

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS

Tesis presentada por los bachilleres:
Valdivia Arias, César Javier
Ticona Añazco, Fridman Fredy
Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Sergio Mestas Ramos, Mg.

AREQUIPA - PERÚ
2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE
CONTROL DE MEDIDAS”**

Presentado por el Bachiller:

VALDIVIA ARIAS CESAR JAVIER

TICONA AÑAZCO FRIDMAN FREDY

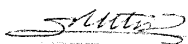
Nuestro **DICTAMEN** es:

Favorable

OBSERVACIONES:

Ninguna

Arequipa, 10 de diciembre del 2013



ING. SERGIO MESTAS RAMOS



ING. MARCELO QUISPE CCACHUCO

*"Nunca me he tenido por ingeniero o inventor, solamente me considero un promotor
y agitador de ideas"*

Enzo Ferrari



Resumen

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS

El desarrollo de este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema capaz de medir sin contacto cilindros de teflón de 30 *mm* y 35 *mm* para luego clasificarlos según su diámetro. Se presenta el diseño del sistema siguiendo los lineamientos de la metodología de diseño VDI-2221. Los métodos seleccionados cumplen con los requerimientos de diseño permitiendo la clasificación de un cilindro en 13 *s*. Fue posible clasificar exitosamente 100 de 100 cilindros de teflón con un error promedio de medición de 0.15 *mm* con el algoritmo propuesto. En la memoria descriptiva se presenta el análisis referente al dominio mecánico del sistema, la selección del dispositivo de captura, lentes, requerimientos de la iluminación y criterios de selección para los sensores, procesador y controlador.

Palabras clave: Visión artificial, Medidas, VDI

Abstract

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MEASUREMENT CONTROL SYSTEM

This work presents the design and implementation of a system capable of measuring without contact teflon cylinders of 30 *mm* and 35 *mm*. Afterwards, the cylinders are classified according their diameters. The design of the system is presented following the requirements of the standard VDI-2221. The selected methods satisfies the design requirements allowing the classification of a cylinder in 13 s. It was possible to successfully classify 100 out of 100 teflon cylinders with an average measurement error of 0.15 *mm* with the proposed algorithm. In the descriptive memory is presented the analysis of the mechanical domain of the system, the selection of the capture device, lenses, illumination requirements and the criteria followed to select the sensors, processor and controller.

Keywords: Artificial Vision, Measurement, VDI

Agradecimientos

A nuestros padres, abuelos y hermanos, por su continua motivación, para no ceder, llegar firme a la culminación de nuestros estudios y por sus valiosas palabras de aliento que nunca nos faltaron.

Al nuestros maestros por sus enseñanzas que nos encaminaron hacia el conocimiento tecnológico que soporta esta investigación y nuestros asesores Ing. Sergio Mestas Ramos e Ing. Marcelo Q. Ccachuco, por sus comentarios y observaciones que enriquecieron el trabajo realizado.

Gracias a todas las personas que han estado con nosotros durante el tiempo de ejecución de la tesis, ya que gracias a su colaboración, la hicieron posible.

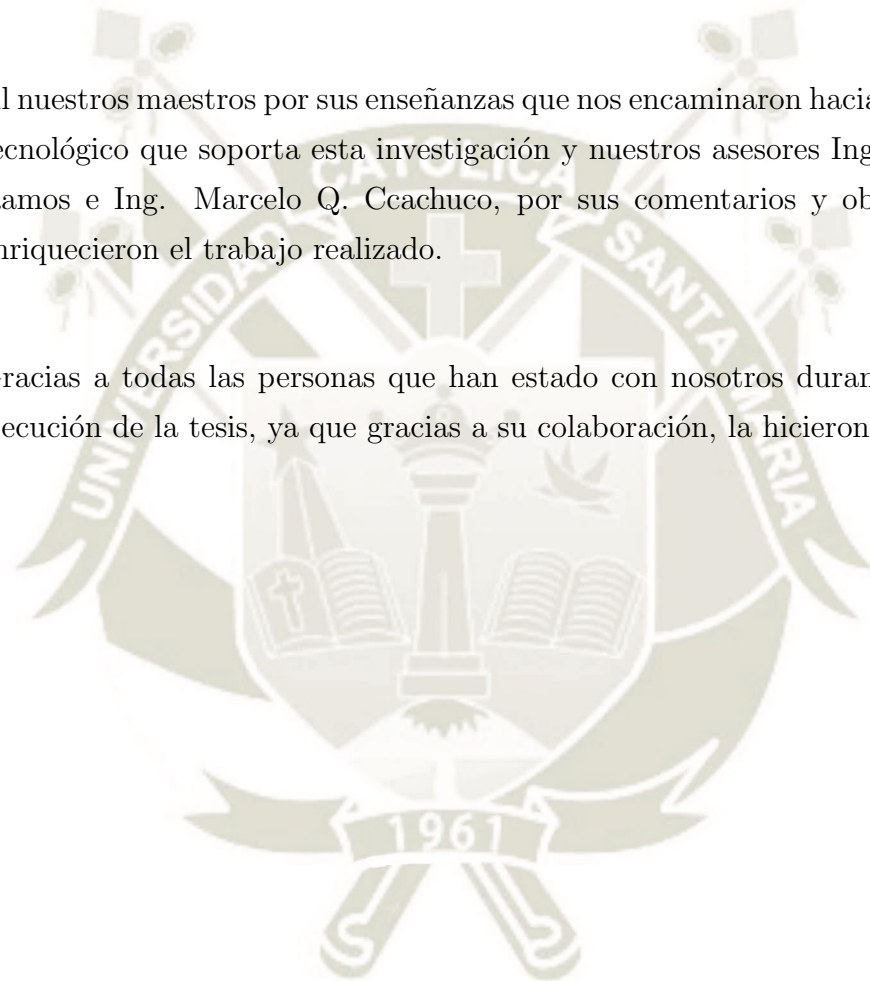


Tabla de contenidos

Resumen	iii
Abstract	iv
Agradecimientos	v
Contenido	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
1 Marco metodológico	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo Principal	2
1.2.2 Objetivos Secundarios	2
1.3 Justificación	2
1.4 Alcances y Limitaciones	3
1.5 Identificación del problema	4
2 Estado del arte	5
3 Marco teórico	7
3.1 Visión Artificial	7
3.1.1 Percepción	8
3.1.2 Adquisición de Imágenes	10
3.1.2.1 Dispositivos de captura de imágenes	10
3.1.2.2 Espacios de color	12
3.1.2.3 Tipos de sensores	13

3.1.2.3.1	Resolución	17
3.1.3	Componentes de la Visión Artificial	18
3.1.4	Acondicionamiento	18
3.1.4.1	Pre procesamiento	18
3.1.4.2	Segmentación	19
3.1.4.3	Extracción de características	22
3.1.4.4	Reconocimiento e interpretación	22
3.1.4.4.1	Reconocimiento de Patrones	22
3.1.4.4.2	Interpretación	24
3.2	Sistema de iluminación	24
3.2.1	Tipos de reflexión	24
3.2.2	Técnicas de iluminación	25
3.3	Automatización	27
3.3.1	Transductores y sensores	29
3.3.2	Sistemas embebidos	30
3.3.2.1	Micro-Controladores	31
3.3.2.2	Micro-Computadores	31
4	Diseño del sistema	32
4.1	Comprensión de la solicitud	33
4.1.1	Estructura de funciones	34
4.1.1.1	Abstracción	36
4.1.1.1.1	Secuencia de operaciones y funciones	36
4.1.1.1.2	Agrupación de funciones	38
4.1.1.1.3	Estructura de funciones	38
4.1.2	Concepto de solución	40
4.1.2.1	Matriz morfológica de <i>Zwicky</i>	40
4.2	Proyecto preliminar	41
4.2.1	Comprensión del Dominio Mecánico	48
4.2.1.1	Selección de los pistones	50
4.2.1.1.1	Pistón del Puño alimentador	52
4.2.1.1.2	Pistón del Gripper	52
4.2.1.1.3	Pistón del Puño de estampado	53
4.2.1.1.4	Pistón de la Ventosa	53
4.2.1.2	Selección de la transmisión	54
4.2.1.2.1	Transmisión de la Tornamesa	54
4.2.1.2.2	Transmisión del Paletizador	56
4.2.2	Selección de la cámara y el lente	58
4.2.3	Selección de la iluminación	60
4.2.4	Selección de los sensores	61
4.2.5	Selección del procesador	62

4.2.6	Programación del procesador	63
4.2.7	Selección del controlador	66
4.2.8	Programación del controlador	69
4.3	Proyecto definitivo	71
5	Pruebas y resultados	75
5.1	Pruebas	75
5.2	Resultados	78
5.3	Información económica	84
	Conclusiones	85
	Recomendaciones	87
	Referencias	88
A	Código del Procesador	91
B	Código del Controlador	93
C	Planos del Sistema	97
D	Muestras	98

Lista de figuras

Figura 3.1	Espectro electromagnético	8
Figura 3.2	Diagrama de bloques del proceso de la Visión Artificial	9
Figura 3.3	Digitalización de una señal analógica	11
Figura 3.4	Captura de una imagen	11
Figura 3.5	Procesamiento del sensor	13
Figura 3.6	Sensor <i>CCD</i>	15
Figura 3.7	Estructura de un <i>SuperCCD</i>	15
Figura 3.8	Arquitectura del sensor <i>CMOS</i>	16
Figura 3.9	Funcionamiento del sensor <i>Foveon x3</i>	17
Figura 3.10	Descomposición de luz por capas	17
Figura 3.11	Cadena de procesamiento de imágenes	18
Figura 3.12	Principio de la iluminación	24
Figura 3.13	Tipos de reflexión	25
Figura 3.14	Retroiluminación difusa	26
Figura 3.15	Iluminación posterior difusa	26
Figura 3.16	Iluminación posterior direccional	27
Figura 3.17	Iluminación frontal oblicua y direccional	28
Figura 3.18	Luz estructurada	29
Figura 4.1	Proceso generalizado de desarrollo y diseño <i>VDI 2221 02.1993</i> (11.1986)	34
Figura 4.2	Método de diseño y sus fases	36
Figura 4.3	La máquina como caja negra	37
Figura 4.4	Abstracción Black-Box Sistema de Visión	37
Figura 4.5	Funciones secuenciales agrupadas	38
Figura 4.6	Dominio de funciones: Dominio de la Visión	39
Figura 4.7	Dominio de funciones: Dominio Mecánico	39
Figura 4.8	Dominio de funciones: Dominio de Control	39
Figura 4.9	Balance Técnico y Económico del Dominio de la Visión	48
Figura 4.10	Balance Técnico y Económico del Dominio del Control	48
Figura 4.11	Balance Técnico y Económico del Dominio Mecánico	49
Figura 4.12	Diagrama del sistema	49
Figura 4.13	Diagrama de tiempos	50

Figura 4.14 Diagrama neumático	51
Figura 4.15 Diagrama de la Tornamesa	55
Figura 4.16 Diagrama del Paletizador	56
Figura 4.17 Campo de Visión (FOV)	58
Figura 4.18 Tiempo de Exposición	59
Figura 4.19 Diagrama de flujo del procesador	64
Figura 4.20 Diagrama de conexiones	67
Figura 4.21 Esquemático de las entradas digitales	69
Figura 4.22 Esquemático de las salidas digitales	69
Figura 4.23 Diagrama de flujo del controlador	70
Figura 4.24 Sistema de control de medidas	72
Figura 4.25 Diagrama de integración del sistema	72
Figura 5.1 Función de ajuste $D_f[px]$ a $D_r[mm]$	77
Figura 5.2 Función de ajuste $D_m[px]$ a $D_r[mm]$	77
Figura 5.3 Función de ajuste $A_m[px]$ a $A_r[mm^2]$	78
Figura 5.4 Muestra - Captura original	81
Figura 5.5 Muestra - Captura recortada	82
Figura 5.6 Muestra - Capa de color HSV	82
Figura 5.7 Muestra - Filtro de Gauss	83
Figura 5.8 Muestra - Imagen umbralizada	83
Figura 5.9 Muestra - Imagen segmentada	84

Lista de tablas

Tabla 3.1	Detectores de bordes de bajo nivel	21
Tabla 3.2	Clasificación de sensores según diferentes criterios exhaustivos	30
Tabla 4.1	Lista de exigencias	35
Tabla 4.2	Matriz morfológica para el dominio de la Visión	40
Tabla 4.3	Matriz morfológica para el dominio del Control	40
Tabla 4.4	Matriz morfológica para el dominio Mecánico	41
Tabla 4.5	Aspectos posibles de Evaluación del Concepto de Solución	41
Tabla 4.6	Escala de Calificación	41
Tabla 4.7	Evaluación de la Matriz Morfológica - Dominio de la Visión	42
Tabla 4.8	Evaluación de la Matriz Morfológica - Dominio del Control	43
Tabla 4.9	Evaluación de la Matriz Morfológica - Dominio Mecánico	44
Tabla 4.10	Matriz de enfrentamiento - Propiedades Técnicas	45
Tabla 4.11	Matriz de enfrentamiento - Propiedades Económicas	45
Tabla 4.12	Evaluación del Proyecto Preliminar - Propiedades Técnicas	46
Tabla 4.13	Evaluación del Proyecto Preliminar - Propiedades Económicas	47
Tabla 4.14	Balance Técnico - Económico del Proyecto Preliminar	47
Tabla 4.15	Tipo de fuerza por pistón	52
Tabla 4.16	Datos del pistón de alimentación	52
Tabla 4.17	Datos del pistón Gripper	53
Tabla 4.18	Datos del pistón de estampado	53
Tabla 4.19	Datos del pistón de ventosa	54
Tabla 4.20	Especificaciones: Beaglebone Black	62
Tabla 4.21	Criterios de selección de procesadores para aplicaciones de video	62
Tabla 4.22	Entradas y Salidas del sistema	66
Tabla 4.23	Especificaciones: M-DUINO PLC 42 I/O	67
Tabla 4.24	Criterios de selección del controlador	68
Tabla 4.25	Detalle de Entradas y Salidas del controlador	71
Tabla 5.1	Valores de iluminación y umbral por capa	75
Tabla 5.2	Muestras para la calibración del sistema de visión	76
Tabla 5.3	Muestras para calibración de 30mm	79

Tabla 5.4	Muestras para calibración de 35mm	79
Tabla 5.5	Validación por operador lógico OR	80
Tabla 5.6	Muestras analizadas	81
Tabla 5.7	Información económica	84
Tabla D.1	Total de muestras analizadas	98





*Dedicado a los que no estudian el mundo tal como es,
sino a los que crean el mundo que nunca ha sido...*

Capítulo 1

Marco metodológico

1.1 Introducción

Actualmente la visión artificial por computadora (VA) es una disciplina en creciente demanda, se ha convertido en una solución en la inspección automática y sin contacto de procesos en sistemas de calidad en la industria.

La visión artificial parte de la captura de imágenes en línea mediante cámaras basadas en matrices de sensores sensibles a la luz tales como los CCD o CMOS para un posterior tratamiento de las mismas mediante técnicas de procesamiento de imágenes y la consecuente actuación sobre el proceso (control de producto) o el producto (control de calidad). Esta técnica conlleva a una reducción de los costes del control de calidad, el aumento de la producción, la inspección del 100% de la producción, la reproducibilidad y el funcionamiento 24 horas al día. Por tanto se opta por implementar un sistema de procesamiento digital de imágenes encargado de medir piezas cilíndricas y utilizando un procesador embebido con la finalidad de mostrar su eficacia.

En el segundo capítulo se presenta el estudio del arte que motiva esta investigación; en el tercer capítulo se fundamenta teóricamente todos los acápites concernientes a la tesis; en el cuarto capítulo, se explica la metodología del diseño realizado del sistema; en el quinto capítulo, se detalla la integración del sistema con la visión

artificial para finalmente mostrar los resultados de las pruebas realizadas con el sistema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

- Diseñar e implementar un sistema de visión artificial para la clasificación de piezas cilíndricas basado en medidas.

1.2.2 Objetivos Secundarios

- Seleccionar el acondicionamiento para la captura de imagen.
- Seleccionar el dispositivo de adquisición de imágenes.
- Seleccionar el controlador.
- Determinar las condiciones de iluminación en la zona de visión artificial.
- Elaborar los algoritmos del procesamiento de imágenes.
- Ejecutar la programación en una plataforma embebida.

1.3 Justificación

Se diseña este sistema basado en visión computarizada empleando una tarjeta micro computadora. Este computador es empleado debido a sus prestaciones orientadas al desarrollo de aplicaciones embebidas. Beaglebone Black permite instalar dentro de su hardware, software y librerías capaces de realizar el procesamiento de imágenes cumpliendo los requerimientos de tiempos computacionales.

Este sistema clasifica piezas cilíndricas de teflón. Las mismas que son alimentadas por gravedad desde un *Magazine* hacia una Tornamesa. La cámara inspecciona

y verifica las medidas de las piezas cilíndricas aunado a un Controlador Lógico Programable (PLC) para luego paletizarlos. Es importante resaltar que el modulo implementado, cuenta con tecnologías de código abierto o Open Source.

Esta máquina es novedosa, ya que se propone algoritmos de medición y clasificación adecuados para la clasificación de piezas cilíndricas. Además, se utilizó la metodología *VDI-2221* para el diseño del sistema.

Es útil, ya que su empleo en la manipulación controlada evita la fatiga humana, la verificación de cada elemento uno por uno es muy tediosa, la principal ventaja que ofrece es resolver problemas de precisión, costo y fiabilidad en la inspección de la producción, además de permitir su funcionamiento 24 horas al día sin descanso.

En general, el equipo juega un papel muy importante en los sistemas de manipulación automática. Estos sistemas flexibles de manufactura que emplean Visión Artificial, motivan a los estudiantes de ingeniería ahondar en la investigación aplicada. Los detalles detrás del diseño se exponen en el Capítulo 4.

1.4 Alcances y Limitaciones

1. Alcances: Orientado a la solución real de un problema industrial ya que ejecuta control de calidad sin contacto mediante la visión artificial.

- *Aspecto Cuantitativo:* El sistema mide piezas cilíndricas de teflón con algoritmos implementados en una placa embebida.
- *Aspecto Cualitativo:* El sistema, con procesador embebido, realiza el estampado en las piezas cilíndricas.

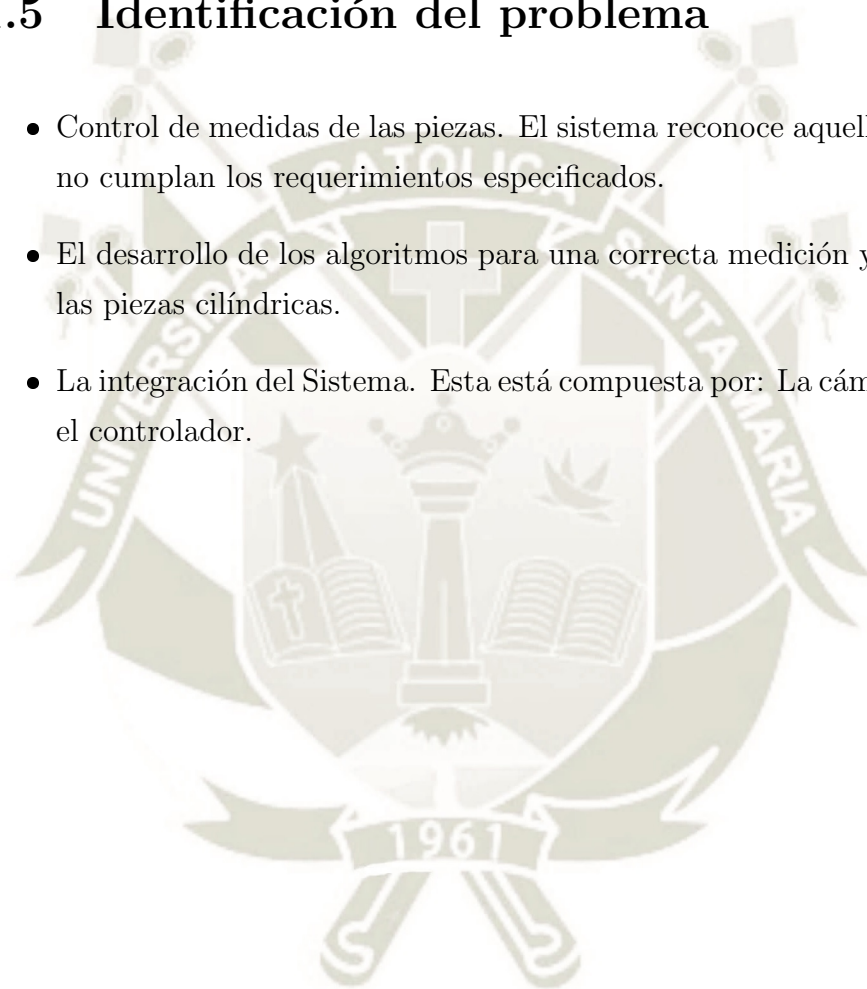
2. Limitaciones:

- La parte mecánica, está diseñado para trabajar solo con piezas cilíndricas y para realizar siempre la misma tarea.
- El procesador embebido una vez programado solo identifica y clasifica las piezas cilíndricas.

- La parte neumática solo trabaja hasta con un máximo de 8bar de presión.
- El brazo de la tornamesa está limitado a un giro de 210° .

1.5 Identificación del problema

- Control de medidas de las piezas. El sistema reconoce aquellas muestras que no cumplan los requerimientos especificados.
- El desarrollo de los algoritmos para una correcta medición y clasificación de las piezas cilíndricas.
- La integración del Sistema. Esta está compuesta por: La cámara; el procesador, el controlador.



Capítulo 2

Estado del arte

La visión artificial es una disciplina en constante auge, sus aplicaciones mas comunes residen en la inspección y control de calidad de procesos y productos, para la realización de la presente investigación, fue necesario estudiar los antecedentes de esta versátil tecnología.

Un estudio para el procesamiento de imágenes para imágenes capturadas en ambientes no controlados se utilizó para el reconocimiento de naranjas utilizando *Canny* y un algoritmo basado en Color en el software *Matlab*®), las imágenes fueron extraídas de internet en las cuales predominaban hojas, ramas y sombras indeseadas, las cuales fueron eliminadas empleando un *Filtro de Gauss*. El método por color fue capaz de detectar las naranjas con un 85% de precisión (Deepa & Geethalakshmi, 2012).

Maheshwari (2013) propuso un método no destructivo y accesible para contar la cantidad de Semillas de Arroz aislando elementos extraños, empleando como método de segmentación *Canny* para la detección de bordes. En el 2001 en la Universita Degli Studi de Perugia - Italia, Bianconi (2011) estudio la iluminación y procesamiento de imagen en la industria, sustentando la cátedra 'Visión en color y reconocimiento de patrones'.

En América Latina, en la Universidad de Cauca - Colombia Leonario and Leon (2003), diseñaron un sistema de detección y clasificación de defectos en frutas mediante el procesamiento digital de imágenes. Los autores concluyen que no

es posible determinar todos los parámetros por medio de inspección visual tales como el aroma, textura. Por otro lado, el diseño es preciso en casi 90 % en lo que concierne a selección visual.

En el 2003 en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), empleando *Matlab*® , *Visual C* y los algoritmos de *retro propagación (back propagation)* y *código cadena* identificaron las características de objetos en tiempo real utilizando como clasificador *Redes Neuronales* integrando el sistema con una celda de trabajo robotizado para realizar trayectorias (Sobrado, 2003). Otra investigación en la PUCP, identificó objetos en movimiento empleando VA para poder transmitir una señal a un brazo robótico empleando *C++* y *OpenCV*, calculando las características de los objetos por color y forma empleando el algoritmo de *código de cadena* (Salazar, 2001).

La fortaleza de emplear el lenguaje de alto nivel facilitado por *Matlab*® radica en la simplificación en los algoritmos utilizados en el procesamiento de imágenes y la disponibilidad de *Toolbox* dedicados a este fin. En la Universidad Ricardo Palma, Porras, De la cruz, and Moran (2008) diseña un clasificador de objetos geométricos por forma y color empleando VA y *Matlab*® y la librería *vfm.dll* concluyendo que con esta técnica controla la calidad con una eficiencia de 100% permitiendo una inspección rápida del proceso.

En Arequipa-Perú, en la Universidad Católica de Santa María (UCSM), se clasificó también figuras geométricas por forma, tamaño y color empleando VA embebida utilizando como hardware un microcomputador *RaspberryPI*®, una webcam y un servo posicionamiento lineal, como software se empleó la plataforma *Python*®, la librería *OpenCV* y el algoritmo de *K-nearest neighbor* como clasificador, sentando así un antecedente en tecnologías embebidas en el procesamiento de imágenes (Zarate & Rodríguez, 2015).

También en la UCSM, el 2013 se diseñó un sistema de Identificación y clasificación de figuras geométricas por colores y formas. Para este objetivo se utilizó VA empleando el lenguaje de programación gráfica por bloques, facilitada por *Labview 7.0*® creado por *National Instruments*®. Se implementaron algoritmos y diagramas de bloques que permitieron comparar patrones (Sanchez, 2013).

Capítulo 3

Marco teórico

3.1 Visión Artificial

La VA permite al usuario procesar una gran información del ambiente que facilite la realización de tareas y la decisión basada en el procesamiento de las imágenes adquiridas por el dispositivo de captura. Podemos definir la VA en términos generales como todo intento de un computador para ver e interpretar el mundo que lo rodea, interpretando propiedades tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales para simular hasta cierto grado un proceso de visión biológico (Bianconi, 2011).

Algunas aplicaciones de la visión artificial:

- Detección de objetos en movimiento.
- Reconocimiento de patrones y formas.
- Reconocimiento de objetos tridimensionales.
- Obtención de la distancia de los objetos en la escena y estructura tridimensional.

La visión, dentro de los sistemas naturales, tiene fundamento en la teoría de radiación y lo que el ojo humano tiene dentro de sí, es un conjunto biológico

sensible a la radiación dentro del rango visual; en la Figura 3.1, se muestra el rango visible en el espectro electromagnético, cabe resaltar, que la VA no se encuentra limitado al rango visual (entre $700nm$ y $400nm$).

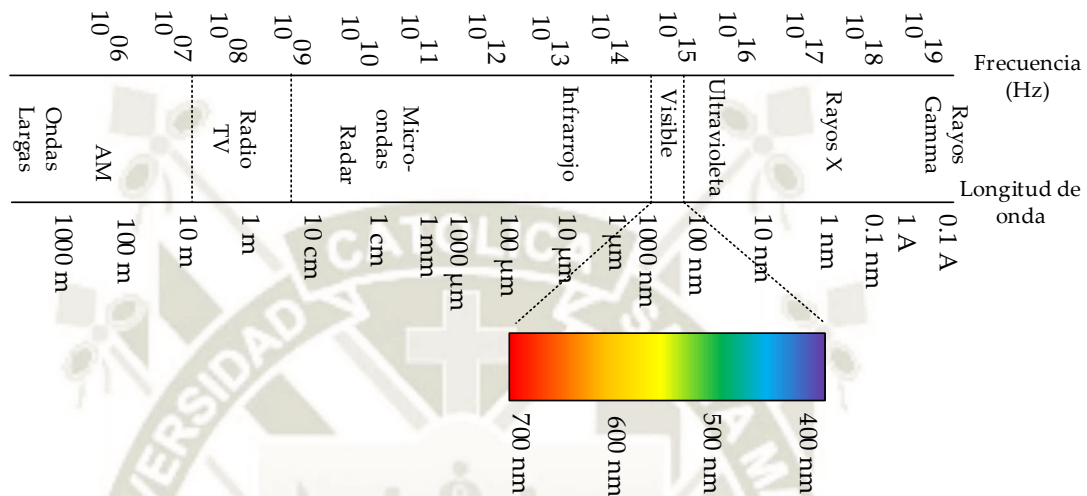


FIGURA 3.1: Espectro electromagnético
Adaptado de Kleiner (n.d.)

Las imágenes de intensidad están ligadas al concepto de luminosidad, mientras que las imágenes de profundidad tienen fundamento en sensores de alcance ópticos, por citar algunos el sonar, el láser, imágenes producidas por cámaras térmicas, rayos X entre otras, también tienen aplicaciones dentro del campo de la VA.

3.1.1 Percepción

Las técnicas de procesamiento se usan como solución a una gran variedad de problemas en el campo de la investigación y la industria, estos problemas requieren métodos capaces de extraer la información contenida en las imágenes capturadas para su interpretación y análisis por parte de los operadores. Los métodos de procesamiento de imágenes digitales tiene fundamento en las siguientes áreas de aplicación:

- Mejora de la calidad para la interpretación humana.

- Procesamiento de los datos de la escena para la percepción de las máquinas de forma autónoma.

Entendemos como percepción, al proceso de la información proveniente del mundo real el cual es captado por sensores. Un sensor es un dispositivo el cual capta aspectos del entorno y lo traduce en una variable de entrada al programa.

En muchos sistemas de capacidad sensorial, la visión es complementada con otros tipos de sensores tales como detectores de proximidad (Fu, González, & Lee, 1988) también es necesario realizar una integración de múltiples sensores para completar el proceso de percepción global (Lopez, 1998). El proceso se puede sintetizar en la Figura 3.2, donde se parte de una escena tridimensional y se termina con la aplicación de interés.

