-ABR-01-TDG105B			Fecha: 15/03/2015

N8

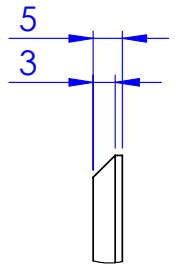


DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

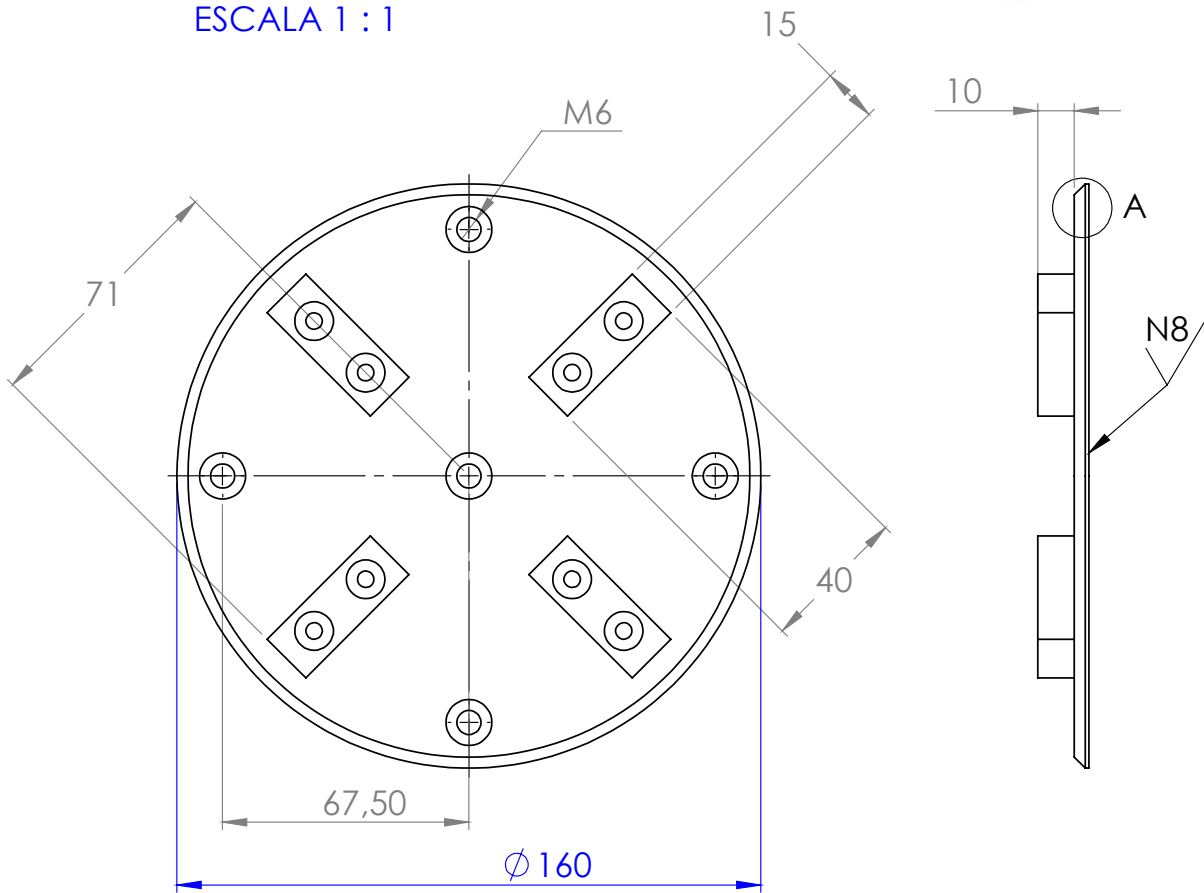
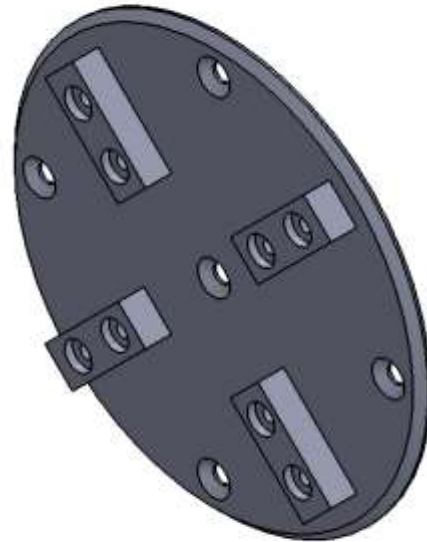


Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material: EJE AISI 1045, Esperor 8 mm	Tol. Gral: +-.0.5	Escala: 1:2	Dib. Rev. Apro.	David Acurio David Acurio Lorena Bejarano	
TAPA DISCO ASTM G65-B		MAQ-ABR-01-TDG65B			Fecha: 15/03/2015

N8



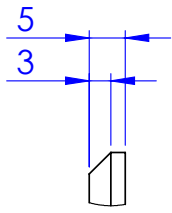
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



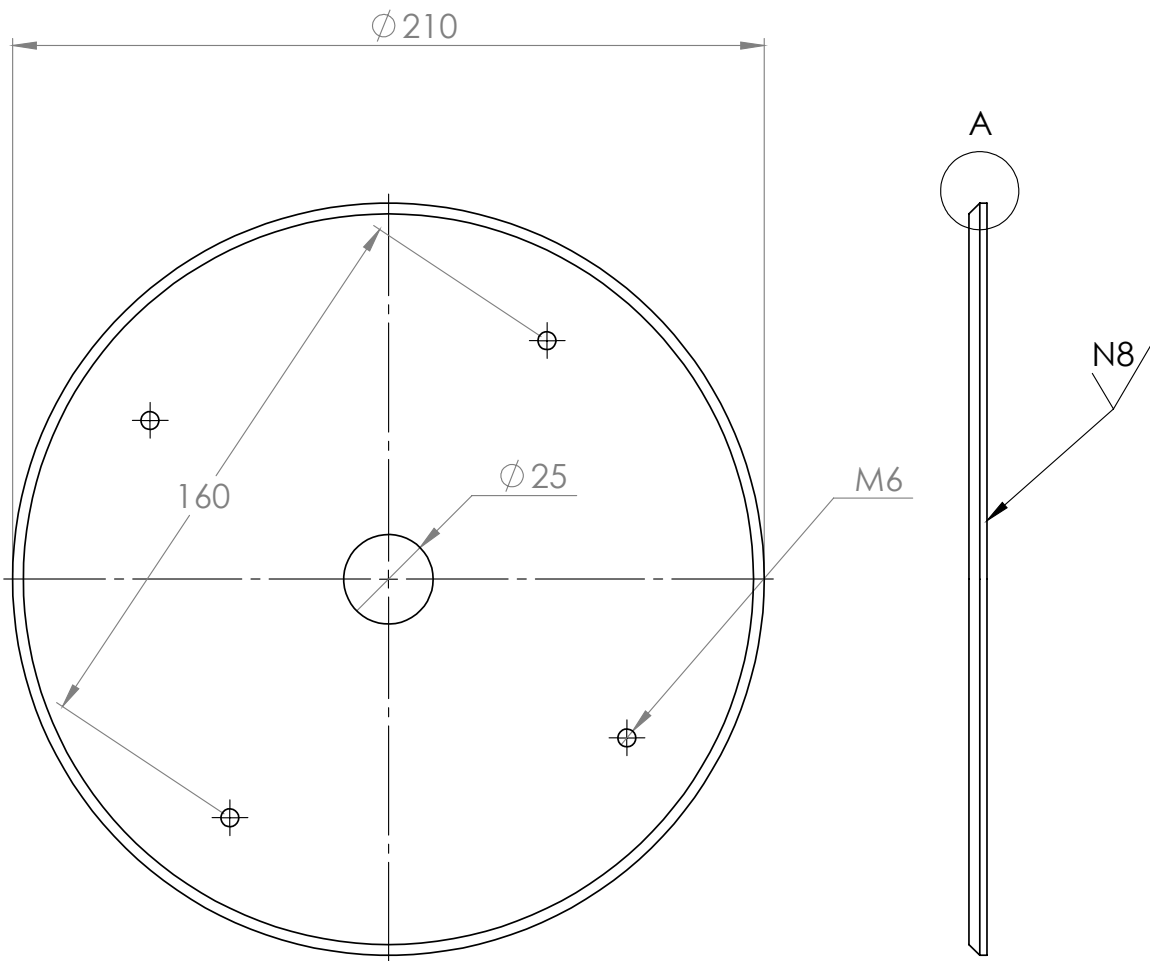
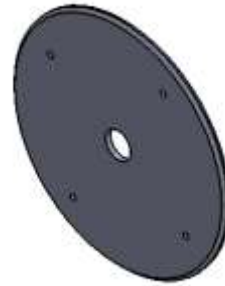
NOTA:  
PERNOS CABEZA AVELLANADA M6  
CHAFLEN 3 mm

Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio	
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Rev.	David Acurio	
Plancha ASTM A36, Esperor 6 mm	+0.5	1:2	Apro.	Lorena Bejarano	
TAPA DISCO ASTM G105-A		MAQ-ABR-01-TDG105A			Fecha: 15/03/2015

