

Date : November 5, 2009
RA Number :
Program : Mechatronics Engineering.

AUTHORS : BOSSO CORTINA, Diego Israel.
BOTERO SIERRA, Gonzalo.
POVEDA DIAZ, Cesar Augusto.

KEYWORDS:

- Sandblasting.
- Glass.
- Sandblasting.
- Computer vision.
- Abrasive.
- Arena.
- Cartesian positioner
- Camera
- INTERMEC
- PID Control
- H-Bridge
- DC Motor

DESCRIPTION:

Designing a machine to impact sand in a glass that positioning a gun that projects a high-speed abrasive, positioning is determined by artificial vision techniques.

BIBLIOGRAPHIC SOURCES.

- BARRIENTOS, Antonio; PEÑIN, Luis Felipe; BALAGUER, Carlos; ARACIL, Rafael. Fundamentals of robotics. McGraw-Hill. 1997.
- PALLAS, Ramon. Sensors and signal conditioners. Alfaomega. 2001. third edition.
- MEJIA, Vileta; JOSE, Ramon. Digital image processing. Area of computing and information. College of Engineering.
- Joseph Shigley, Mischke, Charles. Mechanical Engineering Design McGraw-Hill. Third Edition.
- Falkland, Albert Paul. Fundamentals of electronics. McGraw Hill. Sixth Edition.
- Ogata, Katsuhiko. Modern control engineering. Prentice Hall. Third Edition.
- INTERMEC, Manual selection of pulleys and belts synchronous and time.

RA Number:

Program: Mechatronics Engineering.

CONTENTS:

GENERAL PURPOSE

- Design and build a prototype machine at glass etching by sandblasting.

SPECIFIC OBJECTIVES

- Locate automatically glass size.
- Identify the glass surface where the drawing is it in.
- Move a device to throw sand in across the surface of the drawing.
- Check the depth of engraving.
- Do not contaminate the work environment.
- Recycling part of the sand used in the process.
- Reduce production time of a drawing

- Minimize the damage of the mechanical components of the machine due to abrasive material.

Theoretical framework.

Engineering development.

Mechanical Design.

Electrical and Electronic Design.

Control and programming.

Artificial vision.

METHODOLOGY:

1. METHODOLOGY: In view of the foregoing and to reach all the objectives, it must implement a line of empirical-analytic research, due to according to the experiments, the data are taken from the variables and study them to determine the design more optimal for the project.

Experiments are planned to help to identify dependent and independent variables that are completely necessary for the development of the project, and thus identify which solution is most suitable for this project.

RA Number:

Program: Mechatronics Engineering.

2. This project is for improving a process that has had a relatively low development because the current machines of sandblasting, are unable to distinguish where it has passed and how many need to release the shutter instead of sand required for the engraving and in Colombia most companies engaged in this process is done by operators

In developing this project in a satisfactory way, the industry will benefit greatly because they ease the workload and encourage good production techniques that largely eliminates the direct human contact with the product development phase.

RA Number:

Program: Mechatronics Engineering.

CONCLUSIONS.

Since the implementation of the methods of image acquisition and subsequent processing of same, we conclude that the algorithm implemented meets the requirements in relation to obtaining glass size allowing more reliably ensure that the data vector position coincides within range of the glass container of the respective template shifting the gun from the data in the detection of each of the figures. Given that the system can recognize any number of figures found in a same glass allowing the same way glass to enter the process at any place of the base platform for it. Effectively recognizing the image (s) to be taxed.

The development of an XY positioner allows sectorize each specific points on a plane, these can determine the location of any figure that is within the scope of work of the machine gun so that the blaster can be placed above to generate the desired points on the figures recorded only in the template with satisfactory results in terms of respectability, speed and stability.

Within the software environment generated different applications were implemented which emphasizes the useful implementation of the areas to generate Redgrave is the greatest number of passes in specific areas thus enabling control the depth of

engraving desired in three different layers of previously taxed defined in the process (low-Madi-high). However as the data is sent from the boundaries of the figure forming rectangular engraved paths always, can not generate differences recorded in curves or diagonal lines only squares or rectangles, the only chance we have for this type of prints is to make a very small number of segments overlapping with the dynamics of a smooth approximation.

Despite conducting the respective considerations and implement different methods for the sealing of the machine, it was observed that when the grain hit acquires Finnish high ie greater than CAL 200 (indicated by abrasives suppliers and staff with experience in the area) is `leaking into the environment being one of the limitations of the prototype.

One of the features of sandblasting machines is to allow reuse of abrasive material after being hit from a feedback system to the container after a respective filtering impurities. But economic constraints on the prototype was implemented just a waste container impacted then be reprocessed manually.

According to the sample of experimental results provided that the impacting abrasive stenciling only where there is shown, the process becomes faster as the figure generated is small. This method is considerably faster than other machines because they are sandblasting the glass is subjected to a clean sweep recorded by wasting its surface material, improperly wearing the items and hence more time consuming in the process, deficiencies were overcome in the result of the prototype built

The most appropriate method for data acquisition is the machine vision by allowing us to have a two-dimensional appreciation of the work environment, simplifying the capture of information because this is stored in matrix form, implicitly creating a position in a space dimensional.

Because the amount of information in the matrix, this would delay the processing of data, it requires an algorithm fast enough to not lose efficiency in the process, which is pure code was programmed by each of the specific functions program to expedite the processing time and analysis so that the platform of Matlab to be as light as possible.

Due to the large amount of demand that currently is handled in the industry, it is necessary to implement automatic mechanisms that optimize the production yield, in addition to other factors such as operator safety. Sandblasting In the process of operator protection is essential since this is exposed to direct all waste abrasive silicon can cause poisoning, so that if you automate this type of process, not only facilitate the development of engravings the glass but also protect the operator by providing a work environment safer and more comfortable to do their work.

Fecha : 5 de noviembre de 2009
Numero RA :
Programa : Ingeniería Mecatrónica.

AUTORES: BOSSO CORTINA, Diego Israel.
BOTERO SIERRA, Gonzalo.
POVEDA DIAZ, Cesar Augusto.

TITULO: Diseño y construcción de un prototipo de máquina a escala para grabado de vidrio por chorro de arena.

PALABRAS CLAVES:

- Sandblasting.
- Vidrio.
- Chorro de arena.
- Visión artificial.
- Abrasivo.
- Arena.
- Posicionador cartesiano
- Cámara
- INTERMEC
- Control PID
- Puente H
- Motor DC

DESCRIPCION:

Diseño de una maquina para grabar vidrio por impacto de arena, la cual posicionando una pistola que proyecta un abrasivo a alta velocidad, el posicionamiento es determinado por medio de técnicas de visión artificial.

FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

- **BARRIENTOS**, Antonio; **PEÑIN**, Luis Felipe; **BALAGUER**, Carlos; **ARACIL**, Rafael. Fundamentos de robótica. McGraw-Hill.1997.
- **PALLAS**, Ramón. Sensores y acondicionadores de señal. Alfaomega. 2001. tercera edición.
- **MEJIA**, Vilet; **JOSE**, Ramón. Procesamiento digital de imágenes. Área de computación e informática. Facultad de ingeniería.
- **SHIGLEY** Joseph; **MISCHKE**, Charles. Diseño en ingeniería mecánica Ed. McGraw-Hill. Tercera Edición.
- **MALVINO**, Albert Paul. Principios de electrónica. Ed. McGraw Hill. Sexta Edicion.
- **OGATA**, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. Ed. Prentice Hall. Tercera Edición.
- **INTERMEC**, Manual de selección de poleas y correas sincronicas y de tiempo.

Numero RA:
Programa: Ingeniería Mecatrónica.

CONTENIDO:

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo de máquina a escala para grabado de vidrio por chorro de arena.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Localizar de manera automática las dimensiones del vidrio.
- Identificar la superficie del vidrio donde se encuentra el dibujo.
- Desplazar un dispositivo que arroje arena a presión por toda la superficie del dibujo.
- Controlar la profundidad de gravado.
- No contaminar el entorno de trabajo.
- Reciclar parte de la arena empleada en el proceso.
- Reducir el tiempo de producción de un dibujo
- Minimizar el daño de los componentes mecánicos de la Máquina por causa del material abrasivo

Marco teórico.

Desarrollo ingenieril.

Diseño mecánico.

Diseño eléctrico y electrónico.

Control y programación.

Visión artificial.

METODOLOGIA:

1. METODOLOGIA: Teniendo en cuenta lo anterior y para poder cumplir todas los objetivos propuestos, hay que implementar una línea de investigación empírico-analítico, porque de acuerdo con los experimentos realizados se tomarán los datos de las variables y se comenzaran a estudiarlas para determinar el diseño más óptimo para el proyecto.

Los experimentos que se planean hacer permitirán identificar las variables dependientes e independientes que, son completamente necesarias para el desarrollo del proyecto; y de esta manera identificar cual es la solución más adecuado para desarrollar este proyecto.

Numero RA:

Programa: Ingeniería Mecatrónica.

2. Este proyecto se realiza para mejorar un proceso que ha tenido una evolución relativamente baja, dado que las máquinas actuales de sandblasting, no tienen la posibilidad de distinguir cuantas pasadas y en qué lugar necesitan accionar el disparador de arena para realizar el grabado requerido; y en Colombia la mayoría de empresas que realizan este proceso, es realizado por operarios

Al desarrollar de manera satisfactoria este proyecto, la industria se beneficiara en gran medida, porque aliviará la carga laboral, y fomentará unas buenas técnicas de producción ya que elimina en gran parte el contacto directo del ser humano con el producto en fase de desarrollo.

Numero RA:

Programa: Ingeniería Mecatrónica.

CONCLUSIONES.

A partir de la implementación de los métodos de adquisición de la imagen y posterior procesamiento de la misma, se concluye que el algoritmo implementado satisface los requerimientos en cuanto a la obtención de las dimensiones del vidrio permitiendo así garantizar con mayor confiabilidad que el vector de datos de posición coincida dentro del rango del vidrio contenedor de la respectiva plantilla desplazando la pistola a partir de los datos en la detección de cada una de las figuras. Teniendo que para el sistema es posible reconocer cualquier número de figuras encontradas dentro de un mismo vidrio permitiendo de la misma manera ingresar el vidrio al proceso en cualquier lugar de la plataforma base para el mismo. Reconociendo con efectividad la imagen(es) a grabar.

La elaboración de un posicionador XY nos permite sectorizar cada uno de los puntos en un plano específico, estos nos determinan la ubicación de cualquier figura que se encuentre dentro del margen de trabajo de la máquina de tal forma que la pistola blaster pueda ubicarse encima de los puntos deseados para generar el grabado únicamente sobre las figuras en la plantilla obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a respetabilidad, velocidad y estabilidad.

Dentro del entorno del software generado se implementaron diferentes aplicaciones de las cuales se resalta la útil implementación de las zonas a regrabar es decir generar mayor número de pasadas en zonas específicas permitiendo de esta manera controlar la profundidad de grabado deseada en tres capas diferentes de grabado previamente definidas en el proceso (baja-media-alta). Sin embargo como el envío de datos se hace a partir de los límites de la figura formando siempre trayectorias de grabado rectangulares, no es posible generar diferencias de grabados en curvas o líneas diagonales solo cuadros o rectángulos, la única posibilidad que se tiene para este tipo de grabados es realizar un número de segmentos muy pequeños superpuestos con la dinámica de obtener una curva aproximada.

A pesar de realizar las respectivas consideraciones e implementar diferentes métodos para el sellamiento de la máquina, se observó que cuando el grano impactado adquiere una finura muy alta es decir superior a CAL 200 (indicado por proveedores de abrasivos y personal con experiencia en el área) se presentan fugas al ambiente siendo esta una de las limitantes del prototipo.

Una de las características de las máquinas de sandblasting es permitir la reutilización del material abrasivo luego de ser impactado a partir de un sistema de realimentación al contenedor luego de un respectivo filtrado de impurezas. Pero por limitaciones económicas se implementó en el prototipo solo un contenedor de los desechos impactados para luego ser reprocesados manualmente.

De acuerdo a la muestra de resultados experimentales se contempla que al estarce impactando abrasivo en solo los lugares donde existe figura; el proceso se hace más rápido a medida que la figura a generar sea pequeña. Este método es considerablemente más rápido que otras máquinas de sandblasting ya que éstas se someten el vidrio a un grabado por barrido total de su superficie malgastando material, desgastando inapropiadamente los elementos y por ende consumiendo mayor tiempo en el proceso, deficiencias que se superaron en el resultado del prototipo construido.

El método más apropiado para la adquisición de datos es el de visión artificial ya que nos permite tener una apreciación en dos dimensiones del entorno de trabajo, simplificando la captura de información ya que esta es almacenada de forma matricial, generando implícitamente una posición en un espacio bidimensional.

Debido a la cantidad de información en la matriz, esta demoraría el procesamiento de los datos, siendo necesario un algoritmo lo suficientemente rápido para que no se pierda eficiencia en el proceso, es por eso que se programaron por código puro cada una de las funciones específicas del programa para agilizar el tiempo de procesamiento y análisis de tal forma que la plataforma de Matlab fuera lo más ligera posible.

Debido a la gran cantidad de demanda que actualmente se maneja en la industria, es necesaria la implementación de mecanismos automáticos que optimicen el rendimiento de la producción, además de otros factores como la seguridad del operario. En el proceso de Sandblasting la protección del operario es esencial ya que este está expuesto directamente a todos los residuos del abrasivo pudiendo ocasionar envenenamiento por silicio, de tal forma que si se automatiza este tipo de proceso, no solo facilitara la elaboración de los grabados en el vidrio sino también protegerá al operario brindándole una atmosfera de trabajo más segura y confortable para realizar su labor.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA A ESCALA
PARA GRABADO DE VIDRIO POR CHORRO DE ARENA.**

**GONZALO BOTERO SIERRA
CESAR AUGUSTO POVEDA DIAZ
DIEGO ISRAEL BOSSO CORTINA**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA. MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2009**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA A ESCALA
PARA GRABADO DE VIDRIO POR CHORRO DE ARENA.**

**GONZALO BOTERO SIERRA
CESAR AUGUSTO POVEDA DIAZ
DIEGO ISRAEL BOSSO CORTINA**

**Trabajo para optar al título de:
Ingeniero Mecatrónico.**

**Asesor
Alfonso Duque
Ingeniero eléctrico**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA. MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2009**

Nota de aceptación:

Firma del Asesor

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. día _____, mes _____ del año 2009

*Dedico esta Tesis a toda mi familia, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo el transcurso de mi formación académica y como ser humano ya que gracias a ellos he podido llegar donde estoy.
A la memoria de mi tío Germán Alfonso Sierra Serrato*

Gonzalo Botero Sierra

*A mi padre, Luis Alfonso por su exigencia amorosa
A mi madre, Martha Cecilia por su eterna paciencia
quienes estuvieron pendientes de mis progresos, dificultades y fueron un apoyo permanente*

A Jhon Ery, Jenny Fernanda y Luis Alfonso, por su amable escucha y a los amigos que hice durante el lapso en que estuve en la Universidad, haciendo de esta, una experiencia inolvidable.

Cesar A. Poveda Díaz

Para todos aquellos que con la presencia de sus actos permitieron que la simpleza de mi vida llegase a este instante de éxito, en especial a mis padres Amnery Cortina, Israel Antonio Bosso y a mi hermana Jenny Johanna Bosso que han proporcionado a lo largo de mi carrera y vida momentos de incansable aliento de apoyo y amor sin intercambio alguno mas que la mirada de un sueño hecho realidad solo gracias a ellos.

Diciendo hoy ahora y por siempre que ´´lo mejor de un ser es su ser con vida para vivir´´.

Diego Israel Bosso Cortina

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y con especial alegría al Sr. Luis Alfonso Poveda Aguilera y a Martha Cecilia Díaz Cubillos, a sí mismo como al Sr. Gonzalo Botero Castelblanco, a Nubia Amparo Sierra Serrato y a Beturia Serrato de Sierra y a al Sr. Israel Antonio Bosso Cifuentes y a su Sra. Amnery Cortina Jimenez, quienes siendo nuestros padres, nos apoyaron desde que empezamos a recorrer nuestro camino de formación profesional.

También deseamos extender los agradecimientos a: Camilo Botero Sierra y Nubia Jannet Gutiérrez Sierra, Jenny Johanna Bosso Cortina, Jennifer Molina Cortina a Carmenza Miranda, Luis Alfonso, Jenny Fernanda y Jhon Ery Poveda Díaz, por el apoyo moral y contribución en su medida a lo largo de este proyecto.

A nuestros profesores: Ing. Alfonso Duque, Ing. Juan Manuel Calderón, Ing. Adonay Varela, Ing. Baldomero Méndez, por su colaboración en los diferentes frentes de ingeniería en los que se desarrollo el proyecto, Además de nuestros profesores quienes nos formaron como ingenieros.

Al Ing. Manuel Hermides Hernández Jiménez y Carlos Arturo Cruz por su aporte como idea semilla para la realización de este proyecto. A sí mismo como al Ing. Christian Ferney Ducuara Herreño por su colaboración.

A las siguientes personas por colaborar en la construcción de la máquina: Edgar Garzón, Hernando Garzón,

Ricardo Garzón, Jeremy Garzón a Enrique Niño, quienes como miembros de Induhergar Ltda, nos ofrecieron sus conocimientos e instalaciones para facilitar el diseño mecánico de la máquina. Y a Autoservicio 96 Ltda, por la prestación de sus instalaciones además de la colaboración de sus miembros; Cesar Villalba, a Juan Carlos Pinzón, quienes colaboraron en la fase final de construcción.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Máquina LDPL3000.
- Figura 2.** Distintos tipos de articulaciones.
- Figura 3.** Posicionador cartesiano.
- Figura 4.** Posicionador angular.
- Figura 5.** Posicionador polar
- Figura 6.** Principio de los codificadores de posición incrementales para posiciones lineales y angulares.
- Figura 7.** Potenciómetro lineal y símbolo de potenciómetro.
- Figura 8.** Esquema básico de los dispositivos de control.
- Figura 9.** Esquema de un controlador PID
- Figura 10.** Movimiento lineal poleas
- Figura 11.** Diseño inspirado en el principio del taladro fresador
- Figura 12.** Posicionador cartesiano
- Figura 13.** Posicionador cartesiano con correas
- Figura 14 y 15.** Carretes Guías Coordenada X
- Figura 16.** Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores de una viga biempotrada
- Figura 17.** Bandeja porta pistola y pistola
- Figura 18.** Diagrama esfuerzos cortantes y momentos flectores guía coordenada x
- Figura 19.** Coordenadas X y Y del Posicionador
- Figura 20.** Diagrama esfuerzos cortantes y momentos flectores guía coordenada Y
- Figura 21.** Vista general Máquina sandblasting
- Figura 22.** Viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida.
- Figura 23.** Diagrama esfuerzos cortantes y momento flector.
- Figura 24.** Dimensiones perfil cuadrado.
- Figura 25.** Ejemplos de soldadura a tope
- Figura 26.** Modo de corte del tubo para aplicar la soldadura
- Figura 27.** Polea dentada y eje.
- Figura 28.** Electroválvula 2/2
- Figura 29.** Pistola Blaster
- Figura 30.** Simplificación red neumática
- Figura 31.** Estructura de un puente H (marcado en rojo)
- Figura 32.** Estados básicos del puente H.
- Figura 33.** Esquemático puente H
- Figura 34:** Formas básicas de transistores.

Figura 35: Comportamiento del modelo en el sistema térmico análogo a un circuito eléctrico:

Figura 36 y 37: Perfil disipador

Figura 38: Disipación ventilador

Figura 39: Arreglo relés y switch

Figura 40. Descripción general del sistema

Figura 41. Distribución de pines del PIC16F877A

Figura 42. Esquemático hardware comunicación serial

Figura 43. Esquemático hardware visualización y conexión de potenciómetros.

Figura 44. Esquemático hardware de control de PWM y separación galvánica.

Figura 45. Esquemático arreglo para operar ambos motores en ambos sentidos con PWM

Figura 46. Esquemático para obturar relés.

Figura 47a: Diagrama general de bloque del sistema.

Figura 47b. Elementos básicos del sistema en lazo cerrado.

Figura 48. Compensador PID del sistema.

Figura 49. Compensador PID discretizado.

Figura 50: Experimento de Sintonización No. 1

Figura 51: Experimento de Sintonización No. 2

Figura 52: Experimento de Sintonización No. 3

Figura 53: Experimento de Sintonización No. 4

Figura 54: Experimento de Sintonización No. 5

Figura 55: Experimento de Sintonización No. 6

Figura 56: Experimento de Sintonización No. 7

Figura 57: Experimento de Sintonización No. 8

Figura 58: Experimento de Sintonización No. 9

Figura 59: Experimento de Sintonización No. 10

Figura 60: Experimento de Sintonización No. 11

Figura 61: Experimento de Sintonización No. 12

Figura 62: Experimento de Sintonización No. 13

Figura 63: Experimento de Sintonización No. 14

Figura 64: Experimento de Sintonización No. 15

Figura 65: Experimento de Sintonización No. 16

Figura 66: Experimento de Sintonización No. 17

Figura 67: Experimento de Sintonización No. 18

Figura 68: Experimento de Sintonización No. 19

Figura 69: Experimento de Sintonización No. 20

Figura 70: Experimento de Sintonización No. 21

Figura 71: Experimento de Sintonización No. 22

Figura 72: Experimento de Sintonización No. 23

Figura 73: Experimento de Sintonización No. 24
Figura 74: Experimento de Sintonización No. 25
Figura 75: Experimento de Sintonización No. 26
Figura 76. Flujograma función de inicialización
Figura 77. Flujograma función de lectura
Figura 78. Flujograma PID
Figura 79. Flujograma lectura serial
Figura 80. Flujograma Programa principal.
Figura 81: Grafico general del sistema norma Gemma
Figura 82. Distancia ubicación cámara web y lámparas
Figura 83. Imagen adquirida por el software de la cámara
Figura 84. Flujograma Botón calibrar imagen
Figura 85. Flujograma crecimiento de regiones.
Figura 86. Flujograma Botón grabado con profundidad.
Figura 87 y 88. Imagen adquirida, y visualización corrección de ejes.
Figura 89a - 89d. Imagen capturada por la cámara web, Umbralización de la imagen, Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio, Imagen del software con el procesamiento final.
Figura 90a - 93d. Imagen capturada por la cámara web, Umbralización de la imagen, Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio, Imagen del software con el procesamiento final.

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1.** Características de distintos tipos de actuadores
- TABLA 2.** Sistemas de transmisión.
- TABLA 3.** Tipos de sensores internos.
- TABLA 4.** Evaluación de los posicionadores
- TABLA 5.** Elementos que soportan las guías
- TABLA 6.** Elementos soportados por la base del posicionador
- TABLA 7.** Factor K en las columnas
- TABLA 8.** Constante C para columnas intermedias.
- TABLA 9.** Propiedades mecánicas típicas del material depositado
- TABLA 10.** Esfuerzos permisibles por el código AISC para el metal de aporte.
- TABLA 11.** Características de los transistores.
- TABLA 12.** Datos para trabajar en corte y saturación.
- TABLA 13.** Parámetros de sintonización según Ziegler-Nicholls.
- TABLA 14.** Análisis del sistema PID
- TABLA 15.** Característica de los tubos considerados

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Datos motores

ANEXO B Manual selección Intermec.

ANEXO C Características transistores 2N3055 y MJ2955

ANEXO D MAX 232

ANEXO E Código PIC-C para compilador

ANEXO F Fotografías de la máquina de sandblasting

ANEXO G Imagen PCB de la tarjeta de control.

ANEXO H Lista de materiales y gastos.

ANEXO I Planos

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Descripción y formulación del problema	16
1.3 Justificación	16
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo general	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 Alcances y limitaciones.....	17
2. MARCO TEORICO	19
2.1 Sandblating.....	19
2.1.1 Proceso	20
2.1.2 Abrasivos	21
2.2 Posicionadores.....	22
2.2.1 Tipos de configuraciones.....	23
2.2.2 Actuadores para posicionadores.....	25
2.3 Transmisiones mecánicas.....	27
2.4 Sensores.....	30
2.5 Dispositivos y mecanismos de control	32
2.5.1 Mecanismos de control:	34
2.6 Obtención de imágenes a partir de visión artificial.....	36
2.6.1 Procesamiento y análisis de imágenes digitales.....	38
2.6.2 Herramientas para el procesamiento de imágenes.....	39
3. DESARROLLO INGENIERIL	45
3.1 DISEÑO MECÁNICO.....	49
3.1.1 Cálculos por esfuerzo de pandeo tipo columna.....	63
3.1.2 Calculo de soldaduras.....	65
3.1.3 Consideraciones de potencia	67

3.1.4	Cálculos y consideraciones de ejes de transmisión.	69
3.1.5	Consideraciones con respecto a la neumatica y asociados.	71
3.2	DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	73
3.2.1	Parametros de selección de transistores para el puente h (motores)	74
3.2.2	Diseño de sistema de proteccion de los potenciómetros y bloqueo de motores.....	83
3.2.3	Elección del sistema controlador y sensores (Diseño electrónico)	86
3.3	CONTROL Y PROGRAMACIÓN	97
3.3.1	Diseño del sistema de control.	98
3.3.2	Algoritmo del elemento de control.	125
3.4	VISIÓN ARTIFICIAL.....	131
3.4.1	Iluminación del modulo de visión artificial.	131
3.4.2	Procesamiento de imagen.....	132
3.4.3	Calibración y posicionamiento.....	140
3.4.4	Validación de resultados	143
4.	CONCLUSIONES	154
	ANEXOS.....	157

INTRODUCCION

El desarrollo de tecnologías a lo largo y ancho del mundo permite mejorar las condiciones de trabajo de las personas, con respecto al área de sandblasting, esta tecnología en principio no ha sufrido mayores cambios. Sin embargo en el área del vidrio es posible disponer de avances en sandblasting como la realización de este proceso con laser.

Sin embargo el uso del laser tiene como limitación que solo es rentable como producción en serie, por otro lado, en la industria del vidrio se manejan volúmenes pequeños y de carácter decorativo, con lo cual hace preciso el contratar operarios para realizar la labor de opacar el vidrio, para lograr los efectos deseados.

Bajo este problema se concibe el desarrollo de esta máquina automatizada, la cual por medio de técnicas de visión artificial y posicionamiento coordinado, logra llevar satisfactoriamente el proceso de sandblasting a feliz término, el desarrollo de esta máquina favorece al empresario en un proceso relativamente dispendioso, tradicionalmente realizado por personas, y a los operarios por exponerse en menor grado a un ambiente que generaría algún riesgo para la salud.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 ANTECEDENTES

El primer antecedente que se conoce del sandblast, tiene lugar en Inglaterra Reino Unido, donde en agosto de 1870, Benjamín C. Tilgman presento planos y cálculos de una Máquina que expulsaba arena por medio de una boquilla para la eliminación del óxido y el grabado de botellas¹ ; De ahí en adelante la máquina presentada por Tilgman ha sufrido múltiples variaciones pero en si el principio es el mismo. Las Máquinas que en este momento se encuentran en el mercado global son en su mayoría elaboradas en China, con diferentes diseños y especificaciones en cuanto tamaño y tipo de aplicación es decir si es para vidrio, aluminio, entre otros pero todas con un punto en común, someter una superficie a un flujo de arena constante evitando que el operario lo haga. Un ejemplo es la Máquina LDPL3000 de la compañía china Zhejiang Lidu Glass Machine Co. Ltd.

Figura 1. Máquina LDPL3000



Fuentes

<http://lidu.en.alibaba.com>

<http://es.youtube.com/watch?v=OL4VTkJ6z0c>

¹ <http://www.shotpeening.org/ICSP/icsp-5-01.pdf>

Esta máquina tiene la virtud de transportar el vidrio de manera horizontal para que una pistola al interior de la cabina se mueva de manera vertical y así la superficie del vidrio sea impactada por la arena.

En Colombia la automatización del proceso de grabado de vidrio por chorro de arena no se encuentra muy desarrollado; esto se puede ver porque las empresas importadoras de maquinaria industrial no tienen como objetivo traer este tipo de Máquinas y si las traen son a un alto costo y no hay una representación confiable en el tema de repuestos y mantenimiento.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El sanblasting tiene múltiples limitaciones y complicaciones en su desarrollo entre ellas se tienen: la necesaria intervención de un operario que manipule el proceso pasando la pistola con presión a lo largo de la superficie del vidrio, tiempo en la ejecución, desperdicio masivo de material, contaminación del ambiente y fatiga innecesaria de los elementos, entonces se resume a una pregunta: *¿Cómo diseñar y construir una Máquina automatizada para grabado de vidrio por chorro de arena?*

1.3 JUSTIFICACION

Este proyecto se realiza para mejorar un proceso que ha tenido una evolución relativamente baja, dado que las máquinas actuales de sandblasting, no tienen la posibilidad de distinguir cuantas pasadas y en qué lugar necesitan accionar el disparador de arena para realizar el grabado requerido; y en Colombia la mayoría de empresas que realizan este proceso, es realizado por operarios

Dado que es una alternativa viable para el desarrollo de la industria del vidrio por su potencial económico y por su ahorro en tiempo de producción, hemos optado por realizar la tesis en torno al tema de este documento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo de máquina a escala para grabado de vidrio por chorro de arena.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Localizar de manera automática las dimensiones del vidrio.
- Identificar la superficie del vidrio donde se encuentra el dibujo.
- Desplazar un dispositivo que arroje arena a presión por toda la superficie del dibujo.
- Controlar la profundidad de gravado.
- No contaminar el entorno de trabajo.
- Reciclar parte de la arena empleada en el proceso.
- Reducir el tiempo de producción de un dibujo
- Minimizar el daño de los componentes mecánicos de la Máquina por causa del material abrasivo.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.

La realización de este proyecto tiene como alcance innovar en el sector publicitario y decorativo por ende se construirá un prototipo de máquina que cumpla con los objetivos anteriormente trazados. El prototipo trabajará vidrio templado de superficie plana, de mínimo 10cm de alto por 10cm de ancho y de máximo 40cm de alto por 40cm de ancho, identificando el dibujo previamente diseñado en una plantilla.

Para realizar el proceso, es necesario ubicar el vidrio y mover en dos dimensiones una pistola arrojando el material abrasivo por la superficie en donde se encuentre la plantilla. Sin embargo es conveniente recalcar que no se varia el ángulo de disparo del abrasivo, lo cual limita a que el impacto del abrasivo sea solo perpendicular a la superficie del vidrio.

Un factor importante es el desgaste de las partes mecánicas producido por el material abrasivo, por ende el diseño fue restringido a minimizar el desgaste de las piezas.

2. MARCO TEORICO

2.1 Sandblasting

El grabado de vidrio por chorro de arena o sandblasting es un proceso de propulsión de trozos muy finos de material a alta velocidad, este procedimiento se utiliza en dos grandes partes de la industria, en el grabado de vidrio y el limpiado de superficies, esta última se usa para liberarla de partículas que se pueden adherir, por ejemplo el óxido y/o cuando se requiere remover pintura vieja o desgastada. La limpieza con arena es una de las mejores herramientas para retirar este tipo de partículas, técnica usada desde hace más de cien años y utilizada en sitios importantes como el Golden Gate Bridge en San Francisco.

En la decoración de cristal, el arenado es una maravillosa técnica, con pocos sustitutos. Si bien a mano el grabado es posible, es increíblemente largo y costoso, mientras el grabado a láser se usa en piezas de producción en serie, con lo cual involucra el uso de comandos de control numérico computarizado, lo cual lo hace costoso cuando se trata de sandblastear una pieza única.

Hay dos formas principales de arenado que se utiliza para decorar el vidrio: grabado y tallado. Para el grabado de vidrio, el abrasivo es “dinamitado” ligeramente en la superficie creando una capa opaca, este efecto puede ser usado para producir palabras, figuras geométricas o imágenes, graduando la velocidad del arenado y el ángulo desde donde se lanza el abrasivo, creando diferentes tonos, lo que permite realizar algunas verdaderas obras de arte.

El tallado por arenado es aplicado de manera constante a la superficie la cual dispone de un recubrimiento que puede ser papel contact cuya función es proteger las zonas que no desean ser talladas. Esta técnica puede ser muy matizada, con distintas profundidades y ángulos de los cortes. Normalmente la configuración se

compone de tres partes: el polvo abrasivo (arena), un compresor de aire, y una pistola blaster. Para la grabación de pequeñas piezas o inclusive la limpieza de una de estas es necesaria tener una pequeña cabina contenedora, ya que esta sirve como recolector del exceso de polvo en el ambiente evitando cualquier tipo de contaminación innecesaria en el momento del proceso.

2.1.1 PROCESO

Para la realización de este proceso es necesaria la utilización de diferentes dispositivos. De la elección de estos depende: la calidad, la superficie a grabar y la profundidad.

- Debe contar o seleccionar un compresor de aire capaz de producir un volumen de aire suficiente para mantener la presión en el equipo y así lograr un suministro continuo de aire.
- Asegurarse de que la manguera de aire del compresor al equipo sea del diámetro adecuado.
- Seleccionar el abrasivo indicado para ese tipo de trabajo.

Otro aspecto importante en el momento del grabado es el diámetro de la manguera que transporta el abrasivo y el aire, si bien no se puede evitar el desgaste de las partes que se encuentren dentro del torrente de abrasivo, se deben utilizar los materiales que mejor resistan y así alargar la vida útil de estas partes.

2.1.2 ABRASIVOS

El tipo de abrasivo que se seleccione determina la calidad del dibujo, además cada abrasivo tiene diferentes características como los son la dureza, el tamaño y la capacidad de reutilización. Para una elección acertada es conveniente recordar :

- El tamaño de las partículas del abrasivo, importante para lograr un patrón de textura consistente en la superficie
- La dureza del abrasivo está medida en la escala de Mohs siendo 1 tan suave como talco y 15 materiales tan duros como el diamante. Los abrasivos del tipo de carburo de silicio y óxido de aluminio, los más utilizados para trabajar en vidrio estarán dentro del rango 10 al 13. Lo cual determinará su efecto sobre la superficie que va a ser tallada.
- La fragilidad es la tendencia del abrasivo a fragmentarse en partículas más pequeñas como consecuencia del impacto, mientras más frágil sea el abrasivo, menos veces puede ser reutilizado y más polvo generará.

Existen diversos materiales para el abrasivo como por ejemplo la granalla de acero o la perla de vidrio, materiales que se usan principalmente en la limpieza por impacto, pero para el grabado en vidrio se tienen en cuenta el óxido de aluminio y el carburo de silicio. Cada uno de estos elementos compuestos tiene en particular las siguientes características.

El carburo de silicio es el abrasivo más duro, afilado y costoso en el mercado. Está clasificado como 13 en la escala de Mohs, haciéndolo ideal cuando se requiere un corte fino, pero profundo, al igual que para remover residuos tratados con calor de partes endurecidas. Este abrasivo tiene también una buena tasa de reutilización,

ya que cuando las partículas se estrellan sobre la superficie y se fragmentan en partículas más pequeñas no pierden su filo, por lo que siguen teniendo una buena acción de corte a pesar de reducir su tamaño. El carburo de silicio es principalmente preferido por aquellos usuarios del chorreado de abrasivos que requieren una limpieza rápida con un buen anclaje y sin contaminación ferrosa, ya que debido a su alta dureza, el carburo de silicio limpia mucho más rápido que cualquier otro abrasivo del mercado, esta rapidez en el trabajo es de gran ayuda cuando se realizan grabados sobre cerámica, vidrio y madera, ya que permite un corte más profundo con menos tiempo de exposición del chorro sobre la mascarilla.

El rango de tamaños es muy amplio, va desde los muy gruesos hasta los muy finos lo que permite desarrollar una amplia gama de acabados con este abrasivo

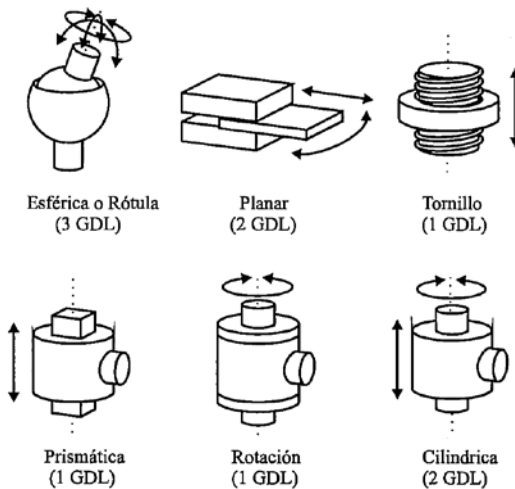
2.2 POSICIONADORES.

Un posicionador es un dispositivo concebido para alinear, ubicar y/o sostener una pieza durante un proceso de producción. Mecánicamente estos elementos están formados por elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada 2 eslabones consecutivos.²

Estas articulaciones mecánicas hacen posible los movimientos de desplazamiento y giro, hay algunas de estas articulaciones que permiten una mezcla de ambos. A cada uno de estos movimientos individuales se le denomina **grado de libertad** (GDL).

Figura 2: Distintos tipos de articulaciones:

² **BARRIENTOS**, Antonio; **PEÑIN**, Luis Felipe; **BALAGUER**, Carlos; **ARACIL**, Rafael. Fundamentos de robótica. McGraw-Hill. 1997. p.16.



Fuente: Fundamentos de robótica. McGraw-Hill.1997. p.17.

En el diseño de posicionadores es muy importante establecer cuantos grados de libertad necesita la aplicación, estos suelen estar relacionados con el volumen y/o área de trabajo. Aunque hay casos en que el posicionador posee un número mayor de grados de libertad que los necesarios para lograr una tarea, a este caso se le denomina posicionador redundante.³

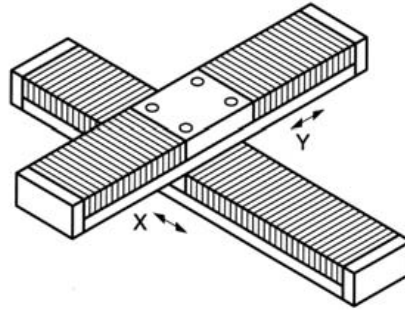
2.2.1 Tipos de configuraciones.

De acuerdo al tipo de articulaciones presentes, estos reciben distintos nombres de acuerdo a su configuración.

Configuración cartesiana: Posee dos movimientos lineales entre dos ejes, destaca la facilidad de construcción, su controlabilidad y configuración.

^{3 3} **BARRIENTOS**, Antonio; **PEÑIN**, Luis Felipe; **BALAGUER**, Carlos; **ARACIL**, Rafael. Op. Cit., p.19.

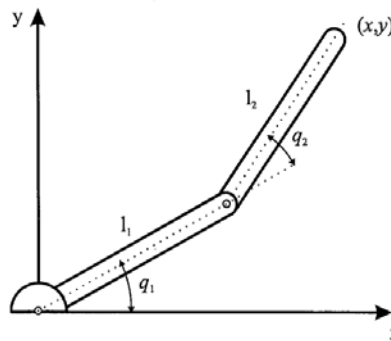
Figura 3. Posicionador cartesiano



Fuente: <http://www.skfprodind.skf.es/documentation.aspx?ref=PR-4&cat=123&lang=es&cou=6>; rail guide tables, p.34. fig 1

Configuración angular: Posee dos articulaciones rotacionales al principio de cada eslabón. Lo cual le confiere un área de trabajo de forma circular.

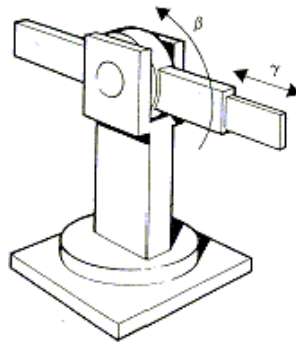
Figura 4. Posicionador angular



Fuente: Fundamentos de robótica. McGraw-Hill.1997. p.95.

Configuración polar: dispone de una articulación de tipo lineal para retracción y extensión y una de tipo rotacional generalmente ubicada a la mitad del eslabón lineal.

Figura 5. Posicionador polar



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos10/robap/robap.shtml>, editada por los autores.

2.2.2 Actuadores para posicionadores.

Se denominan actuadores a aquellos elementos que provocan un efecto traslacional o rotacional sobre la posición final de un posicionador. Estos son capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, gases o energía eléctrica. El actuador recibe la orden de un controlador o regulador y da una posición final o ejecuta una instrucción de acuerdo a los requerimientos del proceso. A partir de la energía que permite el movimiento, los actuadores se diferencian en tres tipos.

- Hidráulicos.
- Neumáticos.
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, funcionan en base a fluidos a presión, generalmente es un tipo de aceite. Se caracterizan por su elevada resistencia mecánica y velocidad.

Los neumáticos se caracterizan por utilizar aire comprimido como medio para generar un movimiento relativo, su mayor desventaja al igual que el hidráulico es que

su uso conlleva a una instalación especial y su controlabilidad es la menor comparándola con las otras dos tipos.

Los actuadores eléctricos, son los más versátiles en su tipo, ya que su instalación es relativamente sencilla, su controlabilidad es alta, no hay restricciones en términos de distancia entre la fuente de poder y el actuador, entre otros, obviamente tiene el principal inconveniente de tener una potencia baja en comparación con los actuadores de tipo hidráulico y neumático.

TABLA 1. Características de distintos tipos de actuadores

	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía	Aire a presión (5-10 Bar)	Aceite mineral (50-100 bar)	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindros	Cilindros	Corriente continua
	Motor de paletas	Motor de paletas	Corriente alterna
	motor de pistón	Motor de pistones axiales	Motor paso a paso
Ventajas	Baratos	Rápidos	Precisos
	Rápidos	Alta relación potencia-peso	Fiabiles
	Sencillos	Autolubricantes	Fácil control
	Robustos	Estabilidad frente a cargas estáticas	Sencilla instalación
			Silenciosos
Desventajas	Dificultad de control continuo	Difícil mantenimiento	Potencia limitada
	Instalación especial (compresor filtros)	Instalación especial (filtros, eliminación aire)	
	Ruidoso	Frecuentes fugas	
		Caros	

Fuente: Fundamentos de robótica. McGraw-Hill.1997. p.35.

Motores eléctricos.

Los motores eléctricos son los elementos más utilizados cuando la aplicación requiere de un movimiento relativo, estos se dividen en:

Motores de corriente alterna (AC): Este tipo de motores se caracteriza por su alta potencia, la dificultad de estos motores radica en la forma de controlarlos, ya que es necesario variar la frecuencia de la fuente de poder, además de sensores de realimentación para poder modificar la velocidad de salida del eje.

Motores de corriente directa (DC): Su alta eficiencia en términos de fuerza, velocidad, controlabilidad, instalación e implementación, hacen de este un actuador que siempre será considerado en aplicaciones de precisión, sin embargo necesita de sensores de realimentación y de una etapa adicional de control para lograr un posicionamiento exacto.

Motores paso a paso (PaP): En esta clase de motores, el control es realizado por una serie de pulsos de voltaje que activan rotativamente una serie de electroimanes. Estos pueden asegurar un posicionamiento simple y exacto, además no necesitan de sensores de realimentación, sin embargo no tienen una potencia considerable y su funcionamiento a bajas velocidades no es suave y a altas velocidades tiende a calentarse.

2.3 Transmisiones mecánicas.

Las transmisiones mecánicas son la forma más sencilla de transmitir la potencia de un actuador a otro elemento de una Máquina, estas se caracterizan por cambiar el tipo de movimiento, fuerza y dirección:

TABLA 2. Sistemas de transmisión.

Entrada-Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular-Circular	Engranaje	Pares altos	Holguras
	Correa dentada	Distancia grande	-----
	Cadena	Distancia grande	Ruido
	Polea	-----	Deformabilidad
Circular-Lineal	Tuerca husillo	Poca holgura	Rozamiento
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento
Lineal Circular	Biela Manivela	-----	Control difícil
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento

Fuente: Fundamentos de robótica. McGraw-Hill.1997. p.20. Modificada por los autores.

Engranajes: Básicamente los engranajes son ruedas dentadas, que sirven para transmitir movimiento circular mediante el contacto de estas. La ventaja importante de las transmisiones de engranaje es que estas no patinan como las poleas, lo cual hace que la exactitud de transmisión sea alta.

Correa dentada: Tienen el mismo principio básico de los engranajes, solo que estos permiten un alcance más largo. Se usan cuando se hace muy costoso realizar la transmisión por engranajes. Actualmente las correas dentadas ofrecen una durabilidad muy alta.

Cadena: Tiene el mismo principio de la correa dentada, se utiliza cuando es importante evitar el deslizamiento entre el piñón conductor y conducido. Tiene el inconveniente de necesitar un engrase adecuado, además es ruidoso y generalmente es costoso.

Polea: Es el sistema más sencillo que consta de dos ruedas cuyas circunferencias son rodeadas por una cuerda tensionada. Es un sistema económico a corto plazo,

sin embargo presenta deslizamientos y ello conlleva a que haya calentamiento en el cable disminuyendo la vida útil y además al estar la cuerda en tensión hace que se ejerza fuerzas sobre los ejes de las ruedas.

Tuerca husillo: Es un mecanismo que consta de un tornillo (husillo), que al girar produce un desplazamiento longitudinal de la tuerca en la que esta roscado (movimiento rectilíneo).

Cremallera: Este mecanismo es constituido por una barra con dientes y un piñón de diámetro menor a la longitud de la barra, el cual al haber un movimiento relativo de alguno de los dos elementos genera un movimiento en el otro.

Biela Manivela: En forma esquemática, este mecanismo se crea con dos "barras" unidas por una unión de rotación. Un extremo de la barra que rota (la manivela) se encuentra unido a un punto fijo, el centro de giro, y el otro extremo se encuentra unido a la biela. El extremo restante de la biela se encuentra unido a un pistón que se mueve en línea recta.⁴

También es importante incluir que estas transmisiones mecánicas necesitan elementos que faciliten la transmisión de potencia; el elemento de mayor uso en este tipo son los rodamientos.

Rodamientos: Es un elemento que reduce la fricción de contacto entre un eje y las piezas sujetas a este, sirve también como soporte y facilita también el desplazamiento y es capaz de soportar cargas radiales, de empuje o una combinación de las anteriores, los parámetros de selección de rodamientos son el espacio disponible, magnitud-dirección de la carga y la velocidad.

⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Biela_manivela

2.4 Sensores

Un sensor es un dispositivo que es capaz de transformar magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas, las cuales son más fáciles de interpretar por los dispositivos controladores de hoy en día. Obviamente la elección de un sensor está condicionada a parámetros como la magnitud a medir, el margen de medida, la vida media, la disponibilidad, el entorno de trabajo, el costo entre otros⁵

En los posicionadores se utilizan una serie de sensores que indican la posición la cual es útil para el controlador y así modificar el estado del actuador de acuerdo a los requerimientos de la aplicación.

En la siguiente tabla se puede apreciar los tipos de sensores que se usan en los posicionadores.

TABLA 3. Tipos de sensores internos.

Presencia	Inductivo	
	Capacitivo	
	Efecto Hall	
	Tipo Reed	
	Óptico	
	Ultrasónico	
	Contacto	
Posición	Analógicos	Potenciómetros
		Resolver
		Sincro
		LVDT
	Digitales	Encoders Absolutos
		Encoders Incrementales
		Regla óptica
Velocidad	Tacómetro	

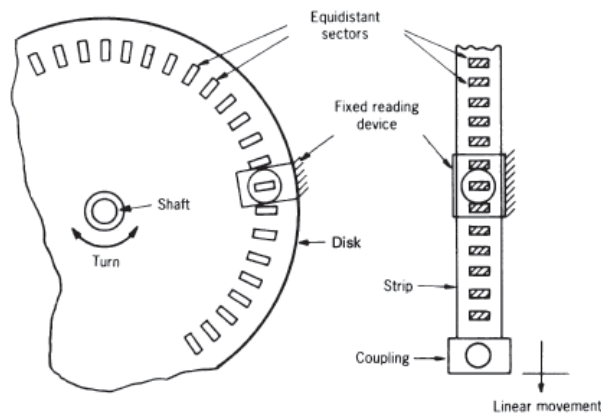
Fuente: Fundamentos de robótica. McGraw-Hill.1997. p.36.

⁵ **Pallas**, Ramon. Sensores y acondicionadores de señal. Alfaomega. 2001. tercera edición p.30. Cuadro 1.6

Sensor de contacto: Los sensores de contacto simplemente indican si ha habido contacto con un objeto o no, sin medir la fuerza ejercida sobre el sensor, generalmente se usan interruptores de límite o microinterruptores.

Encoders incremental⁶: En estos sensores hay un elemento lineal o un disco con poca inercia, que se desplaza solidario a la pieza cuya posición se desea determinar. Dicho elemento posee dos zonas diferenciables dispuestas de forma alternativa y equidistante. Las propiedades empleadas para la diferenciación pueden ser magnéticas, eléctricas u ópticas. La salida básica suele ser un tren de pulsos con un ciclo de trabajo del 50%

Figura 6: Principio de los codificadores de posición incrementales para posiciones lineales y angulares.



Fuente: Sensores y acondicionadores de señal. P. 360.

Potenciómetros: básicamente es un resistor al cual se le puede modificar el valor de su resistencia, un potenciómetro consta de dos terminales fijas y una terminal móvil, esta terminal móvil o variable se usa como elemento sensor.

⁶ Pallas, Ramon. Op. Cit. p360.

Figura 7: Potenciómetro lineal y símbolo de potenciómetro.



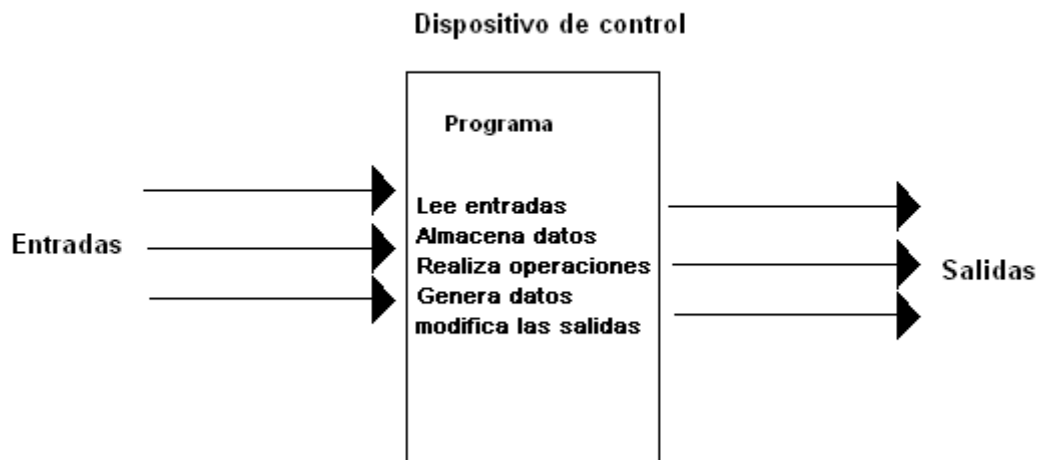
Fuente:

http://2.bp.blogspot.com/_QpF9zzNmOrA/SNK6dLphMqI/AAAAAAAAAL8/Bm62AFplwKg/s320/Potenciometro+lineal.jpg

2.5 Dispositivos y mecanismos de control

Dispositivos de control: Estos dispositivos se caracterizan por tener la capacidad de detectar y/o medir entradas de cualquier índole (eléctricas, neumáticas, mecánicas, procesarlas, generar nuevos datos y modificar sus salidas de acuerdo a la programación establecida.

Figura 8: Esquema básico de los dispositivos de control



Fuente: Elaborada por los autores.

Microcontroladores: Los microcontroladores son dispositivos electrónicos programables que se caracterizan por su pequeño tamaño (igual o menor que el dedo

meñique de un adulto), por su bajo costo y su alto rendimiento en el mundo de la electrónica.

El microcontrolador posee una memoria donde se almacena el programa, una vez programado y configurado, solo sirve para ejecutar las órdenes consignadas en el programa. La utilización de un microcontrolador reduce el número de averías y el volumen y el peso de los equipos.⁷

Controlador lógico programable (PLC): Son equipos electrónicos que se caracterizan por estar diseñados para funcionar en un ambiente industrial, controlando procesos secuenciales en tiempo real.

Los PLC trabajan gracias a la información de sus entradas lógicas y/o análogas y modifican los estados de los actuadores en base al programa lógico interno, hoy en día los PLC disponen de interfaces de comunicación (RS232, RS485, Ethernet, Bluetooth) que los conectan a otros dispositivos controladores (PLC, computador, pantallas táctiles, entre otros), haciendo de ellos un equipo flexible y un recurso de bastante capacidad de operación.

Computador: El computador es una máquina electrónica que recibe y procesa datos para convertirlos en información útil de acuerdo a las aplicaciones que este ejecutando el usuario. Cabe destacar que el computador es un sistema de propósito general, es decir que puede realizar diversas tareas, de acuerdo a las posibilidades del lenguaje de programación, software que este ejecutando y/o desarrollando y por último el hardware que se esté utilizando.⁸

⁷ **Palacios**, Enrique; **Remiro**, Fernando; **López**, Lucas. Microcontrolador PIC16F84. Ed. Alfaomega 2006. Segunda edición. P.1.

⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Computadora>

Los computadores de hoy en día disponen de muchas interfaces de comunicación que facilitan el desarrollo de aplicaciones de control, las interfaces proveen al computador de datos, los cuales son muy útiles para controlar un proceso a través de un software desarrollado específicamente para ese proceso, estos software pueden enviar una señal para modificar el estado de un actuador y así alterar el estado del sistema de acuerdo a los parámetros establecidos en el software controlador.

2.5.1 Mecanismos de control: Los mecanismos de control son recursos para variar el estado del actuador del sistema para lograr una salida deseada. Bajo este concepto disponemos de controles de bucle abierto y bucle cerrado. Los de bucle abierto tienen la particularidad de no usar realimentación, por eso el control está supeditado a las entradas y perturbaciones del sistema, mientras que los de bucle cerrado disponen de realimentación negativa.

Esta realimentación negativa genera un valor de error que es muy considerado por los mecanismos de compensación. Los más usados son:

- **Control On-Off:** Son los más básicos sistemas de control. Envían una señal de alto (on, encendido, 1, si) cuando la entrada de la señal es menor que la de referencia predefinida y envía una señal de bajo (off, apagado, 0, no), cuando la señal de entrada es mayor que la de referencia, o puede ser al revés dependiendo de la lógica del control.

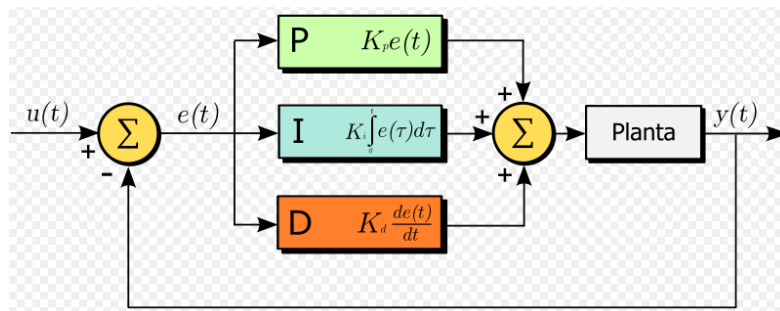
- **Control PID⁹:** Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde. La acción del control PID se da en tres parámetros distintos: el

⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo#Limitaciones_de_un_control_PID

proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control. Ajustando estas tres constantes en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado al cual el controlador llega al "valor de referencia", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

Figura 9: Esquema de un controlador PID



Fuente:

http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo#Limitaciones_de_un_control_PID

2.6 Obtención de imágenes a partir de visión artificial.

En particular el tipo de imagen que suele necesitarse se genera por una combinación de una fuente de iluminación y la reflexión o absorción de energía de esta fuente dependen de los elementos de la escena.

Dependiendo de la naturaleza de la fuente, la energía luminosa puede ser reflejada o transmitida por los objetos. Referenciando las diversas formas de adquirir una imagen lo que se tiene primero es la captación de la imagen a partir de un sensor de imagen o cámara y lo segundo sería el procesamiento de la imagen que se lleve a cabo bien sea por computadora o a partir de una tarjeta de procesamiento digital.¹⁰

En la primera parte los sensores están encargados de ofrecer una señal eléctrica a controlar equivalente a la intensidad de luz en el objeto específico.

En algunas aplicaciones, la energía transmitida o reflejada se enfoca a un foto convertidor que convierte la energía a luz visible. Una particularidad del empleo de dispositivos de este tipo es el arreglo de sensores que hay que generar para plasmar la adquisición de una imagen en algunas aplicaciones con un índice de definición más detallado. Actualmente se emplean cámaras de estado sólido que permiten una captación más limpia y estructurada de la imagen física a partir de tres diferentes métodos:

- El primer método se denomina de disparo único, en referencia al número de veces que el sensor de la cámara fotográfica se expone a la luz que pasa a través de la lente. Los sistemas de disparo único utilizan un dispositivo de carga acoplada (CCD) con un filtro Bayer, o tres sensores de imagen independientes (uno para

¹⁰ **Mejía**, Vilet; **José**, Ramón. Procesamiento digital de imágenes. Área de computación e informática. Facultad de ingeniería UASLP. P29

cada uno de los colores primarios aditivos: rojo, verde, y azul) que se exponen a la misma imagen mediante un sistema óptico de separación de imagen; este método también está basado en la abstracción de un pixel, el cual junto a otros forman la estructura de una imagen constituyendo un cuadro que es explorado de tal forma que la información se pueda transmitir de manera serial . El CCD es un tipo de sensor que contiene un número determinado de condensadores enlazados acoplados. Bajo el control de un circuito interno, cada condensador está en capacidad de transferir su propia carga eléctrica a uno o varios condensadores que estén a su lado en el circuito impreso. El filtro Blayer es una malla cuadrículada de filtros rojos, verdes y azules que se sitúa sobre un sensor digital de imagen (CCD) para hacer llegar a cada fotodiodo una tonalidad de los distintos colores primarios; interpolando las muestras de varios fotodiodos se obtiene un pixel de color.

- El segundo método se denomina de multidisparo, porque el sensor se expone a la imagen en una secuencia de tres o más aperturas del obturador de la lente. Hay varios métodos de aplicación de esta técnica. El más común es utilizar un único sensor de imagen con tres filtros (de nuevo rojo, verde y azul) colocados delante del sensor para obtener la información aditiva del color. Otro método de multidisparo utiliza un solo CCD con un filtro de Blayer pero mueve la posición física del sensor en el plano del foco de la lente para componer una imagen de más alta resolución que la que el CCD permitiría de otra manera. Una tercera versión combina los dos métodos sin un filtro de Blayer en el sensor.

- El tercer método se llama exploración porque el sensor se mueve a través del plano focal como el sensor de un explorador (scanner) de escritorio. Sus sensores lineares o tri-lineares utilizan una sola línea de fotosensores, o tres líneas para los tres colores. En algunos casos, la exploración es lograda rotando la cámara fotográfica entera; una cámara fotográfica con línea rotativa ofrece imágenes de resolución total muy alta.¹¹

¹¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Cámara_digital

Este tipo de dispositivos son empleados con mayor frecuencia debido a su bajo consumo energético y su poco tamaño y peso. Este tipo de cámaras deben ser elegidas con base en diferentes características de la aplicación a emplear y del ambiente de trabajo como; iluminación, resolución, velocidad de captación, rango de abstracción entre otras facultades que representen la imagen ideal a tomar y a ser procesada.

2.6.1 Procesamiento y análisis de imágenes digitales.

El procedimiento de manipulación y análisis de imágenes es posible realizarlo de diferentes formas, las dos más representativas son: a partir de una tarjeta de control o por computadora. Dentro de los propósitos de este proyecto se emplea el modo de análisis por computadora.

El método de manipulación y análisis de imágenes por computadora está centrado para tres diferentes propósitos; mejorar la calidad de la imagen, corregir defectos, analizar su contenido con fin de tomar decisiones en un proceso real.

La secuencia de las operaciones fundamentales para el análisis y manipulación de una imagen por computadora cumple con el siguiente ciclo (para imágenes de dos o tres dimensiones):

Formación y adquisición de la imagen: Captura de la imagen con algún sistema de adquisición como los modelos mostrados con anterioridad

Digitalización: Discretización de la imagen. Formando una matriz de vectores numéricos a ser procesados por el computador.

Restauración: Corrección de degradaciones conocidas generadas durante la adquisición referenciada en mayor parte por efectos tales como distorsión geométrica, imagen desenfocada, movimiento de la cámara, defectos en los captadores o en la transmisión de la imagen.

Reconstrucción: Reconstrucción necesaria en algunas técnicas de adquisición que no generan una imagen totalmente directa debido a efectos como tomografía, proyecciones múltiples (angiografía rotacional).

Reprocesamiento: Mejora de la calidad visual de la imagen o como preparación a un procedimiento subsecuente teniendo algunos efectos; aumento del contraste y luminosidad, realce de bordes o contornos, reducción de ruido.

Segmentación: Extracción de estructuras de la imagen conocidos como diferentes elementos u objetos tales como: extracción de contornos, detección de regiones y detección de movimiento.

Análisis de formas: A partir de la información sobre la forma de los objetos se evalúan y se toman decisiones (área, perímetro, circularidad excentricidad, momentos, esqueleto, descripción de textura).

Clasificación de objetos: Determinación de diferentes clases de objetos en la imagen esto es posible conseguirlo con la implementación de reconocimiento de patrones y redes neuronales.

2.6.2 Herramientas para el procesamiento de imágenes.

Dentro del ciclo de preprocesamiento y segmentación se incluyen dos conceptos y elementos básicos para la construcción de una máscara de imagen procesada tales como; un histograma y un producto de convolución donde:

El histograma de una imagen digital es una función discreta definido por un nivel de colores y un numero de pixeles consecuentes con ese nivel¹²

La utilidad de un histograma está contemplada como la base para el desarrollo de diferentes técnicas de procesamiento de imagen como: realce de imágenes, provee estadísticas de la imagen, segmentación (determinación de umbrales para binarización)

¹² <http://agamenon.uniandes.edu.co/~pfiguero/CG/ProclImagenes.pdf>. pág.2

Este elemento es muy utilizado por su fácil implementación y porque tiene la opción de modificar de manera global la escala de grises de la imagen, puede del mismo modo, para un nivel específico de escala de grises dentro de la misma imagen, definir un nuevo valor.

Para trabajar en un histograma se debe realizar una transformación o modificación, las más empleadas son:

Expansión del contraste: establece una calibración de la imagen a partir del histograma consiguiendo una visualización más detallada en apariencia.

Ecualización: establece una distribución uniforme al histograma para mejorar el contraste.

Negativo: invierte los niveles de intensidad produciendo el equivalente de un negativo fotográfico; útil para mejorar niveles de blanco o gris en regiones oscuras de la imagen, especialmente cuando las áreas negras dominan en tamaño.¹³

Umbralización: se localiza el mínimo entre los modos del histograma permitiendo separar regiones en la imagen con más brillo y concentración de color.¹⁴

Dentro de la segmentación de una imagen se encuentran algunos inconvenientes que interfieren en la calidad del procesamiento, conocidos como ruido de imagen los más típicos son; ruido sal y pimienta (ocurrencias aleatorias de píxeles completamente blancos y completamente negros), ruido impulso (ocurrencias aleatorias de píxeles completamente blancos), ruido Gaussiano (el nivel de gris de todos los píxeles de la imagen es perturbado con una curva de distribución normal).

Convolución

Representado como un filtrado lineal es la herramienta más empleada a la hora de realizar un procesamiento consiste en que cada píxel existente en la imagen es

¹³ **Mejía**, Vilet; **José**, Ramón. Procesamiento digital de imágenes. Área de computación e informática. Facultad de ingeniería UASLP. Capítulo 2.3 , pág. 45

¹⁴ http://campusvirtual.uma.es/tdi/www_netscape/TEMAS/Tdi_24/index6.php

combinación lineal de varios píxeles que comparten ubicación en la imagen original. Para llevar a cabo una convolución es necesario implementar una máscara de convolución, donde esta es la función respuesta al impulso del filtro a aplicar.¹⁵

Producto de convolución.

Es un filtrado en el espacio, teniendo operaciones directas sobre los píxeles dentro de los cuales los filtros lineales que consisten en mover la máscara de convolución punto a punto sobre la imagen, obteniendo una respuesta dada por la suma de productos de los coeficientes de la máscara y los píxeles correspondientes en el área cubierta por la máscara.

Los filtros lineales tienen diferentes efectos en su desempeño algunos son:

- Se generan problemas en los bordes pues quedan secciones de la máscara fuera de la imagen.
- Mejor solución es limitar el centro de la máscara a una distancia no menor a la media de la imagen.
- Se obtiene una imagen más pequeña pero todos los píxeles son filtrados con la máscara completa.
- Si se desea que el tamaño de la imagen sea el mismo, solo se computa la región interna de la máscara.
- Agregar columnas de ceros para poder incluir toda la máscara, esto genera que los bordes prevalezcan a medida que se escogen máscaras más grandes.¹⁶

¹⁵ <http://webdiis.unizar.es/~jdtardos/cdocSPR/2c.Procesamiento.pdf> P6

¹⁶ <http://agamenon.uniandes.edu.co/~pfiguero/CG/Proclmagenes.pdf> P39

Suavizadores.

Son empleados para utilizar la atenuación y reducción del ruido, tienen como respuesta el promedio de la similitud en el espacio para píxeles de la máscara denominados también filtros promediadores estos también hacen que se reemplace cada píxel en una imagen por el promedio de nivel de gris de píxeles con espacios coincidentes.¹⁷

El resultado es una imagen con reducción en las transiciones agudas de los niveles de gris; para ello se tiene que la aplicación más usada es la reducción de ruido aleatorio, esto tiene diferentes problemas con los contornos de la imagen definidos como atenuaciones. Uno de los usos más significativos es la reducción de detalles irrelevantes; esto se consigue en las regiones más pequeñas que la máscara.

Detección de bordes.

La receta para considerar la utilización de la técnica de procesamiento por detección de bordes obedece al siguiente ciclo:

- convolución linealizada.
- un realce de contraste.
- diferenciación o derivación espacial.
- Operadores para realzar el contraste utilizando diferenciación digital.

Uno de los más importantes y sencillos procesados es la detección de bordes. Importante porque de él se puede empezar a extraer importante información de la imagen, como pueden ser las formas de los objetos que la componen, y sencillo porque los operadores de detección de bordes son simples máscaras de convolución. Estos operadores son utilizados en aplicaciones para el reconocimiento de formas, aplicaciones industriales, militares y demás.