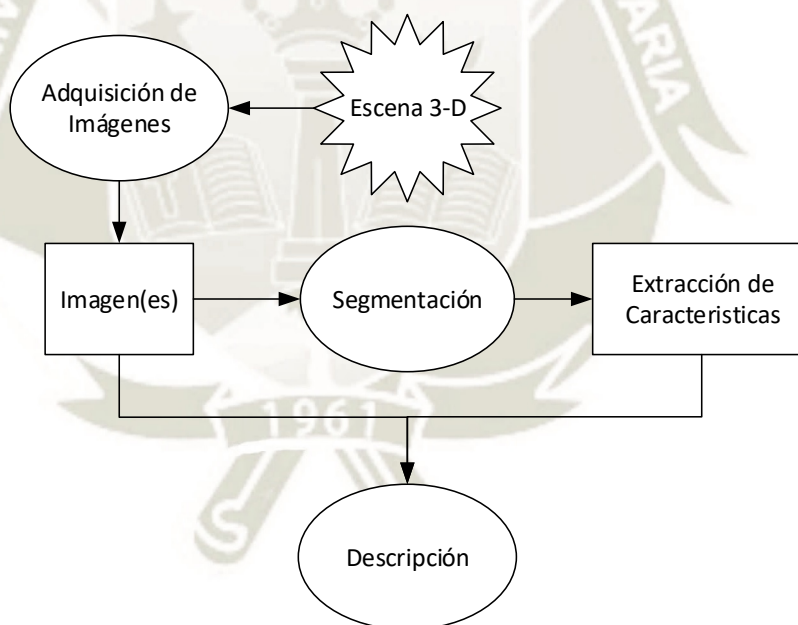


FIGURA 3.2: Diagrama de bloques del proceso de la Visión Artificial
Adaptado de Pajares and De la Cruz (2008)

3.1.2 Adquisición de Imágenes

3.1.2.1 Dispositivos de captura de imágenes

Pajares and De la Cruz (2008) define un dispositivo de captura como un dispositivo físico que es sensible a una determinada banda del espectro de energía electro magnético (tal como rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, etc) y que produce una señal eléctrica de salida proporcional al nivel de energía incidente en cualquier instante de tiempo. En otras palabras, la adquisición de imágenes requiere algunos elementos básicos:

- Un dispositivo sensible a alguna banda del espectro de energía electro magnético mostrado en la Figura 3.1, tal como *Rayos X*, *UV*, *IR*, Etc.
- Un dispositivo capaz de convertir magnitudes físicas y transformarla a otra magnitud (generalmente eléctrica) sin alterar las propiedades censadas, con el objetivo de que sea cuantificable y manipulable.

Cuando las señales obtenidas son procesadas se obtiene una representación en dos dimensiones que forman una matriz numérica de números enteros la cual cada valor representa la intensidad de los objetos en la escena en tiempo y punto discreto del plano de la imagen como se aprecia en la Figura 3.3.

En la Figura 3.4 se aprecia a detalle los componentes del proceso de captura los cuales se indican a continuación:

- El lente se refiere al sistema óptico necesario en todos los dispositivos de captura, estos dispositivos ópticos generan ciertas aberraciones conocidas tales como la *Dispersión Puntual* o *Desenfoque*, originado cuando un punto nítido se proyecta con cierta dispersión alrededor del punto teórico. Esta dispersión es posible modelarla empleando una *función de dispersión puntual (PSF)* pero ello no es motivo de estudio en esta investigación.
- La intensidad obtenida en cada punto espacial es el resultado de la *Iluminación* y *Reflectancia*, la primera es debido a los focos de iluminación existentes

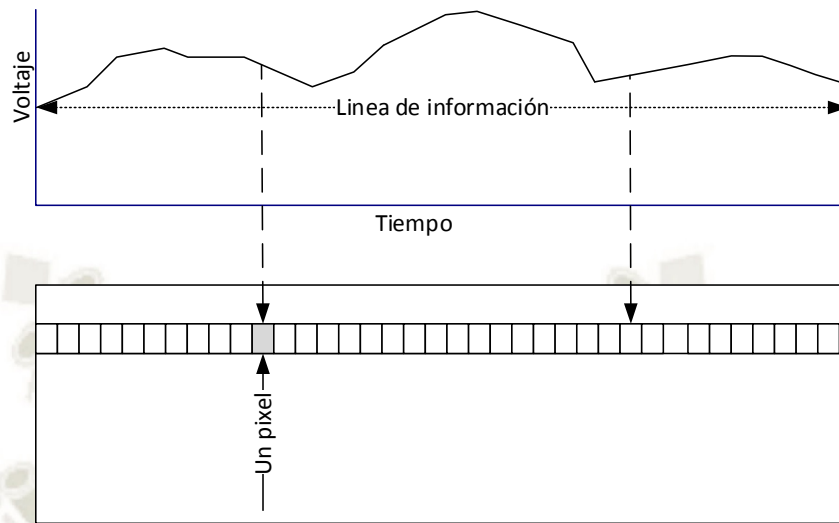


FIGURA 3.3: Digitalización de una señal analógica
Adaptado de Pajares and De la Cruz (2008)

durante el proceso de captura y la segunda, esta relacionada a las propiedades intrínsecas del objeto.

La intensidad que se obtiene finalmente como determinante de cada punto espacial es en realidad el producto de una componente de iluminación y una componente de reflectancia. La primera es consecuencia de las fuentes de iluminación existentes en la escena en el momento de la captura. La segunda está asociada a las propiedades intrínsecas del objeto.

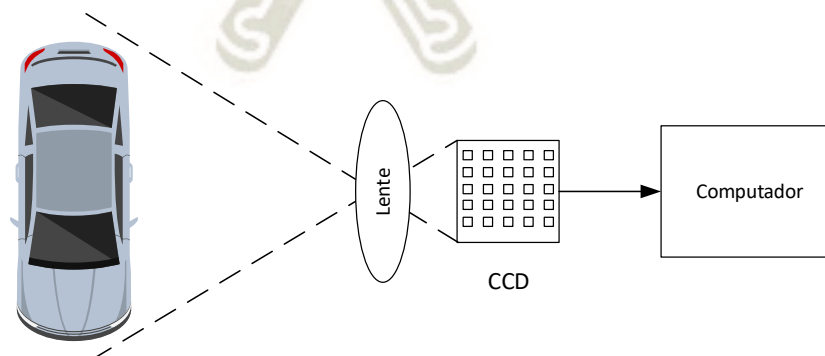


FIGURA 3.4: Captura de una imagen

3.1.2.2 Espacios de color

La imagen obtenida después de una captura puede contener información en blanco y negro o a color. El proceso de segmentación en color es importante para detectar escenas u objetos en ambientes no estructurados. Una imagen a color se encuentra compuesta por múltiples capas o espacios de color. Cada una de las capas que compone una imagen a color se encuentra dominada por un único color en diferentes intensidades. Existen varios tipos de espacios de color y variaciones entre ellos, Gil, Torres, and Ortiz (2004) describe el espacio de color RGB y HSV del siguiente modo:

- El espacio RGB es uno de los más utilizados en dispositivos de captura. La descomposición en RGB es utilizada en aplicaciones de VA ya que no altera los espacios de color con los cuales la imagen fue creada y esto evita alteraciones en las propiedades del color. El espacio RGB se puede representar gráficamente como un cubo en un espacio tridimensional cuyos ejes son los colores Rojo, Verde y Azul (R, G y B por sus iniciales en inglés). De este modo, un color se encuentra definido por la tupla de las tres coordenadas en el espacio.
- El espacio HSV es el más intuitivo en la literatura. Los ejes tridimensionales de este espacio de color representan componentes básicos de la imagen. H_{HSV} indica la cromaticidad o el matiz de la imagen. La cantidad de color blanco o la longitud de onda se encuentra representado en el eje de la saturación S_{HSV} . El último eje del sistema dextrogiro es la intensidad o brillo representada por V_{HSV} .

A diferencia del espacio de color RGB, su representación gráfica es la de una pirámide de base hexagonal cuyos vértices son los colores cian, verde, azul, amarillo, rojo y magenta. El vértice o punta de esta pirámide se encuentra en la intersección del sistema referencia cartesiano y la base de la pirámide se encuentra en el lado positivo del eje V_{HSV} . La representación de la imagen en HSV tomada a partir de un dispositivo RGB se encuentra definida en las Ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3.

$$H_{HSV} = \begin{cases} \frac{g-b}{\max(r,g,b)-\min(r,g,b)} & \text{si } r = \max(r, g, b) \\ \frac{b-r}{\max(r,g,b)-\min(r,g,b)} + 2 & \text{si } g = \max(r, g, b) \\ \frac{r-g}{\max(r,g,b)-\min(r,g,b)} + 4 & \text{si } b = \max(r, g, b) \end{cases} \quad (3.1)$$

$$S_{HSV} = \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{\max(r, g, b)} \quad (3.2)$$

$$V_{HSV} = \max(r, g, b) \quad (3.3)$$

3.1.2.3 Tipos de sensores

Castañeda (2015) estudia los sensores como un dispositivo formado por múltiples componentes fotosensibles. Estos componentes capturan la luz que es proyectada de un objetivo tal como se muestra en la Figura 3.5.

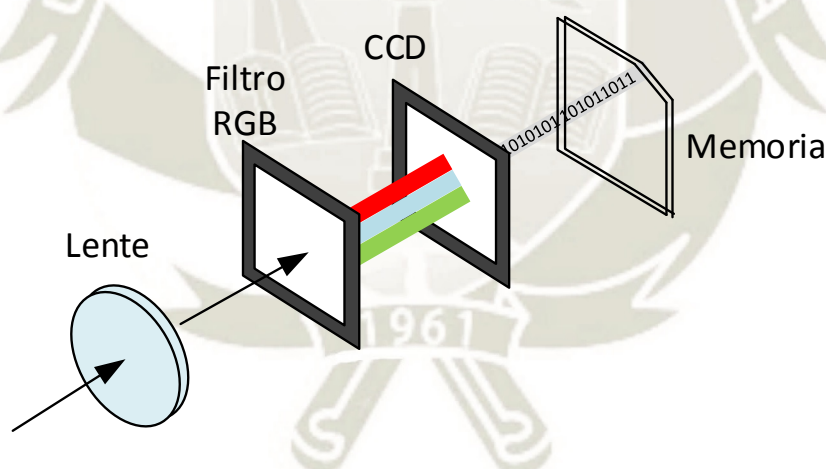


FIGURA 3.5: Procesamiento del sensor

Desde el punto de vista de ingeniería, es categórico seleccionar el óptimo sensor para el proceso de estudio. Para este proceso es necesario tomar en consideración las siguientes características:

- Rango: Campo de medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Resolución: Mínima variedad de la magnitud de entrada que puede detectarse a la salida.

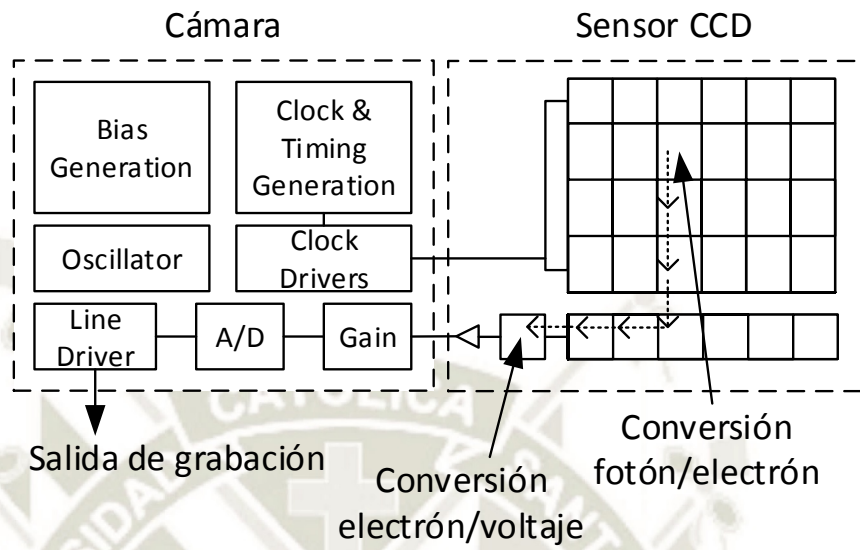
- Exactitud: Diferencia entre la salida real y el valor verdadero.
- Precisión: Error de medida máximo esperado.
- Linealidad: Cercanía de la curva característica a una pendiente.
- Sensibilidad: Variación de la salida a causa de la variación de entrada.
- Rapidez de respuesta: Capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Saturación: Es la no-linealidad, a causa de la disminución de sensibilidad.

Los sensores se pueden clasificar en base a su tecnología, los dos tipos de sensores más populares son el *CCD* y el *CMOS*:

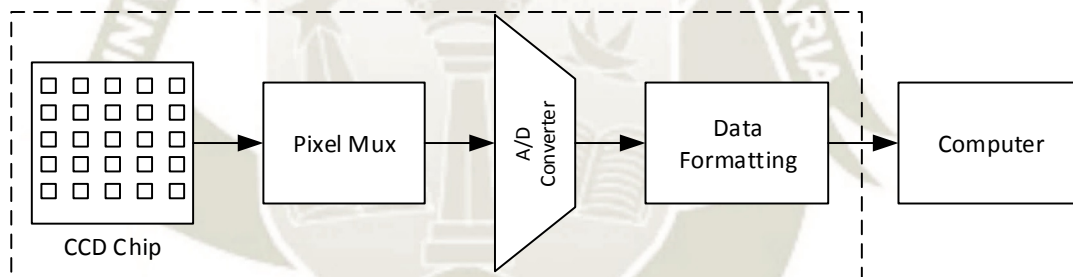
1. *CCD* : Los *dispositivos de acoplamiento de carga*, *CCD* por sus siglas en inglés. Estos componentes integran en un mismo *chip* los elementos fotosensibles, puertas lógicas y circuitería de control; las señales eléctricas generados por los *fotodiodos* es proporcional a la intensidad luminosa que reciben, el espectro electromagnético y el tiempo integración (tiempo de exposición de los *fotodiodos*).

En este tipo de sensor, la información es enviada a cada una de las celdas a través del chip hacia una de las esquinas del arreglo, para luego convertir de análogo a digital traduciendo el valor de cada una de las celdas como se muestra en la Figura 3.6, con esta arquitectura, se mantiene simple la estructura del sensor a costa de circuitería adicional.

2. Super *CCD* : Este sensor utiliza Pixeles octogonales en vez de los rectangulares, de esta forma se aprecia una mayor superficie fotosensible ya que aprovechan mayor superficie, la Figura 3.7 representa gráficamente lo explicado.



(A) Arquitectura del sensor *CCD*



Cámara *CCD*

(B) Cámara *CCD*

FIGURA 3.6: Sensor *CCD*

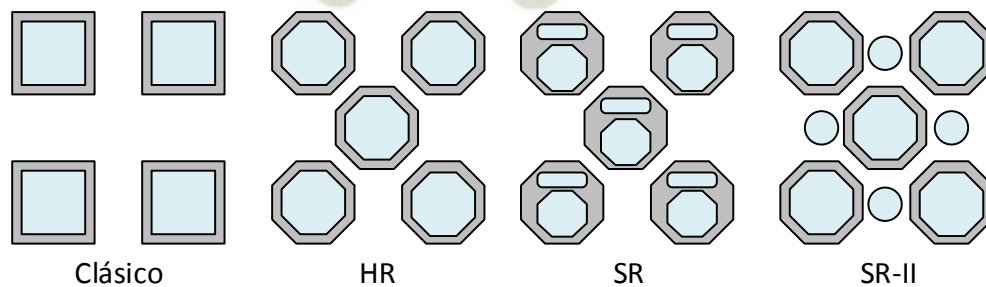


FIGURA 3.7: Estructura de un *SuperCCD*

- CMOS: Los semiconductores de oxido de metal complementarios (CMOS), poseen un rango dinámico mayores $120dB$ comparado con los $70dB$ que le corresponde a los CCD, estos sensores ofrecen el valor mas cercano a los $200dB$ que percibe el ojo humano, facilitando así la adaptación del chip a los brillos del entorno, este tipo de sensor mejora la calidad de imagen mediante la selección del mejor tiempo de exposición de cada pixel.

El sensor CMOS esta estructurado en una matriz (ver Figura 3.8) cuya función es acumular cargas eléctricas en cada celda en proporción a la intensidad de luz que inciden sobre ella de forma local. Cada celda *CMOS* es independiente. En otras palabras, la digitalización de cada pixel es realizada una a una dentro del mismo sensor facilitando así una lectura mas flexible ya que cada pixel se lee de manera individual.

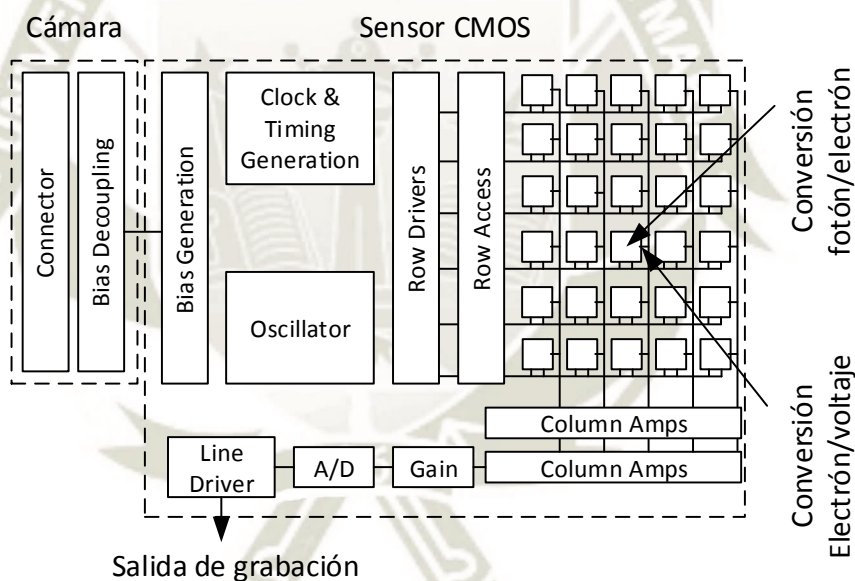


FIGURA 3.8: Arquitectura del sensor *CMOS*

- Foveon x3: Este sensor, contiene internamente 03 capas de pixeles incrustados en silicio con el fin de aprovechar el hecho de que la luz roja, verde y azul penetran diferentes profundidades. Foveon x3 es el primer y único sensor que capta todo color en cada punto de la imagen que es capturada (vea Figura 3.9). Una representación gráfica del fenómeno interno se aprecia en la Figura 3.10.

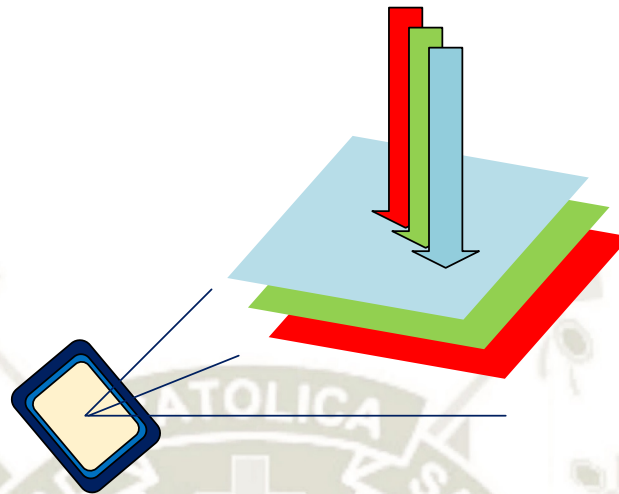


FIGURA 3.9: Funcionamiento del sensor *Foveon x3*

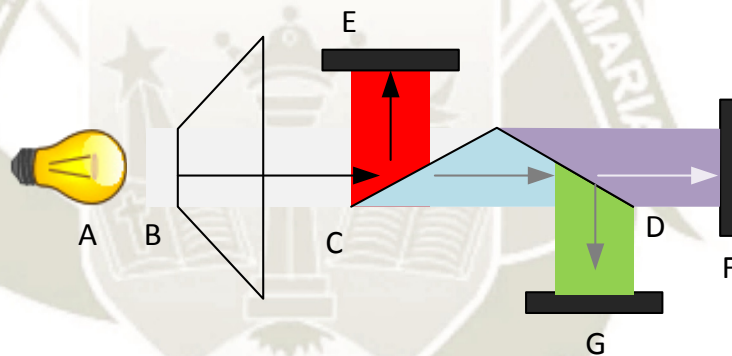


FIGURA 3.10: Descomposición de luz por capas

3.1.2.3.1 Resolución En esta investigación se repasó los tipos de sensores. Como resultado, se obtienen imágenes en forma de una matriz de compuesto de valores enteros (0 a 255), el tamaño y la forma de la matriz indica la cantidad de píxeles capturados en una imagen de la forma mostrada a continuación:

- Lineales: Esta arquitectura permite la utilización de sensores de $1 \times n$, píxeles, muy adecuada para trabajar con altas resoluciones sobre superficies que se encuentren en movimiento.
- Área: Esta arquitectura permite sensores de $m \times n$, la tecnología de *entrelazado* captura las líneas pares e impares en instantes de tiempo distintos, mientras

la tecnología de *no entrelazado* captura todas las líneas en el mismo instante de tiempo.

3.1.3 Componentes de la Visión Artificial

La cadena de procesamiento de imágenes según Awcock and Thomas (1995) se muestra gráficamente en la Figura 3.11, es modelo muy empleado para los principios del reconocimiento de forma técnica. Esta representación, divide un problema complejo de reconocimiento en los componentes detallados a continuación.

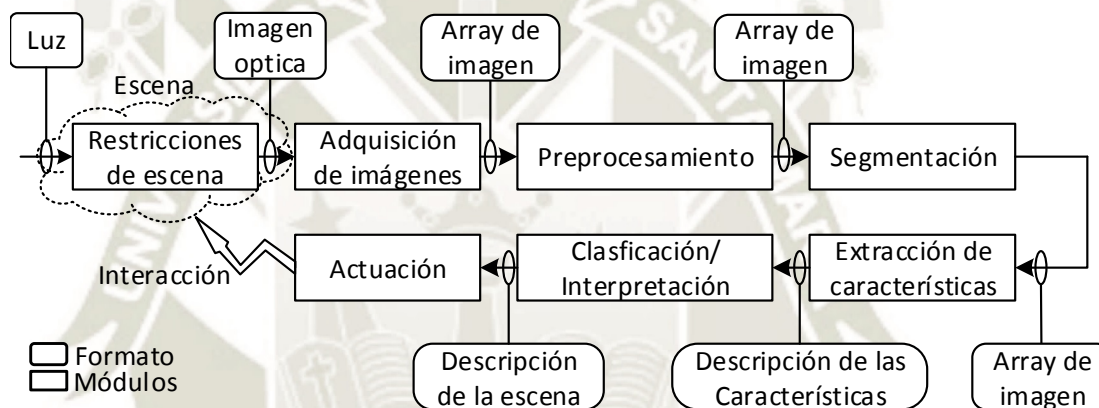


FIGURA 3.11: Cadena de procesamiento de imágenes
Adaptado de Awcock and Thomas (1995)

3.1.4 Acondicionamiento

Se refiere a las consideraciones y cálculos necesarios para realizar el procesamiento de imágenes sin complicaciones. Dichos cálculos incluyen pero no se limita a la iluminación, tamaño de las sombras proyectadas, selección del dispositivo de captura, tiempos de exposición, entre otros. Estos cálculos se verán a detalle en el Capítulo 4.

3.1.4.1 Pre procesamiento

Cuando una imagen es capturada y transferida hacia el computador, es transformada en pequeños puntos denominados pixels, que varían entre 0 - 255 dependiendo de

la intensidad del color o tonalidad de gris. Esta imagen capturada, por lo general posee distorsiones o elementos indeseados.

Por tal motivo, la tarea del pre procesamiento es la de eliminar las partes indeseadas y realzar las zonas de mayor interés para aumentar de este modo las posibilidades de éxito en el procesamiento de imágenes. Los métodos mas utilizados se detallan a continuación:

- Conversión de los niveles de grises.
- Transformaciones del histograma.
- Transformaciones del histograma.
- Filtrado Espacial.
- Filtrado Frecuencial.

3.1.4.2 Segmentación

En la VA, una escena tridimensional puede producir una imagen monocromática o a color, las imágenes adquiridas pueden ser descompuestas en sus partes constituyentes para obtener de ellas características de interés tales como bordes o regiones. Más adelante, se obtienen características subadyacentes mediante al proceso de extracción de características. Algunos métodos comúnmente usados para la segmentación son:

1. Umbralización (*Thresholding*): Empleando esta técnica, las regiones oscuras son de interés y las demás regiones son convertidos en colores de fondo dando como resultado una máscara binaria, tal como se indica en la la Ecuación 3.4. Esta técnica es muy empleada para determinar madurez, defectos y daños para métodos de clasificación.

$$g(u, v) = \begin{cases} 0, & f(u, v) < T \\ 1, & f(u, v) \geq T \end{cases} \quad (3.4)$$

2. Métodos basados en detección de contornos: Detecta las discontinuidades en el nivel de gris, texturas, color de pixeles, etc. Esta técnica es muy empleada para determinar la forma y tamaño para la clasificación, los métodos mas utilizados para la detección de bordes se indica en la Tabla 3.1.



TABLA 3.1: Detectores de bordes de bajo nivel (Nixon & Aguado, 2002)

Tipos de detectores de bordes	de Conceptos implicados de	Puntos principales
Primer orden.	Definición de bordes y como se detectan. La equivalencia de los operadores a diferenciaciones de primer orden. La necesidad del filtrado y operadores sofisticados de primer orden.	Operadores de diferencias; diferencias cruzadas o métodos de Roberts, Suavizado, Prewitt, Sobel, Canny.
Segundo orden.	Relaciones entre operadores diferenciadores de primer y segundo orden. La necesidad de incluir filtrado y mejores operaciones.	Diferenciación de segundo orden; Laplaciano, Detectores de cruce por cero, Marr-Hildreth, Laplaciano del Gaussiano.
Otros operadores de bordes.	Enfoques alternativos y aspectos de desempeño. Comparaciones entre operadores.	Otros modelos de ruido: Spacek. Otros modelos de bordes; Petrou.
Detección de la curvatura de una imagen.	Naturaleza de las curvas, Cómputo de curvaturas de: información de bordes; empleado aproximación de curvas; cambiando la intensidad; por coorelación.	Curvatura planar, esquinas. Estimadores de curvaturas con: cambio de dirección en los bordes; ajuste de curvas; cambios de intensidad, detector de esquinas de Harris.
Estimación de flujo óptico.	Movimiento y la naturaleza del flujo óptico. Estimación del flujo óptico empleado. Enfoques de diferenciación. Necesidad de los enfoques (incluyendo regiones coincidentes).	Detección por diferenciación. Flujo óptico; problemas de apertura; restricción de suavizado. Enfoques de Diferenciación; Metodo de Horn & Schunk; correlación.

3. Métodos basados en crecimiento de regiones: La técnica implica agrupar y luego extraer los píxeles que contienen cierta semejanza para formar una región que indique un único objeto en la imagen. De este modo, se deja solo las características de interés eliminando las otras regiones. Para apoyar la segmentación, existen filtros morfológicos adecuados capaces de influir en las estructuras de imágenes específicamente capaces de suprimir algunas pequeñas estructuras, algunos tipos de filtros morfológicos son la *dilatación*, *erosión*, *apertura*, *cierre*, entre otros. (Wolfgang, 1994).

3.1.4.3 Extracción de características

Una imagen capturada, es una innumerable colección de información disponible, suficiente para identificar un objeto. El resultado de la extracción de características son cualitativas y cuantitativas. Según Wolfgang (1994), Aberäcker (1989), Demant, Streicher, and Springhoff (1998) y Anding (2010) las características densiométricas y geométricas son:

- media aritmética.
- Valor de gris mínimo.
- Valor máximo de gris
- Span.
- Varianza.
- Circunferencia.
- Área.
- Compacidad.
- Circunscribidad.
- Radio.
- Anisometría.
- Voluminosidad.
- Circularidad.
- Factor de estructura.

3.1.4.4 Reconocimiento e interpretación

3.1.4.4.1 Reconocimiento de Patrones Durante el reconocimiento se asigna una etiqueta al objeto en estudio basándose en la información que brindan sus características. Podemos comprender el concepto del reconocimiento de patrones como un modo de entender el mundo, del mismo modo en el que un niño reconoce

su entorno basándose en patrones visuales (color, forma, etc.), patrones auditivos (sonidos, música, etc.), Sabores (dulce, salado, etc.) entre otros. Conforme el niño crece, este refina sus sentidos aprendiendo a reconocer diferentes tonalidades de color, diferencias entre melódicas, aprendiendo a distinguir unas cosas de otras y tomar decisiones (Martinez & Carrasco, 2011).

Entonces, podemos definir al reconocimiento de Patrones como "la ciencia que se ocupa de los procesos sobre ingeniería, computación y matemáticas relacionados con objetos físicos y/o abstractos, con el propósito de extraer información que permita establecer propiedades de o entre conjuntos de dichos objetos, los cuales nos permitan interpretar el mundo que nos rodea" (Ruiz & Guzman, n.d.).

Para solucionar problemas basándose en reconocimiento de patrones, Martinez and Carrasco (2011) sugiere diferentes líneas de investigación, entre ellas encontramos:

- Reconocimiento estadístico de Patrones: Basado en la teoría de Probabilidad y estadística, supone que cuenta con un conjunto de medidas numéricas con distribuciones de probabilidad conocida y estimable, a partir de ellas se realiza el reconocimiento.
- Reconocimiento Sintactico de Patrones: Desarrollado por elementos descritos como cadenas de símbolos, grafos, etc. El objetivo del método es encontrar relaciones estructurales que tienen los objetos de estudio.
- Redes Neuronales: Este método es ampliamente estudiado, entrenando Redes Neuronales Artificiales es posible dar una cierta respuesta cuando se presentan determinados valores numéricos en sus entradas. De esta forma el sistema puede dar una respuesta similar al introducirse una entrada parecida a las utilizadas durante el entrenamiento.
- Reconocimiento Lógico Combinatorio: Es una alternativa a los enfoques ya mencionados, permite analizar el problema de la forma más cercana posible a la realidad del mismo sin hacer suposiciones que no estén fundamentadas. Los atributos que se analizan deben de seleccionarse con cautela, ya que pueden derivar en operaciones que resulten poco coherentes respecto al problema representado.

3.1.4.4.2 Interpretación Le da un significado a los objetos reconocidos para finalmente clasificar en categorías o modelos según sus propiedades.

3.2 Sistema de iluminación

La iluminación en una escena juega un papel vital durante la solución de problemas basados en VA. Eligiendo el modo de iluminación adecuado, es posible mejorar la exactitud y la fiabilidad de los algoritmos y técnicas empleadas. Para reducir en número de variables, el sistema debe estar provisto con la mejor imagen que sea posible, la cual es el resultado de la luz reflejada en un objeto y recolectada por un lente como se muestra en la Figura 3.12 (Etcheverry, 2005).