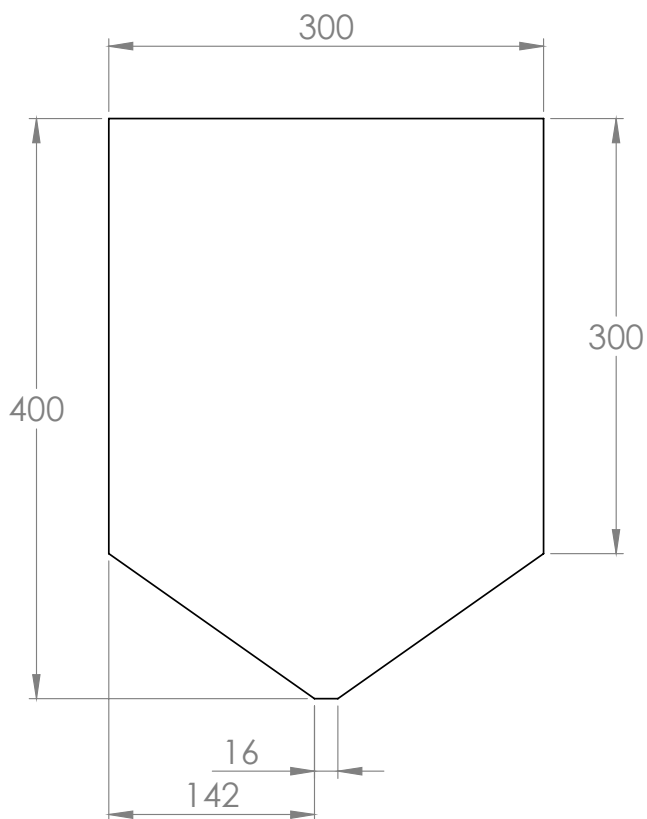
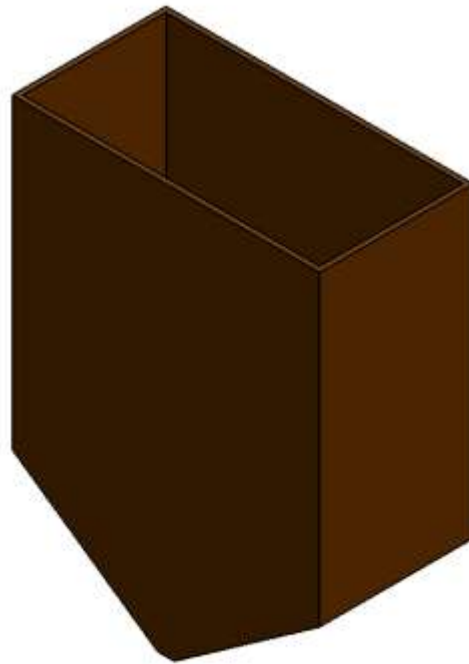
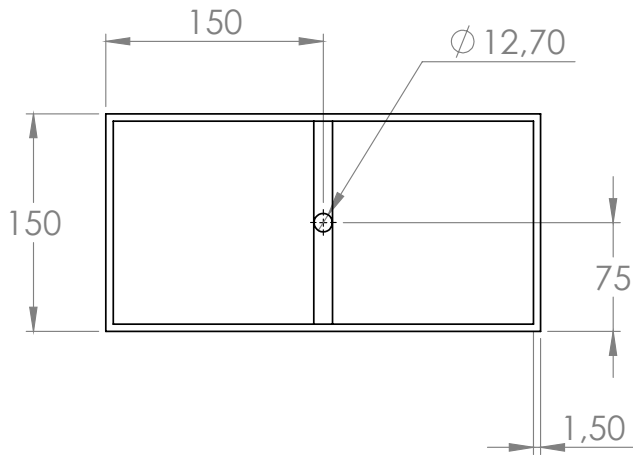
N8



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



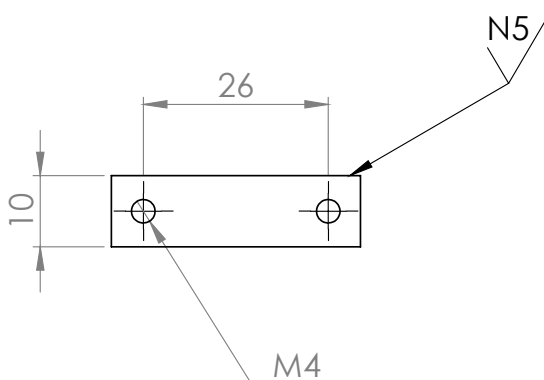
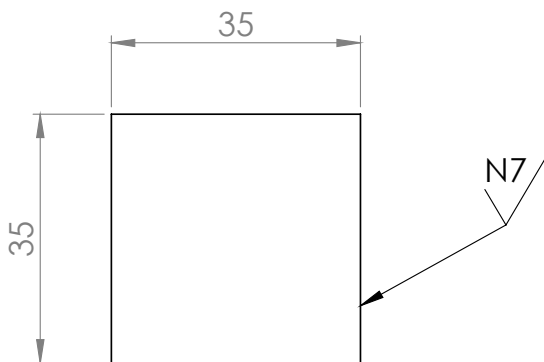
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio	
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Rev.	David Acurio	
EJE AISI 1045, Esperor 8 mm	+0.5	1:2	Apro.	Lorena Bejarano	
TAPA DISCO ASTM G65-B		MAQ-ABR-01-TDG65B			Fecha: 15/03/2015



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 1.5mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:2	Rev.	David Acurio
			Apro.	Lorena Bejarano
			TANQUE ARENA	

1.9 Sujeta Tobera B

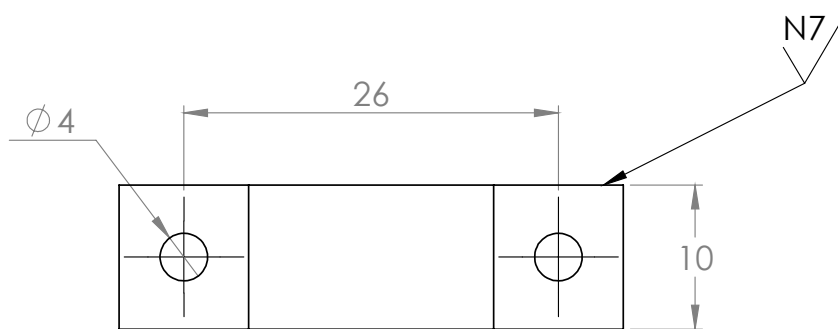
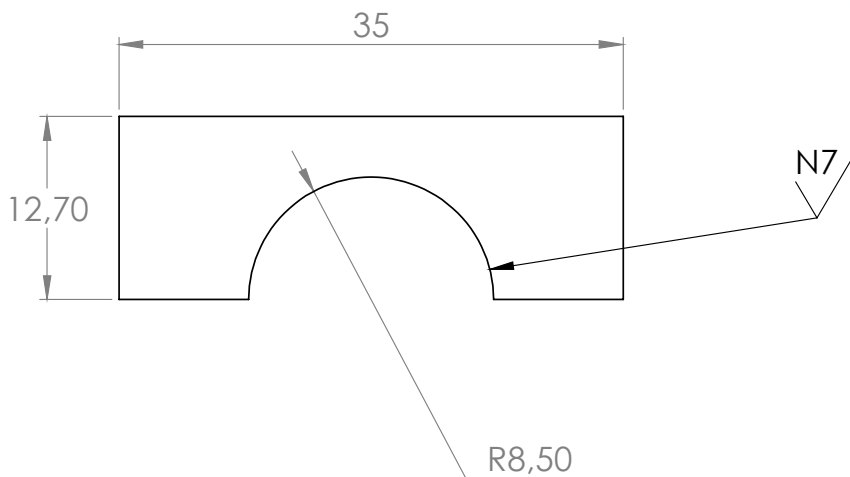
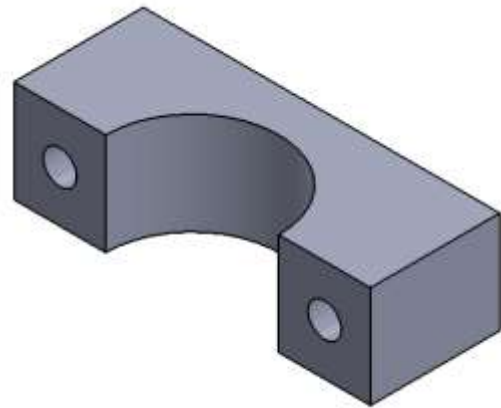
N7/ ( N5/ )



NOTA:  
 Eliminar aristas vivas.  
 Perforaciones pasantes

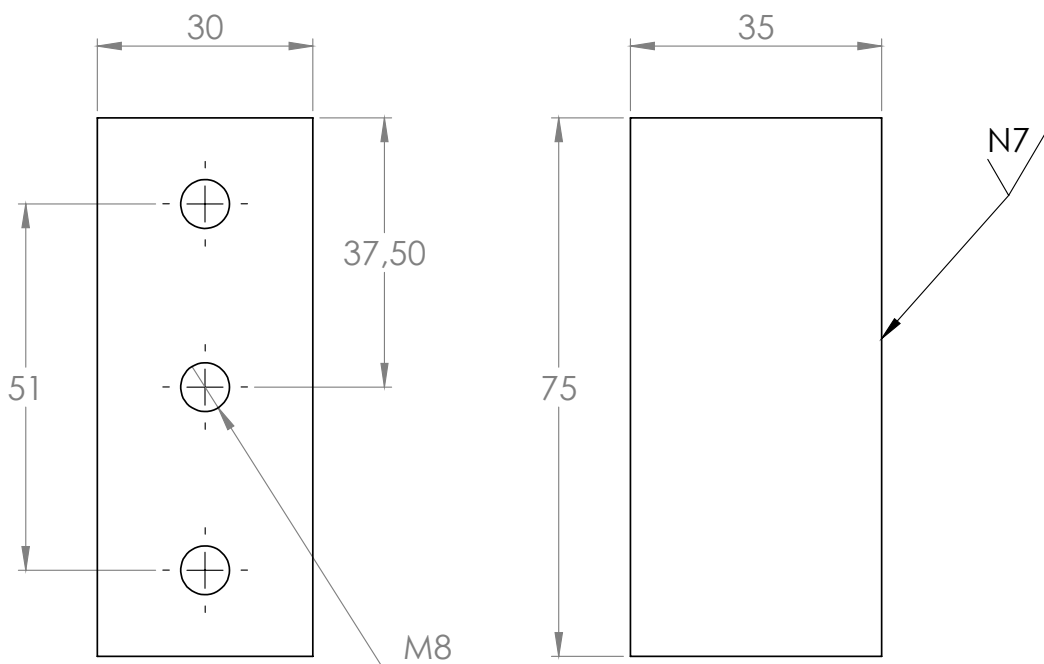
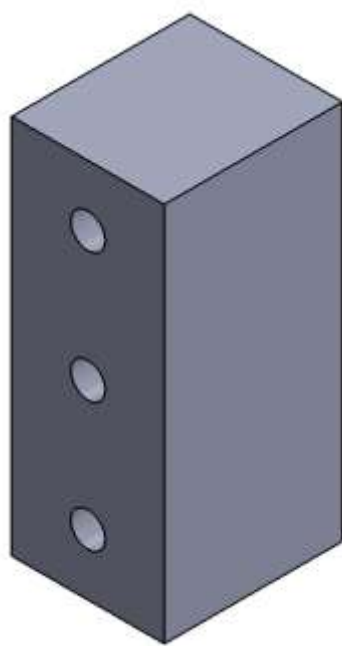
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio	
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 12mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:1	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
			Fecha: 15/03/2015		
PORTA TOBERA PARTE B		MAQ-ABR-01-PTB-02			

N7



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 20mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 2:1	Dib.	David Acurio	
			Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
PORTA TOBERA PARTE A		MAQ-ABR-01-PTB-01			Fecha: 15/03/2015