¹⁷ <http://agamenon.uniandes.edu.co/~pfiguero/CG/Proclmagenes.pdf> P44

Dentro de las numerosas aplicaciones para la detección de bordes, los artistas digitales lo usan para crear imágenes con contornos deslumbrantes pues la salida de un detector de bordes puede ser agregada a una imagen original para realzar los bordes. La detección de bordes es a menudo el primer paso en la segmentación de imagen, que es un campo del análisis de la imagen, y se utiliza para agrupar los píxeles en regiones para determinar una composición de la imagen. La detección de bordes también es usada en el registro de imagen, el cual alinea dos imágenes que podrían ser adquiridas en momentos separados y de sensores diferentes.

Los bordes de la imagen contienen mucha de la información de esta. Los bordes cuentan donde están los objetos, forma, tamaño, y también textura. Los ejes o bordes se encuentran en zonas de una imagen donde el nivel de intensidad fluctuante cambia bruscamente, cuanto más rápido se produce el cambio de intensidad, el eje o borde es más fuerte. Un buen proceso de detección de bordes facilita la elaboración de las fronteras de objetos con lo que, el proceso de reconocimiento de objetos se simplifica. Para poder detectar los bordes de los objetos, debemos de detectar aquellos puntos borde que los forman.

En general, los bordes de objetos en una imagen los podemos distinguir por los cambios más o menos bruscos de valor entre dos o más píxeles adyacentes. Podemos realizar una clasificación general de los bordes según sea su dirección en:

Bordes verticales: cuando píxeles conectados verticalmente tienen valores diferentes respecto de los anteriores o posteriores.

Bordes horizontales: cuando tenemos píxeles conectados horizontalmente, y estos tienen distintos valores respecto de los anteriores o posteriores.

Bordes oblicuos: cuando tenemos una combinación de las componentes horizontales y verticales.

La diferencia entre los valores de los píxeles nos indica lo acentuado del borde, de forma que a mayores diferencias tenemos bordes más marcados y a menores tenemos unos bordes suavizados.

Los filtros utilizados para la detección de bordes son filtros diferenciales, que se basan en la derivación o diferenciación. Dado que el promediado de los píxeles de una región tiende a difuminar o suavizar los detalles y bordes de la imagen, y esta operación es análoga a la integración, es de esperar que la diferenciación tenga el efecto contrario, el de aumentar la nitidez de la imagen, resaltando los bordes.¹⁸

¹⁸http://www.des.udc.es/~adriana/TercerCiclo/CursoImagen/cursos/web/Filtrado_Espacial_Borde.html

3. DESARROLLO INGENIERIL

En este capítulo se muestran los cálculos necesarios para la construcción del prototipo de una Máquina de grabado de vidrio por disparo de arena. De aquí en adelante el termino *sandblasting* se referirá al grabado de vidrio por chorro de arena por su traducción al idioma ingles.

El principio básico de la Máquina es poder opacar el vidrio, debido a que se trabaja en áreas, debe considerarse la idea de desarrollar un posicionador de dos grados de libertad, o uno de tres de grados de libertad redundante.

Configuración angular: La configuración angular permite obtener una rápida velocidad de respuesta, sin embargo, al momento de controlar el posicionamiento, se requiere de servomotores que puedan manejar la inercia mecánica de los brazos articulados, siendo estos el componente más costoso¹⁹. Sin embargo en el apartado de control, los servos son el componente que puede reducir cableado, piezas y garantiza un posicionamiento preciso.

Configuración polar: Esta configuración requiere del uso de un servomotor y de un mecanismo que proporcione un grado de libertad de desplazamiento lineal, sin embargo, la controlabilidad del sistema se ve reducida. Tiene a favor que la cantidad de piezas es menor con respecto a la anterior y puede llegar a ser más económico que implementar un posicionador de tipo angular,

Configuración cartesiana: para este caso, el posicionador consta de dos articulaciones de tipo lineal, aunque requiere de muchas piezas, estas son fácilmente reemplazables y económicas. Aunque desarrollar el control para este sistema es

¹⁹ <http://www.robotshop.ca/specialty-servo-en-2.html?p=1-20>; Kondo KRS-2552HV ICS Servo Motor Red Version.

menos sencillo con respecto al indicado en la configuración angular, los costos económicos lo hacen una opción a considerar.

Para este prototipo se evaluaron las tres configuraciones descritas y se obtuvo las siguientes conclusiones.

TABLA 4. Evaluación de los posicionadores

Evaluación de las características generales de los posicionadores y calificación en función para una Máquina de sandblasting

	Espacio	Controlabilidad	Rapidez del sistema	Robustez	Cantidad de piezas	Costo de piezas	Piezas asequibles	TOTAL
Configuración Cartesiana	Medio	Alta	Media	Media	Alta	Bajo	Alta	
Puntos	3	5	3	3	1	5	5	25
Configuración Angular	Poco	Alta	Alta	Baja	Media	Medio	Baja	
Puntos	5	5	5	1	3	3	1	23
Configuración Polar	Mucho	Baja	Baja	Alta	Baja	Medio	Media	
Puntos	1	1	1	5	5	3	3	19

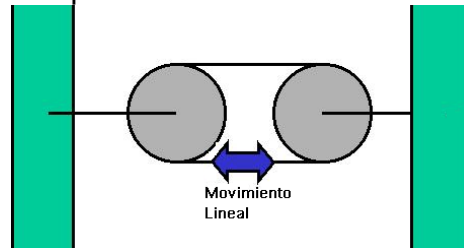
Fuente: Desarrollado por los autores.

Como se puede apreciar la configuración cartesiana obtuvo más puntos por ende se considera conveniente implementar un posicionador cartesiano.

Dado que el posicionador mejor evaluado fue el cartesiano el diseño mecánico fue orientado a este, cabe señalar que hay dos sistemas de transmisión propios, los cuales otorgan al final un movimiento lineal, es conveniente recordar que se necesitan dos movimientos lineales para que el sistema sea denominado cartesiano. Las transmisiones que permiten este tipo de movimiento son: tuerca-husillo y cremallera (ver tabla 2), sin embargo no podemos olvidar que un arreglo de poleas

puede ser aprovechado para convertir un movimiento circular en movimiento lineal, tal como se ve en la figura.

Figura 10: movimiento lineal poleas



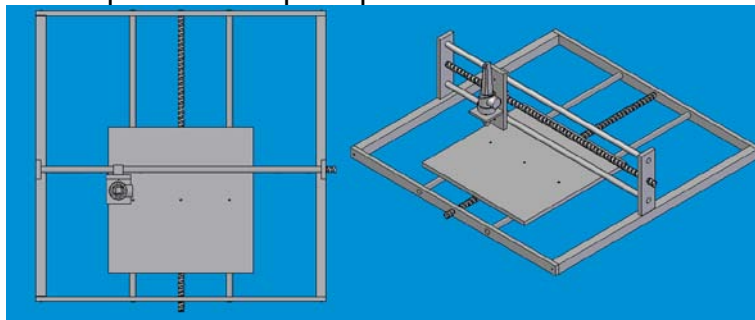
Fuente: Elaborada por los autores

Como se puede apreciar este arreglo consta de dos poleas del mismo tamaño, el movimiento lineal se dará en los puntos de la correa que no son tocados por la circunferencia de las poleas

Teniendo en cuenta las anteriores observaciones se procedió a considerar tres alternativas las cuales compararemos a continuación:

Alternativa 1: Inicialmente fue evaluado el principio de posición de un taladro fresador:

Figura 11: Diseño inspirado en el principio del taladro fresador

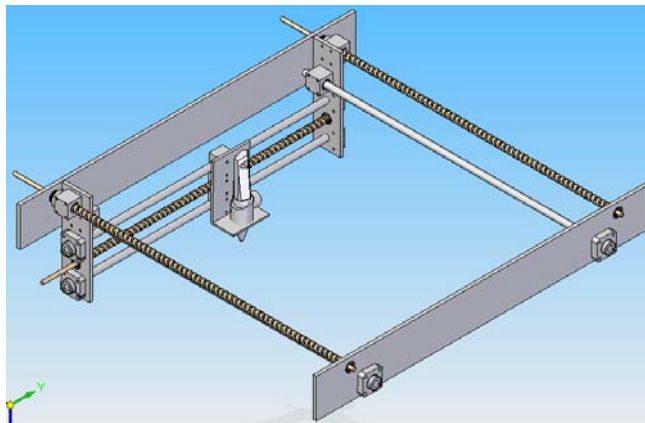


Fuente: Elaborada por los autores, Software Solid Edge

Es un diseño muy sencillo y relativamente fácil de construir, se puede apreciar que la mesa, la cual sostendría el vidrio se mueve en una dirección y la pistola se mueve en la dirección perpendicular a la mesa, sin embargo se opto por descartar este diseño debido a que la arena puede trabar con facilidad los mecanismos de desplazamiento (ejes, Rodamientos, lubricantes) especialmente los de la mesa.

Alternativa 2: Después de las observaciones acotadas en la alternativa 1 se pondera la posibilidad de que en el diseño del posicionador, un carrete sostenga al otro, todo esto orientado hacia la protección de los mecanismos de desplazamiento.

Figura 12: Posicionador cartesiano.

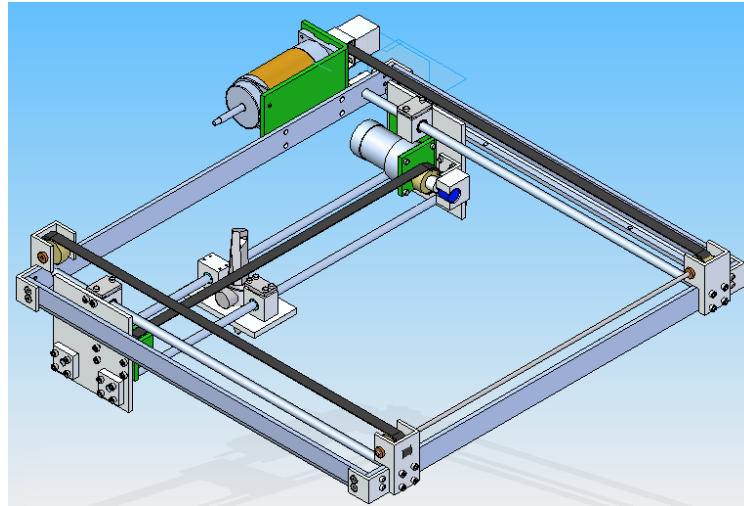


Fuente: Elaborado por los autores, Software Solid Edge

Esta alternativa permite disminuir la posibilidad de daño ocasionado por la arena que puede trabar los mecanismos de desplazamiento, sin embargo al momento de realizar los desplazamientos para esta aplicación en particular se necesitarían revoluciones por minuto del orden de las 1500 a 3000

Alternativa 3: Esta alternativa involucra el uso de correas, para desplazar los carretes, eliminando así la posibilidad de la obstrucción del tornillo por medio de la arena, este diseño involucra también el uso de las guías lineales, las cuales soportarían los carretes.

Figura 13: Posicionador cartesiano con correas.



Fuente: Elaborado por los autores, Software Solid Edge.

Debido a que cada alternativa ha mejorado las falencias de las anteriores, se considera, conveniente recurrir a la implementación de la alternativa tres.

Dado que el diseño de la máquina involucra 4 grandes frentes de la ingeniería mecatrónica este capítulo se divide en las siguientes partes.

- Diseño mecánico.
- Diseño eléctrico y electrónico.
- Control y programación.
- Visión Artificial.

3.1 Diseño mecánico.

En los sistemas de guiado lineal, se tienen en cuenta las siguientes variables.

- Capacidad de carga.
- Rigidez.
- Precisión.
- Rozamiento.

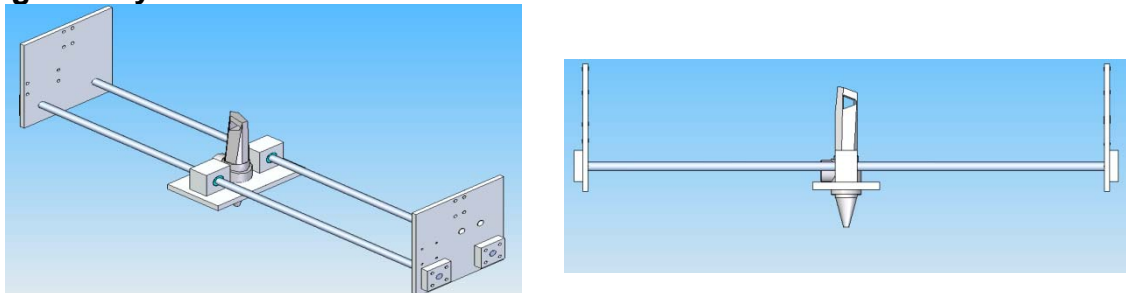
- Velocidad.

La capacidad de carga está relacionada con el factor de seguridad de las guías. La capacidad de carga se divide en dos ítems, capacidad de carga dinámica y capacidad de carga estática.

Capacidad de carga estática: En los sistemas lineales carril guía, la capacidad de carga estática es una carga centrada en el carro de magnitud y dirección constantes. El coeficiente de seguridad estático, nunca será inferior a 3.²⁰

Capacidad de carga dinámica: de acuerdo a la normativa DIN 636, que aplican la mayoría de fabricantes europeos, utiliza los aspectos mencionados para definir la Capacidad de carga dinámica, como aquella carga que puede soportar una guía lineal en el 90% de los casos para una duración de vida de 100000 metros de recorrido, antes de que aparezcan los primeros síntomas de fatiga del material. Teniendo en cuenta los anteriores conceptos procedemos a realizar el análisis de las guías que facilitan el desplazamiento de la pistola de sandblasting.

Figura 13 y 14: Carretes Guías Coordenada X



Fuente: Elaborado por los autores

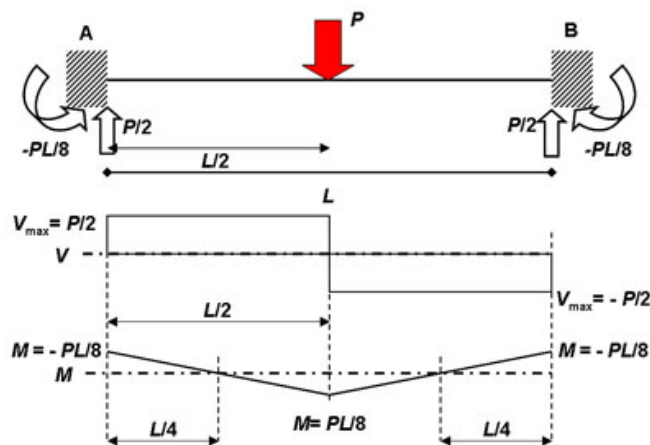
Como se puede apreciar en las figuras, este posicionador en la coordenada x consta de dos vigas guías las cuales están hechas de acero plata y tienen una

²⁰http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/library/downloads/seleccion_de_sistemas_de_guiado_lineal.pdf

longitud de 617,3 mm y un diámetro inicial de 10 mm que facilitan el desplazamiento, estas dos vigas guías se distribuyen el peso de la bandeja que porta la pistola de sandblasting.

Teniendo en cuenta que ambas guías son biempotradas y necesitamos calcular los esfuerzos cortantes y los esfuerzos por flexión, es conveniente apoyarse en la forma generalizada de diagramas cortantes y momentos flectores.

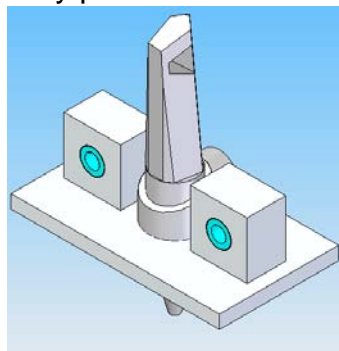
Figura 16: Diagrama de esfuerzos cortantes y momentos flectores de una viga biempotrada.



Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE_VIGAS.html

Teniendo en cuenta la forma genérica de los diagramas procedemos a calcular de acuerdo a las características específicas de las vigas de la coordenada X

Figura 17: bandeja portapistola y pistola



Debido a las consideraciones de hacer una estructura liviana y a la vez resistente, la bandeja portapistola, los dados y la pistola de sandblasting están fabricados en aluminio 6061, se eligió este material, debido a que es 2.9 veces más liviano que el acero, además esta parte de la estructura no involucra demasiados esfuerzos, aparte de eso es mucho más fácil de mecanizar que el UHMW-PE²¹

Peso estimado de la bandeja portapistola y pistola = 1.5 Kg, se desprecia el peso de las barras de 10 mm debido a que su aporte individual es de 400 gramos en carga distribuida.

Dado que son dos guías, el peso se distribuye uniformemente en ambas, por ende cada guía estará soportando un peso de 0.750 Kgm, debido al peso

$$L = 0.6173 \text{ m}$$

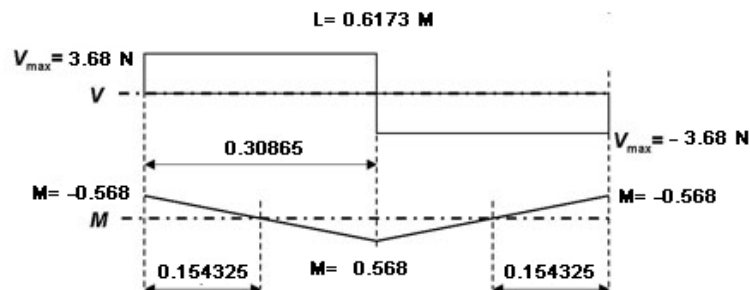
$$P = M * g = 0.750 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 7.36 \text{ N}$$

$$M_p = \frac{PL}{8} = \frac{7.36 * 0.6173}{8} = 0.568 \text{ Nm}$$

$$V_{max} = \frac{7.36 \text{ N}}{2} = 3.68 \text{ N}$$

El diagrama de esfuerzos cortante y momento flector es reducido a esta forma.

Figura 18: Diagrama esfuerzos cortantes y momentos flectores guía coordenada x



²¹ Siglas en ingles de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular

Fuente: Elaborado por los autores

- Calculamos el esfuerzo por flexión y el esfuerzo por cortante.

Esfuerzo por flexión: $\sigma = -\frac{Mc}{I}$ que en el caso de sección circular se puede expresar por la ecuación $\sigma = \frac{32 Mp}{\pi d^3} \rightarrow \sigma = \frac{32*0.568}{\pi*0.01^3} \rightarrow \sigma = -5.785 MPa$

*Esfuerzo cortante*²²: $\tau = \frac{4V}{3A} \rightarrow \tau = \frac{4*3.68 N}{3*\pi*r^2} \rightarrow \tau = \frac{14.72 N}{0.000235 m^2} = 0.0623 MPa$

Los esfuerzos principales en la viga son:

$$\sigma_n \frac{Max}{Min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_n \frac{Max}{Min} = \frac{-5.785}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-5.785}{2}\right)^2 + 0.0623^2}$$

$$\sigma_n Min = -5.785 Mpa \qquad \sigma_n Max = 0.0056 Mpa$$

Y el esfuerzo de Von Mises es $\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{max}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min} + \sigma_{min}^2}$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.0056_{max}^2 - 0.0056_{max}(-5.785)_{min} + (-5.785)_{min}^2}$$

$$\sigma_{vm} = 5.787 MPa$$

El esfuerzo de fluencia del acero plata es de 200 Mpa, por ende el factor de seguridad es 34.560 lo cual es satisfactorio dado que es mayor que 3²³.

²²SHIGLEY Joseph; MISCHKE, Charles. Diseño en ingeniería mecánica Ed. McGraw-Hill. Tercera Edición. Pag 67

²³http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/library/downloads/seleccion_de_sistemas_de_guiado_lineal.pdf

La deflexión en la viga la cual hay que recordar que esta biempotrada está dada por la ecuación:

$$Y = \frac{P * L^3}{192 * E * I}$$

Donde E=Modulo de elasticidad del material.

I=Momento de inercia de la superficie.

El momento de inercia de una superficie circular esta dado por la ecuación:

$$I = \frac{\pi * r^4}{4}$$

El modulo de elasticidad de el acero es de 200 GPa

$$Y = \frac{7.36 N * (0.6173m)^3}{192 * 200 * 10^9 \frac{n}{m^2} * \frac{\pi * 0.005m^4}{4}} = 0.092 mm$$

La deflexión es del orden de 9,2 centésimas de milímetro, lo cual es satisfactorio en términos de rigidez del posicionador.²⁴

Se debe calcular la vida útil del posicionador en m, para determinar si cumple con la normativa DIN-636 específicamente en los 1000000 metros o 100 Km de recorrido.

Debido a las características del posicionador y a los esfuerzos en una sola dirección la capacidad de carga dinámica y estática es la misma que la fuerza ejercida en cada una de las guías, para determinar la vida útil en metros disponemos de la siguiente ecuación²⁵:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 10^5$$

²⁴ Normativa DIN 636

²⁵ <http://www.sainsl.com/pdf/dsm.pdf>

Donde L= Longitud en metros, C es la capacidad de carga dinámica y P son las fuerzas ejercidas en el rodamiento. En la guía de 10 mm, disponemos de un rodamiento lineal de referencia LBBR10²⁶, el cual tiene una capacidad de carga estática de 415 N y una capacidad de carga dinámica de 585 N, recordemos que P es igual a 7.36 N

$$L_x = \left(\frac{585}{7.36} \right)^3 10^5 = 50215080 \text{ Km}$$

El resultado de esta operación es una vida útil satisfactoria.

Las guías deslizantes, presentan coeficientes de rozamiento entre $\mu = 0,05$ y $0,2$ ²⁷ según la velocidad, Mediante este coeficiente podremos evaluar la potencia necesaria para vencer el esfuerzo de fricción, Es $F = \mu N$ siendo **N** la componente normal, para calcular la fuerza necesaria aplicamos la ecuación. $F = \mu * N$, la fuerza segura que se debe ejercer para mover el portapistola y la pistola es:

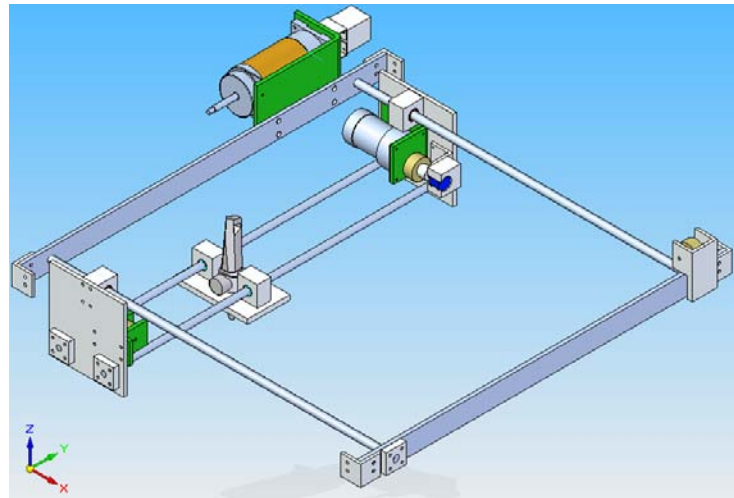
$$F = 0.2 * 1.5 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.943 \text{ N} \cong 3 \text{ N}$$

En el segundo carrete procedemos a realizar los mismos cálculos para determinar si el diseño de este es satisfactorio.

²⁶ ANEXO SKF

²⁷http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/library/downloads/seleccion_de_sistemas_de_guiado_lineal.pdf

Figura 19: Coordenadas X y Y del posicionador



Fuente: Elaborado por los autores. Software Solid Edge.

Podemos apreciar que el sistema guía consta de dos varillas de acero plata de 12 mm de diámetro (evaluación inicial), estas guías soportan una masa descrita a continuación.

TABLA 5. Elementos que soportan las guías

ELEMENTOS QUE SOPORTAN LA GUIAS	
Barras de 10 mm	0.8 Kg
Bandeja Portapistola y dados	1.5 Kg
Motor y portamotor	1 Kg
Parales y elementos doblados	1.7 Kg
Peso Estimado	5 Kg

Fuente: Elaborado por los autores

Análisis de esfuerzos carrete Y.

Dado que son dos guías el peso se distribuye uniformemente en ambas, por ende cada guía estará soportando un peso de 2,5 Kgm, se desprecia el efecto del peso de las barras (500 gramos) debido al efecto de estar en carga distribuida y ser una carga relativamente pequeña.

$$L = 0.637 \text{ m}$$

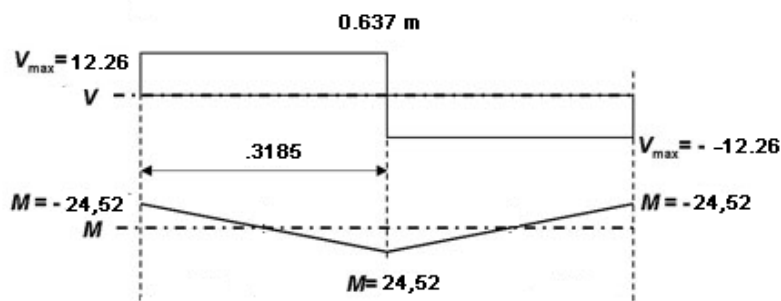
$$P = M * g = 2,5 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 24.52 \text{ N}$$

$$M_p = \frac{PL}{8} = \frac{24,52 * 0.637}{8} = 1.95 \text{ Nm}$$

$$V_{max} = \frac{24.52 \text{ N}}{2} = 12.26 \text{ N}$$

El diagrama de esfuerzos cortante y momento flector es de esta forma.

Figura 20: Diagrama esfuerzos cortantes y momentos flectores guía coordenada Y



El esfuerzo por flexión y el esfuerzo por cortante se determinan así:

$$\text{Esfuerzo por flexión: } \sigma = -\frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = -\frac{32 Mp}{\pi d^3} \rightarrow \sigma = -\frac{32 * 1.95}{\pi * 0.012m^3} \rightarrow \sigma = -11.5 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo cortante}^{28}: \tau = \frac{4V}{3A} \rightarrow \tau = \frac{4 * 12.26 \text{ N}}{3 * \pi * r^2} \rightarrow \tau = \frac{49.04 \text{ N}}{0.001357 \text{ m}^2} = 0.145 \text{ MPa}$$

Los esfuerzos principales en la viga son:

$$\sigma_{n \frac{Max}{Min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

²⁸ SHIGLEY Joseph; MISCHKE, Charles. Opt Cit. Pag 68

$$\sigma_n \frac{Max}{Min} = \frac{-11.5}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-11.5}{2}\right)^2 + 0.145^2}$$

$$\sigma_n Min = -11.502 \text{ Mpa} \qquad \sigma_n Max = 0.0018 \text{ Mpa}$$

Y el esfuerzo de Von Mises es $\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{max}^2 - \sigma_{max}\sigma_{min} + \sigma_{min}^2}$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.0018_{max}^2 - 0.0018_{max}(-11.502_{min}) + (-11.502_{min})^2}$$

$$\sigma_{vm} = 11.503 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de fluencia del acero plata es de 200 Mpa, por ende el factor de seguridad es 17.38 lo cual es satisfactorio. Procedemos a calcular la deflexión en la viga:

$$Y = \frac{P * L^3}{192 * E * I}$$

El modulo de elasticidad de el acero es de 200 GPa

$$Y = \frac{24.56 \text{ N} * (0.637\text{m})^3}{192 * 200 * 10^9 \frac{\text{n}}{\text{m}^2} * \frac{\pi * 0.006\text{m}^4}{4}} = 0.1625 \text{ mm}$$

La deflexión es satisfactoria en términos de deformación del posicionador, debido a que cumple con la normativa DIN 636

El rodamiento LBBR12²⁹ tiene una capacidad de carga dinámica de 695 N, con una fuerza de 24.52 N, tiene una vida de:

$$L_Y = \left(\frac{695}{24.52}\right)^3 10^5 = 2277106 \text{ Km}$$

La fuerza mínima para vencer la resistencia estática es:

²⁹ CATALOGO SKF

$$F = 0.2 * 5 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$$

La base de la máquina de sandblasting soporta el peso del modulo de visión artificial, el cual además tiene una tolva que permite alojar el abrasivo, además de esos pesos, la base de la Máquina soporta el peso del posicionador y el peso de una platina de acero de 2 pulgadas, la siguiente tabla describe los pesos de cada uno de los elementos indicados.

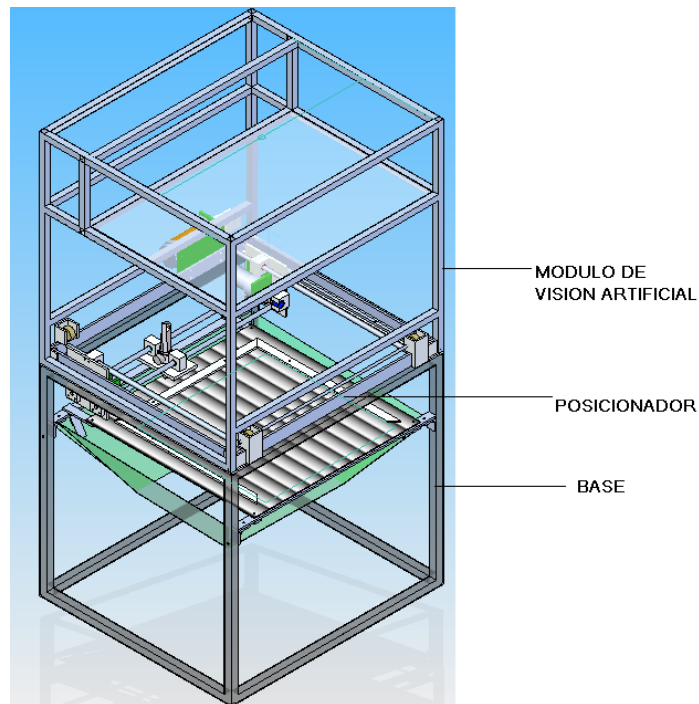
TABLA 6. Elementos soportados por la base del posicionador

ITEM	Peso	Observaciones
Modulo de visión artificial	12 Kg	Esta fabricado en tubo hueco cuadrado de acero de 19 mm calibre 18 (espesor de 1,1 mm de lado), además contiene las lámparas, el vidrio de seguridad y la cámara.
Tolva Abrasivo	10 Kg	Esta tolva permite alojar el abrasivo que va a ser proyectado para esmerilar el vidrio.
Posicionador	17 Kg	Son todos los componentes mecánicos relacionados con el posicionador.
Platinas de 2 Pulgadas	3 Kg	Ayuda a facilitar la instalación del modulo de visión artificial y el posicionador.
Tapas del modulo de visión artificial	19 Kg	Espesor: 0.60 mm. Peso: 9.50 Kg. Área: 2 m ² . Lámina lisa de acero galvanizado calibre 24. (Se usaron 2 láminas.
TOTALES	68 Kg	

Fuente: Elaborado por los autores

La base es fabricada en tubo cuadrado hueco, podemos ver que dos lados de la base soportan de forma distribuida los pesos descritos. Es importante verificar si el tubo cuadrado cumple con un factor de seguridad superior a 3 (Factor de seguridad recomendado con los sistemas de guiado lineal).

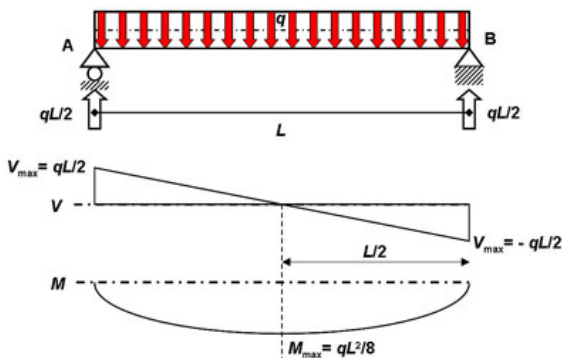
Figura 21: Vista general Máquina sandblasting



Fuente: Elaborado por los autores, Software Solid Edge.

El peso de 68 Kg, es sostenido de forma distribuida por dos caras de la base, aparte de eso, estas dos vigas están simplemente apoyadas sobre 2 tubos, por ende los diagramas y ecuaciones para este tipo de apoyos y carga son:

Figura 22. Viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida.



Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE_VIGAS.html

$$L = 62 \text{ cms} = 0.62 \text{ m}$$

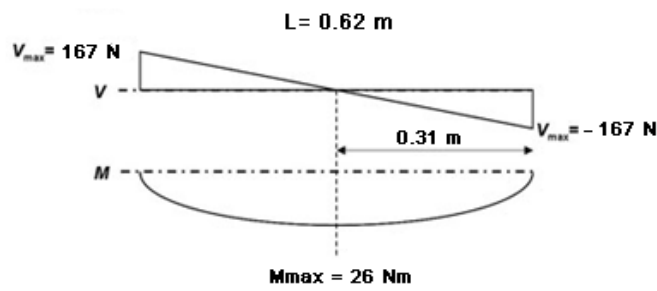
$$P = \frac{68 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{2} = 334 \text{ N}$$

$$q = \frac{P}{L} = \frac{334 \text{ N}}{0.62 \text{ m}} = 538.7 \text{ N/m}$$

Las reacciones en A y B son: $R_{AB} = V_{Max} = \frac{538.7 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0.62 \text{ m}}{2} = 167 \text{ N}$

El momento flector máximo es de: $M_{Max} = \frac{538.7 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0.62 \text{ m}^2}{8} = 25.89 \text{ Nm} \cong 26 \text{ Nm}$

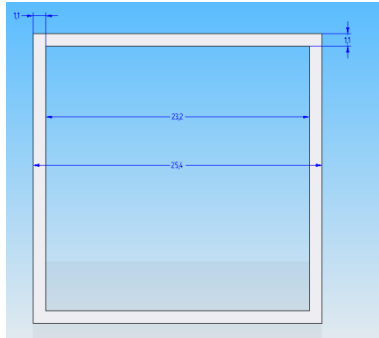
Figura 23. Diagrama esfuerzos cortantes y momento flector.



Fuente: Elaborado por los autores

Las dimensiones del tubo elegido se pueden apreciar en la figura siguiente, hay que recordar que estas dimensiones están en milímetros, este tubo está bajo la norma ASTM A500 grado A, el cual tiene un esfuerzo de fluencia de 270 MPa, y un módulo de elasticidad de 200 GPa.

Figura 24: Dimensiones perfil cuadrado.



Fuente: Elaborado por los autores, Software Solid Edge.

Para determinar los esfuerzos, es necesario calcular el área y el momento de inercia de un cuadrado hueco

$$A = 25.4 \text{ mm} * 25.4 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}^2}{1000000 \text{ mm}^2} = 0.000645 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{l^4}{12} - \frac{l_{\text{vacío}}^4}{12} = \left[\frac{(25.4 \text{ mm})^4}{12} - \frac{(23.2 \text{ mm})^4}{12} \right] * \frac{(1 \text{ m})^4}{1 * 10^{12} \text{ mm}^4} = 0.0000000105 \text{ m}^4$$

El esfuerzo por flexión y el esfuerzo por cortante se determinan así:

$$\text{Esfuerzo por flexión: } \sigma = -\frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = -\frac{26 \text{ Nm} * 0.0254}{0.0000000105 \text{ m}^4} \rightarrow \sigma = -62.63 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo cortante}^{30}: \tau = \frac{3V}{2A} \rightarrow \tau = \frac{3 * 167 \text{ N}}{2 * 0.000645} = 0.388 \text{ MPa}$$

Dado la diferencia tan significativa entre los esfuerzos de flexión y el cortante calcularemos el factor de seguridad de manera simple.

$$N = \frac{\sigma_{\text{fluencia}}}{\sigma} = \frac{270 \text{ MPa}}{63 \text{ MPa}} = 4.28$$

El factor de seguridad es satisfactorio.

³⁰ SHIGLEY Joseph; MISCHKE, Charles, Opt Cit. Pag 67

La deformación de las vigas con carga distribuida y simplemente apoyadas se

puede calcular mediante la ecuación: $Y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$

$$Y = \frac{5 \cdot 538.7 \text{ N/m} \cdot 0.62 \text{ m}^4}{384 \cdot 200 \text{ GPa} \cdot 0.0000000105 \text{ m}^4} = 0.493 \text{ mm} \cong 0.5 \text{ mm}$$

La deflexión es casi imperceptible.

3.1.1 Cálculos por esfuerzo de pandeo tipo columna.

Lo primero que hay que calcular es el factor de Johnson³¹, y el factor de esbeltez λ , estos están dados por las siguientes ecuaciones.

$$F.Jhon^{29} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} \qquad \lambda = \frac{K \cdot L}{I_m}$$

Donde E es el modulo de elasticidad del material, S_y es el esfuerzo de fluencia del material, L, es la longitud de la columna, I_m es el radio de giro de la columna, la cual se define como: $I_M = \sqrt{\frac{I}{A}}$ donde I es el momento de inercia y A el área de la columna.

El factor K esta dado de acuerdo a las características de los apoyos de la columna, en la tabla:

TABLA 7. Factor K en las columnas

K	TIPOS DE APOYOS
1	Ambos articulados
0.7	Articulado y empotrado
0.5	Ambos empotrados
0.2	Libre y empotrado

Fuente: Shigley Diseño mecánico pag 153 tabla 3-1

³¹ SHIGLEY Op. Cit. Pag 156.

Al estar la base necesariamente soldada el factor K se asume al que es otorgado por el estar ambos empotrados.

Los cálculos son:

$$F.Jhon^{29} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 200 \text{ GPa}}{270 \text{ Mpa}}} = 120.91$$

$$\lambda = \frac{0.5 * 0.7 \text{ m}}{\sqrt{\frac{0.0000000105 \text{ m}^4}{0.000645 \text{ m}^2}}} = 86$$

Es preciso usar la ecuación de Johnson dado que el factor de esbeltez es menor que el factor Johnson o geométrico.³²

$$\frac{P_{Cr}}{A} = S_y - \frac{1}{CE} \left(\frac{S_y L}{2\pi I_m} \right)^2$$

Donde C se determina a partir de las constantes en los apoyos

TABLA 8. Constante C para columnas intermedias.

CONDICIONES DE LOS EXTREMOS	TEÓRICO	CONSERVADOR	RECOMENDADO*
Empotrado – Libre	0.25	0.25	0.25
Pasador – Pasador	1	1	1
Empotrado – Pasador	2	1	1.2
Empotrado - Empotrado	4	1	1.2

*El recomendado se puede usar cuando se conoce la carga que actúa sobre la columna.

Fuente: Shigley Diseño mecánico pag 154 tabla 3-2

³² <http://www.scribd.com/doc/13955958/Elementos-a-compresion-Pandeo-de-columnas>, pag 6, ecuación 4.1

$$\frac{P_{Cr}}{0.000645 \text{ m}^2} = 270 \text{ Mpa} - \frac{1}{1.2 * 200 \text{ Gpa}} \left(\frac{270 \text{ Mpa}}{2\pi} \frac{0.7 \text{ m}}{\sqrt{\frac{0.000000105 \text{ m}^4}{0.000645 \text{ m}^2}}} \right)^2$$

$$\frac{P_{Cr}}{0.000645 \text{ m}^2} = 38408312.77 \text{ Pa} \rightarrow P_{Cr} = 24773 \text{ N}$$

Como se puede apreciar la carga crítica está muy por encima de la carga aplicada, la cual es de 167 N.

3.1.2 Calculo de soldaduras

Es necesario usar soldaduras para unir los tubos cuadrados de la base y del modulo de visión artificial, es obvio que las uniones soldadas sobre la base son las que más esfuerzo soportan debido a que tienen sobre ellas el peso de las estructura. Recordemos que esta pesa 68 Kgf. Debido a las características del tubo cuadrado y de la junta, la cual es a tope, se elige un electrodo de alta penetración, las especificaciones son las siguientes.

Electrodo de alta penetración: XL610
 Identificación: West Arco E-6010
 Clasificación: AWS E-6010
 Especificación: AWS A5.1

TABLA 9. Propiedades mecánicas típicas del material depositado

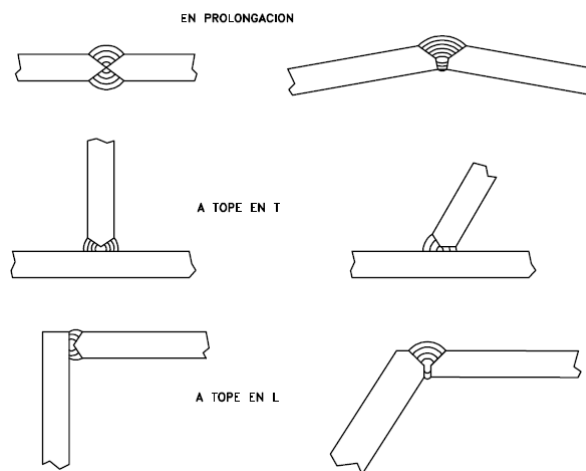
Resistencia a la tracción	427 MPa	62 - 72 Ksi
Limite de Fluencia	345 MPa	52 - 62 Ksi
Elongación	22 - 33%	
Reducción de área	40 - 70 %	
Resistencia al impacto Charpy a -29 °C	27 - 100 Joule	

Fuente: Propiedades Mecánicas, ensayos realizados según Norma AWS 5:1

TABLA 10. Esfuerzos permisibles por el código AISC para el metal de aporte.

TIPO DE CARGA	TIPO DE SOLDADURA	ESFUERZO PERMISIBLE
Tension	A tope	0.6 Sy
Cortante	A tope o de filete	0.3 Sut

Figura 25: Ejemplos de soldadura a tope

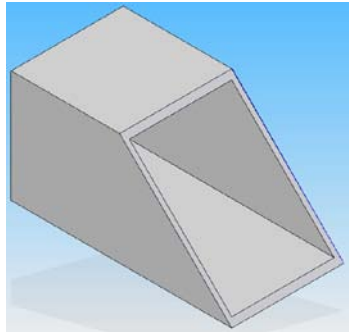


Fuente: www.uclm.es/area/ing_rural/.../ElementosConstruccion02.PDF, pag 8

El esfuerzo sobre una soldadura a tope se define mediante la ecuación $\sigma = \frac{F}{h*L}$, donde F es la fuerza ejercida sobre la soldadura, h es el ancho del cordón de soldadura y L la longitud de este.

La superficie a soldar se preparo realizando un corte en un ángulo de 45° con origen en el extremo final. Esto se puede ver en la figura 25.

Figura 26. Modo de corte del tubo para aplicar la soldadura



Fuente: Elaborado por los autores

En este caso es fácil calcular la longitud final debido a que conocemos las dimensiones del tubo cuadrado, la cual al ser cortado en un ángulo de 45° $L = l * \sqrt{2} = 25.4 \text{ mm} * \sqrt{2} = 35.35 \text{ mm}$, h es igual al espesor del tubo (1.10 mm).

$$\sigma = \frac{F}{h * L} = \frac{68 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{0.03535 \text{ m} * 0.0011 \text{ m}} = 17 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado es mucho menor que el permisible: $\sigma_{perm} = 0.6 * S_y = 0.6 * 345 \text{ MPa} = 207 \text{ MPa}$

3.1.3 Consideraciones de potencia

El carrete X, necesita una fuerza de 3N para vencer la inercia, mientras que el carrete Y, es necesario ejercer una fuerza de 10 N, la velocidad de desplazamiento es de 300 mm/s, por lo cual la potencia mecánica necesaria. Si tenemos en cuenta que la potencia se define como el producto entre la fuerza y la velocidad, tenemos que:

$$P_X = 3 \text{ N} * 0.3 \text{ m/s} = 0.9 \text{ W}$$

$$P_Y = 10 \text{ N} * 0.3 \text{ m/s} = 3 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta que el sistema transmisor de potencia es un arreglo de poleas, se procede a realizar las consideraciones de diseño necesarias, las cuales están en el manual de INTERMEC³³

³³ www.intermec.com.co

En este manual se encontraron dos clases de correas y poleas, sincrónicas y de tiempo, debido a que la aplicación requiere precisión en los movimientos y poco desgaste, teniendo en cuenta el ambiente en que se va a estar la correa se elige el arreglo de poleas y correas de tiempo.

Se procede a calcular la potencia de diseño, teniendo en cuenta las consideraciones en el manual, para este proyecto se considero el factor de servicio³⁴ como de banda ligera que es de 1.5, además se les adiciona al factor de servicio 0.02 al considerar que las poleas conducidas se comportan como ruedas locas. Se evalúa el carrete Y debido a que este es el que necesita más requerimiento de potencia.

$$PD_Y = 3W * (1.5 + 0.02) \rightarrow PD = 4.56 W = 0.00611 HP$$

Esta potencia de diseño nos indica que debemos seleccionar la correa XL³⁵, indiferentemente de la polea a seleccionar.

La selección de las poleas está condicionada a las RPM del motor y a la cantidad de vueltas necesarias para hacer el avance lineal, dado que se necesita recorrer 530 mm en dos segundos, y el motor Toshiba gira a 167,2 RPM a 21.45 voltios DC, se considera la polea 20 XL, la cual tiene 20 dientes y un diámetro exterior de 31,8 mm, esto quiere decir que en una vuelta, el avance lineal será de 99.90 mm, lo cual nos indica que es necesario poco mas de 5 vueltas de la polea, las cuales las realiza en 1.9 segundos, tiempo en el cual el desplazamiento a cubierto las dimensiones del posicionador.

³⁴ ANEXO B

³⁵ Manual de selección de INTERMEC

Con los datos especificados se procede a calcular el ancho de la polea, para una polea 20 XL, tiene una capacidad de transmisión de 0.08HP por pulgada, la potencia de diseño es de 0.00611 HP, el factor de ancho es de: 0.076375. Lo cual nos da un ancho mínimo de $\frac{1}{4}$ de pulgada (6.35 mm), se utilizo una correa de $\frac{3}{8}$ de pulgada (9.52 mm).

Procedemos a calcular los parámetros para hallar los ejes de transmisión debido a que tenemos las velocidades y potencias necesaria para hallarlo:

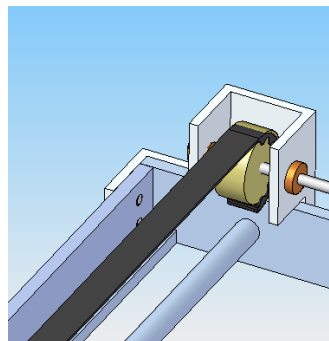
$$\text{Torque } T = \frac{7124,3 * HP}{rpm} = \frac{7124,3 * 0.00611 HP}{191,08 rpm} = 0.227 Nm$$

$$\text{Tension ejercida por la correa } F_{Correas} = \frac{T}{d/2} = \frac{0.227 N m}{0.0318 m/2} = 14.28 N$$

3.1.4 Cálculos y consideraciones de ejes de transmisión.

La polea tiene un peso de 0.128 Kg, lo cual hace que el eje soporte fuerzas de $0.128 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 1.26 \text{ N}$ en una dirección perpendicular a la fuerza desarrollada por la tensión de 14.28 N. Lo cual hace que la fuerza total de la ejercida en el eje es: $F_T = \sqrt{W^2 + Fy^2} = \sqrt{(1.26 N)^2 + (14.28 N)^2} = 14.34 N$

Figura 27. Polea dentada y eje.



Fuente: Elaborado por los autores. Software Solid Edge.

La distancia entre los apoyos son 40 mm, la distribución de distancias son simétricas, por ende las reacciones en las paredes del sujetador del eje son de $14.34 N/2 = 7.17 N$, el momento esta dado por la ecuación distancia*fuerza, en el caso de este eje, el momento máximo está a mitad de la distancia de los apoyos.
 $M_{Max} = 0.02m * 14.32 N = 0.2864Nm$

Empleando el criterio Von-Mysses para establecer un diámetro inicial para soportar cargas estáticas tenemos la siguiente ecuación.

$$d = \left[\frac{32 * ns}{\pi * Sy} \sqrt{M_{max}^2 + \frac{3}{4} T^2} \right]^{1/3}$$

Donde n_s es el factor de diseño, que normalmente se considera como 1.6 y Sy es el esfuerzo de fluencia en el cual se desea mecanizar el eje. Para este cálculo se usara el acero plata cuyo $Sy = 200 MPa$ y $Sut = 390 MPa$

$$d = \left[\frac{32 * 1.6}{\pi * 200 MPa} \sqrt{(0.2864 Nm)^2 + \frac{3}{4} (0.227 Nm)^2} \right]^{1/3} = 0.00304 m = 3.04 mm$$

Empleando la ecuación del diámetro para satisfacer las restricciones a la resistencia de ASME se tiene que:

$$d = \left[\frac{16 * ns}{\pi} \sqrt{4 \left(\frac{Kf * M_{Max}}{Se} \right)^2 + 3 \left(\frac{Kfs * T}{Sy} \right)^2} \right]^{1/3}$$

Donde Se es el límite de resistencia a la fatiga sometida a una tensión con viga rotativa la cual se calcula así:

$$Se = 0.506 * Sut \rightarrow Se = 0.506 * 390 MPa = 197.34 MPa$$

Kf y Kfs son concentradores de esfuerzos, ya que el diámetro es uniforme, se consideran sus valores igual a la unidad y ns se considera como 1.6 y tiene las mismas consideraciones que el factor ns en el criterio Von- Mysses

$$d = \left[\frac{16 * 1.6}{\pi} \sqrt{4 \left(\frac{1 * 0.2864 \text{ Nm}}{197.34 \text{ MPa}} \right)^2 + 3 \left(\frac{1 * 0.227 \text{ Nm}}{200 \text{ MPa}} \right)^2} \right]^{1/3} = 3.057 \text{ mm}$$

3.1.5 Consideraciones con respecto a la neumática y asociados.

La máquina de sandblasting cuenta como principio impulsor del abrasivo, una diferencia de presiones entre el compresor y el aire libre, esta diferencia de presiones es conducida por medio de mangueras.

Sin embargo en ocasiones se necesita que no se produzca un sandblasteo y o una limpieza, es decir que no haya aire conduciendo por las mangueras que comunican el compresor con la pistola, para realizar este proceso de manera tal que no involucre a un operario, se hace de uso de electroválvulas, que permitan o no el paso del aire.

La electroválvula para realizar estas funciones es una tipo 2 vías, 2 posiciones, normalmente cerrado. Con respecto a la presión, esta electroválvula debe soportar una presión superior a la requerida para efectuar un sandblasteo es decir 7 bar. Esta válvula debe ser activada de la manera más adecuada posible, por eso se hace uso de la red eléctrica de 110 AC para obturarla además soporta 10 bares, con lo cual satisface los requerimientos del sistema.

Figura 28: Electroválvula 2/2



Fuente: Fenghua Kailing neumática Co., Ltd.

Para lograr el efecto de impactar el vidrio con un abrasivo se dispone de una pistola blaster, esta pistola tiene la habilidad de succionar el abrasivo e impactarlo contra la superficie del vidrio, al hacer esto, el vidrio se desgastara, quedando opaco, para esta máquina, se compro una pistola de este tipo y se le realizo un acople para lograr impulsar el aire.

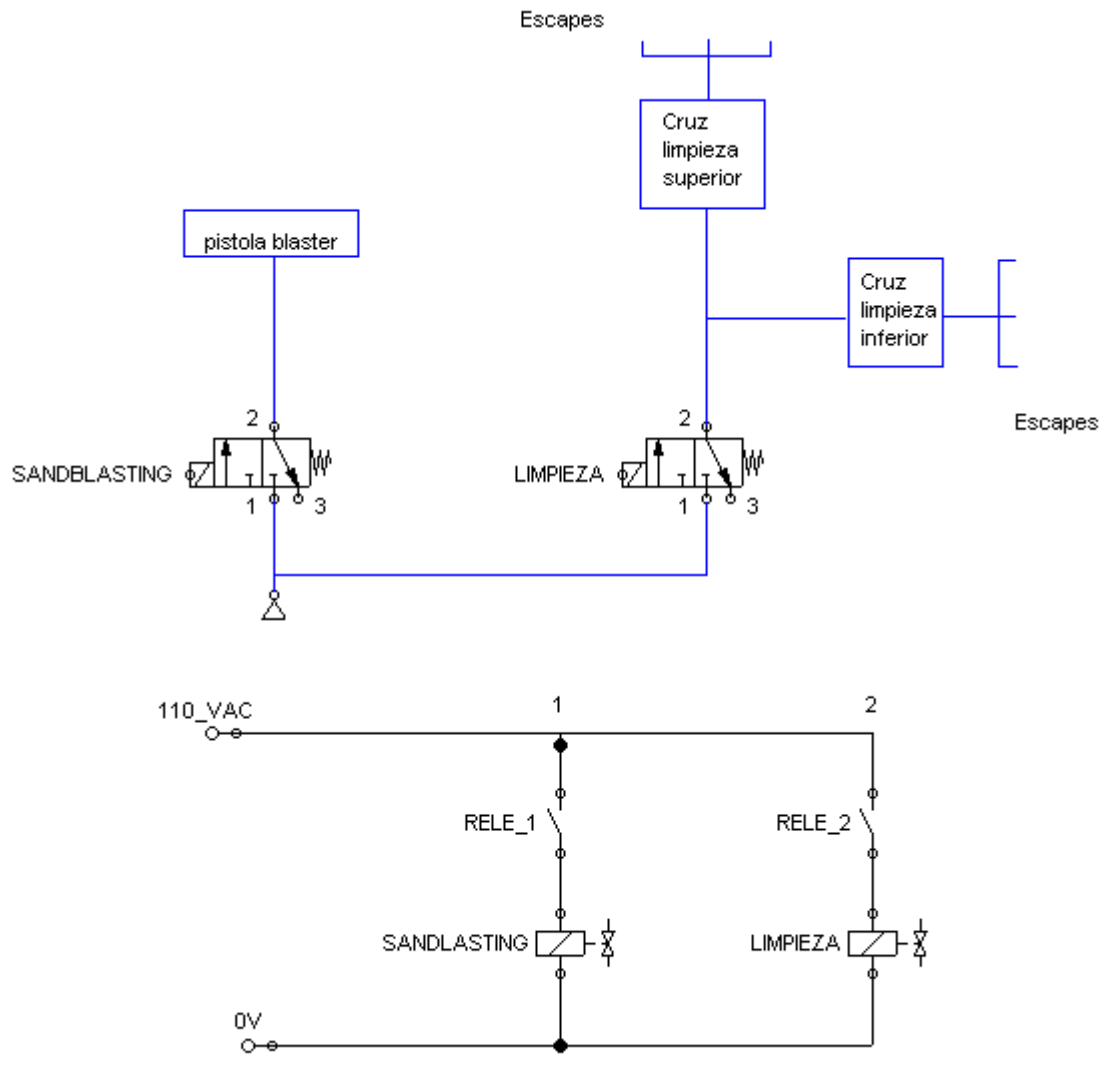
Figura 29: Pistola Blaster



Fuente: mx.ambientar.com.ar

Con este acople y la instalación en el posicionador, la pistola está en capacidad de desplazarse sobre el área de trabajo, sin embargo en el apartado de limpieza es necesario montar una red para lograr que el aire llegue a todos los puntos deseados, es decir, sobre el vidrio de protección de la cámara y sobre el vidrio que se esta sandblasteando. La red neumática final queda de la siguiente forma:

Figura 30: Simplificación red neumática



Las mangueras que son de la electroválvula de limpieza son de 10 mm de diámetro, con respecto a la pistola blaster, para crear el venturi se usó una manguera de 10 mm, mientras que en la succión se usó una manguera de 12 mm.

3.2 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

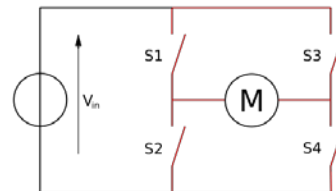
A continuación se describe los parámetros que se tuvieron en cuenta para seleccionar y diseñar los componentes que son sometidos a potencias que se deben

considerar para el diseño. Se detallara con especial atención los componentes que permiten un accionamiento seguro de los motores y del circuito de control.

3.2.1 Parámetros de selección de transistores para el puente h (motores)

Un puente H o puente en H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, frenar bajo su propia inercia y frenarlo de manera brusca, su denominación es debida a la típica representación grafica del circuito. También se usan como convertidores de potencia aunque para la aplicación es preciso trasladarla a la parte de control de motores DC.

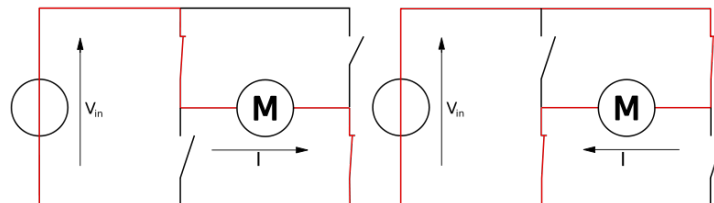
Figura 31. Estructura de un puente H (marcado en rojo)



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica))

En la figura anterior se puede visualizar que el motor está conectado a un conjunto de interruptores, los cuales al ser activados en determinadas combinaciones provocan el efecto de giro en una dirección determinada.

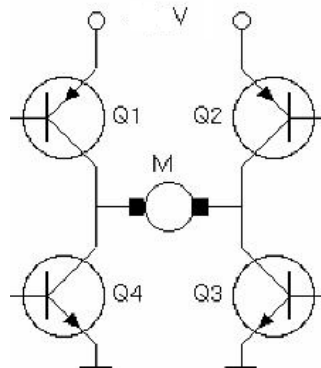
Figura 32. Estados básicos del puente H



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica))

Normalmente se usan interruptores de estados sólidos (transistores). Estos tienen que ser seleccionados en virtud de las corrientes generadas en el accionamiento del motor.

Figura 33. Esquemático puente H



Fuente: Elaborado por los autores.

Como se puede apreciar el arreglo con transistores consta de 2 transistores PNP y 2 NPN, estos transistores al trabajar como interruptores, son complementarios, es decir al aplicar un pulso en la base en un transistor PNP trabajando en corte permite el paso de corriente a través de emisor y colector, mientras que el NPN hace exactamente lo opuesto es decir, impide el paso de corriente. Esta característica de los transistores es conveniente en el montaje de puentes H.

Como primera medida se evalúa la elección del transistor adecuado bajo el criterio.

$$Q \rightarrow I_{c_{Max}} \geq 1,5 I_{l_{Max}} \quad (1)$$

Debido a las pruebas experimentales se tiene que la corriente de carga máxima, la cual ocurre en el arranque de los motores; es equivalente a:

$$I_{1_{max}} = \frac{V_o}{Z_{m1}} \quad ; \quad I_{2_{max}} = \frac{V_o}{Z_{m2}}$$

Donde $I_{1_{max}}$ y $I_{2_{max}}$ son las corrientes de carga máxima, Z_{m1} y Z_{m2} son las impedancias promedio de los motores Matsushita y Toshiba respectivamente los cuales efectúan el desplazamiento de los carretes posicionadores y V_o es la tensión de alimentación de los motores.

En las pruebas realizadas en los motores³⁶ se tiene que la velocidad promedio de los motores será 90 RPM. Para una tensión de alimentación de 12 VDC, $Z_{m1} = 9.31\Omega$ y $Z_{m2} = 1.2\Omega$

$$I_{1_{max}} = \frac{12 \text{ Vdc}}{14.11 \Omega} = 0.85 \text{ A} \quad ; \quad I_{2_{max}} = \frac{12 \text{ Vdc}}{1.2\Omega} = 10 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta que el sistema tendrá activado los dos motores estarán accionados simultáneamente se puede asumir que:

Del criterio (1) se tiene que:

$$I_{c1_{Max}} \geq 1,5 I_{1_{Max}} \rightarrow 1.27 \text{ A} \quad I_{c2_{Max}} \geq 1,5 I_{2_{Max}} \rightarrow 15 \text{ A}$$

Dada esta razón se decide emplear los dispositivos transistores 2N-3055 (NPN) y MJ-2955 (PNP)³⁷, los cuales tienen las siguientes características.

³⁶ Anexo A

³⁷ Anexo C

TABLA 11. Características de los transistores.

VALORES MÁXIMOS		
Tensión Colector-Emisor	V_{CEO}	60 V
Tensión Emisor-Colector	V_{CER}	70 V
Tensión Base-Colector	V_{CBO}	100 V
Tensión Base-Emisor	V_{EBO}	7 V
Corriente continua de colector	I_C	15 A
Corriente de Base	I_B	7 A
Temperatura máxima en la juntura	$T_{j\max}$	200 °C
Resistencia térmica juntura-encapsulado	R_{tj}	1.52 °C/W

Fuente: Anexo C.

Este transistor será alimentado a máximo 12 V, con lo cual está por debajo del parámetro V_{CER} , la corriente $I_{C\max}$ es menor que el I_C de los transistores, además el tipo de encapsulado de este transistor es el TO-3, el cual posee una superior área de contacto para transferir el calor a los disipadores que otros transistores.

Dada las características de la aplicación se trabajara bajo los estados de corte y saturación (interruptor), entonces se debe tener en cuenta los siguientes datos.

TABLA 12. Datos para trabajar en corte y saturación.

Tensión Colector Emisor	$V_{ce(sat)}$	1 V
Tensión de saturación	$V(sat)$	3 V
Ganancia	h_{fe}	20

Debido a que el valor promedio de la señal DC modulada es variable, se trabajara con los valores críticos, los cuales son iguales a los considerados en la selección del transistor.

$$I_{B1} = \frac{I_{1\max}}{h_{fe}} = \frac{0.85 A}{20} = 0.043 A$$

$$I_{B2} = \frac{I_{2\max}}{h_{fe}} = \frac{10A}{20} = 0.5 A$$

La potencia teórica disipada es:

$$W_1 = (V_{ce_{sat}} * I_{B1}) + (V_{ce} * I_{1\max}) = (3V * 0.043 A) + (12 V * 0.85 A) = 10.4 W$$

$$W_2 = (V_{ce_{sat}} * I_{2\max}) + (V_{ce} * I_{B2}) = (3V * 0.5 A) + (12V * 10 A) = 121.5 W$$

La potencia teórica, no es la potencia en todo el tiempo, sino los picos de arranque, los cuales son desarrollados debido a las características de los motores DC, los cuales tienen un consumo alto de corriente cuando están en etapa de arranque.

Es obvio que una fuente de 130 W satisfaga las necesidades de potencia, conviene recalcar que en el diseño mecánico, las potencias calculadas son aproximadamente 10 veces menores. Esta fuente se obtiene a partir de una fuente de computador, la cual otorga 300 W y la potencia eléctrica disipada puede promediarse a un factor más real, se escoge un factor de dos.

$$W_{2 (prom)} = \frac{121.5 W}{2} = 60.75 W$$

El encapsulado TO-3, tiene una resistencia térmica de 1.52 °C/W, lo cual nos indica que a una temperatura ambiente de 40 °C, debido a que el puente H del motor Toshiba requiere de una mayor disipación se procede a calcular la temperatura en la junta.

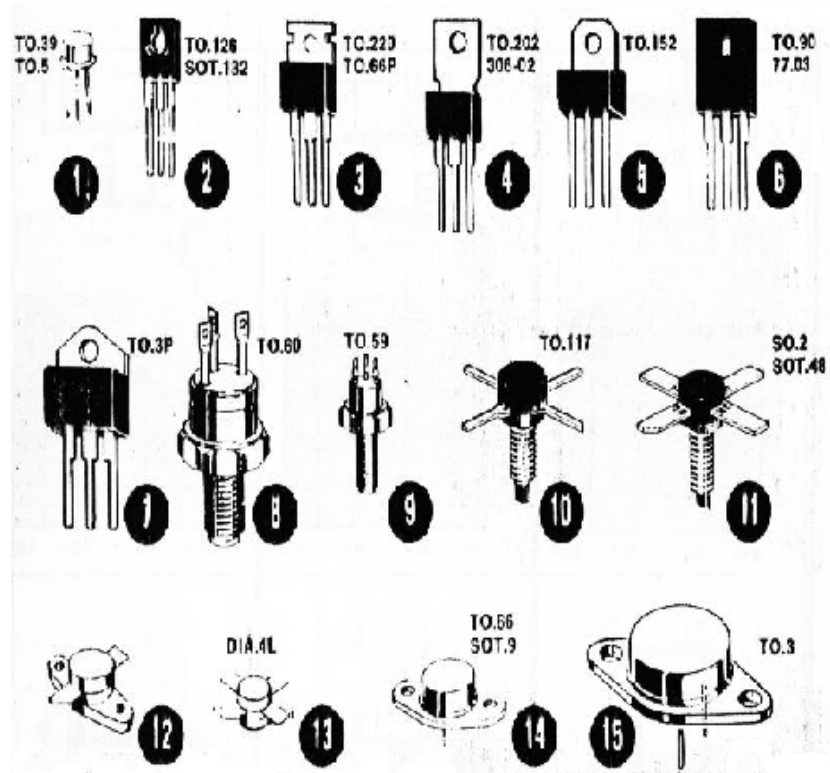
$$T_{oC} = 40^{\circ}C + \left(1.52_{\frac{^{\circ}C}{W}} * 61 W \right) = 132.8^{\circ}C$$

Los parámetros en diseño de disipadores indican que para que un dispositivo trabaje de forma segura, este debe alcanzar una temperatura máxima equivalente a la mitad de la temperatura de operación, para el caso de este transistor, su temperatura máxima de operación es de 200 °C³⁸, el dispositivo funcionara de forma segura a 100 °C, mientras que para que no se caliente demasiado la temperatura máxima debe ser el factor de 0.6 con lo cual se obtendría una temperatura de operación igual a 120 °C.

Es por eso que para los transistores que operan el motor Toshiba, se necesita el uso de un disipador, En la siguiente figura y tabla vemos las distintas constantes de disipación para los distintos encapsulados y componentes disipadores.

³⁸ ANEXO C

Figura 34: Formas básicas de transistores.

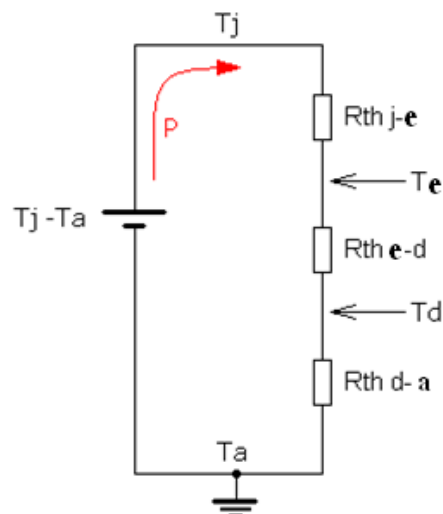


Encapsulado	Tipo	Contacto directo sin mica	Contacto directo mas pasta de silicon	Contacto con mica	Contacto con mica mas pasta de silicon
1	TO.39	1	0.7	-----	-----
	TO.5				
2	TO.126	1.4	1	2	1.5
3	TO.220	0.8	0.5	1.4	1.2
4	TO.202	0.8	0.5	1.4	1.2
5	TO.152	0.8	0.5	1.4	1.2
6	TO.90	0.5	0.3	1.2	0.9
7	TO.3 (plas)	0.4	0.2	1	0.7
8 - 9	TO.59	1.2	0.7	2.1	1.5
10	TO.117	2	1.7	-----	-----
11	SOT.48	1.8	1.5	-----	-----
12-13	DIA.4L	1.1	1.7	-----	-----
14	TO.66	1.1	0.65	1.8	1.4
15	TO.3	0.25	0.12	0.8	0.4

Debido a que el encapsulado está en contacto directo y se usa una pasta de silicón se usa del factor de 0.12 como la resistencia entre la junta y la carcasa del encapsulado.