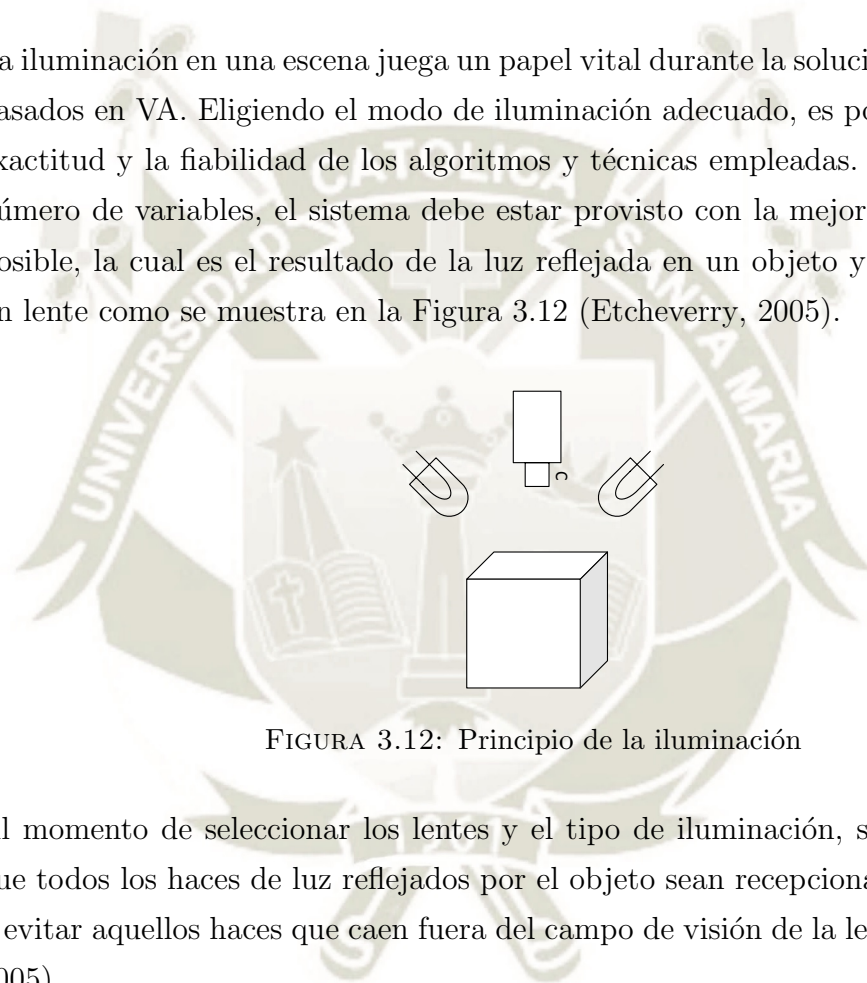


FIGURA 3.12: Principio de la iluminación

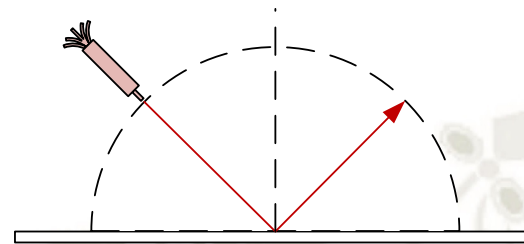
Al momento de seleccionar los lentes y el tipo de iluminación, se debe procurar que todos los haces de luz reflejados por el objeto sean recepcionados por el lente y evitar aquellos haces que caen fuera del campo de visión de la lente (Etcheverry, 2005).

3.2.1 Tipos de reflexión

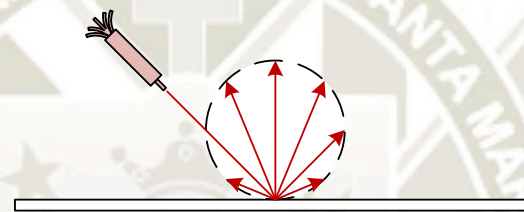
Según (Etcheverry, 2005) existen principalmente dos tipos de reflexión de luz los cuales se encuentran representados gráficamente en la Figura 3.13.

- Reflexión especular: Los rayos incidentes se reflejan en una sola dirección, como resultado los rayos reflejados son paralelos, brillantes y poco confiables.

- Reflexiones difusas: Los rayos incidentes son tenues pero de intensidad estable, la luz varía sutilmente con el ángulo.



(A) Reflexión especular



(B) Reflexión difusa

FIGURA 3.13: Tipos de reflexión

3.2.2 Técnicas de iluminación

A continuación se describen las técnicas más usuales en el campo de la visión artificial según Etcheverry (2005).

1. Iluminación posterior (*backlight*): Si solo es requerido el contorno para el reconocimiento o medición de un objeto, es posible apoyar dicha pieza sobre una superficie transparente e iluminar contra la cámara tal como se aprecia en la Figura 3.14. El resultado es un alto contraste el cual facilita la segmentación de la imagen (Sobrado, 2003).

Existen 2 tipos de iluminación posterior las cuales son:

- Iluminación posterior difusa: En la Figura 3.15, se puede apreciar como los rayos de luz se transmiten en diversos ángulos.

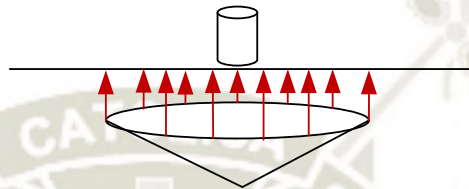
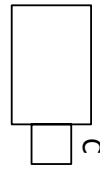


FIGURA 3.14: Retroiluminación difusa

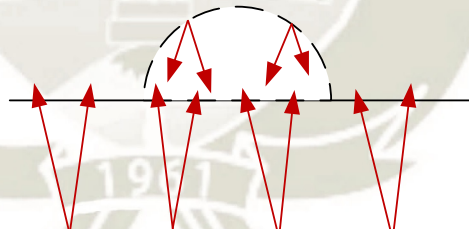
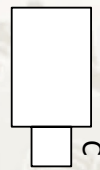


FIGURA 3.15: Iluminación posterior difusa

- Iluminación posterior direccional: En la Figura 3.16, se puede apreciar como un colimador hace que todos los rayos de luz se propaguen en direcciones paralelas.
2. Iluminación frontal oblicua y direccional: Como se aprecia en la Figura 3.17, en este tipo de iluminación, el ángulo formado entre el plano horizontal y el haz de luz de la fuente de iluminación idealmente es de $30deg$. El objetivo de este tipo de iluminación es el de reducir el contraste e incrementar la cantidad

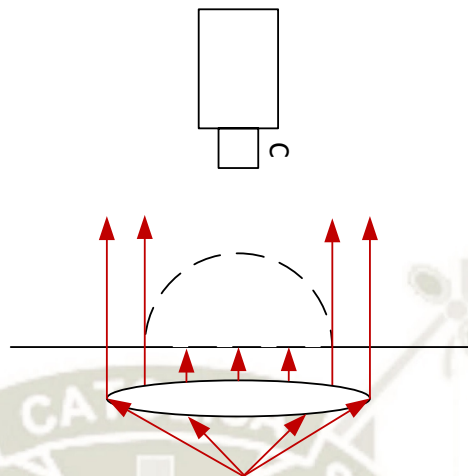


FIGURA 3.16: Iluminación posterior direccional

de información que se puede obtener de las superficies planas. (Etcheverry, 2005)

3. Luz estructurada: Tal como se indica en la Figura 3.18, en este tipo de iluminación se busca proyectar sobre la pieza patrones de luz estructurada conocida y modulada y observar la luz reflejada para obtener información sobre la constitución y superficie de la pieza en estudio. Esta iluminación es utilizada para realizar reconstrucciones 3D de objetos. (Sobrado, 2003)

3.3 Automatización

Acuña (1990) define automatización como el resultado tecnológico de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales. Estos sistemas permiten tomar acciones y decisiones basados en las características del proceso. Acuña (1990) concluye que existen seis ventajas producto el uso de la automatización: (a) productividad; (b) calidad; (c) no intervención humana en el proceso; (d) no intervención humana en ambientes de riesgo; (e) eficiente uso de materiales; (f) reducción en tiempos de preparación.

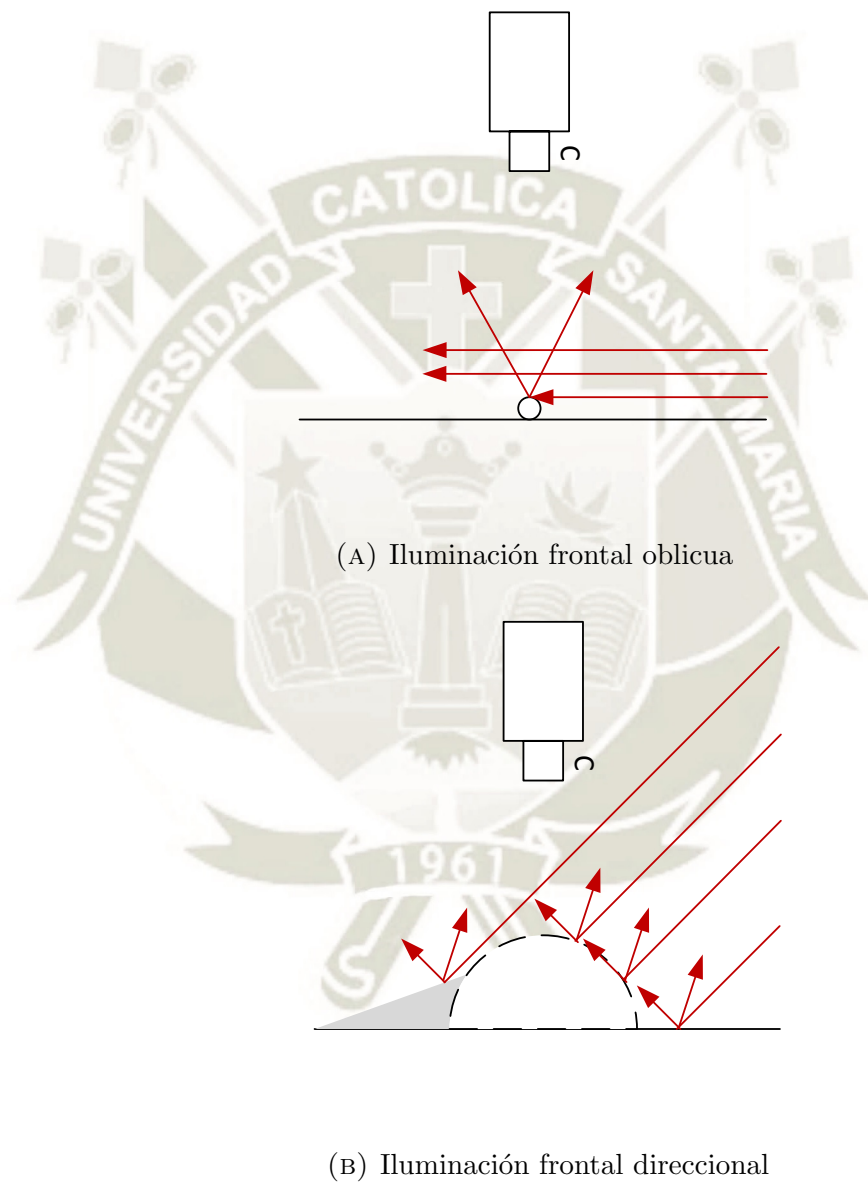


FIGURA 3.17: Iluminación frontal oblicua y direccional

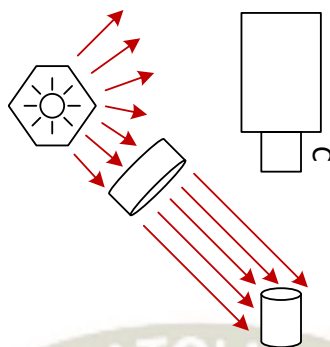


FIGURA 3.18: Luz estructurada

3.3.1 Transductores y sensores

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un estado físico a otro estado físico. En otras palabras, el transductor es un convertidor de energía. Para que este comportamiento se cumpla, la entrada del transductor siempre tiene energía o poder. Para efectos de medición, la energía o poder remanente del transductor es medida. Cualquier dispositivo que convierta señales de un tipo a otra señal diferente es un transductor. Esto último se aplica a señales mecánicas, térmicas, eléctricas, magnéticas, entre otras (Pall's-Areny & Webster, 2001).

Aquellos dispositivos utilizados para medir y cuya salida es eléctrica, se denominan sensores. En la Tabla 3.2 se muestra la clasificación por criterios según Pall's-Areny and Webster (2001). De acuerdo al mismo autor, estos sistemas de medición electrónico ofrecen algunos beneficios:

- Los sensores pueden ser diseñados para cantidades no eléctricas empleando el material adecuado. Cualquier variación de algún parámetro no - eléctrico implica una variación en el parámetro eléctrico.
- La energía no se extrae del fenómeno medido. La salida del sensor puede ser amplificada.

- Existe una variedad de de circuitos integrados disponibles para el acondicionamiento o modificación de los sensores. Algunos sensores disponibles en el mercado ya cuentan con esta característica integrada.
- Los sensores pueden mostrar la información por medios electrónicos visuales. Esta característica permite el manejo de datos, texto, diagramas y gráficos.
- La transmisión de señales es más versátil de forma eléctrica.

TABLA 3.2: Clasificación de sensores según diferentes criterios exhaustivos // Adaptado de Pall's-Areny and Webster (2001)

Criterio	Clase	Ejemplo
Suministro de energía	Modular	Termistor
	Auto - generado	Termocupla
Señal de salida	Analógico	Potenciómetro
	Digital	Encoder de posición
Modo de operación	Deflección	Acelerómetro deflectivo
	Nulo	Servo - acelerómetro

3.3.2 Sistemas embebidos

Son componentes diseñados para realizar funciones específicas. Estos equipos pueden ser parte de de otros sistemas. Brindan funcionalidades adicionales a los equipos existentes. Usualmente no son percibidos como computadoras, debido a que carecen de una interfaz de usuario. Sin embargo, existen algunos micro - computadores capaces de contar con un sistema operativo, son programables y emplear equipos periféricos.

De acuerdo a Zurawski (2005) los sistemas embebidos tienen ciertas características:

- Usualmente están diseñados para realizar la misma tarea.
- Forman parte de un sistema de control.
- Algunos componentes cuentan con la capacidad de realizar operaciones en tiempo real.

3.3.2.1 Micro-Controladores

Actualmente, Arduino es muy utilizado por su versatilidad. Soriano et al. (n.d.) concluyere que esta plataforma permite su utilización en aplicaciones didácticas en automática, control, comunicaciones inalámbricas, entre otros. Arduino tiene por filosofía el Código Abierto. Esto permite que la comunidad desarrolle variaciones de acuerdo al número de entradas, salidas o necesidades especiales.

3.3.2.2 Micro-Computadores

En el mercado actual están disponibles diferentes Micro Computadores. Uno de ellos es Beaglebone Black. Este Micro Computador fue desarrollado por Texas Instruments y cuenta con un procesador ARM Cortex A8 capaz de operar hasta 1 GHz. El sistema puede emplear diferentes sistemas operativos (Debian, Ubuntu, Android, etc) y correr los programas que se les instale para desarrollar múltiples aplicaciones (Kridner & Barrett, 2013).

Capítulo 4

Diseño del sistema

El diseño desde siempre ha sido desarrollado en base a la experiencia del diseñador, la creciente demanda de nuevos productos originó la necesidad de crear una metodología para el diseño. Como resultado, en la actualidad la técnica del diseño se puede enseñar y aprender (Barriga, 2011).

El diseño del sistema se elaboró considerando los lineamientos de la norma *VDI 2221 (VDI-Richtlinie: VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, n.d.)* pensada por la *Asociación Alemana de Ingenieros*, dicha metodología se puede resumir como se indica a continuación:

1. Comprensión de la solicitud:

- Comprender y estudiar el problema.
- Definir las características del producto a diseñar.
- Restricciones (costos, plazos, disponibilidad, mano de obra, etc).

2. Concepto de Solución:

- Definir el concepto de solución del problema.
- Bosquejar la solución al problema.
- Considerar el modo en que trabajarán los ensamblajes y los materiales a utilizar.

3. Elaboración del proyecto:

- Efectuar los cálculos necesarios.
- Elaborar los planos de ensamble y listado de piezas.
- Definir los grupos electrónicos, eléctricos, software y control.

4. Elaboración de Detalles:

- Elaborar los planos de fabricación y montaje.
- Todos los cálculos deberán estar debidamente documentados.
- Las tarjetas electrónicas, control y programación deben ser desarrollados.

Cualquiera que sea el método elegido para elaborar algún diseño verá de algún modo las 04 fases de un diseño mostrada en la Figura 4.1:

- Fase I: Correspondiente a la información
- Fase II: Correspondiente a la creación
- Fase III: Correspondiente al desarrollo.
- Fase IV: Correspondiente al detalle.

En la Figura 4.2, se puede apreciar las partes principales de la metodología de diseño empleada en la presente investigación, en la columna izquierda se indica las actividades correspondientes a cada parte.

4.1 Comprensión de la solicitud

En el Capítulo 2, se estudió el estado de la tecnología actual correspondiente a la solución de problemas con VA, en el Capítulo 3, se recordó los conceptos básicos necesarios para la elaboración del presente trabajo de investigación.

En este punto del diseño, se debe analizar el problema en forma crítica elaborando una Lista de exigencias, estas exigencias se deben considerar como un contrato

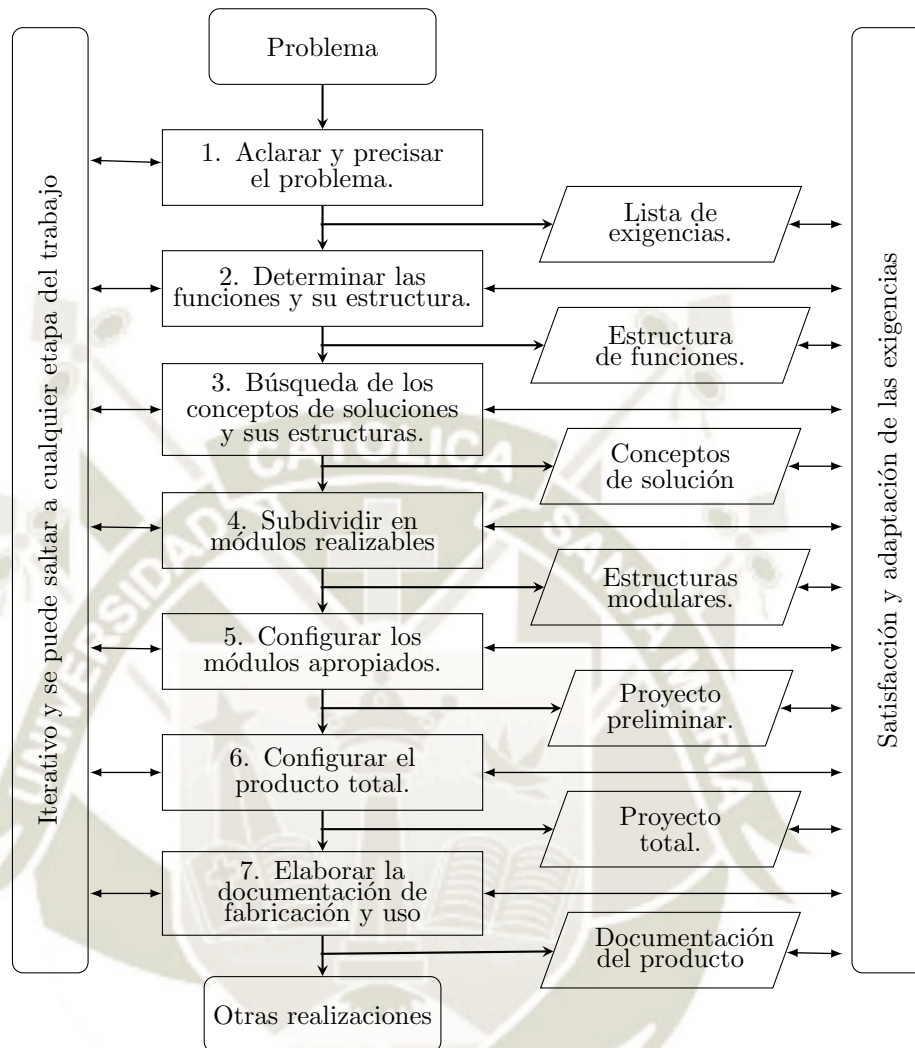


FIGURA 4.1: Proceso generalizado de desarrollo y diseño VDI 2221 02.1993 (11.1986)
Adaptado de Barriga (2011)

en el cual se encuentren redactadas las especificaciones del problema tal como se aprecia en la Tabla 4.1. Estas especificaciones se deben redactar de modo que no existan malos entendidos que puedan incurrir en pérdidas económicas o acciones legales.

4.1.1 Estructura de funciones

Para encontrar un concepto óptimo de solución, se debe elaborar una estructura de funciones a raíz del proceso de Abstracción.

TABLA 4.1: Lista de exigencias

Proyecto:	Diseño e implementación de un sistema de control de medidas	
Característica	Estado	Descripción
Función	E	El sistema basado en visión artificial embebida clasifica piezas cilíndricas según medidas.
Control	E	Se realiza el control de motores, sensores, actuadores y válvulas seleccionadas durante el proceso de diseño.
Control	E	El control del módulo se realizará empleando un controlador.
Hardware	E	El sistema cuenta con una zona de alimentación de piezas cilíndricas, captura, estampado y paletizado.
Hardware	E	El proceso de Visión Artificial se realiza con un procesador embebido.
Iluminación	D	El módulo cuenta con iluminación LED en la zona de captura.
Materia	E	Se trabaja con piezas cilíndricas de teflón de 30 <i>mm</i> y 35 <i>mm</i> con 40 <i>mm</i> de altura.
Montaje	D	La instalación, montaje y desmontaje del sistema es sencillo e intuitivo.
Mantenimiento	E	Es necesario limpiar con un paño limpio seco y suave de microfibra el lente de la cámara cada 08 horas de funcionamiento.
Seguridad	E	El diseño del sistema asegura la integridad física de los operarios.
Energía	D	La alimentación es eléctrica con 24V DC / 5A.
Geometría	E	La zona de captura es dimensionado de acuerdo a las especificaciones requeridas.
Fabricación	D	Los componentes seleccionados pueden ser adquiridos en el mercado nacional.
Fabricación	E	Los materiales empleados para la construcción del módulo pueden ser adquiridos en el mercado nacional.
Ergonomía	E	El equipo debe ser intuitivo y de cómoda manipulación
Calibración	E	Es necesario calibrar el equipo con muestras antes de ser utilizado.
Software	E	La programación es efectuada empleando software y librerías adecuadas para las tareas.

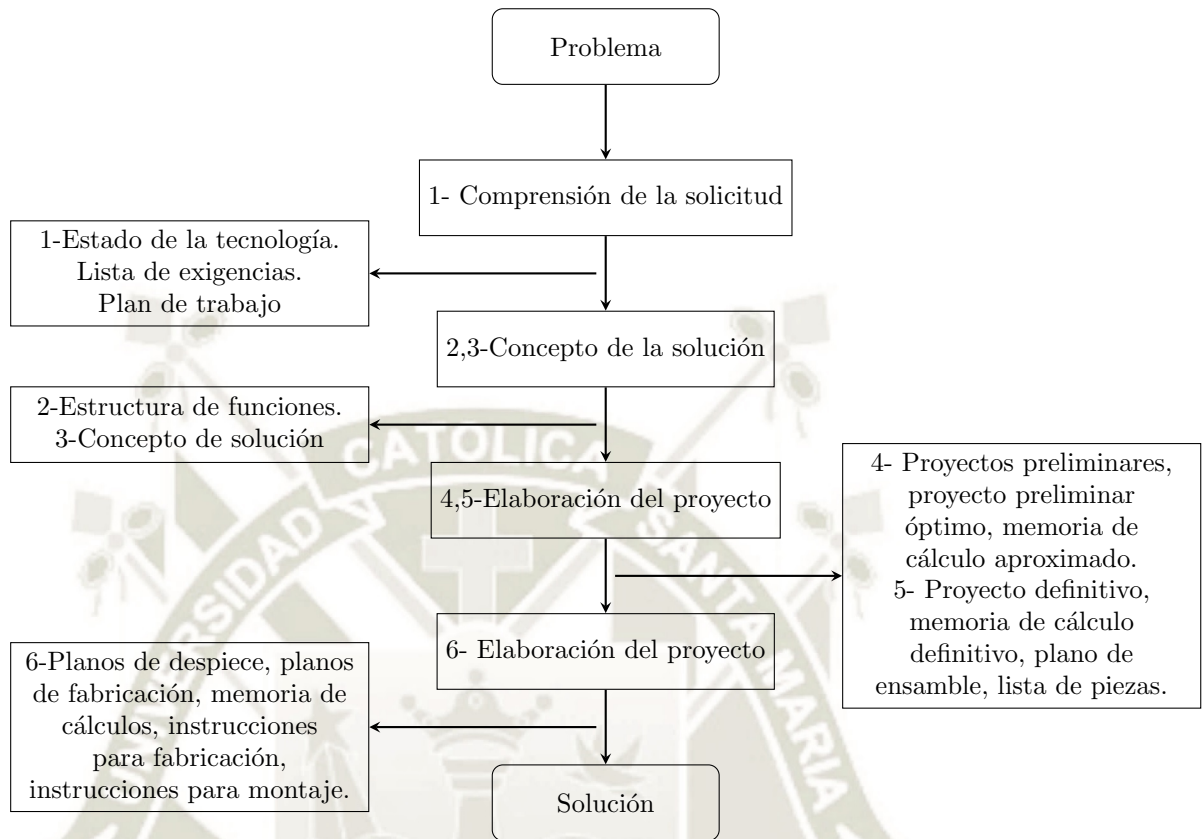


FIGURA 4.2: Método de diseño y sus fases
Adaptado de Barriga (2011)

4.1.1.1 Abstracción

Uno de los objetivos de el proceso de Abstracción es abarcar la mayor cantidad de soluciones empleando toda la tecnología, materiales y procesos de fabricación disponibles, para poder obtener múltiples y mejores soluciones (Barriga, 2011).

Cualquier función se puede incluir en una abstracción de caja negra mostrada en la Figura 4.3, en la que predominan solo 3 magnitudes (señal, energía y materia).

Basándose en el modelo mostrado en la Figura 4.3 y tomando como referencia los datos de entrada detallados en la lista de exigencias de la Tabla 4.1, obtenemos la abstracción de caja negra mostrado en la Figura 4.4.

4.1.1.1.1 Secuencia de operaciones y funciones En este proceso del diseño, se debe resumir en verbos todas las funciones que realizara el objeto en diseño;

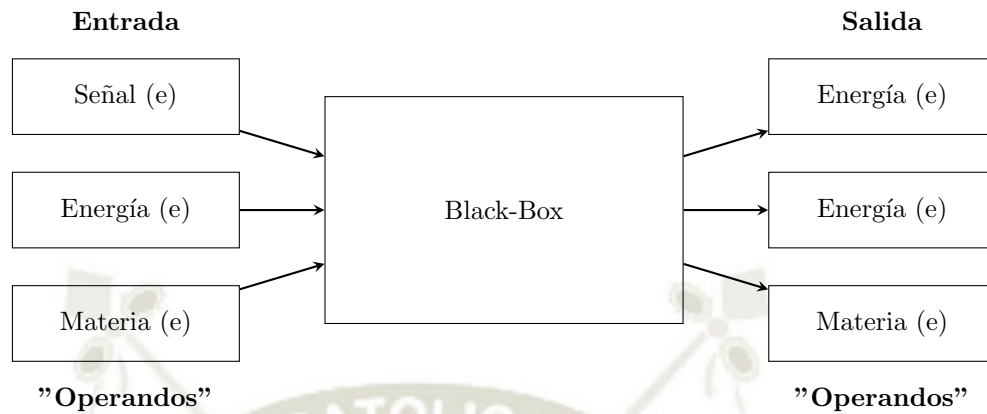


FIGURA 4.3: La máquina como caja negra
Adaptado de Barriga (2011)



FIGURA 4.4: Abstracción Black-Box Sistema de Visión

(Valdivia, 2016) muestra un análisis similar para esta metodología de diseño aplicada a sistemas de inspección sin contacto basado en VA.

1. Preparación.

- *Mover* todo el sistema a sus condiciones iniciales para poder iniciar la clasificación.
- *Recepcionar* las piezas cilíndricas.

2. Ejecución.

- *Posicionar* la pieza cilíndrica.

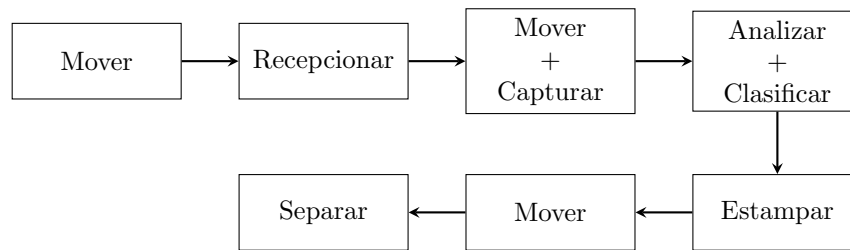


FIGURA 4.5: Funciones secuenciales agrupadas

- *Verificar* que se encuentre la pieza correctamente posicionada.

3. Control.

- *Encender* la maquina e iniciar el proceso de selección.
- *Verificar* que la cámara se encuentre operativa.
- *Controlar* que la pieza cilíndrica tenga el diámetro deseado.

4. Fase final.

- *Retornar* los elementos a condiciones iniciales.
- *Reiniciar* la secuencia de operaciones.

4.1.1.1.2 Agrupación de funciones Después de declarar la secuencia de las operaciones y las funciones, el siguiente paso implica agruparlas para obtener una secuencia como se muestra gráficamente en la Figura 4.5.

4.1.1.1.3 Estructura de funciones La estructura de funciones se dividirán en dominios, para esta investigación se realizara el procedimiento para el Dominio de la Visión, Dominio Mecánico y Dominio de Control, los cuales se muestran en las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8 respectivamente.