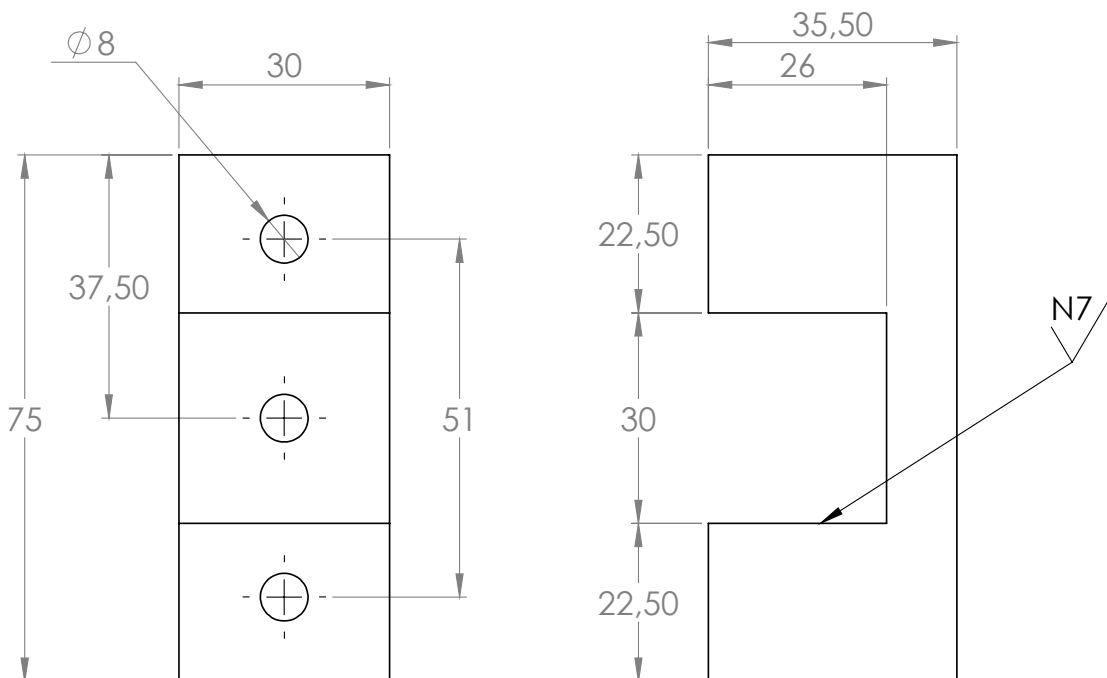
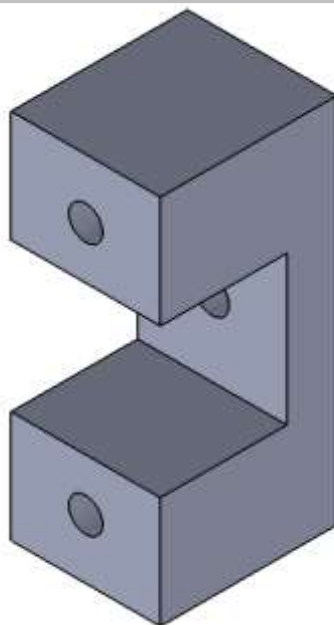
**1.11 Sujeta Brazo B**



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura			
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 40mm	Tol. Gral: +/-0.5	Escala: 1:1	Dib. Rev. Apro.	David Acurio David Acurio Lorena Bejarano
SUJETA BRAZO PARTE B		MAQ-ABR-01-SB-02		Fecha: 15/03/2015



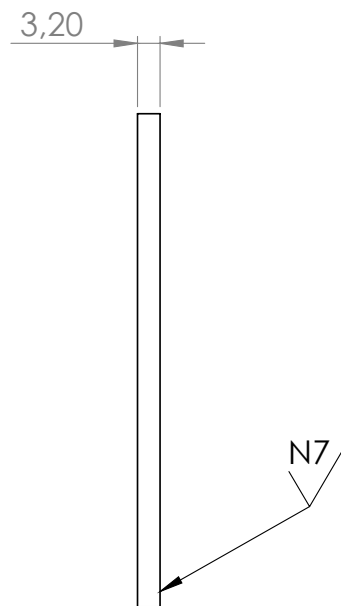
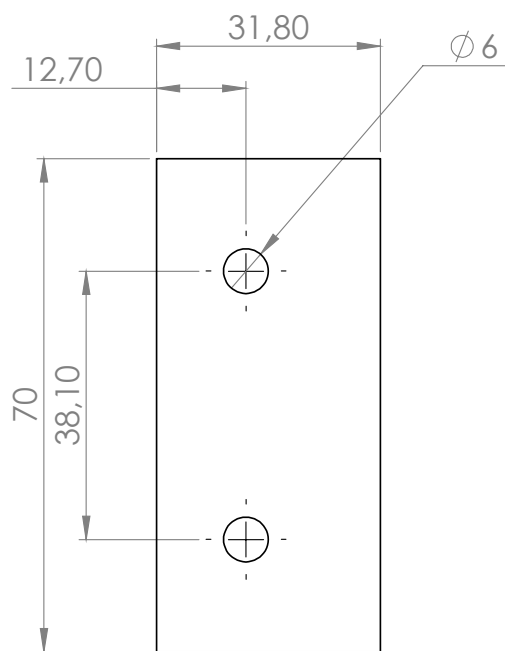
1.12 Sujeta Brazo A



NOTA:  
Perforaciones pasantes.  
Eliminar aristas vivas.

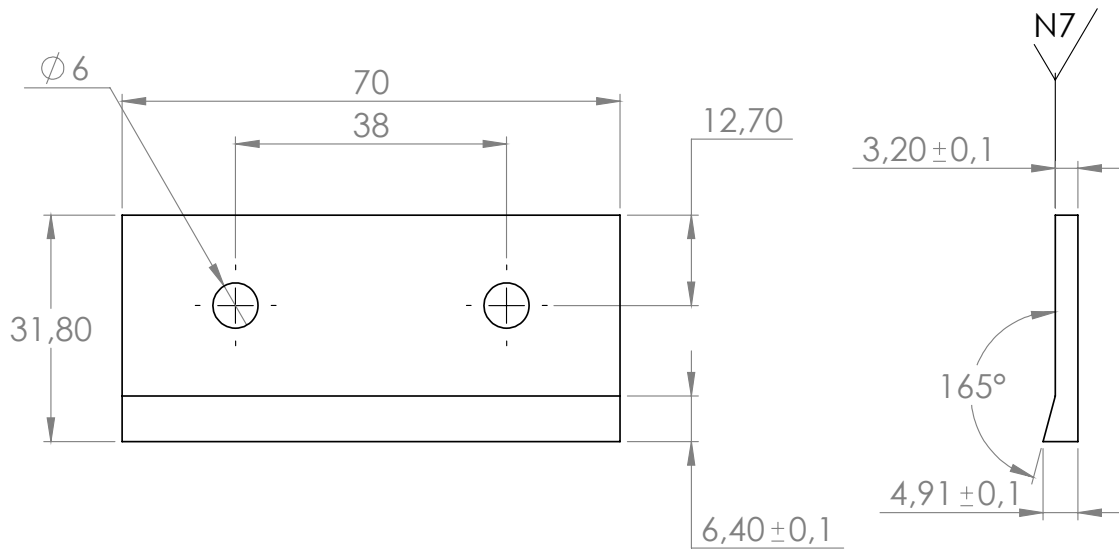
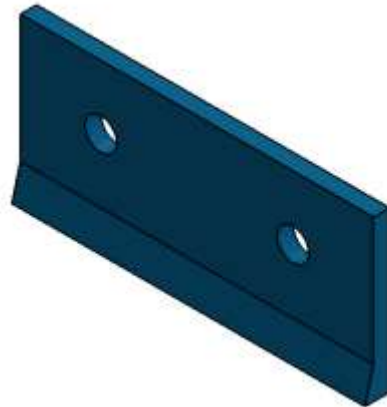
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio	
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 40mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:1	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
			SUJETA BRAZO PARTE A		MAQ-ABR-01-SB-01

### 1.13 Porta Probeta Sujetador B



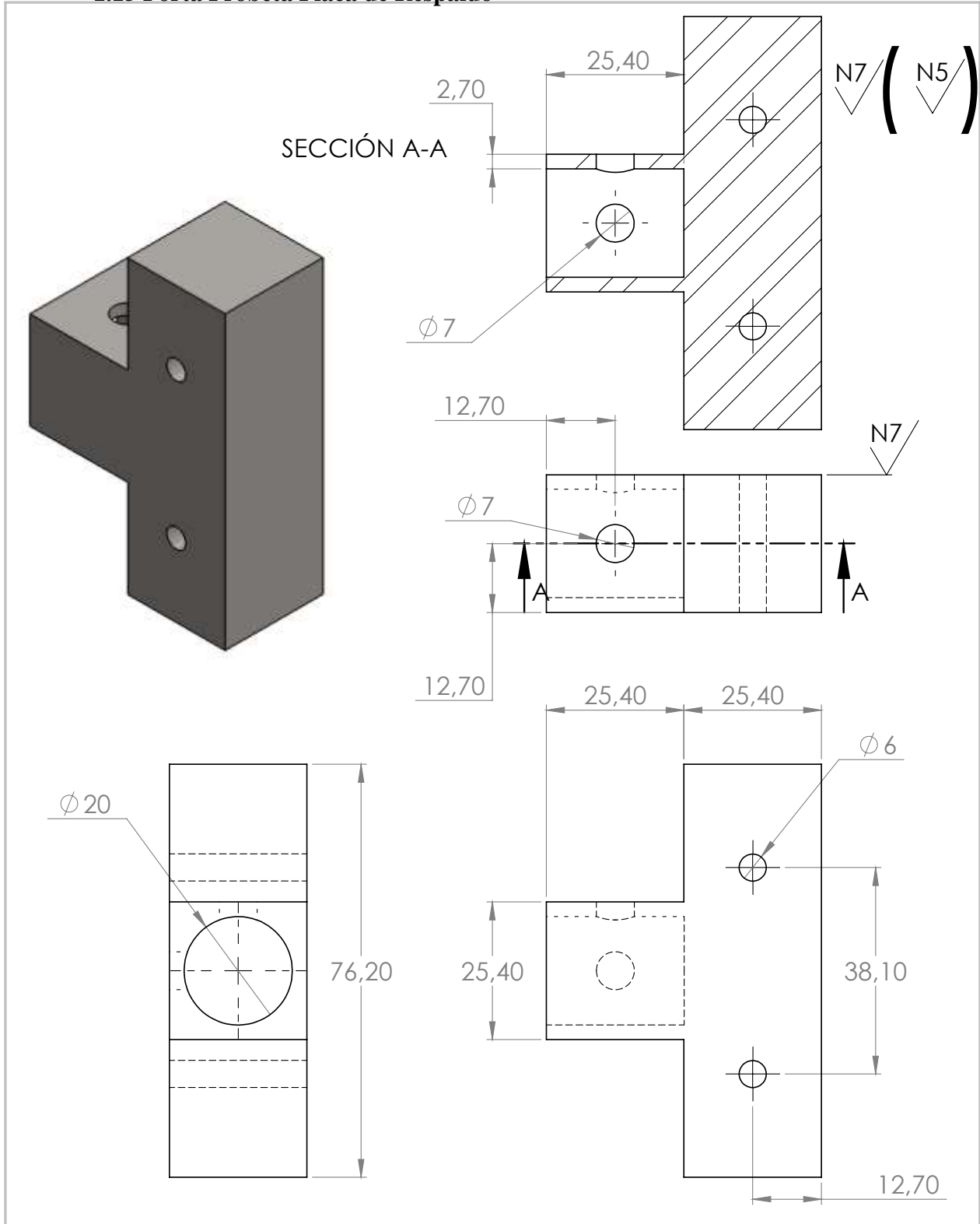
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	David Acurio	
Material: Plancha Acero A36, Esperor 5	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:1	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
HOLDING LUG 01		MAQ-ABR-01-HL01			Fecha: 15/03/2015