Dentro de las consideraciones para el cálculo de dicho disipador se tiene en cuenta lo siguiente.

Figura 35: Comportamiento del modelo en el sistema térmico análogo a un circuito eléctrico:



Fuente: Modelo análogo del sistema térmico para los puente H de los motores.

- Donde: Tj: Temperatura en la junta.
 Te: Temperatura en el encapsulado.
 Td: Temperatura en el disipador
 Ta: Temperatura ambiente.
 Rthj-e: Resistencia térmica entre junta y encapsulado.
 Rthe-d: Resistencia térmica entre encapsulado y disipador.
 Rthd-a: Resistencia térmica entre disipador y ambiente.

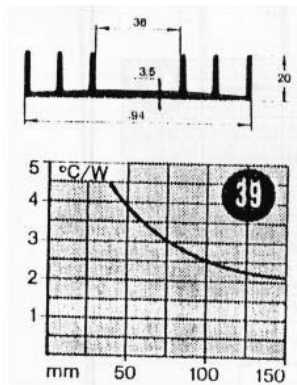
Determinación de la resistencia entre disipador y el ambiente.

$$T_e = T_j - (P_Q * R_{je})$$

$$R_{th_{d-a}} = \frac{T_e - T_a}{P_d} R_{ed} = \left(\frac{132,8 - 40}{60,75} \right) 0,12 = 0,1833 C^0/W$$

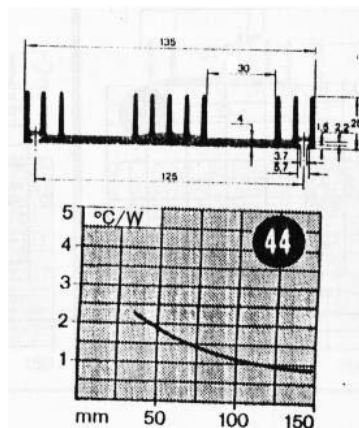
Se tiene un disipador de perfil coincidente con el de la figura 36 que para una longitud de 15 cm, la curva que lo describe nos muestra una resistencia térmica al ambiente de $2,2 C^0/W$.

Figura 36: Perfil disipador.



Puesto que disponemos de dos trozos de 15 cm si los unimos simétricamente obtendremos un perfil muy similar al de la figura 37

Figura 37: Perfil disipador.



Para dicha curva descriptiva para una longitud de 15 cm se tiene que la resistencia térmica al ambiente de $0,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$, sin embargo la resistencia no satisface las consideraciones de resistencia del sistema por lo cual se decide someter el sistema a convección forzada para cumplir con los parámetros siguiendo con el diseño de la siguiente manera:

Para la resistencia por convección forzada tenemos la siguiente consideración.

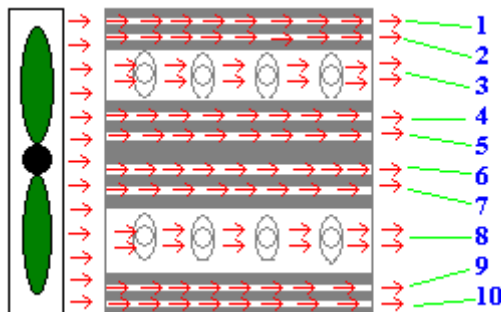
$$R_{th_{cf}} = \frac{1}{hA}$$

Donde: h: coeficiente de convección.

A: área expuesta a la corriente convectiva.

Para la estimación del área sometida a dicha convección se tiene que la posición y dirección del flujo entre el ventilador y el disipador es la mostrada en la figura **Z** es la posición más adecuada ya que es la que más área de contacto tiene el flujo de aire con el disipador permitiendo evacuar al flujo de aire caliente.

Figura 38: Disipación Ventilador



Fuente: Elaborado por los autores.

Como se muestra en la figura 38 se tiene que hay 10 perfiles con 20 caras sometidas al flujo teniendo la siguiente área de contacto.

$$A = (0,17m * 0,038m) * 20 \text{ caras} = 0,1292 \text{ m}^2$$

Para determinar el coeficiente de convección tenemos lo siguiente:

$$R_{ex} \frac{v\rho}{\mu} X$$

Donde: R_{ex} ; numero de Reynolds para una longitud X

$$\mu: \text{Viscosidad del aire} = 1,95 E^{-5}$$

$$\rho: \text{Densidad del aire} = 1,127 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 40c^0$$

v: Velocidad del flujo, (como para metro a elegir en número Cooler)

En vista que disponemos de una fuente de 12V entonces de la tabla S elegimos el ventilador D80BH-12 que además proporciona el mejor flujo de aire en consideración con los otros modelos enunciados en la tabla.

$$v = 34 \text{ CFM}$$

$$34 \text{ CFM} = 0,0173$$

DC FAN SERIES: Features

MODEL	SIZE (mm)	VOLT (V)	SPEED (RPM)	AIR FLOW (CFM)	NOISE (dB)
D80SL-12	80x80x25	12	□ 2000	25.0	26
D80BL-12	80x80x25	12	□ 2100	26.0	28
D80SM-12	80x80x25	12	□ 2200	27.0	29
D80BM-12	80x80x25	12	□ 2300	28.0	29
D80SH-12	80x80x25	12	□ 2600	32.0	34
D80BH-12	80x80x25	12	□ 2700	34.0	35
D80SM-24	80x80x25	24	□ 2200	27.0	28

A partir de las dimensiones dadas en la tabla S al respectivo modelo del ventilador escogido (D80BH-12) se procede a calcular la ventana de Cooler.

$$2\pi r^2 = 0,01\text{m}^2$$

$$\mu = \frac{\text{flujo volumetrico}}{\text{superficie de ventana}} = 1,27 \text{ m/s}$$

Para 'h' (coeficiente de convección) tenemos:

$$Re_x = 11010 \quad ; \quad \alpha = \frac{K}{\rho C_p} \quad ; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde: α = difusividad térmica, transporte de energía = $22,89 \text{ E}^{-6}$

K = Conductividad térmica del fluido (aire) = $0.0258 \text{ W/(mk}^0)$ a 30 c^0

C_p = Calor específico del aire = $1 \text{ W/(mk}^0)$

ν = Viscosidad cinemática, transporte de masa = $1,79 \text{ E}^{-5}$

$$\rho_r = \frac{\nu}{\alpha} = 0.781; \text{ numero de Prandt.}$$

Bajo el criterio que indica que si la longitud de la aleta del ventilador es $L_V < 28,6 \text{ cm}$. Entonces el flujo se puede considerar laminar.

$$Nu_x \frac{h}{K} x; \text{ numero de Nusselt}$$

$$Nu_x = 0,332 \frac{k}{x} Re_x^{4/5} \rho_r^{1/3}$$

$$h(k) = 0,332 \frac{k}{x} Re_x^{4/5} \rho_r^{1/3} = 90,01$$

$$Rth_{cf} = \frac{1}{hA} = 0,086 \text{ C}^0/\text{W}$$

Obteniendo que dicha resistencia satisface los requerimientos puesto que es considerablemente menor. Se concluye de este diseño que se necesitan como elementos para disipar el calor en los semiconductores del puente h dos disipadores de perfil como el de la figura X conectados en paralelo y un ventilador (D80BH-12).

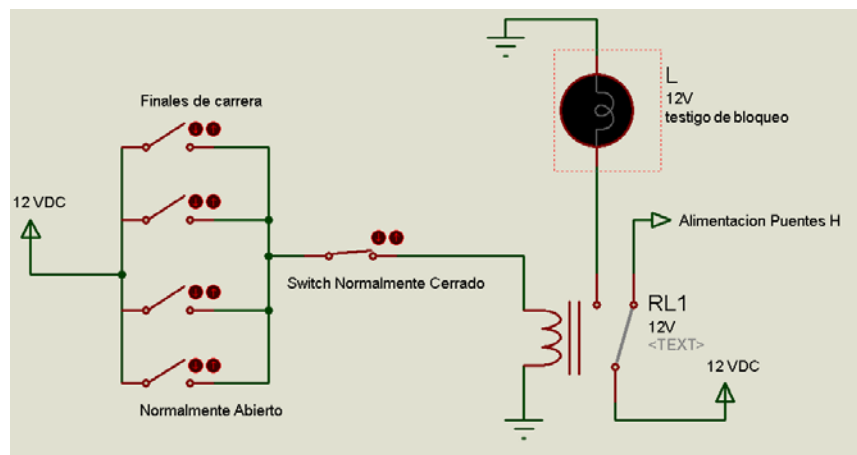
3.2.2 Diseño de sistema de protección de los potenciómetros y bloqueo de motores.

Existe la posibilidad de que la pistola llegue y choque con algún elemento, ocasionando alguna des calibración y/o rotura de los potenciómetros, daño en la estructura u algún efecto indeseado con respecto a la integridad del sistema mismo, es por eso que se considera conveniente realizar un arreglo de relés y pulsadores para darle seguridad de que la máquina no se desplazara y por ende no ocasionara algún daño.

Los finales de carrera están ubicados en cada uno de los extremos de cada uno de los carretes, el efecto es que si el posicionador logra activar alguno de estos finales de carrera permite la conducción de la corriente a través de la bobina, obturando el relé y dejando sin alimentación los puentes H, que son los elementos que permiten que los motores sigan girando y ocasionando un desplazamiento en alguno de los ejes.

Este arreglo permite que el posicionador no se descalibre tan rápidamente, ni siga impactando con algún elemento de la estructura.

Figura 39. Arreglo switches y pulsadores



Fuente: Elaborado por los autores. Software ISIS Proteus.

Cuando el relé este desactivando la línea de alimentación a los puentes H, el operario estará obligado a reposicionar nuevamente la Máquina con ayuda del switch normalmente cerrado.

3.2.3 Elección del sistema controlador y sensores (Diseño electrónico)

Para desarrollar la aplicación es necesario conocer la posición en la que esta la pistola en determinado momento, además es conveniente controlar la velocidad de los motores y realizar los cálculos necesarios para establecer cuál es la posición a la que debe ir la pistola

Al ser un dispositivo que usa visión artificial para adquirir una imagen y determinar por donde debe pasar la pistola de sandblasting y realizar el proceso, es preciso el uso de un computador.

Un computador es muy rápido a la hora de efectuar cálculos, sin embargo es costoso y su uso se hace riesgoso en cuanto a la integridad de este se refiere, cuando se debe usar potencia elevadas (controlar motores, activar relés), si no se hace uso de la separación galvánica y acople de potencias.

Un dispositivo microcontrolador posee varias aplicaciones usadas en electrónica que son útiles a la hora de desarrollar un sistema de control, son menos rápidos que un computador, sin embargo son pequeños y económicos en términos de precio y de consumo de potencia.

Debido a que es necesario proteger el computador y disponer de una plataforma de control económica y veloz, se opta por utilizar el computador y un dispositivo microcontrolador. Todo esto con el fin de que el computador realice las operaciones propias de la visión artificial y el microcontrolador trabaje en el control del posicionamiento de la pistola.

En la elección de los sensores, se opta por el uso de potenciómetros rotativos lineales, debido a que si se usase un encoder, la probabilidad de que el ambiente interfiera en la medida es mucho mayor debido al polvo, mientras que en el uso de potenciómetros, la medida no sufre de una afectación por este tipo de ambiente. Además también se usara un sensor final de carrera que indicara si alguno de los carretes ha llegado a una posición ubicada en alguno de los cuatro extremos posibles. Este sensor emitirá una señal, la cual ha de ser interpretada por el controlador.

El uso del potenciómetro lineal involucra el uso de una tensión que ha de ser convertida en valores digitales, esto significa que es necesario alimentar las terminales fijas del potenciómetro, el cual alimentara las terminales fijas del potenciómetro, además proporcionara la potencia necesaria para alimentar el microcontrolador.

- Aplicaciones necesarias para el desarrollo del control.

PWM: Debido al uso de motores DC en la aplicación, solo hay una forma de controlar la velocidad y posicionamiento de estos y es mediante la modulación por el ancho de pulso (MAP o PWM, siglas en ingles de *Pulse-Widht Modulation*) en la alimentación, esta técnica modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica. Sirve especialmente para controlar la cantidad de energía que es enviada a una carga, en este caso al motor.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el periodo.

$$D = \frac{\tau}{T}$$

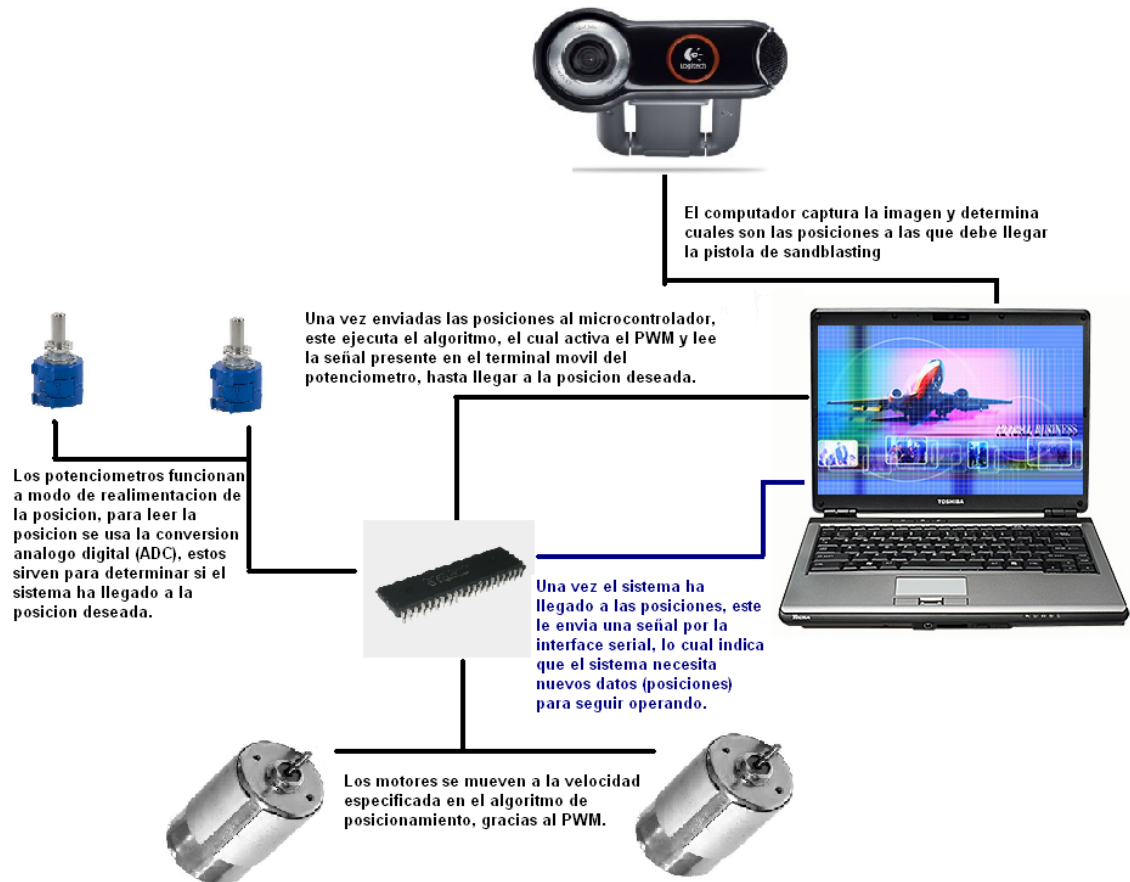
Donde D es el ciclo de trabajo, T es el periodo de la señal y τ es el tiempo en que la señal es positiva (ancho del pulso).

Conversión análogo-digital: Consiste básicamente en realizar de manera periódica, lecturas de la amplitud de una señal (tensión), la cual al ser transcrita en señales digitales, es más fácil de procesar, al obtener un valor numérico de una medida, facilita el desarrollo de estrategias de codificación, compresión, entre otros.

Comunicación Serial (SC): La comunicación serial consiste en la transmisión y recepción de datos bit a bit por un solo canal. La comunicación serial en los computadores de hoy y día se usa bajo el estándar RS-232, el único inconveniente es que los microcontroladores transmiten y reciben bajo el estándar TTL, sin embargo hay integrados que facilitan la compatibilidad del formato de las señales.

En términos generales el sistema se comportara así:

Figura 40. Descripción general del sistema

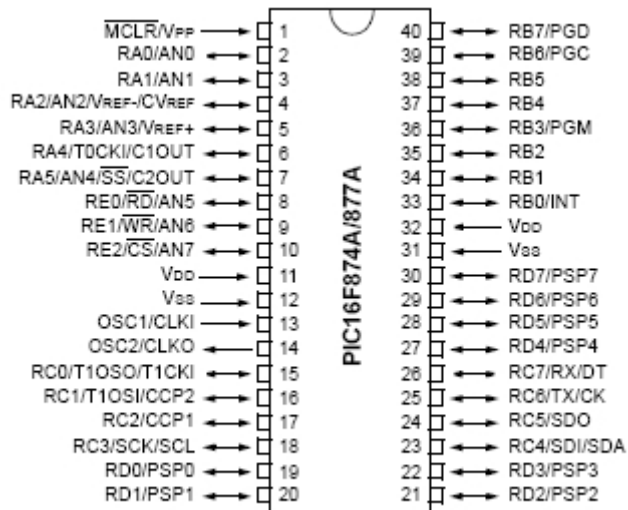


Fuente: Elaborado por los autores.

Es preciso que el microcontrolador tenga los módulos descritos anteriormente, en el mercado disponemos de varios fabricantes, sin embargo los más reconocidos fabricantes de microcontroladores de gama media son Motorola y PIC.

La familia PIC, tiene a favor que es un dispositivo, compacto, robusto y económico, además posee diferentes programadores y compiladores que facilitan la construcción de las aplicaciones de control, aparte de eso esta familia de microcontroladores posee mayor documentación en la web, lo cual facilita la resolución de problemas. El microcontrolador que mejor se adecua a los requerimientos de la aplicación es el PIC16F877A.

Figura 41. Distribución de pines del PIC16F877A

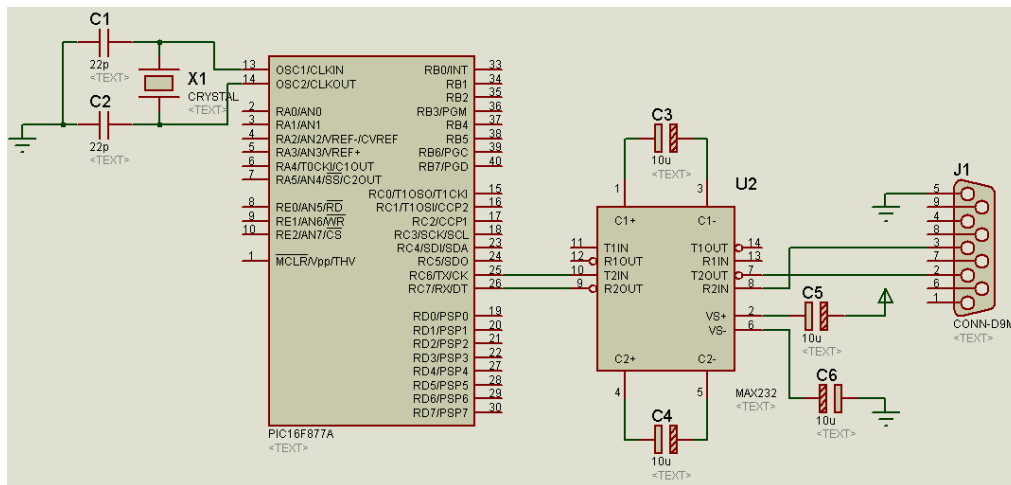


Fuente: Datasheet PIC16F877A, Pagina 5

En los pines de comunicación serial (pin 26 (RX), pin 25 (TX)), hay un dispositivo llamado max232³⁹, este integrado se encarga de facilitar la compatibilidad de los formatos de transmisión serial, recordemos que el computador trabaja bajo el estándar RS-232 (+12 Voltios (Off) – -12 Voltios (On)), y el microcontrolador trabaja bajo el estándar TTL (0 Voltios (Off) – 5 Voltios (On)). Gracias a la comunicación serial, el sistema podrá identificar en qué posición debe ubicarse.

³⁹ ANEXO D

Figura 42. Esquemático hardware comunicación serial.



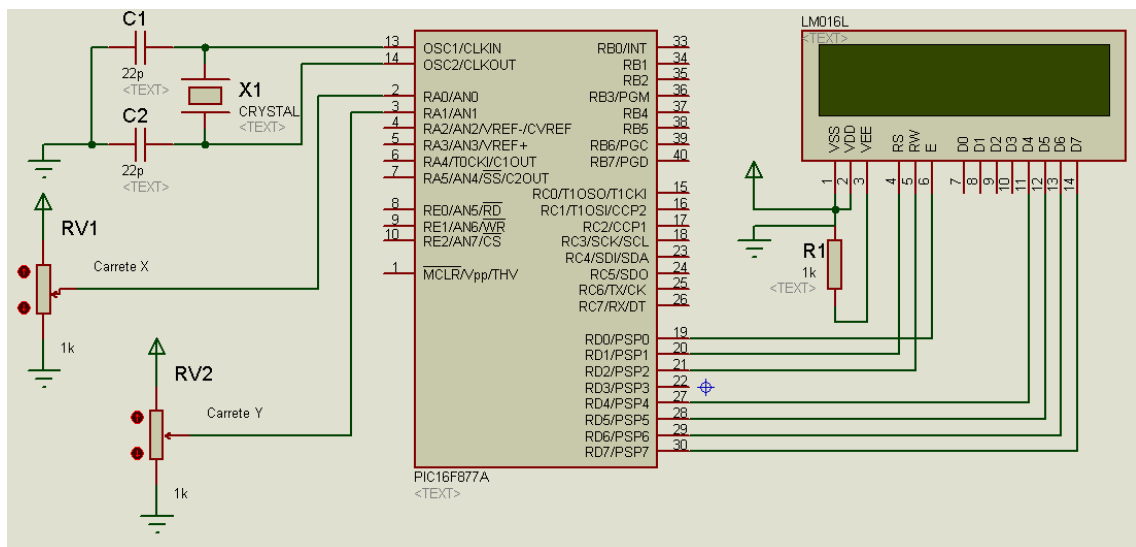
Fuente: Elaborado por los autores, Software ISIS Proteus.

Con respecto a la lectura del valor de los potenciómetros lineales, la cual es proporcional a la posición, este potenciómetro que tiene como valor máximo 1 K Ω al alimentarse a una señal de 5V, se implementa como elemento sensor.

Para obtener una medida con respecto a la posición, se dispone del conversor análogo-digital, el cual para este microcontrolador, binariza señales en el rango de 0 a 5 voltios DC, además dispone de una resolución de 10 bits. Para esta aplicación es necesario el uso de dos canales los cuales están asociados a la posición de la pistola de sanblasting con respecto a las coordenadas de los carretes X y Y. Los pines que facilitan esta operación son los número 2 y 3.

Debido a que se necesita visualizar las variables de error y posición del proceso se hace conveniente el uso de un display indicador, para este caso se usa una LCD de 2 * 16 caracteres. Los pines usados son los 19, 20, 21, 27, 28, 29 y 30.

Figura 43. Esquemático hardware visualización y conexión de potenciómetros.

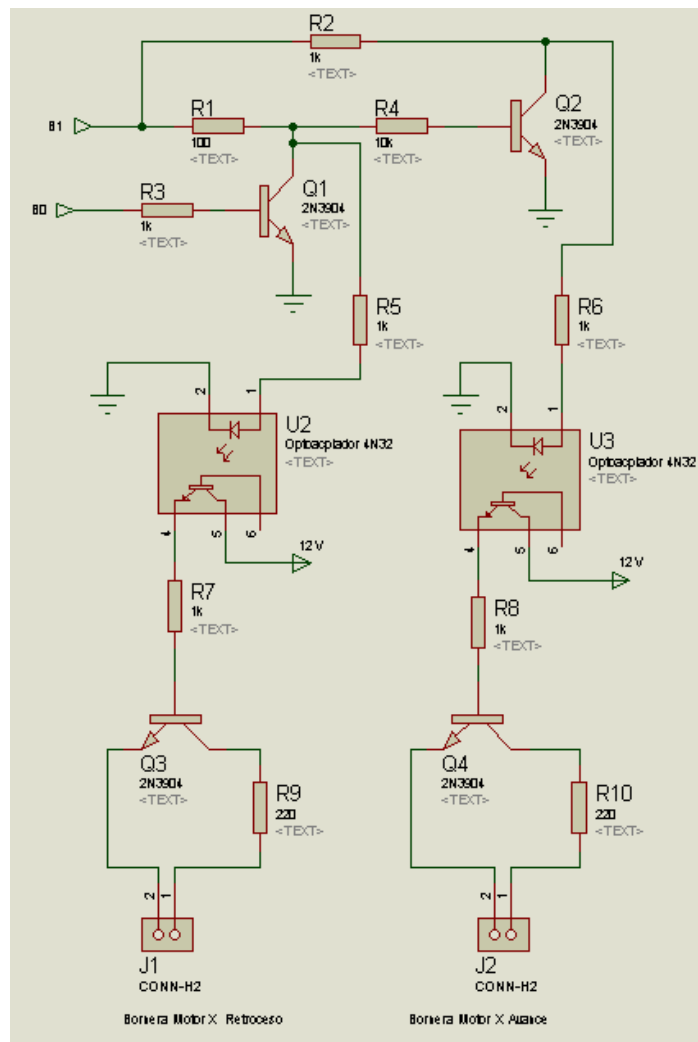


Fuente: Elaborado por los autores, Software ISIS Proteus.

Los pines que generan las ondas PWM, son los 16 y 17, este modulo PWM, tiene una capacidad de generar 10 bits de información, característica que es conveniente en el desarrollo del control PID de posición, al disponer de solo dos pines, se hace preciso elaborar un arreglo de transistores para poder gobernar las dos direcciones de los dos motores y que cada dirección tenga la posibilidad de ser modulada, para solucionar este problema se utilizan los pines 34 y 33 los cuales habilitan el giro en una dirección por motor, este arreglo de transistores es explicado a continuación.

La entrada B1 es la entrada PWM, mientras que la entrada B0 es una señal On-Off, suministrada por uno de los pines del microcontrolador, esta señal combinada con el arreglo de transistores trabajando en corte, hace posible que el motor invierta el giro, siendo controlado solo por una onda PWM, cuando tradicionalmente se usan 2 PWM para controlar los dos sentidos de giro de un motor.

Figura 44. Esquemático hardware de control de PWM y separación galvánica.



Fuente: Elaborado por los autores, Software ISIS Proteus.

Para lograr controlar los motores mediante la técnica de PWM, los transistores deben trabajar bajo estados de corte y saturación⁴⁰. La ecuación descrita indica cuando un transistor está trabajando en estados de saturación.

$$I_B * HFE > I_c$$

⁴⁰ **MALVINO**, Albert Paul. Principios de electrónica. Ed. McGraw Hill. Sexta Edición. Pag 247

Donde I_B es la intensidad en la base, HFE es la ganancia e I_C es la intensidad de colector.

Para el transistor Q1(2n3904) tenemos que la resistencia de base es de $1K\Omega$, un HFE de valor 300 y el voltaje de la base será de 5V, recordemos que este voltaje será suministrado por un pin del microcontrolador, mientras que el colector tendrá un voltaje máximo promedio también igual a 5V (recordemos que este está afectado por la modulación del pulso) y tendrá una resistencia de colector cuyo valor es 100Ω .

$$I_B = \frac{5V}{1K\Omega} = 5mA; \quad I_C = \frac{5V}{100\Omega} = 50mA; \quad 5mA * 300 > 50mA$$

El transistor Q1 está trabajando en corte y saturación.

El transistor Q2 tiene una alimentación máxima de 5 V en la base y el colector (recordemos que este es el valor máximo de la onda PWM), mientras que la resistencia de base es de $10K\Omega$ y la resistencia de colector es de $1K\Omega$, tenemos que.

$$I_B = \frac{5V}{10K\Omega} = 0.5mA; \quad I_C = \frac{5V}{1K\Omega} = 5mA; \quad 150mA > 5mA$$

El transistor Q2 está trabajando en corte y saturación.

La lógica del arreglo consiste en mandar la onda PWM a uno y solo uno de los optoacopladores dependiendo de si el pin B0 está activo o no, si B0 está activo (5V), anula el efecto del segundo transistor haciendo que la señal PWM vaya por dos caminos distintos, el camino de R1 a tierra y el camino de R2 y R6 al led del optoacoplador (U3), mientras que si B0 no tiene voltaje, el efecto del transistor Q2 esta anulándose debido a su efecto de negar la señal de salida del colector. Cuando la señal PWM está en alto, la corriente desviada por la resistencia R2 se va a tierra y cuando la señal PWM está en bajo, el transistor Q2 no tiene porque

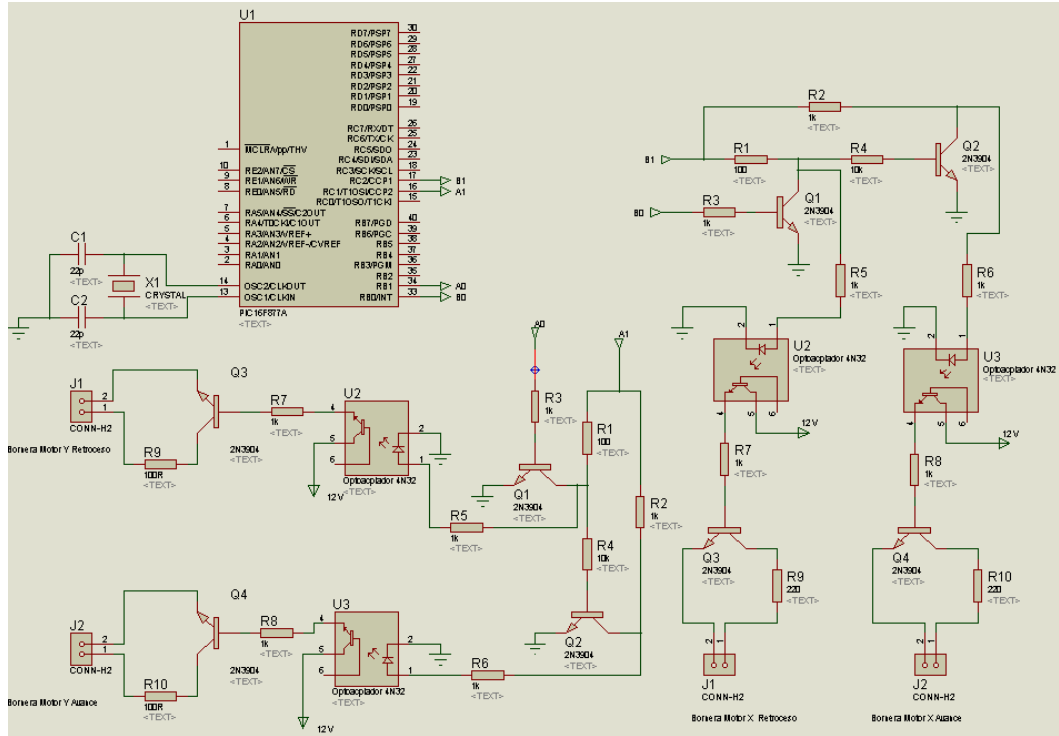
conducir, porque no hay voltaje, mientras que la señal PWM tomara el camino de las resistencia R1 y R5, todo el tiempo que B0 este inactivo, excitando el LED del optoacoplador (U2).

Los transistores Q3 Y Q4 (2n3904) también deben estar trabajando en corte y saturación, el voltaje en la base y el colector son iguales es decir 12 Voltios por ende la corriente en las bases y el colector serán:

$$I_B = \frac{12 V}{1 K\Omega} = 12 mA; \quad I_C = \frac{12 V}{220 \Omega} = 54,5 mA; \quad 12 mA * 300 > 54,5 mA$$

Con respecto a la selección de los optoacopladores (elemento de separación galvánica, es decir separa la etapa de control con la de potencia (puentes H)), estos son seleccionados con el criterio de soportar la corriente en el emisor, debido a la corriente de base es de 12 mA, el optoacoplador que mejor cumple con los requerimientos es el 4N32.

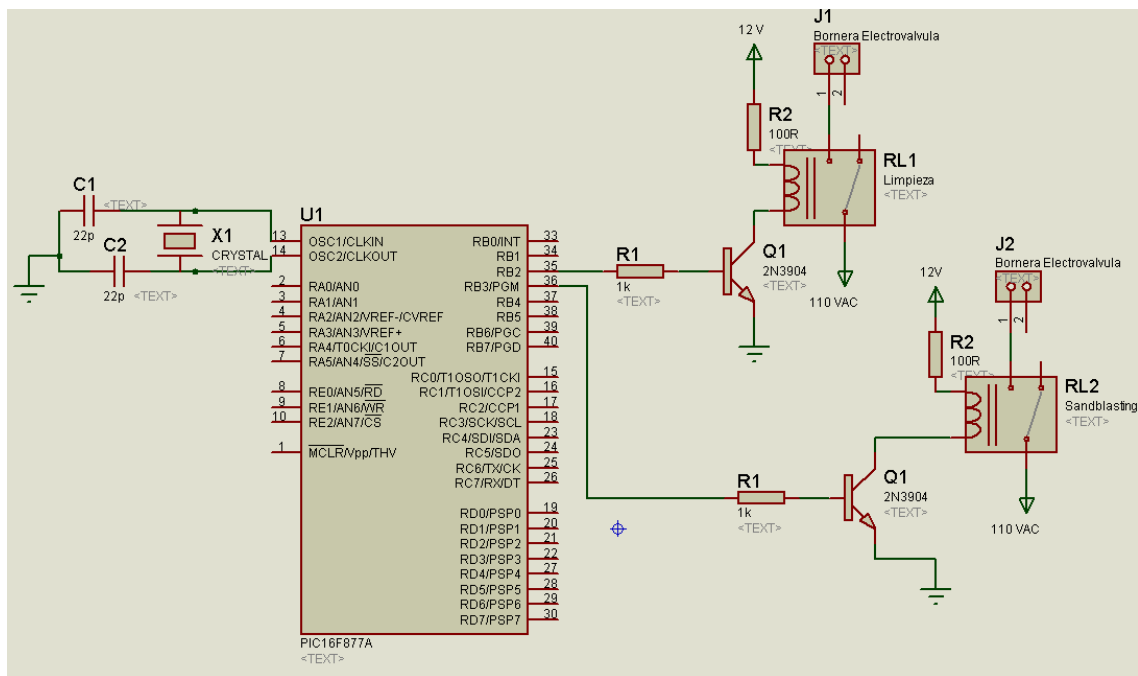
Figura 45. Esquemático arreglo para operar ambos motores en ambos sentidos con PWM



Fuente: Elaborado por los autores, Software ISIS Proteus.

Los pines 35 y 36 están conectados a unos transistores 2n3904, estos transistores deben activar unos relés, estos relés son los encargados de activar las electroválvulas que permiten la limpieza y el sandblasting en la Máquina, como podemos obviar es necesario que los transistores trabajen también en corte y saturación.

Figura 46. Esquemático para obtener relés.



Fuente: Elaborado por los autores, Software ISIS Proteus.

Los transistores Q1 (2n3904) también deben estar trabajando en corte y saturación, el voltaje en la base es de 5V mientras que en el colector es de 12 voltios por ende la corriente en las bases y el colector serán:

$$I_B = \frac{5\text{ V}}{1\text{ K}\Omega} = 5\text{ mA}; \quad I_C = \frac{12\text{ V}}{100\ \Omega} = 120\text{ mA}; \quad 5\text{ mA} * 300 > 1500\text{ mA}$$

La potencia de las electroválvulas es de 65 W AC, se utilizo un relé pequeño el cual soporta una potencia de 250 W AC, siendo satisfactorio el factor de seguridad resultante.

3.3 CONTROL Y PROGRAMACIÓN

A continuación se describen los parámetros y procedimientos que se tuvieron en cuenta para seleccionar e implementar las estrategias de control. También se es-

pecificara el algoritmo para lograr el control de los motores y apertura de electroválvulas para lograr un proceso eficiente.

3.3.1 Diseño del sistema de control.

Para lograr controlar un sistema de posicionamiento, es necesario saber cómo se comporta este a lo largo del tiempo, este comportamiento es alterado en función de variables de entrada. Todos los sistemas se comportan de una manera característica, esta manera característica esta especificada por medio de la función de transferencia.

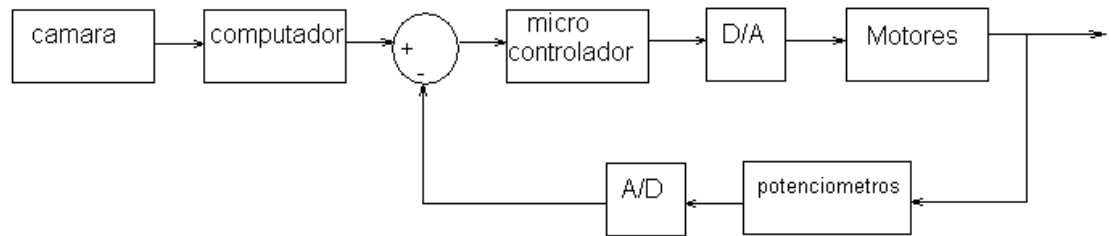
Una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (modelada) a una señal de entrada o excitación (también modelada). Esta relación usualmente se trabaja en el dominio de Laplace.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)}$$

Donde $G(s)$ es la función de transferencia en el dominio de Laplace, $Y(s)$ es la señal de salida del sistema en el dominio de Laplace, mientras $E(s)$ es la entrada en el dominio de Laplace.

La pistola es desplazada por medio de poleas dentadas de tiempo, impulsadas por un motor DC en cada eje coordinado, combinadas con el efecto de deslizamiento de los rodamientos lineales en cada guía. Para poder establecer la función de transferencia del sistema de posición, es preciso conocer las características físicas del motor y la planta.

Figura 47a: Diagrama general de bloque del sistema.

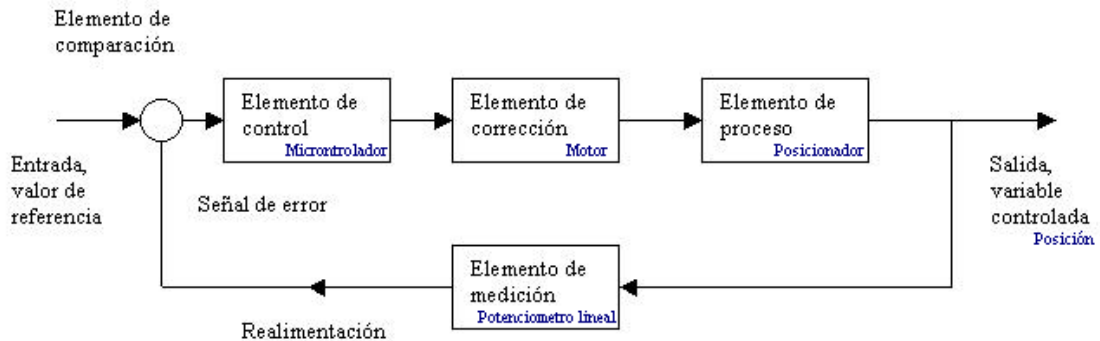


En el anexo (motores) se puede establecer que se hizo una medición de las características físicas de los motores a usar, sin embargo al analizar la planta (guías lineales y poleas dentadas), no permite establecer una función de transferencia adecuada debido al cambio de los coeficientes de rozamiento, resistencia interna del motor, entre otros, durante el proceso de sandblasting, además físicamente es imposible posicionar la pistola con inercias menores a las mínimas requeridas para lograr un desplazamiento.

Es posible obtener una aproximación de la función de transferencia del sistema, sin embargo al momento de disponer de un sistema controlador sintonizado con los parámetros de la función establecida, estos no sean adecuados por las razones expuestas en el párrafo anterior.

Este sistema al necesitar continuamente una lectura del valor de la posición, se denomina como un sistema realimentado o de lazo cerrado. Estos sistemas generalmente tienen la siguiente forma.

Figura 47b. Elementos básicos del sistema en lazo cerrado.



Elemento de comparación: Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido. Para este caso es la diferencia obtenida entre el valor de consigna y el valor actual, esta operación es realizada al interior del microcontrolador.

Elemento de control: Este elemento decide que acción tomar cuando se recibe una señal de error. Recordemos que el microcontrolador modifica las señales de salida de acuerdo al error (ver pag 92)

Elemento de corrección: Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error, es obvio que el elemento corrector es el motor.

Elemento de proceso: El proceso o planta, es el sistema dónde se va a controlar la variable. Para este caso es el posicionador.

Elemento de medición: Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al

elemento de comparación para determinar si hay o no error. Físicamente este elemento es el potenciómetro rotativo lineal.

Debido a que no es posible establecer una función de transferencia y se requiere que el sistema logre el posicionamiento con cierta exactitud y rapidez, se deduce que se requiere de un controlador PID en ambos ejes, este controlador tiene la posibilidad de aumentar la exactitud en el posicionamiento y la rapidez en el desplazamiento.

Existen diferentes métodos de sintonización, en función del tipo de sistema (cerrado o abierto), uno de los métodos más comunes para la sintonización de sistemas es el método de Ziegler-Nicholls; este método (lazo cerrado), consiste en elevar llevar a cero las constantes integral y derivativa; e ir incrementando la ganancia proporcional hasta obtener el comportamiento de un sistema oscilatorio.

Una vez el sistema de posicionamiento es oscilante (en cada eje), se dispone a calcular el periodo de las oscilaciones, obteniendo los siguientes datos:

Con la última ganancia (K_u) y con el periodo de oscilación (T_u) se tiene que las constantes generales según la tabla de Ziegler-Nicholls.⁴¹

Motor Toshiba	K_u	120	Motor Matsushita	K_u	70
	T_u	0,2		T_u	0,17

TABLA 13: Parámetros de sintonización según Ziegler-Nicholls.

Tipo	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_u	inf	0
PI	0.45 K_u	$T_u/1.2$	0
PID	0.6 K_u	0.5 T_u	0.125 T_u

Fuente: Ingeniería de control moderna pag 673

⁴¹ **OGATA**, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. Ed. Prentice Hall. Tercera Edición. pag 673

Los datos calculados por medio de las ecuaciones descritas en la tabla anterior son:

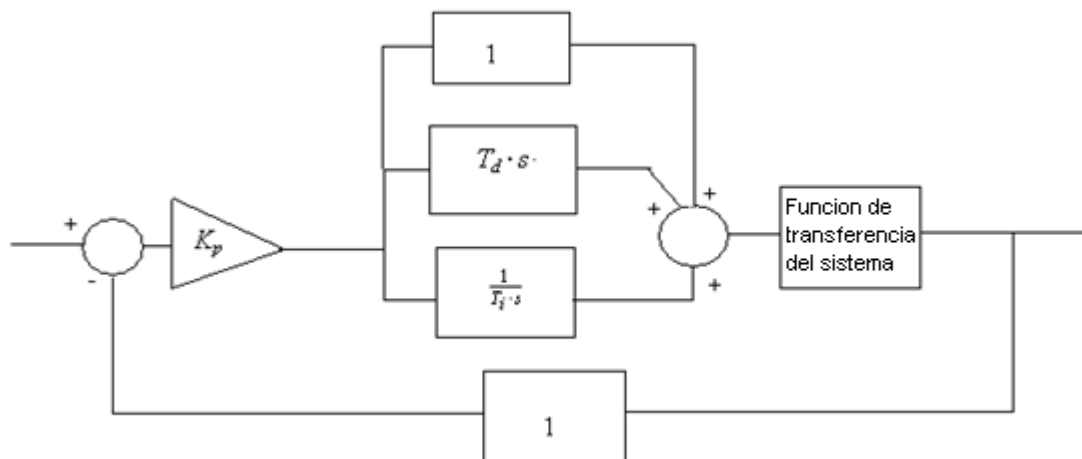
PID Z-N análogo (Toshiba)	K	72
	Ti	0,1
	Td	0,025

PID Z-N análogo (Matsushita)	K	42
	Ti	0,085
	Td	0,02125

Fuente: Elaborado por los autores.

El compensador PID tendrá la siguiente forma:

Figura 48. Compensador PID del sistema.



Fuente: Elaborado por los autores.

Teniendo en cuenta el uso del microcontrolador como elemento que realiza las operaciones propias del control, el diagrama anterior, basado en elementos de control análogo, debe ser sustituido por su equivalente en control digital. Recordemos que el microcontrolador digitaliza la señal obtenida en el potenciómetro y la procesa, y realiza las correcciones por medio del programa a través del modulo PWM.

Para transformar un sistema análogo a discreto debemos recordar que:

$$s = \frac{(1 - Z^{(-1)})}{Tm}$$

Donde Z es el dato, para el caso $Z^{(-1)}$ se referencia como el dato anterior, Tm es el tiempo de muestreo, es decir el retardo entre toma y toma del dato relacionado con la posición. Haciendo la respectiva sustitución del sistema controlador tenemos que en el segundo punto de suma:

$$U(s) = E(s) * KP \left(1 + \frac{1}{Ti * s} + Td * s \right)$$

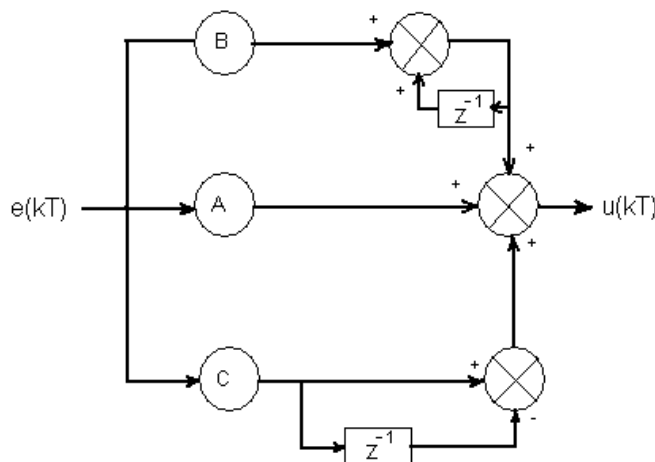
Sustituimos s:

$$U(z) = E(z) * KP \left(1 + \frac{Tm}{Ti * (1 - Z^{(-1)})} + \frac{Td * (1 - Z^{(-1)})}{Tm} \right)$$

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \left(A + \frac{B}{(1 - Z^{(-1)})} + C(1 - Z^{(-1)}) \right)$$

$$A = Kp \quad B = Kp * \frac{Tm}{Ti} \quad C = Kp * \frac{Td}{Tm}$$

Figura 49. Compensador PID discretizado.



Fuente: Elaborado por los autores.

Para encontrar dichas constantes se requiere de realizar el siguiente experimento partir del método de sintonización de Ziegler-Nicholls:

En primera medida se lleva a cero las constantes de tiempo integral y derivativo, empezamos a realizar un incremento paulatino de la constante proporcional hasta que el sistema se hace oscilante:

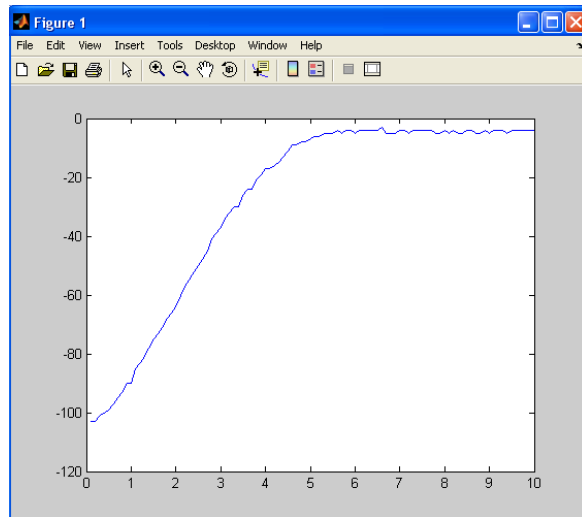
Para la realización del experimento se somete el sistema a un desplazamiento, obteniendo del comportamiento una lectura de los datos del error generado con ayuda del medidor (potenciómetro lineal) y del envío de datos por puerto serial del microcontrolador al PC, y así generando un grafico del comportamiento del sistema en Matlab.

Se realiza para ambos motores muestreos cada 0.1 segundos obteniendo una lectura eficiente sin mucha perdida de datos y un grafico entendible.

Sintonización Motor Toshiba

Para las constantes $K_p=10$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 200 posición final 100 se obtiene el siguiente grafico:

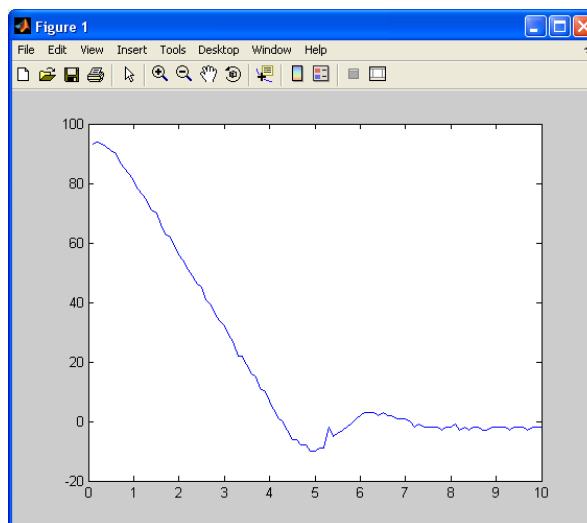
Figura 50: Experimento de Sintonización No. 1



Como se puede apreciar en el gráfico anterior para una constante proporcional de 10 el carrete Y (Motor Toshiba) tiene un error de estado estacionario de aproximadamente 5%; lo cual nos indica que es preciso incrementar dicha constante.

Para las constantes $K_p=50$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 200 se obtiene el siguiente gráfico:

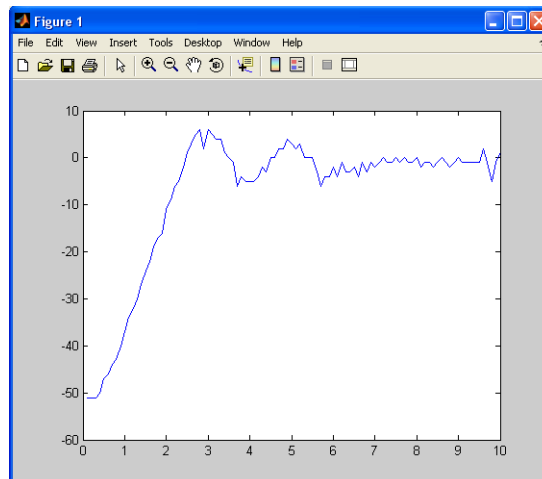
Figura 51: Experimento de Sintonización No. 2



En este grafico se ve que el carrete Y (Motor Toshiba) empieza a tener un comportamiento donde sobrepasa en punto cero con un sobrepaso de aproximadamente 12% y luego oscila con la misma tasa sin embargo le comportamiento no muestra una oscilación considerablemente contante por tanto se debe incrementar aun más la ganancia proporcional.

Para las constantes $K_p=100$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

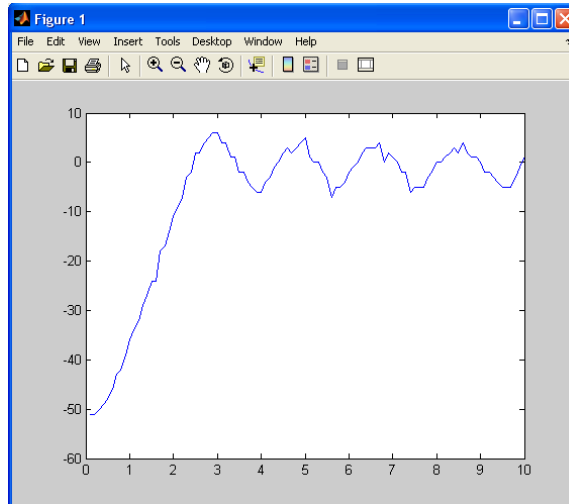
Figura 52: Experimento de Sintonización No. 3



En el grafico se observa que el carrete Y (Motor Toshiba) empieza a tener un comportamiento oscilante pero no constante lo cual no satisface los requerimientos del criterio por tanto se continua incrementando la constante proporcional solo que esta vez con una tasa un poco menor.

Para las constantes $K_p=120$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

Figura 53: Experimento de Sintonización No. 4



Finamente para este valor de constante proporcional, ya se nota un comportamiento que satisface los requerimientos del método de sintonización, por lo que a partir de este, se pueden calcular las constantes faltantes teniendo que el periodo de oscilación (T) es de aproximadamente 0,2 segundos.

$$K_u = 120 \quad T = 0.2 \text{ s}$$

De lo que se obtienen los valores en tiempo continuo y posteriormente se determinan los valores en tiempo discreto generando la siguiente tabla:

PID Z-N análogo (Toshiba)	K	72
	Ti	0,1
	Td	0,025

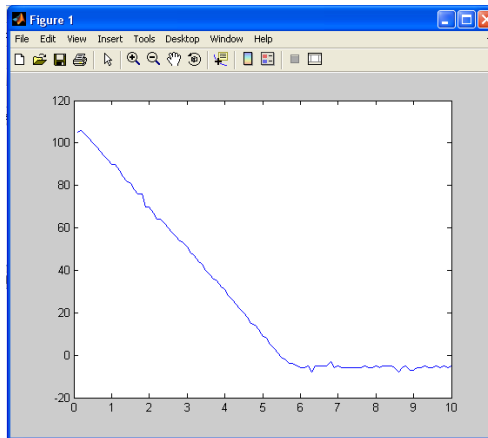
PID Digital	K	72
Toshiba	Ki	0,72
	Kd	1800

Se procede a encontrar el valor de la constante proporcional del carrete X (Motor Matsushita) para obtener un comportamiento con oscilaciones constantes.

Sintonización Motor Matsushita

Para las constantes $K_p=10$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial desde 100 y posición final en 200, se obtiene el siguiente grafico:

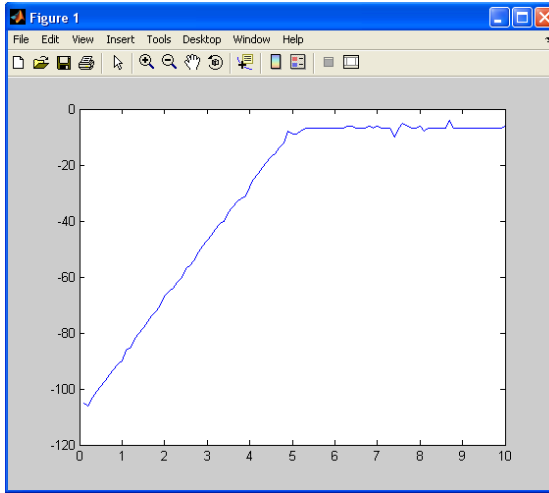
Figura 54: Experimento de Sintonización No. 5



Como se puede apreciar en el grafico anterior para una constante proporcional de 10 el carrete X (Motor Matsushita) tiene un error de estado estacionario de aproximadamente 7%; lo cual nos indica que es preciso incrementar dicha constante con un incremento algo menor que el dado inicialmente en el motor Toshiba puesto que este si logra llegar al punto cero pasando por él y manifestando el error.

Para las constantes $K_p=30$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 200 y posición y posición final 100, se obtiene el siguiente grafico:

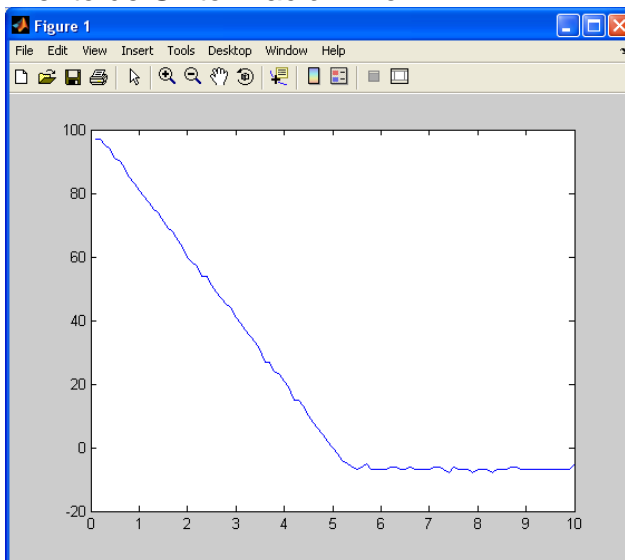
Figura 55: Experimento de Sintonización No. 6



En este grafico, se ve que el carrete X (Motor Matsushita) empieza a tener un comportamiento donde se genera un error de estado estacionario de aproximadamente 8% sin sobrepasar el cero por tanto se debe incrementar aun mas la ganancia proporcional.

Para las constantes $K_p=50$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 100 y como posición final 200, se obtiene el siguiente grafico:

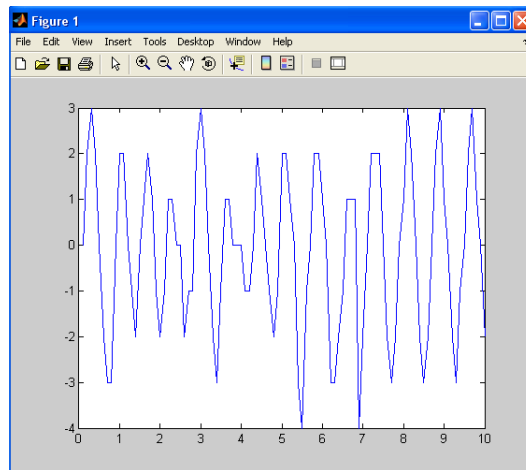
Figura 56: Experimento de Sintonización No. 7.



En el grafico anterior se aprecia que el carrete X (Motor matsushita) empieza a tener un comportamiento oscilante pero no con la suficiente amplitud, lo cual no satisface los requerimientos del criterio por tanto se continúa incrementando la constante proporcional solo que esta vez con una tasa un poco menor.

Para las constantes $K_p=70$, $K_i=0$, $K_d=0$ y un envío de posición inicial en 200 y posición final 100, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 57: Experimento de Sintonización No. 8.



Dado que el motor Matsushita no tiene que sostener tanta carga y este es más pequeño que el Toshiba la amplitud de las oscilaciones es mucho menor dado que este no tiene tanta inercia.

Finamente para este valor de contante ya se nota un comportamiento que satisface los requerimientos del método de sintonización, por lo que a partir de este se pueden calcular las constantes faltantes teniendo que el periodo de oscilación (T) es de aproximadamente 0,17 segundos.

$$K_p = 70 ; T = 0.17 s$$

De lo que se obtienen los valores en tiempo continuo y posteriormente se determinan los valores en tiempo discreto generando la siguiente tabla:

PID Z-N análogo (Matsushita)	K	42
	Ti	0,085
	Td	0,02125

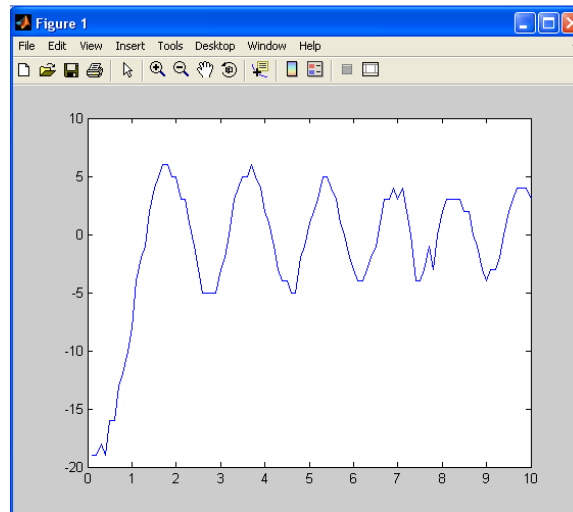
PID Digital	K	42
Matsushita	Ki	0,494118
	Kd	892,5

De los valores obtenidos procedemos a ver el comportamiento del sistema a partir de las constantes calculadas.

Comportamiento del sistema para los valores calculados:

Para las constantes $K_p=120$, $K_i=0.72$, $K_d = 1800$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 50 (motor Toshiba) se obtiene el siguiente grafico:

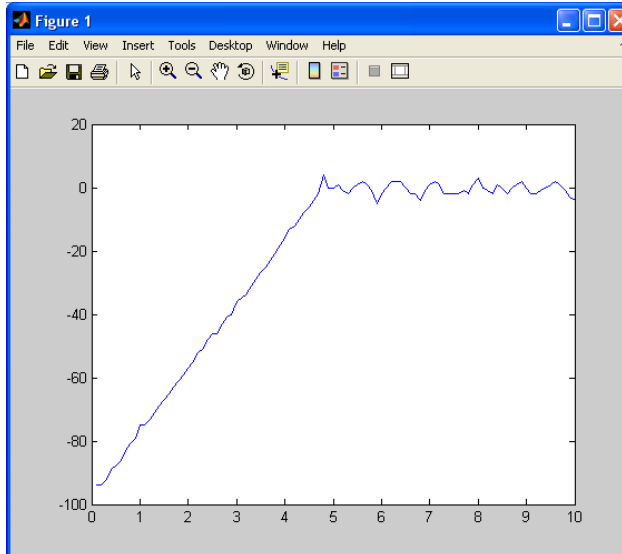
Figura 58: Experimento de Sintonización No. 9



Del grafico se puede apreciar que para los valores calculados el sistema no opera como se esperaba comportándose como subamortiguado.

Al sintonizar el motor Matsushita con las constantes $K_p=42$, $K_i=0.49$, $K_d = 892$ y un envío de posición inicial en 200 y posición final 100, se obtiene el siguiente gráfico:

Figura 59: Experimento de Sintonización No. 10



Del gráfico se puede apreciar que para los valores calculados el sistema no opera como se esperaba comportándose como subamortiguado, es por esta razón que para los efectos obtenidos para ambos carretes se decide empezar a realizar una sintonización fina del sistema partiendo de los valores calculados según la teoría de Ziegler-Nicholls.

Para ello se empiezan a realizar una serie de cambios para las nuevas constantes basados en los criterios a tener en cuenta enunciados en la tabla 14 obteniendo los siguientes resultados:

TABLA 14: Análisis del sistema PID

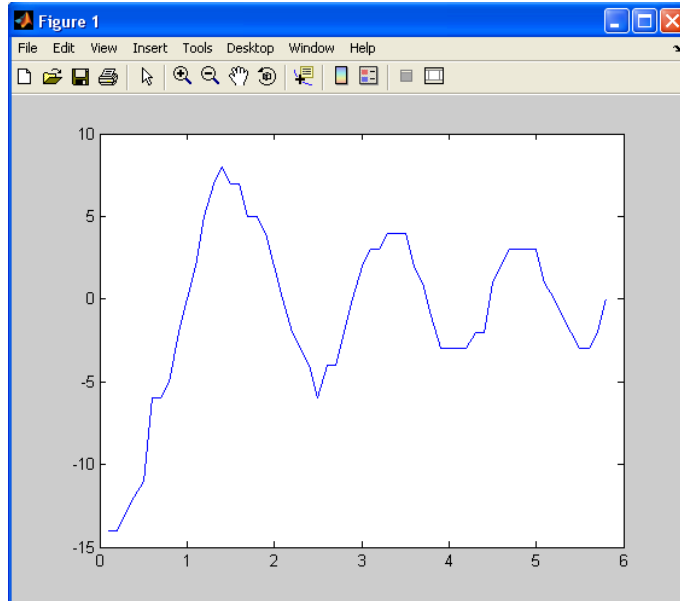
Acción de control	Efecto en el régimen transitorio y estabilidad	Efecto en el régimen permanente	Acción ante perturbaciones
Proporcional	Disminuye el tiempo de respuesta del sistema haciéndolo mas rápido	Al aumentar la ganancia, disminuye el error en estado estacionario en sistemas de primer orden (tipo 0)	No es capaz de eliminar el efecto de una perturbación que se mantiene en el tiempo, aunque puede reducirlo aumentando la ganancia
	En sistemas de segundo orden o superior, tiende a hacer la respuesta más oscilatoria e incluso inestable	En sistemas de de tipo 1 o superior, no mejora el régimen permanente	
Integral	EMPEORA EL TRANSITORIO	MEJORA EL ESTACIONARIO	Elimina el efecto de perturbaciones sostenidas en el tiempo
	Aumenta el sobreimpulso y el tiempo de establecimiento del sistema haciéndolo mas oscilatorio o incluso inestable	Elimina totalmente el error en estado estacionario a una entrada escalón	
Derivativa	MEJORA EL TRANSITORIO	No actúa en régimen permanente (derivada nula) por lo que no puede corregir el error estacionario	No ejerce ninguna acción ante perturbaciones constantes por lo que no es capaz de eliminar su efecto
	Reduce el tiempo de establecimiento		
	Aumenta el amortiguamiento y disminuye el sobreimpulso máximo		

Sintonización fina (motor Toshiba):

Para disminuir el amortiguamiento del sistema se disminuye la constante derivativa k_d :

Para las constantes $K_p=72$, $K_i=0.72$, $K_d = 180$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 85 se obtiene el siguiente grafico:

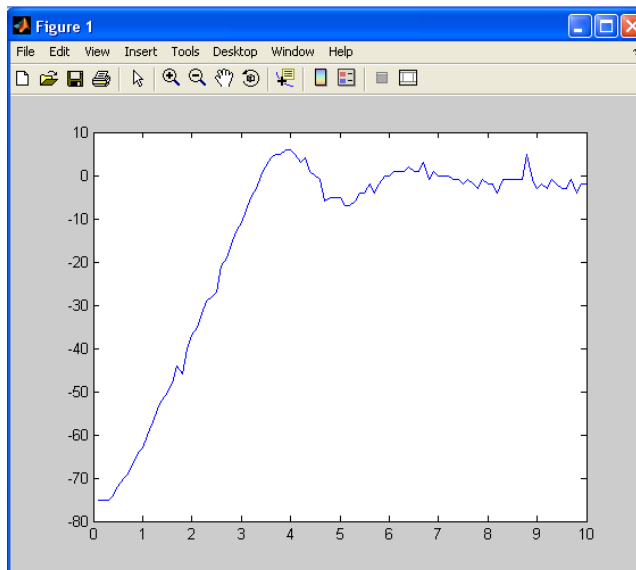
Figura 60: Experimento de Sintonización No. 11



De la figura se observa que al disminuir K_d disminuye el amortiguamiento obteniendo un sistema con tendencia a la estabilización aunque un poco tardía.