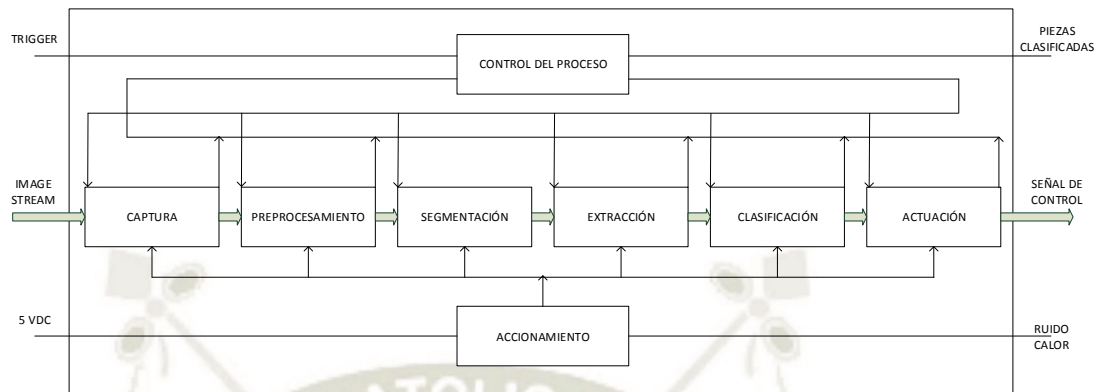


FIGURA 4.6: Dominio de funciones: Dominio de la Visión

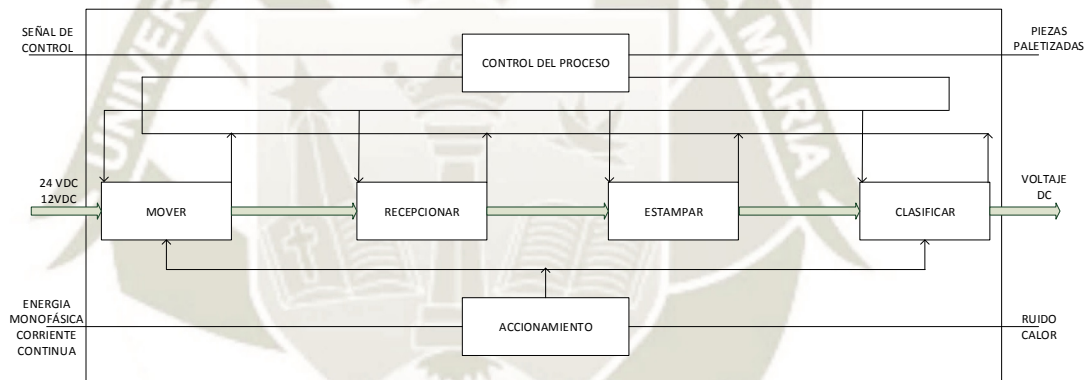


FIGURA 4.7: Dominio de funciones: Dominio Mecánico

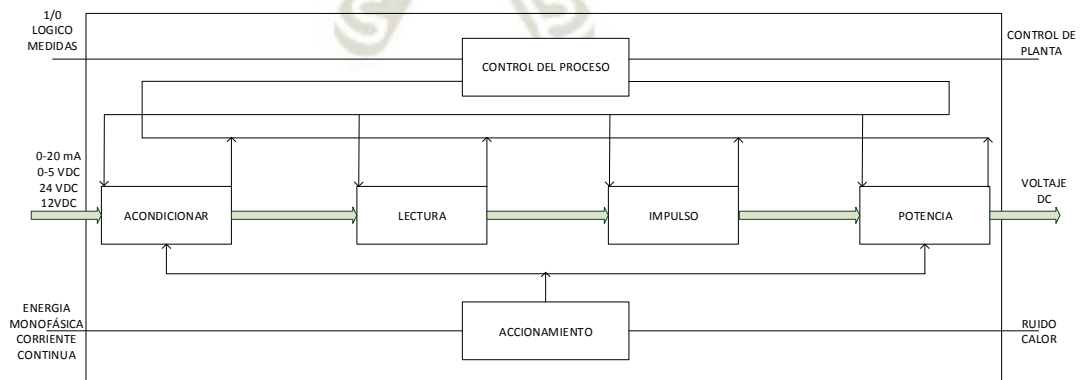


FIGURA 4.8: Dominio de funciones: Dominio de Control

4.1.2 Concepto de solución

4.1.2.1 Matriz morfológica de Zwicky

Es conocido que existen diversos métodos para encontrar las posibles soluciones a las funciones parciales. En esta investigación se empleó el método de la Matriz morfológica de Zwicky (1971) en la cual queda a criterio del diseñador unir los portadores de funciones para encontrar la mejor solución posible. En las Tablas 4.2, 4.3 y 4.4, se muestran las combinaciones utilizadas para obtener el concepto de solución.

TABLA 4.2: Matriz morfológica para el dominio de la Visión

Funciones Parciales	Portadores de funciones				
	1	2	3	4	5
Energizar	5VDC	12VDC	24VDC		
Iluminar	LED	Natural			
Captura	Embebida	Web			
Comunicación	USB 2.X	USB 3.X	Semi-Industrial	Industrial	
Preprocesamiento, segmentación, extracción, clasificación	μ Controlador	μ Computador	DB - 25 Procesador embebido	DB - 15 DSP	TCP/IP PC
Enviar	TX/RX	USB 2.X	DB - 25	DB - 15	TCP / IP

→ Solución 1; → Solución 2

TABLA 4.3: Matriz morfológica para el dominio del Control

Funciones Parciales	Portadores de funciones				
	1	2	3	4	5
Señales	0-20 mA	12VDC	24VDC		
Acondicionar	Optoacoplador	Divisor voltaje	Opamp		
Lectura	PLC	μ Controlador	μ Computador	PC	DPS
Control					
Impulso					
Potencia	Rele	Transistor	Optoacoplador		

→ Solución 1; → Solución 2

Una vez que se realizaron las combinaciones, el siguiente paso es realizar una evaluación. Para la evaluación, se considera los aspectos técnicos y económicos como los mostrados en la Tabla 4.5. Todos los aspectos deberán calificarse en una escala del 0 al 4 del modo mostrado en la Tabla 4.6. Se reserva el 4 para una solución ideal. Las calificaciones efectuadas para los aspectos técnicos y económicos de los dominios estudiados se muestran en la Tabla 4.7, 4.8 y 4.9.

TABLA 4.4: Matriz morfológica para el dominio Mecánico

Funciones Parciales	Portadores de funciones				
	1	2	3	4	5
Mover	Conveyor	Tornamesa	Manual		
Alimentar	Gravedad	Manual	Robot		
Recepcionar	Neumática	Hidráulica	Manual	Robot	
Estampar	Rueda	Neumático	Grabado	Manual	Robot
Clasificar	Ventosa	Desviador	Gripper	Robot	Manual

→ Solución 1; -> Solución 2

TABLA 4.5: Aspectos posibles de Evaluación del Concepto de Solución

Aspectos Técnicos	Aspectos Económicos
Buen uso de la energía.	Numero de piezas.
Seguridad.	Productividad.
Rapidez.	Costos de la tecnología.
Estabilidad.	Numero de operarios.
Robustez.	Facilidad de montaje.
Manipulación.	Fácil mantenimiento.
Facilidad de manejo.	Costo de operación.
Transportabilidad.	
Calidad de trabajo.	
Fácil instalación.	

TABLA 4.6: Escala de Calificación

0	1	2	3	4
No satisface	Aceptable a las justas	Suficiente	Bien	Muy bien

4.2 Proyecto preliminar

Para elaborar el proyecto definitivo, el diseñador debe considerar los siguientes criterios según Barriga (2011):

- Determinar las dimensiones generales.
- Calcular las dimensiones de las piezas.
- Determinar los materiales.

TABLA 4.7: Evaluación de la Matriz Morfológica - Dominio de la Visión

Propiedad Técnica / Económica	Dominio de la Visión		
	Soluciones		
	Solución 1	Solución 2	Solución Ideal
Buen uso de la energía	3	2	4
Seguridad	1	3	4
Rapidez	1	3	4
Estabilidad	2	3	4
Robustez	1	3	4
Manipulación	1	3	4
Confiabilidad	2	3	4
Facilidad de manejo	1	3	4
Transportabilidad	3	2	4
Calidad de trabajo	2	3	4
Fácil instalación	2	2	4
Número de Piezas	1	3	4
Productividad	2	3	4
Costos de la Tecnología	3	1	4
Numero de Operarios	3	3	4
Facilidad de montaje	1	2	4
Fácil mantenimiento	3	1	4
Costo de operación.	3	1	4
TOTAL	35	44	72

- Configurar las piezas y uniones.
- Determinar los circuitos electrónicos y eléctricos.
- Determinar el lenguaje de programación del sistema.
- Identificar los grupos constructivos.
- Evaluar las mejores soluciones
- Realizar cálculos de resistencia y selección de componentes.
- Desarrollar la estrategia de control y automatización.

A continuación se deberá efectuar un análisis técnico económico de las soluciones propuestas ponderando los resultados de las Tablas 4.7, 4.8 y 4.9. Según Sapag and Sapag (2008) el método de la Matriz de Enfrentamiento o Matriz de Selección, es el método apropiado para determinar los pesos según la importancia de cada

TABLA 4.8: Evaluación de la Matriz Morfológica - Dominio del Control

Propiedad Técnica / Económica	Dominio del Control		
	Soluciones		
	Solución 1	Solución 2	Solución Ideal
Buen uso de la energía	3	3	4
Seguridad	3	3	4
Rapidez	2	3	4
Estabilidad	2	2	4
Robustez	2	3	4
Manipulación	1	3	4
Confiabilidad	2	2	4
Facilidad de manejo	3	2	4
Transportabilidad	3	1	4
Calidad de trabajo	2	2	4
Fácil instalación	2	3	4
Número de Piezas	1	3	4
Productividad	2	3	4
Costos de la Tecnología	3	3	4
Numero de Operarios	1	3	4
Facilidad de montaje	1	3	4
Fácil mantenimiento	3	3	4
Costo de operación.	3	1	4
TOTAL	39	46	72

criterio escogido. Es así, que las matrices de enfrentamiento para las propiedades técnicas y económicas, se indican en las Tablas 4.10 y 4.11.

Empleando el método cualitativo por puntos de Sapag and Sapag (2008) se seleccionan alternativas que sumen la mayor puntuación en las calificaciones ponderadas. El resultado de dicha ponderación para el Dominio de la Visión, Control y Mecánico, se muestra en las Tablas 4.12, 4.13 y 4.14.

En la Tabla 4.14 se presentan los máximos valores obtenidos. Además, se resaltó la mínima distancia desde cada par ordenado hacia la diagonal ideal. La solución que contenga la mínima distancia representa aquella que tenga el mejor balance de propiedades técnicas y económicas. Por lo tanto, se empleará la Solución 1, 2 y 1 para los dominios de la Visión, Control y Mecánico respectivamente.

TABLA 4.9: Evaluación de la Matriz Morfológica - Dominio Mecánico

Propiedad Técnica / Económica	Dominio Mecánico		
	Soluciones		
	Solución 1	Solución 2	Solución Ideal
Buen uso de la energía	3	3	4
Seguridad	3	3	4
Rapidez	3	2	4
Estabilidad	2	3	4
Robustez	2	3	4
Manipulación	2	2	4
Confiabilidad	2	3	4
Facilidad de manejo	3	2	4
Transportabilidad	3	3	4
Calidad de trabajo	1	3	4
Fácil instalación	2	3	4
Número de Piezas	1	3	4
Productividad	2	3	4
Costos de la Tecnología	3	3	4
Numero de Operarios	2	2	4
Facilidad de montaje	2	3	4
Fácil mantenimiento	3	3	4
Costo de operación.	2	2	4
TOTAL	41	49	72

TABLA 4.10: Matriz de enfrentamiento - Propiedades Técnicas

Propiedad Técnica	Buen uso de la energía	Seguridad	Rapidez	Estabilidad	Robustez	Manipulación	Confiabilidad	Facilidad de manejo	Transportabilidad	Calidad de trabajo	Facil instalación	Conteo	%	Ponderación
Buen uso de la energía	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0.02
Seguridad	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9	16	0.16
Rapidez	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	6	11	0.11
Estabilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	18	0.18
Robustez	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	18	0.18
Manipulación	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	2	4	0.04
Confiabilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	18	0.18
Facilidad de manejo	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	3	5	0.05
Transportabilidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0.02
Calidad de trabajo	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	4	0.04
Facil instalación	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0.04
												56	100	1.00

TABLA 4.11: Matriz de enfrentamiento - Propiedades Económicas

Propiedad Económica	Número de piezas	Productividad	Costos de la tecnología	Número de operarios	Facilidad de montaje	Facil mantenimiento	Costo de operación	Conteo	%	Ponderación
Número de piezas	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0.03
Productividad	1	1	1	1	0	1	1	5	17	0.17
Costos de la tecnología	1	1	1	1	0	0	0	3	10	0.10
Número de operarios	1	1	1	1	1	1	1	6	21	0.21
Facilidad de montaje	1	1	1	1	1	1	1	6	21	0.21
Facil mantenimiento	0	0	1	0	0	1	1	2	7	0.07
Costo de operación	1	1	1	1	1	1	1	6	21	0.21
								29	100	1.00

TABLA 4.12: Evaluación del Proyecto Preliminar - Propiedades Técnicas

	Pond.	Visión						Control						Mecánico					
		Solución 1		Solución 2		Sol. Ideal		Solución 1		Solución 2		Sol. Ideal		Solución 1		Solución 2		Sol. Ideal	
		Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.
Buen uso de la energía	0.02	3.00	0.05	2.00	0.04	4.00	0.07	3.00	0.05	3.00	0.05	4.00	0.07	3.00	0.05	3.00	0.05	4.00	0.07
Seguridad	0.16	1.00	0.16	3.00	0.48	4.00	0.64	3.00	0.48	3.00	0.48	4.00	0.64	3.00	0.48	3.00	0.48	4.00	0.64
Rapidez	0.11	1.00	0.11	3.00	0.32	4.00	0.43	2.00	0.21	3.00	0.32	4.00	0.43	3.00	0.32	2.00	0.21	4.00	0.43
Estabilidad	0.18	2.00	0.36	3.00	0.54	4.00	0.71	2.00	0.36	2.00	0.36	4.00	0.71	2.00	0.36	3.00	0.54	4.00	0.71
Robustez	0.18	1.00	0.18	3.00	0.54	4.00	0.71	2.00	0.36	3.00	0.54	4.00	0.71	2.00	0.36	3.00	0.54	4.00	0.71
Manipulación	0.04	1.00	0.04	3.00	0.11	4.00	0.14	1.00	0.04	3.00	0.11	4.00	0.14	2.00	0.07	2.00	0.07	4.00	0.14
Confiabilidad	0.18	2.00	0.36	3.00	0.54	4.00	0.71	2.00	0.36	2.00	0.36	4.00	0.71	2.00	0.36	3.00	0.54	4.00	0.71
Facilidad de manejo	0.05	1.00	0.05	3.00	0.16	4.00	0.21	3.00	0.16	2.00	0.11	4.00	0.21	3.00	0.16	2.00	0.11	4.00	0.21
Transportabilidad	0.02	3.00	0.05	2.00	0.04	4.00	0.07	3.00	0.05	1.00	0.02	4.00	0.07	3.00	0.05	3.00	0.05	4.00	0.07
Calidad de trabajo	0.04	2.00	0.07	3.00	0.11	4.00	0.14	2.00	0.07	2.00	0.07	4.00	0.14	1.00	0.04	3.00	0.11	4.00	0.14
Facil instalación	0.04	2.00	0.07	2.00	0.07	4.00	0.14	2.00	0.07	3.00	0.11	4.00	0.14	2.00	0.07	3.00	0.11	4.00	0.14
			1.50		2.93		4.00		2.21		2.52		4.00		2.32		2.80		4.00

TABLA 4.13: Evaluación del Proyecto Preliminar - Propiedades Económicas

	Pond.	Visión						Control						Mecánico					
		Solución 1		Solución 2		Sol. Ideal		Solución 1		Solución 2		Sol. Ideal		Solución 1		Solución 2		Sol. Ideal	
		Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.	Calific.	Punt.
Número de piezas	0.03	1.00	0.03	3.00	0.10	4.00	0.14	1.00	0.03	3.00	0.10	4.00	0.14	1.00	0.03	3.00	0.10	4.00	0.14
Productividad	0.17	2.00	0.34	3.00	0.52	4.00	0.69	2.00	0.34	3.00	0.52	4.00	0.69	2.00	0.34	3.00	0.52	4.00	0.69
Costos de la tecnología	0.10	3.00	0.31	1.00	0.10	4.00	0.41	3.00	0.31	3.00	0.31	4.00	0.41	3.00	0.31	3.00	0.31	4.00	0.41
Número de operarios	0.21	3.00	0.62	3.00	0.62	4.00	0.83	1.00	0.21	3.00	0.62	4.00	0.83	2.00	0.41	2.00	0.41	4.00	0.83
Facilidad de montaje	0.21	1.00	0.21	2.00	0.41	4.00	0.83	1.00	0.21	3.00	0.62	4.00	0.83	2.00	0.41	3.00	0.62	4.00	0.83
Fácil mantenimiento	0.07	3.00	0.21	1.00	0.07	4.00	0.28	3.00	0.21	3.00	0.21	4.00	0.28	3.00	0.21	3.00	0.21	4.00	0.28
Costo de operación	0.21	3.00	0.62	1.00	0.21	4.00	0.83	3.00	0.62	1.00	0.21	4.00	0.83	2.00	0.41	2.00	0.41	4.00	0.83
			2.34		2.03		4.00		1.93		2.59		4.00		2.14		2.59		4.00

TABLA 4.14: Balance Técnico - Económico del Proyecto Preliminar

	Dominio de la Visión			Dominio del Control			Dominio Mecánico		
	Prop. Técnica	Prop. Económica	Distancia	Prop. Técnica	Prop. Económica	Distancia	Prop. Técnica	Prop. Económica	Distancia
Solución 1	1.5	2.3	0.60	2.2	1.9	0.20	2.3	2.1	0.13
Solución 2	2.9	2.0	0.63	2.5	2.6	0.05	2.8	2.6	0.15
Sol. Ideal	4.0	4.0	0.00	4.0	4.0	0.00	4.0	4.0	0.00

A continuación, en las Figuras 4.9, 4.10 y 4.11, se representan gráficamente lo indicado en la Tabla 4.14. Esto se realiza con el objetivo de elegir la solución que se encuentre mas próxima a la recta pendiente que corresponde a la solución ideal, en otros términos, se deberá seleccionar la solución que represente el mejor balance entre las propiedades técnicas y económicas.

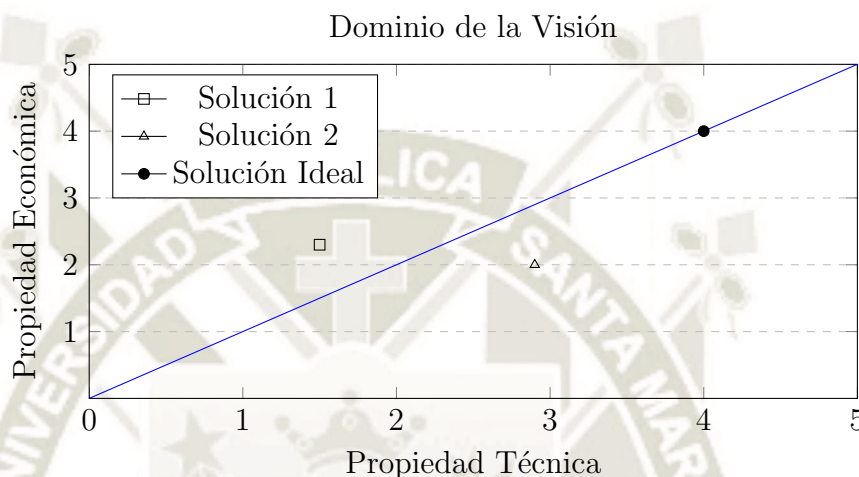


FIGURA 4.9: Balance Técnico y Económico del Dominio de la Visión

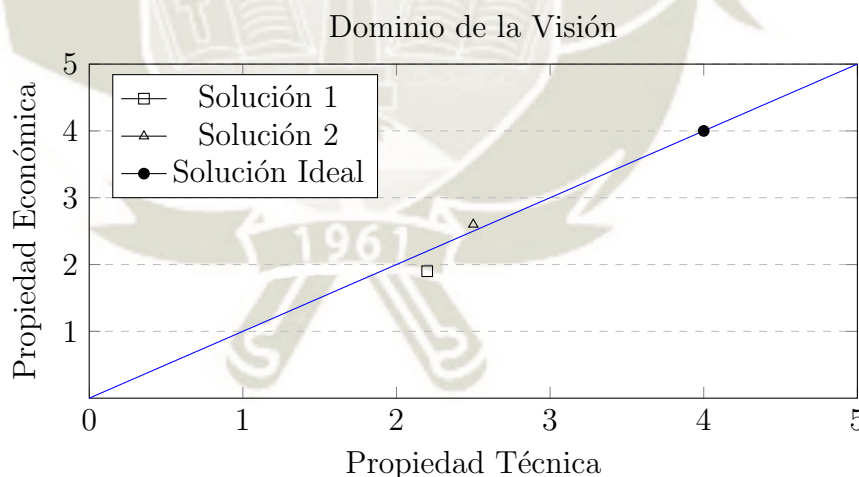


FIGURA 4.10: Balance Técnico y Económico del Dominio del Control

4.2.1 Comprensión del Dominio Mecánico

Como resultado del método de diseño, el bosquejo mostrado Figura 4.12, resume a grandes rasgos el diseño óptimo del proyecto. El sistema alimenta por gravedad

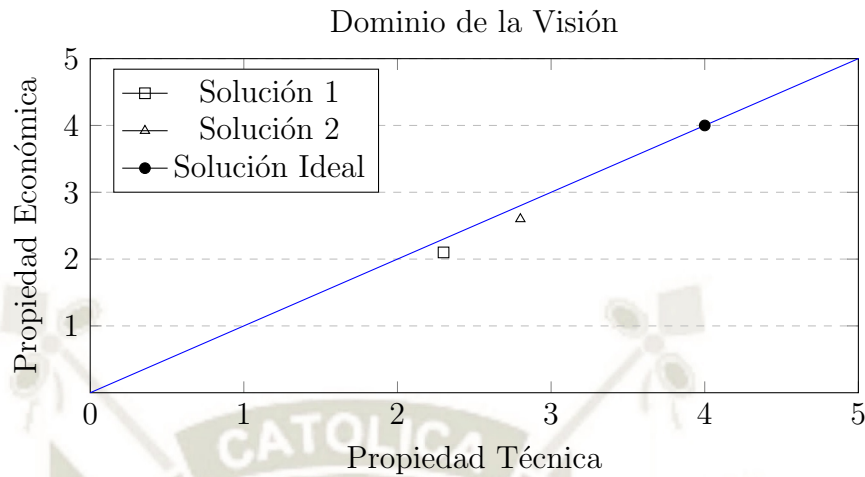


FIGURA 4.11: Balance Técnico y Económico del Dominio Mecánico

piezas cilíndricas de teflón hacia una tornamesa que transporta las piezas hacia un paletizador por ventosa. A lo largo de su trayectoria, la pieza atraviesa una zona de estampado. Una cámara suspendida inspecciona todo el proceso mientras realiza el procesamiento de imágenes correspondiente. Este sistema de visión determina el diámetro de las piezas.

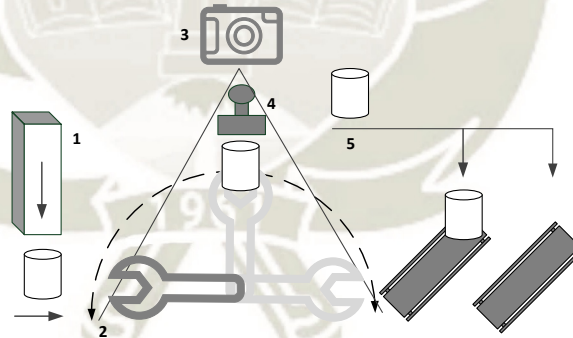


FIGURA 4.12: Diagrama del sistema

El tiempo máximo que toma una pieza en pasar el sistema de un extremo a otro t_t se puede validar matemáticamente con la expresión de la Ecuación 4.1, es decir, la sumatoria de los demás tiempos t_n presentes en el diagrama de la Figura 4.13.

$$t_t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + 2 \times t_5 + t_{6'} + t_7 + t_v + 4 \times t_g \quad (4.1)$$

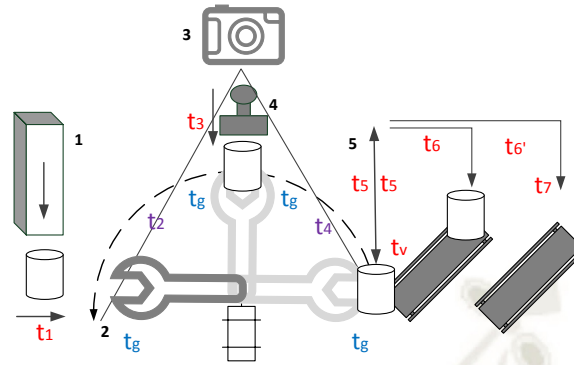


FIGURA 4.13: Diagrama de tiempos

Los tiempos t_1 , t_3 , t_5 , t_7 y t_g corresponden al tiempo que requieren los vástagos de los pistones seleccionados para cada tarea, en llegar a la posición extendida; las variables t_2 , t_4 indican el tiempo que tarda la tornamesa en llevar la pieza cilíndrica a través de las diferentes zonas del sistema, estos valores son de importancia durante la selección de la cámara como se verá en la Subsección 4.2.2; por último, t_6 y t_6' indican el tiempo necesario en trasladar la pieza cilíndrica entre las 02 zonas habilitadas para el paletizado t_v representa el tiempo en que la ventosa logra el vacío necesario para sostener las piezas cilíndricas.

4.2.1.1 Selección del los pistones

En esta sección se seleccionan los pistones neumáticos empleados. El diagrama neumático planteado se presenta en la Figura 4.14. Los pistones se seleccionan tomando en consideración el tiempo que tarda el desplazamiento completo de su Carrera. Para este ejercicio, se consideran los datos obtenidos de las hojas técnicas de los proveedores.

El procedimiento empleado es similar para los cuatro pistones empleados en el sistema y se detalla a continuación:

1. Interpolarse para determinar la velocidad de desplazamiento del pistón en la presión de trabajo (V_{sbar}).
2. Determinar el área de la sección del pistón (A).

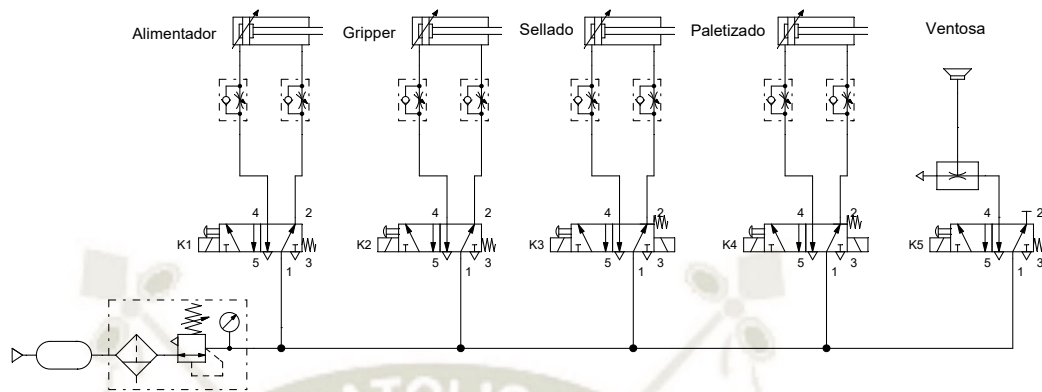


FIGURA 4.14: Diagrama neumático

3. Determinar la fuerza de empuje del pistón ($F = P \times A$).
4. Determinar el tiempo t_x que tarda el vástago en completar la Carrera.

La Ecuación 4.2 corresponde a la interpolación que se realiza para determinar la velocidad de desplazamiento de los pistones en la presión de trabajo empleado (8bar). El tiempo mínimo que tardan los pistones en completar la carrera se calcula dividiendo la carrera del pistón entre la velocidad ya interpolada tal como se muestra en la Ecuación 4.3. Reemplazando las Ecuaciones 4.2 en 4.3 se obtiene la formula general para todos los pistones neumáticos seleccionados.

$$V_{8bar} = \frac{7}{9}(V_{10bar} - V_{1bar}) + V_{1bar} \quad (4.2)$$

$$t_{piston} = \frac{carrera}{V_{8bar}} \quad (4.3)$$

$$t_{piston} = \frac{carrera}{\frac{7}{9}(V_{10bar} - V_{1bar}) + V_{1bar}} \quad (4.4)$$

Adicionalmente, se realizan los cálculos para determinar la fuerza que ejerce cada pistón. Para esta tarea es necesario determinar si los pistones realizan una fuerza de empuje o de arrastre. La Tabla 4.15 muestra el tipo de fuerza que ejerce cada pistón de acuerdo a las tareas asignadas. Aquellos pistones que realizan fuerzas

de empuje obedecen a la Ecuación 4.5 mientras que las fuerzas de arrastre se determinan con la Ecuación 4.6.

$$F_{empuje} = 2\pi(D_{embolo})^2 \quad (4.5)$$

$$F_{arrastre} = 2\pi(D_{embolo} - D_{vastago})^2 \quad (4.6)$$

TABLA 4.15: Tipo de fuerza por pistón

Pistón	Fuerza	
	Empuje	Arrastre
Puño alimentador	X	
Gripper	X	
Estampado		X
Paletizado	X	X

4.2.1.1.1 Pistón del Puño alimentador En la Tabla 4.16 se muestran los datos del pistón seleccionado para el puño de alimentación. El valor de la velocidad del pistón del puño alimentador es de $V_{8bar} = 395.5 \text{ mm/s}$. La fuerza de empuje del pistón de alimentación es $160.8N$. El vástago se extiende completamente en $t_1 = 0.12s$.

TABLA 4.16: Datos del pistón de alimentación

Modelo	Airtac ACQS16x50-B		
Carrera	50mm	Diámetro embolo	16mm
Presión de trabajo	8bar		
Presión 1 (p_1)	1bar	Presión 2 (p_2)	10bar
Velocidad 1 (v_1)	30mm/s	Velocidad 2 (v_2)	500mm/s

4.2.1.1.2 Pistón del Gripper En la Tabla 4.17 se muestran los datos del pistón seleccionado para el pistón del Gripper. El valor de la velocidad de este pistón es de $V_{8bar} = 628.8 \text{ mm/s}$. La fuerza de empuje de este sujetador es $62.8N$. El vástago del pistón se extiende completamente en $t_g = 0.06s$.