N7



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno				
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Dib.	David Acurio	
PLANCHA ACERO A36, Esperor 5mm	+0.5	1:1	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
HOLDING LUG 2		MAQ-ABR-01-HL02			Fecha: 15/03/2015

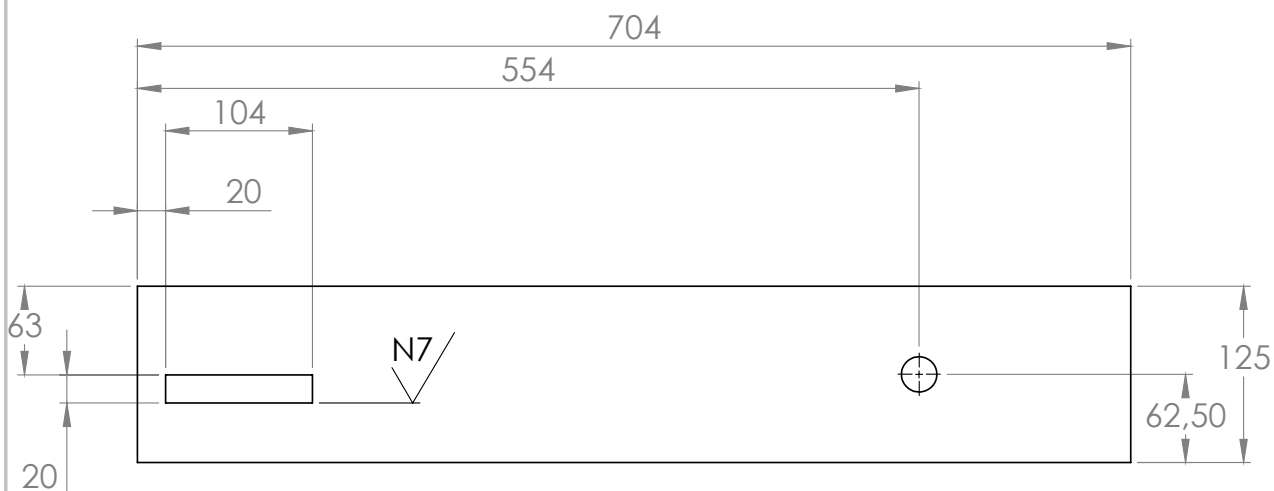
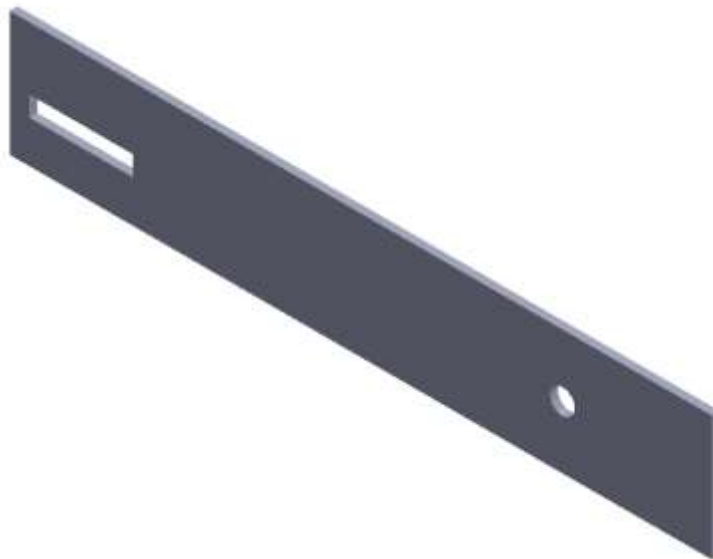
1.15 Porta Probeta Placa de Respaldo



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	David Acurio
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 27mm	Tol. Gral: +/-0.5	Escala: 1:1	Rev.	David Acurio
			Apro.	Lorena Bejarano
			Fecha: 15/03/2015	
PLACA DE RESPALDO		MAQ-ABR-01-HL03		

1.16 Placa Porta Motor

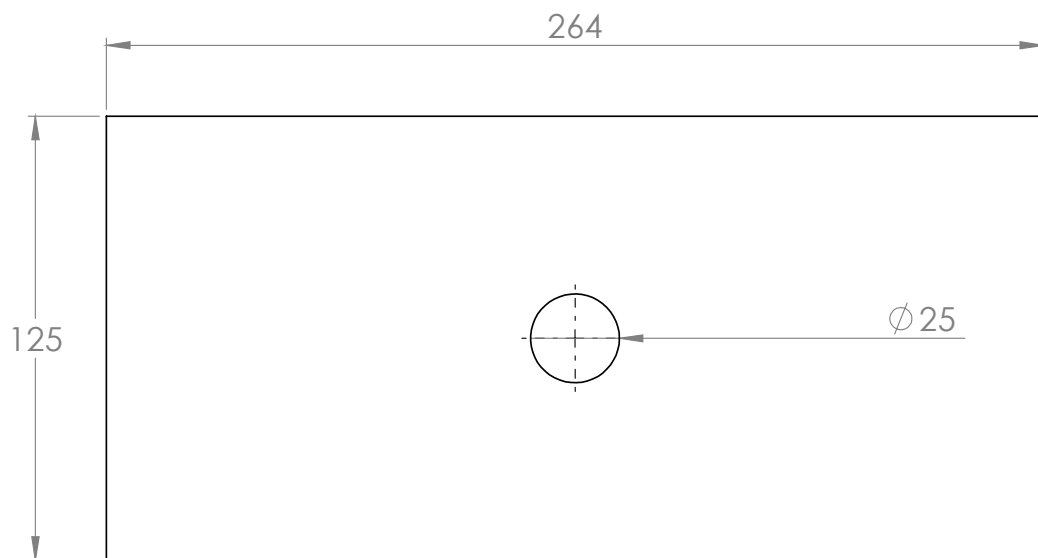
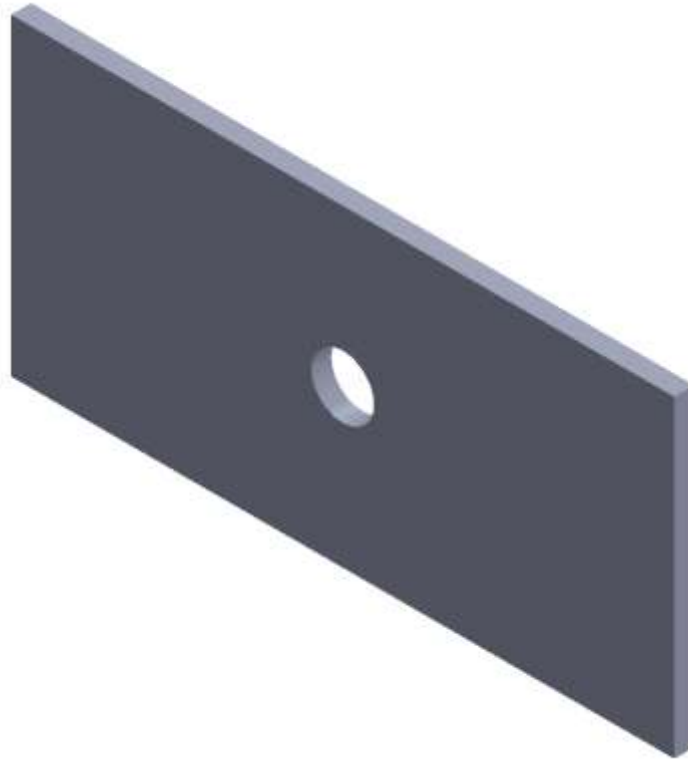
N7/



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio	
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 8mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:2	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
			PLACA CUERPO MAQ SUPERIOR		MAQ-ABR-01-CM-06

### 1.17 Placa Cuerpo Máquina Superior

N7

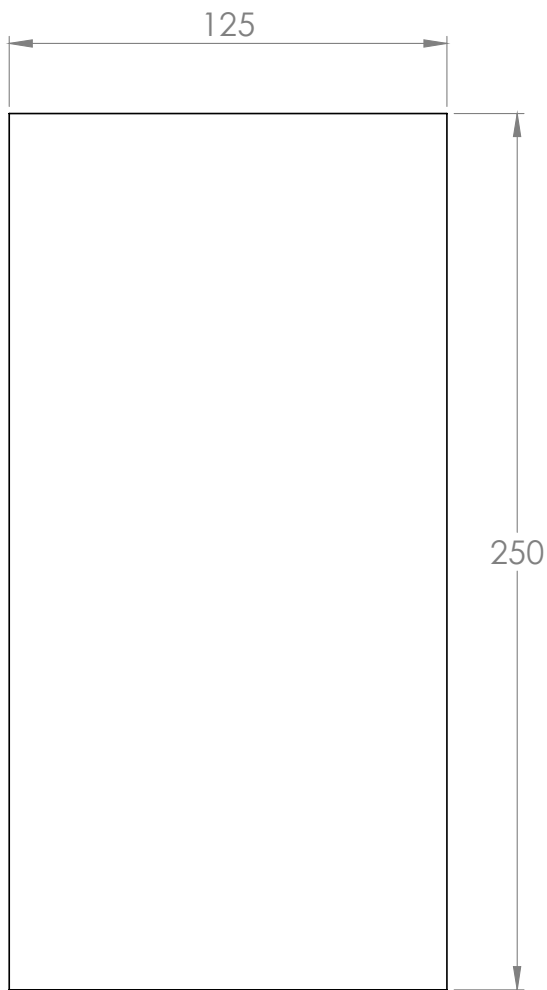



**NOTA:**  
PERFORACION AL CENTRO

Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 8mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:2	Rev.	David Acurio
			Apro.	Lorena Bejarano
PLACA CUERPO MAQ POSTERIOR		MAQ-ABR-01-CM-05		Fecha: 15/03/2015