Para las constantes $K_p=72$, $K_i=0.72$, $K_d = 18$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 5, se obtiene el siguiente grafico:

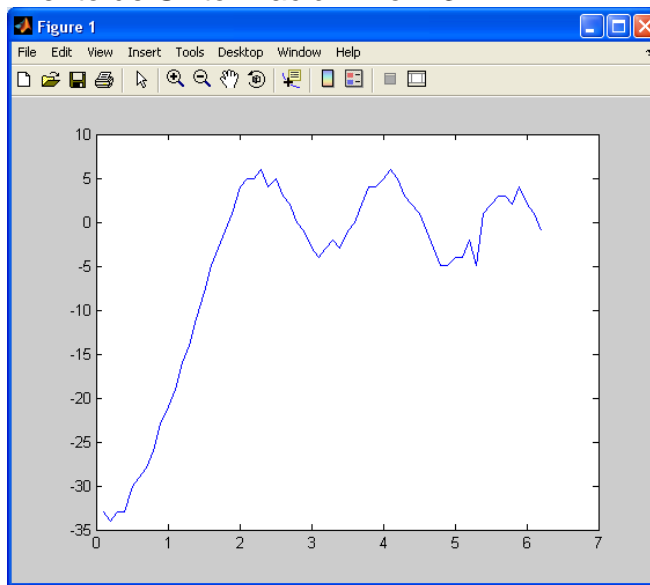
Figura 61: Experimento de Sintonización No. 12



Dado que K_d es aun más pequeño el sistema oscila aun menor pero requerimos de una estabilización más apropiada.

Para las constantes $K_p=72$, $K_i=0.72$, $K_d = 10$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

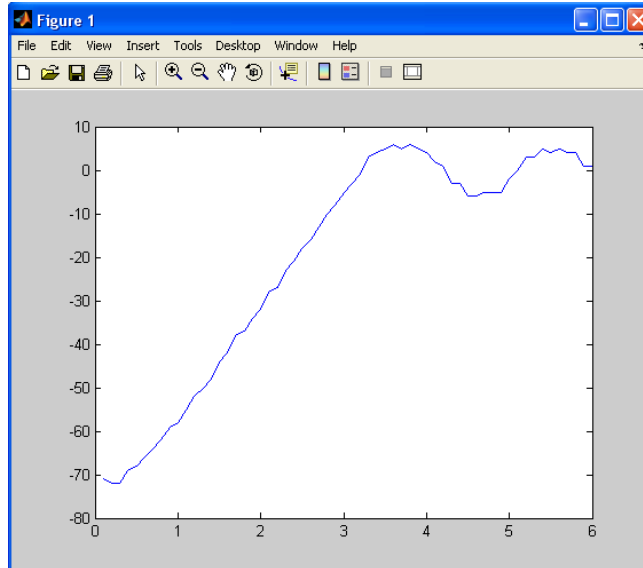
Figura 62: Experimento de Sintonización No. 13



La amplitud es mucho menor que en la grafica anterior a pesar de que oscila un poco más, teniendo un sistema un poco más lento, pero apreciablemente más exacto.

Para las constantes $K_p=72$, $K_i=0.72$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

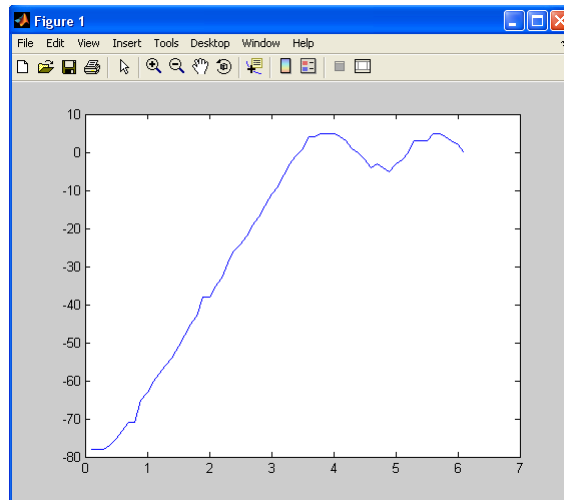
Figura 63: Experimento de Sintonización No. 14



Se puede apreciar que ahora no oscila tanto y el sobrepaso no es tan grande al obtener este resultado se dejara la constante derivativa quieta ($K_d=7$) y se procederá a variar la constante proporcional (K_p) de nuevo observando con mayor detenimiento los efectos en la variación.

Para las constantes $K_p=30$, $K_i=0.72$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

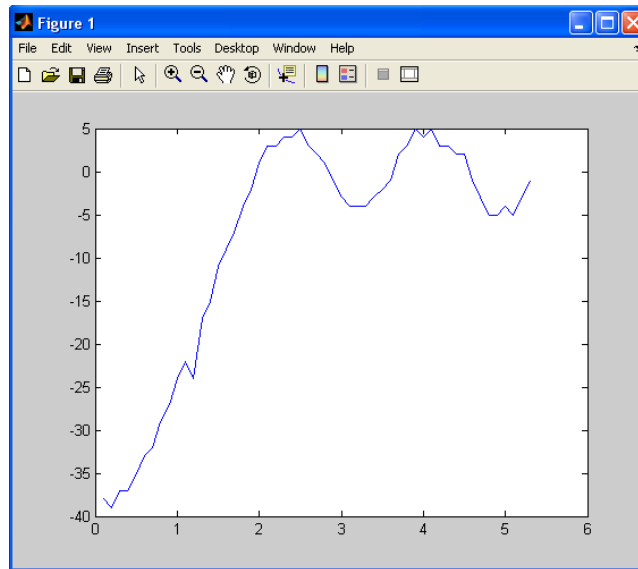
Figura 64: Experimento de Sintonización No. 15



Se obtiene una amplitud del sobrepaso en menor magnitud en referencia al experimento anterior por ello se decide disminuir la constante proporcional (K_p).

Para las constantes $K_p=20$, $K_i=0.72$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

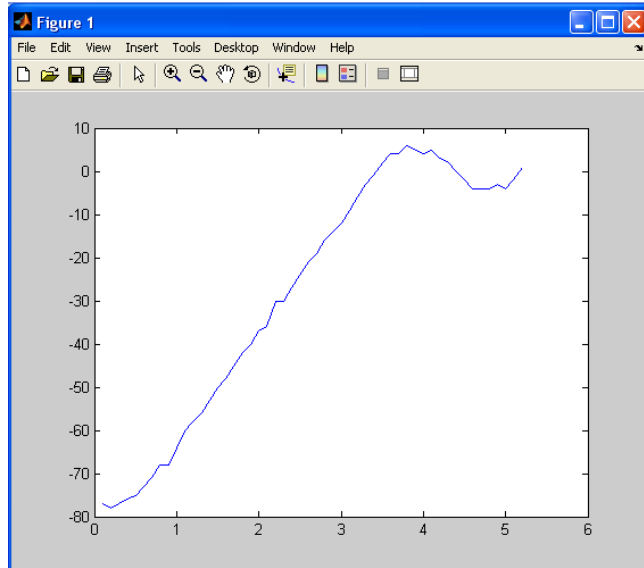
Figura 65: Experimento de Sintonización No. 16



Se ve que al disminuir la constante proporcional (K_p) el sobrepaso del sistema es mucho menor:

Para las constantes $K_p=10$, $K_i=0.72$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 50, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 66: Experimento de Sintonización No. 17

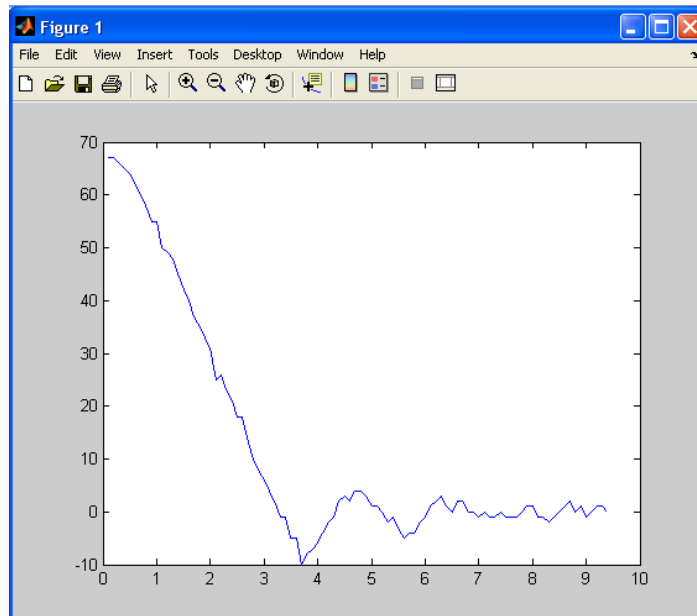


Dado que el sistema ya es más estable se deja $(K_p)=10$

Para disminuir el ruido de perturbaciones se aumentara la constante integral (K_i) .

Para las constantes $K_p=10$, $K_i=2$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 50 y posición final 100, se obtiene el siguiente grafico:

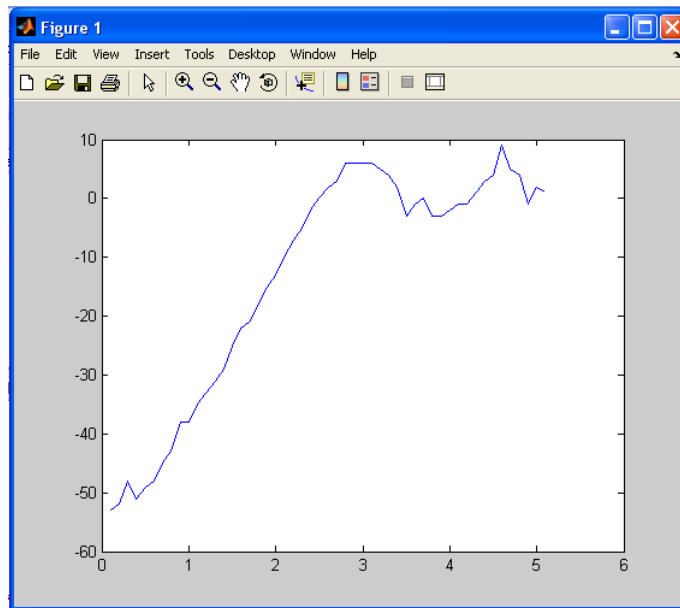
Figura 67: Experimento de Sintonización No. 18



Se obtiene un resultado un poco mas apreciable por ende se continua incrementando la constante integral (K_i)

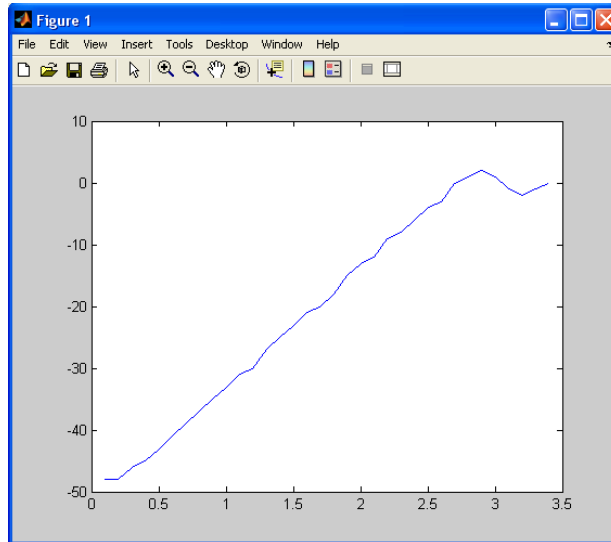
Para las constantes $K_p=10$, $K_i=4$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 50 posición y posición final 100, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 68: Experimento de Sintonización No. 19



Para las constantes $K_p=10$, $K_i=6$, $K_d = 7$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 50, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 69: Experimento de Sintonización No. 20



Finalmente observando un buen comportamiento donde se llega a un nivel de estabilización considerablemente eficiente para el funcionamiento del prototipo, las constantes obedecen a la siguiente tabla

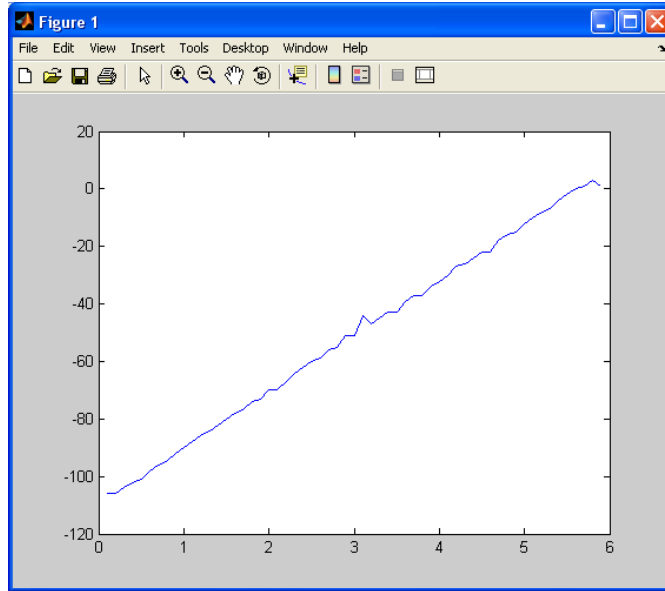
PID Digital	Kp	10
Toshiba	Ki	6
	Kd	7

Sintonización fina (Motor matsushita).

De igual forma que con el motor Toshiba en este motor (Matsushita) se disminuirá la constante derivativa kd para disminuir el amortiguamiento.

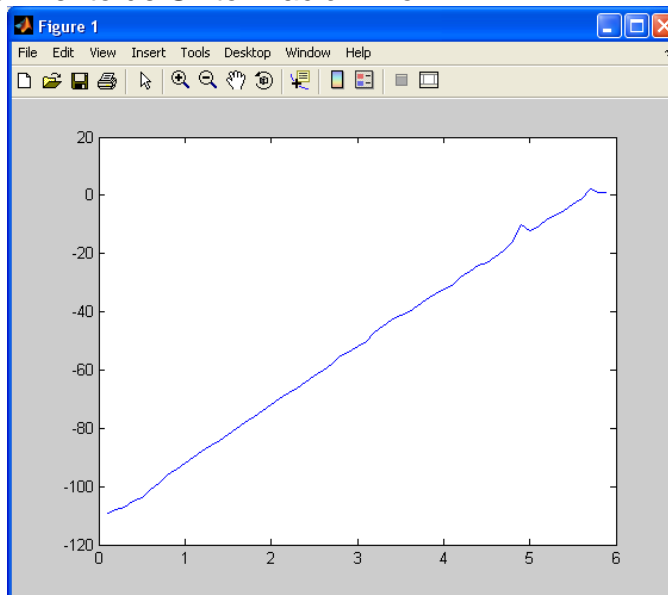
Para las constantes $K_p=42$, $K_i=0.49$, $K_d = 89$ y un envío de posición inicial en 100 y posición final 50 se obtiene el siguiente grafico:

Figura 70: Experimento de Sintonización No. 21



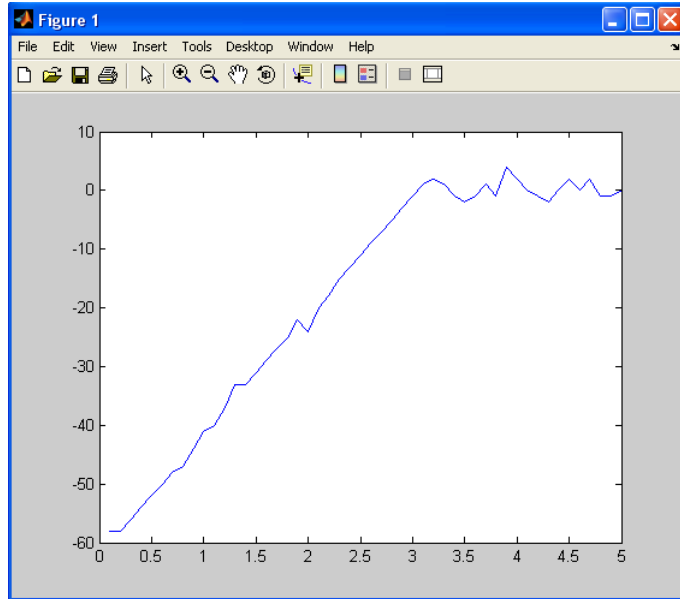
Para las constantes $K_p=42$, $K_i=0.49$, $K_d = 30$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 50, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 71: Experimento de Sintonización No. 22



Para las constantes $K_p=42$, $K_i=0.49$, $K_d = 10$, un envío de posición inicial en 200 y posición final 100, se obtiene el siguiente grafico:

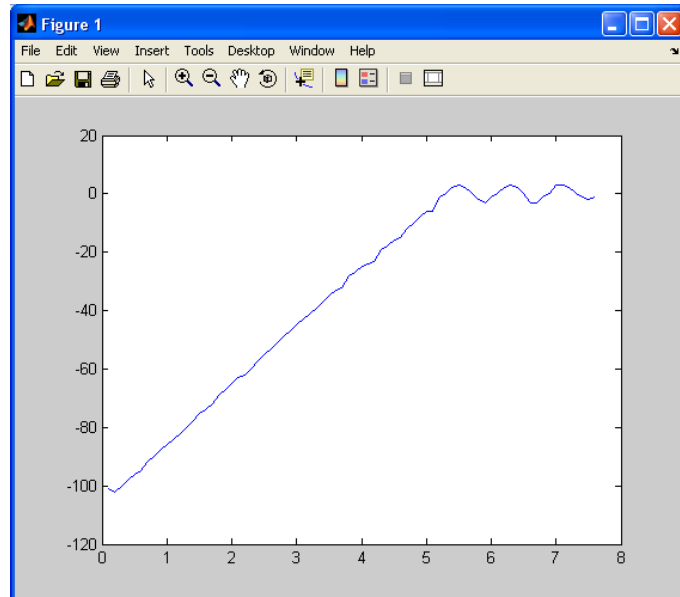
Figura 72: Experimento de Sintonización No. 23



El sistema es más rápido y la amplitud de oscilación es menor por lo que se deja $k_d=10$ y se variara (disminuyéndolo) k_p para disminuir las oscilaciones.

Para las constantes $K_p=30$, $K_i=0.49$, $K_d = 10$ y un envió de posición inicial en 200 y posición final 100 se obtiene el siguiente grafico:

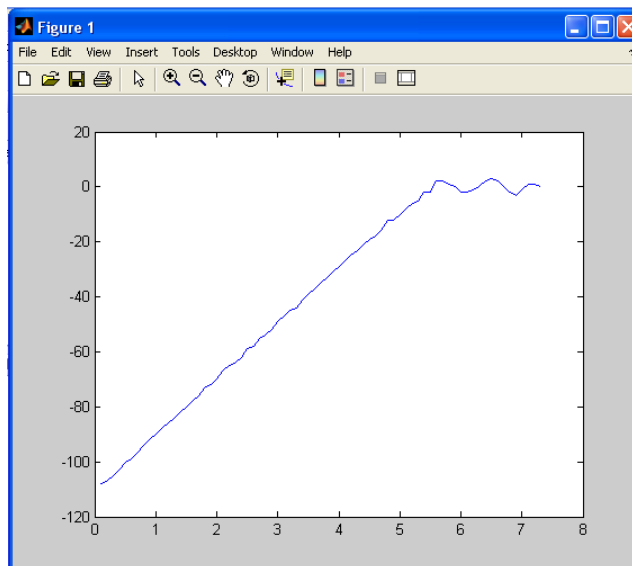
Figura 73: Experimento de Sintonización No. 24



Dado que el sistema es más estable y la amplitud del sobrepaso es pequeña se deja $k_p=30$ y se variara K_i aumentándolo para disminuir el ruido a alta frecuencia ya que el PWM está a una frecuencia de 2 KHz

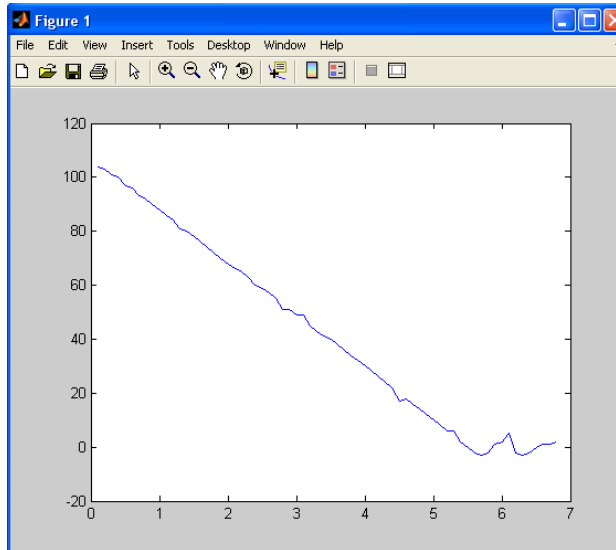
Para las constantes $K_p=42$, $K_i=10$, $K_d = 10$ y un envío de posición inicial en 200, posición final 100, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 74: Experimento de Sintonización No. 25



Para las constantes $K_p=30$, $K_i=100$, $K_d = 10$ y un envío de posición inicial en 100 posición final 200, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 75: Experimento de Sintonización No. 26



Finalmente observando un buen comportamiento donde se llega a un nivel de estabilización considerablemente eficiente para el funcionamiento del prototipo, las constantes obedecen a la siguiente tabla:

PID Digital	Kp	30
Matsushita	Ki	100
	Kd	10

El sistema envía un nuevo dato en el instante en que los motores cumplen la condición de estar en la posición dentro del margen de tolerancia, esto quiere decir que una vez el sistema se haya posicionado, no importa el tiempo de estabilización de alguno de los dos, ya que el envío del próximo dato no depende de esto, sino del posicionamiento relativo dentro del margen de tolerancia (3 bits). Dando un sistema rápido (1 seg) que satisface las necesidades de un sandblastado efectivo para la dinámica de movimiento del prototipo.

3.3.2 Algoritmo del elemento de control.

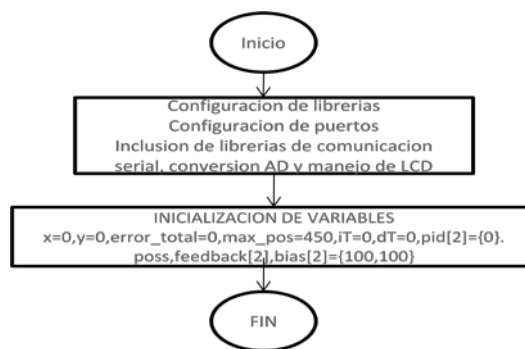
Al utilizar un PID de tipo digital y un microcontrolador, este debe contener una secuencia de instrucciones y pasos lógicos para lograr su cometido, que para este caso es el posicionamiento de la boquilla de sandblasting.

Existen una enorme variedad de programas que permiten el desarrollo de esta aplicación, sin embargo es preciso realizar una elección que permita entender fácilmente el código, que no genere demasiadas líneas y que sea accesible, es por eso que se usa el compilador de PIC-C porque cumple con los requerimientos indicados anteriormente, además permite un eficiente manejo de librerías y permite desarrollar con facilidad la aplicación gracias a que incorpora el uso de funciones, lo cual permite segmentar el código y trabajar de manera sencilla y ordenada.

A continuación se especifica el flujograma de las funciones que conforman el algoritmo que está grabado en el microcontrolador, el código original puede verse en el anexo E.

Función de inicialización: Esta función permite inicializar las variables, una vez prendido el microcontrolador.

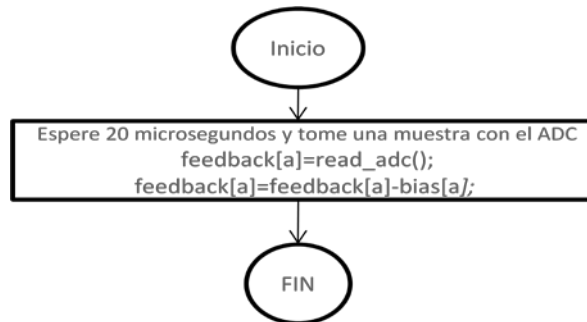
Figura 76. Flujograma función de inicialización



Fuente: Elaborado por los autores. Software MS-Power Point.

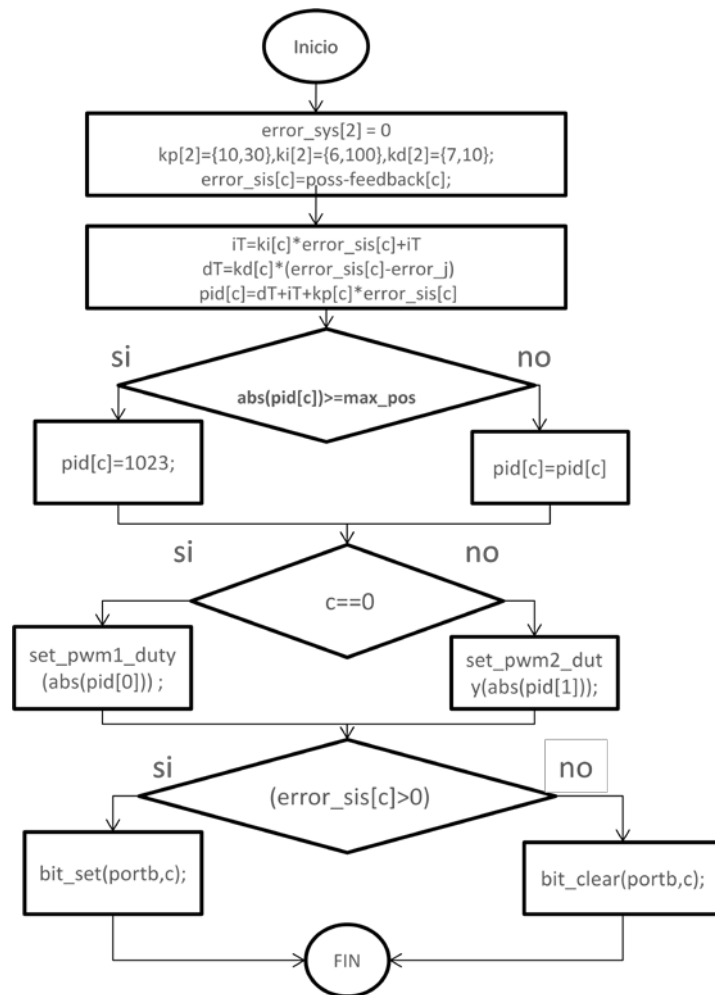
Función de lectura: Esta función permite leer el valor de la posición (lectura con el conversor análogo-digital), además asigna las variables de posicionamiento.

Figura 77. Flujograma función de lectura



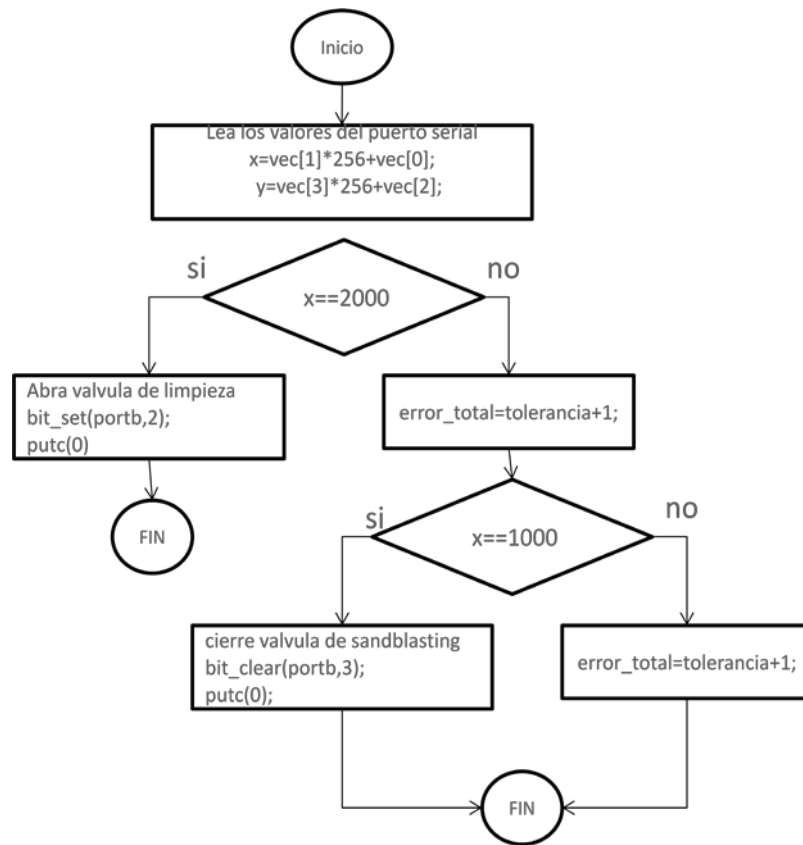
Función PID: Esta función permite inicializar el uso del PID, calcular el error y realizar las respectivas acciones para compensar el error existente.

Figura 78. Flujoograma PID



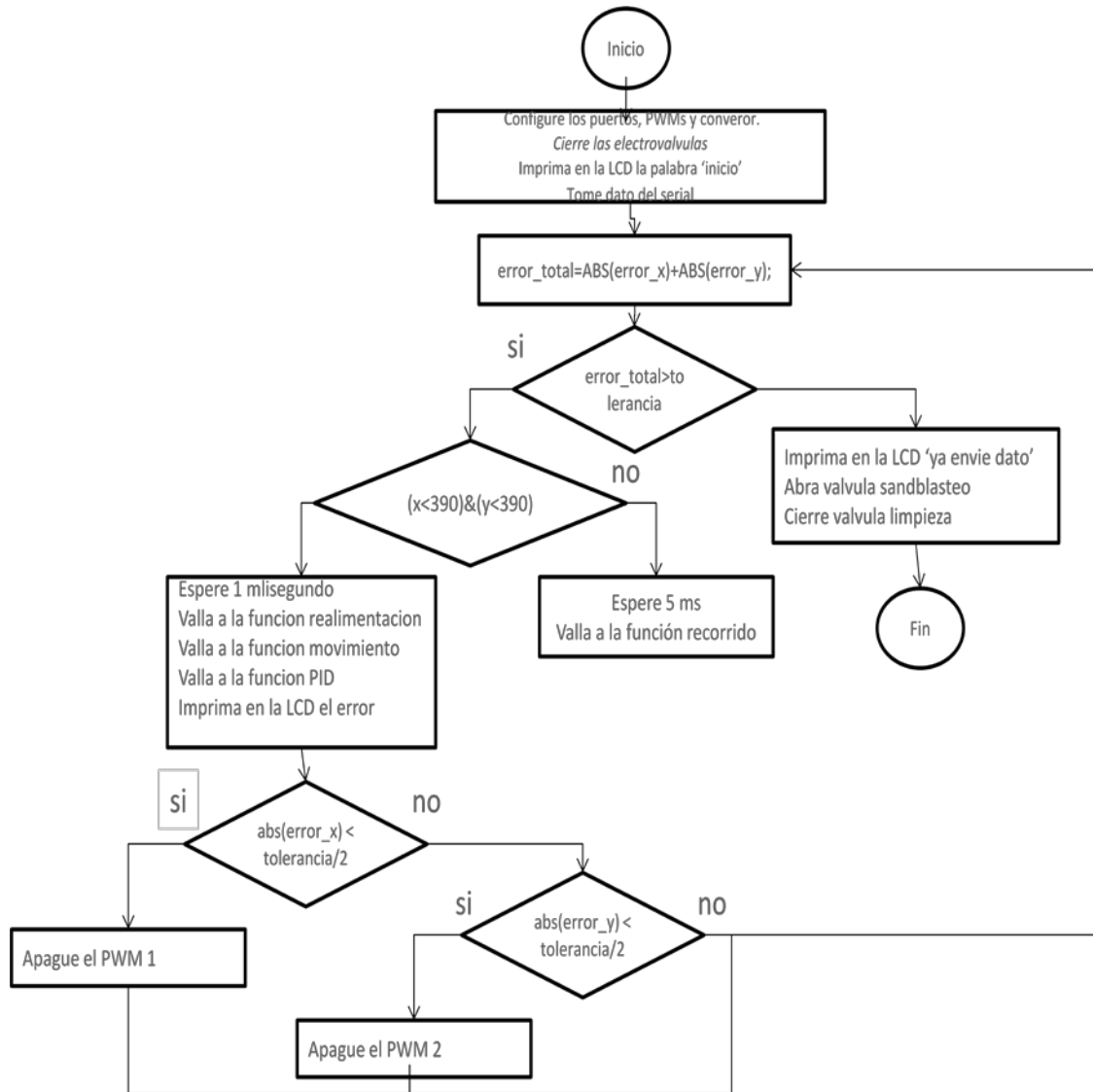
Función Lectura serial: Esta función permite el uso del puerto serial, y a la vez opera la activación de las electroválvulas de limpieza y sandblasting

Figura 79. Flujograma lectura serial



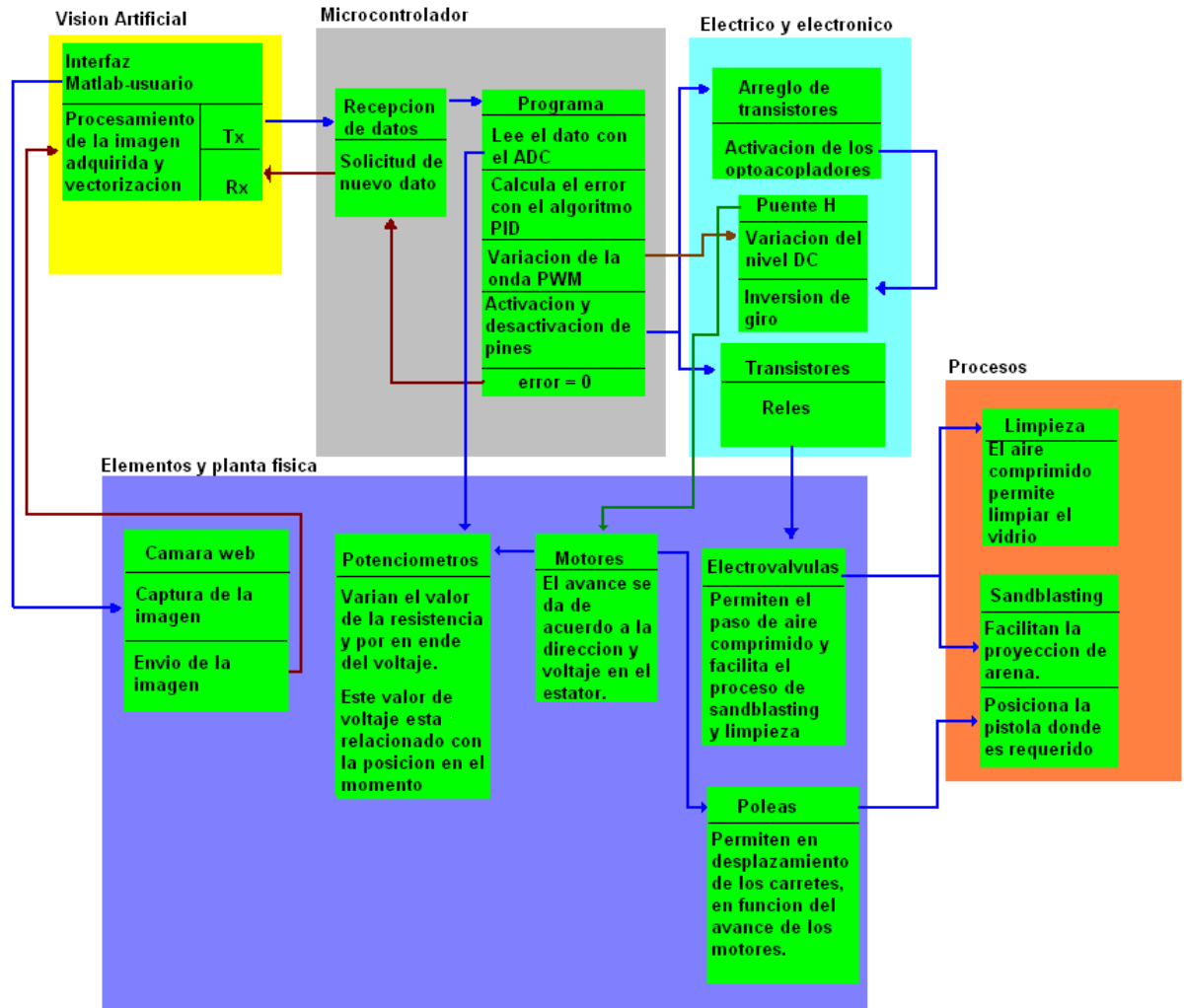
Programa Principal: Este programa ejecuta el proceso de sandblasting con ayuda de los datos transmitidos desde el puerto serial de la computadora, a la vez este es que se encarga de llamar a las funciones, realizar los cálculos respectivos y hacer el sandblasteo de manera satisfactoria.

Figura 80. Flujoograma Programa principal.



En el grafico se puede apreciar de forma general el control del sistema. Este grafico esta generado bajo la normativa gemma.

Figura 81: Grafico general del sistema norma Gemma



Fuente: Elaborado por los autores.

3.4 VISIÓN ARTIFICIAL.

En este capítulo, se explicara las estrategias y procesos usados para llevar a cabo el proceso de visión artificial.

3.4.1 Iluminación del modulo de visión artificial.

Debido a la conveniencia de usar visión artificial, para poder llevar a cabo este proceso, es decir, lograr una satisfactoria captura de imagen, es preciso iluminar el área de trabajo, para esto se evalúa el uso de distintos elementos de iluminación para lograr este objetivo.

De acuerdo al área de trabajo es conveniente usar tubos de luz fluorescente, de tipo balasto, este tubo permite un ahorro de energía y una iluminación uniforme, al existir en el mercado diferentes tubos, se decide hacer una evaluación de diferentes tubos, Sylvania⁴² ofrece tubos de denominación T5, T8 y T12, sin embargo la línea T8 y T12 ofrece un consumo mayor.

TABLA 15: Característica de los tubos considerados

Denominación	Potencia	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Luminosidad (lm)
T5	14	549	16	1350
T12	20	604	38	1320
T8	18	590	26	1150

Fuente: <http://www.sylvaniacolombia.com>

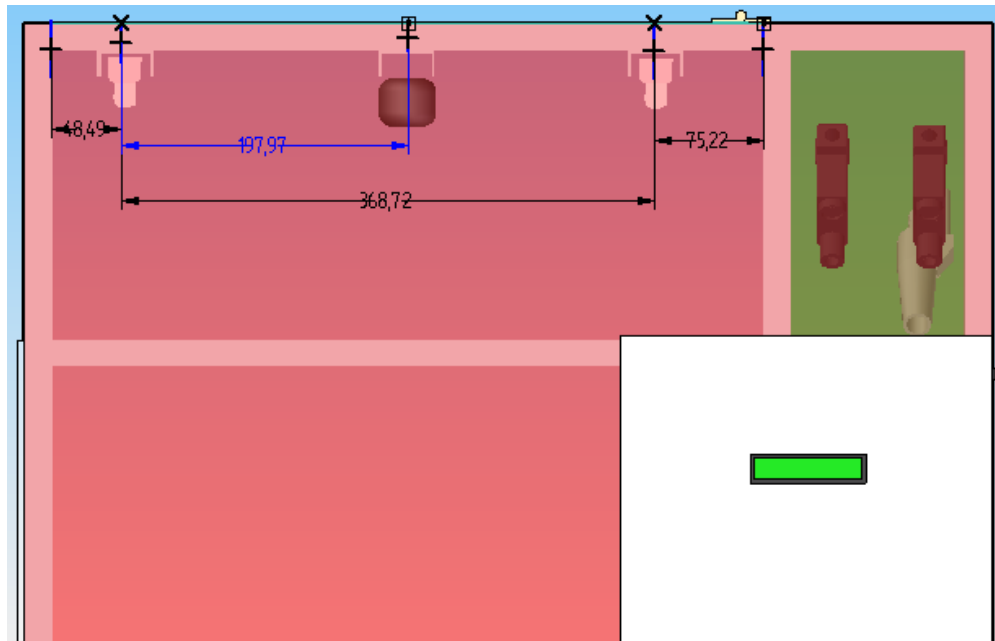
El ambiente en que se va a trabajar está sujeto a acción del polvo, por eso se requiere que el tubo tenga una mayor durabilidad, en cuanto a la luminosidad, los tres tubos fluorescentes otorgan suficiente iluminación en caso de ser elegidos,

⁴² <http://www.sylvaniacolombia.com/Catalogo.asp>

haciendo como parámetro de elección, el consumo, la cual el tubo T5 desarrolla la mejor relación entre la iluminación y el espacio.

Para efectos de establecer la iluminación, se adquieren e instalan 2 tubos fluorescentes T5 a la distancia indicada:

Figura 82: Distancia ubicación cámara web y lámparas



Fuente: Realizado por los autores. Software Solid Edge.

3.4.2 Procesamiento de imagen

El proceso de sandblasting consta en impactar algún abrasivo contra la superficie del vidrio. Usualmente este proceso lleva el uso de contact para proteger las áreas que no deben ser opacadas.

Debido a que se usa contact, y se pretende utilizar técnicas de detección de bordes y umbralizaciones, se hace preciso el uso de un fondo que facilite el proceso de adquisición de la imagen, para esto el vidrio esta sobre una bandeja acrílica de color blanco mate. Aunque de por si el uso de la bandeja blanca facilita el proceso,

el procesamiento de la imagen, necesita de variaciones de valor amplias en el espectro RGB para poder llevar a cabo el proceso de manera exitosa, es por eso que el color del contact debe ser negro.

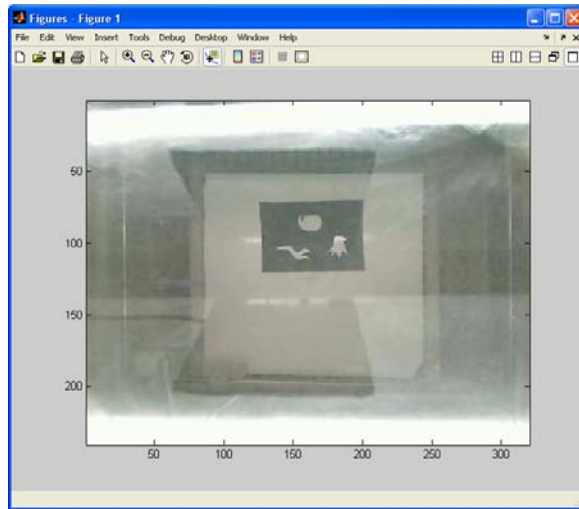
El proceso de adquisición se hizo con la ayuda de la cámara web Logitech Pro 9000.⁴³ Para efectos del desarrollo del proyecto se implementa una interfaz grafica en el programa MATLAB. Este programa permite el trabajo de matrices y vectores, por lo tanto este programa es muy útil para trabajar datos matriciales, con lo cual haciendo la extrapolación numérica de una imagen, hace que MATLAB sea la elección para desarrollar el software de procesamiento de imágenes.

El algoritmo usado consta de diferentes funciones, las cuales son asociadas a un arreglo de botones virtuales. Sin embargo a continuación se describirá cada una de las funciones y cada uno de los botones usados.

Botón Calibrar imagen: La primera acción es capturar la imagen de la cámara web Logitech pro 9000, obteniendo la información, decodificándola en datos numéricos, siendo estos datos los empleados para el procesamiento y análisis, permitiéndonos analizar la imagen y determinar los puntos en los cuales se encuentran las figuras en la plantilla.

⁴³http://www.logitech.com/index.cfm/webcam_communications/webcams/devices/5867&cl=es,es

Figura 83. Imagen adquirida por el software de la cámara



El análisis a realizar en la imagen es descrito a continuación:

Umbralización: Proceso mediante el cual se programa un filtro de datos numéricos de la matriz para analizar el objeto deseado.

Detección de bordes: En este algoritmo se hizo una convolución en dos dimensiones

$$\text{convolución} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n [\text{Mascara}]_{ij} \cdot [\text{Imagen}]$$

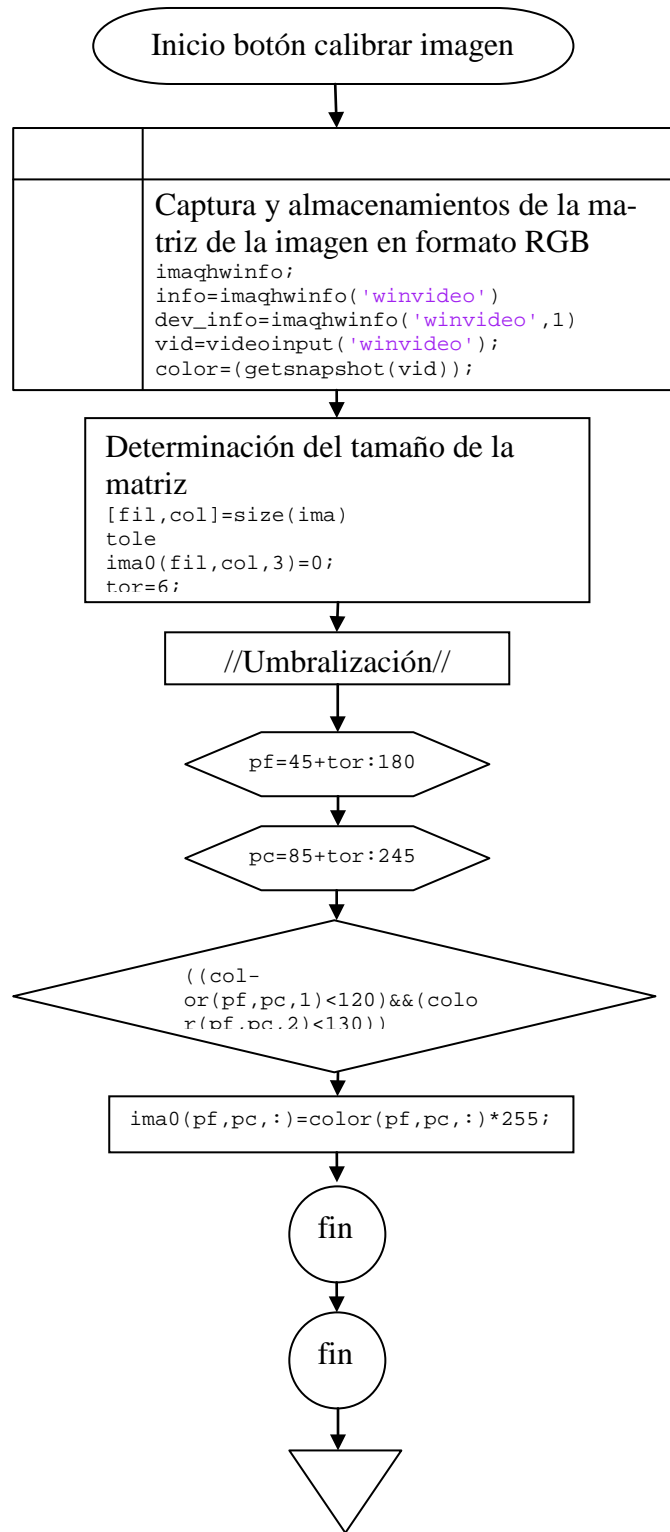
Entre una máscara de Sobel y la imagen tomada; la máscara de Sobel es una matriz de 3x3 de la forma:

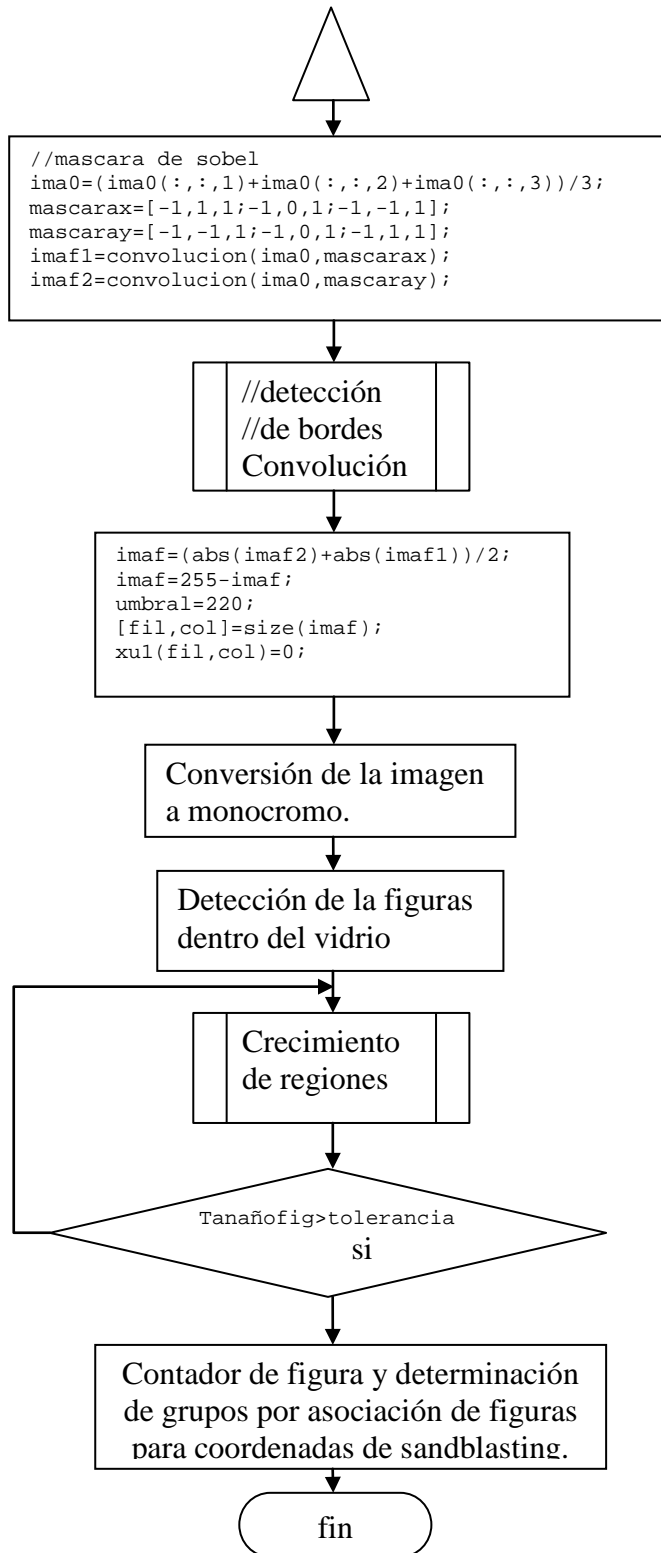
$$\text{Mascara X} = \begin{matrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{matrix}$$

$$\text{Mascara Y} = \begin{matrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

Esta operación matemática nos permite obtener el contorno de la imagen ya que este no es más que una variación matemática de patrones de comportamiento numérico, es decir devuelve los valores altos con respecto a un área en pixeles que está siendo analizada. Siendo estos números fácilmente detectables en la matriz de información.

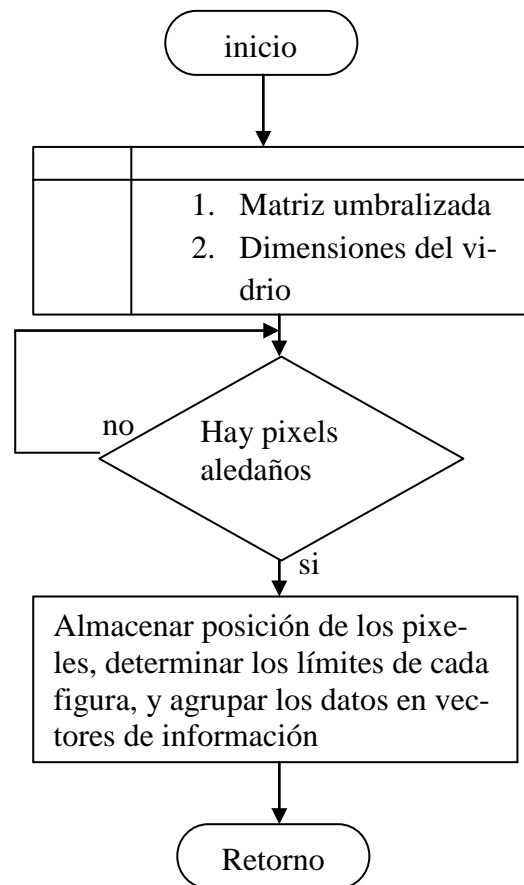
Figura 84. Flujoograma Botón calibrar imagen





Determinación de grupos por crecimiento de regiones: El algoritmo de crecimiento de regiones asocia los pixeles aledaños al pixel que se está analizando generando un vector de posiciones referentes a un grupo de pixeles los cuales describen una figura.

Figura 85. Flujograma crecimiento de regiones.



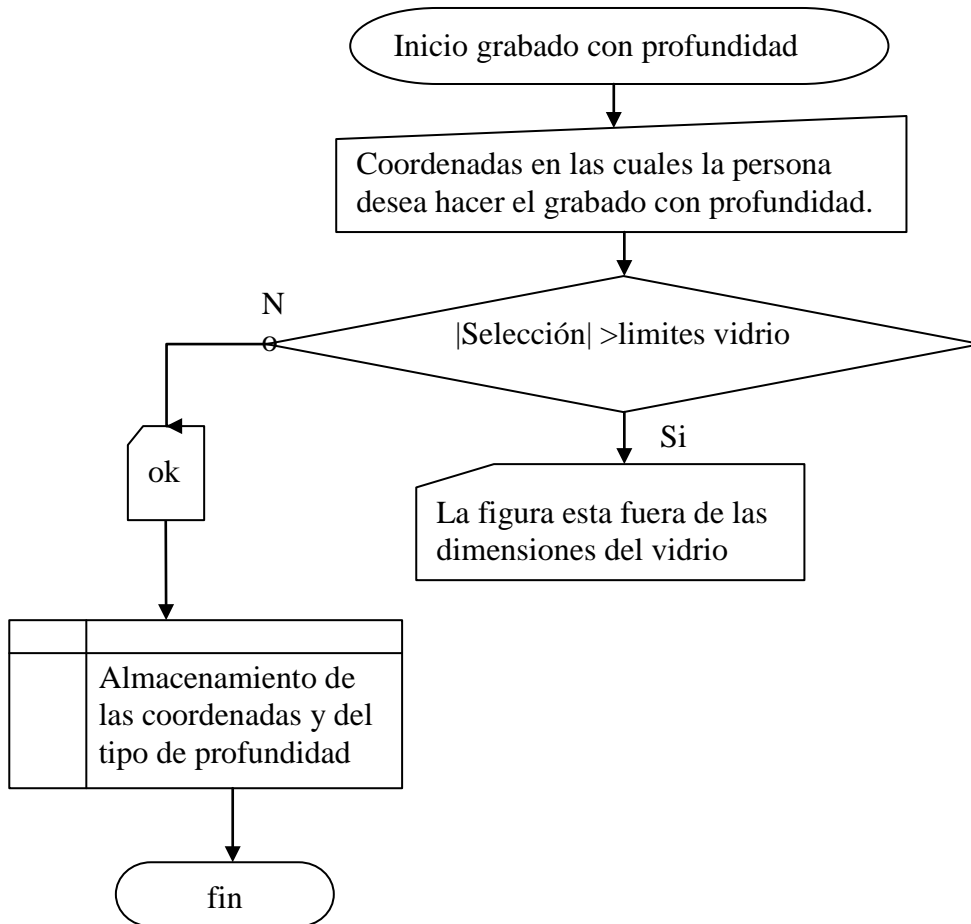
Filtrado de los grupos de pixeles: Para evitar un análisis erróneo de los datos procesados se elabora un filtro de grupos el cual define que una figura es figura y no ruido si cumple con una cantidad de pixeles apropiada.

Asociación de grupos: Debido a las posibles distribuciones de las figuras en la plantilla es probable que algunas figuras se puedan asociar debido a su proximidad o pertenencia dentro de otras figuras por lo que se elaboro una simplificación de regiones para asociar figuras para generar el menor tiempo de sandblasteo.

Sandblasting con profundidad: El entorno del software que se desarrolló permite al usuario seleccionar el área en la cual desea hacer un sandblasting con profundidad por medio del mouse del computador, dándole una facilidad total para generar sus propios diseños de relieve en la imagen.

Esta opción es una implementación nueva ya que en las máquinas de sanblasting actuales la única forma de generar relieves en los grabados es elaborar manualmente plantillas con contac y hacer un numero de sandblasteadas igual al número de relieves por lo que le demandaría a la persona más tiempo de trabajo siendo esto una opción mucho mas dispendioso en términos de tiempo y esfuerzo del operario.

Figura 86. Flujoograma Botón grabado con profundidad..



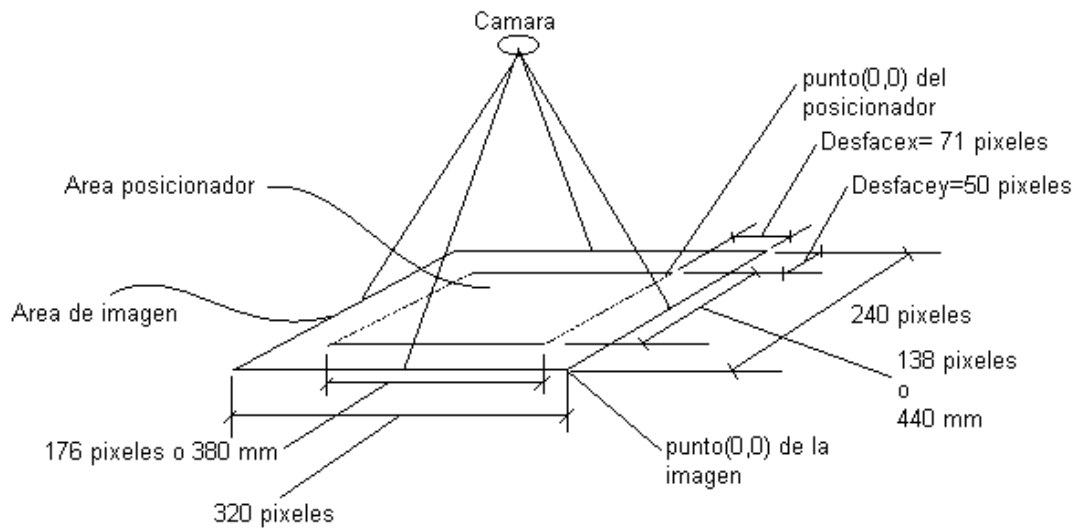
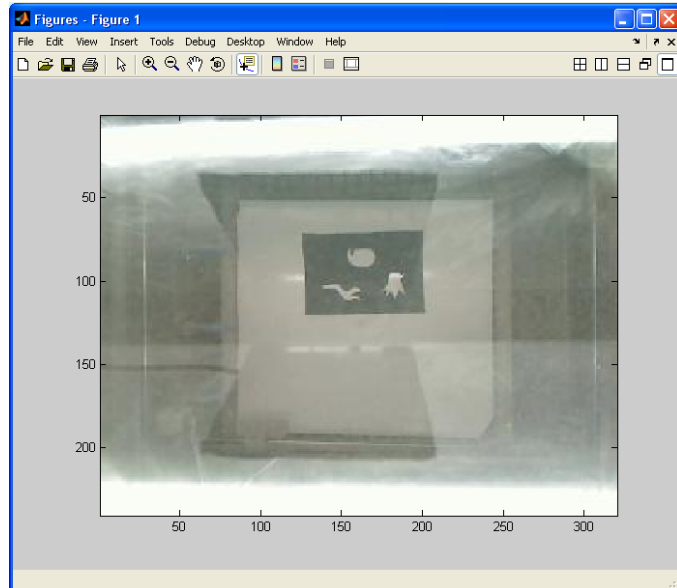
3.4.3 Calibración y posicionamiento

Para que la pistola se posicione de manera precisa sobre la imagen, es preciso realizar una conversión entre los datos de la imagen en un dato que va a ser enviado a través del puerto serial el cual a la vez gracias al software del microcontrolador posiciona el sistema.

Debido a que los datos de la matriz se refieren a los pixeles, y en la Máquina se necesitan en milímetros, se hace una amplificación y un corrimiento en el espacio para hacer la conversión de pixeles a milímetros. Debido a que el punto P(0,0) de

la imagen es el máximo del posicionador xy en Y es necesario primero hacer una inversión de puntos y una amplificación, en el eje X es necesario realizar un corrimiento.

Figura 87 y 88: Imagen adquirida, y visualización corrección de ejes.



Debido a que el origen de la imagen es opuesto al origen del posicionador se debe hacer la siguiente inversión para tener la posición real del posicionador en función a los pixeles

$$\text{Posición relativa: } Y = \text{maximo} - \text{dato}_j$$

$$\text{Posición relativa } Y = 240 - \text{dato}_j$$

Una vez realizado esto los orígenes se encuentran en el mismo cuadrante por lo que solo hay que amplificar y desfasar la información en el espacio

Análisis en el eje x (motor Matsushita):

Conversión de pixel a milímetro:

$$176 * K(x) = 380mm$$

$$K(x) = 2.16$$

$$\text{Desface}(x) = 71\text{pixeles}$$

$$\text{Desface}(x_{mm}) = 71 * Kx = 71 * 2.16$$

$$\text{Desface}(x_{mm}) = 153.36$$

Análisis en el eje y (motor Toshiba)

Conversión de pixel a milímetro

$$138 * K(y) = 440mm$$

$$K(y) = 3.19$$

$$\text{Desface}(y_{mm}) = 50 * Ky = 50 * 3.19$$

$$\text{Desface}(y_{mm}) = 159.5$$

Siendo entonces las ecuaciones de transmisión de datos del computador a la máquina:

$$Y = \text{dato} * 2.16 - 153.36$$

$$X = (240 - \text{dato}) * 3.19 + 159.5 ;$$

En el caso del eje X se suma debido a la inversión.

3.4.4 Validación de resultados

Figura 89a: Imagen capturada por la cámara web.



Figura 89b: Umbralización de la imagen

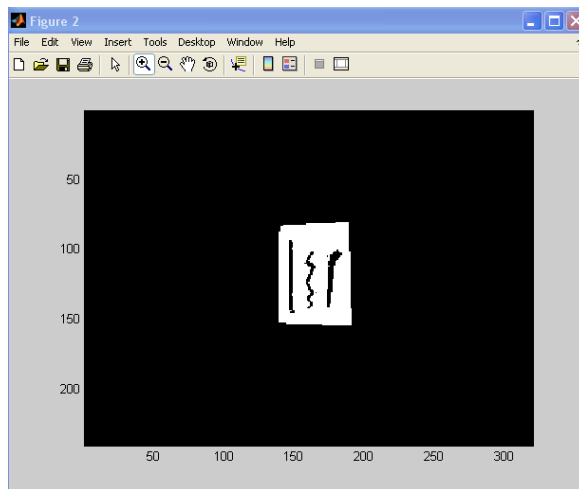


Figura 89c: Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio:

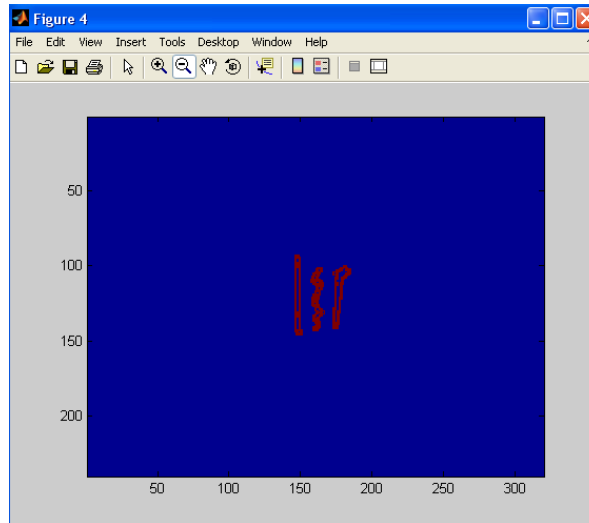
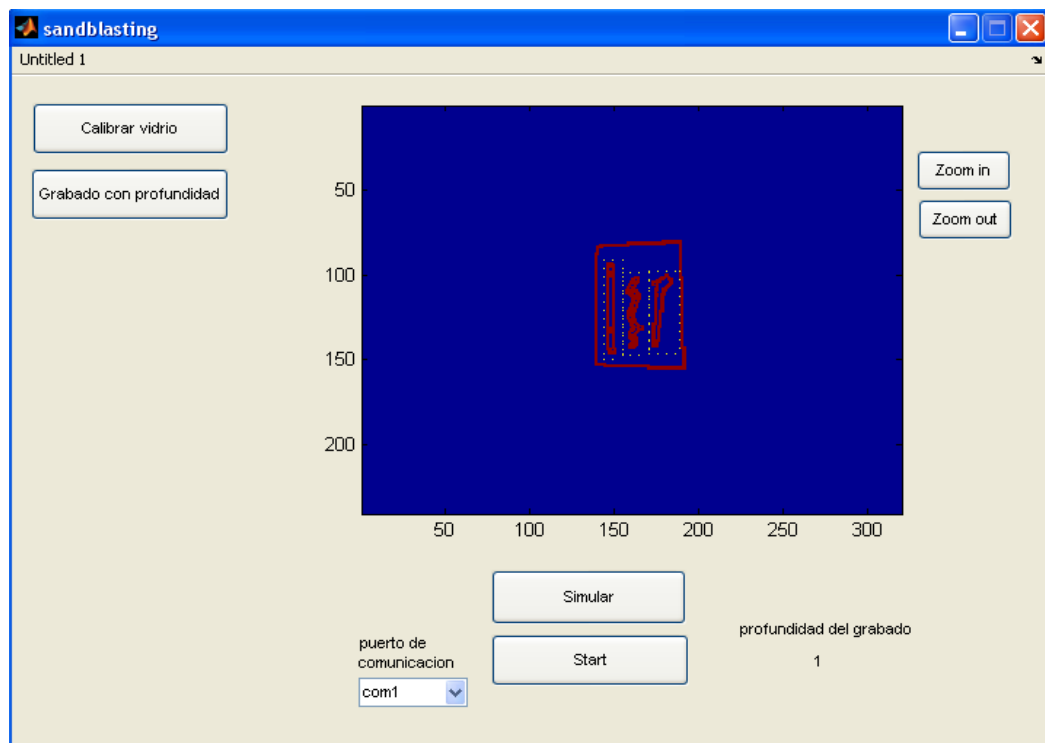


Figura 89d: Imagen del software con el procesamiento final:



Datos del análisis:


```
x_min =
  139
y_min =
  80
x_max =
  192
y_max =
  155
dimeciones del vidrio
largo: 13 ancho: 34
Elapsed time is 3.307961 seconds.
direccion =
  152  168  186
  147  158  174
  147  144  143
  94   102  101
```

X_{min} , y_{min} , x_{max} , y_{max} son los límites del vidrio en pixeles, Con estos datos es que se puede determinar las dimensiones máximas del vidrio, caber resaltar que El algoritmo se demora 3.3 seg procesando la información de la imagen para ese tipo de plantilla, y la matriz de dirección nos dice que la cantidad de columnas es equivalente a la cantidad de grupos, mientras que las filas otorgan los datos coordenados (X_{max} , x_{min} , y_{max} , y_{min})

Figura 90a: Imagen capturada por la cámara web.