TABLA 4.17: Datos del pistón Gripper

Modelo		Airtac MI10x40-S	
Carrera	40mm	Diámetro embolo	10mm
Presión de trabajo	8bar		
Presión 1 (p_1)	1bar	Presión 2 (p_2)	10bar
Velocidad 1 (v_1)	30mm/s	Velocidad 2 (v_2)	800mm/s

4.2.1.1.3 Pistón del Puño de estampado En la Tabla 4.18 se muestran los datos del pistón seleccionado para la tarea de estampado. El valor de la velocidad del pistón del puño alimentador es de $V_{8bar} = 395.5 \text{ mm/s}$. La fuerza de arrastre del pistón seleccionado es $40.21N$. El vástago se retrae completamente en $t_3 = 0.12s$. Es importante resaltar que para el cálculo del área que comprende fuerza de arrastre, se considera la diferencia de diferencia de diámetros entre el émbolo y el vástago.

TABLA 4.18: Datos del pistón de estampado

Modelo		Airtac ACQS16x50-B	
Carrera	50mm	Diámetro embolo	16mm
Presión de trabajo	8bar	Diámetro vástago	8mm
Presión 1 (p_1)	1bar	Presión 2 (p_2)	10bar
Velocidad 1 (v_1)	30mm/s	Velocidad 2 (v_2)	500mm/s

4.2.1.1.4 Pistón de la Ventosa En la Tabla 4.19 se muestran los datos del pistón seleccionado para el paletizado. El valor de la velocidad del pistón seleccionado para el recojo y clasificación de cilindros es de $V_{8bar} = 628.8 \text{ mm/s}$. La fuerza de empuje del pistón es de $392.6N$. La fuerza de arrastre del pistón es $181.5N$. El vástago se extiende completamente en y retrae completamente en $t_5 = t_7 = 0.15s$. De manera análoga al caso anterior, para el cálculo del área que comprende fuerza de arrastre, se considera la diferencia de diferencia de diámetros entre el émbolo y el vástago.

TABLA 4.19: Datos del pistón de ventosa

Modelo	Airtac MIC25x100-S-CA		
Carrera	100mm	Diámetro embolo	25mm
Presión de trabajo	8bar	Diámetro vástago	8mm
Presión 1 (p_1)	1bar	Presión 2 (p_2)	10bar
Velocidad 1 (v_1)	30mm/s	Velocidad 2 (v_2)	800mm/s

4.2.1.2 Selección de la transmisión

A continuación se detalla la mecánica detras del movimiento de dos sub ensamblés del sistema de clasificación de piezas cilíndricas.

4.2.1.2.1 Transmisión de la Tornamesa La Figura 4.15 muestra gráficamente el funcionamiento de la tornamesa. La tornamesa tiene por tarea desplazar la pieza cilíndrica a través de la zona de alimentación, captura, estampado y paletización. Este sub ensamblé está conformado por un motor *stepper* modelo *Stepsyn 103H7126 - 0341* con una velocidad recomendada de $\theta = \pi/2 \text{ rad}$ y un brazo Gripper de baquelita de 215mm de longitud. Se estima que la longitud del brazo Gripper debe ser de aproximadamente dos veces la carrera del pistón de sujeción.

El motor seleccionado está montado verticalmente sobre la Mesa de Soporte y conectado por mediante transmisión flexible a un juego piñón-catalina. En el dominio de la visión se concluye que es necesario una cámara web como dispositivo de captura. Siendo la velocidad de fotogramas promedio de una cámara convencional de similares características 30 *fps*, se determina que es adecuado una relación de transmisión de 0.45 para cumplir con el máximo desenfoque permitido en movimiento.

El brazo realiza su movimiento en dos etapas de $\theta = \pi/2 \text{ rad}$. La primera etapa de movimiento mueve el cilindro de la zona de alimentación hacia la zona de estampado pasando por la zona de captura en t_2 segundos. La segunda etapa de movimiento lleva el cilindro de la zona de estampado hacia la zona de paletizado en t_4 segundos. Ambos, t_2 y t_4 son los tiempos mínimos que tarda la tornamesa en llevar una pieza cilíndrica de la zona de alimentación a la zona de paletizado, pasando por la zona de estampado.

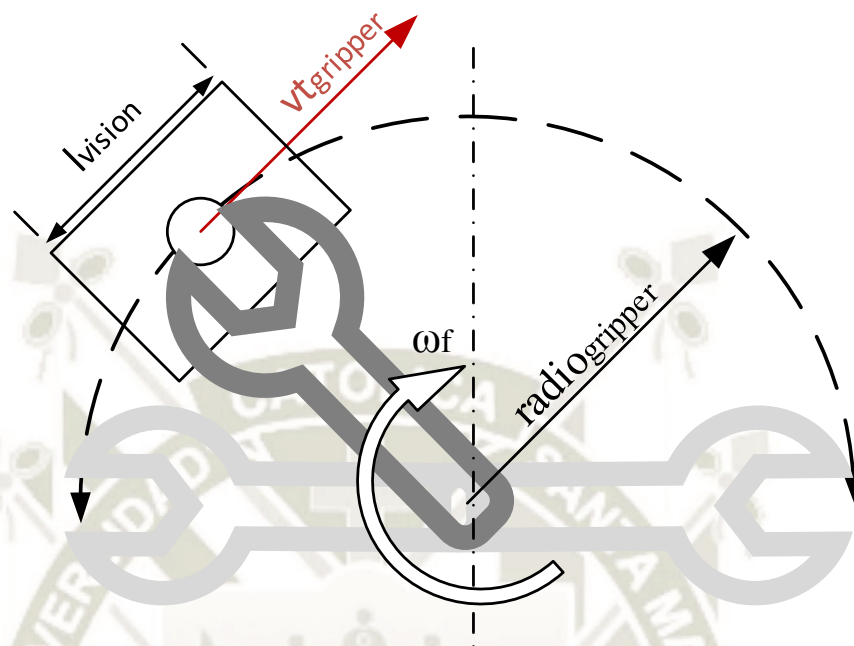


FIGURA 4.15: Diagrama de la Tornamesa

La velocidad angular con la que se desplaza el motor de la tornamesa tiene un valor de ($\omega_1 = \pi/2rad/s$). Este valor se obtiene multiplicando la Relación de Transmisión por la velocidad angular del motor. Es decir, $\omega_2 = RT \times \omega_1 = 0.7rad/s$.

Se puede determinar el tiempo t_2 que tarda el cilindro en recorrer la primera etapa y el tiempo t_4 que comprende la segunda etapa de movimiento. Ambos tiempos se determinaron utilizando la Ecuación 4.7. Tras el calculo realizado y por la simetría de la tornamesa, se concluye que $t_2 = t_4 = 2.2s$

$$t = \theta/\omega \quad (4.7)$$

Adicionalmente, se determinó el ángulo ω_{FoV} correspondiente al arco de una longitud $FoV = 300mm$ y radio $r = 215mm$ empleando la Ecuación 4.8. A continuación, se determinó el tiempo que tarda el Griper en recorrer la zona de captura deseada.

$$FoV = \theta \times r \quad (4.8)$$

En resumen, para una relación de transmisión de 0.45, velocidad angular $\omega_2 = 0.70 \text{ rad/s}$ y un radio de giro de 215mm , el Gripper alcanza la posición de estampado en $t_2 = t_4 = 2.22\text{s}$. El cilindro recorre un arco deseado de $FoV = 300\text{mm}$ correspondientes a la zona de captura con un ángulo $\theta_{FoV} = 1.39 \text{ rad}$ a una velocidad tangencial de $V_t = 151.9 \text{ mm/s}$ en un mínimo de $t_{FoV} = 0.55\text{s}$.

4.2.1.2.2 Transmisión del Paletizador La mecánica de este sub-ensamble se muestra gráficamente en la Figura 4.16. El pistón paletizador se desplaza hasta 440mm de forma horizontal para ubicar los cilindros en su correspondiente zona de descarga.

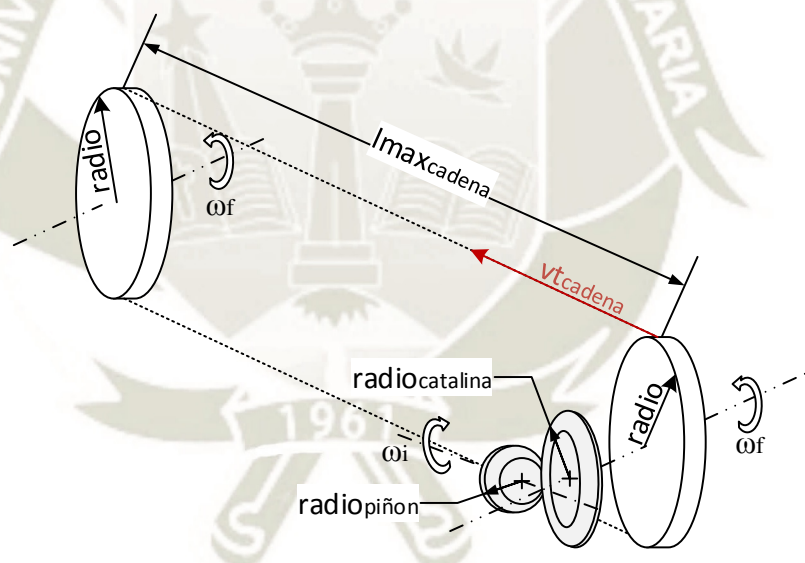


FIGURA 4.16: Diagrama del Paletizador

La parte móvil de este sistema tiene una masa aproximada de $m = 0.75\text{kg}$ y un peso de $W = N = 7.36\text{N}$. Por motivos de diseño, se considera un coeficiente de fricción $\mu = 0.1$. Reemplazando en la Ecuación 4.9 se obtiene una fuerza de fricción de $F_f = 0.74\text{N}$. Considerando un diámetro de catalina $D_{catalina} = 0.6\text{m}$, el torque τ inherente al sistema se calcula con la Ecuación 4.10 dando como resultado $\tau = 1.23\text{Nm}$.

$$F_f = \mu \times N \quad (4.9)$$

$$\tau = \frac{F_f}{D_{catalina}} \quad (4.10)$$

Las especificaciones técnicas del motor modelo *Stepsyn 103H7126 - 03D1* indica que el torque del motor es de $\tau_{motor} = 0.83Nm$. Considerando un factor de seguridad (fs) de 1.3, se reemplaza las variables en la Ecuación 4.11 para obtener la relación de transmisión necesaria para mover el sistema. Tras realizar los cálculos, se concluye que es necesaria una relación de transmisión de al menos $RT = 0.52$. Para motivos de diseño, se considera una $RT = 0.55$ para garantizar una correcta transmisión.

$$RT = \frac{\tau_{motor}}{\tau \times fs} \quad (4.11)$$

El motor seleccionado, provee una velocidad angular de $\omega_1 = \pi rad/s$. Considerando la relación de transmisión del juego piñon-catalina se obtiene la $\omega_2 = 0.55\pi rad/s$. Con esta última velocidad ω_2 y el valor del radio de transmisión de la cadena ($radio = 30mm$), fue posible determinar la velocidad tangencial con la que se desplaza el pistón de paletización. La velocidad tangencial calculada es de $51 mm/s$.

En resumen, para una relación de transmisión de 0.55 y un radio de transmisión de $30mm$, se logra una velocidad de desplazamiento horizontal de $51 mm/s$. Esto permite que el pistón de paletizado pueda recorrer la longitud máxima de $440mm$ en $t_6 = 8.4s$.

En este punto se cuenta con todas las variables de la Ecuación 4.1 presentada en la Sección 4.2.1. Reemplazando los valores respectivos, se concluye que la maquina tarda $T = 13s$ en clasificar una pieza de teflón.

4.2.2 Selección de la cámara y el lente

En esta sub sección se presentan los cálculos relacionados al dominio de la visión artificial. Estos cálculos permiten la selección de la cámara y lente. Adicionalmente se presentan el criterio utilizado para la selección del controlador embebido empleado para la selección de los cilindros de teflón.

La Ecuación 4.12 (*NI Vision*, 2013) indica la fórmula utilizada para el Campo de Visión o FoV por sus siglas en ingles. En esta fórmula, FoV representa el área que la cámara es capaz de visualizar tal como se aprecia en la Figura 4.17. Para este cálculo se toma en consideración la distancia entre pixels (P_p), el tamaño del sensor empleado o pixels activos (A_P) y la longitud focal (F_L). Las dos primeras variables mencionadas provienen de las especificaciones de la cámara mientras que F_L se utiliza para estimar el valor deseado de FoV .

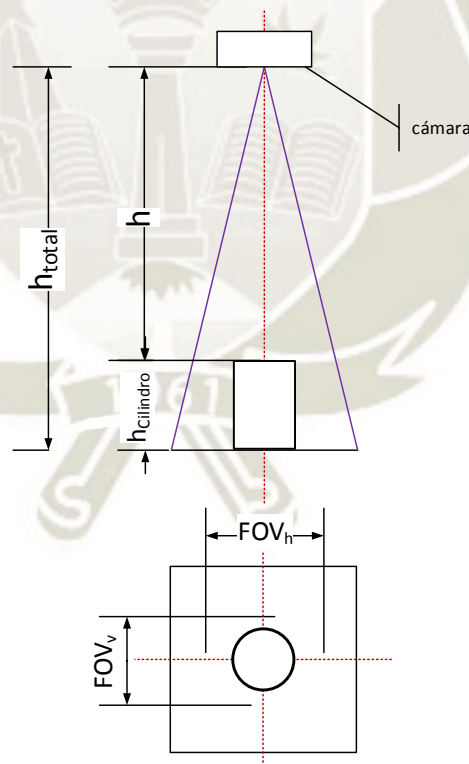


FIGURA 4.17: Campo de Visión (FOV) (*NI Vision*, 2013)

$$FOV = \frac{P_p \times A_P \times H}{F_L} \quad (4.12)$$

En la comprensión del dominio mecánico, se contempló una longitud FoV de $300mm$. Se tomó en consideración parámetros propios de una webcam convencional: Longitud Focal $F_L = 4.2mm$, una distancia entre pixels de $P_p = 0.00159mm$, $30\ fps$ y una resolución de 1980×1080 . De la resolución de la cámara se desprende el máximo valor de Pixeles Activos ($A_P = 1980$). Para una altura $H = 40cm$, se obtiene un FoV de $29.98cm$, adecuado para a los $30cm$ estipulados en el dominio mecánico.

A continuación se determina el tiempo de exposición recomendado empleando la fórmula 4.13 (*Industrielle Bildverarbeitung gelöst*, 2015)(Böhme, 2011). El análisis brinda una referencia para que la imagen no quede distorsionada al ser capturada en movimiento. En la Figura 4.18 se aprecia el fenómeno gráficamente. Se determina el tiempo en el cual el sensor tarda en capturar una imagen para objetos en movimiento. Para una velocidad tangencial $V_t = 151.9\ mm/s$, un máximo desenfoque permitido $D = 4px$ y Pixels activos mínimos $B = 240px$, se obtiene un tiempo de exposición $T_{expo} = 32.8ms$ ó $30.30\ fps$. Los fps calculados cumplen con las especificaciones de la cámara seleccionada.

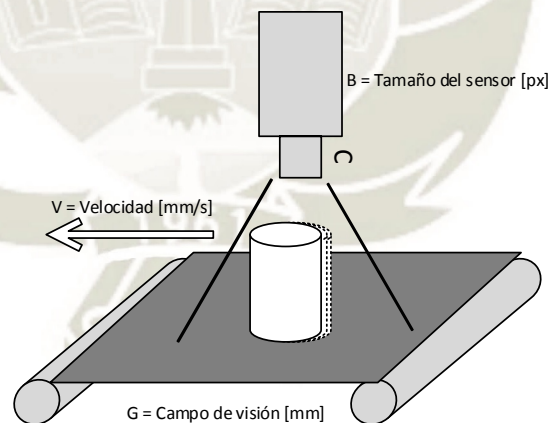


FIGURA 4.18: Tiempo de Exposición
Adaptado de *Industrielle Bildverarbeitung gelöst* (2015)

$$T = \frac{D}{\frac{B}{FOV} V} \quad (4.13)$$

4.2.3 Selección de la iluminación

El presente módulo está diseñado para trabajar con luz natural y sin fuentes de luz artificiales específicas. Sin embargo, se presenta la memoria de cálculos para condiciones de iluminación recomendadas para trabajos con luz y color a tener en consideración. Una adecuada iluminación asegura el contraste entre el objeto capturado y el fondo de la imagen. Para facilitar la segmentación, se optó por tinter de negro mate las zonas que se encuentran comprometidas bajo el área de visión artificial (FoV).

De acuerdo con *Beleuchtung ASR A3.4* (2011) la iluminancia recomendada para trabajos con luz y color es de $E = 1000 \text{ lx}$. La Ecuación 4.14 (*Technische Optik und Lichttechnik*, 2011) denota los cálculos necesarios para hallar la iluminación necesaria para una óptima visualización y segmentación de los cilindros de teflón. Esta ecuación está compuesta por el flujo luminoso (I) y el ángulo sólido producido por una única fuente de iluminación (Ω_1).

$$\Phi = I \times \Omega_1 \quad (4.14)$$

En la Ecuación 4.15, E representa la Iluminancia recomendada [1000 lx]; H indica altura de la iluminación [40 cm]; γ_1 es el ángulo de la luminaria; γ_2 muestra el ángulo de la superficie de interés y Ω_0 representa el valor de tabla para iluminación cónica [1 sr] (*Technische Optik und Lichttechnik*, 2011). Para una altura de iluminación $H = 40 \text{ cm}$ y $\gamma_2 = 0$ por ser perpendicular a la fuente de iluminación, se determina un flujo luminoso $I = 240/\pi \frac{\text{m}^2 \text{ lux}}{\text{rad}}$.

$$I = \frac{E H^2}{\Omega_0 \gamma_1 \cos(\gamma_2)} \quad (4.15)$$

La Ecuación determina el ángulo sólido producido por una única fuente de iluminación (Ω_1). Para un ángulo de vista de la luminaria $\gamma_1 = 120$ y $\omega_0 = 1 \text{ sr}$, se obtiene un ángulo sólido $\Omega_1 = 3 \text{ sr}$. Por último, reemplazando las Ecuaciones 4.15 y 4.16 en 4.14 se obtiene un total de $\Phi = 720 \text{ lumen}$ los cuales se pueden repartir en varias fuentes de iluminación.

$$\Omega_1 = 2\pi(1 - \cos(\gamma_1))\Omega_0 \quad (4.16)$$

4.2.4 Selección de los sensores

El diseño comprende la utilización de múltiples sensores para indicar la posición actual de las partes móviles. A continuación se detallan los sensores empleados por sub ensamble:

- Puño alimentador: Este sub ensamble cuenta con 02 sensores capacitivos *Electric Option CJM18T-8Z/PK*. Cada uno de estos sensores cuentan con un alcance de *8mm* y operan a *12V DC*. Estos sensores se encuentran próximos a los bloques de teflón dirigen una señal al controlador cada vez que un cilindro se encuentra en la posición correcta y listo para ser movilizada. No se considera el uso de sensores inductivos al trabajar con materiales no magnéticos. Se evita el uso de sensores mecánicos para evitar fricciones u obstrucciones que dificulten el flujo del cilindro por el alimentador.
- Gripper: El Gripper cuenta con 02 sensores magnéticos normalmente abiertos (*NO*, por sus siglas en inglés) *Norgen M/50/LSU/5V*. La función de estos sensores es detectar la posición del émbolo dentro del cilindro e informarlo al controlador. Se emplearon estos sensores al ser los recomendados por Airtac, fabricantes del pistón. El reducido tamaño de estos sensores lo hacen adecuado para la tarea.
- Tornamesa: La tornamesa, cuenta con 02 Limites de Carrera con Palanca normalmente cerrados (*NC* por sus siglas en inglés). La tarea de estos sensores es de limitar el rango de giro del brazo cuando esta en funcionamiento e indicar la posición inicial del mismo. La conveniencia de este sensor radica en que indica la posición final y no la proximidad además de su reducido costo y tamaño.
- Paletizador: Cuenta con 05 Limites de Carrera mecánicos de los cuales 02 tienen rodillo y son *NO*. Estos se encuentran en ambos extremos de la trayectoria horizontal del pistón de ventosa. Los 03 Limites de Carrera

restantes son del tipo Cherry *NC* y se encuentran dispuestos a lo largo de la trayectoria horizontal indicando la posición adecuada para de las zonas de recojo y descarga de cilindros. De modo similar al caso de la tornamesa, estos sensores fueron elegidos por estar sobredimensionados para la tarea.

4.2.5 Selección del procesador

Para el procesamiento de imágenes se empleó el micro computador *Beaglebone Black* (BBB). En la Tabla 4.20 presenta algunas especificaciones técnicas del procesador seleccionado. El procesador del BBB es de *1Ghz* frente a los *900MHz* del procesador ARM Cortex - A7 de una microcomputadora similar denominada *Raspberry Pi 2 model B*. El BBB seleccionado cumple con los criterios de selección recomendados por Bier (2007) y detallados en la Tabla 4.21.

TABLA 4.20: Especificaciones: Beaglebone Black (*BeagleBone*, 2018)

Procesador: AM335x 1GHz ARM Cortex-A8	
SO: Debian 9	
512MB DDR3 RAM	USB
NEON floating-point accelerator	2x46 pin headers
GFLOPS 0.068	Potencia 2.8 W
512MB DDR3 RAM	2x PRU 32-bit microcontrollers

TABLA 4.21: Criterios de selección de procesadores para aplicaciones de video (Bier, 2007)

Criterios de selección	Descripción	Estado
Consideraciones desempeño	Velocidad	Cumple
	Consumo	Bajo
	Memoria	Adecuada
Costo		Accesible
Disponibilidad		Disponible
Consideraciones de desarrollo	Sistema operativo	Intuitivo
	Librerías	Disponibles
Otras consideraciones	Tamaño	Conveniente
	Instalación	Sencilla
	Experiencia	Adecuada

En la Sub-sección 4.2.1.2.1 se concluye que se cuenta con $t_{FoV} = 0.55s$ para realizar la captura de imagen. En pruebas experimentales, se determina que el conjunto cámara - procesador tarda $0.12s$ en capturar y $0.04s$ medir y clasificar una pieza cilíndrica. El tiempo de procesamiento es menor al tiempo disponible t_{FoV} , en consecuencia el procesador seleccionado es adecuado para la tarea.

4.2.6 Programación del procesador

La programación del procesador seleccionado se realizó utilizando la plataforma *Python 2.7*. Se ve por conveniente utilizar las librerías *Numpy*, *OpenCV*, *Time* y *Serial*. Es necesario el uso de un *USB Hub* para poder aumentar la cantidad de puertos USB disponibles. Para la introducción y edición del código se emplea un monitor externo, un teclado y un ratón genéricos.

La Figura 4.19 muestra diagrama de flujo empleado para la programación. Para esta etapa se considera principalmente las etapas inherentes a la visión artificial descritas en el Capítulo 3 : (a) Preprocesamiento; (b) Segmentación; (c) Extracción de características y (d) Clasificación.

Para el Preprocesamiento, se cortó la imagen capturada a $320 \times 240 px$ a un tamaño adecuado de $100 \times 100 px$. La reducción en el tamaño de la imagen reduce el tiempo de computo de los algoritmos empleados en adelante. A continuación, se realiza una transformación en capas de color para mejorar el contraste entre el cilindro y el fondo de la imagen. Para la transformación empleada se vislumbra el cambio de espacio de color de RGB a HSV. Como último paso para el preprocesamiento de la imagen, se emplea un filtro Gaussiano con una matriz con un tamaño de 3×3 . El filtro seleccionado suaviza la imagen al eliminar detalles pequeños que no sean de interés entre otras imperfecciones o ruido en la imagen.

En la etapa de Segmentación se binariza con el proceso de Umbralización. Los parámetros empleados para la umbralización se establecieron de forma experimental convergiendo en un límite inferior y superior de $0 \times 0 \times 0.7$ y $1 \times 0.3 \times 1$ respectivamente. Cualquier pixel que se encuentre debajo del límite inferior o arriba del límite superior, resulta en un pixel de color negro. Como segundo proceso de segmentación se emplean las operaciones morfológicas de Cierre y Apertura. Para estas últimas

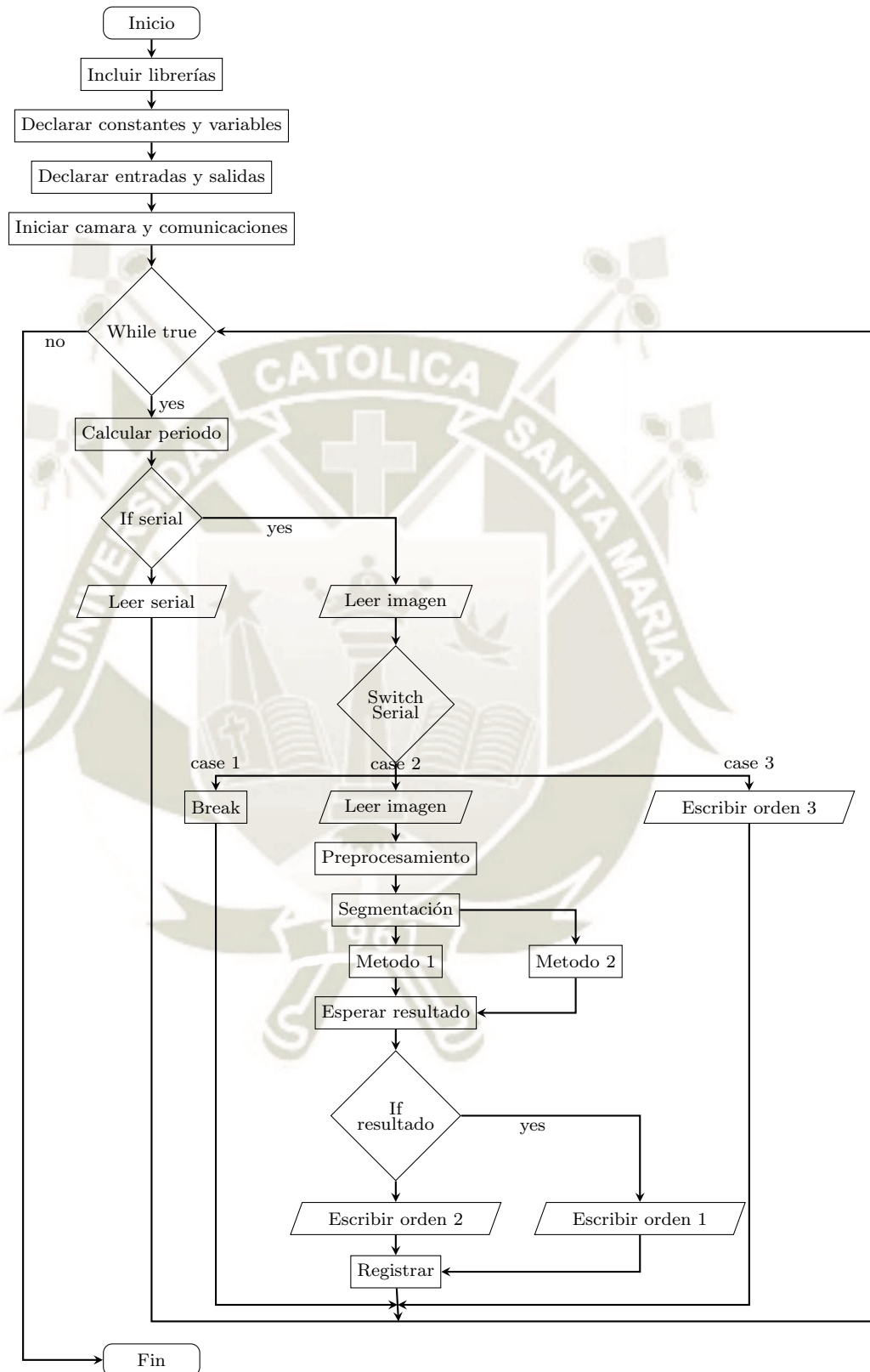


FIGURA 4.19: Diagrama de flujo del procesador

operaciones se dispone de una matriz de 6×6 con la finalidad de cubrir de mejor manera las imperfecciones en la imagen.

Para la Extracción de características, se contempla el uso de dos métodos para medir el diámetro de los cilindros. El primer método es (a) una instrucción propia de la librería *OpenCV* denominada *Hough Circle Transform* (*HoughCircles*); y para su contraste se propone (b) un algoritmo propio. En ambos casos, es necesario utilizar una función lineal determinada experimentalmente para poder convertir el diámetro calculado de pixels a milímetros.

La función *HoughCircles* (C) está definida por los parámetros mostrados en la Ecuación 4.17. Esta función utiliza el algoritmo *Canny* para poder determinar los contornos del círculo capturado y determinar su Centro Geométrico. Una vez calculado, los parámetros X_{center} e Y_{center} son incluidos a la instrucción junto con la cantidad de Radios r necesarios para la estimación. En este procedimiento se emplearon 30 radios para que la instrucción valide la circularidad de la figura analizada. La salida de esta instrucción es el radio de la imagen analizada en pixeles.

$$C : (X_{center}, Y_{center}, r) \quad (4.17)$$

El algoritmo propuesto inicia con el uso de *Canny* seguido por *Código Cadena*. El resultado de estas dos operaciones es el número de pixeles presentes dentro del contorno y dos momentos en ambos ejes. Estos elementos son necesarios para determinar el Centro Geométrico de la figura utilizando las Ecuaciones 4.18 y 4.19. Habiendo calculado el centro geométrico y conociendo el contorno, se determina el Área del círculo en la figura que a su vez es utilizado para calcular el diámetro con la Ecuación 4.20.

$$X_{center} = \frac{Momento_{1x}X_1 + Momento_{2x}X_2 + \dots + Momento_{nx}X_n}{Momento_{1x} + Momento_{2x} + \dots + Momento_{nx}} \quad (4.18)$$

$$Y_{center} = \frac{Momento_{1y}Y_1 + Momento_{2y}Y_2 + \dots + Momento_{ny}Y_n}{Momento_{1y} + Momento_{2y} + \dots + Momento_{ny}} \quad (4.19)$$

$$Area = \pi \frac{diámetro^2}{4} \quad (4.20)$$

La última etapa de este procesamiento de imágenes es la Clasificación. Para la clasificación se comparan los valores obtenidos del cálculo del diámetro con un valor establecido. El valor calculado es comparado con rangos establecidos para cada diámetro de cilindro. Si el diámetro pertenece a los parámetros del cilindro de menor diámetro, el procesador concluye de que el cilindro mide $30mm$. De manera similar, el procesador realiza el procedimiento para los cilindros de $35mm$.