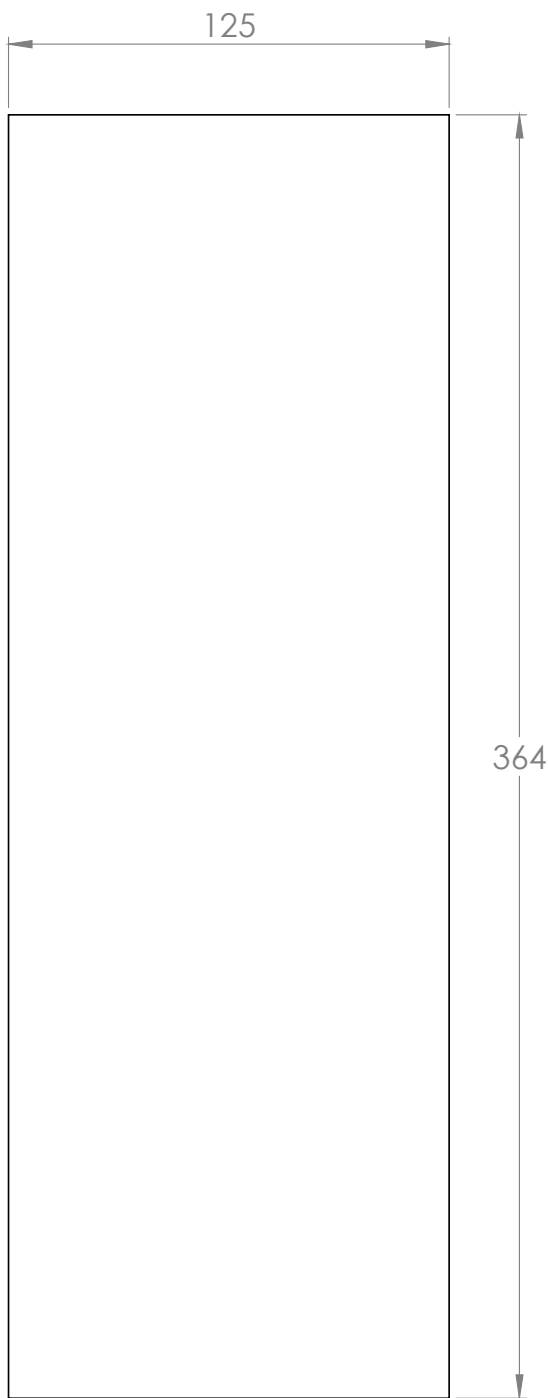
## 1.18 Placa cuerpo máquina posterior

N7



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio	
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 8mm	Tol. Gral: +-0.5	Escala: 1:2	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
PLACA CUERPO MAQ. LAT-IZQ-INF		MAQ-ABR-01-CM-04			Fecha: 15/03/2015

**1.19 Placa cuerpo máquina lat. Izquierda**



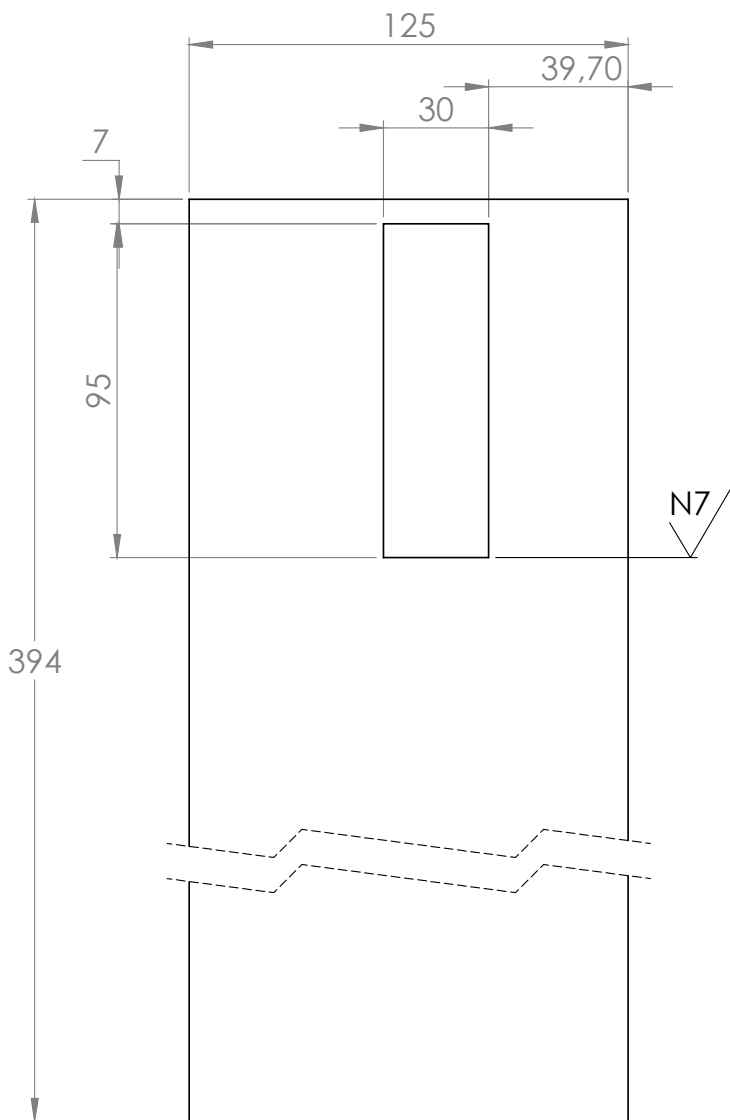
N7

Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura		Dib.	David Acurio
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 8mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:2	Rev.	David Acurio
			Apro.	Lorena Bejarano
PLACA CUERPO MAQ LAT-IZQ		MAQ-ABR-01-CM-03		Fecha: 15/03/2015



1.20 Placa cuerpo máquina lat. Inf. Izquierda

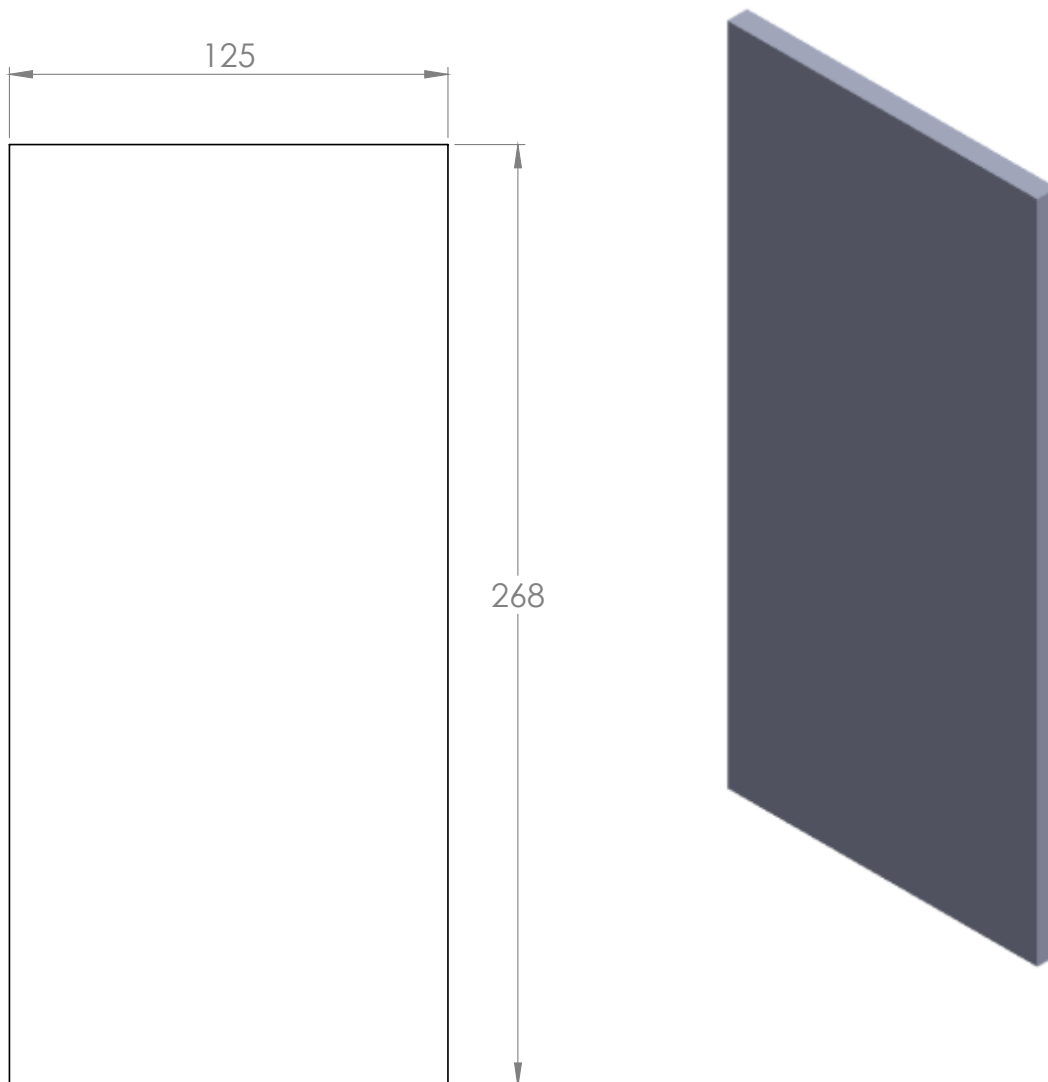
N7



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material:	Tol. Gral:	Escala:	Dib.	David Acurio	
Plancha Acero A36, esperor 8	+0.5	1:2	Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
PLACA CUERPO MAQUINA LAT-DER		MAQ-ABR-01-CM-01			Fecha: 15/03/2015