Figura 90b: Umbralización de la imagen

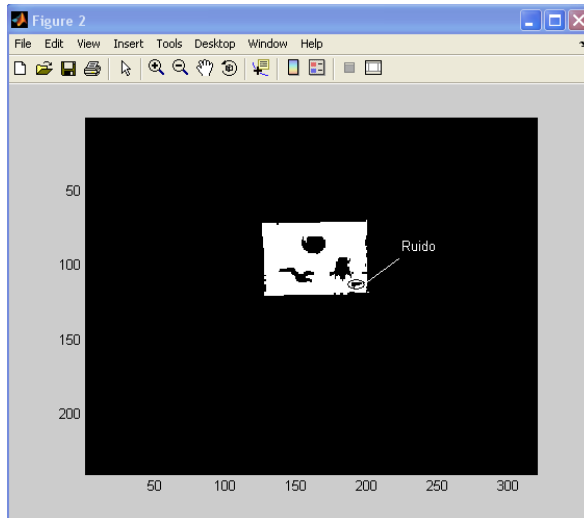


Figura 90c: Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio:

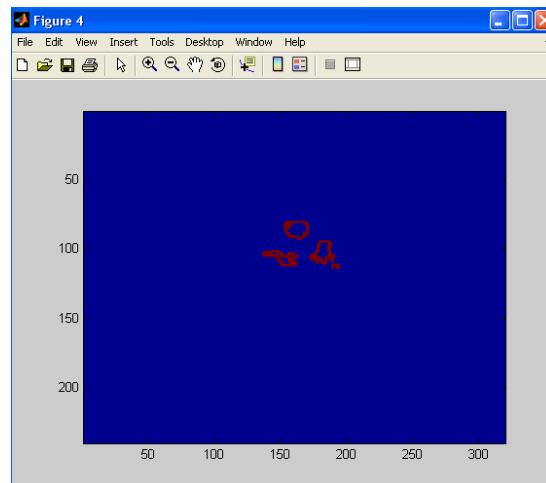
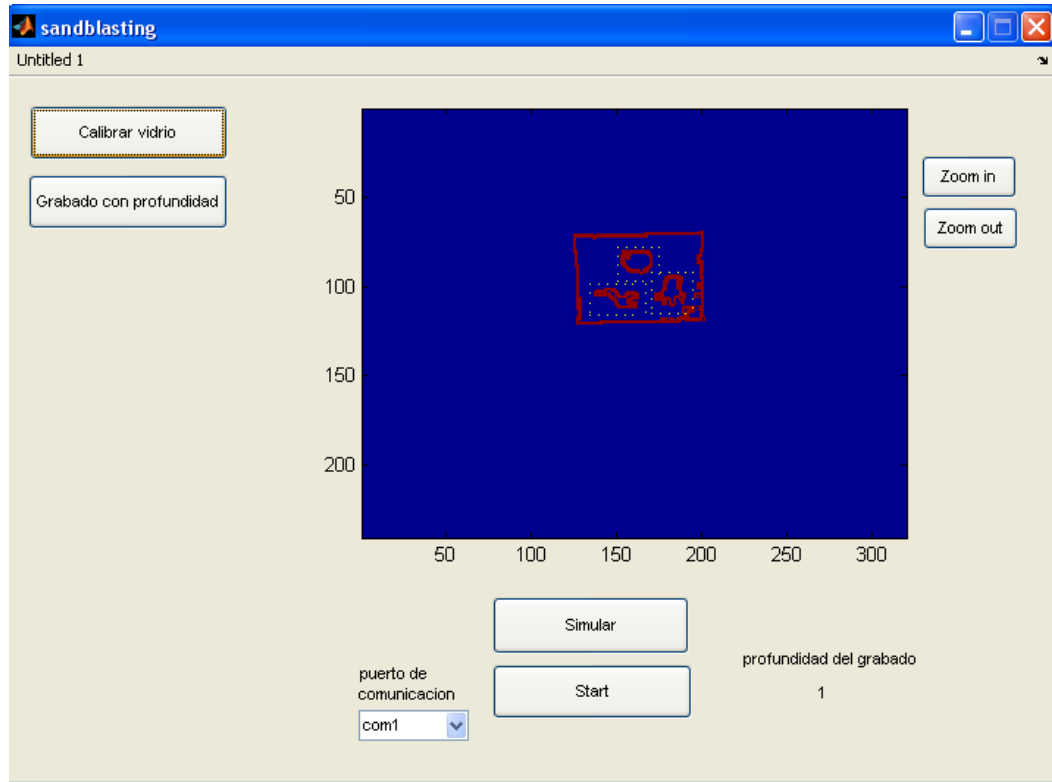


Figura 90d: Imagen del software con el procesamiento final:



Dirección de las figuras:

```
direccion =  
  164  172  192  
  138  154  174  
  113   94  112  
  102   81   95
```

Figura 91a: Imagen capturada por la cámara web.



Figura 91b: Umbralización de la imagen

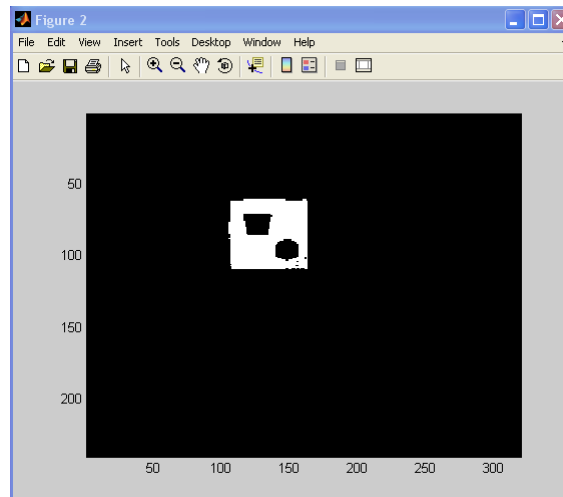


Figura 91c: Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio:

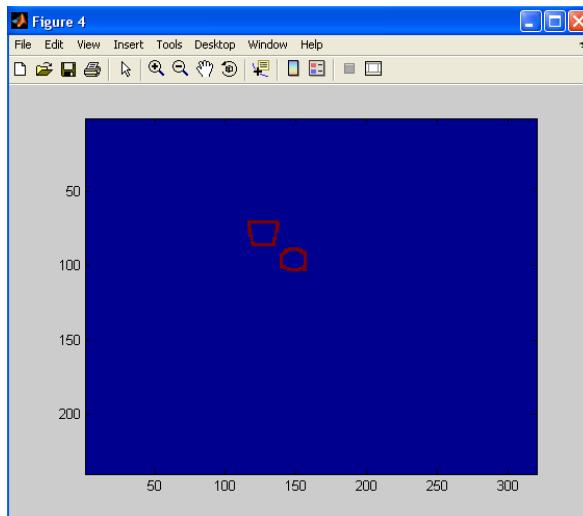
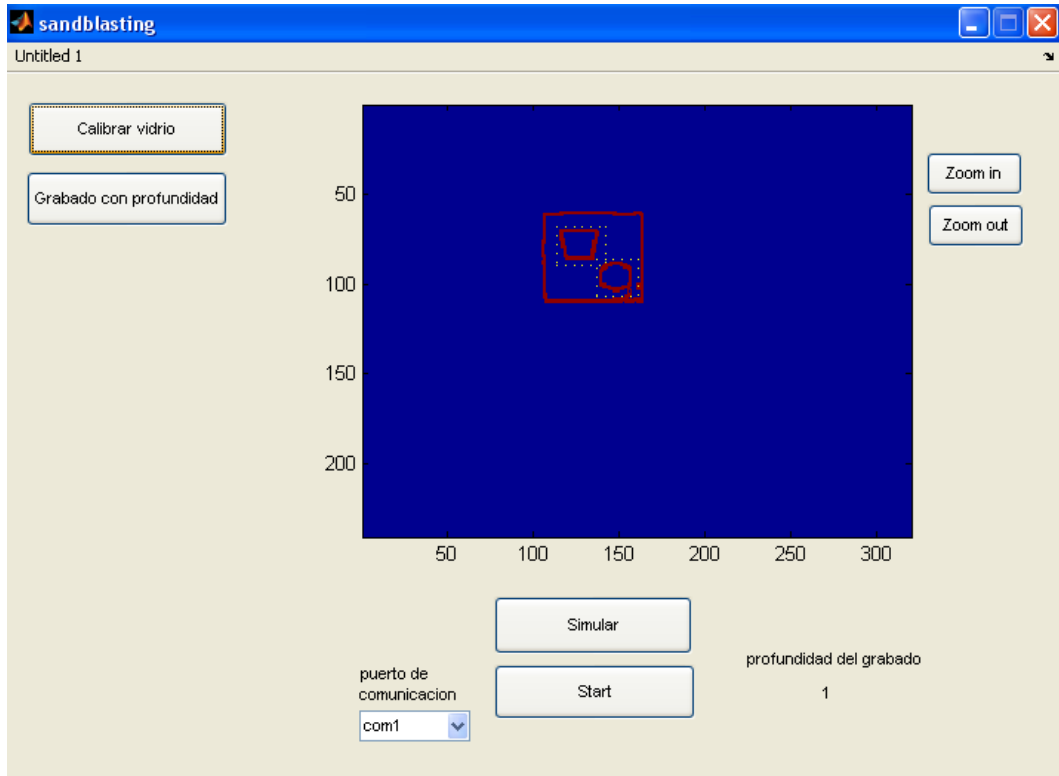


Figura 91d: Imagen del software con el procesamiento final:



Dirección de las figuras:

```
direccion =  
139 158  
117 140  
87 104  
71 89
```

Figura 92a: Imagen capturada por la cámara web.



Figura 92b: Umbralización de la imagen

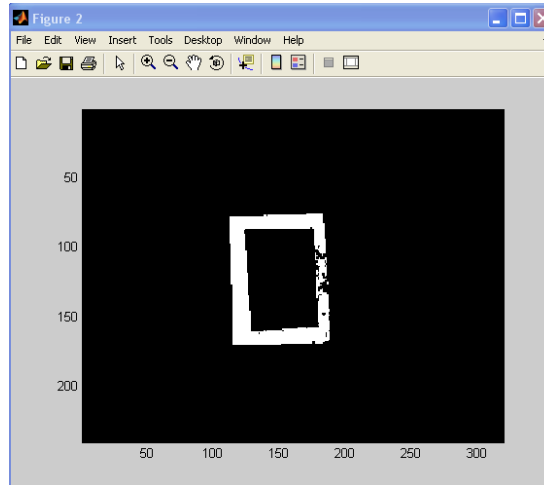


Figura 92c: Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio:

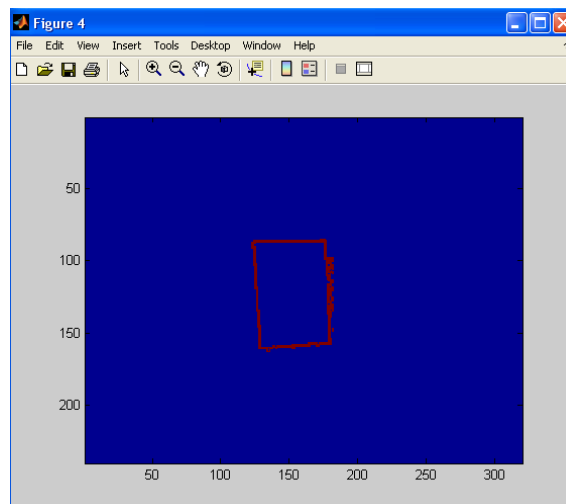
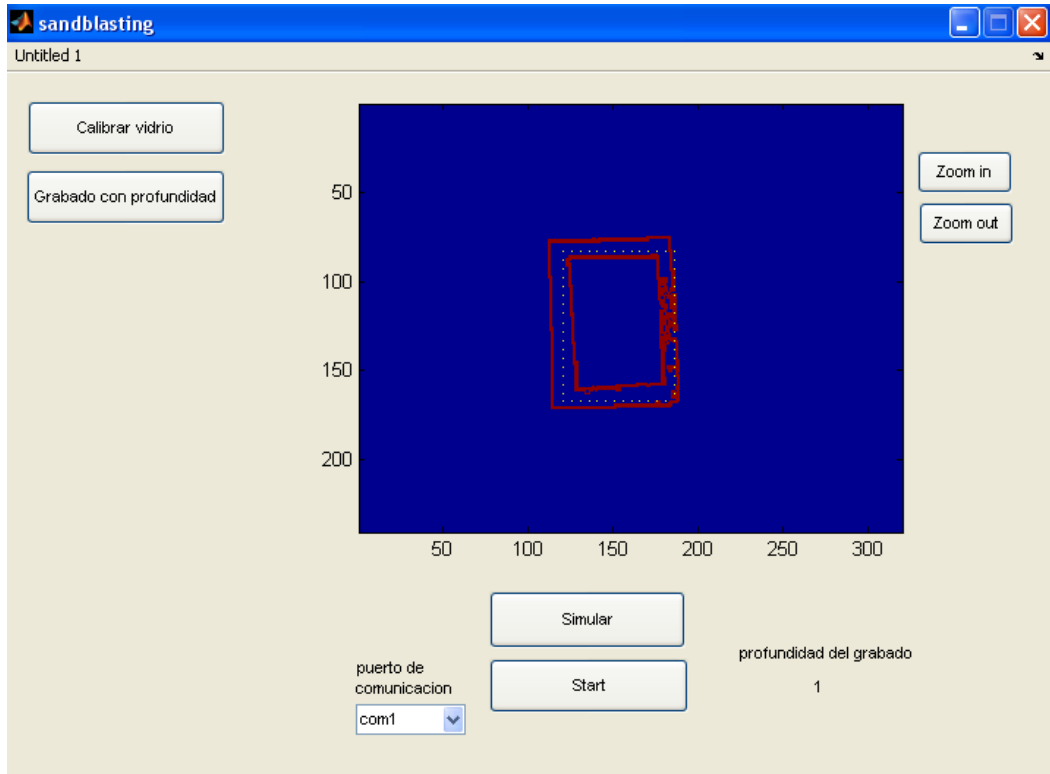


Figura 92d: Imagen del software con el procesamiento final:



Dirección de la figura:

```
direccion =  
  183  
  124  
  164  
   86
```

Figura 93a: Imagen capturada por la cámara web.



Figura 93b: Umbralización de la imagen

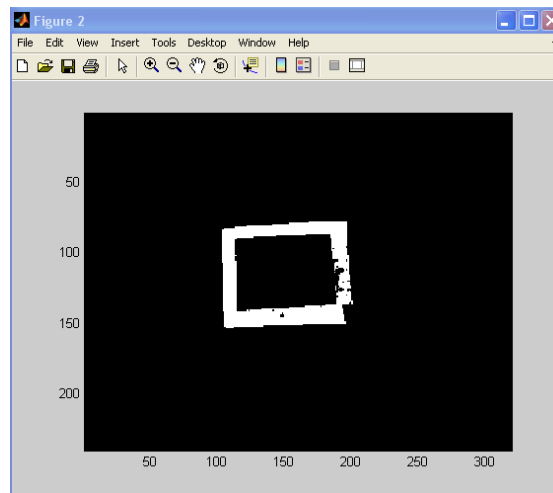


Figura 93c: Detección de bordes de las figuras dentro del vidrio:

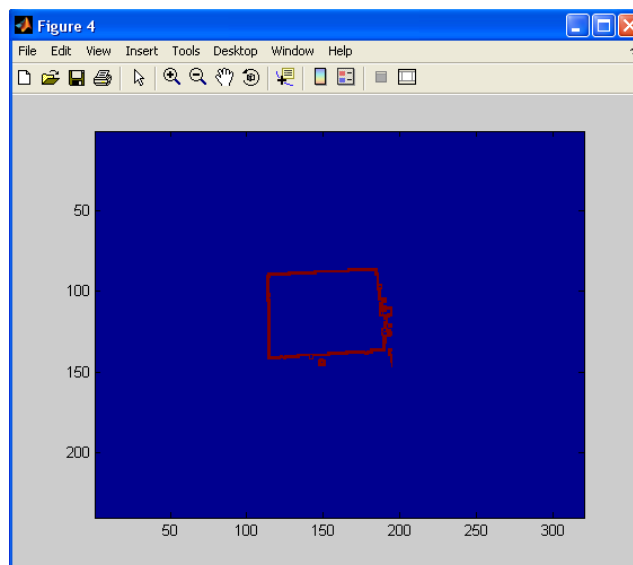
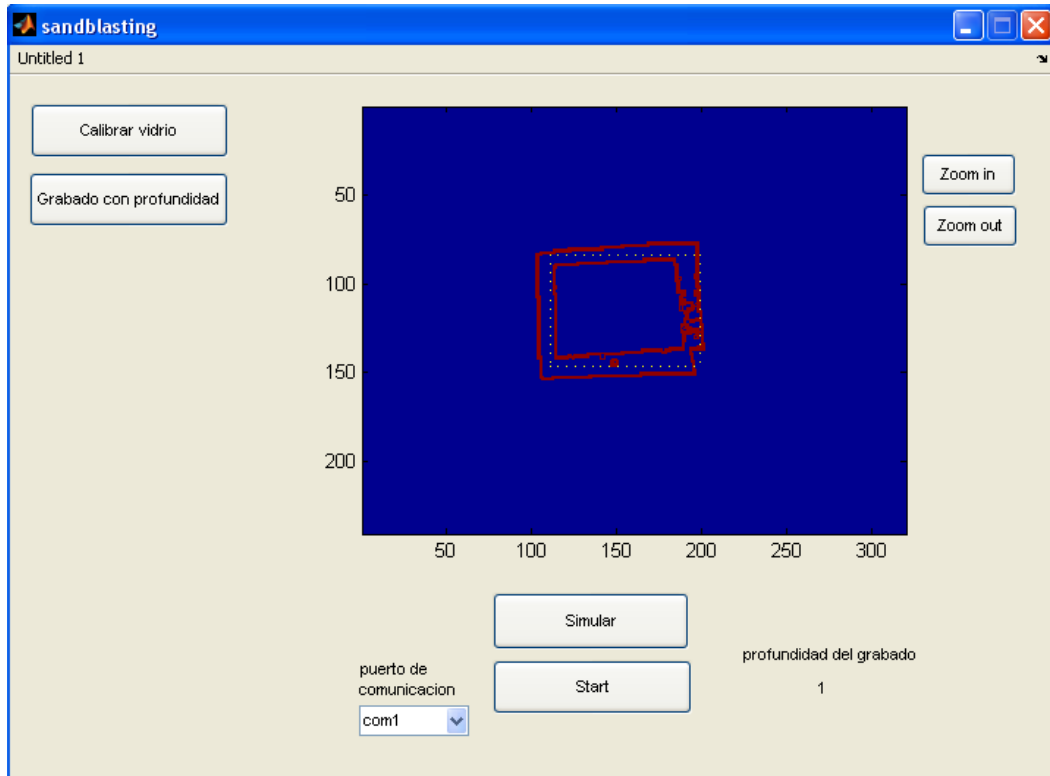


FIGURA 93d: Imagen del software con el procesamiento final:



Dirección de la figura:

```
direccion =  
196  
114  
143  
87
```

4. CONCLUSIONES

A partir de la implementación de los métodos de adquisición de la imagen y posterior procesamiento de la misma, se concluye que el algoritmo implementado satisface los requerimientos en cuanto a la obtención de las dimensiones del vidrio permitiendo así garantizar con mayor confiabilidad que el vector de datos de posición coincida dentro del rango del vidrio contenedor de la respectiva plantilla desplazando la pistola a partir de los datos en la detección de cada una de las figuras. Teniendo que para el sistema es posible reconocer cualquier número de figuras encontradas dentro de un mismo vidrio permitiendo de la misma manera ingresar el vidrio al proceso en cualquier lugar de la plataforma base para el mismo. Reconociendo con efectividad la imagen(es) a grabar.

La elaboración de un posicionador XY nos permite sectorizar cada uno de los puntos en un plano específico, estos nos determinan la ubicación de cualquier figura que se encuentre dentro del margen de trabajo de la máquina de tal forma que la pistola blaster pueda ubicarse encima de los puntos deseados para generar el grabado únicamente sobre las figuras en la plantilla obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a respetabilidad, velocidad y estabilidad.

Dentro del entorno del software generado se implementaron diferentes aplicaciones de las cuales se resalta la útil implementación de las zonas a regrabar es decir generar mayor número de pasadas en zonas específicas permitiendo de esta manera controlar la profundidad de grabado deseada en tres capas diferentes de grabado previamente definidas en el proceso (baja-media-alta). Sin embargo como el envío de datos se hace a partir de los límites de la figura formando siempre trayectorias de grabado rectangulares, no es posible generar diferencias de grabados en curvas o líneas diagonales solo cuadros o rectángulos, la única posibilidad que se

tiene para este tipo de grabados es realizar un numero de segmentos muy pequeños superpuestos con la dinámica de obtener una curva aproximada.

A pesar de realizar las respectivas consideraciones e implementar diferentes métodos para el sellamiento de la máquina, se observo que cuando el grano impactado adquiere una finesa muy alta es decir superior a CAL 200 (indicado por proveedores de abrasivos y personal con experiencia en el área) se presentan fugas al ambiente siendo esta una de las limitantes del prototipo.

Una de las características de las máquinas de sandblasting es permitir la reutilización del material abrasivo luego de ser impactado a partir de un sistema de realimentación al contenedor luego de un respectivo filtrado de impurezas. Pero por limitaciones económicas se implemento en el prototipo solo un contenedor de los desechos impactados para luego ser reprocesados manualmente.

De acuerdo a la muestra de resultados experimentales se contempla que al estar impactando abrasivo en solo los lugares donde existe figura; el proceso se hace mas rápido a medida que la figura a generar sea pequeña. Este método es considerablemente mas rápido que otras máquinas de sandblasting ya que están se someten el vidrio a un grabado por barrido total de su superficie malgastando material, desgastando inapropiadamente los elementos y por ende consumiendo mayor tiempo en el proceso, deficiencias que se superaron en el resultado del prototipo construido

El método más apropiado para la adquisición de datos es el de visión artificial ya que nos permite tener una apreciación en dos dimensiones del entorno de trabajo, simplificando la captura de información ya que esta es almacenada de forma matricial, generando implícitamente una posición en un espacio bidimensional.

Debido a la cantidad de información en la matriz esta demoraría el procesamiento de los datos, siendo necesario un algoritmo lo suficientemente rápido para que no se pierda eficiencia en el proceso, es por eso que se programaron por código puro cada una de las funciones específicas del programa para agilizar el tiempo de procesamiento y análisis de tal forma que la plataforma de Matlab fuera lo más ligera posible.

Debido a la gran cantidad de demanda que actualmente se maneja en la industria, es necesaria la implementación de mecanismos automáticos que optimicen el rendimiento de la producción, además de otros factores como la seguridad del operario. En el proceso de Sandblasting la protección del operario es esencial ya que este está expuesto directamente a todos los residuos del abrasivo pudiendo ocasionar envenenamiento por silicio, de tal forma que si se automatiza este tipo de proceso, no solo facilitara la elaboración de los grabados en el vidrio sino también protegerá al operario brindándole una atmosfera de trabajo más segura y confortable para realizar su labor.

ANEXO A

Datos Motor Toshiba					
Medición de 0 a 12 voltios (10 mediciones)		Medición de 0 a 24 voltios (12 mediciones)		Medición de 0 a 24 voltios (25 mediciones)	
Voltaje (V)	Vel (rad)	Voltaje (V)	Vel (rad)	Voltaje (V)	Vel (rad)
0	0	0	0	0	0
1	11,10029	2	47,75221	1,026	12,56637
2,6	45,23893	4	67,85840	2,306	50,26548
4,9	77,91150	6	105,55751	3,776	60,31858
7,2	113,09734	8	138,23008	4,826	80,42477
8,1	138,23008	10	206,08848	5,726	100,53096
9,4	165,87609	12	256,35396	6,626	130,69025
9,9	178,44246	14	286,51325	7,826	140,74335
11,226	198,54866	16	331,75218	8,326	150,79645
11,93	218,65485	18	369,45130	9,226	170,90264
		20	402,12386	10,526	196,03538
		22	457,41589	11,826	221,16812
		24	477,52208	12,626	231,22122
				13,586	251,32741
				14,266	281,48670
				15,376	291,53980
				16,626	311,64599
				17,226	331,75218
				18,426	351,85838
				19,626	371,96457
				20,226	402,12386
				21,526	412,17696
				22,526	442,33625
				23,326	462,44244
				24,67	482,54863

Linealización de datos Motor Toshiba	
Medición 0-12v (10 datos)	
kΦ1	0,054540263
Medición 0-24v (12 datos)	
kΦ2	0,04824759
Medición 0-24v (25 datos)	
kΦ3	0,05043339
kΦ promedio	
0,051073748	

Medición de inductancias y resistencias:

Motor Toshiba	
Angulo	Resistencia Interna (Ω)
0	1,23
45	0,98
90	1,42
135	1,23
180	1,01
225	1,31
270	1,27
315	0,95
	1,175
	Promedio

Inductancia (mH)	Medición Por fase	142,58
	Medición Por tiempo de estabilización	133,07
	Valor Promedio	137,825

Respuesta del motor Toshiba con los datos linealizados

Medición 0-12v (10 datos)	
k Φ 1	0,054540263

Voltaje (V)	ω (rad)
0	0
3,27242	60
5,45403	100
7,09023	130
8,72644	160
10,90805	200
11,99886	220

Medición 0-24v (12 datos)	
k Φ 2	0,04824759

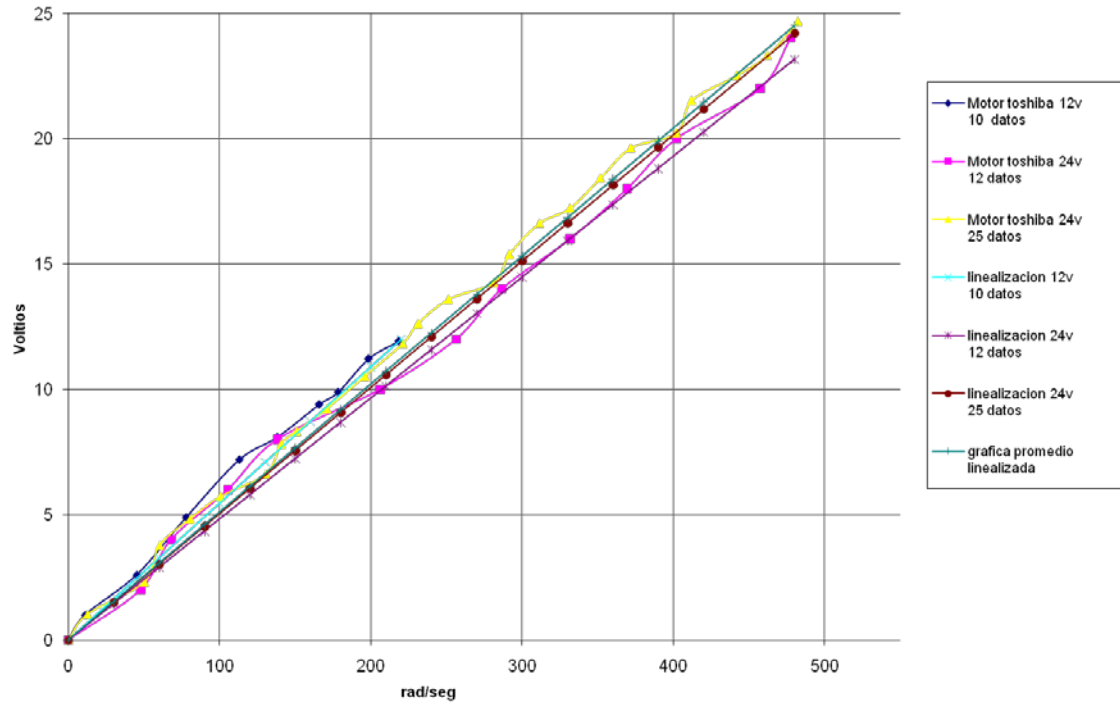
Voltaje (V)	ω (rad)
0	0
1,44743	30
2,89486	60
4,34228	90
5,78971	120
7,23714	150
8,68457	180
10,13199	210
11,57942	240
13,02685	270
14,47428	300
15,92170	330
17,36913	360
18,81656	390
20,26399	420
23,15884	480

Medición 0-24v (25 datos)	
k Φ 3	0,05043339

Voltaje (V)	ω (rad)
0	0
1,51300	30
3,02600	60
4,53901	90
6,05201	120
7,56501	150
9,07801	180
10,59101	210
12,10401	240
13,61702	270
15,13002	300
16,64302	330
18,15602	360
19,66902	390
21,18202	420
24,20803	480

Grafica de comportamiento del motor Toshiba

Motor toshiba



Datos motor Matsushita

Mediciones de 0 a 24 voltios (12 mediciones)	
Voltaje (V)	Vel (rad)
0	0
1,926	50,26548
4,626	65,34513
6,626	98,01769
9,326	135,71680
11,826	165,87609
14,326	211,11503
16,616	251,32741
17,856	271,43361
20,106	301,59289
21,946	331,75218
24,67	376,99112

Mediciones de 0 a 24 voltios (24 mediciones)	
Voltaje (V)	Vel (rad)
0	0
1,526	25,13274
3,546	50,26548
5,126	70,37168
5,706	85,45132
6,566	100,53096
7,846	110,58406
8,666	130,69025
9,826	150,79645
10,796	160,84954
11,696	165,87609
12,566	196,03538
13,766	201,06193
14,946	221,16812
15,556	241,27432
16,416	248,81414
17,426	256,35396
18,626	276,46015
19,526	296,56635
20,626	324,21236
21,726	361,91147
22,686	379,50439
23,476	417,20350
24,67	427,25660

Linealización de datos motor Matsuhita

0-24 Voltios (12 med.)	0-24 Voltios (24 med)	
k Φ 1	k Φ 2	k Φ promedio
0,06659637	0,058432893	0,062514632

Datos k Φ 1	
Voltaje (V)	ω (rad)
0	0
1,99789	30
3,99578	60
5,99367	90
7,99156	120
9,98946	150
11,98735	180
13,98524	210
15,98313	240
17,98102	270
19,97891	300
21,97680	330
23,97469	360
25,97258	390
27,97048	420

Datos k Φ 2	
Voltaje (V)	ω (rad)
0	0
1,75299	30
3,50597	60
5,25896	90
7,01195	120
8,76493	150
10,51792	180
12,27091	210
14,02389	240
15,77688	270
17,52987	300
19,28285	330
21,03584	360
22,78883	390
24,54181	420

28,63644	430	25,12614	430
----------	-----	----------	-----

Datos $k\Phi$ promedio			
Voltaje (V)	ω (rad/s)	Reductor (rad/s)	Reductor (Rpm)
0	0	0	0
1,87544	30	1,25	11,94
3,75088	60	2,50	23,89
5,62632	90	3,75	35,83
7,50176	120	5,00	47,77
9,37719	150	6,25	59,71
11,25263	180	7,50	71,66
13,12807	210	8,75	83,60
15,00351	240	10,00	95,54
16,87895	270	11,25	107,48
18,75439	300	12,50	119,43
20,62983	330	13,75	131,37
22,50527	360	15,00	143,31
24,38071	390	16,25	155,25
26,25615	420	17,50	167,20
26,88129	430	17,92	171,18

Medición de inductancias y resistencias:

Motor Matsushita	
Angulo	Resistencia Interna (Ω)
0	4,66
45	9,28
90	6,82
135	7,54
180	7,44
225	12,61
270	13,4
315	14,25
	9,5 Promedio

Inductancia (mH)	Medición Por fase	2,22
	Medición Por tiempo de estabilización	2,06
	Valor Promedio	2,14

Grafica de comportamiento del motor Matsuhita

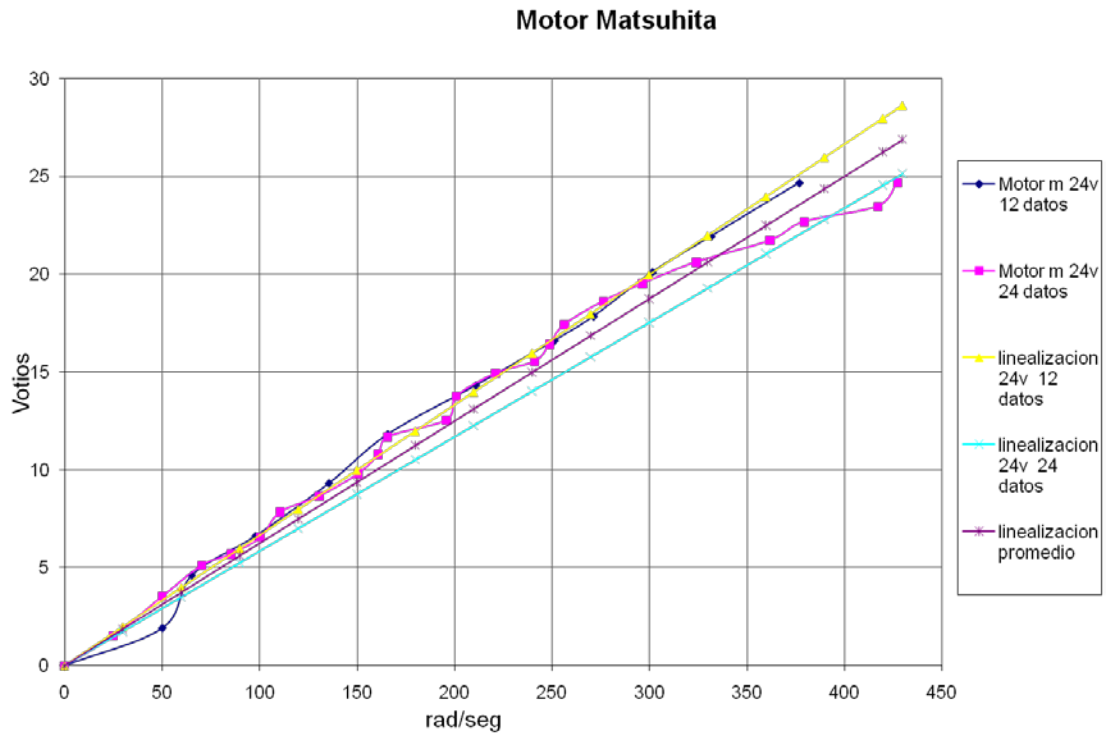


Tabla general de los motores

	Corriente en los motores (A)	Torque ($k\Phi \cdot I$)	Velocidad Max (rad)	Potencia mecánica ($\omega \cdot T$)	Potencia eléctrica ($V \cdot I$)
Motor Toshiba	3,45	0,17620	480	84,57813	82,8
Motor Matsuhita	1.7	0,10627	395	41,97858	40,8

	$k\Phi$	C_a	Tiempo de estabilización (seg.)	τ
Motor Toshiba	0,05107375	0,012237	6,4	1,28
Motor Matsuhita	0,06251463	0,009998	3,5	0,7

ANEXO B

Factores de Servicio Básicos para Máquinas

Tabla 1

TIPO		FACTOR	
Agitadores, batidores (Pala o propulsor)	Líquido	1.6	
	Semilíquido	1.7	
Maquinaria de panadería	Batidoras de masa	1.6	
Maquinaria para ladrillos y barro	Taladros, batidoras y granuladoras	1.7	
	amasaderas	2.0	
Centrifugadoras		1.9	
Compresoras	Recíprocas	2.2	
	centrifugas	1.7	
Transportadores	Banda, carga ligera;	1.5	
	banda para horma; mineral, carbón,	1.7	
	apron cangilón, espiral, helicoidal	1.8	
Ventiladores, Sopladores	Centrifugos, propulsor, ventiladores	1.8	
	para minas, sopladores positivos	2.0	
Generadoras y excitadores		1.8	
Molinos de martillos		1.9	
Grúas, elevadores		1.8	
Maquinaria para lavanderías	General	1.6	
	Extradoras, lavadoras	1.8	
Eje de línea		1.7	
Máquinas herramientas	Taladros, tornos	1.6	
	máquinas de tornillo, esmeril	1.7	
	fresadoras, cepillos, troqueles	1.7	
Molinos	Bola, varilla, granulo, etc.	2.2	
Maquinaria para papel	Agitadores, calandrias, secadoras,	1.6	
	desfibradoras, bombas nash	1.9	
Maquinaria para imprentas	Imprentas, periódicos, rotativas,	1.6	
	planas, revista; máquinas de linotipo,		
Bombas	cortadoras, plegadoras	Centrifugas, engranes rotarios,	1.7
		tubular, recíprocas	2.2
Maquinarias para plantas de hule		1.8	
Maquinarias para aserraderos		1.8	
Cribas	Vibradoras, [agitadoras]	1.7	
	tambor, cónico	1.5	
Maquinaria textil	Telares, hilanderías, carretes, urdimbre	1.8	
		1.7	
Maquinaria para trabajos en madera	Tornos, sierras sinfin, sierras circulares,	1.4	
	cepillos	1.6	

FACTORES DE SERVICIO ADICIONALES PARA TRANSMISIÓN DE ACELERACIÓN

Para transmisiones de aceleración, añada al factor de servicio básico, el factor de servicio adicional mostrado a continuación

Rango de proporción de aceleración	Factor Adicional
1.00 a 1.24	Ninguno
1.25 a 1.74	.10
1.75 a 2.49	.20
2.50 a 3.49	.30
3.50 y arriba	.40

PARA CONDICIONES POCO USUALES

Para una operación continua de 24 horas y/o al uso de una rueda loca, añada .02 al factor de servicio básico. Para una operación intermitente o estacional, deduzca 0.2 al factor de servicio básico.

Los factores de servicio adicionales se requieren para condiciones poco usuales - tales como inversión de carga, carga pesada, freno eléctrico. Estos deben ser determinados por un especialista en transmisión.

DIAMETRO MINIMO DE POLEA DE TIEMPO RECOMENDADO

Paso	RPM	Número dientes	Diametro exterior
1/5" pulg (XL)	3.500	12 XL	18,8 mm
	1.750	11 XL	17,2 mm
	1.160	10 XL	15,6 mm
3/8" pulg (L)	3.500	16 L	47,8 mm
	1.750	14 L	41,7 mm
	1.160	12 L	35,6 mm
1/2" pulg (H)	3.500	20 H	79,5 mm
	1.750	18 H	71,4 mm
	1.160	16 H	63,3 mm
7/8" pulg (XH)	1.750	26 XH	181,2 mm
	1.160	24 XH	167,0 mm
	870	22 XH	152,8 mm
1-1/4" pulg (XXH)	1.750	26 XXH	259,7 mm
	1.160	24 XXH	239,5 mm
	870	22 XXH	219,3 mm

IMPORTANTE:

Es preferible elegir siempre una transmisión de mayor capacidad a la calculada que una ligeramente inferior. Recuerda que las transmisiones NO deben emplearse como "fusible", pues para ello existen dispositivos mecánicos y eléctricos específicos.

Formula para el cálculo de la longitud de correas para transmisiones especiales que no se encuentran predeterminadas en este manual.

$$L_p = 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C}$$

Donde:

L_p: largo de la correa en pulgadas

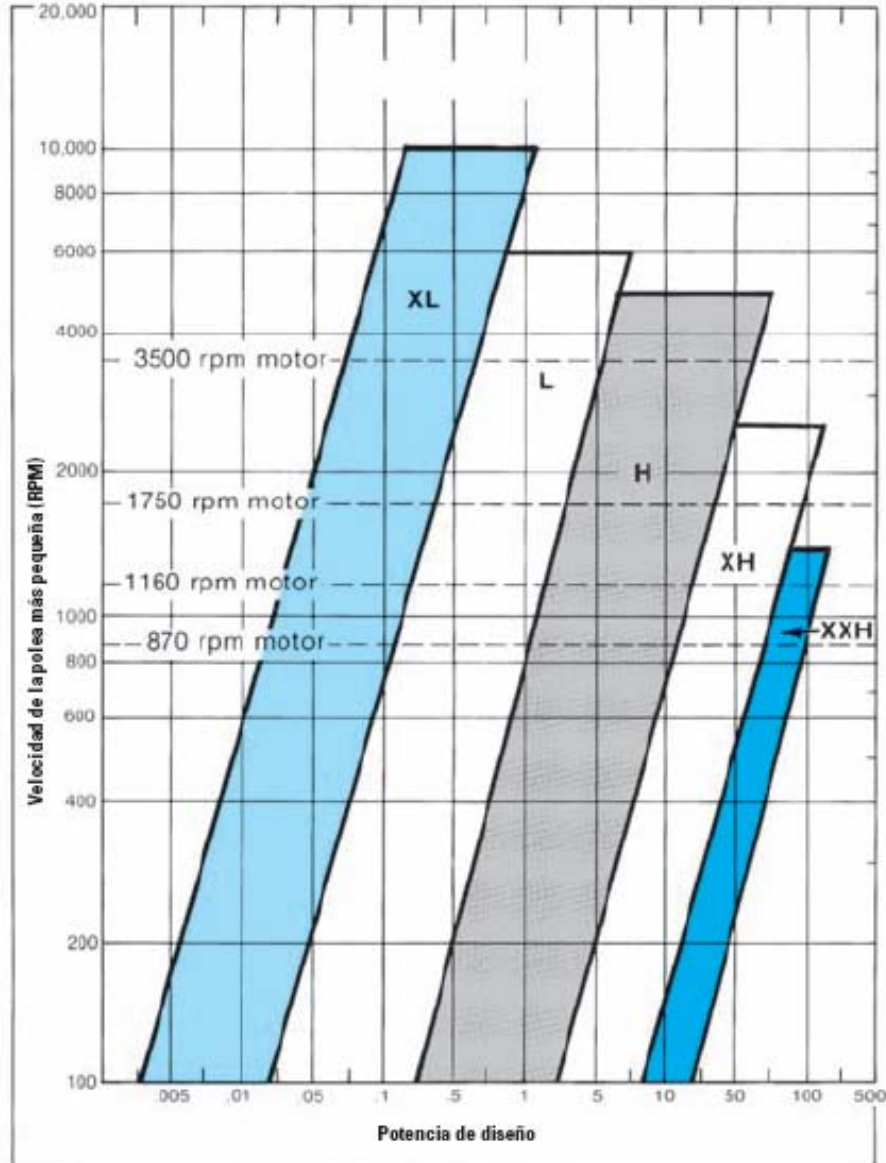
D: diámetro de la polea mayor en pulgadas

d: diámetro de la polea menor en pulgadas

C: distancia entre centros en pulgadas

Tabla de Selección del Paso para Transmisiones de Tiempo

Tabla 2



NOTA

La gráfica anterior indica los pasos estándar más convenientes a utilizar, según la velocidad y potencia a aplicar. Si en algún caso la localización en la gráfica se encuentra cerca a una línea de separación de dos pasos, considere ambos en la selección.

ANEXO C



COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

...designed for use in general-purpose amplifier and switching applications

FEATURES:

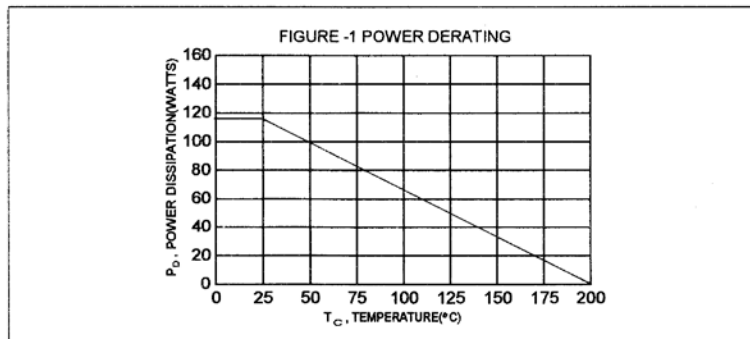
- * Power Dissipation - $P_D = 115W @ T_C = 25^\circ C$
- * DC Current Gain $hFE = 20 \sim 70 @ I_C = 4.0 A$
- * $V_{CE(sat)} = 1.1 V (Max.) @ I_C = 4.0 A, I_B = 400 mA$

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CER}	70	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	100	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	7.0	V
Collector Current-Continuous	I_C	15	A
Base Current	I_B	7.0	A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	115 0.657	W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	- 65 to +200	$^\circ C$

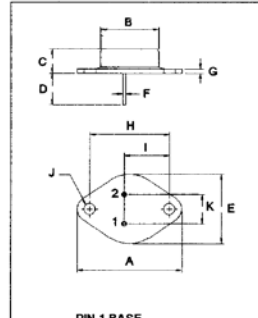
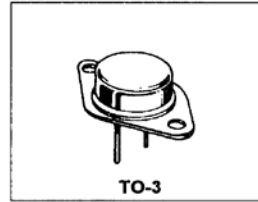
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.52	$^\circ C/W$



NPN	PNP
2N3055	MJ2955

15 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60 VOLTS
115 WATTS



DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	38.75	39.96
B	19.28	22.23
C	7.96	9.28
D	11.18	12.19
E	25.20	26.67
F	0.92	1.09
G	1.38	1.62
H	29.90	30.40
I	16.64	17.30
J	3.88	4.36
K	10.67	11.18

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector - Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mA}$, $I_B = 0$)	$V_{CE(sus)}$	60		V
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mA}$, $R_{BE} = 100\text{ Ohms}$)	$V_{CER(sus)}$	70		V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ V}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}		0.7	mA
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 100\text{ V}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ V}$) ($V_{CE} = 100\text{ V}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ V}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$)	I_{CEX}		1.0 5.0	mA
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 7.0\text{ V}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}		5.0	mA

ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 4.0\text{ A}$, $V_{CE} = 4.0\text{ V}$) ($I_C = 10\text{ A}$, $V_{CE} = 4.0\text{ V}$)	hFE	20 5.0	70	
Collector - Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0\text{ A}$, $I_B = 0.4\text{ A}$) ($I_C = 10\text{ A}$, $I_B = 3.3\text{ A}$)	$V_{CE(sat)}$		1.1 3.0	V
Base - Emitter On Voltage ($I_C = 4.0\text{ A}$, $V_{CE} = 4.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$		1.5	V

DYNAMIC CHARACTERISTICS

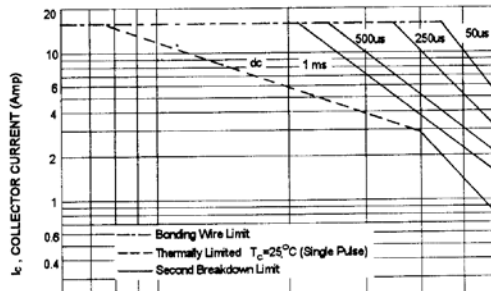
Current Gain - Bandwidth Product (2) ($I_C = 500\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	f_T	2.5		MHz
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ A}$, $V_{CE} = 4.0\text{ V}$, $f = 1\text{ KHz}$)	h_{fe}	15	120	

(1) Pulse Test: Pulse width = $300\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$

(2) $f_T = |h_{re}| \cdot f_{test}$

2N3055, MJ2955

ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA(SOA)



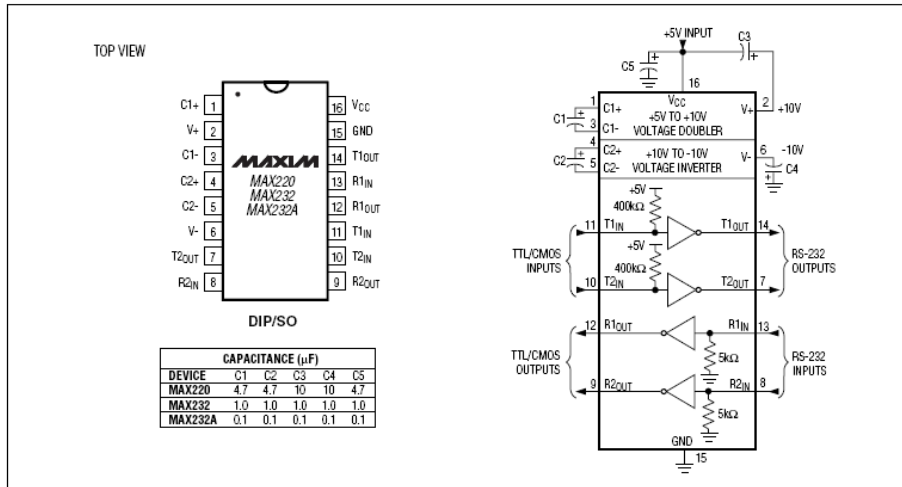
There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown safe operating area curves indicate I_C - V_{CE} limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of SOA curve is base on $T_{J(PK)}=200^\circ\text{C}$, T_C is variable depending on conditions. second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J(PK)}\leq 200^\circ\text{C}$. At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

ANEXO D

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT T1IN	OUTPUT T1OUT
L	H
H	L

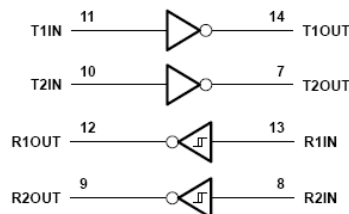
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT R1IN	OUTPUT R1OUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)




```

    bit_set(portb,c);           //pin de direccion Toshiba portb,1
    else                       //pin de direccion Matsushita portb,2
    bit_clear(portb,c);        //si alguno de los pines esta en 1
    return error_sis[c];      //direccion derecha(x) o arriba(y)
}                               //si no direccion izquierda(x) o abajo(y).
void recorrido()
{
int s;
for(s=4;s<=7;s++)
{
    if(portb,s==0)
    {
        set_pwm1_duty(0);
        set_pwm2_duty(0);
        set_adc_channel(s%2);
        delay_us(20);
        if((s==6)||(s==7))
        bias[s%2]=max_pos-read_adc();
        else /
        bias[s%2]=read_adc
    }
}
#int_rda
void serial_isr()
{
    vec[0]=getc();           //Lectura del puerto serial
    vec[1]=getc();           //para datos de 16bits
    vec[2]=getc();           //para x y para y.
    vec[3]=getc();
    x=vec[1]*256+vec[0];
    y=vec[3]*256+vec[2];
    //error_total=tolerancia+1;
    if (x==1000)
    {
        bit_clear(portb,3);
        putc(0);
    }
    else
    error_total=tolerancia+1;
    if (x==2000)
    {
        bit_set(portb,2); //abre valvula de limpieza
        putc(0);
    }
}

void main()
{

```

```

signed int16 error_x=0,error_y=0; //variable de control de error en los ejes x y
lcd_init();
set_tris_b(0xF0);
setup_adc_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
enable_interrupts(global);
enable_interrupts(int_rda);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,224,1);
setup_ccp1(CCP_PWM);
setup_ccp2(CCP_PWM);
bit_clear(portb,3); //cierra válvulas de aire comprimido
bit_clear(portb,2); //cierra valvula de limpieza
printf(lcd_putc,"Inicio");

while(TRUE)
{
    set_pwm1_duty(0);
    set_pwm2_duty(0);
    if ((x<390)&&(y<390))
    {
        while(error_total>tolerancia)
        {
            delay_ms(1); //Retardo para tiempo de muestreo.
            realimentacion(0);
            poss=x;
            error_x=movimiento(0,error_x);
            printf(lcd_putc,"\fToshiba=%4Ld",error_x);
            realimentacion(1);
            poss=y;
            error_y=movimiento(1,error_y);
            printf(lcd_putc,"\nMatsushita=%4Ld",error_y);
            if (abs(error_x)<tolerancia/2)
                set_pwm1_duty(0);
            if (abs(error_y)<tolerancia/2)
                set_pwm2_duty(0);
            error_total=ABS(error_x)+ABS(error_y);
            if (abs(error_total)<=tolerancia)
            {
                printf("Ya envíe dato");
                printf(lcd_putc,"\f\nYa envíe dato");
                putc(0); //Centinela de control de proceso.
                bit_set(portb,3); //Inicia sandblasteo .
                bit_clear(portb,2); //cierra valvula de limpieza
            }
            delay_ms(5);
            recorrido();
        }
    }
}

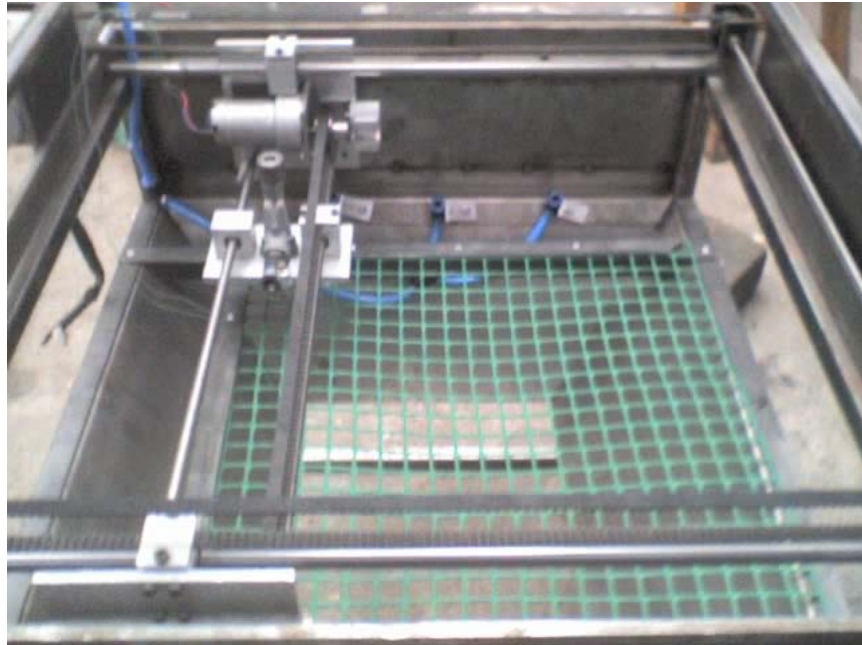
```

}
}

ANEXO F

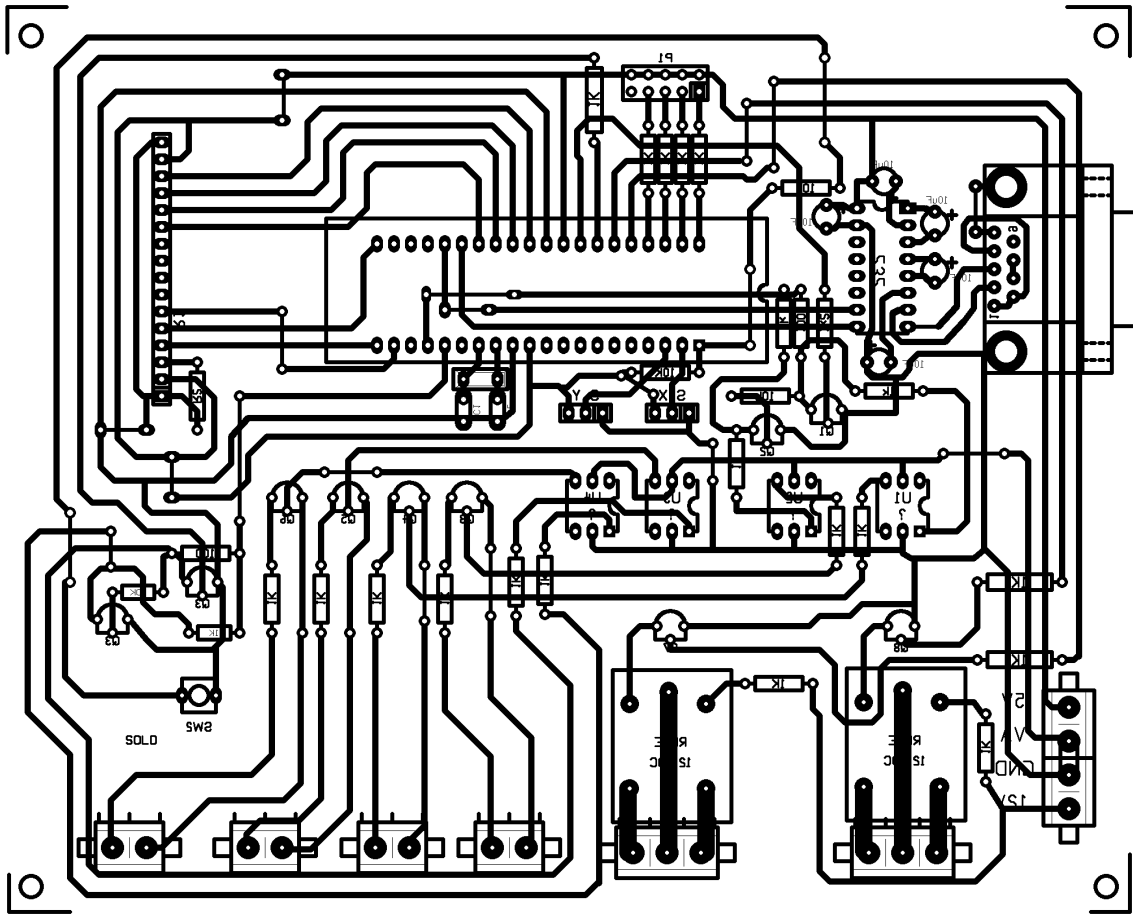






ANEXO G

IMAGEN PCB CIRCUITO DE CONTROL



ANEXO H

LISTA DE COMPONENTES Y GASTOS

CANT.	DESCRIPCION	VLR. UNITARIO	VLR. TOTAL
1	Pistola Sandblasting	\$ 33.190	\$ 33.190
1	Platina Lisa de aluminio de 1/4" * 6" * 1/2 m	\$ 27.125	\$ 27.125
1	Barra cuadrada de aluminio 1/2" * 0.3 m	\$ 15.513	\$ 15.513
1	Platina Lisa de 3/8" * 4" * 0.25m	\$ 10.927	\$ 10.927
1	Barra circular de 3/4 " * 0.5 m	\$ 4.792	\$ 4.792
2	Barras circular acero plata 10 mm * 1 m	\$ 19.150	\$ 38.300
1	Barra circular acero plata 5 mm * 1m	\$ 5.400	\$ 5.400
1	platina calibrada acero 1/8" * 1/4" * 1 m	\$ 15.780	\$ 15.780
2	Tubo cuadrado 1" Cal 18* (6 m)	\$ 12.350	\$ 24.700
2	Rodamiento LBBR 10	\$ 38.280	\$ 76.560
2	Barra circular acero plata 12 mm * 1m	\$ 22.300	\$ 44.600
4	platina calibrada acero 2" * 1/4" * 1 m	\$ 21.500	\$ 86.000
2	Platina calibrada acero 1" * 1/8" * 1 m	\$ 14.200	\$ 28.400
2	Platina Calibrada acero 1 .1/2" * 1/4" * 1m	\$ 15.700	\$ 31.400
2	Rodamiento LBBR 12	\$ 42.920	\$ 85.840
3	Tubo cuadrado 3/4" Cal 18* (6 m)	\$ 14.666	\$ 43.998
1	Laminas Galvanizadas Calibre 22 (2m*1m)	\$ 43.200	\$ 43.200
1	Angulo de aluminio de 3/16" * 1.1/2" * 1 m	\$ 13.867	\$ 13.867
2	Canal aluminio de 3/4" * 1.1/2	\$ 5.254	\$ 10.508
1	Malla Plástica trical Metro Cuadrado	\$ 9.200	\$ 9.200
2	Platinas Calibre 22	\$ 14.500	\$ 29.000
1	Lamina de Acrílico Calibre 4 mm con 73 cm*37 cm	\$ 21.000	\$ 21.000
1	Correa de tiempo 480 XL 037	\$ 15.345	\$ 15.345
2	Correa de tiempo 630XL 037	\$ 20.000	\$ 40.000
6	Poleas de tiempo 20 XL	\$ 41.000	\$ 246.000
1	Motorreductor DC Matsushita	\$ 60.000	\$ 60.000
1	Motorreductor DC Toshiba	\$ 110.000	\$ 110.000
2	Electroválvulas 2/2 NC 1/4" Plástica 110 VAC	\$ 39.800	\$ 79.600
4	Racor Recto metálico 1/4 NPT	\$ 9.300	\$ 37.200
7	Manguera poliuretano 10 mm	\$ 4.000	\$ 28.000
2	Acople rápido para manguera de 10 mm	\$ 5.100	\$ 10.200
6	Codos para manguera de 10 mm	\$ 6.450	\$ 38.700
2	Acople en forma de cruz para manguera de 10 mm	\$ 13.750	\$ 27.500
3	metro manguera poliuretano 12 mm	\$ 6.000	\$ 18.000

2	Codos para manguera de 12 mm	\$ 7.400	\$ 14.800
2	Acopla en forma de T para manguera de 10 mm	\$ 8.400	\$ 16.800
1	Acople para manguera de 1/4"	\$ 2.600	\$ 2.600
2	Potenciómetros rotativos Lineales	\$ 45.000	\$ 90.000
14	Metros de Cable calibre 20	\$ 700	\$ 9.800
20	Metros de cable calibre 22	\$ 400	\$ 8.000
5	metros de coraza de 1/4 "	\$ 1.500	\$ 7.500
1	Caja para alojar lo elemento electronicos y de control	\$ 30.000	\$ 30.000
1	Tarjeta de control	\$ 160.000	\$ 160.000
8	Transistores MJ2955 y 2n3055	\$ 1.500	\$ 12.000
1	Vidrio de 70 cms * 50 cms	\$ 20.000	\$ 20.000
4	Finales de carrera tipo microswitch	\$ 1.500	\$ 6.000
1	Camara Web Logitech Pro 9000	\$ 225.000	\$ 225.000
2	Lampara T5	\$ 11.500	\$ 23.000
1	Fuente de computador	\$ 30.000	\$ 30.000
300	Tornillo Cabeza redonda autoroscante de 5/32" * 1/2"	\$ 34	\$ 10.200
24	Tornillo de 3/16" * 3/4 con doble arandela y tuerca NC	\$ 200	\$ 4.800
80	Remaches de 1/8" * 3/4"	\$ 20	\$ 1.600
6	Tornillo de 1/4" * 3" Cabeza Bristol con tuerca y arandela	\$ 900	\$ 5.400
3	Rollo cinta aislante Calibre 20	\$ 1.500	\$ 4.500
40	Terminales Hembra de cobre	\$ 100	\$ 4.000
1	Pintura, Thiner, Lija, Fondo y Pintura	\$ 80.000	\$ 80.000
	Varios	\$ 105.000	\$ 105.000
	Total		\$ 2.280.845

Mano de Obra	700000
--------------	--------

ANEXO I

PLANOS

Listado de piezas Plano 02.00

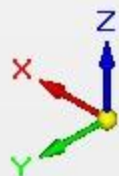
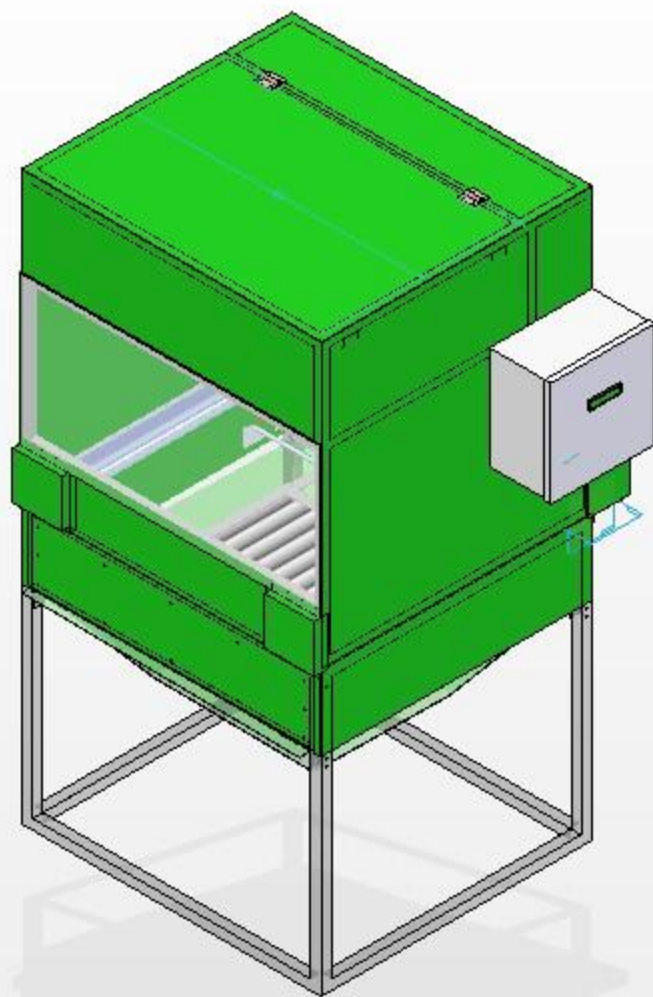
Numero de elemento	Numero de documento	Titulo	Material	Cantidad
1	02.20	Tapa tolva superior	Lamina Cal 18	1
2		Tornillo Goloso tapa protección	Acero	4
3		Bisagra	Acero	1
4	02.19	Tapa Superior cabina visión	Lamina Cal 18	1
5		Vidrio de protección	Vidrio 4 mm	1
6		Perfil de aluminio	Aluminio 6061	4
7		Lámpara T5		2
8	02.16	Tapa lateral cabina visión	Lamina Cal 18	2
9		Cámara Logitech Pro 9000	Plastico	1
10	02.09	Soporte Lámpara	Aluminio 6061	4
11		Estructura cabina visión	Tubo cuadrado acero	1
12	02.13	Tapa frontal cabina visión	Lamina Cal 18	1
13		Tapa Acrílica Transparente 12 mm	Acrilico 4 mm	1
14	02.12	Tapa frontal Bancada Posicionador	Lamina Cal 18	1
15	02.10	Tapa protección Soporte Polea	Lamina Cal 18	4
16	02.15	Tapa lateral bancada Posicionador	Lamina Cal 18	2
17	01.02	Platina base Posicionador	Acero 1020	2
18	02.20	Guía Marco Vidrio	Acero 1020	3
19		Reja vidrio	Plástico	1
20	02.05	Platina base soporte vidrio	Acero 1020	2
21	02.01	Base Puerta admisión vidrio	Acero 1020	1
22	02.08	Tapa puerta admisión vidrio	Lamina Cal 18	1
23	02.05	Platina base soporte vidrio	Acero 1020	2
24	02.14	Tapa frontal tolva inf	Lamina Cal 20	4
25	02.12	Tapa lateral bancada Posicionador	Lamina Cal 18	2
26		Posicionador	Varios	1
27	02.17	Tapa posterior bancada Posicionador	Lamina Cal 18	1
28	02.16	Tapa lateral cabina Visión	Lamina Cal 18	1
29		Caja de Control	Varios	1
30	02.11	Tapa de protección motores eje y	Lamina Cal 18	1
31		Electroválvulas 2/2	Plástico	2
32	02.18	Tapa Posterior cabina visión	Lamina Cal 18	1