4.2.7 Selección del controlador

Es necesario controlar todo el sistema en su integridad. Para esta tarea es necesario seleccionar un controlador capaz de soportar las entradas y salidas además de contar con la versatilidad necesaria para comunicarse con el procesador *Beaglebone Black*. En suma, el sistema necesita 14 entradas y 13 salidas. Las entradas y salidas del sistema se encuentran detallados en la Tabla 4.22. El diagrama de conexiones se presenta en la Figura 4.20.

TABLA 4.22: Entradas y Salidas del sistema

Entradas		Salidas	
7 D	Limites de Carrera 3 NO; 4 NC	4 D	Motor 1
2 D	Magnéticos Ventosa	4 D	Motor 2
2 D	Capacitivos	5 D	Valvulas
3 D	Pulsadores		

D = Entrada o salida digital

Se ve por conveniente utilizar *M-DUINO PLC Arduino Ethernet 42 I/O s Analógico / Digital PLUS*. Este fabricante de la marca apuesta por el software y hardware libre. El corazón de este controlador es una placa *Arduino Mega 2560*. En consecuencia, permite el uso de librerías que facilitan el control y monitoreo de parámetros. En la Tabla 4.23 se presentan algunas especificaciones técnicas del controlador utilizado.

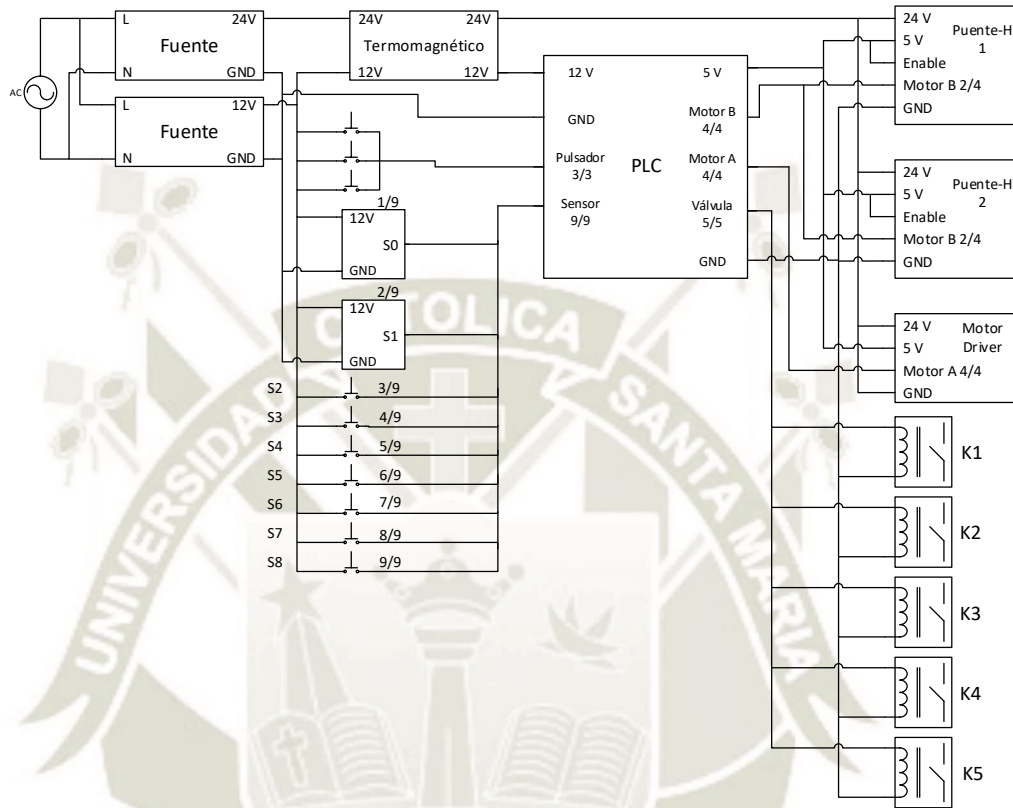


FIGURA 4.20: Diagrama de conexiones

TABLA 4.23: Especificaciones: M-DUINO PLC Arduino Ethernet 42 I/O s Analógico/Digital PLUS (*M-Duino PLC Arduino 42 I/Os Analog/Digital*, 2014)

Placa	Arduino Mega 2560 Rev 3
26 Entradas	12 Analógico/Digital (0-10 V DC / 5-24 V DC) 14 Digital (5 - 24 V DC)
16 Salidas	06 Analógico/Digital (0-10 V DC / Optoisoladas) 10 Digital (24 V DC max optoisoladas)
Com	RTC, Ethernet, USB, RS482, RS232, I ² C, Modbus

Shehzad and Shabbir (2015) presenta 10 criterios a tomar en consideración al momento de elegir un controlador. Los criterios seleccionados se encuentran detallados en la Tabla 4.24. El controlador seleccionado satisface los requerimientos de selección del controlador.

TABLA 4.24: Criterios de selección del controlador

Criterios de selección	Descripción	Estado
Integración con el sistema	Compatibilidad con el procesador	Existe
Capacidades de sistema	42 I/O	Suficiente
Soporte, entrenamiento y repuestos	Plataforma opensource	Disponible
Ciclo de vida y obsolescencia	no aplica	no aplica
Cumplimiento de estándares	Programación Arduino IDE	Cumple
Consideraciones ambientales	Operación en temperatura ambiente	Cumple
Confiabilidad y escalabilidad	Protección IP 67	Satisface
	Estructura modular	Cumple
Facilidad de instalación y mantenimiento	Instalación intuitiva	Satiface
Retorno de inversión	Costo de programación	Gratuito

El Microcontrolador Arduino Mega 2560 Rev 3, que se encuentra dentro del PLC, se encuentra aislado de las salidas o entradas mediante optoacopladores u opamps (ver Figura 4.21 y 4.21). Ambos, entrada y salida, cuentan con resistencias que apoya con la limitación de la corriente.

En el caso de las entradas digitales, se aprecia que la entrada puede ser de 12 a 24 V. Esta entrada se encuentra conectada a un optoacoplador, un led indicador y un diodo de protección para voltaje invertido. Este acoplador habilita el estado *HIGH* (5V) del microcontrolador que por defecto se encuentra en *LOW* (0V) debido a la existencia de una resistencia *Pulldown*.

Las salidas digitales funcionan de manera similar a las entradas. La salida de nivel lógico (5V) se encuentra conectada a un optoacoplador y un indicador led. Este optoacoplador habilita la salida digital de (24V). Adicionalmente, como se aprecia en la 4.20, los motores emplean un Puente H que soportan las corrientes requeridas por los motores.

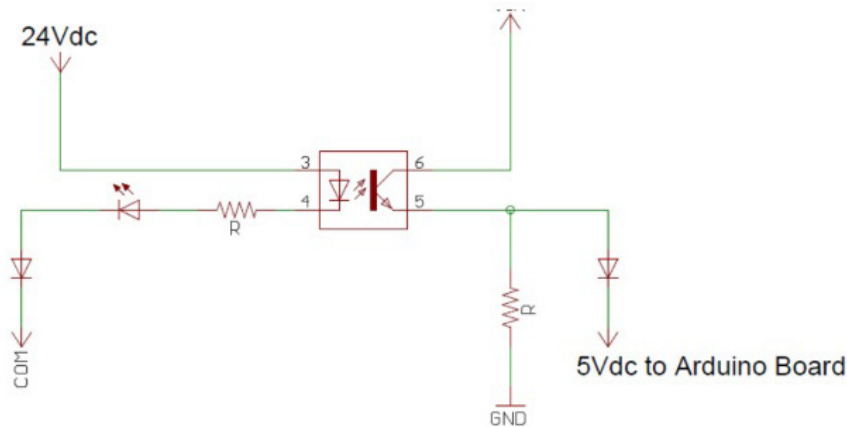


FIGURA 4.21: Esquemático de las entradas digitales
Recuperado de *M-Duino PLC Arduino 42 I/Os Analog/Digital* (2014)

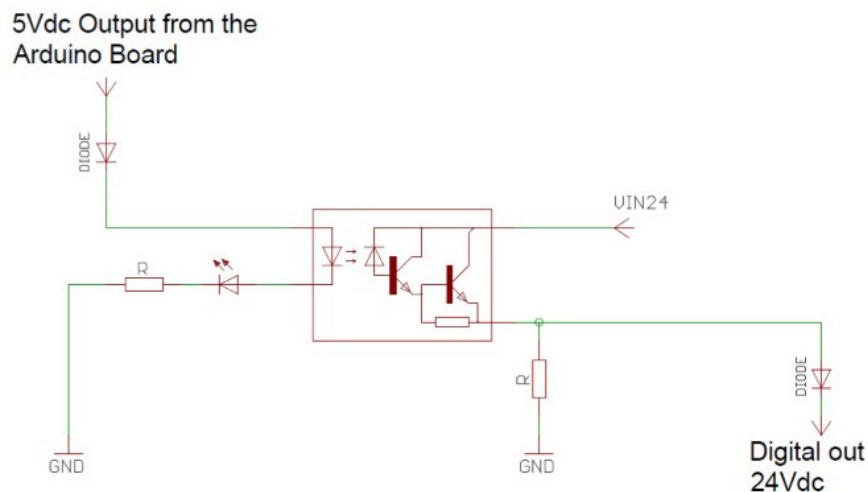


FIGURA 4.22: Esquemático de las salidas digitales
Recuperado de *M-Duino PLC Arduino 42 I/Os Analog/Digital* (2014)

4.2.8 Programación del controlador

El controlador fue programado en su integridad en la plataforma de programación Arduino Software (IDE) 1.8.5 y el lenguaje propio de la misma plataforma. Para facilitar el manejo de los dos motores se empleó la librería Stepper. El diagrama de flujo se muestra en la Figura 4.23 mientras que el código empleado se detalla en el Apéndice B. Para la elaboración del diagrama de flujo, se consideró el detalle de entradas y salidas mostrado en la Tabla 4.25.

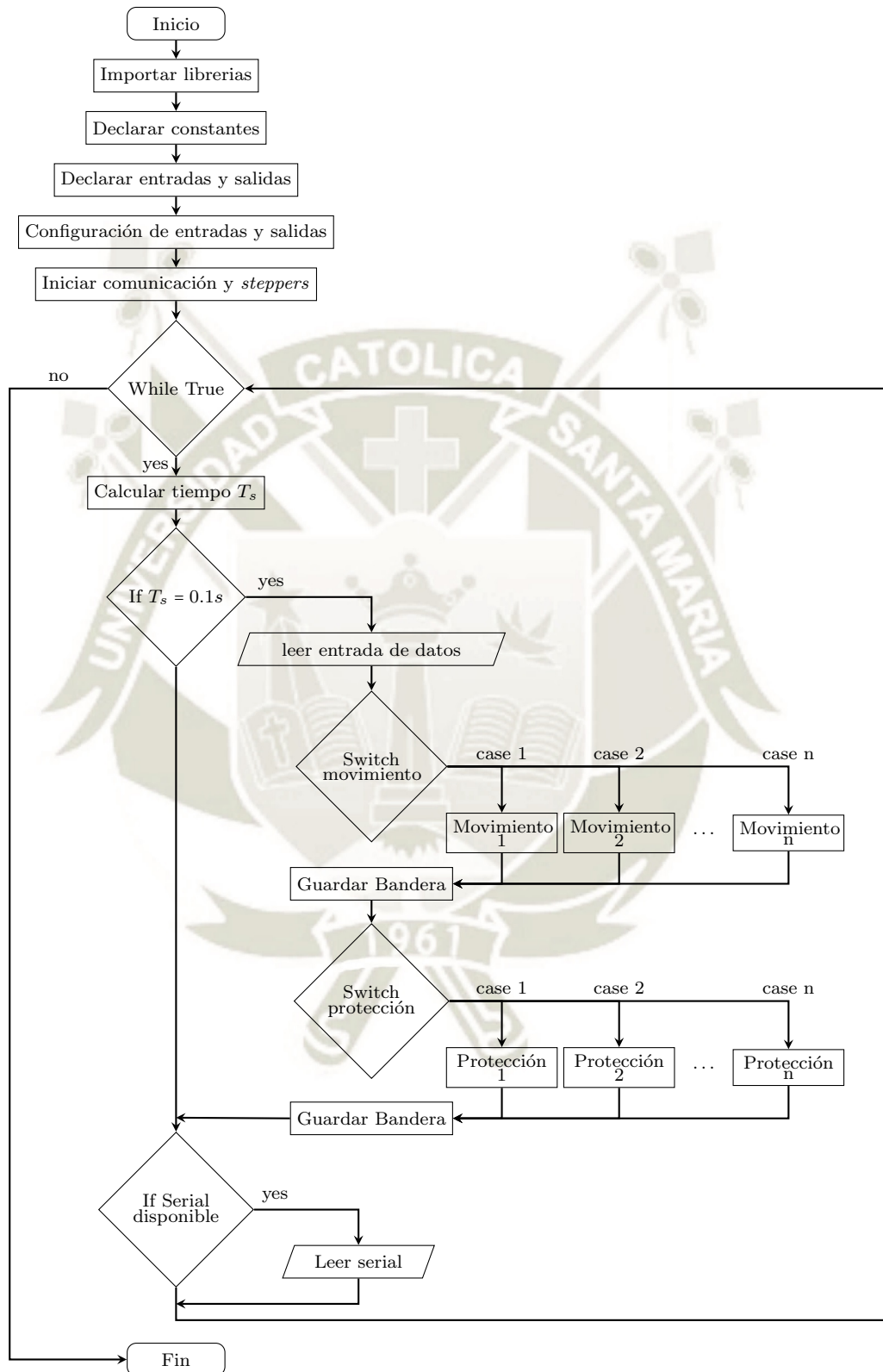


FIGURA 4.23: Diagrama de flujo del controlador

TABLA 4.25: Detalle de Entradas y Salidas del controlador

	ID	Descripción	ID	Descripción
Salidas	Q0.0		Q0.4	
	Q0.1	Motor A	Q0.5	Motor B
	Q0.2		Q0.6	
	Q0.3		Q0.7	
	Q1.0	Val. Alimentador	Q1.1	Val. Gripper
	Q1.2	Val. Estampado	Q1.3	Val. Paletizado
	Q1.4	Val. Vacío		
Entradas	I0.0	S2: Carrera Izq. Gripper	I1.0	S10: Carrera Der. Paletizado
	I0.1	S3: Carrera Der. Gripper	I1.1	S9: Carrera de entrega 2
	I0.2	S4: Magnético retraído	I1.2	S0: Capacitivo Magazine
	I0.3	S5: Magnético extendido	I1.3	S1: Capacitivo Tornamesa
	I0.4	S6: Carrera Izq. Paletizado	I1.4	Stop
	I0.5	S7: Carrera de Recojo	I1.5	Start
	I0.6	S8: Carrera de entrega 1	I1.6	Automático

4.3 Proyecto definitivo

El sistema implementado, se encarga de realizar la clasificación de piezas cilíndricas de teflón según su diámetro. El sistema consta de sub sistemas montados sobre un conjunto de perfiles de aluminio "Balaustre", los cuales están sujetos entre sí mediante pernos, platinas y ángulos para facilidad de mantenimiento y montaje. Estos perfiles sirven de estructura y brindan soporte para los sub sistemas. Todo el sistema es basado en principios mecánicos y electro-neumáticos y son comandados por un controlador mientras que las tareas relacionadas a la visión artificial la realiza un procesador embebido (ver Figura 4.24). La integración de este sistema se puede resumir como se muestra en la Figura 4.25.

- Alimentador: Dosifica por gravedad, piezas cilíndricas hacia el siguiente sub sistema denominado Tornamesa. Durante el diseño se seleccionó un perfil de aluminio considerando el diámetro de las piezas cilíndricas que recepcionara la Tornamesa y garantizar el correcto posicionamiento de las piezas de teflón conforme sean requeridas. La torre esta sostenida en el alimentador por medio de soportes de aluminio y perfiles en la base.

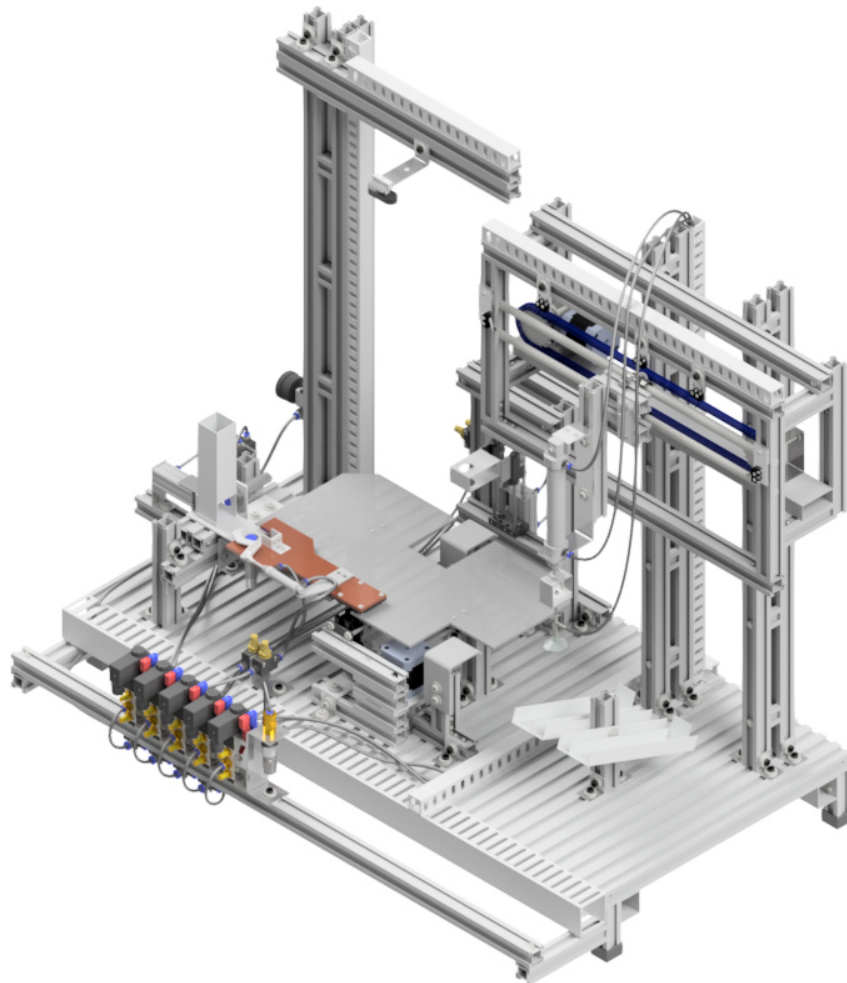


FIGURA 4.24: Sistema de control de medidas

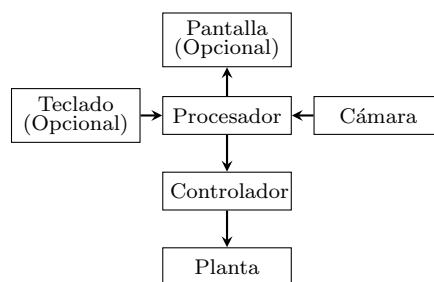


FIGURA 4.25: Diagrama de integración del sistema

El *magazzine* o torre de alimentación es un perfil cuadrado de aluminio de 1mm de espesor con dos lados aperturados para que Puño de Alimentación empuje las piezas de teflón fácilmente. Este perfil cuadrado, tiene una ventana circular a un costado que permite que un sensor inductivo verifique el correcto posicionamiento del cilindro de teflón.

El puño de alimentación es un cilindro neumático dispuesto de tal manera que al expandirse, pueda empujar a las piezas cilíndricas hacia una rampa de aluminio. A continuación un sensor inductivo avisa al Controlador que la pieza esta lista para ser sujeta por el Gripper.

El vástago del pistón de alimentación, tiene sujeto un perfil en "L", cuya función es impedir que una segunda pieza cilíndrica caiga mientras que el pistón está en posición extendida. Este perfil de aluminio, tiene sujeto una pieza de teflón que calza con las aberturas de la Torre de Alimentación por gravedad.

- Tornamesa: Transporta en una trayectoria circular, cilindros de teflón a través de la zona de de Captura y Sellado hacia la zona de Paletizado.

Durante el diseño preferimos Baquelita por su característica liviana y a su vez facilitar el contraste con las piezas cilíndricas; un perfil de aluminio de 1mm de espesor, sujeta la pinza mediante un Angulo asegurando el correcto posicionamiento de la pieza cilíndrica evitando su deslizamiento; en la parte trasera de la pinza, sujeta mediante 4 pernos, se encuentra una base de metal para sujetar al eje, el cual le brinda el movimiento al Gripper.

El Gripper cuenta con un pistón neumático el cual esta soportado mediante una platina de 1mm de espesor de aluminio. Con un mecanismo de dos eslabones, una platina de aluminio de 1mm de espesor en forma de garra ubicada al extremo del vástago asegura y sujeta las piezas cilíndricas que serán transportadas en la tornamesa.

Un motor *Stepper* transmite potencia a través de una faja hacia el eje principal que genera el giro del Gripper. Dos rodamientos abrasados a un perfil Balaustre de aluminio, suavizan y aseguran el giro del eje. Por la parte posterior, mediante un empalme flexible, el eje está conectado a un encoder disponible para monitorear la posición del Gripper.

- **Captura:** Realiza la toma de imágenes del cilindro para procesarlas mediante Visión Artificial. Para el diseño de este Soporte de Cámara, se considera el ángulo y la perspectiva de la lente de la cámara. Pernos, platinas y ángulos sujetan los perfiles de aluminio "Balaustre". La altura del Brazo de Soporte de la cámara tiene es modificable con facilidad según esta sea requerida. Esto permite acercando o alejando la Cámara de la zona de interés.
- **Sellado:** Múltiples perfiles de aluminio brindan soporte al pistón de sellado o estampado. El vástago de este pistón se encuentra normalmente extendido y se retrae para efectuar la tarea de sellado. Dos rieles paralelas entre sí de acero inoxidable sirven como guía para el movimiento del actuador. El vástago tiene un soporte impreso en 3D negro que da sujeción al sello mientras y facilita el contraste con los cilindros de teflón. Una vez que la pieza ha sido sellado, el Gripper sujeta la pieza y se traslada a la zona de Paletizado.
- **Paletizado:** Encargado de la clasificación de las piezas cilíndricas de teflón. Una vez que la Tornamesa lleva las piezas a la zona de paletizado, el Gripper libera la pieza. En este punto el pistón de paletizado se extiende y el actuador de ventosa sujeta el cilindro por la parte superior.

Múltiples perfiles de aluminio brindan soporte y estabilidad al pistón de paletizado, al motor *stepper* y la transmisión de cadenas. Un motor paso a paso se desplaza horizontalmente hacia la zona de descarga correspondiente mientras que el vástago del pistón se retrae hacia su posición original. Una vez que el pistón alcanza la zona de descarga, el pistón se extiende completamente y la ventosa libera la pieza.

El proceso anteriormente descrito comprende en su totalidad el módulo diseñado. El sistema tarda 13s en clasificar una pieza cilíndrica de teflón. Los planos mecánicos del sistema se encuentran detallados en el Apéndice C.

Capítulo 5

Pruebas y resultados

5.1 Pruebas

Para un adecuado muestreo, es necesario calibrar el sistema de visión. Para esta tarea, fue necesario realizar pruebas en diferentes condiciones de iluminación. En la Tabla 5.1, se muestran los valores umbral obtenidos experimentalmente para diferentes capas de color en condiciones de iluminación de 35 *lux* y 55 *lux*. Como se detalla en el Capítulo 4, para este estudio se emplea HSV por facilitar el aislamiento de la zona de interés en la etapa de umbralización.

TABLA 5.1: Valores de iluminación y umbral por capa

		lux	Umbrales OpenCV		
HSV	min	55	0	0	220
		35	0	0	215
	max	55	244	55	255
		35	244	51	255
LAB	min	55	212	112	114
		35	153	108	106
	max	55	255	144	149
		35	254	138	153
RGB	min	55	227	235	232
		35	110	135	103
	max	55	255	255	255
		35	255	255	255

Se toman las 20 muestras en condiciones desfavorables de iluminación ($35lux$ y $55lux$), estas muestras se detallan en la Tabla 5.2. En la las tres primeras columnas se detalla el número de muestras, el diámetro real del cilindro (D_r [mm]) y su correspondiente área real calculada (A_r [mm^2]). En la columna doble correspondiente a Dimensiones función, se muestra el diámetro en pixeles (D_f [px]) estimado *Hough Circle Transform*. Empleando una regresión lineal, se obtiene la Ecuación 5.1 necesaria para estimar el diámetro correspondiente (D_f [u]). La regresión lineal se muestra gráficamente en la Figura 5.1.

TABLA 5.2: Muestras para la calibración del sistema de visión

Muestra	Dimensiones reales		Dimensiones función		Dimensiones medidas				
	D_r [mm]	A_r [mm^2]	D_f [px]	D_f [u]	Área	Opción 1		Opción 2	
					A_m [px]	D_m [px]	D_m [mm]	A_m [mm^2]	D_m [mm]
01	30	706.86	18.34	29.78	947.5	34.73	29.62	690.06	29.64
02	30	706.86	18.39	29.86	961.0	34.98	29.81	699.17	29.84
03	30	706.86	18.56	30.13	935.0	34.50	29.43	681.62	29.46
04	30	706.86	18.51	30.05	939.5	34.59	29.50	684.66	29.53
05	30	706.86	18.56	30.13	950.0	34.78	29.65	691.75	29.68
06	30	706.86	18.51	30.05	1042.0	36.42	30.97	753.83	30.98
07	30	706.86	18.51	30.05	1038.0	36.35	30.91	751.13	30.93
08	30	706.86	18.66	30.29	1023.0	36.09	30.70	741.01	30.72
09	30	706.86	18.66	30.29	1028.0	36.18	30.77	744.38	30.79
10	30	706.86	18.56	30.13	1022.5	36.08	30.69	740.67	30.71
11	35	962.11	21.55	34.92	1274.0	40.28	34.04	910.38	34.05
12	35	962.11	20.55	33.32	1253.0	39.94	33.78	896.21	33.78
13	35	962.11	21.50	34.84	1300.0	40.68	34.37	927.93	34.37
14	35	962.11	21.69	35.15	1293.0	40.57	34.28	923.20	34.28
15	35	962.11	21.50	34.84	1253.0	39.94	33.78	896.21	33.78
16	35	962.11	21.78	35.29	1395.0	42.14	35.54	992.03	35.54
17	35	962.11	21.69	35.15	1396.0	42.16	35.55	992.71	35.55
18	35	962.11	21.96	35.58	1392.0	42.10	35.50	990.01	35.50
19	35	962.11	21.78	35.29	1394.0	42.13	35.52	991.36	35.53
20	35	962.11	21.50	34.84	1394.5	42.14	35.53	991.70	35.53

$$D_r[mm] = 1.6038 \times D_f[px] + 0.3622 \quad (5.1)$$

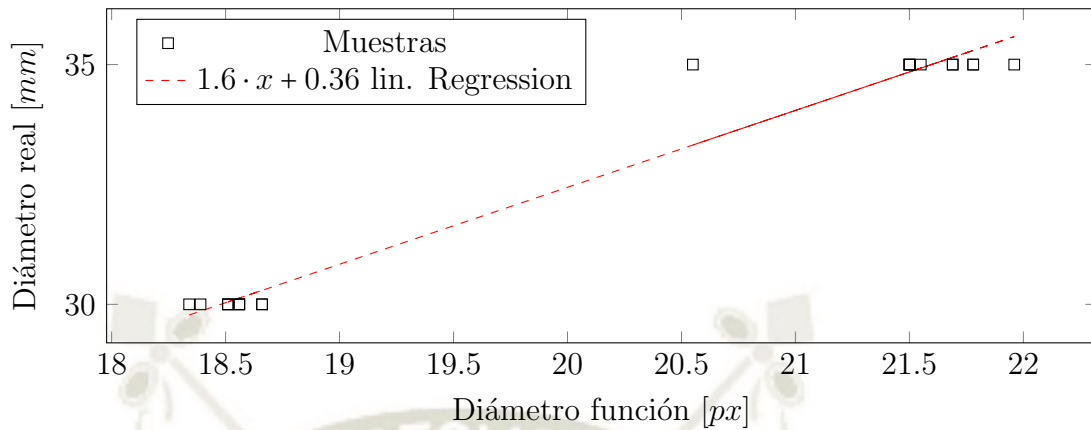


FIGURA 5.1: Función de ajuste $D_f[px]$ a $D_r[mm]$

En las columnas correspondientes a Dimensiones medidas, se aprecia el Área medida obtenida por el sistema de visión ($A_m [px]$) y dos opciones viables para la obtención del diámetro de la pieza cilíndrica a partir de A_m .