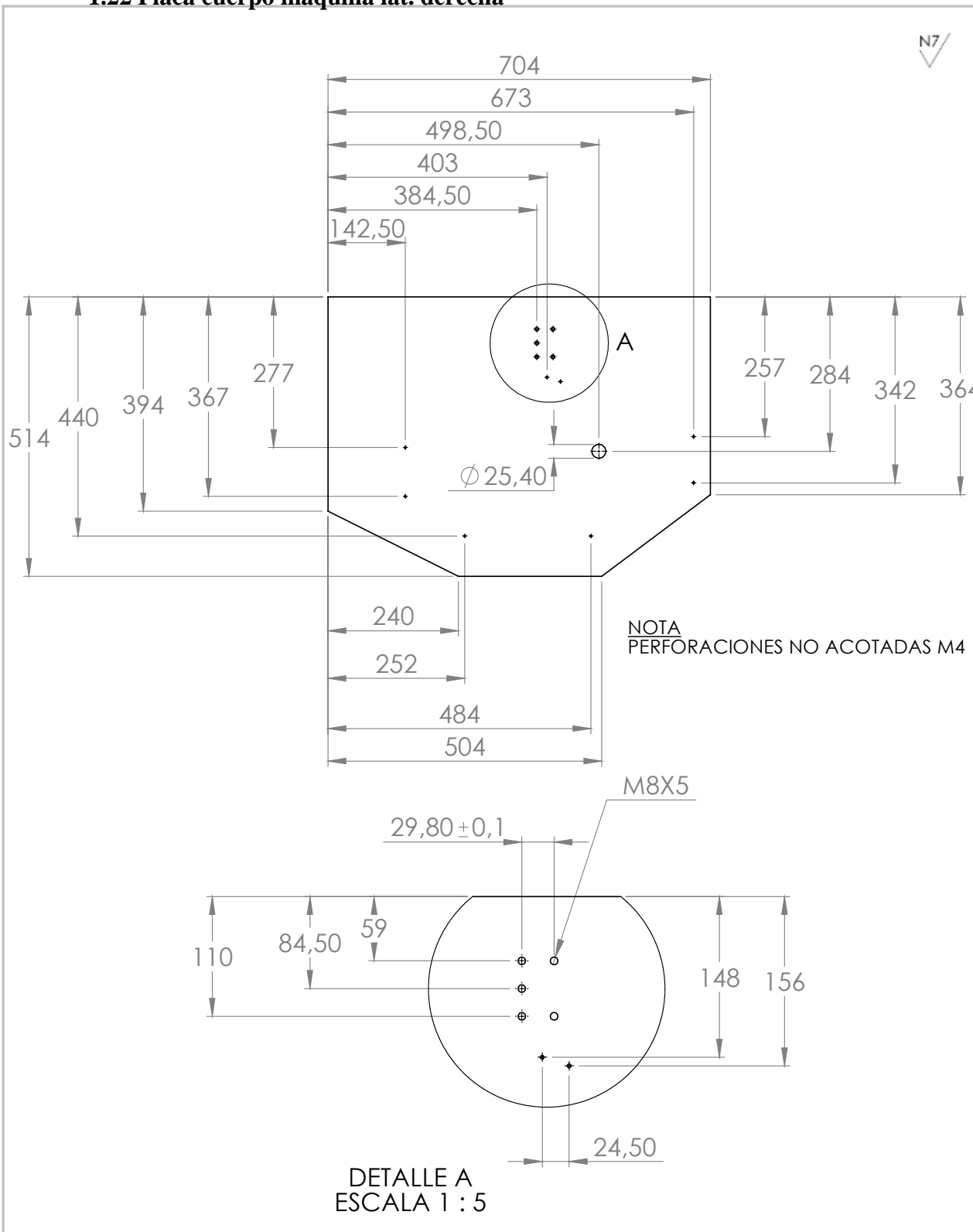
## 1.21 Placa cuerpo máquina lat. Inf. Derecha

N7



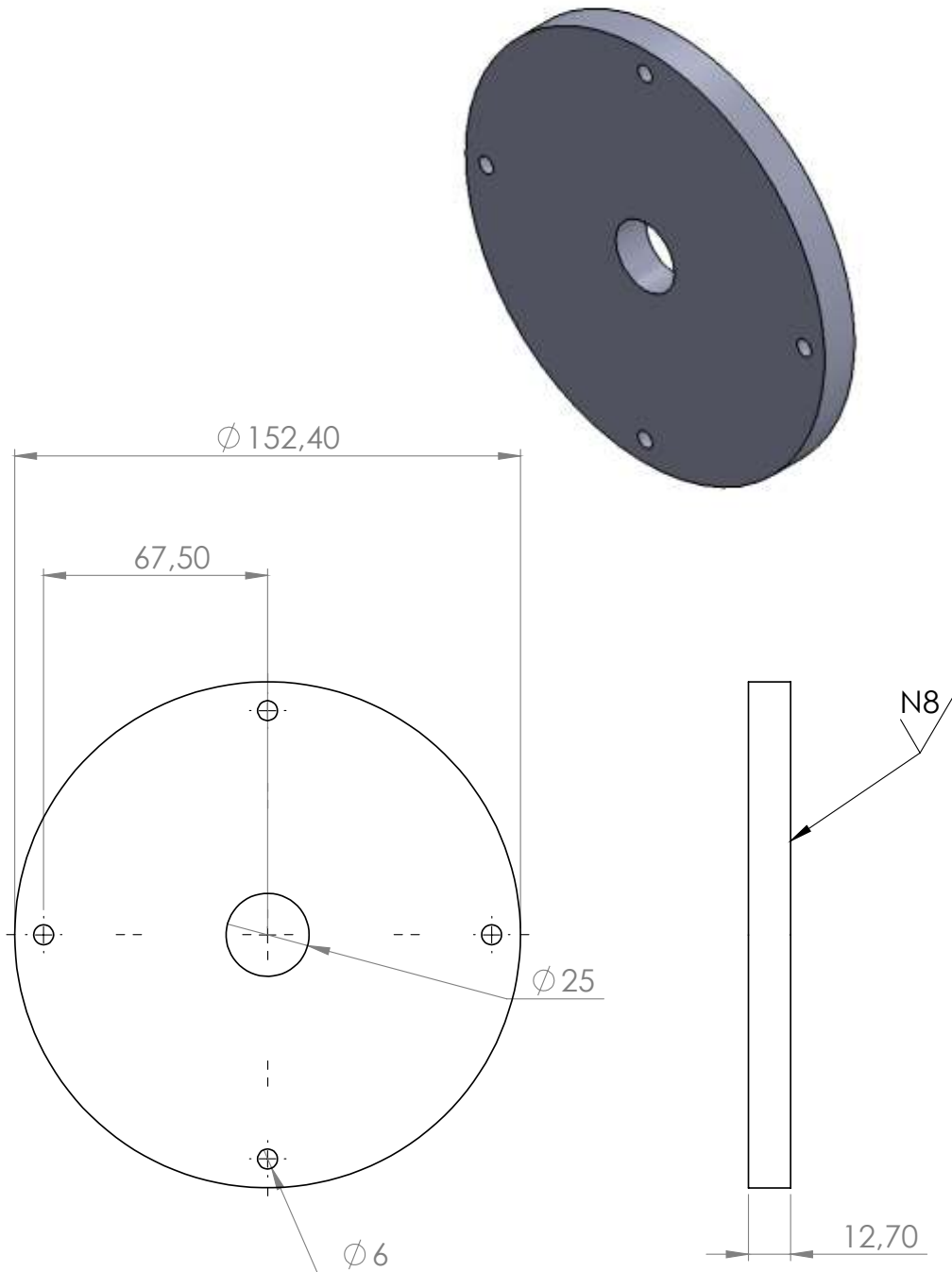
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 8mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:2	Dib.	David Acurio	
			Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
PL. C. MAQUINA LAT. DER INF		MAQ-ABR-01-CM-02			Fecha: 15/03/2015

1.22 Placa cuerpo máquina lat. derecha



Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Pintura			
Material: Plancha Acero al Carbono ASTM -A36, espesor 8mm	Tol. Gral: +/-0.5	Escala: 1:10	Dib. David Acurio	
			Rev. David Acurio	
			Apro. Lorena Bejarano	
PLACA CUERPO MAQUINA-A		MAQ-ABR-01-CM-0A		Fecha: 15/03/2015

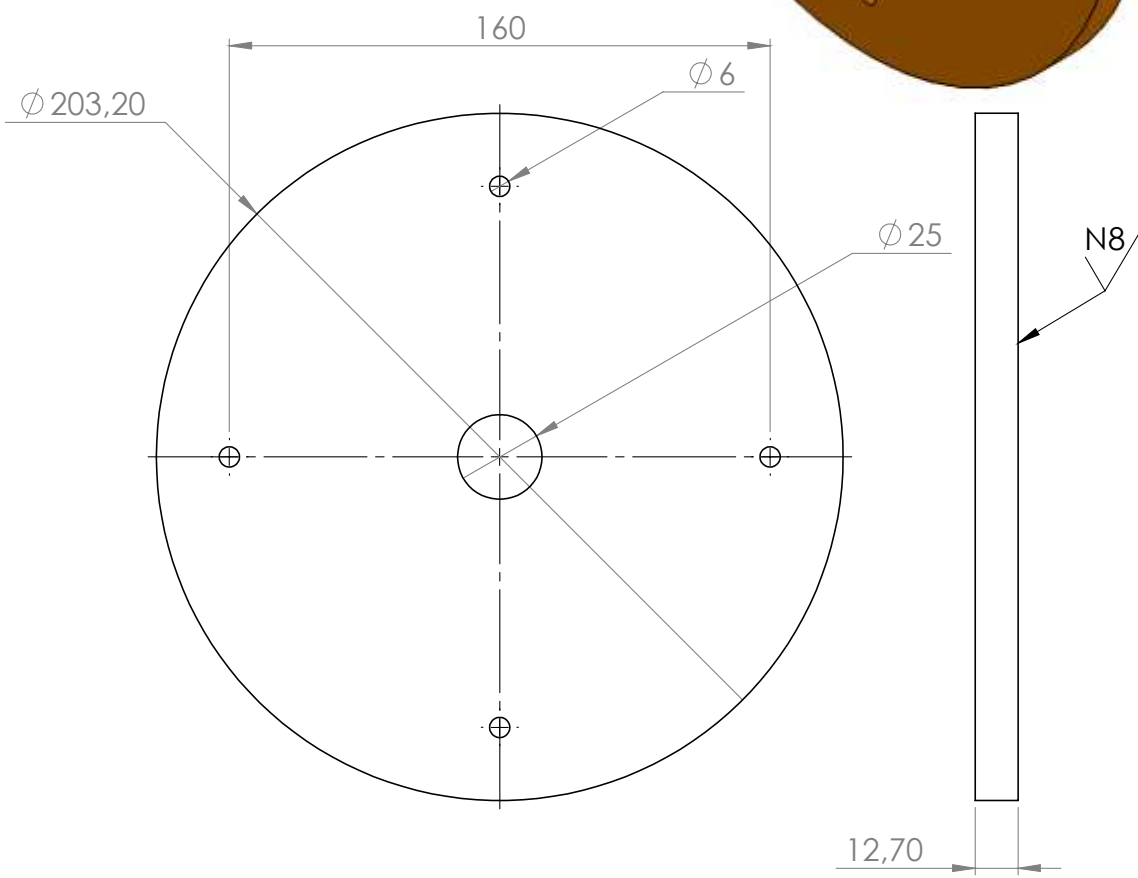
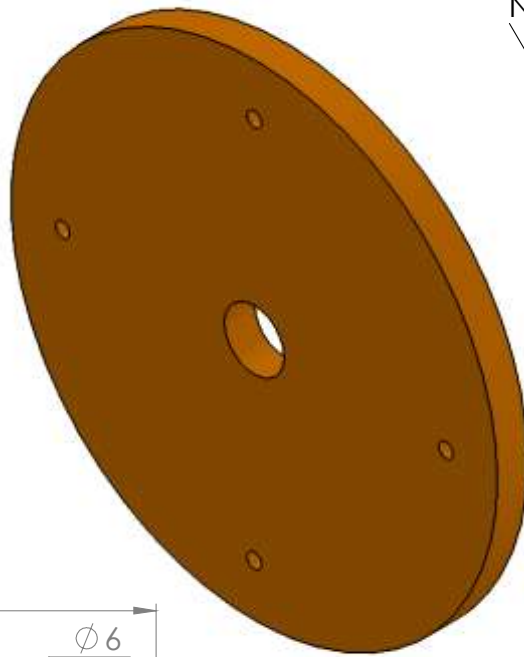
N8