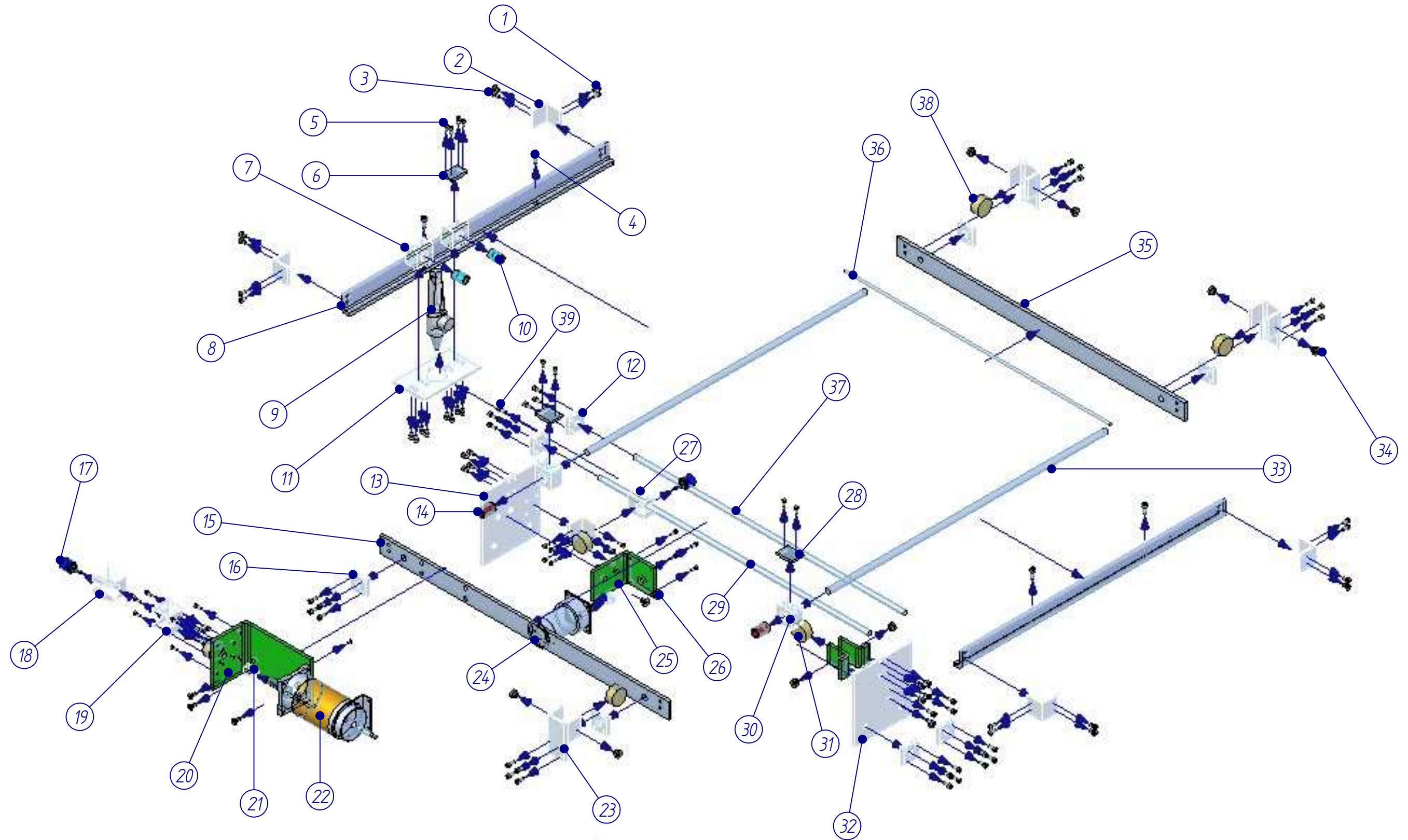
33	02.21	Tolva superior contenedora de arena	Lamina Cal 20	1
34		Acople succión arena	Aluminio 6061	1
Listado de piezas Plano 01.00				

Numero de elemento	Numero de documento	Titulo	Material	Cantidad
1		Tornillo cabeza redonda Bristol 1/4" * 1/2"	Lamina Cal 18	4
2		Perfil L Aluminio	Aluminio 6061	4
3		Tornillo cabeza avellana Bristol 1/4" * 1/2"	Acero	4
4		Tornillo bristol de 1/4 " * 3/4"	Lamina Cal 18	6
5		Tornillo bristol de 1/4 " * 3/4"	Vidrio 4 mm	4
6	01.03	Mordaza Carrete y	Aluminio 6061	2
7	01.08	Alojamiento Rodamiento Lineal Eje x	Aluminio 6061	2
8	01.13	Paral Lateral Posicionador	Acero 1020	2
9		Pistola de SandBlasting	Aluminio 6061	1
10		Rodamiento Lineal LBBR-10	Varios	2
11		Soporte Pistola	Aluminio 6061	1
12	01.10	Brida Guía	Aluminio 6061	4
13	01.12	Paral Eje X (Lado Motor)	Aluminio 6061	1
14		Rodamiento Lineal LBBR-12	Varios	2
15	01.15	Paral Posterior Posicionador (lado Motor)	Acero 1020	1
16	01.10	Brida Guía (huevo central 12 mm)	Aluminio 6061	2
17		Potenciómetro lineal	Plástico	2
18	01.18	Porta Potenciómetro Eje Y	Aluminio 6061	1
19	01.06	Soporte Potenciómetro Eje Y	Aluminio 6061	2
20	01.17	Porta motor Eje Y	Acero 1020	1
21	01.01	Acople Potenciómetro eje carrete Y	Acero 1020	1
22		Motor Toshiba	Varios	1
23	01.19	Soporte Eje y polea	Acero 1020	3
24		Motor Matsushita	Varios	1
25	01.14	Porta motor eje x	Acero 1020	1
26		Tornillo cabeza avellanada de 3/8" * 5/16"		2
27	01.07	Alojamiento Rodamiento Lineal Eje y	Aluminio 6061	2
28	01.03	Mordaza Carrete x	Aluminio 6061	2
29	01.11	Gulas ejes detalle B	Acero Plata	2
30	01.07	Alojamiento rodamiento lineal eje y	Aluminio 6061	2
31		Polea 20XL	Acero 1040	6
32	01.21	Paral Eje x (lado Polea)	Aluminio 6061	1
33	01.11	Gulas ejes detalle A	Acero Plata	2

34		Buje fosforado 5 mm	Bronce	6
35	01.12	Paral frontal Posicionador	Acero 1020	1
36		Eje transmisión (5 mm)	Acero Plata	1

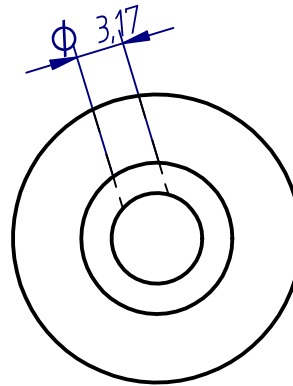
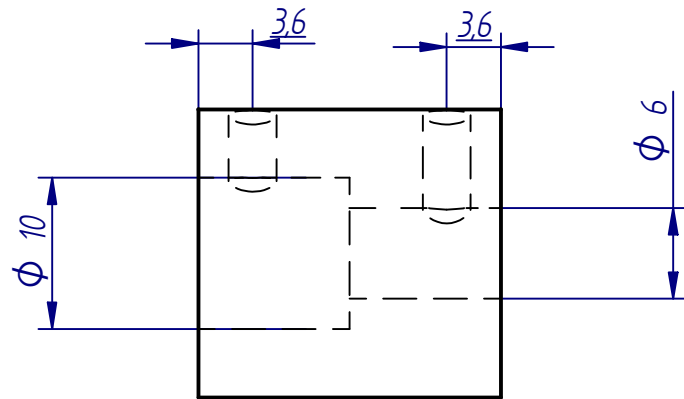
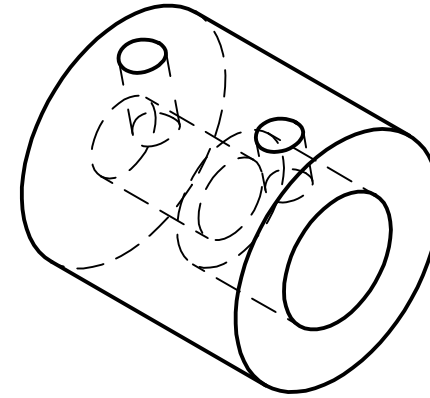
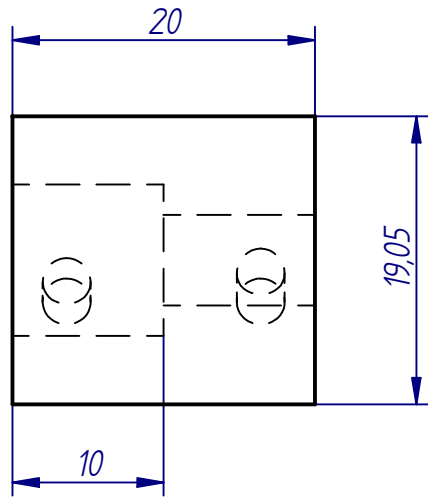
GONTER V. 00A1





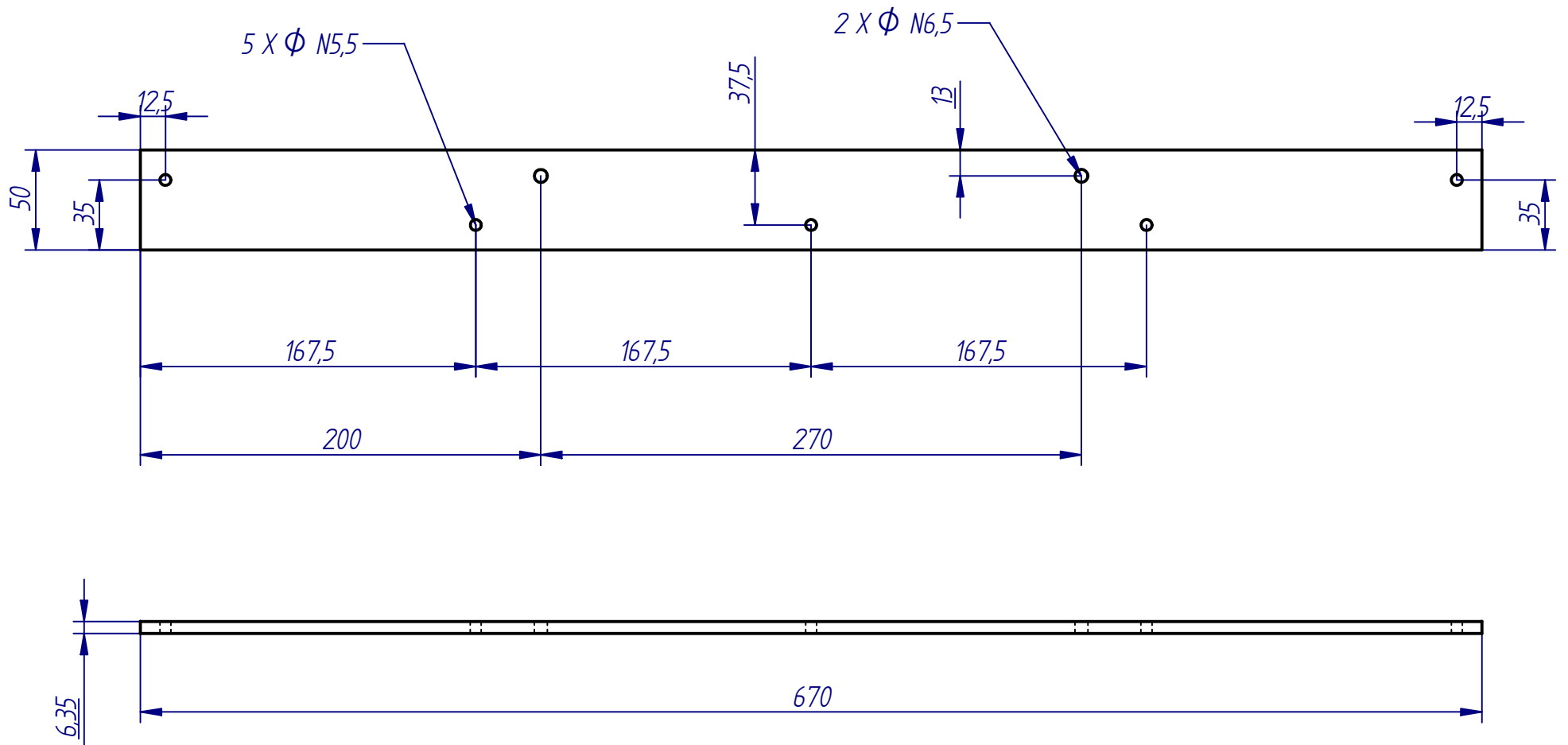




SOLID EDGE ACADEMIC COPY

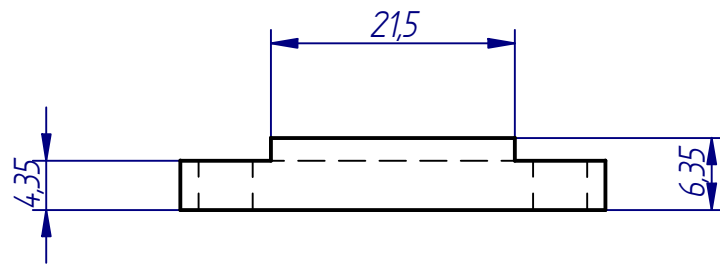
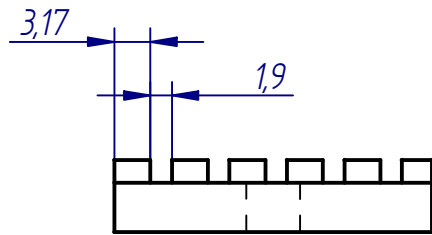
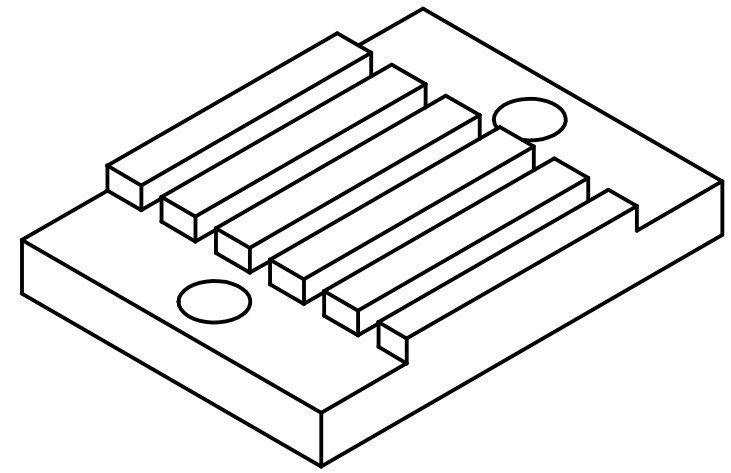
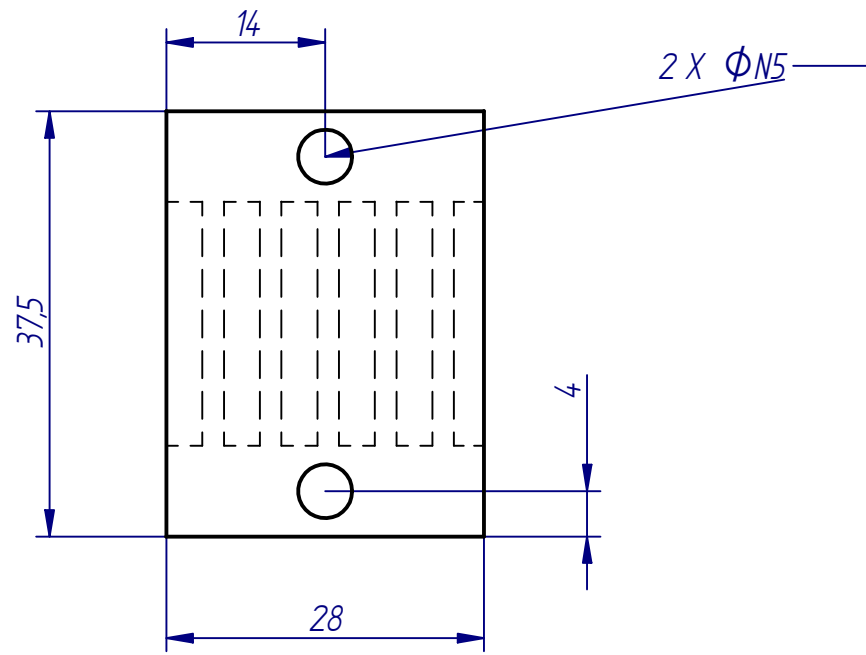
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)		
	Titulo: Explosionado posicionador.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Varios			Peso:
Escala: 1:10	Plano: 01.00	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





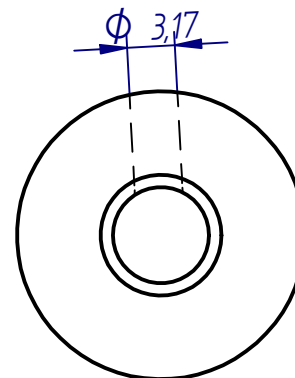
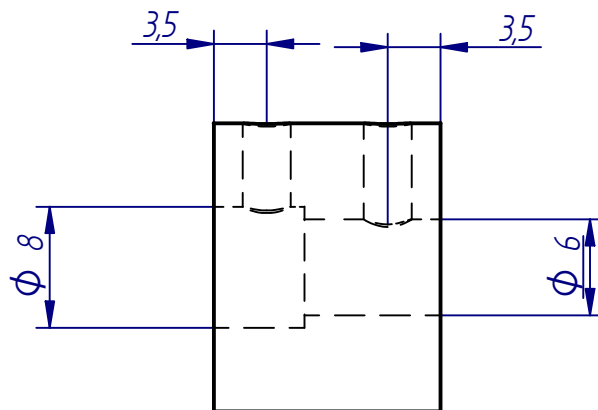
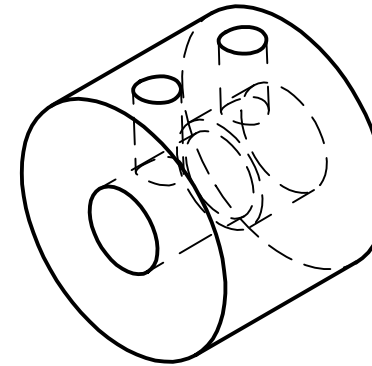
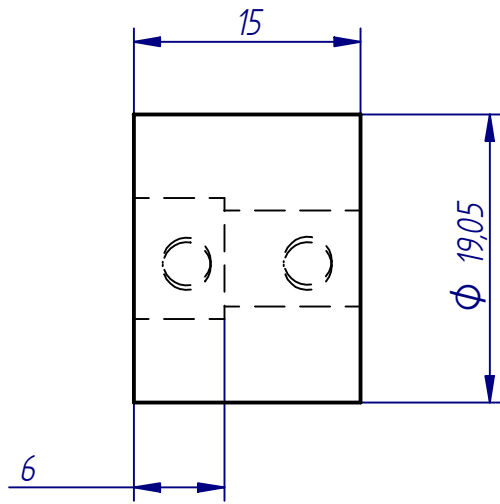
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Acople potenciómetro-eje motor carrete Y.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 0.030 Kg	
Escala: 2:1	Plano: 01.01.	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





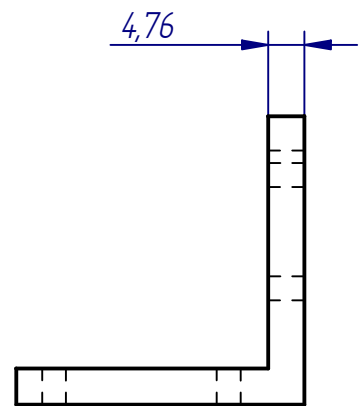
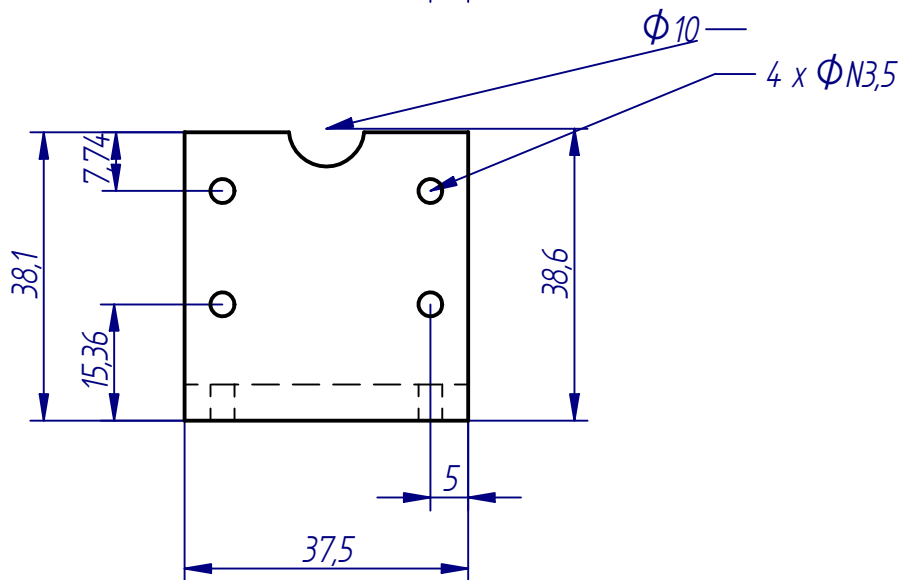
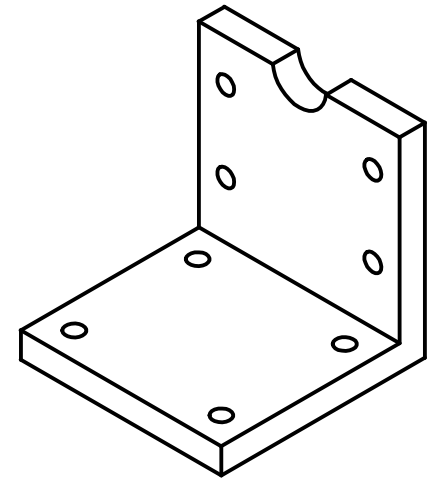
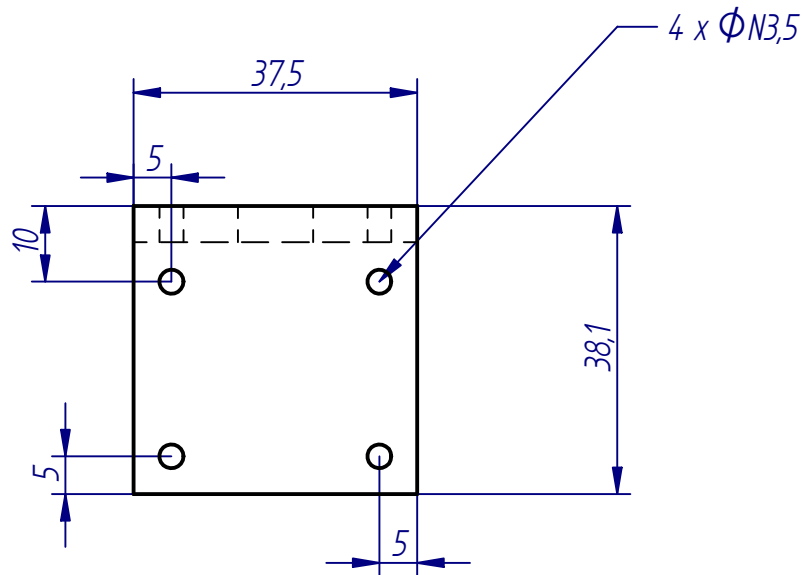
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Platina base posicionador.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 2	Peso: 1,5 Kg	
Escala: 1:3	Plano: 01.02	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





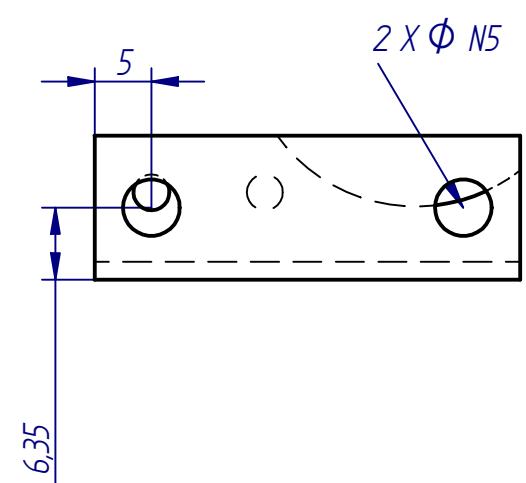
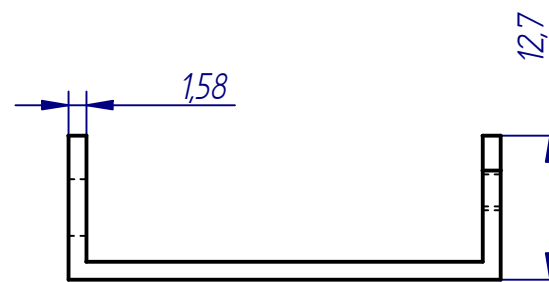
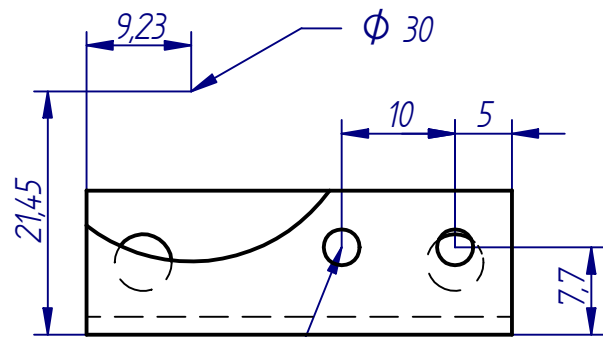
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Mordaza correa motor (carrete Y).		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
Revisado Por:			
Material: Aluminio 6361	Cantidad: 2	Peso: 0.012 Kg	
Escala: 3:2	Plano: 01.03	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	
			



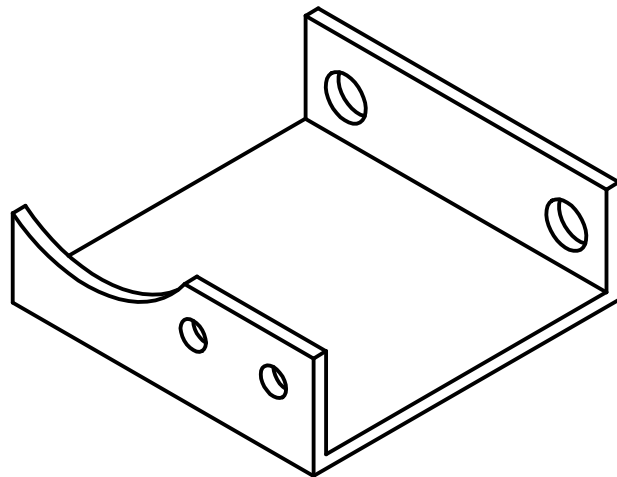
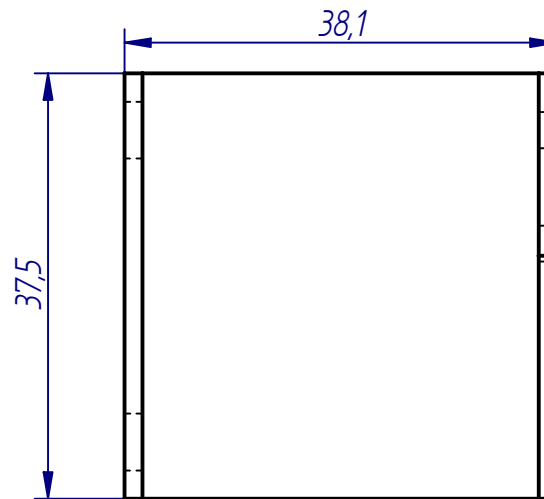
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Acople potenciómetro-eje motor carrete X.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 0.030 Kg	
Escala: 2:1	Plano: 01.04	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	
			



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Soporte potenciómetro carrete eje X.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
Revisado Por:			
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0.06	
Escala: 1:1	Plano: 01.05	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



2 X Ø N3,5



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Soporte potenciómetro eje Y.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Aluminio 6061

Cantidad: 2

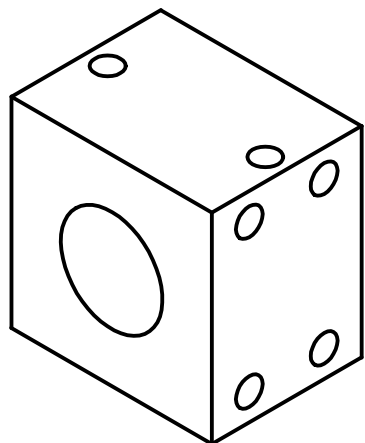
Peso: 0.07 Kg

Escala: 3:2

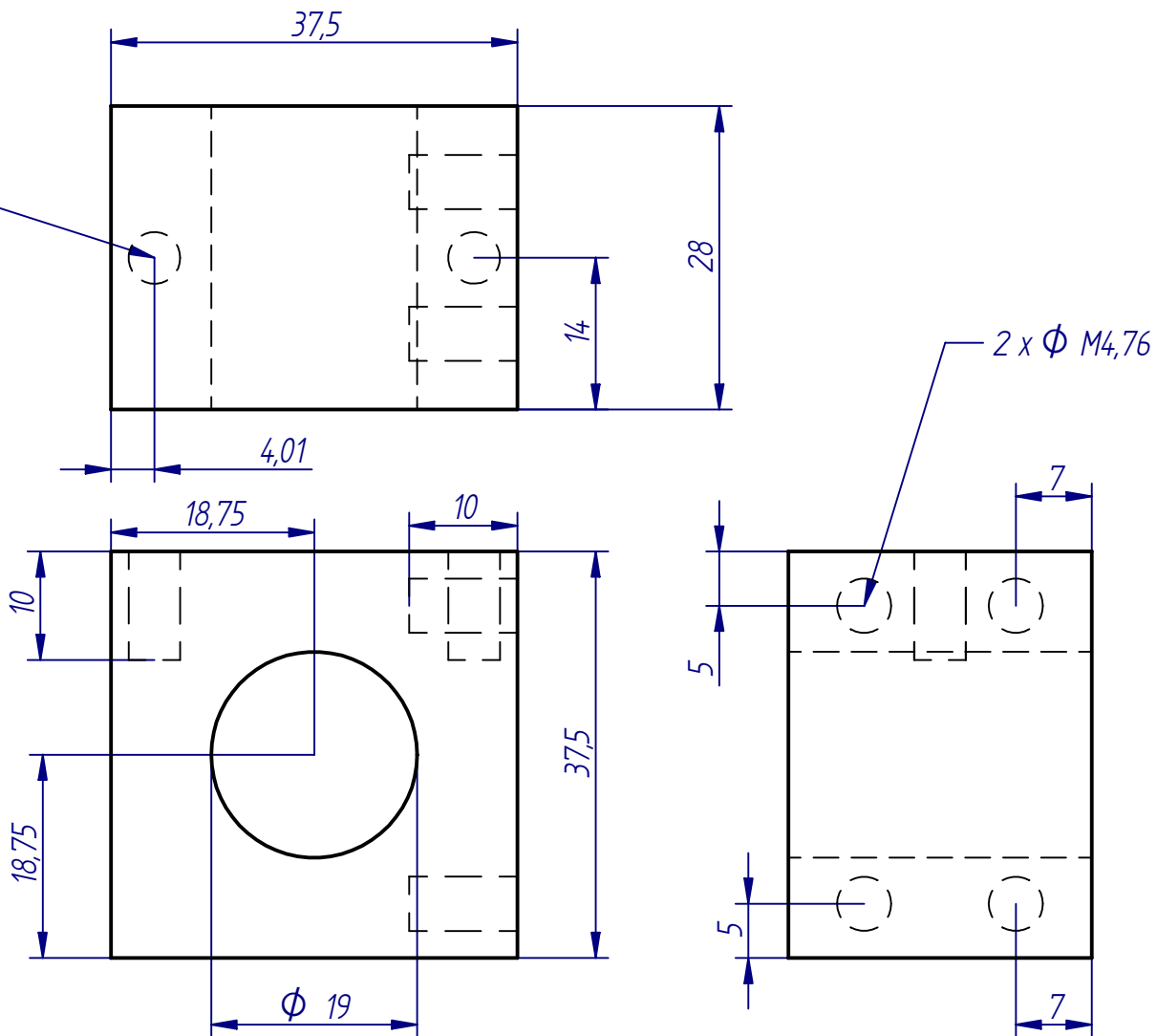
Plano: 01.06

Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$





2 x Φ M7,5



2 x Φ M4,76



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Alojamiento para rodamiento lineal eje Y.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Aluminio 6061

Cantidad: 2

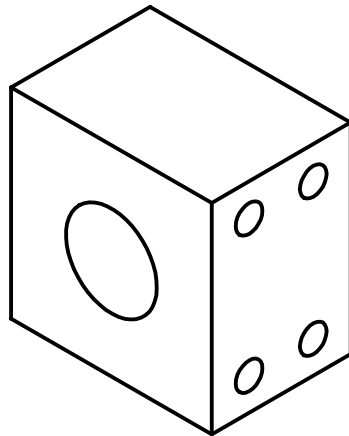
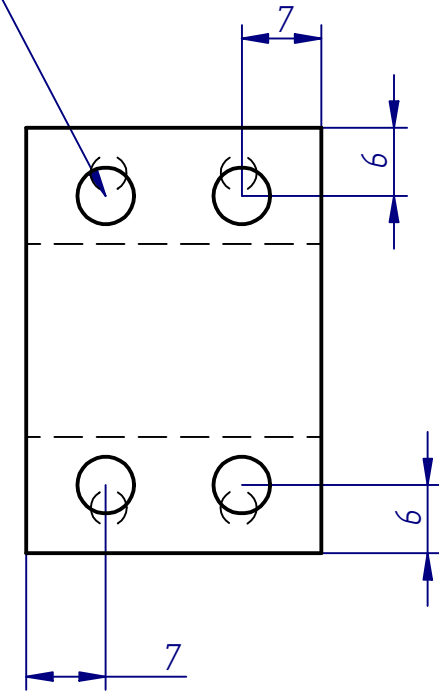
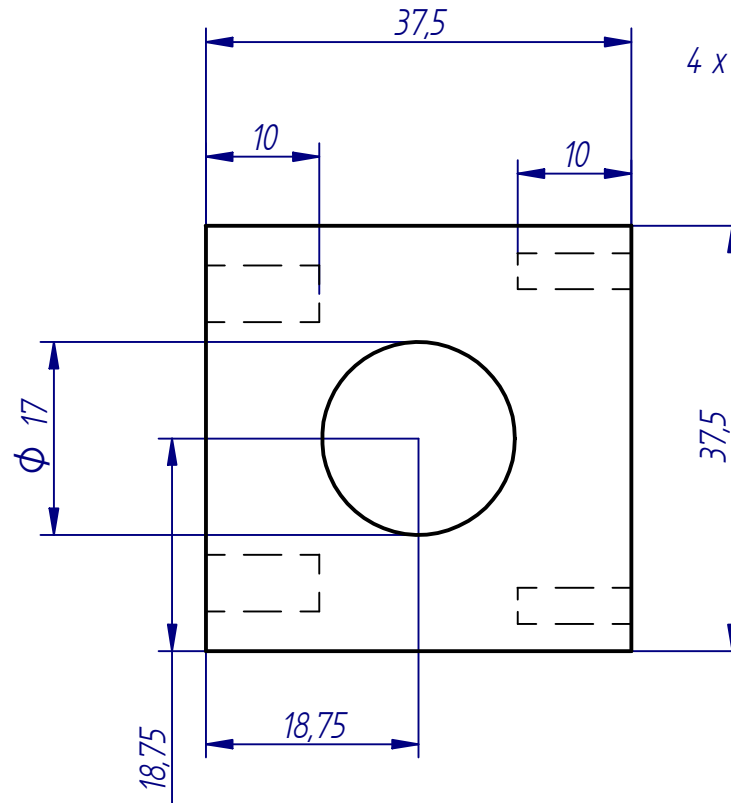
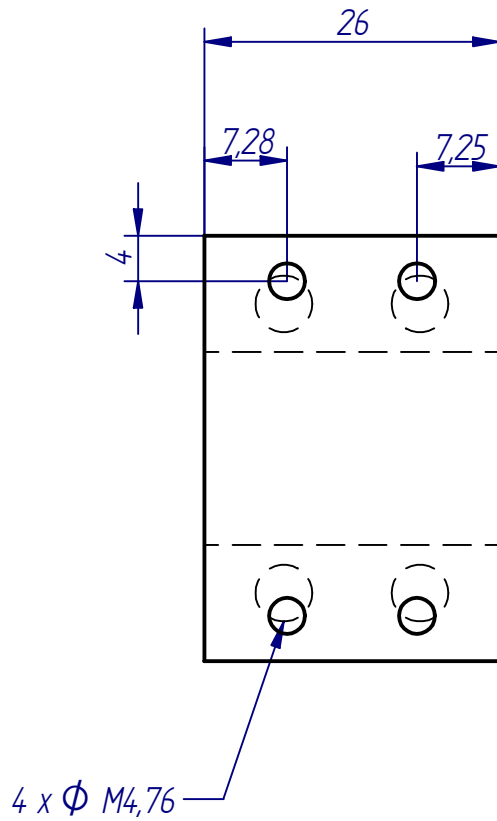
Peso: 0,1 Kg

Escala: 1,5:1

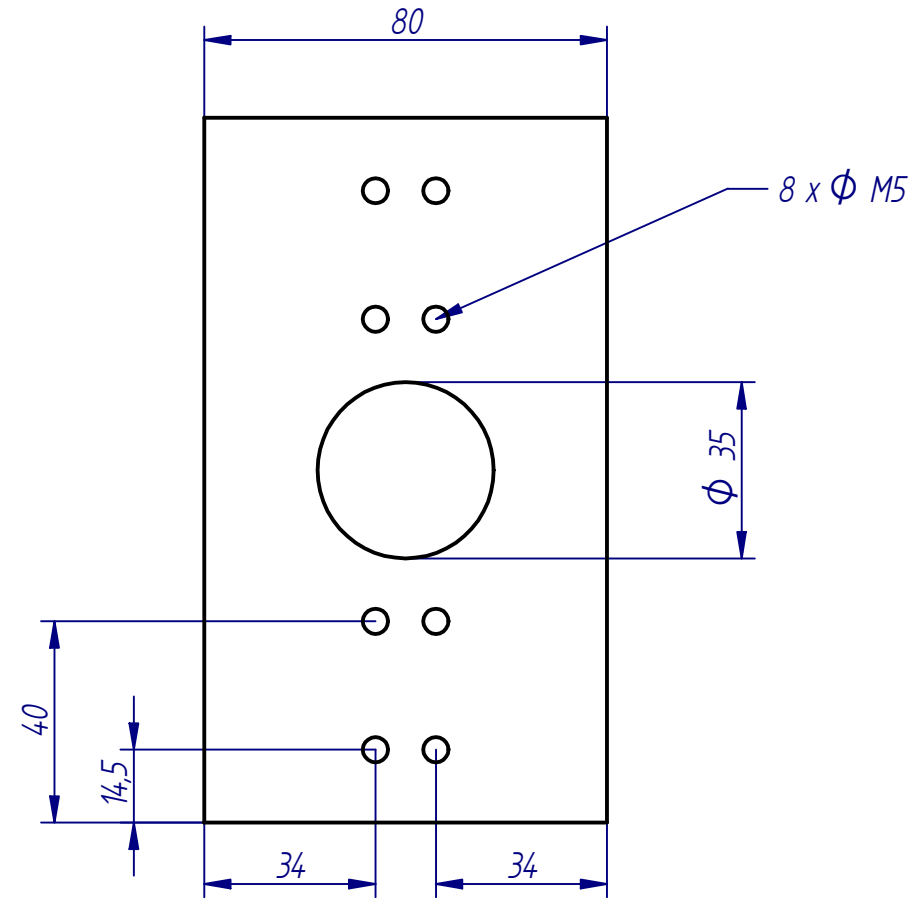
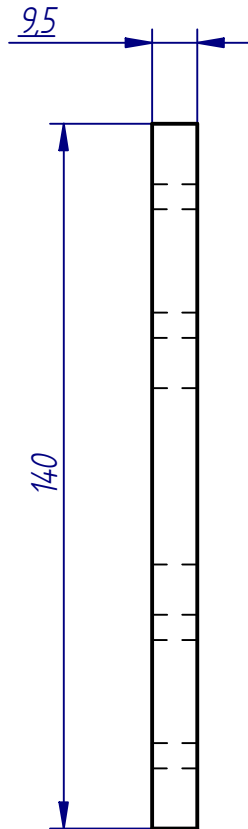
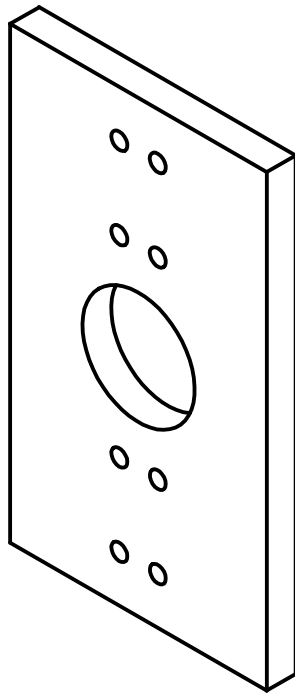
Plano: 01.07



Tolerancia: \pm 0,5 \pm 1°

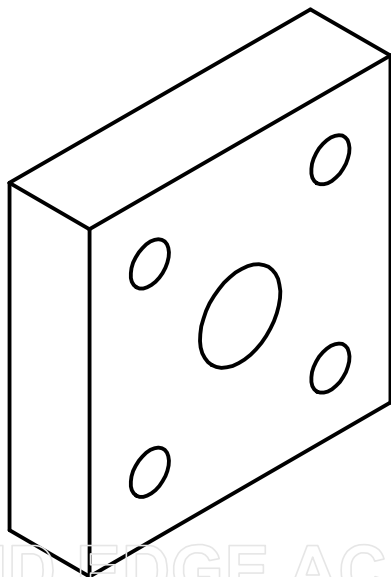
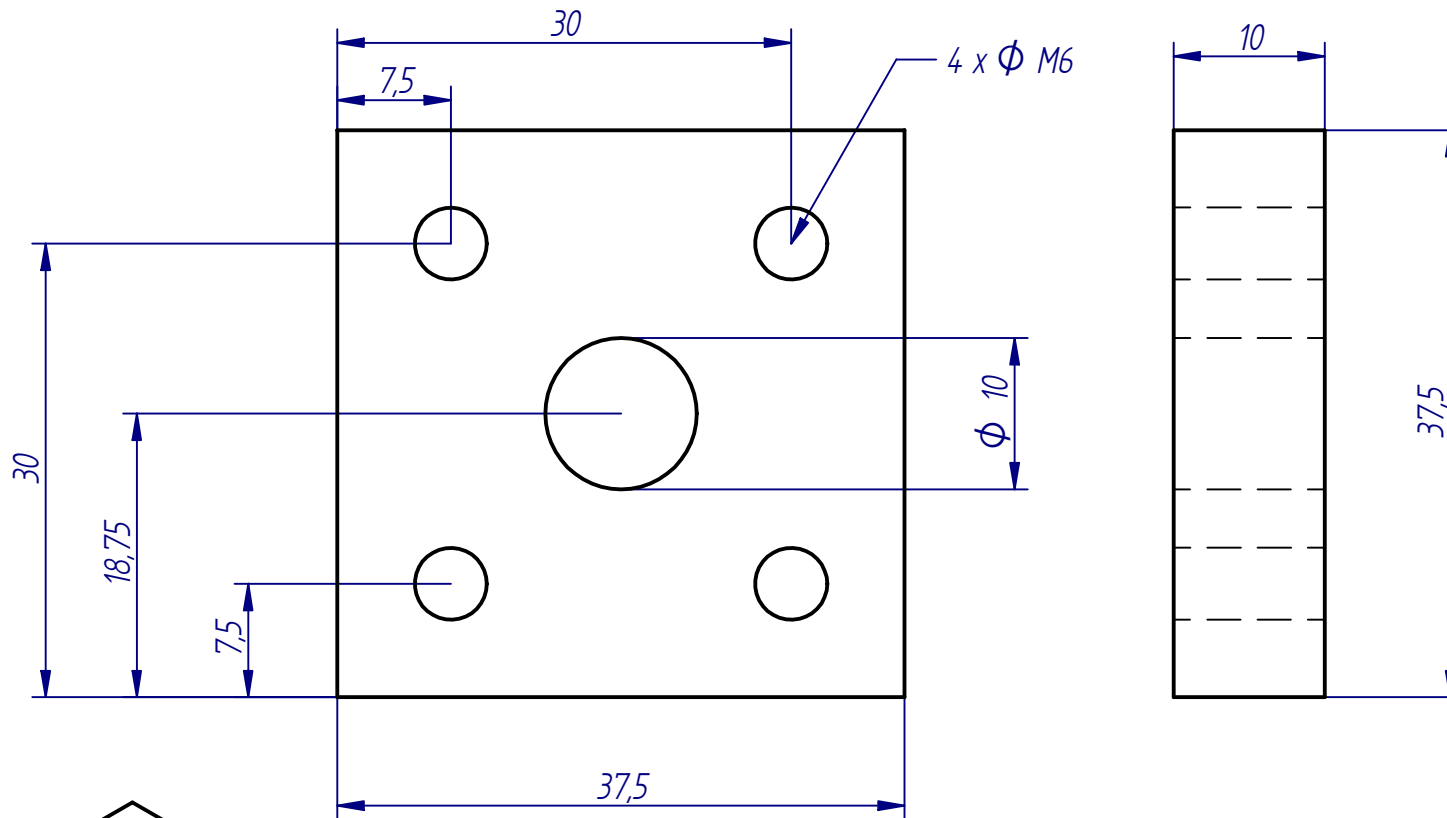






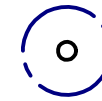
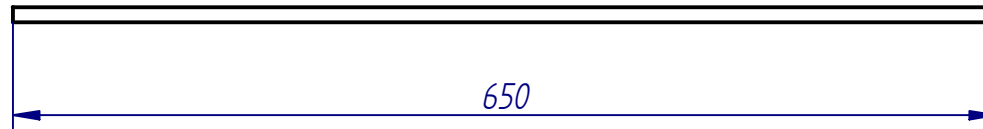
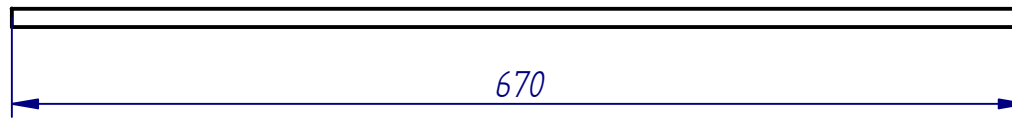
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)		
	Titulo: Alojamiento para rodamiento lineal eje X.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 2	Peso: 0,1 Kg	
Escala: 1,5:1	Plano: 01.08	Tolerancia: ± 0,5 ±1°	



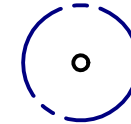
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Base carrete eje X .		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0.25 Kg	
Escala: 1:1,5	Plano: 01.09	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



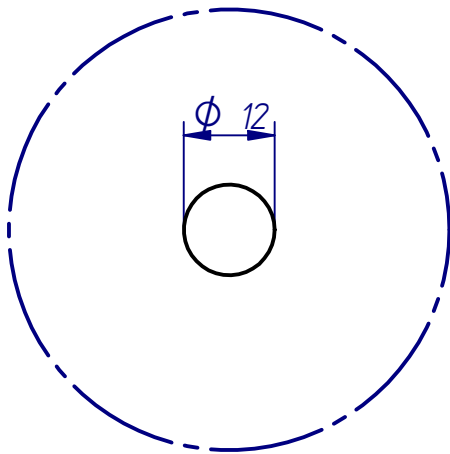
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Brida guias.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 8	Peso: 0,05 Kg	
Escala: 2:1	Plano: 01.10	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



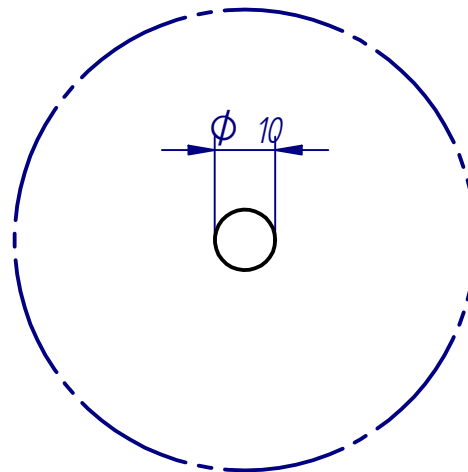
A



B



DETALLE A



DETALLE B

NOTA:
DETALLE A: Guia eje Y.
DETALLE B: Guia eje X.



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Guías ejes.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Acero plata

Cantidad: 2

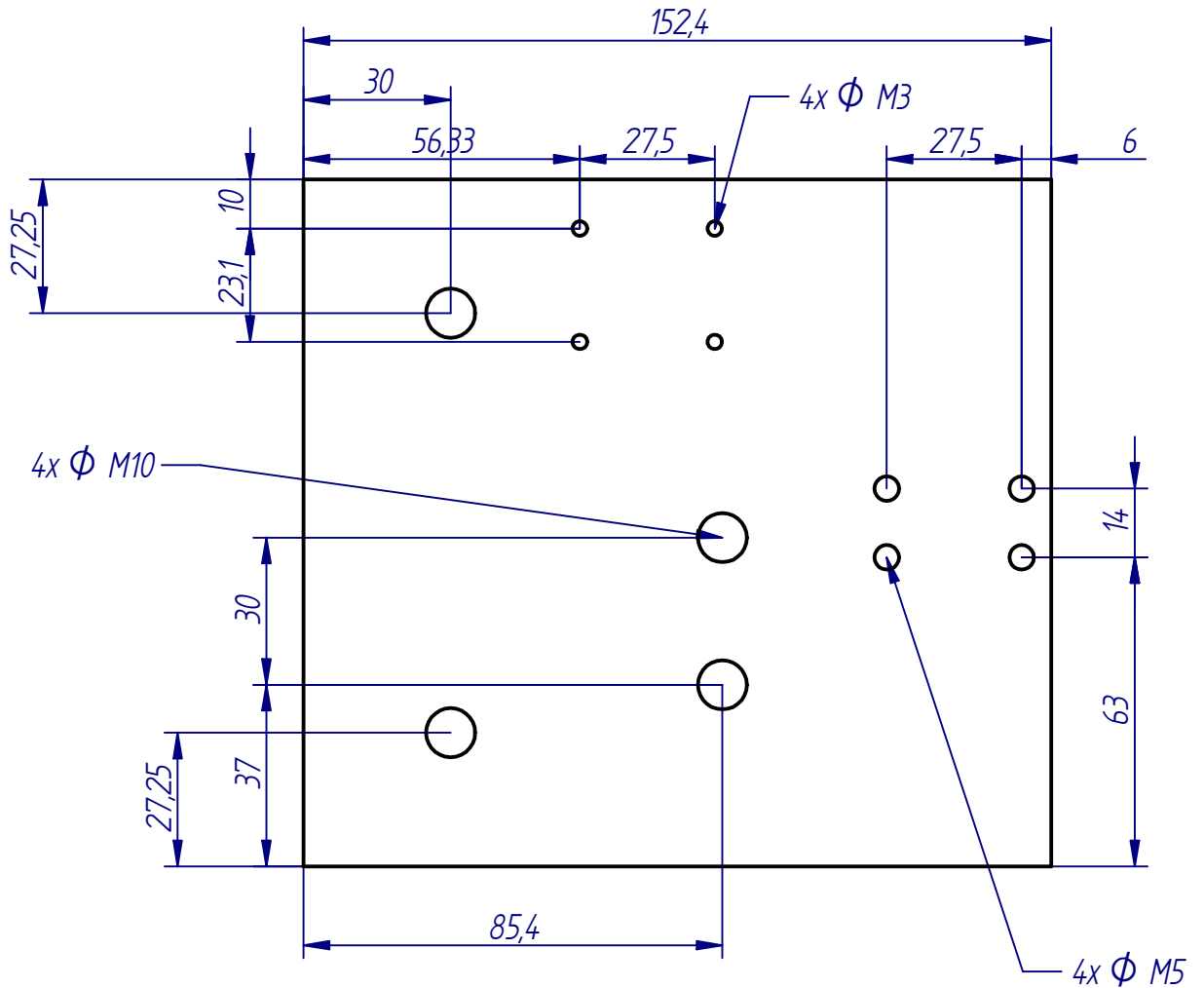
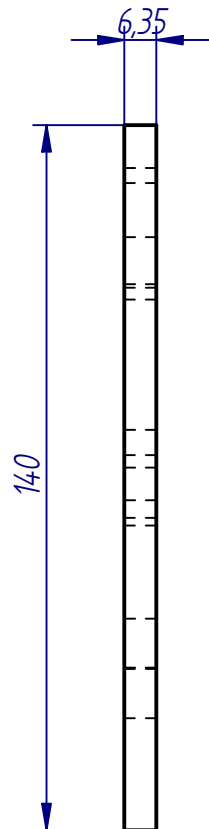
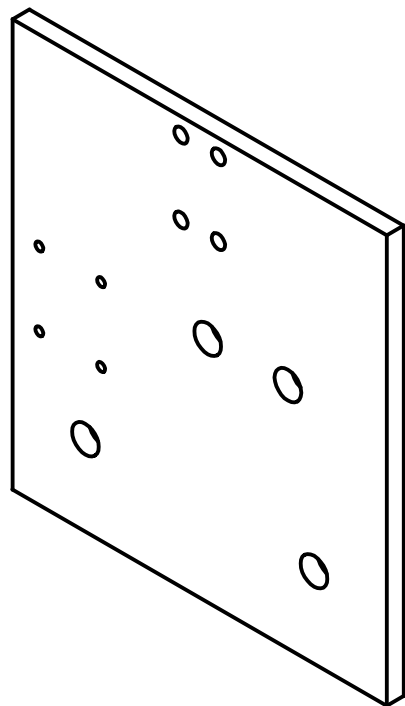
Peso: 0.45 Kg



Escala: 1:5

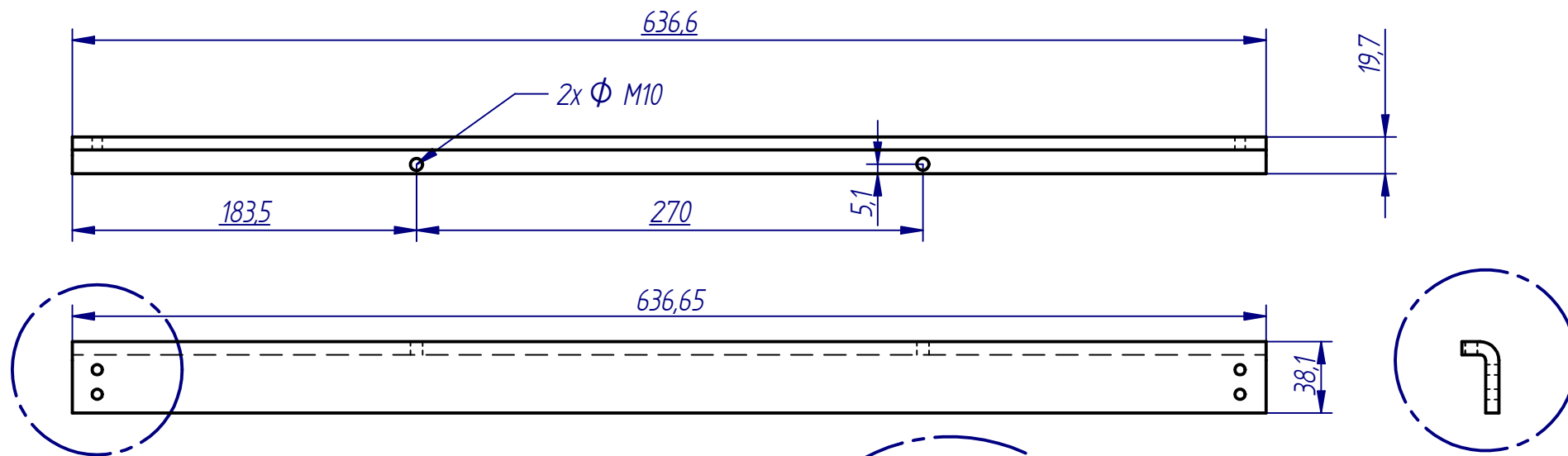
Plano: 01.11

Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$



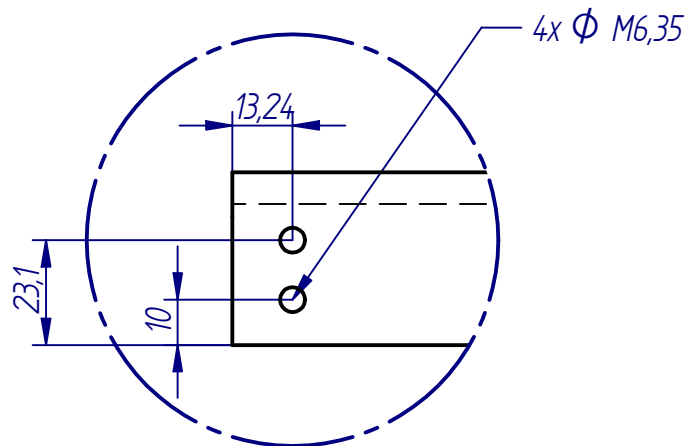


	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Paral eje X lado motor.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0.35 Kg	
Escala: 2:3	Plano: 01.12	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	

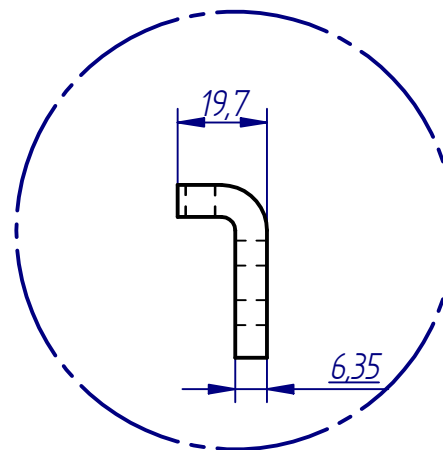


A

B



DETALLE A



DETALLE B



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Paral lateral posicionador.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Acero 1020

Cantidad: 2

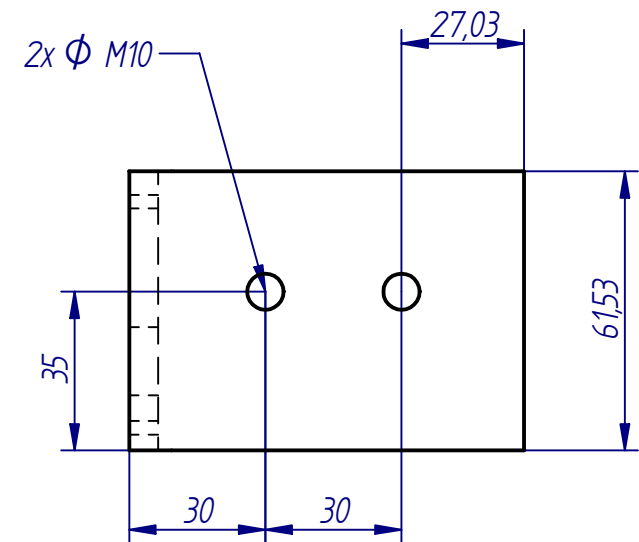
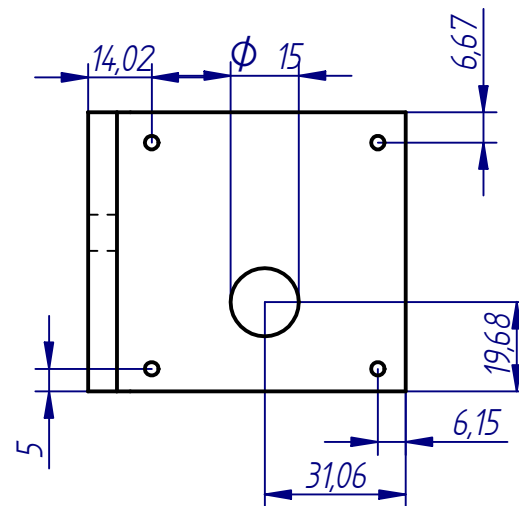
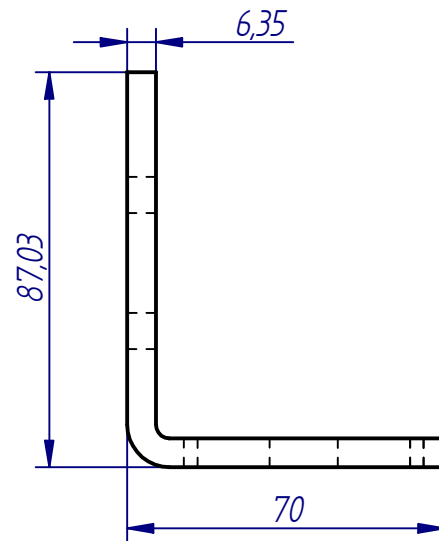
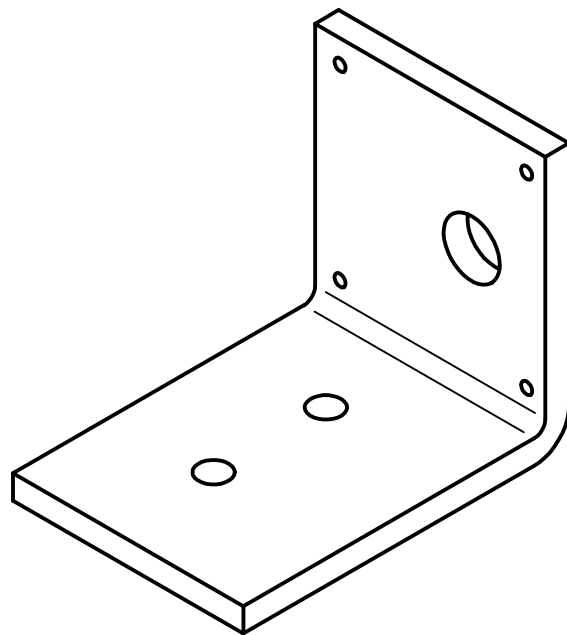
Peso: 1.7 Kg



Escala: 1:10/3

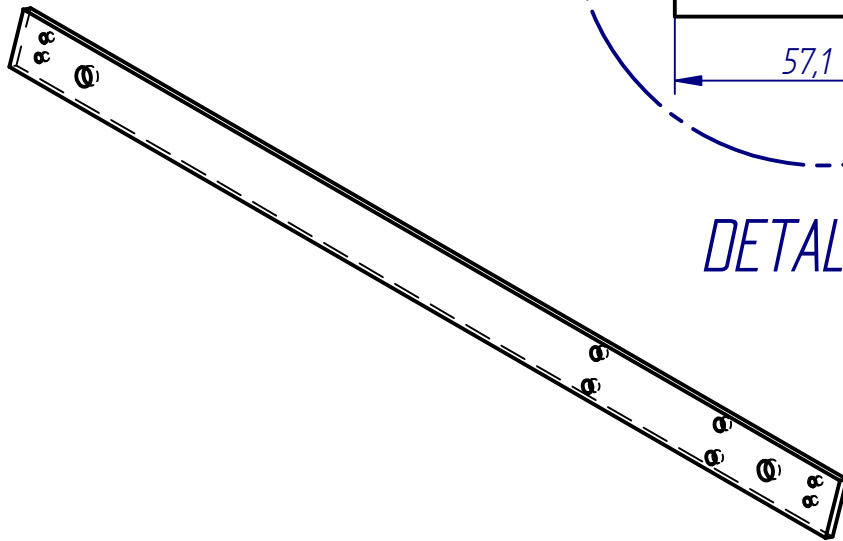
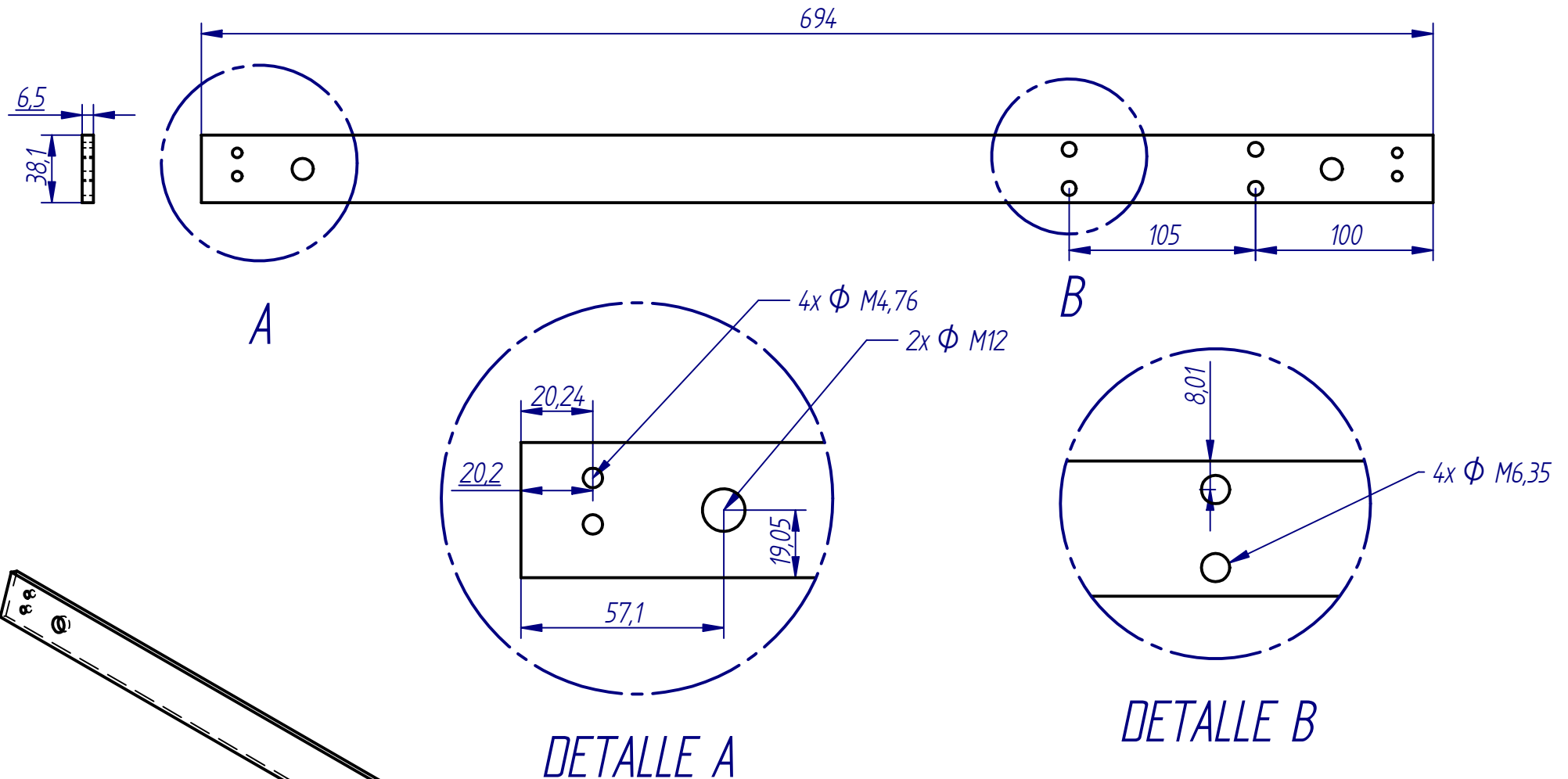
Plano: 01.13

Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$

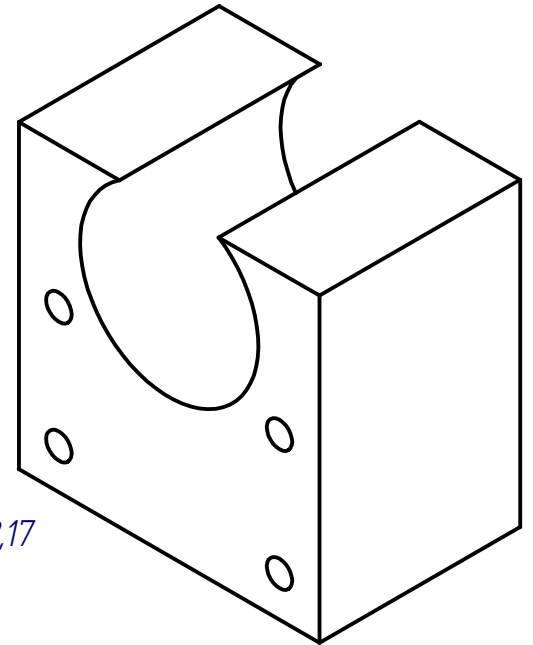
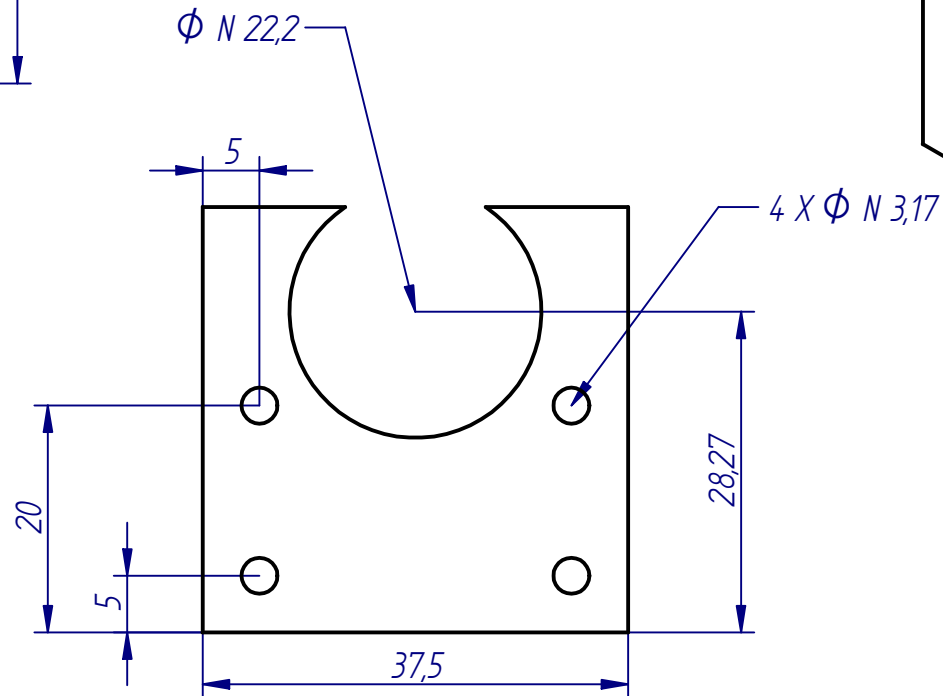
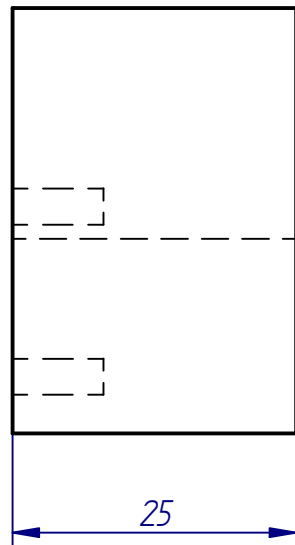
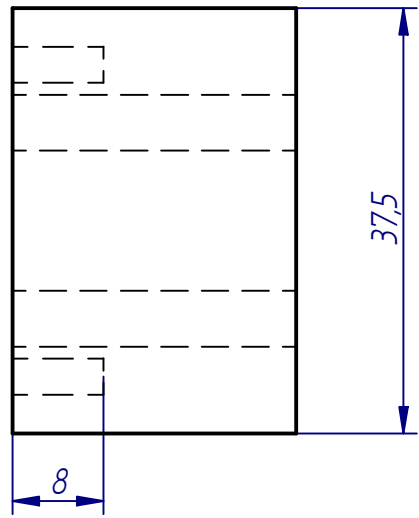






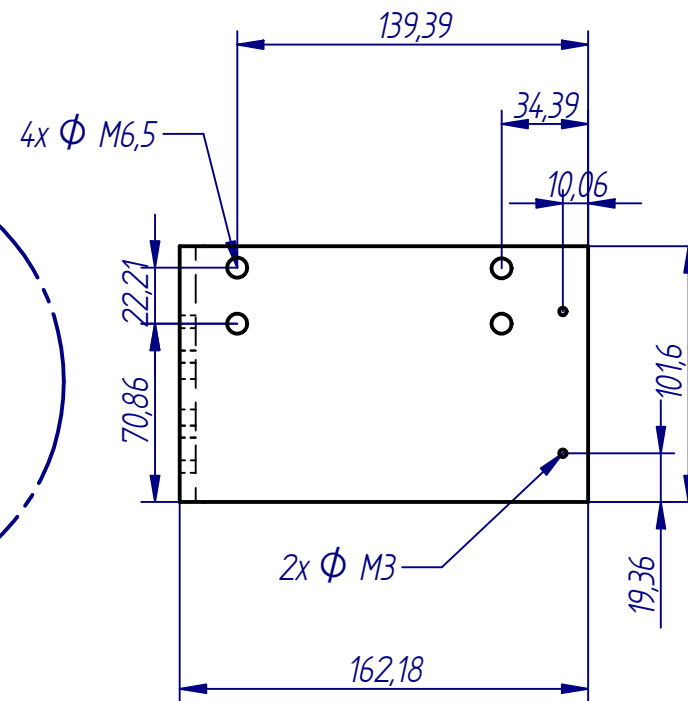
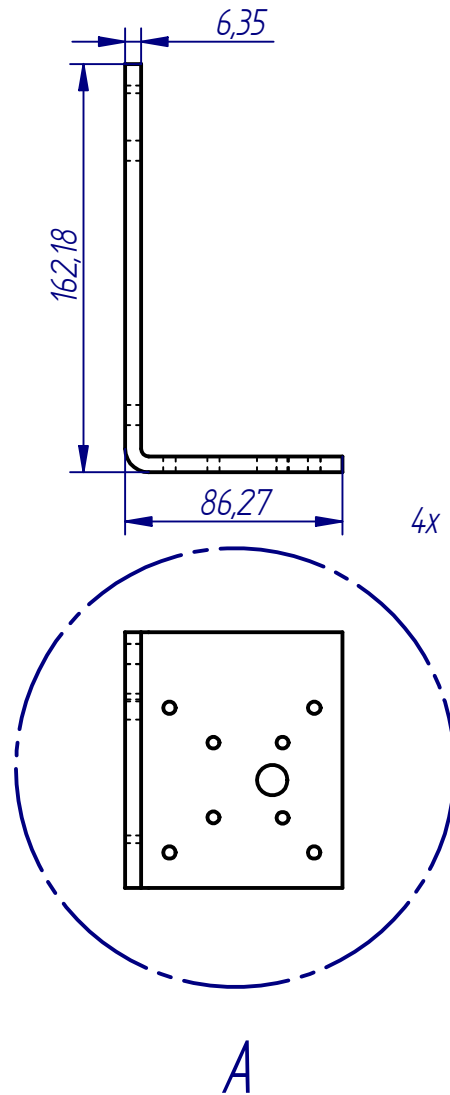
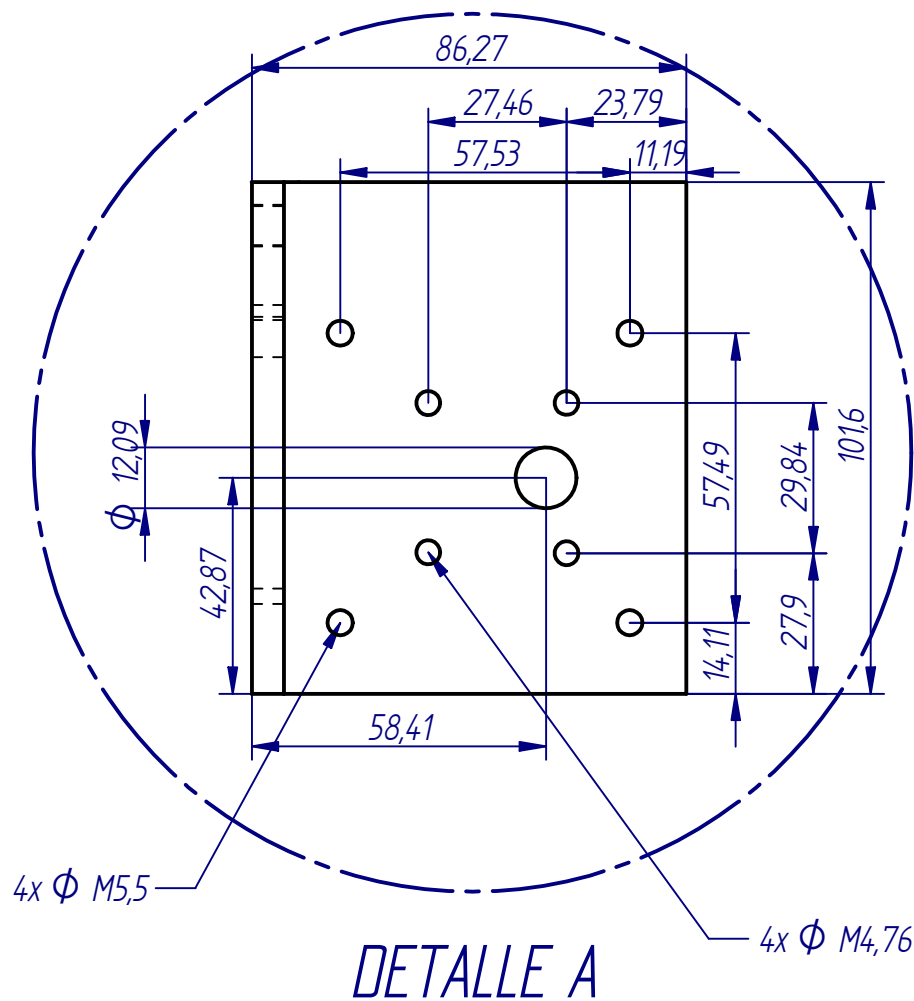
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Porta motor eje X.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 0.45 Kg	
Escala: 1:5/3	Plano: 01.14	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





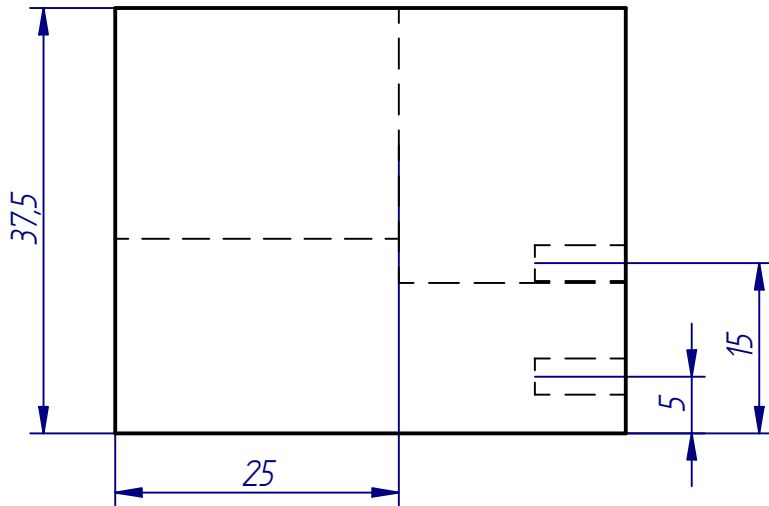
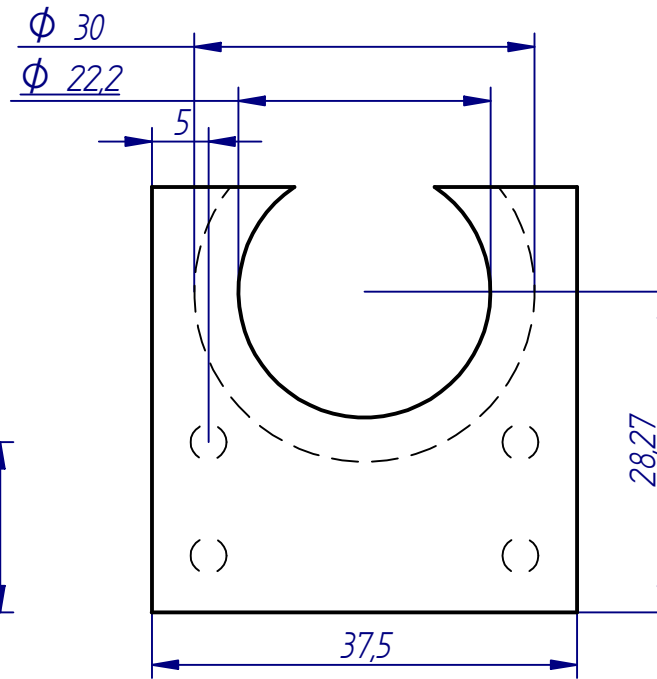
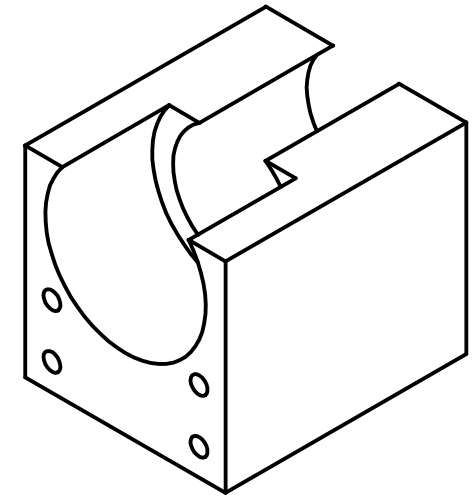
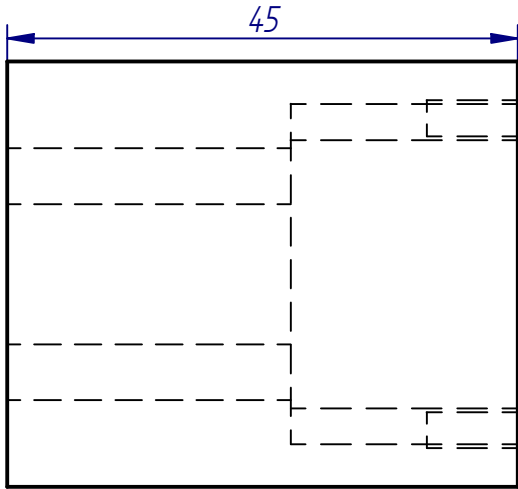
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)		
	Título: Parol posterior posicionador lado motor.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 1,5 Kg	
Escala: 1:10/3	Plano: 01.15	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





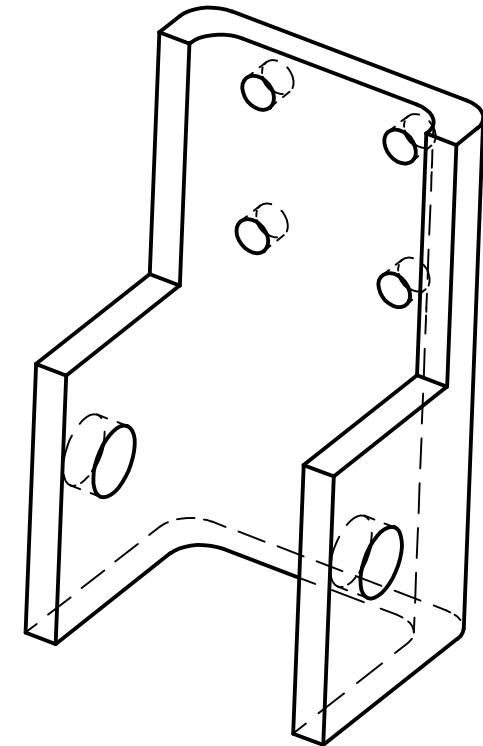
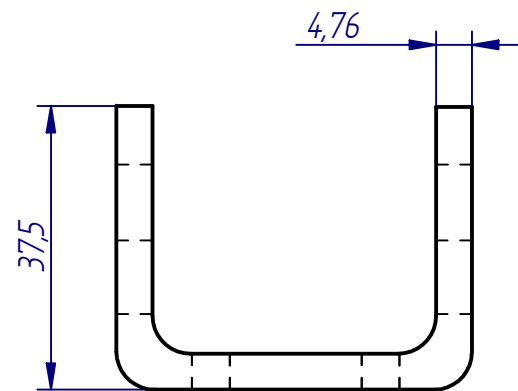
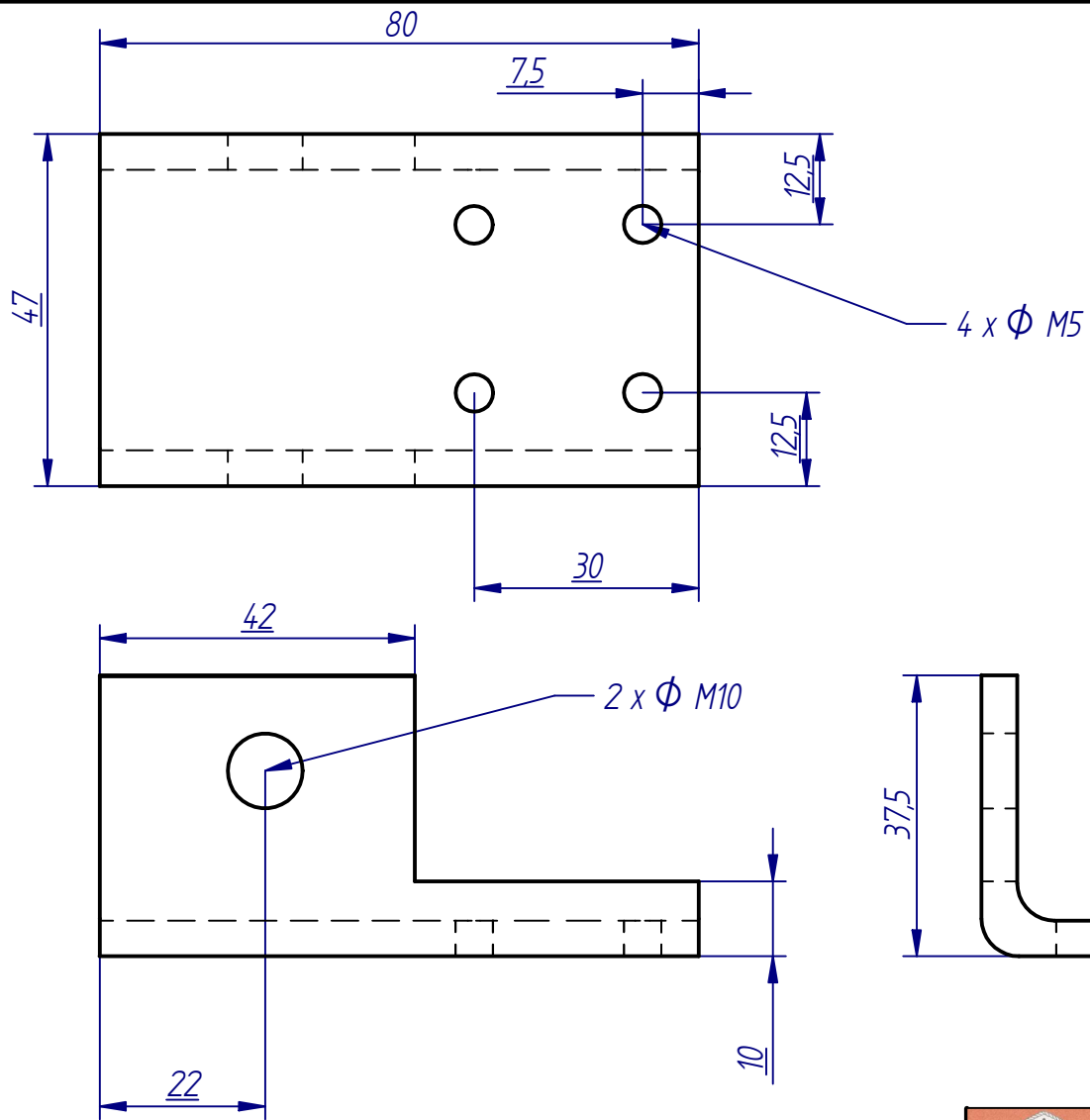
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Porta potenciómetro eje X.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0,07 Kg	
Escala: 1,5:1	Plano: 01.16	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





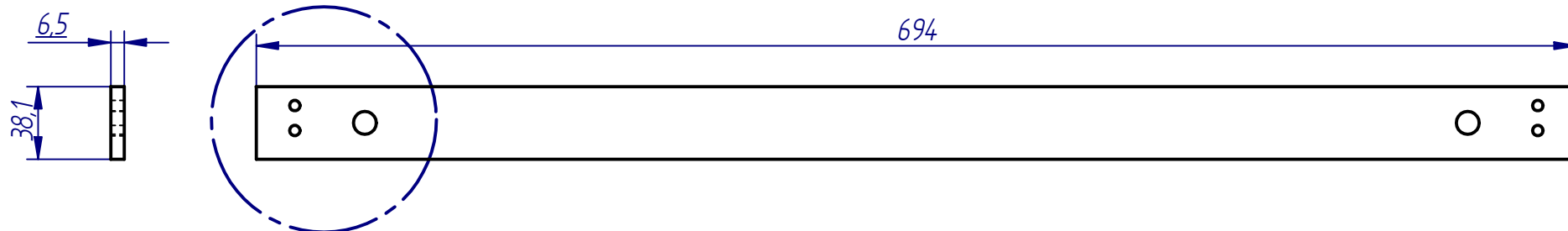
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)		
	Titulo: Porta motor eje Y.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 1,8 Kg	
Escala: 1:3	Plano: 01.17	Tolerancia: ± 0,5 ±1°	



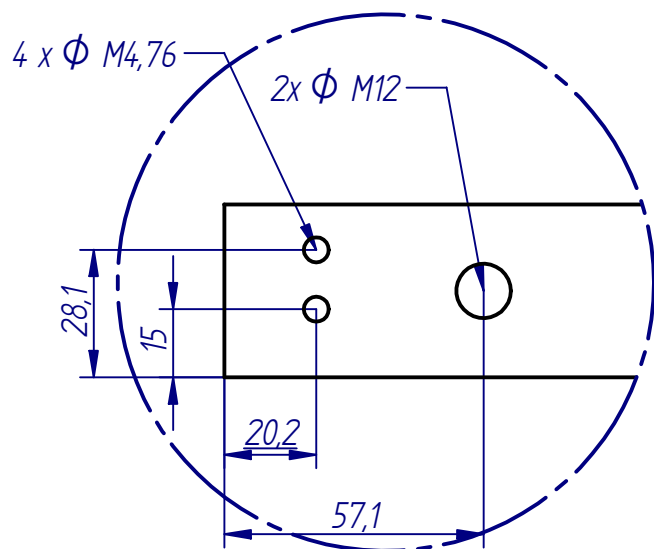
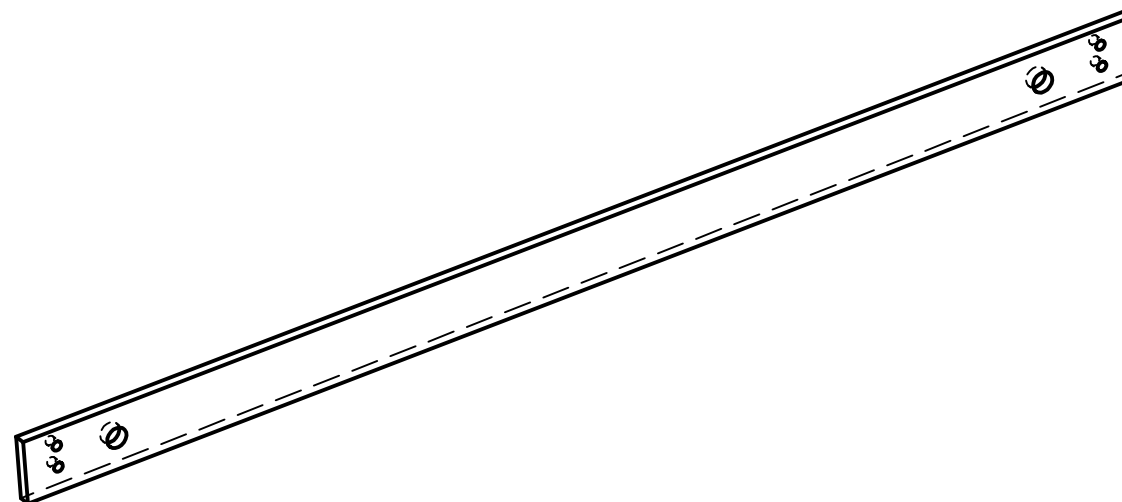
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Porta potenciómetro eje Y.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0,07 Kg	
Escala: 1,5:1	Plano: 01.18	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Soporte eje y polea.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 3	Peso: 0,26 Kg	
Escala: 1:1	Plano: 01.19	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	

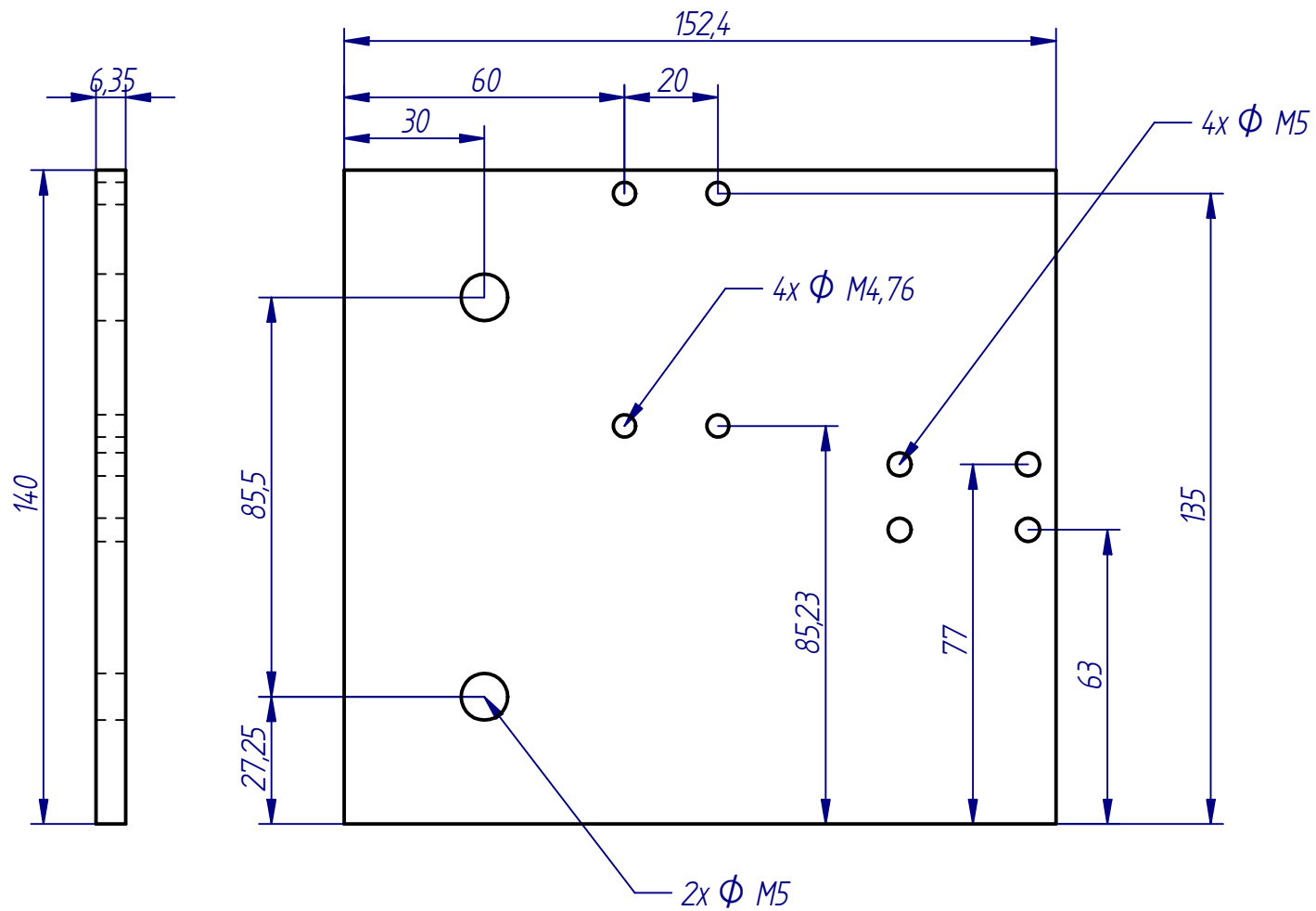
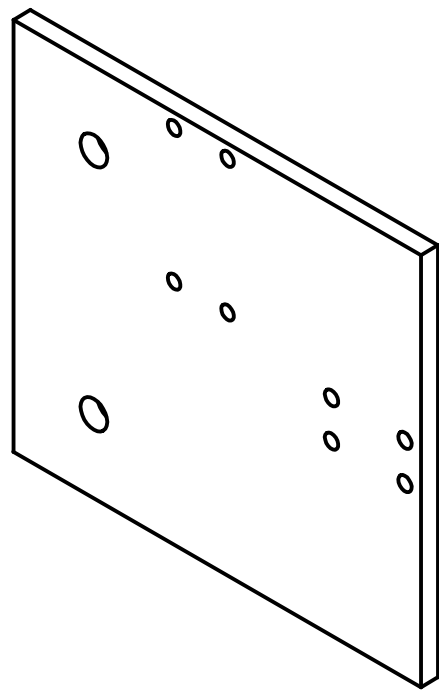


A

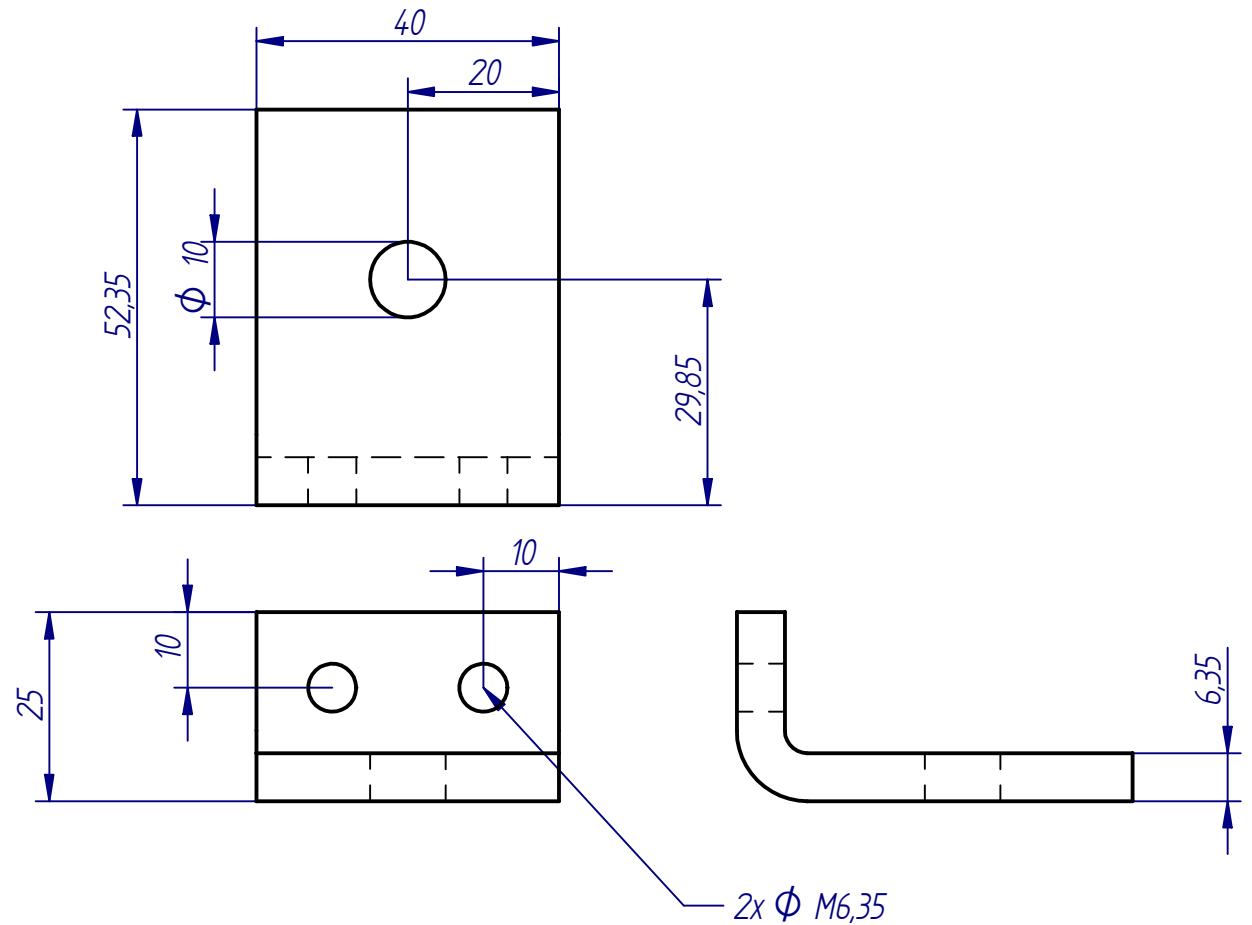
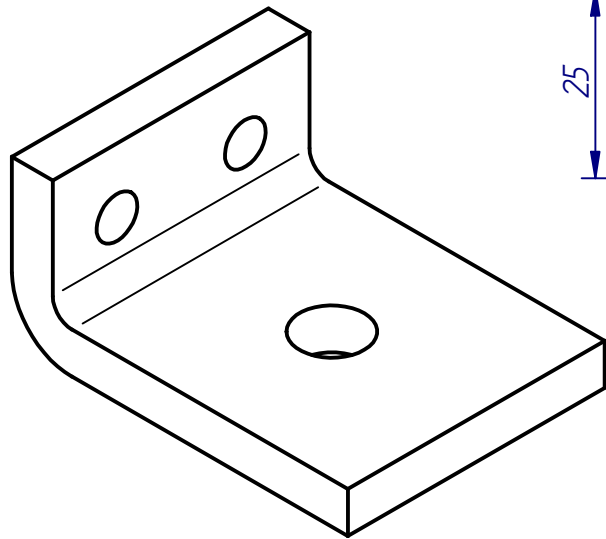




DETALLE A

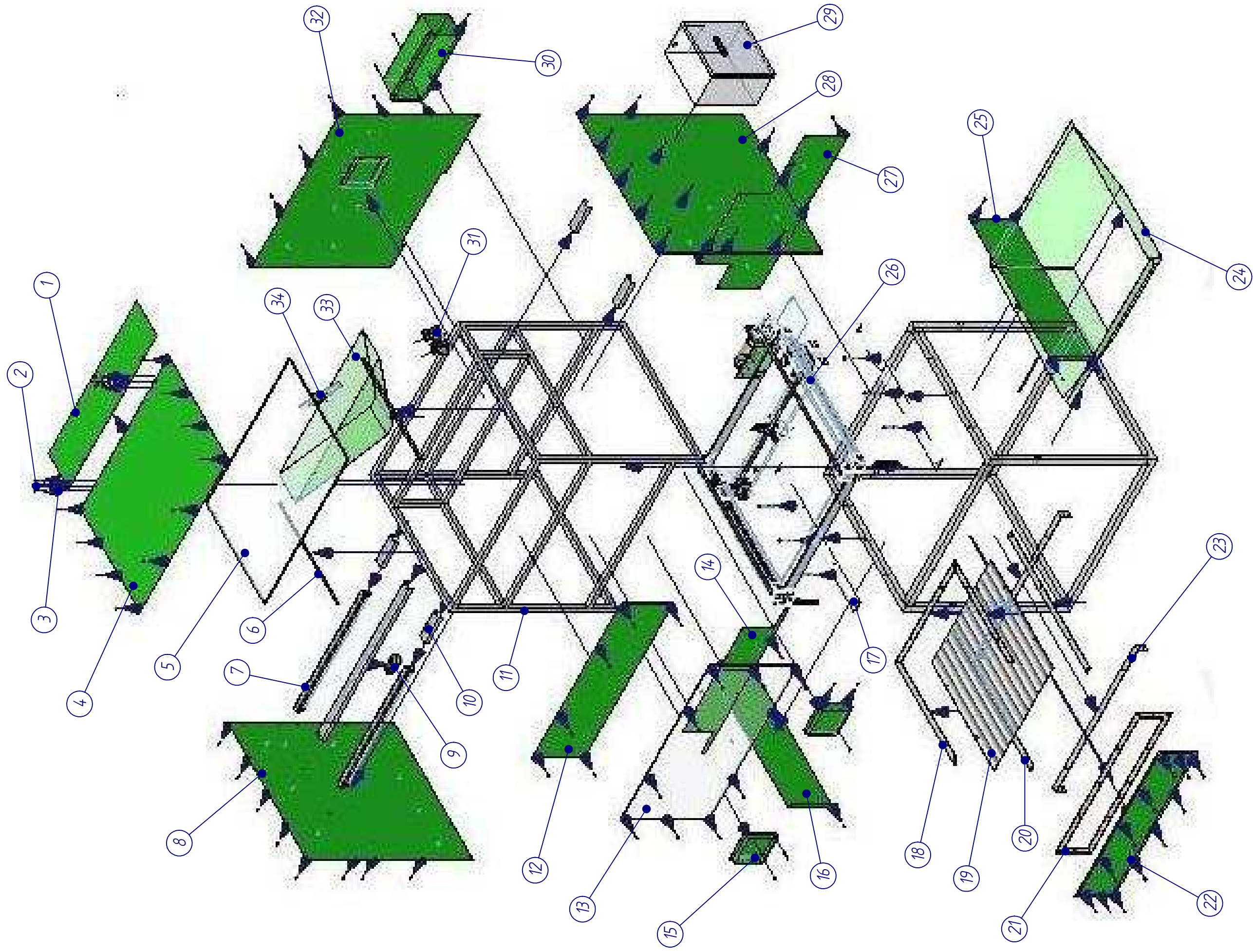
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Paral frontal posicionador.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 1,5 Kg	
Escala: 1:10/3	Plano: 01.20	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Paral eje X lado polea.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0.35 Kg	
Escala: 2:3	Plano: 01.21	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)		
	Titulo: Soporte polea eje X.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 2	Peso: 0.13 Kg	
Escala: 1:1	Plano: 01.22	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

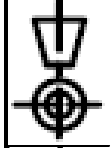
Título: Explosionado General

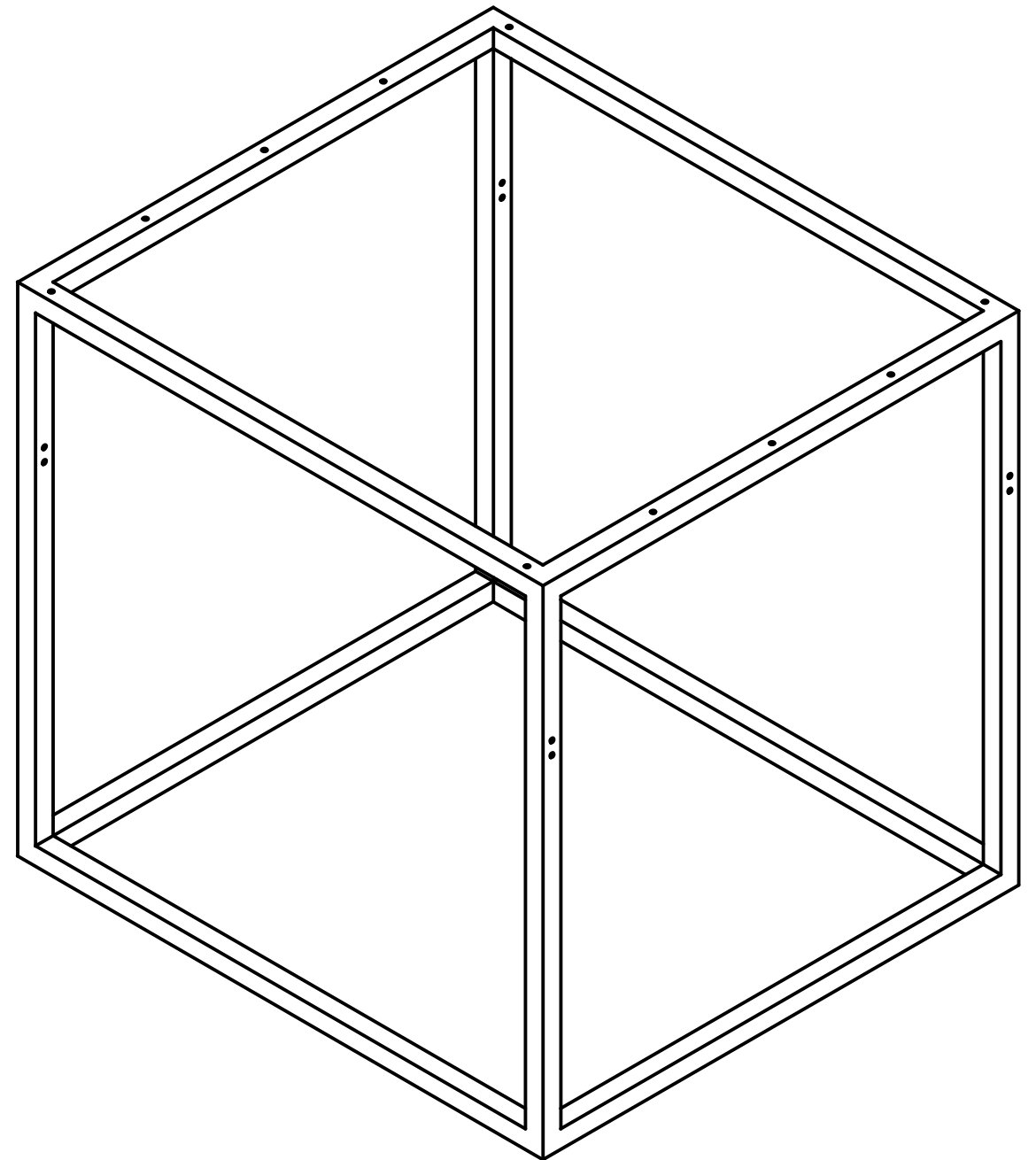
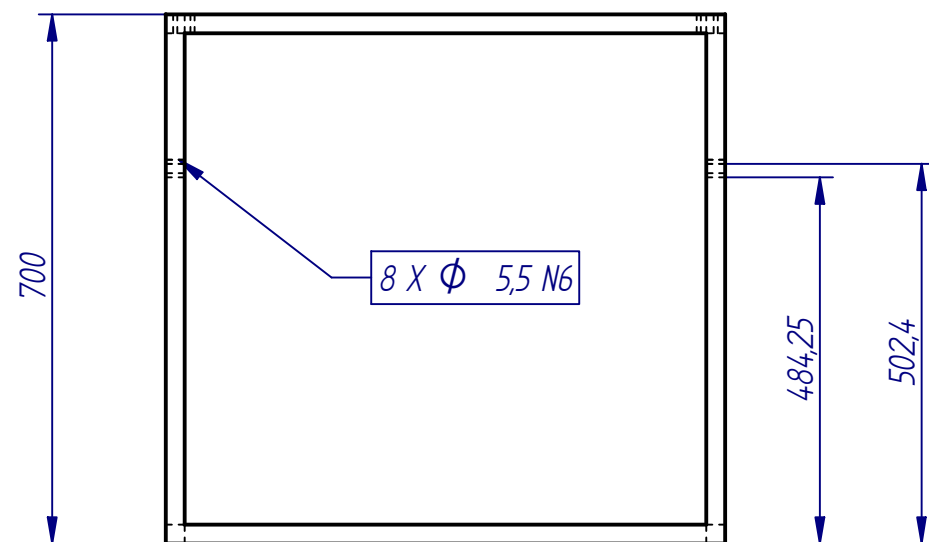
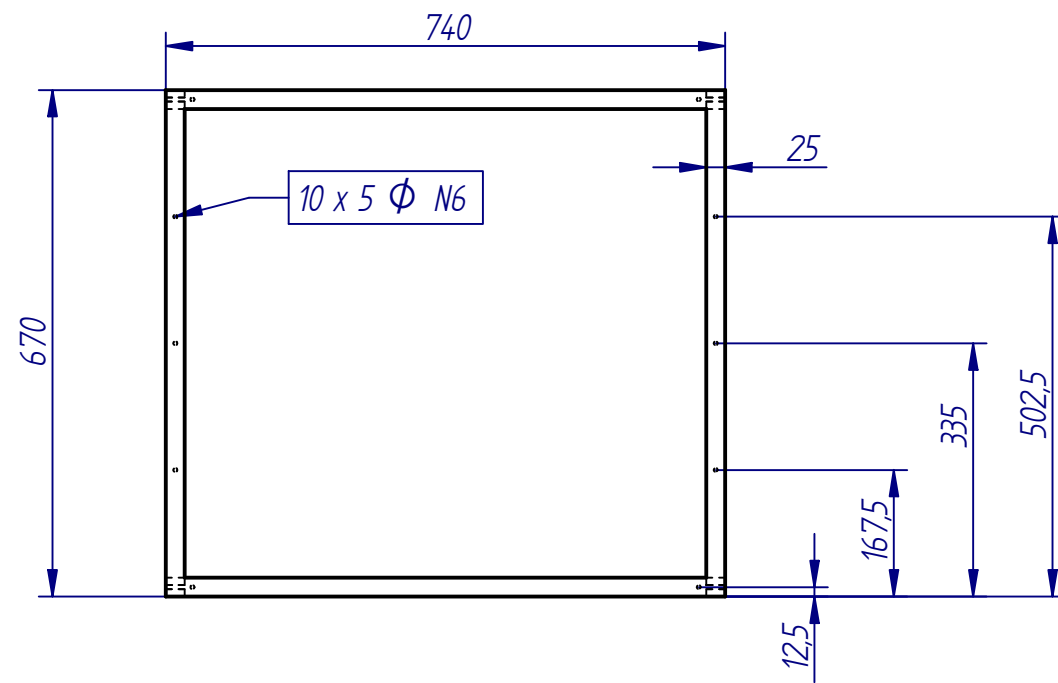
Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:



Escala: 1:10	Plano: 02.00	Cantidad: 2	Peso:
			Tolerancia: ± 0,5 ±1°

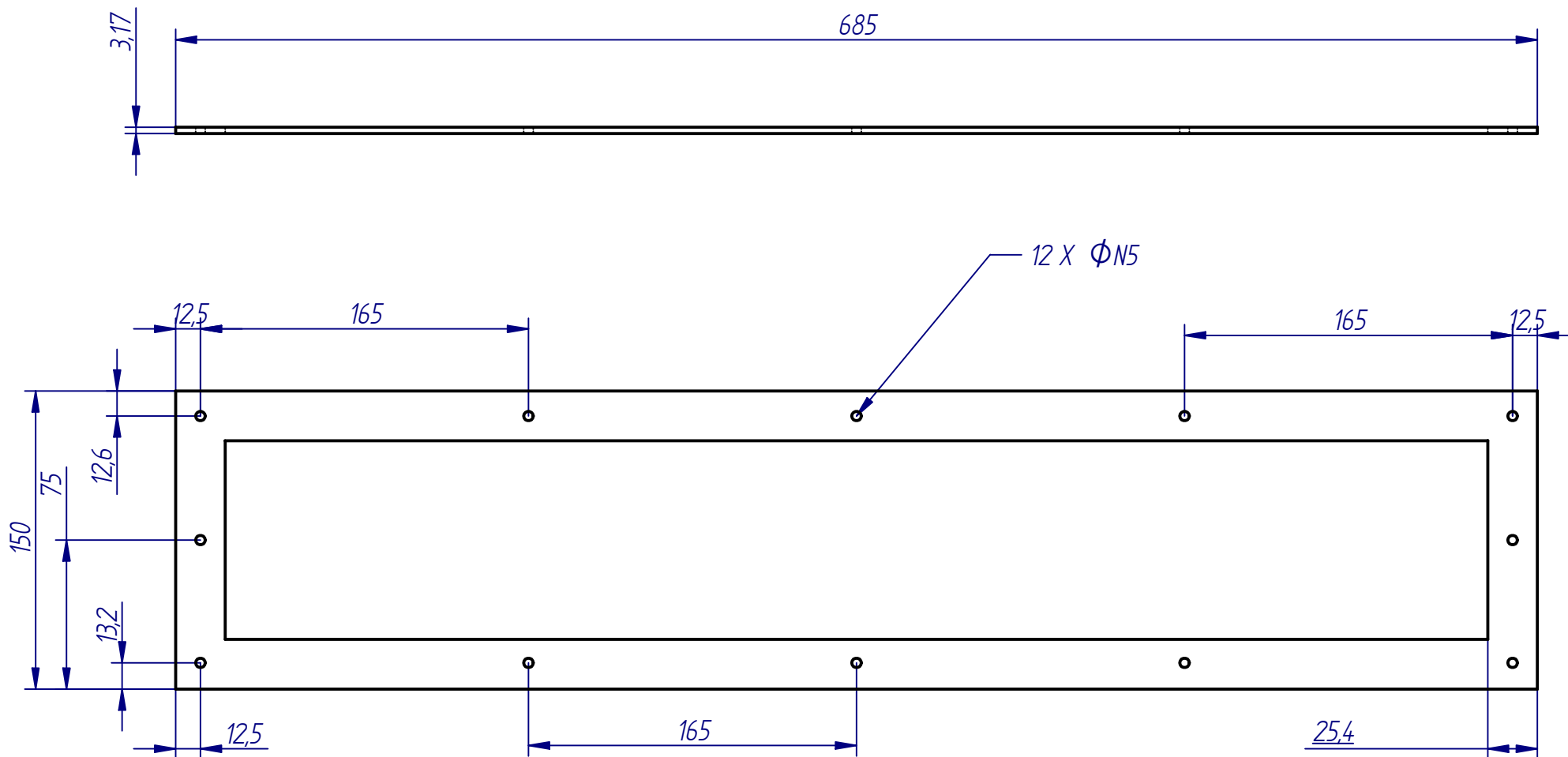
SOLID EDGE ACADEMIC CO





SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Estructura bancada posicionador.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
Revisado Por:			
Material: Tubo cuadrado Acero	Cantidad: 1	Peso: 4.5 Kg	
Escala: 1:10	Plano: 02.01	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	
			



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Base puerta para admisión vidrio.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Platina acero 1020

Cantidad: 1

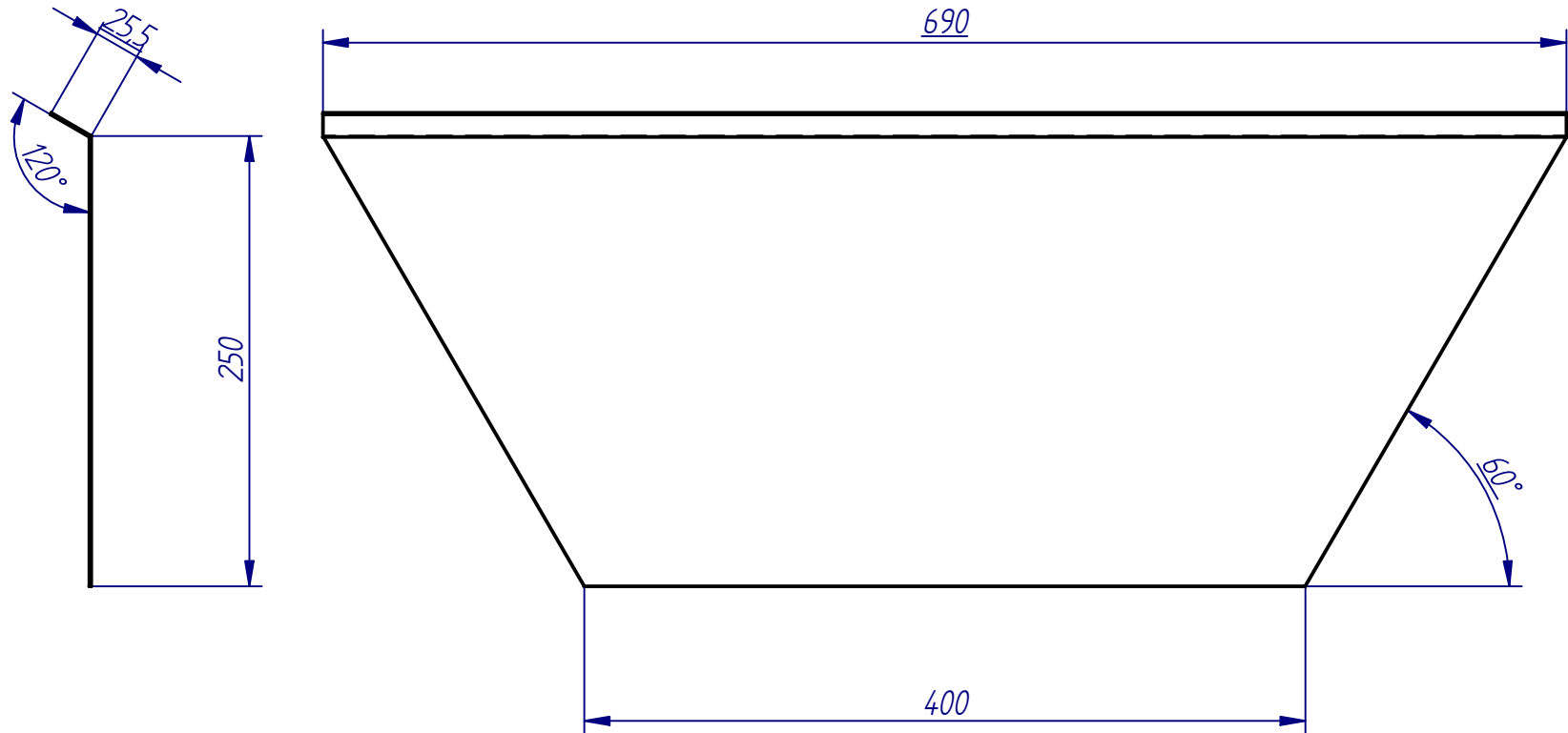
Peso: 1 kg



Escala: 1:3

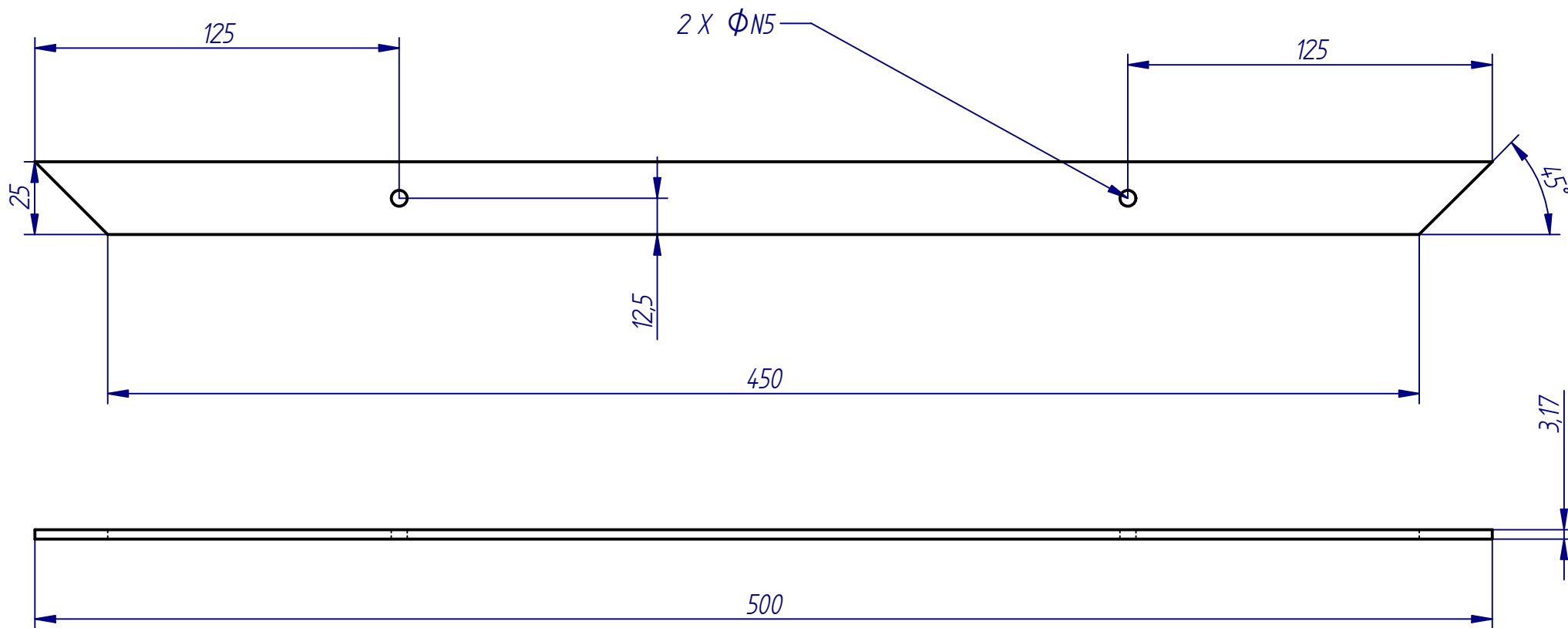
Plano: 02.02



Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$

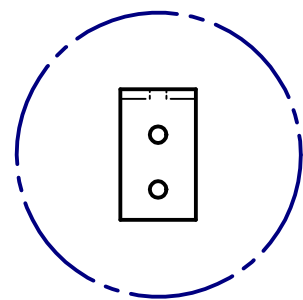
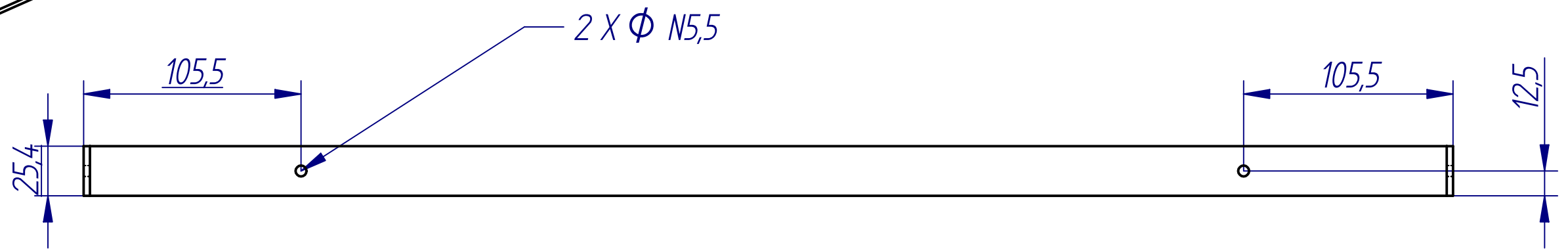
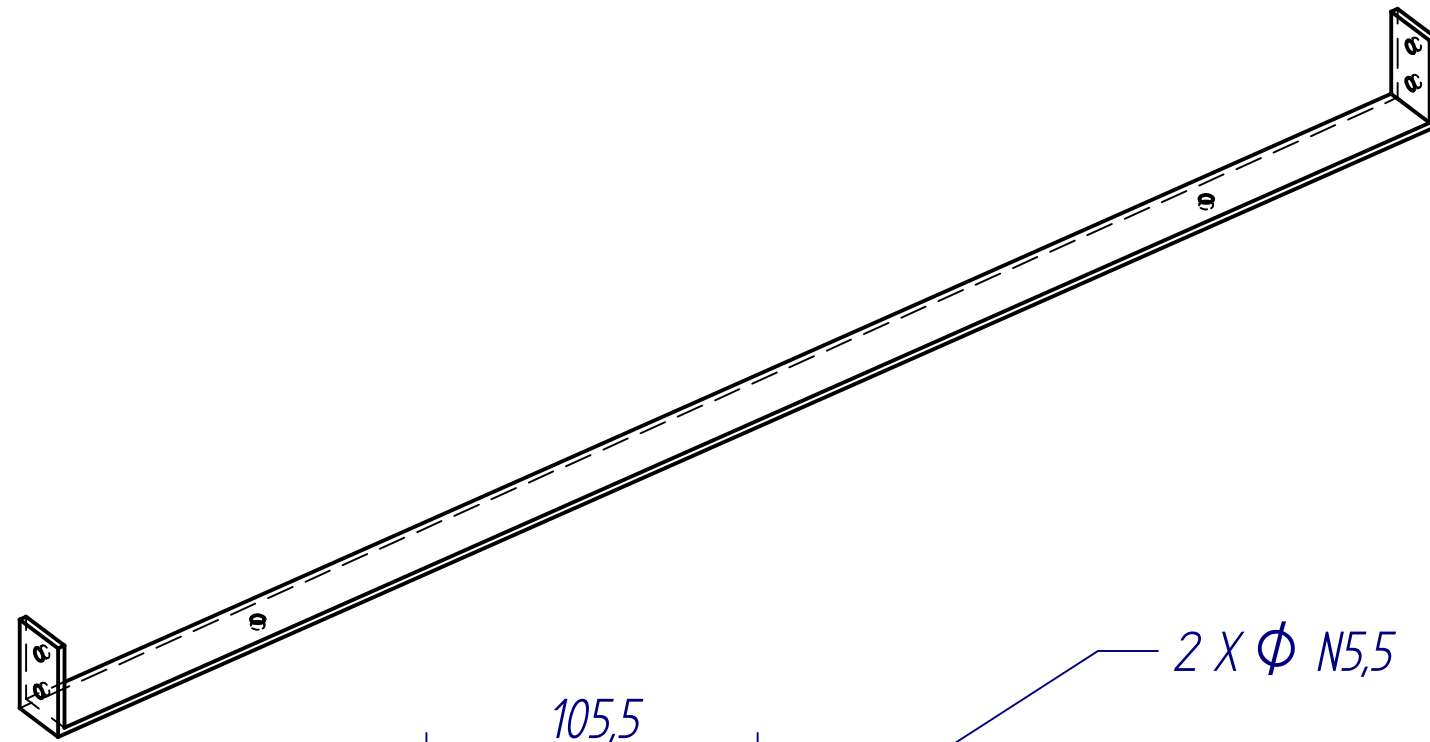




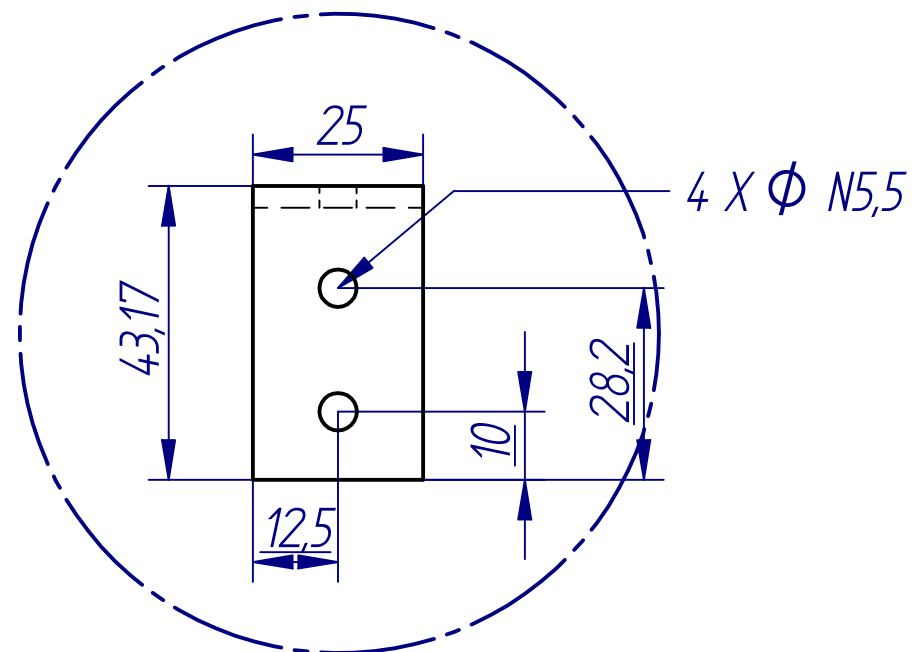
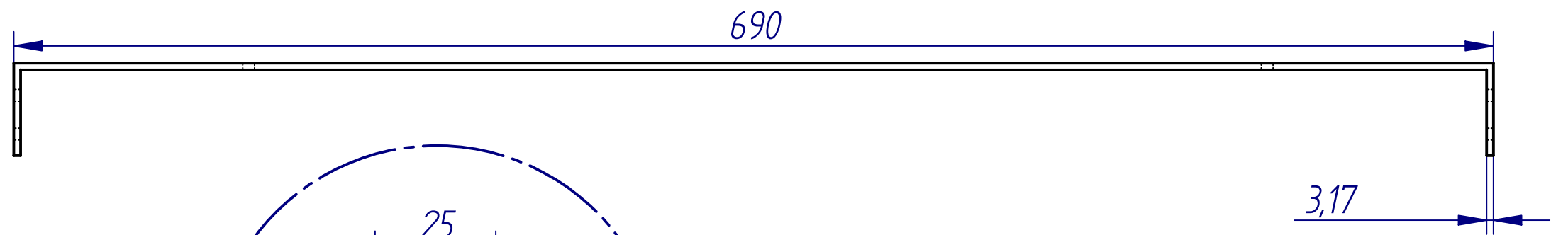
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa lateral (Tolva inferior).		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: lamina acero	Cantidad: 2	Peso: 1 Kg	
Escala: 1:4	Plano: 02.03	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Guia para marco vidrio		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Platina acero	Cantidad: 3	Peso: 0.3 Kg	
Escala: 1:2	Plano: 02.04	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