1. La Opción 1 (Op.1), calcula $D_m [px]$ a partir de $A_m [px]$. Este método emplea una regresión lineal (vea Ecuación 5.2) para convertir el diámetro de pixeles ($D_m [px]$) a milímetros ($D_m [mm]$). La regresión lineal se muestra gráficamente en la Figura 5.2.

$$D_r[mm] = 1.6038 \times D_m[px] + 0.3622 \quad (5.2)$$

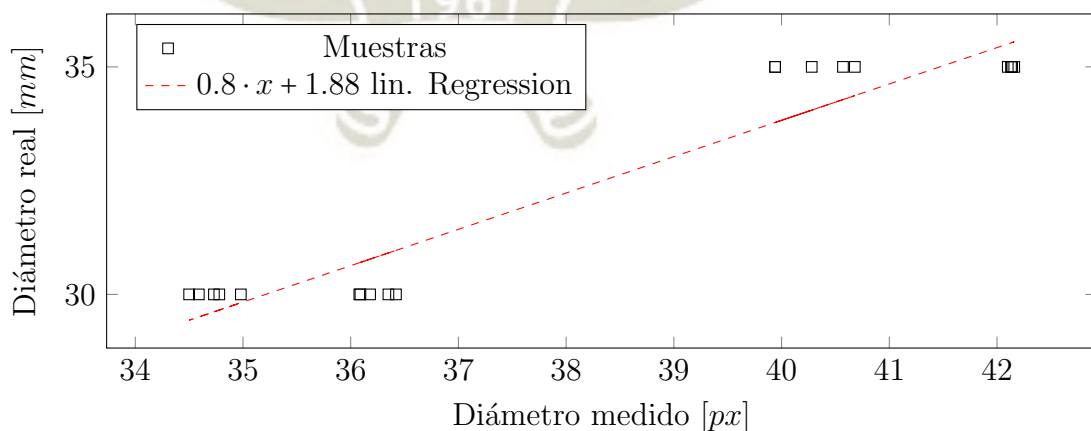


FIGURA 5.2: Función de ajuste $D_m[px]$ a $D_r[mm]$

2. La Opción 2 (Op.2), calcula D_m [mm] a partir de A_m [mm²]. Este método emplea una regresión lineal (vea Ecuación 5.3) para convertir el área de pixeles (A_m [mm²]) a milímetros al cuadrado (A_m [mm²]). La regresión lineal se muestra gráficamente en la Figura 5.3.

$$A_r[\text{mm}^2] = 0.6748 \times A_m[\text{px}] + 50.68692 \quad (5.3)$$

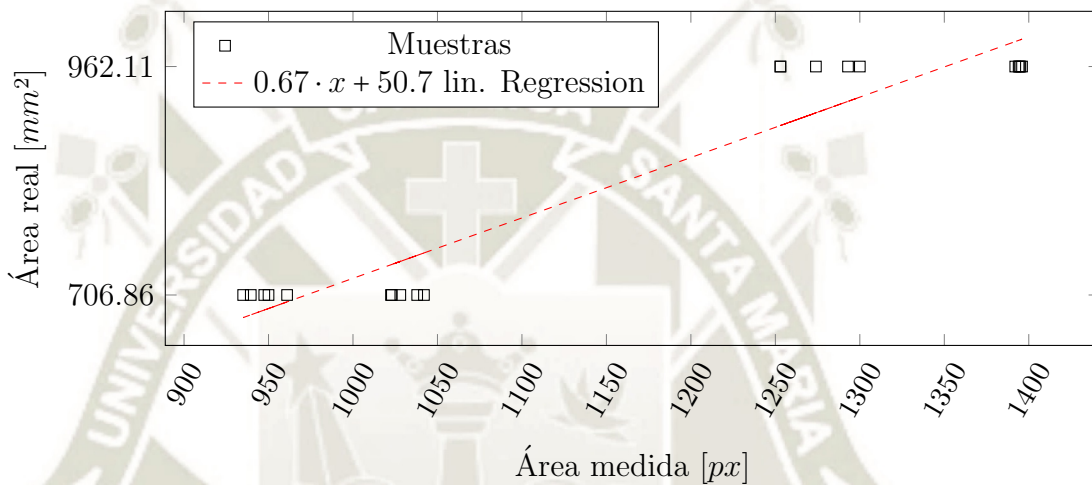


FIGURA 5.3: Función de ajuste $A_m[\text{px}]$ a $A_r[\text{mm}^2]$

5.2 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras las pruebas de medición y clasificación. En las Tablas 5.3 y 5.4 muestran la desviación estándar (σ) para las muestras de 30 mm y 35 mm respectivamente. La desviación estándar calculada corresponde a los diámetros resultantes de la función *Hough Circle Transform* y las opciones 1 y 2 detallados en la Sección 5.1.

De la Tabla 5.3 correspondiente a los cilindros de 30 mm se concluye que la Opción 2 ($\sigma = 0.6428$) responde mejor que la Opción 1 ($\sigma = 0.6483$) al tener menor desviación estándar. Por otro lado, las mediciones de los cilindros de 35 mm mostrados en la Tabla 5.4 son más adecuados empleando la Opción 1 ($\sigma = 0.8005$) en comparación con la Opción 2 ($\sigma = 0.8010$). Se opta por el uso de la opción 2 dado a la inconsistencia de unidades presente en la conversión de la área a diámetro en

TABLA 5.3: Muestras para calibración de 30mm

			Op.1	Op.2
	D_r	D_f	D_m	D_m
	[mm]	[u]	[mm]	[mm]
01	30	29.78	29.62	29.64
02	30	29.86	29.81	29.84
03	30	30.13	29.43	29.46
04	30	30.05	29.50	29.53
05	30	30.13	29.65	29.68
06	30	30.05	30.97	30.98
07	30	30.05	30.91	30.93
08	30	30.29	30.70	30.72
09	30	30.29	30.77	30.79
10	30	30.13	30.69	30.71
$\sigma =$		0.1632	0.6483	0.6428

TABLA 5.4: Muestras para calibración de 35mm

			Op.1	Op.2
	D_r	D_f	D_m	D_m
	[mm]	[u]	[mm]	[mm]
01	35	34.92	34.04	34.05
02	35	33.32	33.78	33.78
03	35	34.84	34.37	34.37
04	35	35.15	34.28	34.28
05	35	34.84	33.78	33.78
06	35	35.29	35.54	35.54
07	35	35.15	35.55	35.55
08	35	35.58	35.50	35.50
09	35	35.29	35.52	35.53
10	35	34.84	35.53	35.53
$\sigma =$		0.6143	0.8005	0.8010

pixeles. En otros términos, no existe $px^{1/2}$. Finalmente, se comprueba para ambos casos, que el resultado obtenido a partir de la función *Hough Circle Transform*, ofrece la menor desviación estándar para ambos casos. La desviación estándar para los cilindros de 30 mm y 35 mm empleando la función de OpenCV es de $\sigma = 0.1632$ y $\sigma = 0.6143$ respectivamente.

En pruebas experimentales se concluye que brillos indeseados ocasionados por el Gripper afectan en mayor proporción las mediciones realizadas con la opción 2. De similar modo, a diferencia de la opción 2, el diámetro medido por *Hough Circle Transform*, varía en mayor proporción cuando la pieza se encuentra posicionada inadecuadamente. Como medio de validación, se emplea un operador lógico "OR" mostrado en la Tabla 5.5. Se emplea el operador lógico para tratar mediciones fuera del umbral de tolerancia establecido de $\pm 1mm$.

TABLA 5.5: Validación por operador lógico OR

Hough Circle	Medidas (Op.2)	Verificación
Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto
Incorrecto	Correcto	Correcto
Correcto	Incorrecto	Correcto
Correcto	Correcto	Correcto

En la Tabla 5.6 se presenta algunas de las muestras tomadas y el resultado del proceso de validación que concluye si las piezas son grandes (G), pequeñas (P) o erradas (N). De 1000 muestras tomadas, 100 muestras fueron clasificadas exitosamente. Por tal motivo, el sistema tiene un 100% de efectividad al clasificar piezas cilíndricas de 30 mm y 35 mm. Se determinó experimentalmente que el error promedio de medición en las 100 muestras es de 0.05 mm para la función *Hough Circle Transform* y 0.15 mm para el algoritmo propuesto.

Se muestra el procesamiento que sigue cada imagen al ser capturada. La Figura 5.4 representa la imagen completa. Es decir, la imagen original después de ser capturada. A continuación, se recorta la imagen para resaltar el área de interés dando como resultado la Figura 5.5. Como se explica en el Capítulo 4, la imagen es convertida capa de color HSV para poder resaltar el círculo presente (vea Figura 5.6). En la Figura 5.7 se distingue menos ruido presente alrededor de la base del cilindro gracias a los efectos del filtro de Gauss. El proceso de binarización o

TABLA 5.6: Muestras analizadas

Muestra	Dimensiones					Validación
	D_r [mm]	D_f [mm]	$D_{m(Op.2)}$ [mm]	e_f [mm]	$e_{m(Op.2)}$ [mm]	
001	30	29.78	29.64	0.22	0.36	P
002	35	34.93	34.05	0.07	0.95	G
003	35	33.33	34.28	1.67	0.72	G
004	30	29.87	29.84	0.13	0.16	P
005	35	34.85	34.37	0.15	0.63	G
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
096	30	30.04	31.02	-0.04	-1.02	P
097	30	30.13	30.86	-0.13	-0.86	P
098	30	30.13	30.81	-0.13	-0.81	P
099	35	35.08	35.49	-0.08	-0.49	G
100	30	29.87	30.71	0.13	-0.71	P

P = Pequeño (Cilindro de 30mm)

G = Grande (Cilindro de 35mm)

N = Ninguno

umbralización se presenta en la Figura 5.8. La imagen ya binarizada se procesa con operaciones morfológicas de Cierre y Apertura dando como resultado la segmentación completa mostrada en la Figura 5.9.

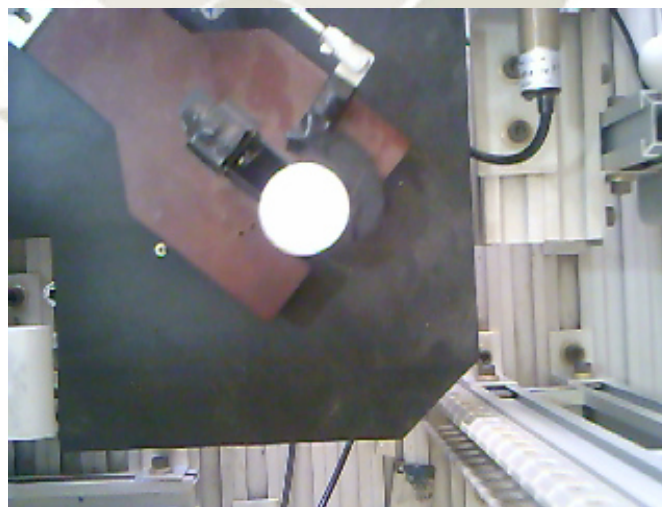


FIGURA 5.4: Muestra - Captura original



FIGURA 5.5: Muestra - Captura recortada

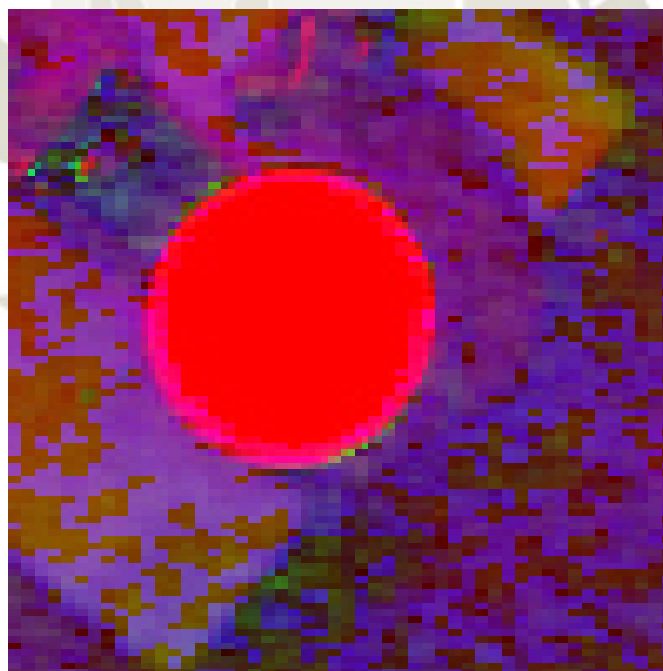


FIGURA 5.6: Muestra - Capa de color HSV

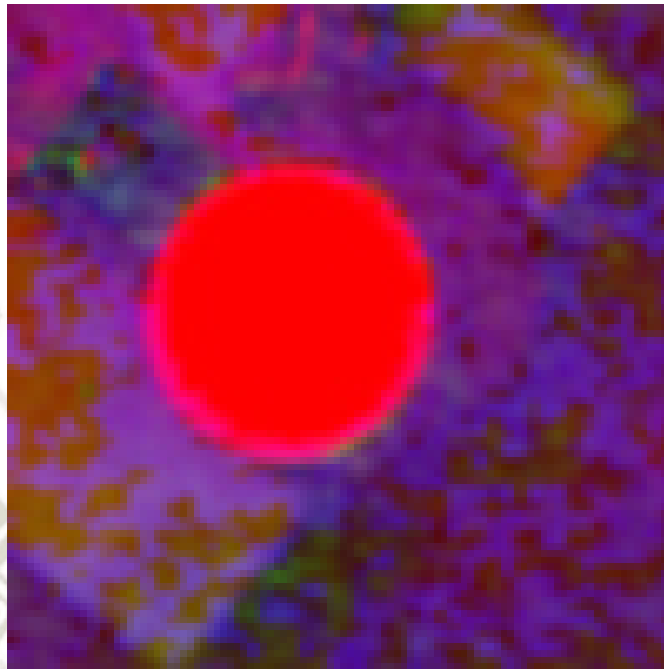


FIGURA 5.7: Muestra - Filtro de Gauss

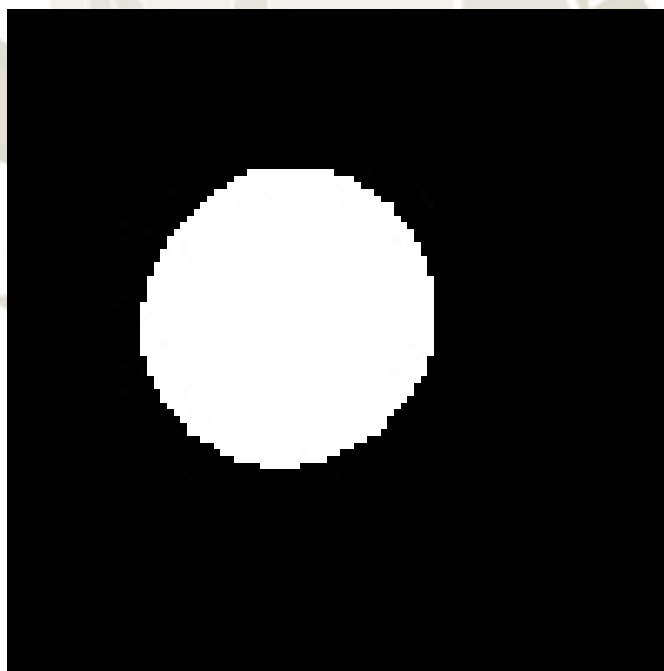


FIGURA 5.8: Muestra - Imagen umbralizada

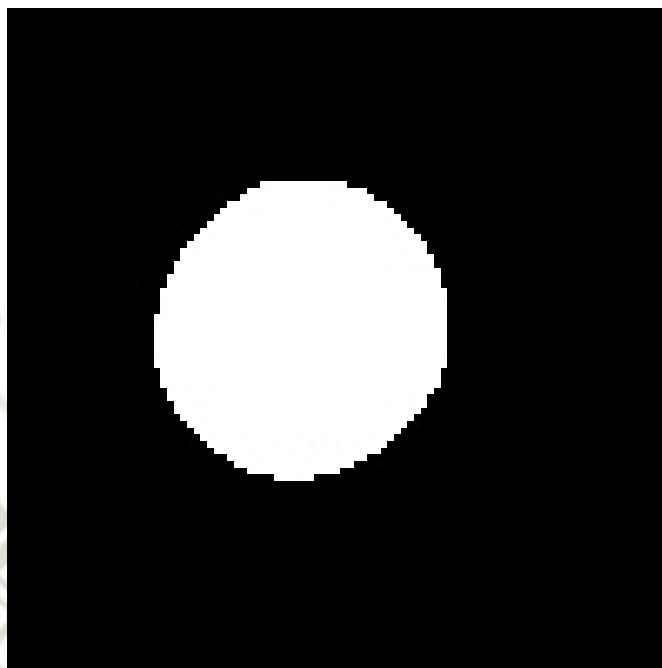


FIGURA 5.9: Muestra - Imagen segmentada

5.3 Información económica

En la Tabla 5.7 se muestra la información económica relacionada a la presente investigación.

TABLA 5.7: Información económica

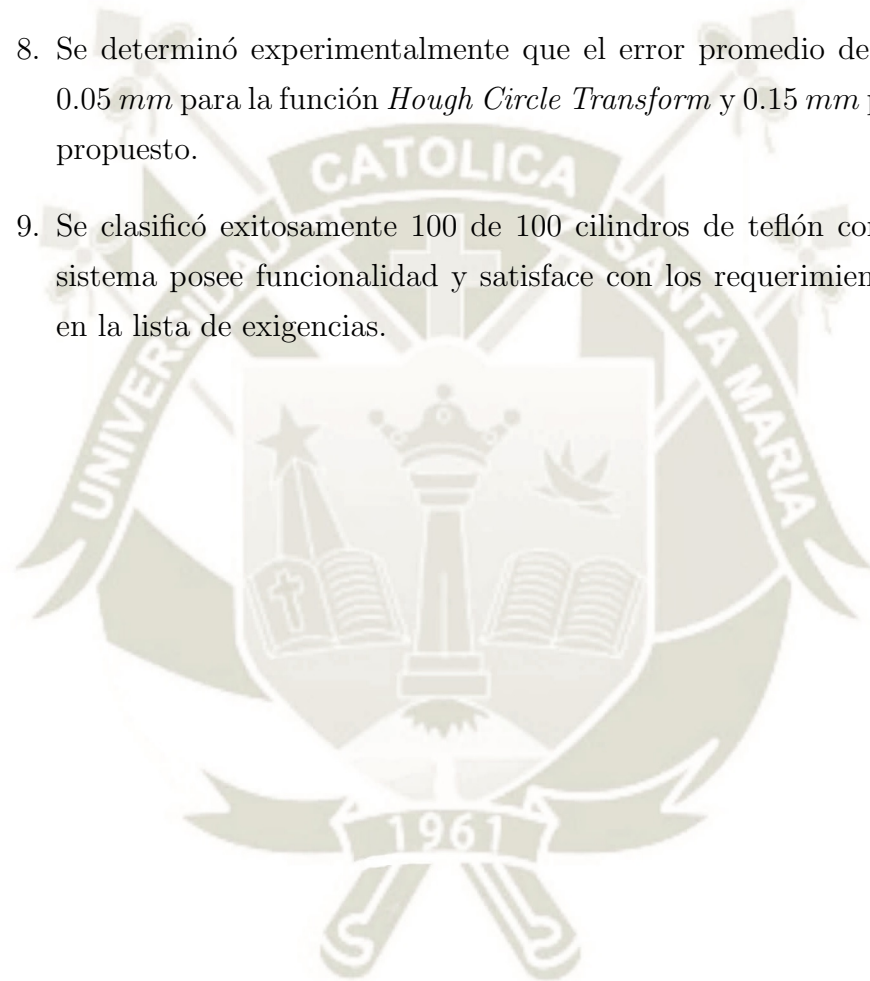
Rubro	Detalle	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Monto (PEN)
Insumos	Papel bond	Millar	30	2	60
	Plataforma embebida	Unidad	500	1	500
	Tablero	Unidad	1000	1	1 000
Implementación	Implementación del sistema de transporte de piezas cilíndricas.	Unidad	9000	1	9 000
	Sistema de visión	Unidad	1000	1	1 000
	Interfase electrónica	Unidad	700	1	700
	Costos de ingeniería	Unidad	4500	1	4 500
Subtotal					16 760
TOTAL (+10% Imprevistos)					18 436

Conclusiones

1. Se diseñó e implementó un sistema de visión artificial para la clasificación de piezas cilíndricas basado en medidas empleando la metodología de diseño VDI-2221. El sistema es capaz de medir sin contacto cilindros de teflón de 30 y 35 mm para luego clasificar las piezas según su diámetro.
2. Se presentó las consideraciones necesarias para el acondicionamiento para la imagen. Se empleó una tornamesa y actuadores neumáticos para movilizar las piezas cilíndricas desde la zona de alimentación, a través de la zona de captura, hacia la zona de paletizado. El sistema tardó 13s en clasificar una pieza cilíndrica de teflón.
3. Se seleccionó la cámara empleando los criterios de *Field of View* y tiempo de exposición. Como resultado, se emplea una cámara con 30.30 *fps* y 4.2 *mm* de longitud focal. La cámara se posicionó a una altura de 40 *mm* sobre los cilindros para garantizar 29.98 *cm* de longitud en la zona de captura.
4. El controlador y el procesador seleccionados fueron adecuados para la tarea. En pruebas experimentales, se determinó que el conjunto cámara - procesador tarda 0.12 *s* en capturar y 0.04 *s* medir y clasificar una pieza cilíndricas. En otras palabras, el tiempo de procesamiento es menor a los 0.55 *s* disponibles para realizar la captura de imagen y el procesamiento de la imagen.
5. Se presentó las consideraciones para lograr una iluminancia recomendada de 1000 *lx*. Se requirió en total 720 *lumen* los cuales pueden ser repartidos entre varias fuentes de iluminación distribuidos simétricamente y forma de anillo a una altura 40 *cm* sobre los cilindros de teflón y alrededor del lente de la cámara.
6. Se detalló los algoritmos necesarios para el procesamiento de imágenes con un método propuesto y una función de *OpenCV* como medio de validación de las muestras. En pruebas experimentales se concluyó que los brillos indeseados ocasionados por el Gripper, afectaron más a las mediciones realizadas con el algoritmo propuesto. A diferencia del algoritmo propuesto, el diámetro

medido por la función *Hough Circle Transform*, varió en mayor proporción cuando la pieza se encontró posicionada inadecuadamente.

7. Se ejecutó e implementó la programación en plataformas embebidas que cumplen con los tiempos computacionales requeridos para el proceso de medición y clasificación.
8. Se determinó experimentalmente que el error promedio de medición es de 0.05 mm para la función *Hough Circle Transform* y 0.15 mm para el algoritmo propuesto.
9. Se clasificó exitosamente 100 de 100 cilindros de teflón con un 100%. El sistema posee funcionalidad y satisface con los requerimientos establecidos en la lista de exigencias.



Recomendaciones

1. Se recomienda evitar emplear materiales reflectantes expuestos en la zona de captura minimizar brillos indeseados en las capturas.
2. Es ideal incluir un recubrimiento de goma al Gripper del sistema a fin de evitar el deslizamiento de las piezas en la tornamesa.
3. Se recomienda emplear transmisión flexible en lugar de cadena en la zona de paletizado para evitar vibraciones durante el proceso de paletizado.
4. Considerar la generación de efecto Venturi en el actuador final del pistón de paletizado como alternativa para la válvula de vacío.
5. Para futuras investigaciones, se recomienda la implementación del sistema de control y procesamiento en una plataforma embebida en tiempo real para reducir el tiempo de clasificación de los cilindros.
6. Se recomienda incluir un control de iluminación y un algoritmo adaptable de umbralización para aumentar la confiabilidad y robustez de la solución presentada.

Referencias

- Aberäcker, P. (1989). *Digitale bildverarbeitung. grundlagen und anwendungen* (Hanser, Ed.).
- Acuña, J. (1990). Automatización industrial: definición y conceptos. *Tecnología en marcha*, 10(1), 26–30.
- Anding, K. (2010). *Automatisierte qualitätssicherung von getreide mit überwachten lernverfahren in der bildverarbeitung*.
- Awcock, G., & Thomas, R. (1995). *Applied image processing* (MacMillan, Ed.).
- Barriga, B. (2011). *Metodos de diseño en ingeniería mecatronica*.
- Beaglebone. (2018). Retrieved from <https://beagleboard.org/black>
- Beleuchtung asr a3.4 (Tech. Rep.). (2011). baua.
- Böhme, M. (2011). *Apuntes de clase del curso diseño e integracion del sistema mecatronico*.
- Bianconi, F. (2011). *Vision en color y reconocimiento de patrones*.
- Bier, J. (2007). *Selecting processors for video applications (esc-324)*.
- Castañeda, B. (2015). *Apuntes de clase del curso visión por computadora*.
- Deepa, P., & Geethalakshmi, S. (2012). A Comparative Analysis of Watershed and Color based segmentation for Fruit Grading. (3), 11–15.
- Demant, C., Streicher, B., & Springhoff, A. (1998). *Industrielle bildverarbeitung: Wie optische qualitätskontrolle wirklich funktioniert* (Springer, Ed.).
- Etcheverry, E. (2005, Agosto). *Iluminacion para las aplicaciones de vision artificial*. Retrieved from <http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Tipos20de%20Iluminaci%C3%B3n.pdf>
- Fu, K., González, R., & Lee, G. (1988). *Robótica: control, detección, visión e inteligencia* (M. Graw-Hill, Ed.).
- Gil, P., Torres, F., & Ortiz, F. (2004). Detección de objetos por segmentación multinivel combinada de espacios de color. *Federación Internacional de Automatización. Comité Español de Automática*.
- Industrielle bildverarbeitung gelöst*. (2015). Retrieved from <http://www.vision-doctor.de/kameraberechnungen/belichtungszeit-berechnen.html>
- Kleiner, L. (n.d.). *Elektromagnetisches spektrum*.

- Kridner, J., & Barrett, S. (2013). *Bad to the Bone: Crafting Electronic Systems with BeagleBone and BeagleBone Black*. San Rafael, Calif: Morgan & Claypool Publishers.
- Leonario, J., & Leon, E. (2003). Deteccion y Clasificacion de defectos en frutas mediante el procesamiento digital de imagenes. *Revista Colombiana de Fisica*, 35(1), 148–151.
- Lopez, J. (1998). *Integración y fusión multisensorial en robots móviles autónomos*.
- Maheshwari, C. (2013, June). Quality assessment of oryza sativa ssp indica (rice) using computer vision. *Journal of innovative Research in Computer and Communication Engineering*.
- Martinez, J., & Carrasco, J. (2011). Reconocimiento de patrones. *Komputer Sapiens*.
- M-duino plc arduino 42 i/os analog/digital*. (2014). Retrieved from <http://www.industrialshields.com/m-duino-plc-arduino-42-i-os-analog-digital>
- Ni vision* (Tech. Rep.). (2013). National Instruments.
- Nixon, M., & Aguado, A. (2002). *Feature extraction and image processing* (Newnes, Ed.).
- Pajares, G., & De la Cruz, M. (2008). *Ejercicios resueltos de vision por computador* (Alfaomega, Ed.).
- Pall's-Areny, R., & Webster, J. (2001). *Sensors and signal conditioning* (2nd Edition ed.). John Wiley Sons.
- Porras, J., De la cruz, M., & Moran, A. (2008). *Sistema de Clasificacion basado en Vision Artificial*.
- Ruiz, J., & Guzman, A. (n.d.). *Enfoque logico combinatorio al reconocimiento de patrones* (IPN, Ed.).
- Salazar, A. (2001). *Identificacion de objetos en movimiento mediante vision artificial y transmision de datos a un brazo robotico*.
- Sanchez, V. (2013). *Diseño de un sistema de identificacion y clasificacion por vision artificial*.
- Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos* (M. graw Hill, Ed.).

- Shehzad, A., & Shabbir, T. (2015). *Controller selection criteria: keys to achieving operational excellence*.
- Sobrado, E. (2003). *Sistema de vision artificial para el reconocimiento y manipulacion de objetos utilizando un brazo robot*.
- Soriano, A., Marín, L., Juan, R., Cazalilla, J., Valera, A., Vallés, M., & Albertos, P. (n.d.). *Plataforma Robótica De Bajo Coste Y Recursos Limitados Basada En Arduino Y Dispositivos Móviles*. Universidad Politècnica de Valencia, 9.
- Technische optik und lichttechnik* (Tech. Rep.). (2011). TU-Ilmenau.
- Valdivia, C. (2016). *Diseño de un sistema de visión artificial para la clasificación de chirimoyas basado en medidas*.
- Vdi-richtlinie: Vdi 2221 methodik zum entwickleln un konstruieren technischer systeme und produkte* (Tech. Rep.). (n.d.). The Association of German Engineers (VDI). Retrieved from http://www.vdi.de/richtlinie/vdi_2221-methodik_zum_entwickeln_und_konstruieren_technischer_systeme_und_produkte/
- Wolfgang, A. (1994). *Einführung in die digitale bildverarbeitung* (B. T. Stuttgart, Ed.).
- Zarate, E., & Rodríguez, E. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de clasificación por visión artificial basado en redes neuronales y servo posicionamiento lineal industrial*.
- Zurawski, R. (2005). *Embedded Systems Handbook (Industrial Information Technology)*. New York, NY: CRC Press.
- Zwicky, F. (1971). *Entdecken, erfinden, forschen im morfologischen weltwild* (D. Knauer, Ed.).