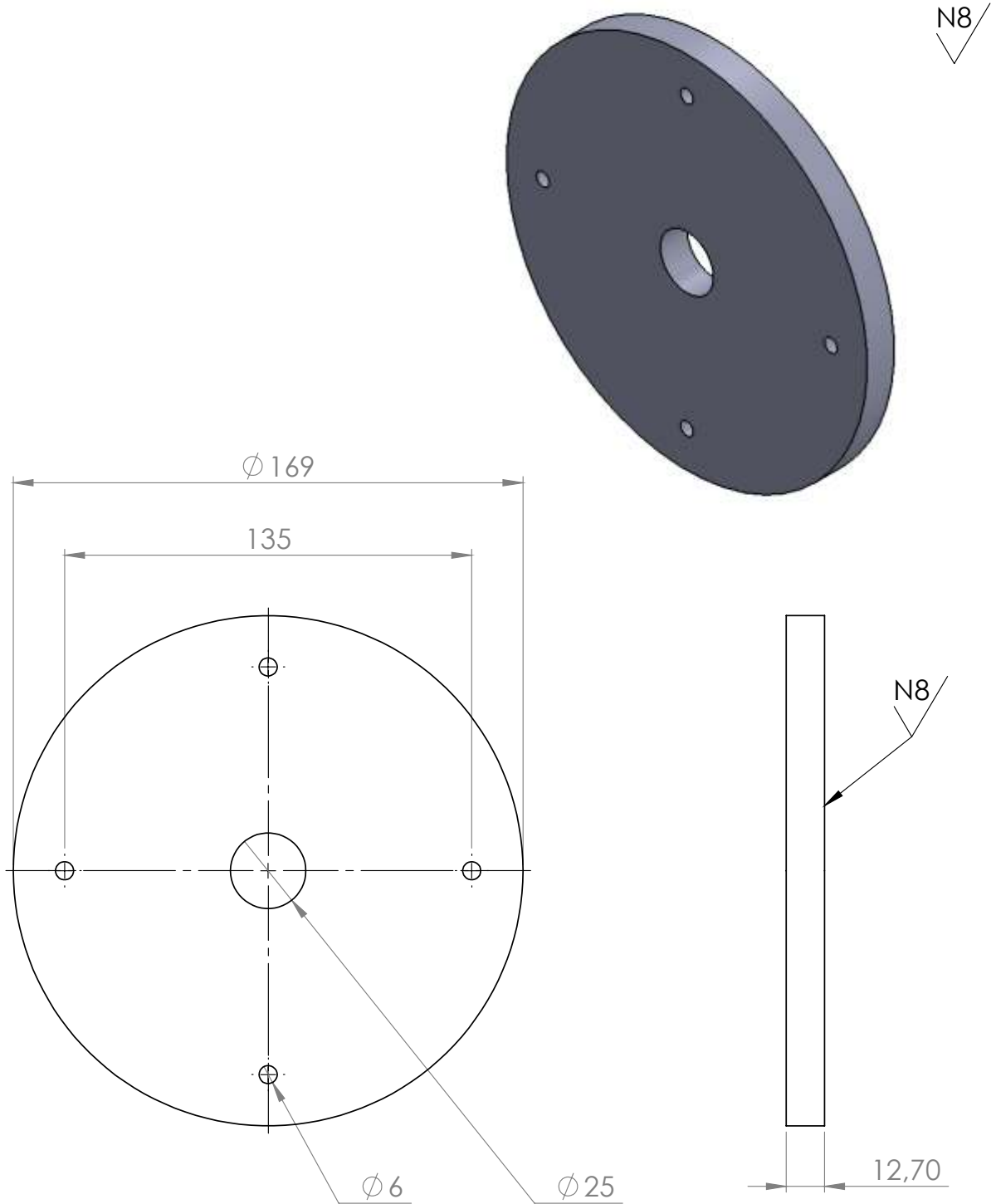
NOTA:  
ELIMINAR ARISTAS VIVAS.

Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			
Material: EJE AISI 1045, Esperor 20 mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:2	Dib. Rev. Apro.	David Acurio David Acurio Lorena Bejarano
DISCO ASTM G105		MAQ-ABR-01-DG105		Fecha: 15/03/2015


N8



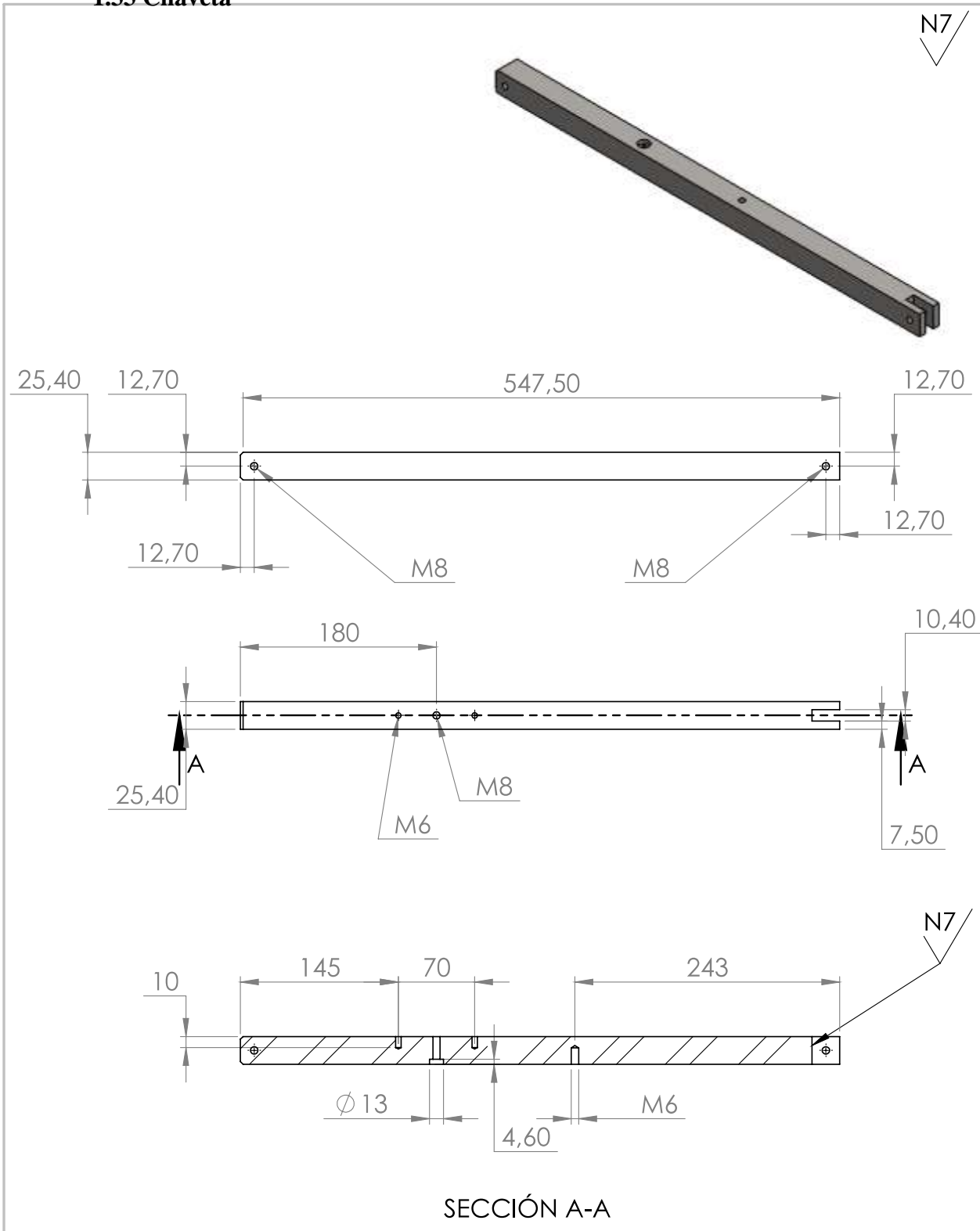
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno				
Material: EJE AISI 1045, Esperor 15 mm	Tol. Grad: +/-0.5	Escala: 1:2	Dib. David Acurio		
			Rev. David Acurio		
			Apro. Lorena Bejarano		
DISCO ASTM G65		MAQ-ABR-01-DG65		Fecha: 15/03/2015	



NOTA:  
ELIMINAR ARISTAS VIVAS.

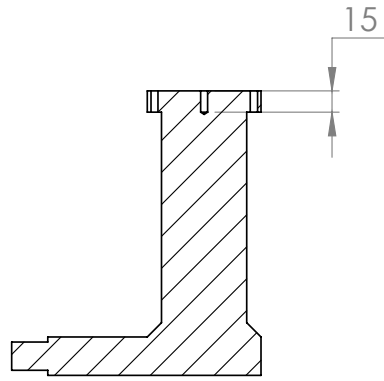
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno				
Material: EJE AISI 1045, Esperor 15 mm	Tol. Gral: +/-0.5	Escala: 1:2	Dib.	David Acurio	
			Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
DISCO ASTM B611		MAQ-ABR-01-DB611			Fecha: 15/03/2015

1.33 Chaveta



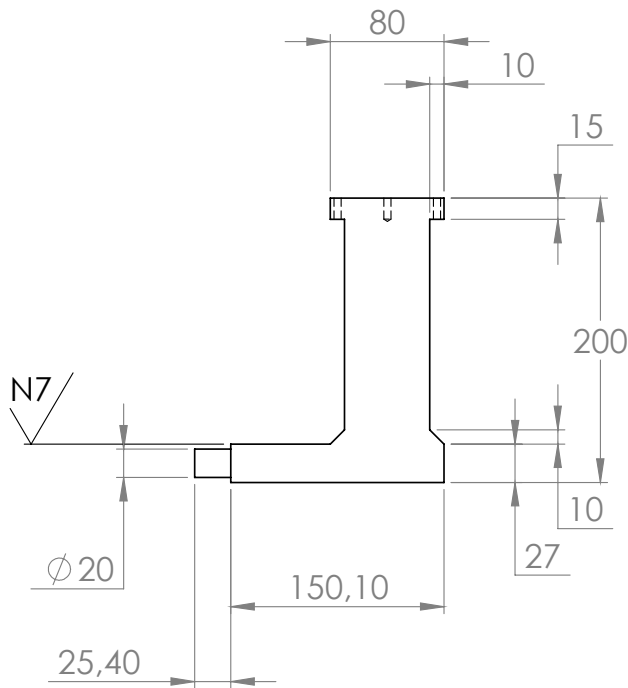
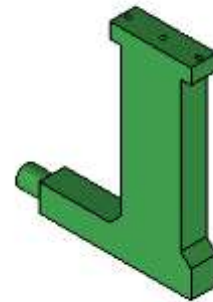
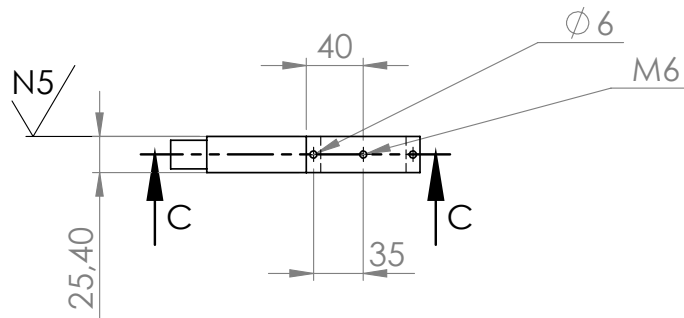
SECCIÓN A-A

Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material: Eje Cuadrado ACERO A36, Esperor 25.4 mm	Tol. Gral: +0.5	Escala: 1:5	Dib. David Acurio		
			Rev. David Acurio		
			Apro. Lorena Bejarano		
BRAZO PARTE HORIZONTAL PESO		MAQ-ABR-01-B01			Fecha: 15/03/2015



SECCIÓN C-C

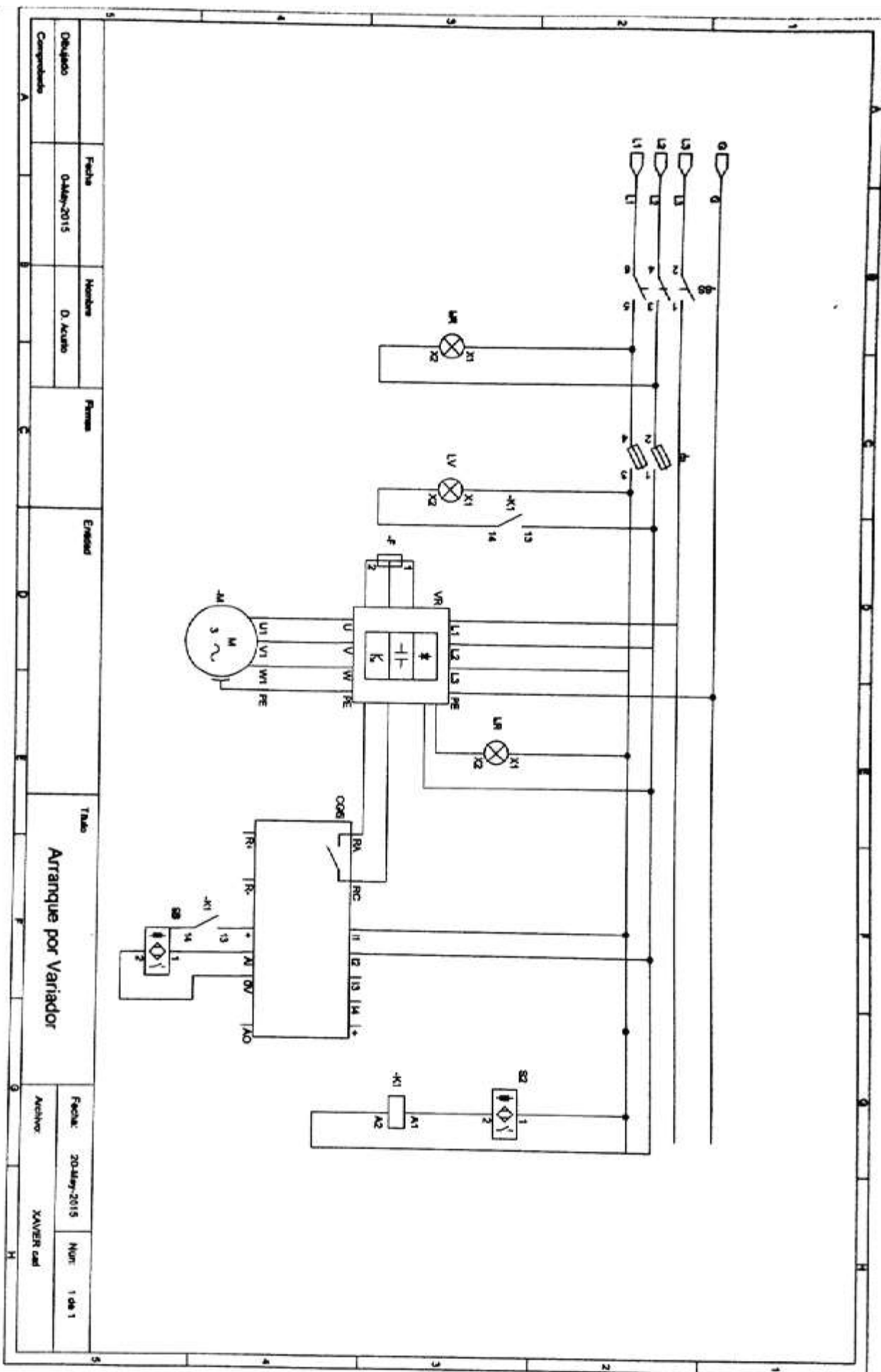
N7/ (N5/)



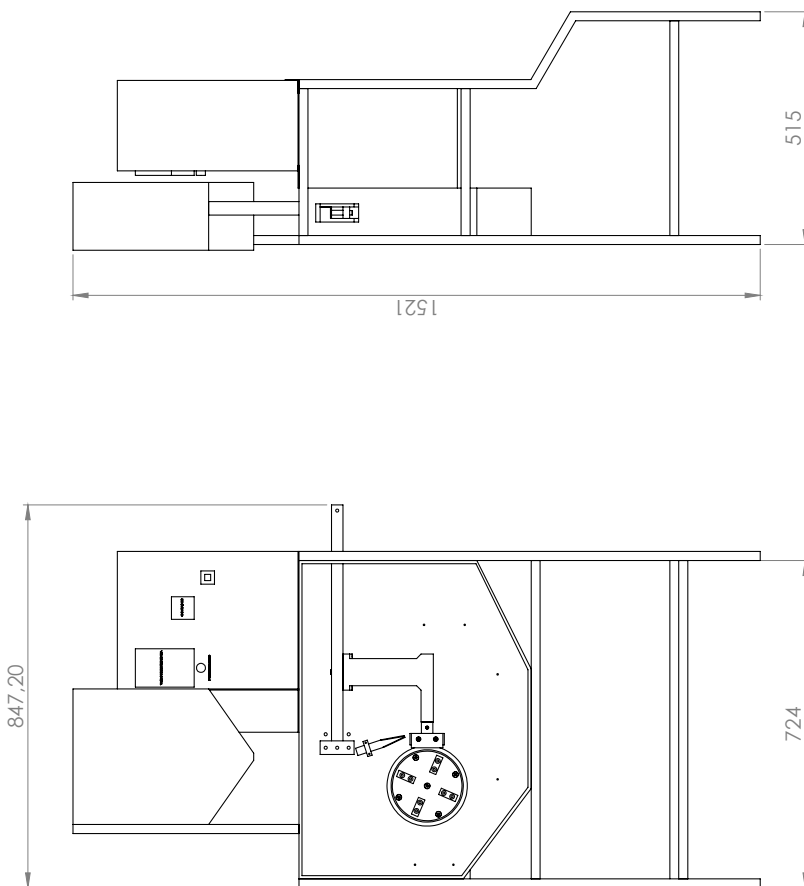
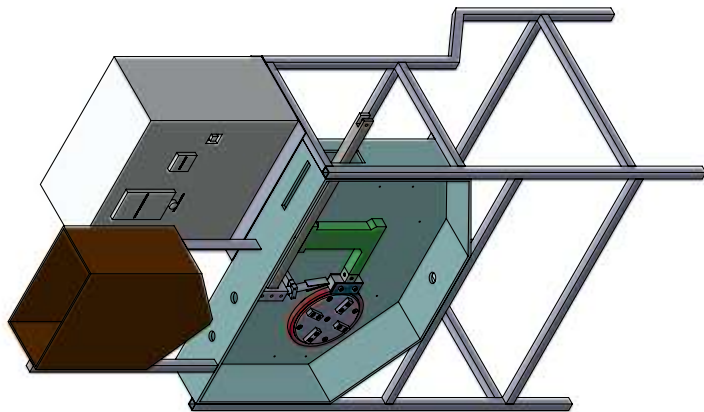
Trat. Termico	Ninguno		COLEGIO: POLITECNICO- ING. MECÁNICA		
Recubrimiento	Pintura				
Material: Plancha Acero A36 Esperor 27 mm	Tol. Grad: +0.5	Escala: 1:5	Dib.	David Acurio	
			Rev.	David Acurio	
			Apro.	Lorena Bejarano	
BRAZO PARTE VERTICAL		MAQ-ABR-01-B02			Fecha: 15/03/2015



### 1.38 Plano eléctrico



ANEXO 2



Dibujado: David Acuña	Revisado: Lorena Bejarano
Colegio: Politécnico- Ing. Mecánica	
TÍTULO: Plano general	
N° DE DIBUJO ENSAMBLE GENERAL	A3
ESCALA: 1:20	

## ANEXO 3

## HOJA TÉCNICA DEL PRODUCTO

## SECCIÓN I. GENERAL

□

## MINABRADEC CIA LTDA

Parque Industrial Riobamba Avda. Antonio Santillán Mz F Lote N° 34 Bolívar Bonilla

R.U.C 0691730352001

Teléfono Planta: 032940089

Teléfono de Emergencia: 0987427605

Fecha: Julio 2014.

□

## SECCIÓN II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El material abrasivo procesado por Minabradec cumple de acuerdo a la norma Steel Structures Painting Council SSPC-AB1 con las siguientes características:

Tipo: □

Clase: A

Grado de Abrasión: De 1 a 5

## SECCIÓN III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Forma: Angular

Color: Negro

Olor: Ninguno

Dureza (Mohs): 7

Densidad Relativa: 2.4 gr/cc

Coefficiente de Uniformidad (promedio de todos los tamaños): 1.38

Humedad: Máximo 0.1%

Análisis de Cloruros: 0.083 mg/Kg

Presentación: Fundas de Polipropileno laminado de 780 gr.

Tamaño: Disponibles en Mesh (0.5 a 1.5 mm)

Sílice libre: 0.0031%

## SECCIÓN III. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

□

NOMBRE MINERAL	CONTENIDO %
Andesina	78
Hematita	1
Cordierita	2
Enstatita	6
Magnétita	2
Diopside	6
Pigeonita	5

□

□

□