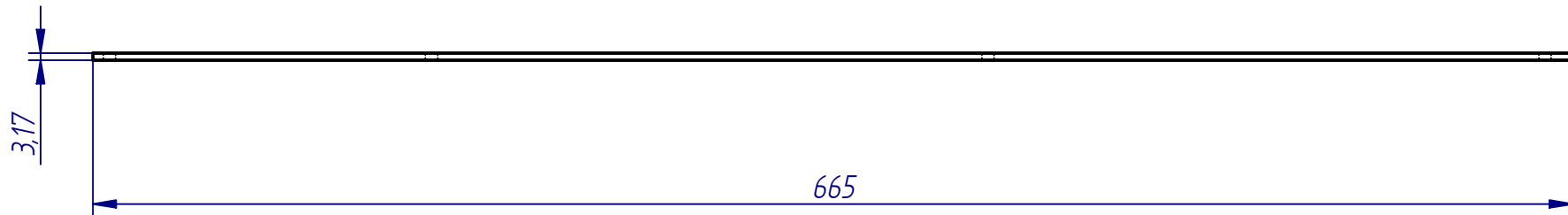
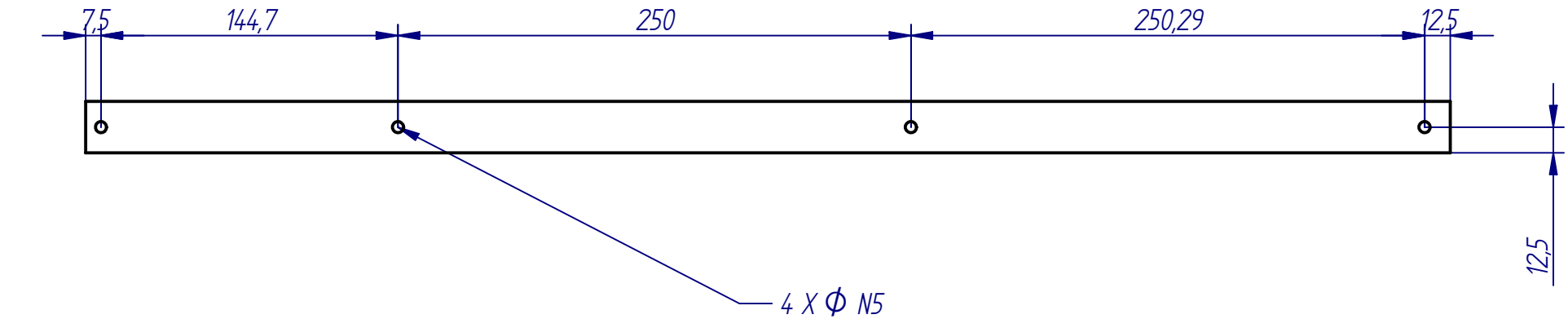
A





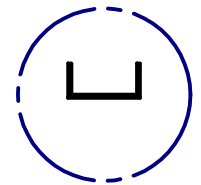
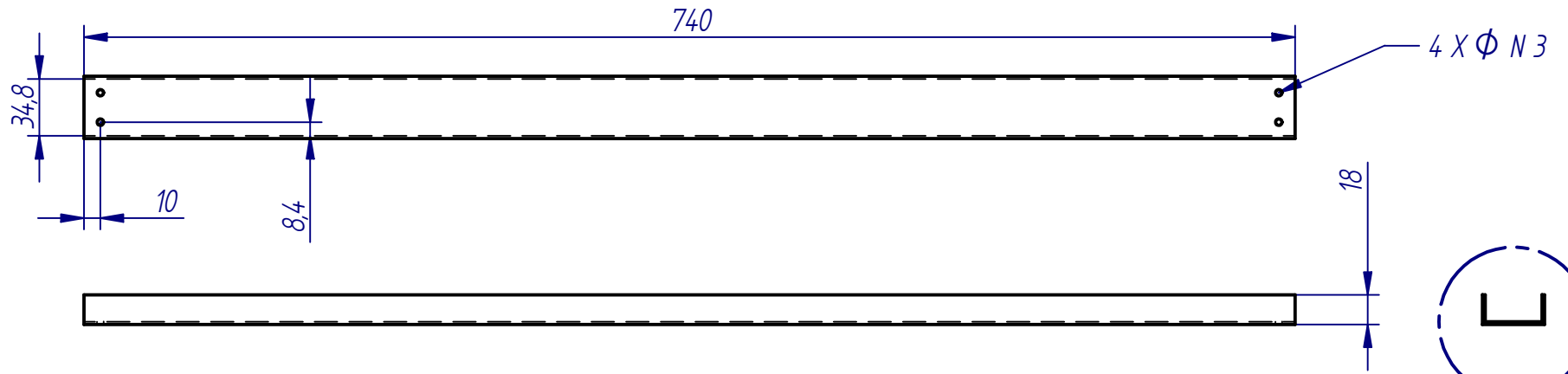
SOLID EDGE ACADEMIC COPY DETALLE A

	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)		
	Titulo: Platina base soporte vidrio.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 2	Peso:	
Escala: 1:3	Plano: 02.05	Tolerancia: ± 0,5 ±1°	

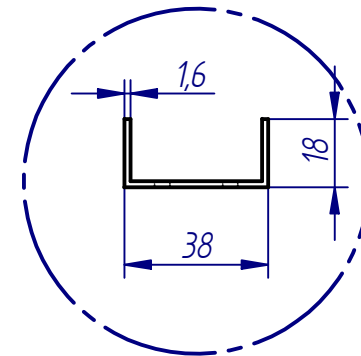




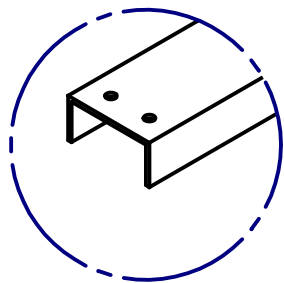
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Platina soporte rejilla vidrio.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Acero 1020	Cantidad: 1	Peso: 0.41 Kg	
Escala: 1:3	Plano: 02.06	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



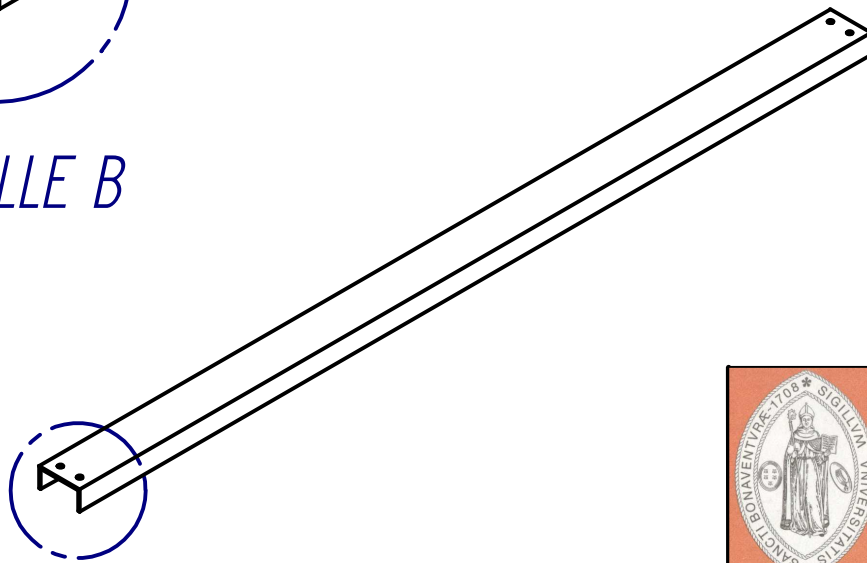
A





DETALLE A

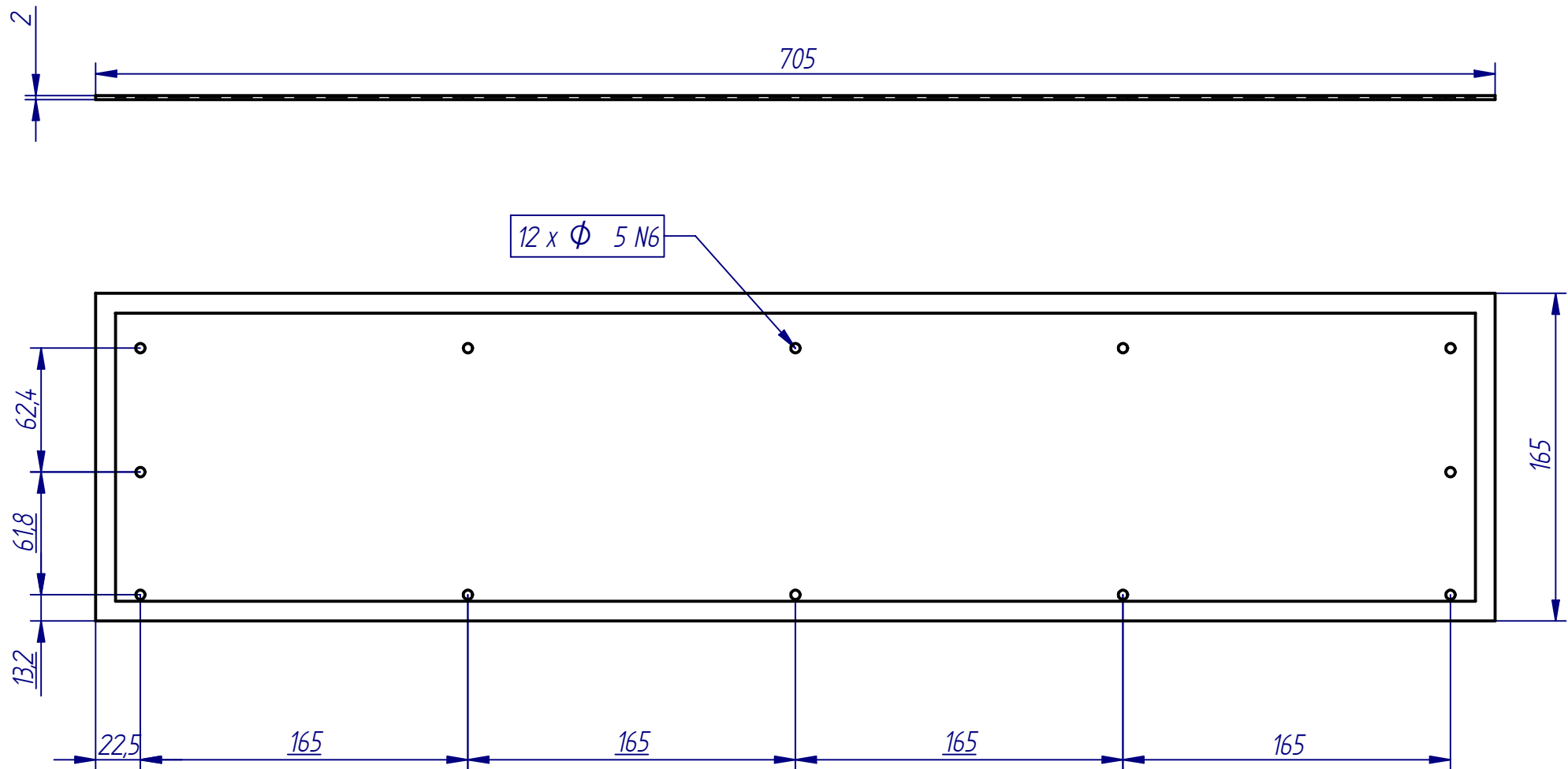




DETALLE B

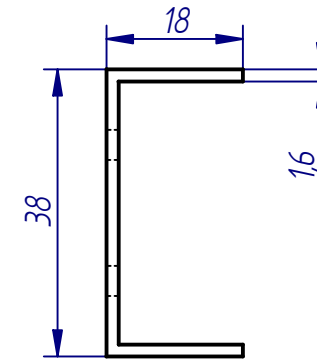
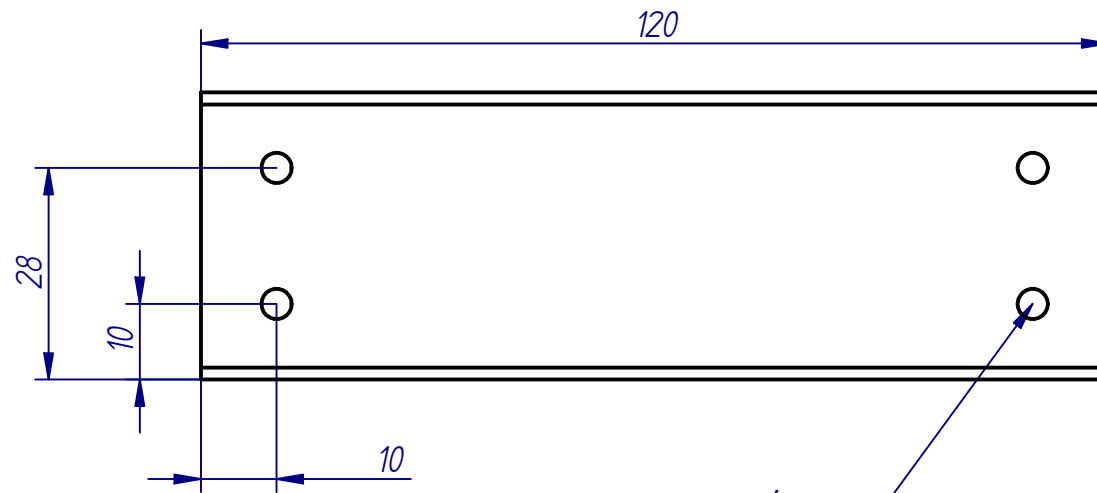


B

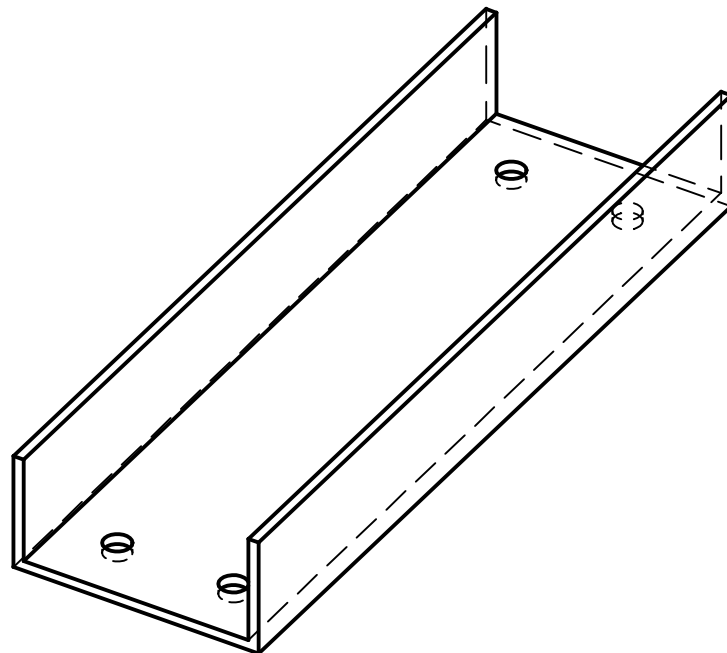
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Soporte camara.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
Revisado Por:			
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 1	Peso: 0.25 Kg	
Escala: 1:4	Plano: 02.07	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





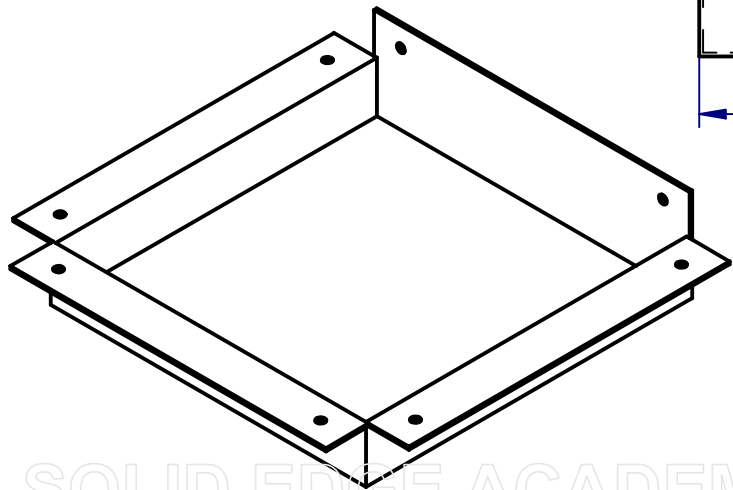
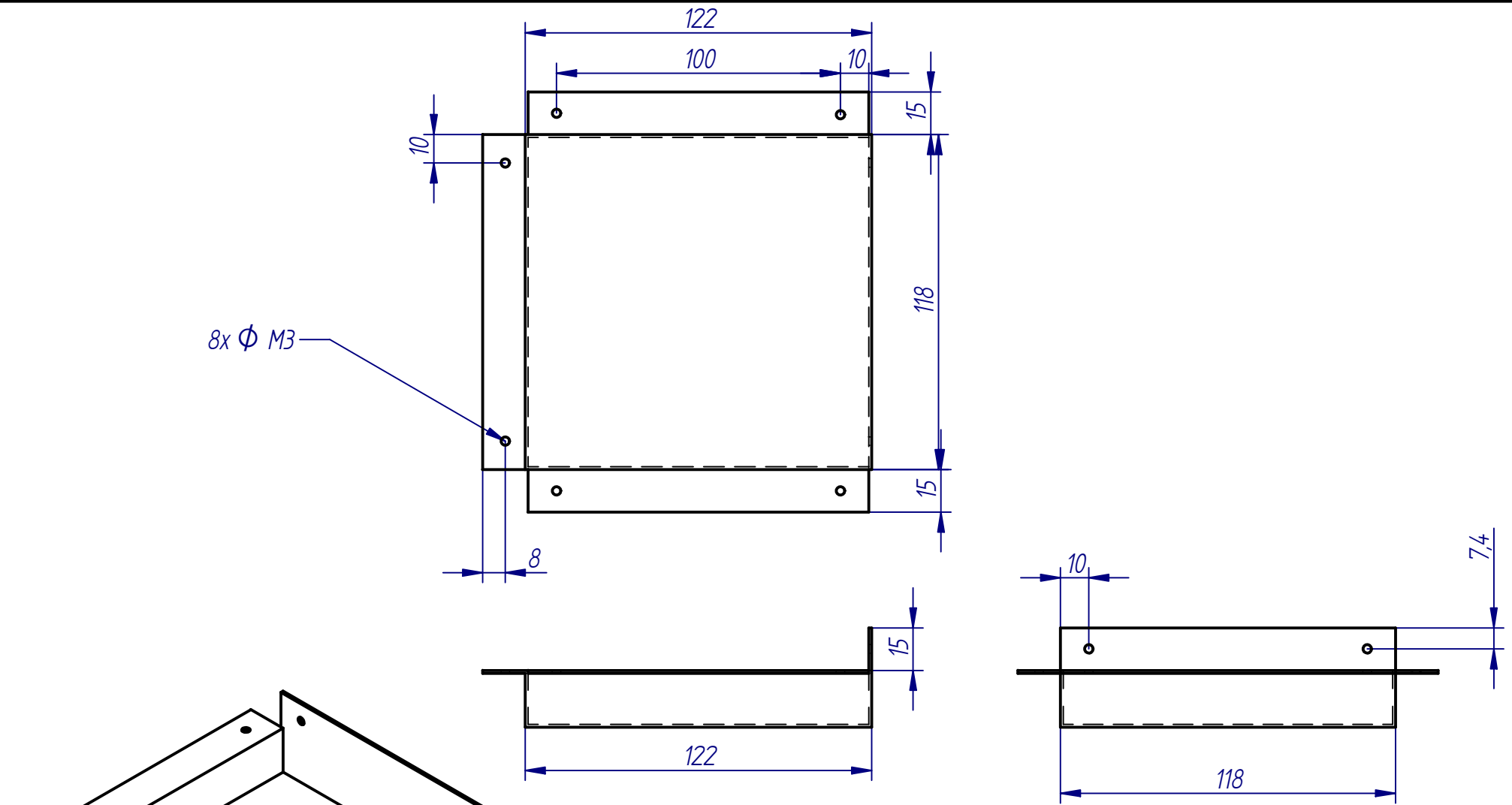
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa puerta admision vidrio.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 0.3 Kg	
Escala: 1:3	Plano: 02.08	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





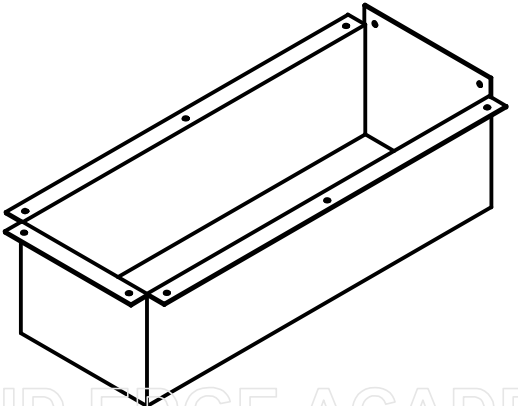
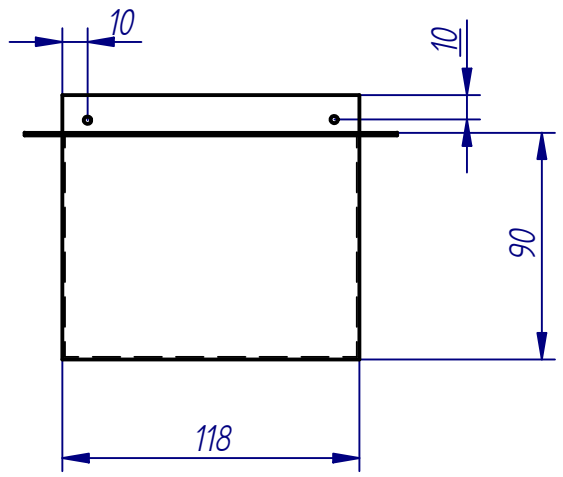
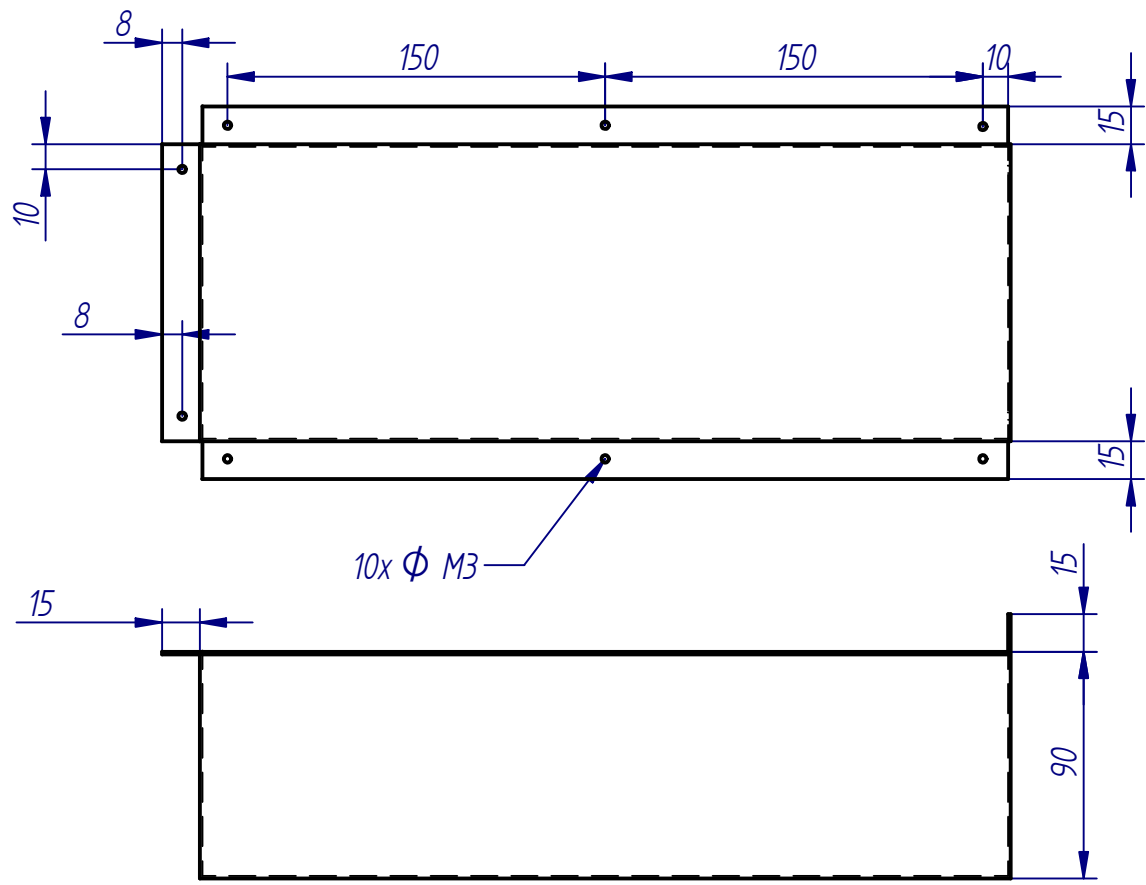
4 x Φ M4





	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Soporte lampara.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Aluminio 6061	Cantidad: 4	Peso: 0,040 Kg	
Escala: 1:1	Plano: 02.09	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	
			

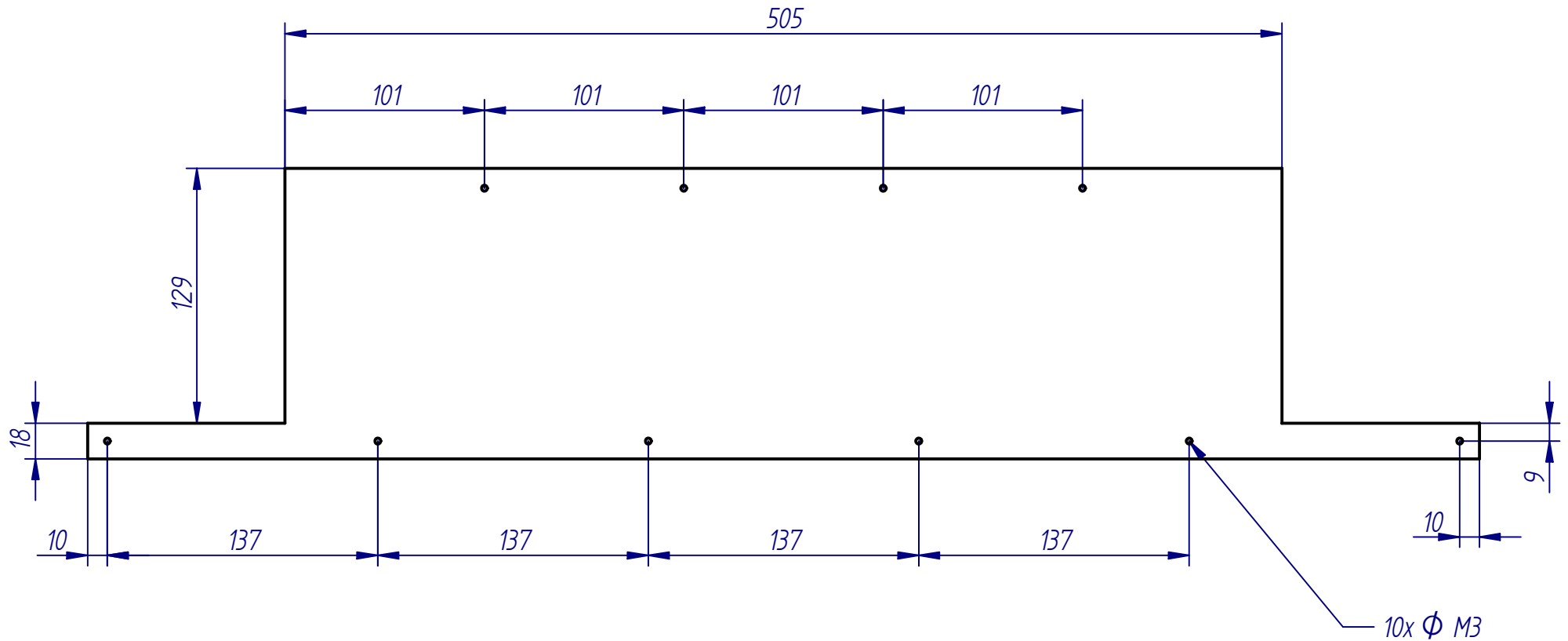




	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa de proteccion soporte polea.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
Revisado Por:			
Material: Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 0,110 Kg	
Escala: 1:2	Plano: 02.10	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	

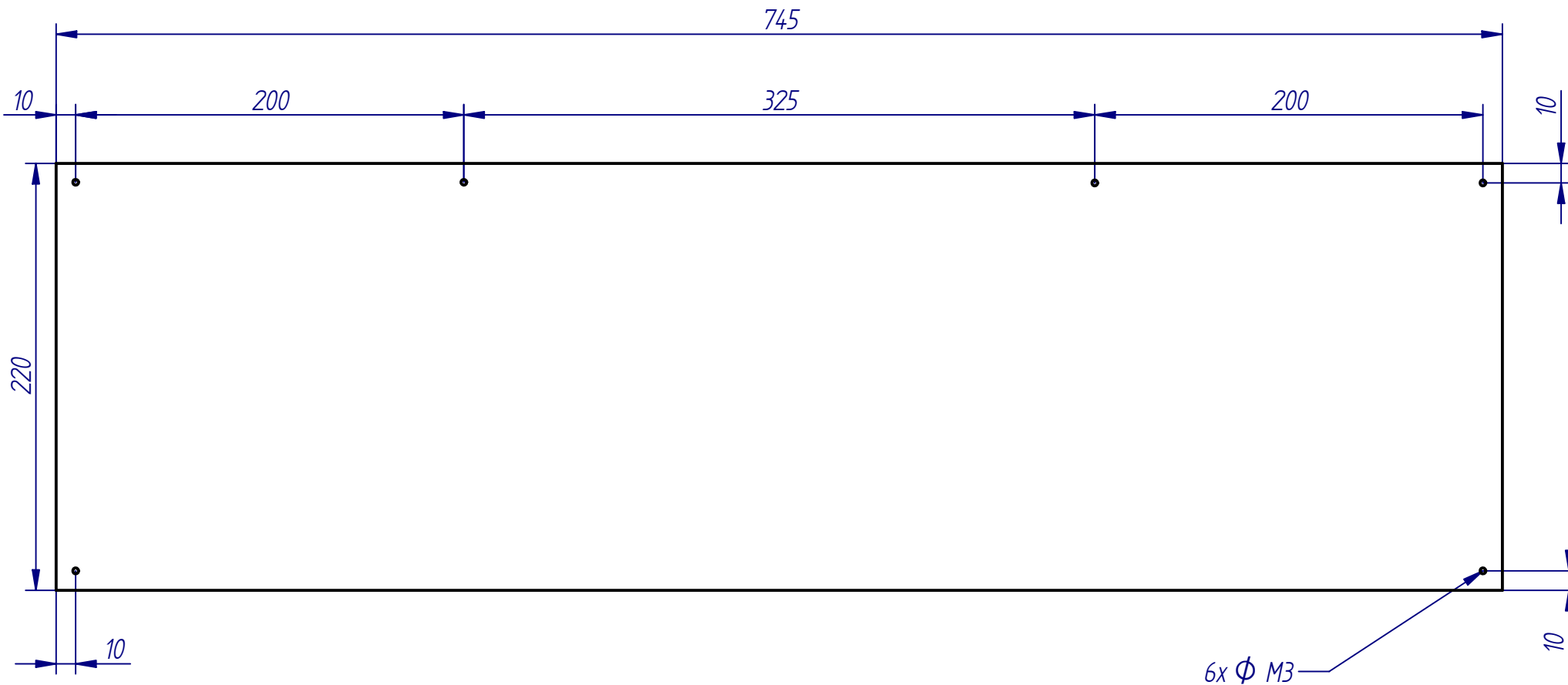


10x Ø M3



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa de proteccion motor eje Y.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
Revisado Por:			
Material:	Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 0,7 Kg
Escala: 1:3	Plano: 02.11	Tolerancia: ± 0,5 ±1°	

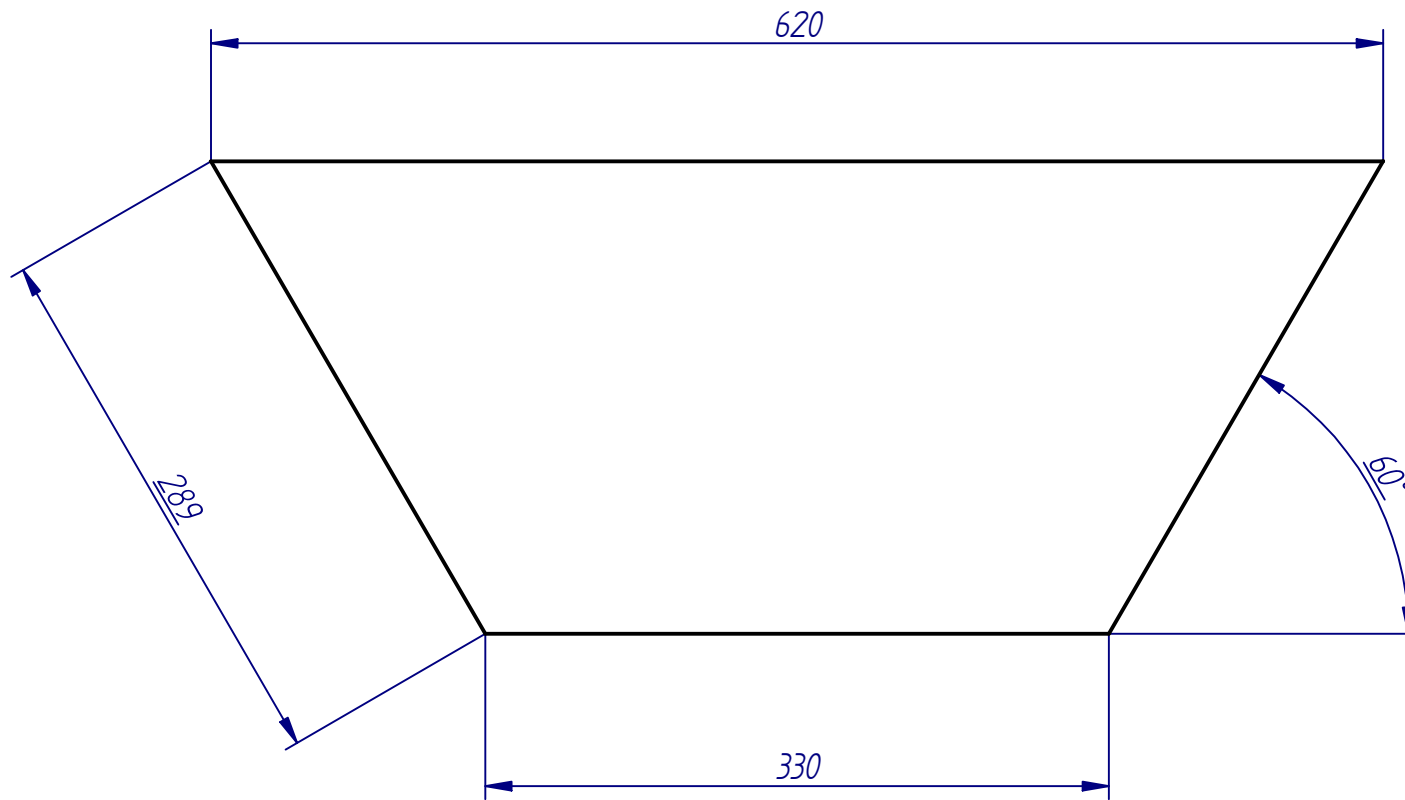




	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa frontal bancada posicionador.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 1,2 Kg	
Escala: 1:3	Plano: 02.12	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	

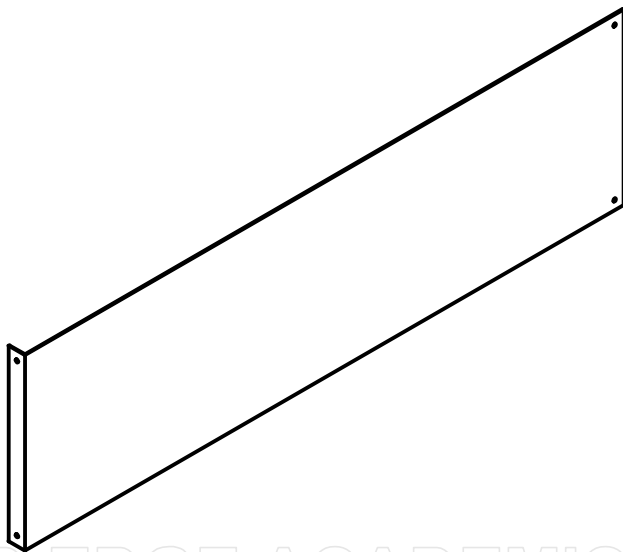
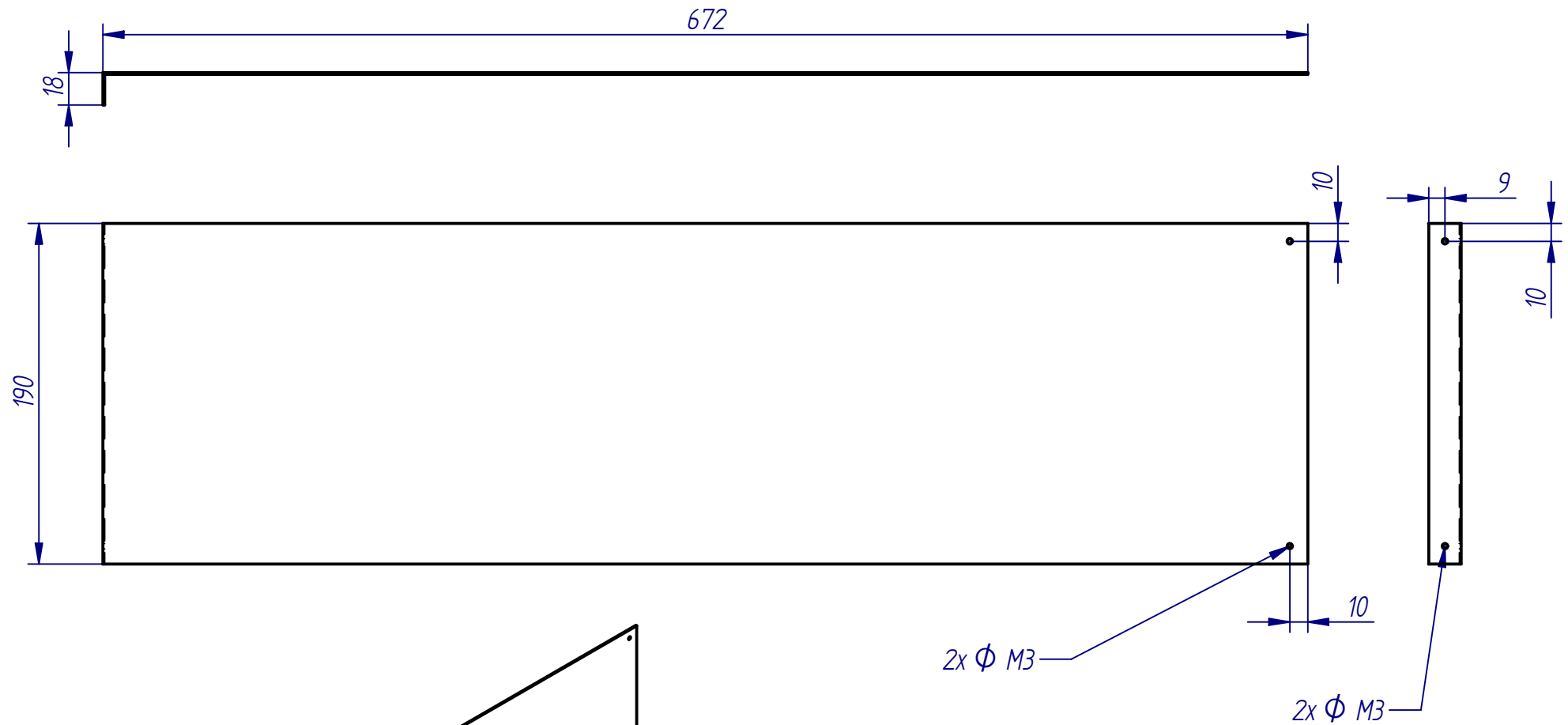




6x ϕ M3

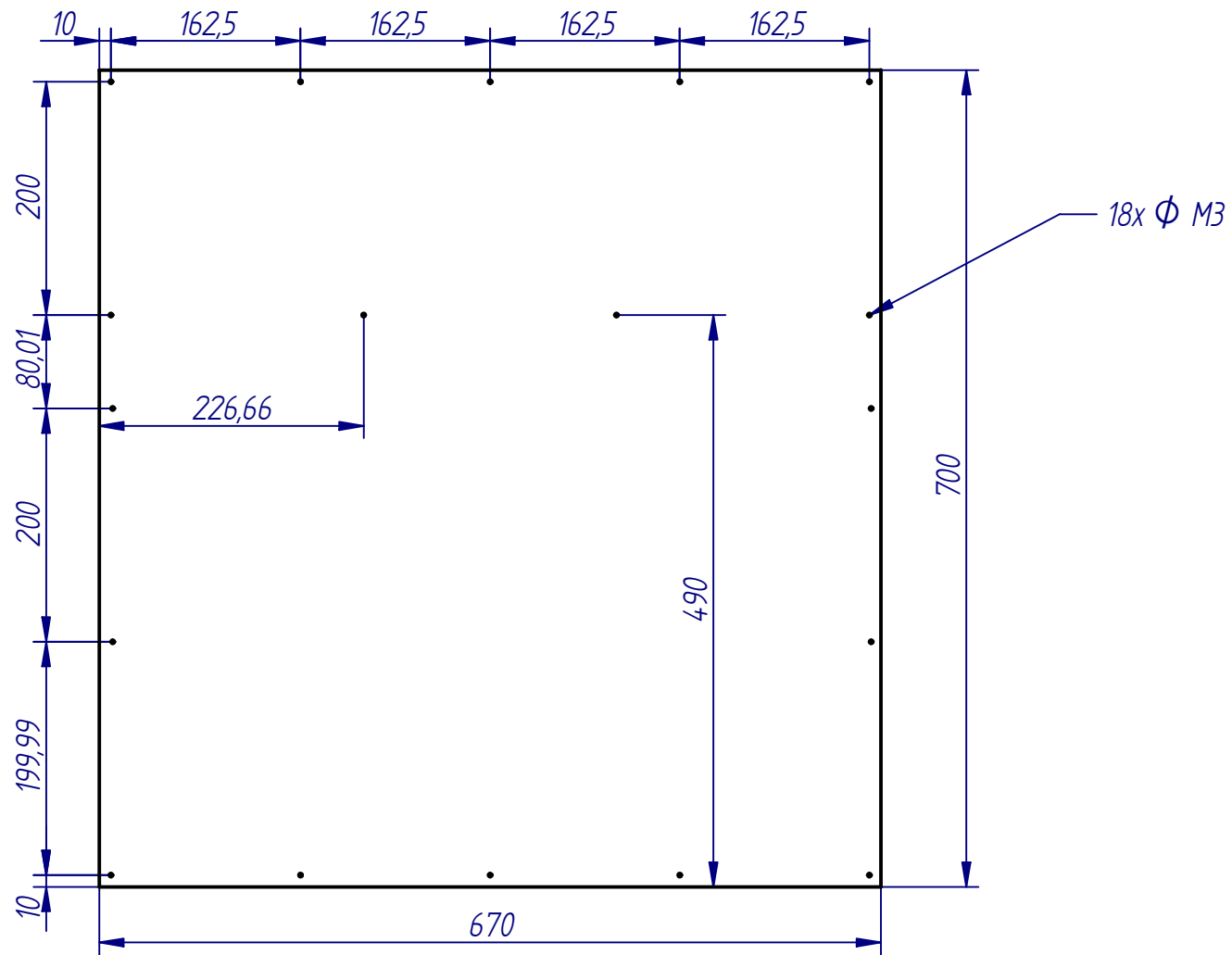
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa frontal cabina vision.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 1,5 Kg	
Escala: 1:3	Plano: 02.13	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	





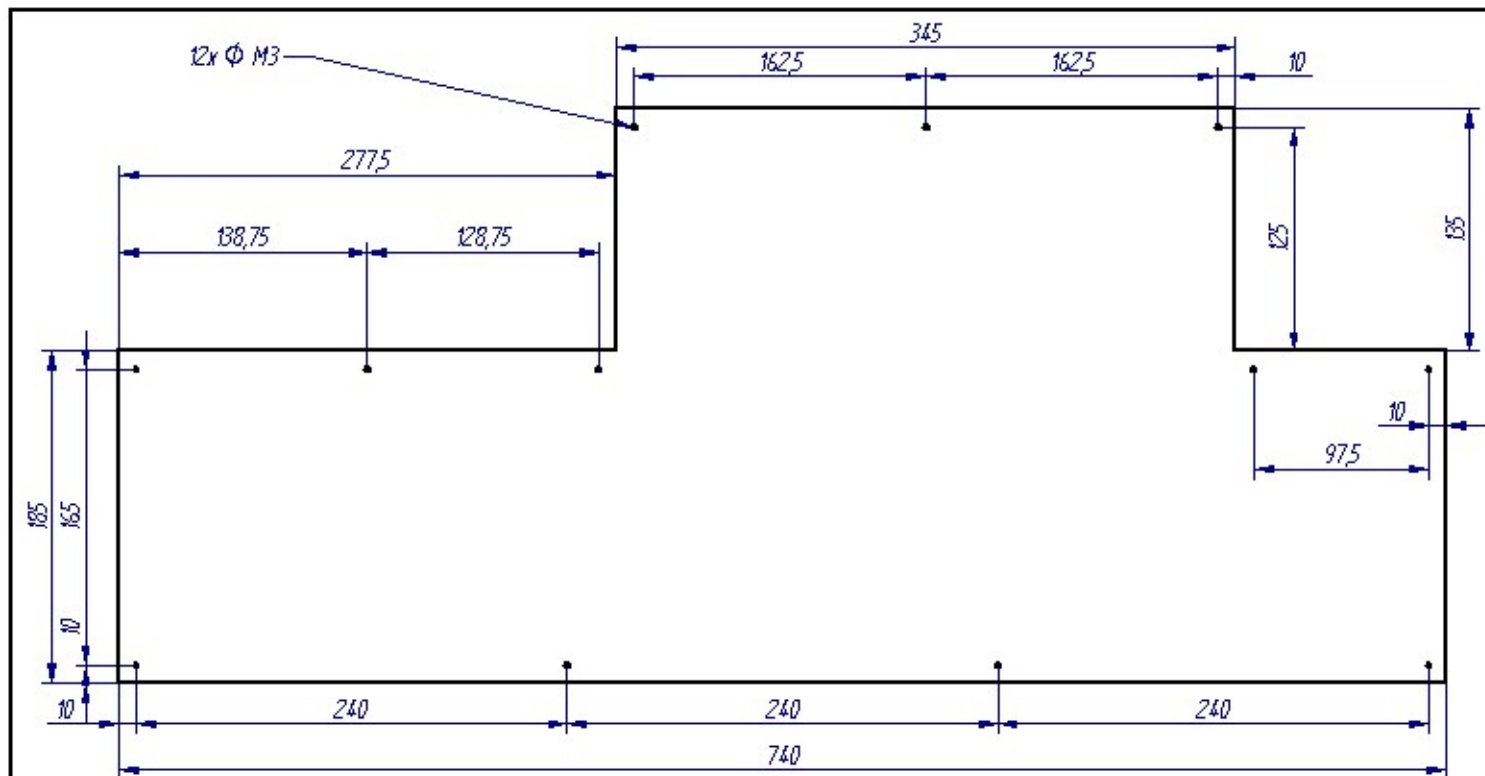
	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa frontal tolva inferior.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: lamina acero	Cantidad: 2	Peso: 1,2 Kg	
Escala: 1:4	Plano: 02.14	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa lateral cabina Vision.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Lamina acero	Cantidad: 2	Peso: 1,1 Kg	
Escala: 1:6	Plano: 02.15	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tapa lateral cabina Vision.		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Lamina acero	Cantidad: 2	Peso: 3,7 Kg	
Escala: 1:6	Plano: 02.16	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA ISEDE BOGOTÁ

Título: Tapa posterior cabina visión.

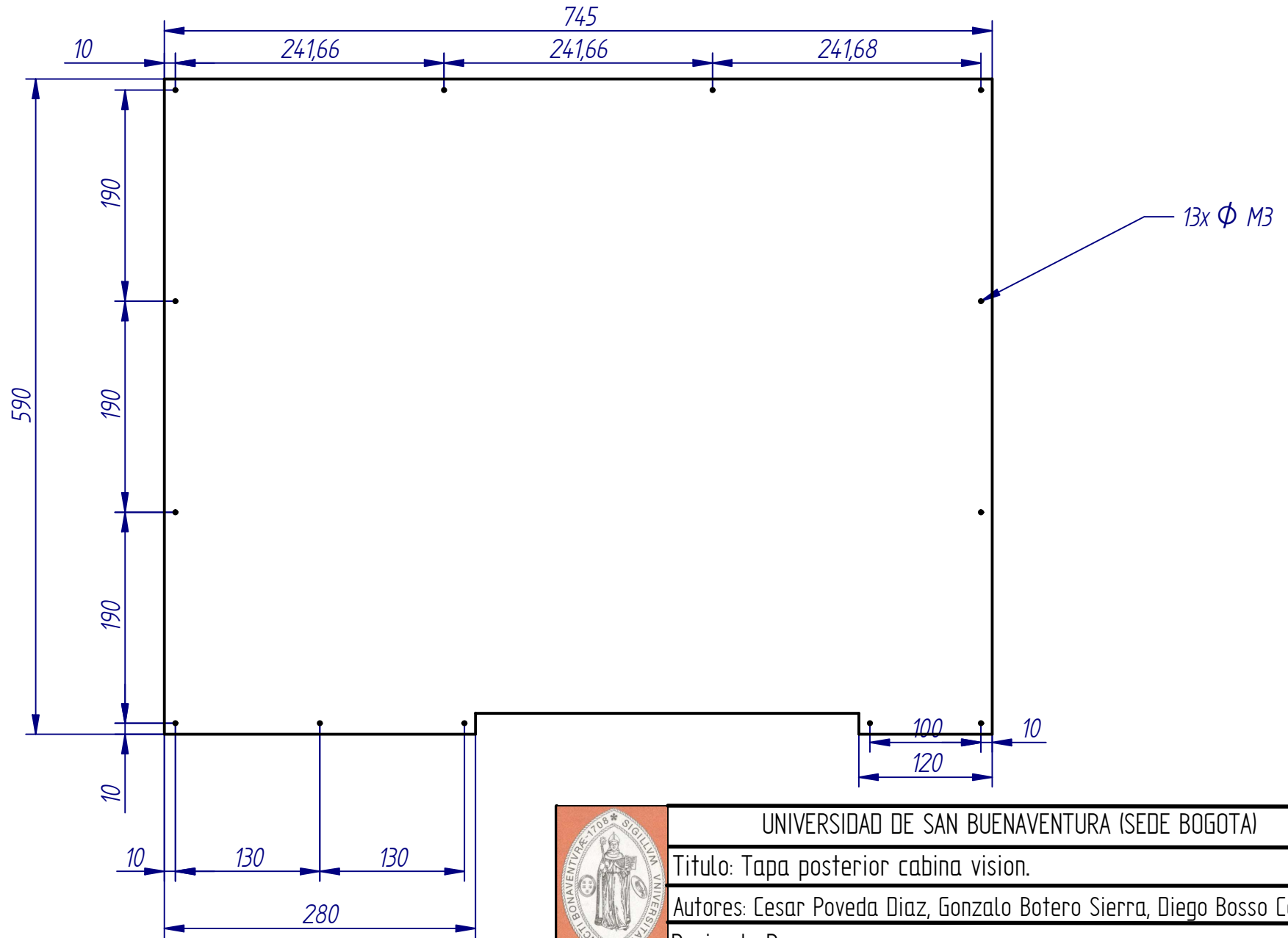
Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bossó Cortina.

Revisado Por:

Material: Lamina acero | Cantidad: 1 | Peso: 1,9 Kg

Escala: 1:5 | Plano: 02.17 | Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$





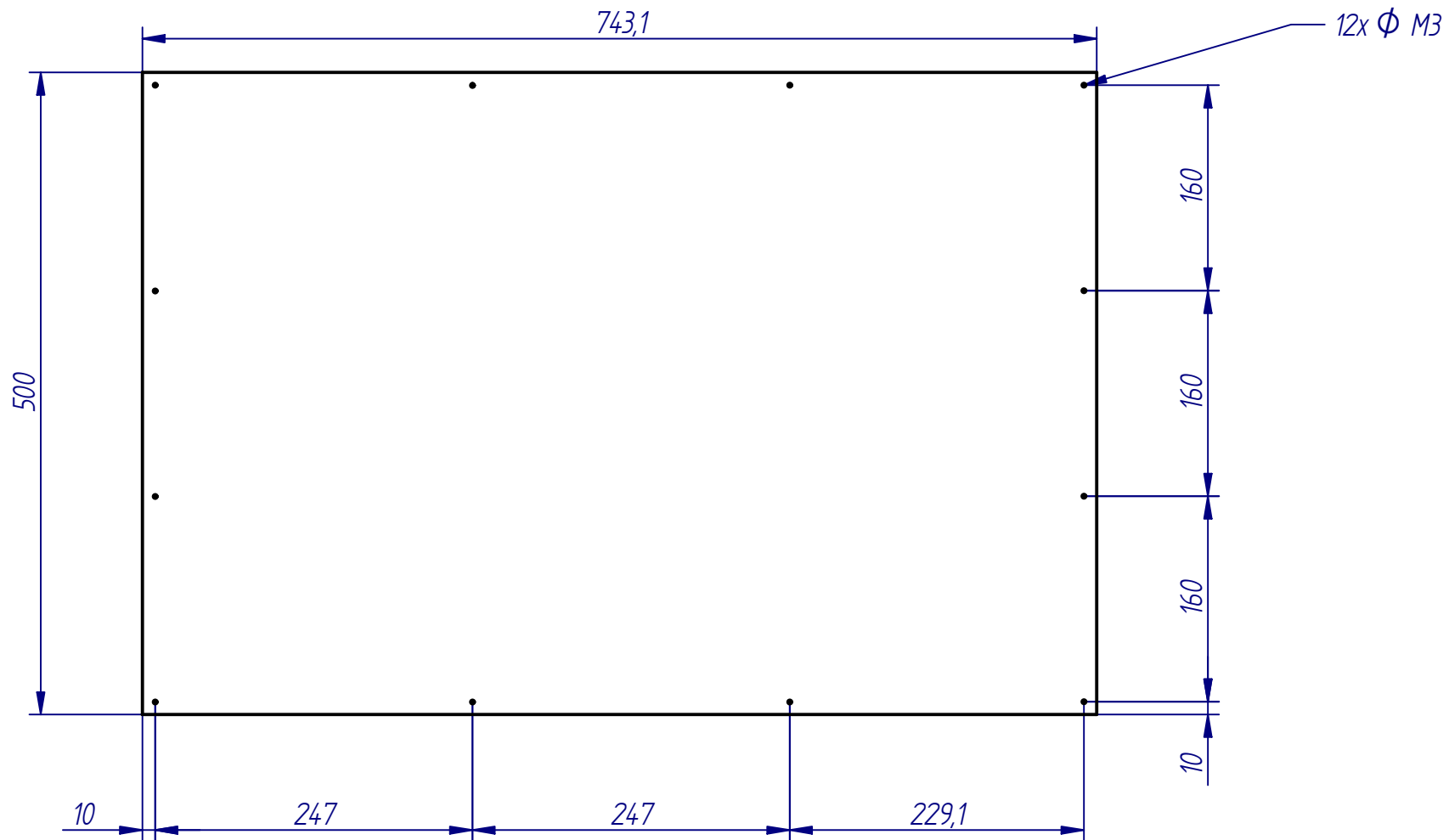
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Tapa posterior cabina vision.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 3,6 Kg	
Escala: 1:5	Plano: 02.18	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Tapa superior cabina vision.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Lamina acero

Cantidad: 1

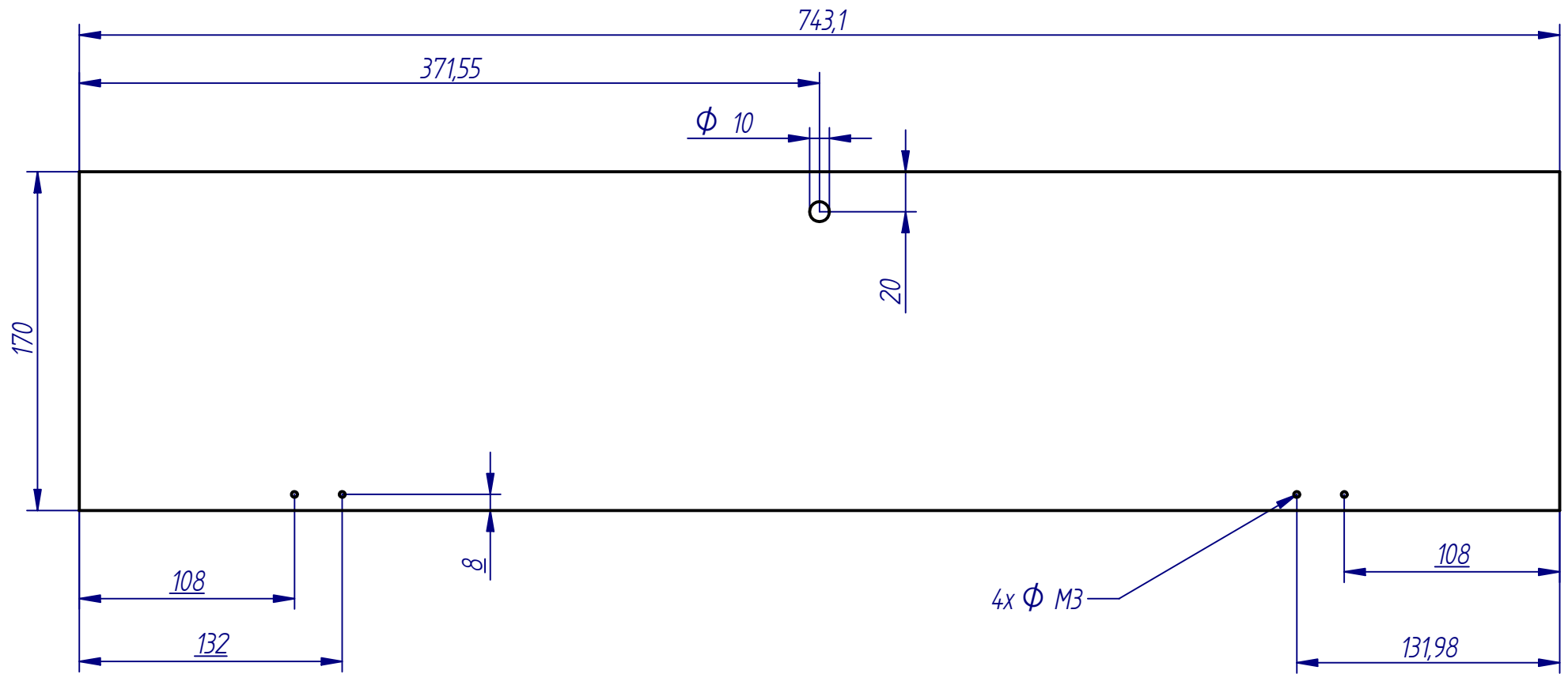
Peso: 3 Kg

Escala: 1:5

Plano: 02.19

Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$





UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTÁ)

Título: Tapa tolva superior.

Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina

Revisado Por:

Material: Lamina acero

Cantidad: 1

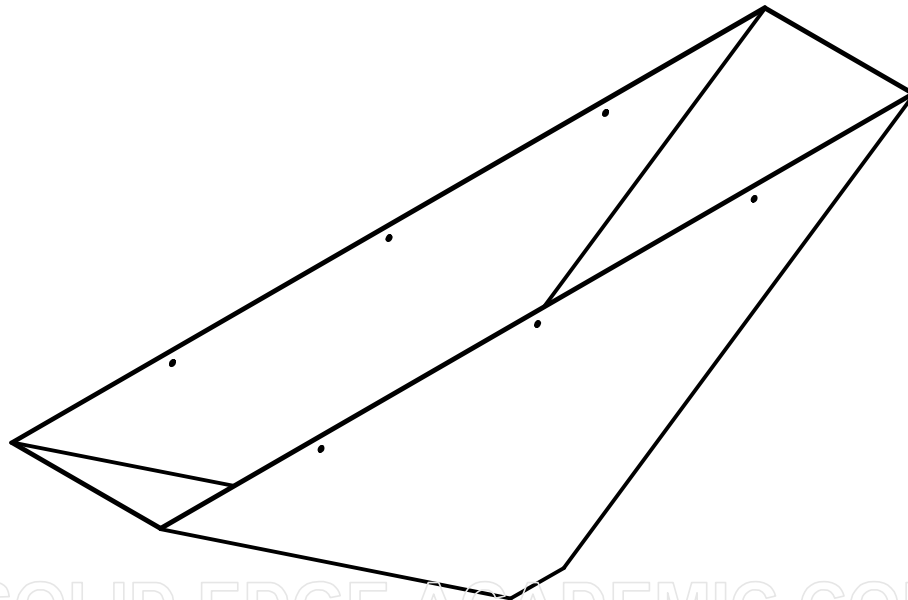
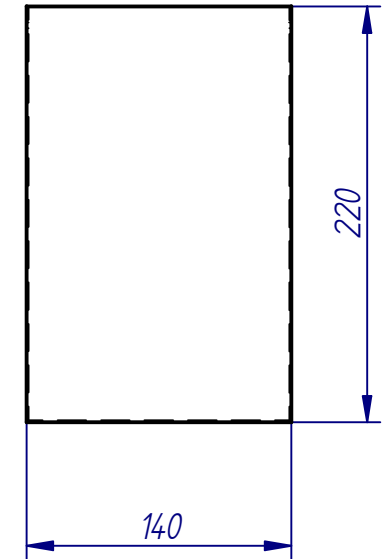
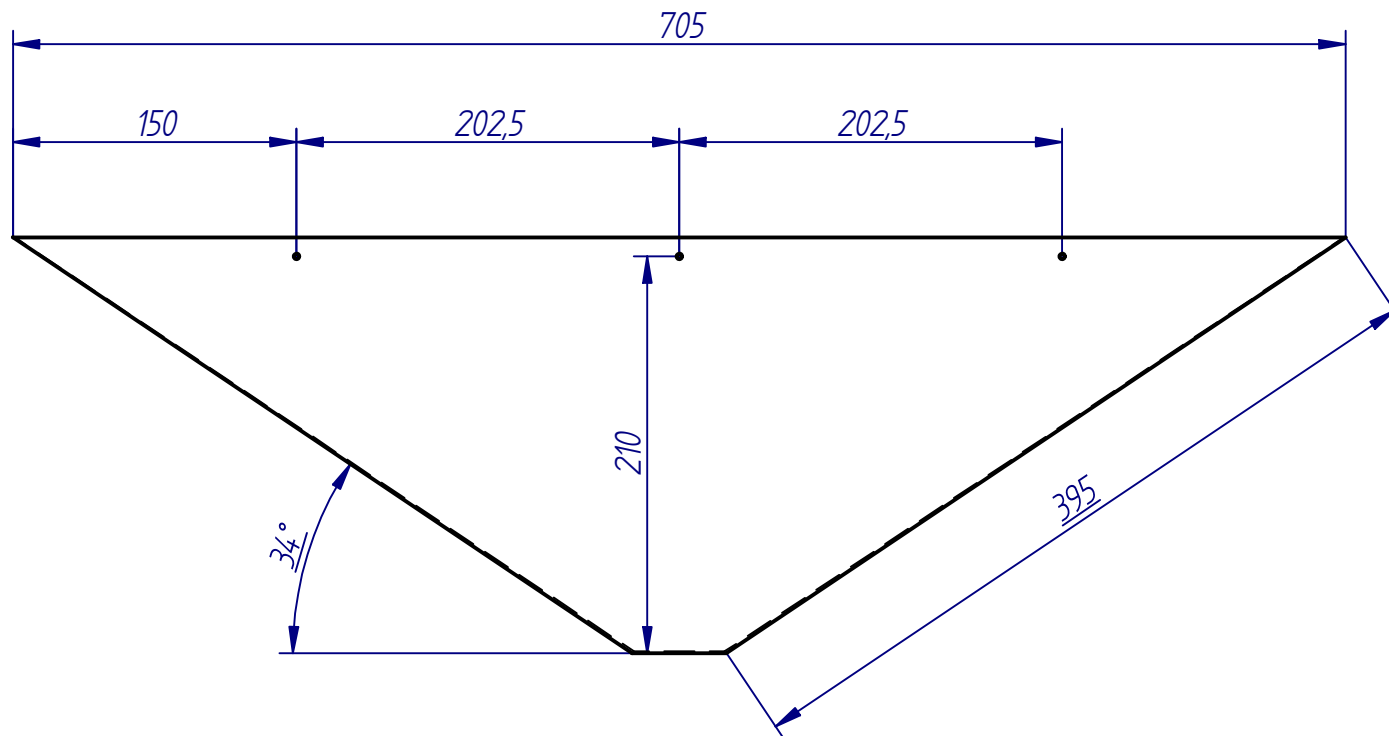
Peso: 0,9 Kg



Escala: 1:3

Plano: 02.20

Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$





	UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA (SEDE BOGOTA)		
	Titulo: Tolva superior (contenedor de arena).		
	Autores: Cesar Poveda Diaz, Gonzalo Botero Sierra, Diego Bosso Cortina		
	Revisado Por:		
Material: Lamina acero	Cantidad: 1	Peso: 1 Kg	
Escala: 1:4	Plano: 02.21	Tolerancia: $\pm 0,5 \pm 1^\circ$	