Apéndice A

Código del Procesador

```

1  ###LIBRERIA
2  import numpy as np                #gestiona matrices grandes
3  import cv2                        #libreria de vicion artificial
4
5  ###CONSTANTES Y VARIABLES
6  t0=0                              #tiempo anterior
7  t1=0                              #tiempo actual
8  tiempo=0                          #tiempo de procesamiento
9  Df=0                              #diametro medido por funcion
10 Da=0                             #diametro medido por area
11 n =1                              #numero de muestra
12 minRGB =np.array([190,190,190])   #rango minimo de segmentacion
13 maxRGB =np.array([255,255,255])   #rango maximo de segmentacion
14 minHSV =np.array([ 0, 0,200])     #rango minimo de segmentacion
15 maxHSV =np.array([255, 70,255])   #rango maximo de segmentacion
16 minLAB =np.array([205,114,114])   #rango minimo de segmentacion
17 maxLAB =np.array([255,144,144])   #rango maximo de segmentacion
18 kernel1=cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE,(3,3))
19 kernel2=cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE,(5,5))
20
21 ###ENTRADAS Y SALIDAS
22 key=ord('a')                      #keyboard
23
24 ###SECUENCIA DE INICIO
25 t1=cv2.getTickCount()             #tiempo actual
26 tiempo=(t1-t0)/cv2.getTickFrequency() #calcular tiempo
27 t0=t1                             #actualizar tiempo
28
29 ###SECUENCIA PRINCIPAL
30 while True:
31     #---captura de imagen---#
32     frame=cv2.imread('original'+str(n)+'.png') #leer la imagen
33     rgb=frame[50:150,90:190]          #recortar la imagen
34     #---preprocesamiento de imagen---#
35     gray=cv2.cvtColor(rgb,cv2.COLOR_BGR2GRAY) #cambiar de rgb a gris
36     hsv =cv2.cvtColor(rgb,cv2.COLOR_BGR2HSV) #cambiar de rgb a hsv
37     lab =cv2.cvtColor(rgb,cv2.COLOR_BGR2LAB) #cambiar de rgb a lab
38     gauss=cv2.GaussianBlur(gray,(9,9),0)   #filtro gausiano
39     #gaubl=cv2.GaussianBlur(lab,(9,9),0)    #filtro gausiano
40     #---segmentacion de imagen---#
41     maskRGB=cv2.inRange(rgb,minRGB,maxRGB)  #mascara para RGB
42     maskHSV=cv2.inRange(hsv,minHSV,maxHSV)  #mascara para HVS
43     maskLAB=cv2.inRange(lab,minLAB,maxLAB)  #mascara para LAB

```

```

44 maskOP =cv2.morphologyEx(maskLAB,cv2.MORPH_OPEN ,kernel1,iterations=3)
45 #open elimina los brillos y otros falsos
46 maskCL =cv2.morphologyEx(maskOP ,cv2.MORPH_CLOSE,kernel2,iterations=1)
47 #close suabisa el area secmentada
48 #---medir diametro por funcion---#
49 circles=cv2.HoughCircles(gauss,cv2.cv.CV_HOUGH_GRADIENT,1,60,
50 param1=30,param2=15,minRadius=16,maxRadius=24)
51 #busca circulos
52 if circles is not None: #comprueba que se encontro circulos
53     for i in circles[0,:]:
54         cv2.circle(rgb,(i[0],i[1]),i[2],(255,0,0),2) #dibuja el circulo encontrado
55         Df=i[2]*1.603845+0.362150 #escala y normaliza los diametros
56 #---medir diametro por area---#
57 contours,hierarchy=cv2.findContours(maskCL,cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
58 #busca contornos
59 if contours is not None: #comprueba q se encontro contornos
60     for i in range(len(contours)):
61         cv2.drawContours(hsv,contours,-1,(0,255,0),2) #dibuja los contornos
62         cnt=contours[i]
63         moments=cv2.moments(cnt) #calcula los momnetos
64         area=moments['m00']*0.674786+50.686875#calcula el area escala y normaliza
65         Da=np.sqrt((4*area)/np.pi) #escala y normaliza los diametros
66 #---mostrar resultados---#
67 if Df>=32 and Da>=32:
68     print str(n)+" --> grande"
69     #print 't='+str(round(tiempo,4))
70     #print 'G'
71 elif Df<32 and Da<32:
72     print str(n)+" --> pequeno"
73     #print 't='+str(round(tiempo,4))
74     #print 'P'
75 else:
76     print str(n)+" --> none"
77     #print 'N'
78 #print str(round(Df,4))
79 #print str(round(Da,4))
80 ta=cv2.getTickCount() #
81 tiempo=(t1-t0)/cv2.getTickFrequency()
82 t1=cv2.getTickCount() #tiempo actual
83 tiempo=(t1-t0)/cv2.getTickFrequency() #calcular
84 t0=t1 #
85 #---mostrar imagenes en pantalla---#
86 cv2.imshow('original',rgb) #imwgen en RGB
87 cv2.imshow('laplace',hsv) #imagen en HSV
88 #cv2.imshow('rgb',maskRGB) #mascara
89 #cv2.imshow('hsv',maskHSV)
90 #cv2.imshow('lab',maskLAB)
91
92 n=n+1
93 key=cv2.waitKey(0)&0xFF
94 if key==ord('w'):
95     n=n-2
96 elif key==ord('q'):
97     break
98 #---secuencia de final---#
99 cv2.destroyAllWindows()

```

Apéndice B

Código del Controlador

```
1 //LIBRERIAS
2 #include <Stepper.h> //librerias
3
4 //CONSTANTES Y VARIABLES
5 #define STEPS 200 //numero de paso para un revolucion
6 //I[x][y] entradas Q[x][y] salidas
7 int I[3][13]={22,23,24,25,26, 2, 3, A0, A1, A2, A3, A4, A5},
8             {27,28,29,30,31,18,19, A6, A7, A8, A9,A10,A11},
9             {32,33,34,35,35,20,21,A12,A13,A14,A15,A15,A15}};
10 int Q[3][8] ={{36,37,38,39,40, 4, 5, 6},
11             {41,42,43,44,45, 8, 7, 9},
12             {46,47,48,49,49,12,13,13}};
13 unsigned long Ts,Tu,now;
14 int datos,estados;
15
16 //ENTRADAS Y SALIDAS
17 int Sen[11]={I[1][2], I[1][3], I[0][0], I[0][1], I[0][2], I[0][3], I[0][4], I[0][5],
18            I[0][6], I[1][1], I[1][0]};
19 int Est[3] ={I[1][4], I[1][5], I[1][6]};
20 int Act[5] ={Q[1][0], Q[1][1], Q[1][2], Q[1][3], Q[1][4]};
21 Stepper stepA(STEPS, Q[0][0], Q[0][1], Q[0][2], Q[0][3]);
22 //inicializacion motor paso a paso del brazo
23 Stepper stepB(STEPS, Q[0][4], Q[0][5], Q[0][6], Q[0][7]);
24 //inicializacion motor paso a paso de la cadena
25
26 //SECUENCIA DE INICIO
27 void setup() {
28     for(int i=0;i<2;i++){
29         for(int j=0;j<13;j++){
30             pinMode(I[i][j],INPUT); //habilitamos como entrada toda los sensores
31         }
32         for(int j=0;j<8;j++){
33             pinMode(Q[i][j],OUTPUT); //habalitamos como salida las actuadores
```

```

34     digitalWrite(Q[i][j],LOW); //inicializamos los pistones reposo
35     }
36 }
37 stepA.setSpeed(30); //velocidad del motor paso a paso del brazo
38 stepB.setSpeed(30); //velocidad del motor paso a paso de la cadena
39 Serial.begin(115200); //velocidad de trasmision de comunicacion serial
40 while(!Serial){;} //esperamos que la comunicacion se establezca
41 Tu=micros(); //tomamos tiempo
42 }
43
44 //SECUENCIA PRINCIPAL
45 void loop(){
46     now=micros();
47     Ts=now-Tu; //tiempo de muestreo
48     //Serial.println(Ts);
49     if(Ts>=100000){ //habilitador de muestreo
50         for(int i=0;i<11;i++){
51             boolean bits=digitalRead(Sen[i]); //toma los datos del los sensores
52             bitWrite(datos,10-i,bits);
53         }
54         //Serial.println(datos,BIN);
55         for(int i=0;i<3;i++){
56             boolean bits=digitalRead(Est[i]); //toma los datos de los sensores
57             bitWrite(estados,2-i,bits);
58         }
59         //Serial.println(estados,BIN);
60         //Serial.println(Ts);
61         Tu=now; //actualizacion de tiempos
62         //Serial.print('t');
63         // delay(5000);
64     }
65 }
66
67 //SECUENCIA SECUNDARIA
68 void movimientos(char codigo,int valor){
69     switch(codigo){
70         case 'a': //primer movimiento piston 0
71             digitalWrite(Act[0],HIGH);
72             delay(valor); //200
73             digitalWrite(Act[0],LOW);
74             break;
75         case 'b': //segundo movimiento piston 1 activado
76             digitalWrite(Act[1],HIGH);
77             stepA.step(-valor); //80
78             delay(200);
79             Serial.print('t'); //se al ara captura de foto
80             break;
81         case 'c': //tercer movimiento piston 1 desactivado
82             digitalWrite(Act[1],HIGH);
83             stepA.step(-valor); //110 180
84             digitalWrite(Act[1],LOW);

```

```

85     break;
86     case 'd': //sellado
87         digitalWrite(Act [2], HIGH);
88         delay(valor); //500
89         digitalWrite(Act [2], LOW);
90         break;
91     case 'e': //cuarto movimiento piston 1 agarra y suelta
92         digitalWrite(Act [1], LOW);
93         stepA.step(-valor);
94         pasoA(100); //370
95         digitalWrite(Act [1], LOW);
96         break;
97     case 'f': //quinto movimiento piston 3 baja a recoger cilindron
98         digitalWrite(Act [3], HIGH);
99         delay(valor); //1000
100        digitalWrite(Act [4], HIGH);
101        digitalWrite(Act [3], LOW);
102        break;
103        case 'g': //movimiento de cadena
104            pasoB(valor); //240
105            break;
106            case 'h': //sexto movimiento piston 3 baja a dejar cilcindro
107                digitalWrite(Act [3], HIGH);
108                delay(valor); //200
109                digitalWrite(Act [4], LOW);
110                digitalWrite(Act [3], LOW);
111                break;
112                case 'i':
113                    digitalWrite(Act [3], HIGH);
114                    delay(1000);
115                    digitalWrite(Act [3], LOW);
116 // while (npA
117 //     if (npA > 370) {
118 //         stepA.step(-1);
119 //         npA++;
120 //     }
121 //     else if (npA == 370) {
122 //         npa=0;
123 //     }
124 //     if (npB > 350) {
125 //         stepB.step(-1);
126 //         npB++;
127 //     }
128 //     else if (npB == 350) {
129 //         npB=0;
130 //     }
131     break;
132 }
133 }
134
135 //PROTECCION MOTOR

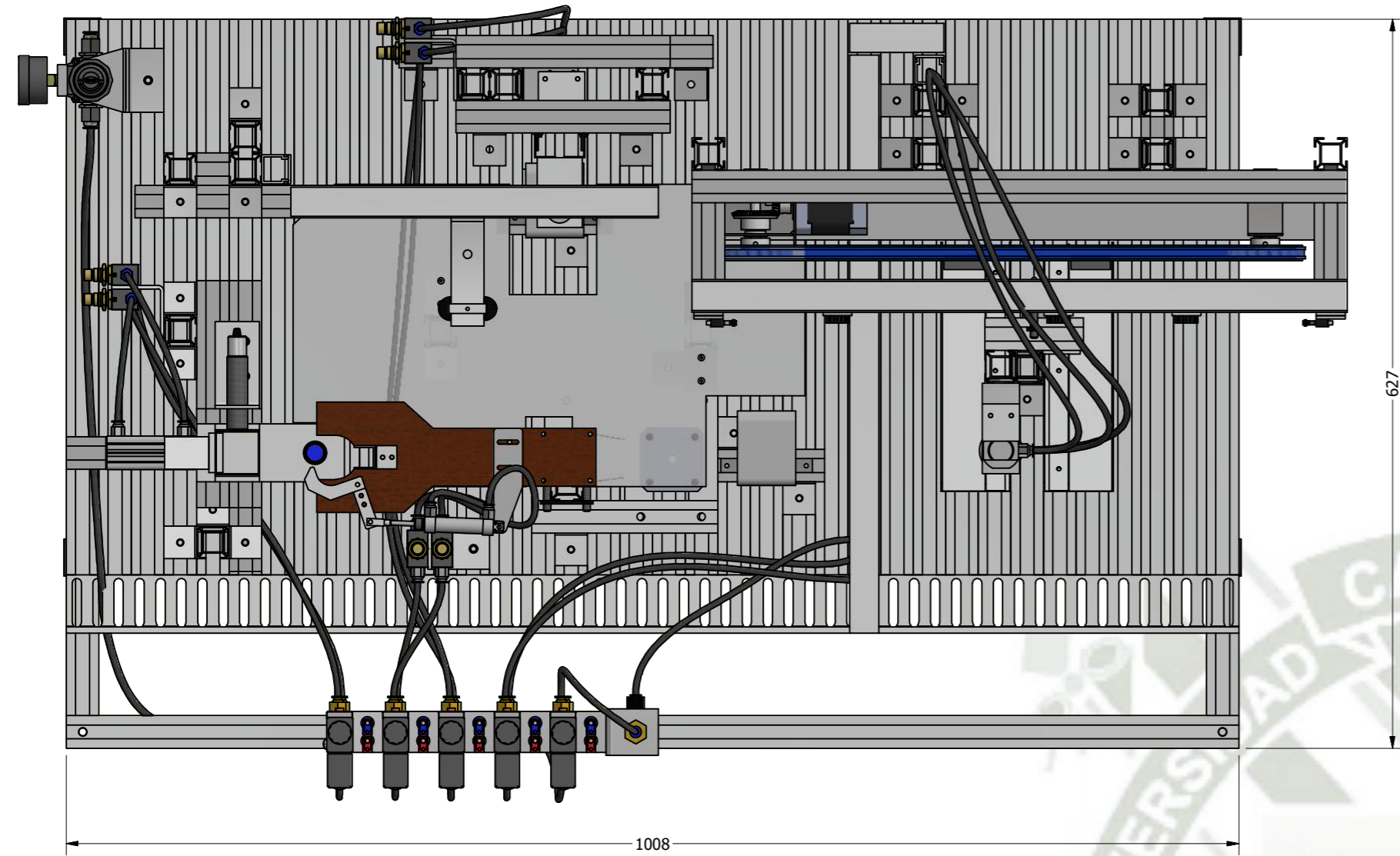
```

```
136 void pasoA(int pasos){
137 //  stepA.step(pasos);
138     delay(pasos);
139     for(int i=0;i<4;i++){
140         digitalWrite(Q[0][i],LOW);
141     }
142 }
143
144 //PROTECCION MOTOR
145 void pasoB(int pasos){
146     stepB.step(pasos);
147     for(int i=0;i<4;i++){
148         digitalWrite(Q[0][4+i],LOW); //apadag completamente el motor
149     }
150 }
151
152 //COMUNICACION SERIAL para debug
153 void serialEvent(){
154 if(Serial.available()>=2){ //espera a tener 2 bytes en el bufer
155     int cod=Serial.read(); //selecciona el movimiento
156     int val=Serial.parseInt(); //indica el valor para el movimiento
157     movimientos(cod,val);
158 }
159 }
160
161
162 //comunicacion con beagle bone
163 void serialEvent1(){
164     if(Serial.available()>=2){ //espera a tener 2 bytes en el bufer
165         int cod=Serial.read();//selecciona el movimiento
166         int val=Serial.parseInt();//indica el valor para el movimiento
167         movimientos(cod,val);
168     }
169 }
170 }
```

Apéndice C

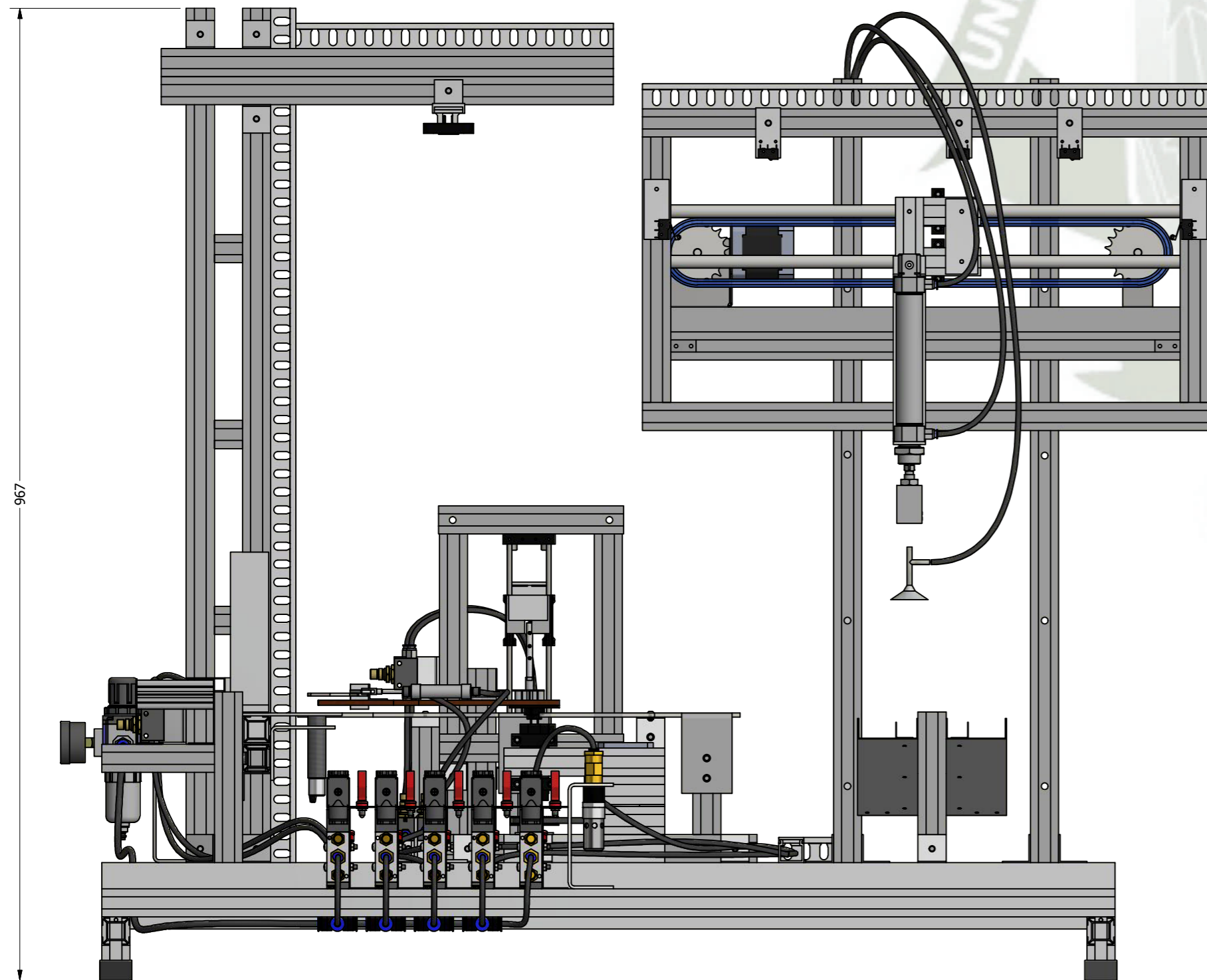
Planos del Sistema



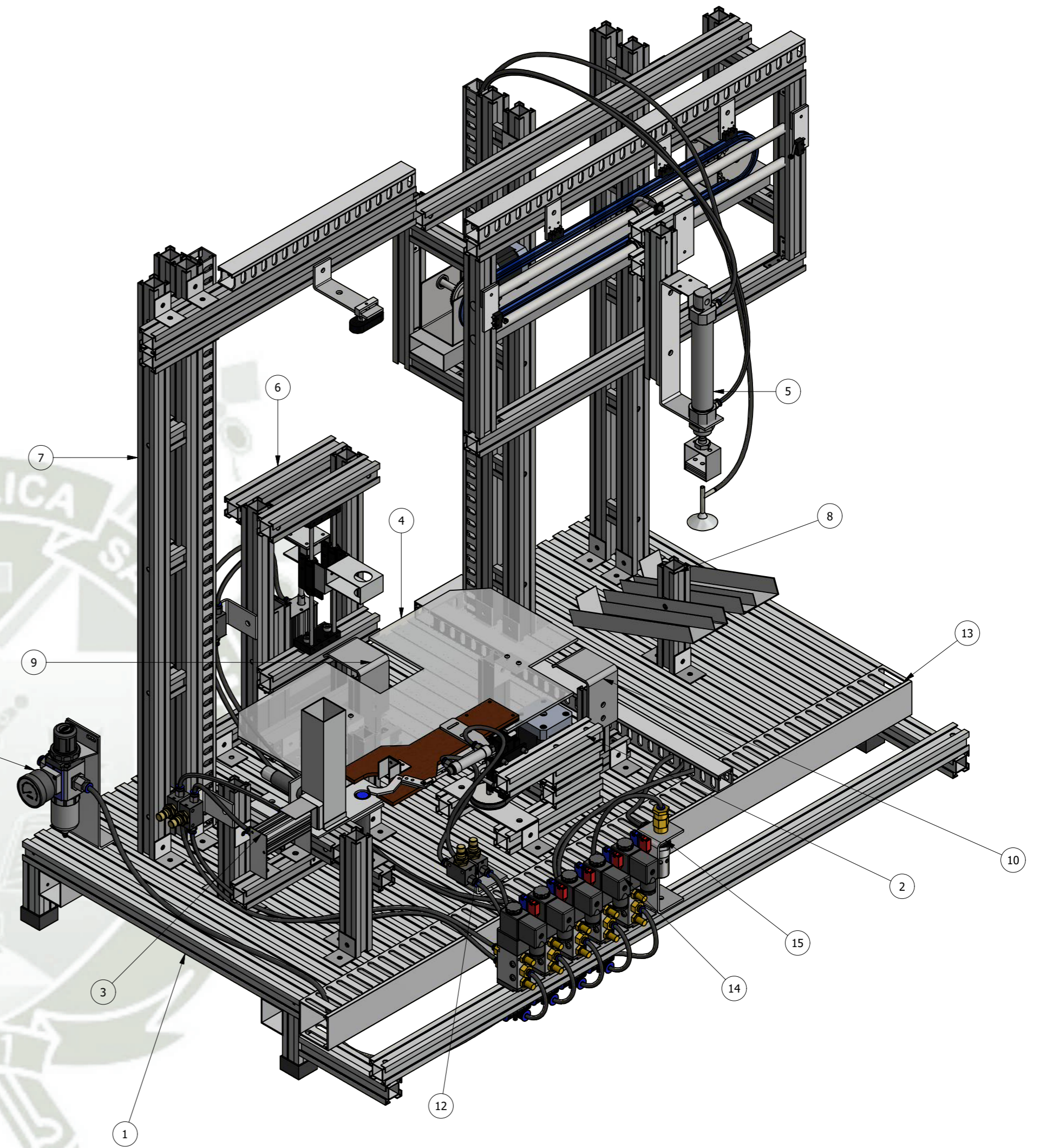


627

1008

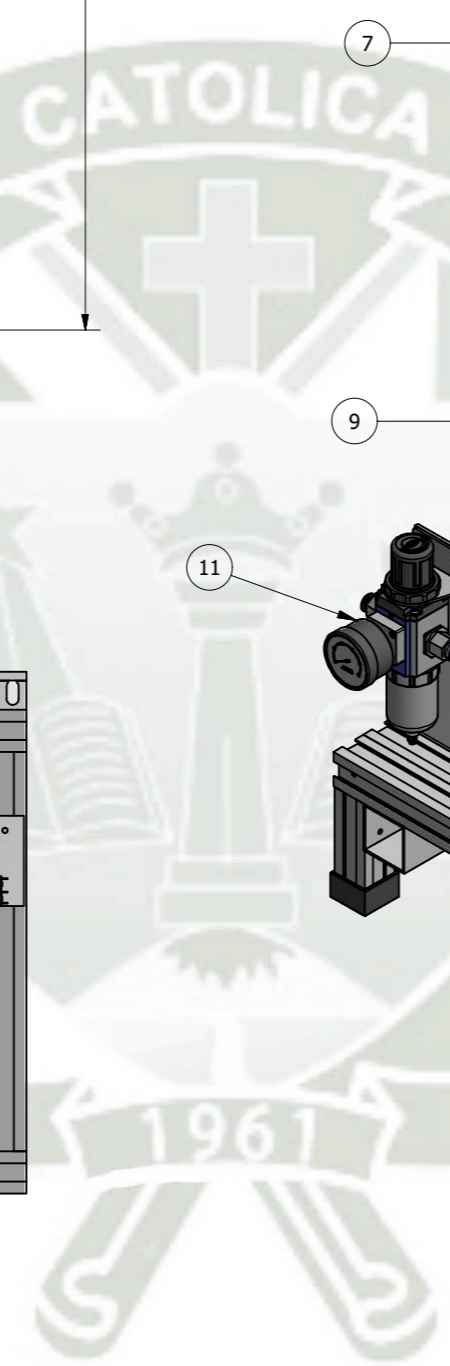


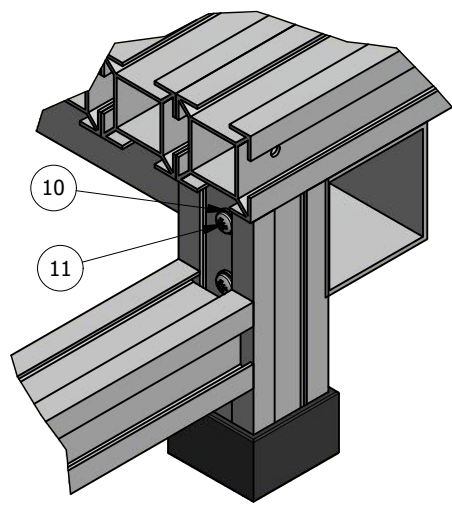
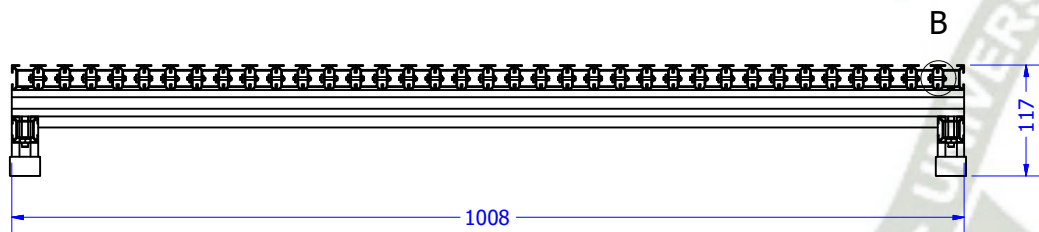
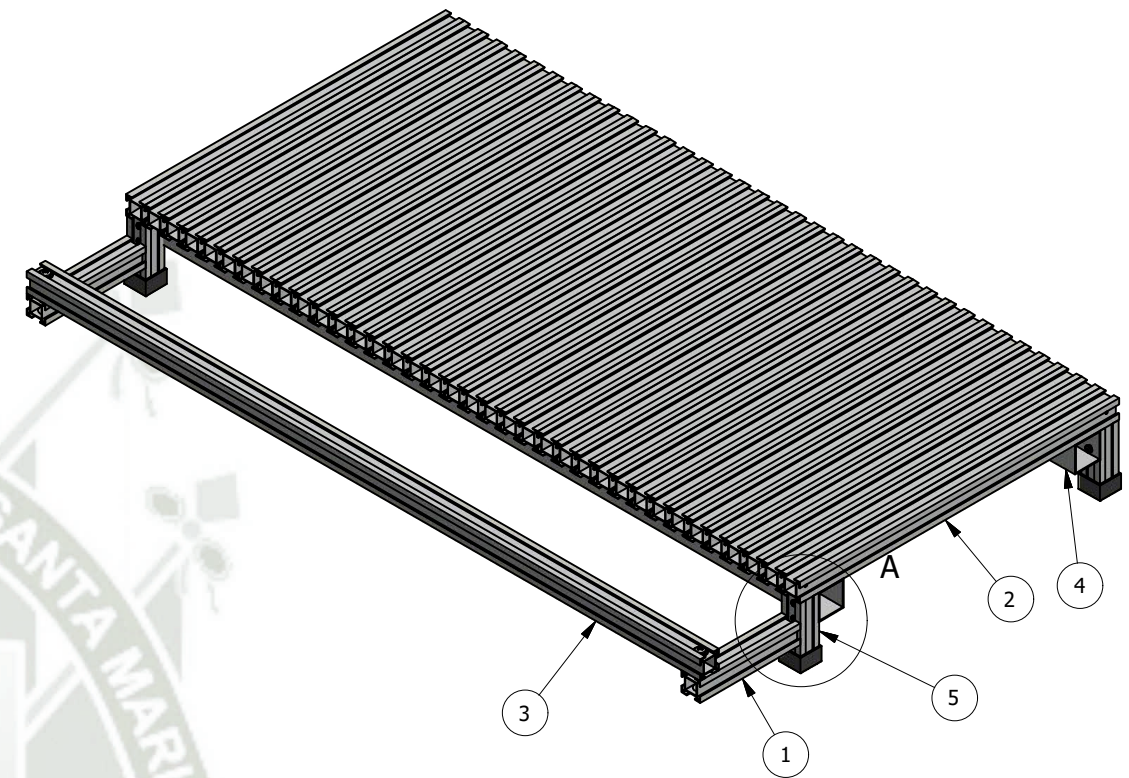
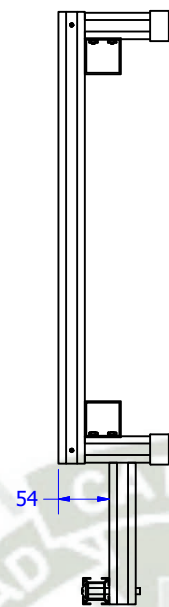
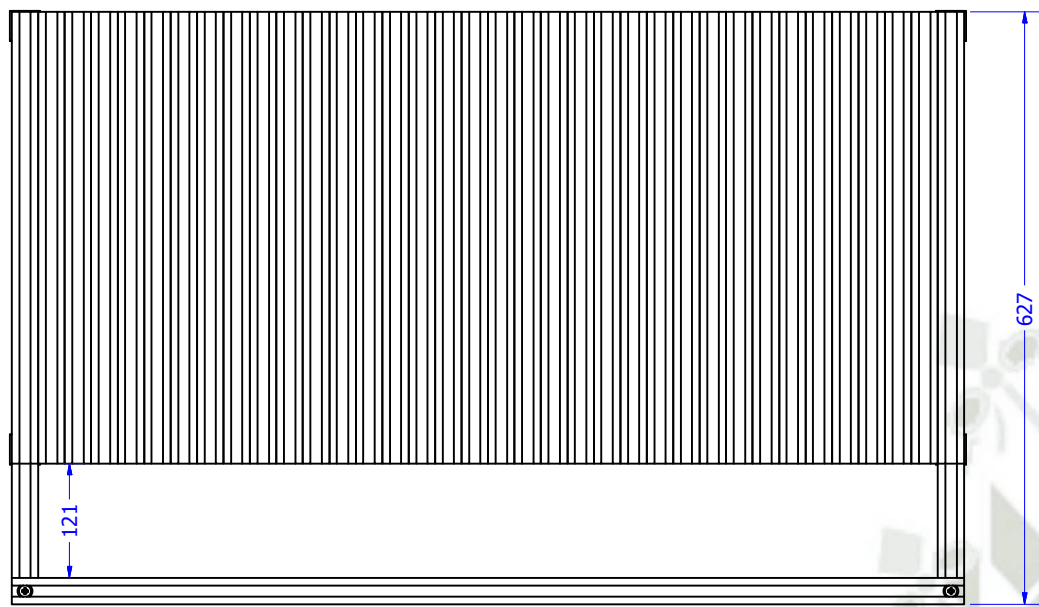
967



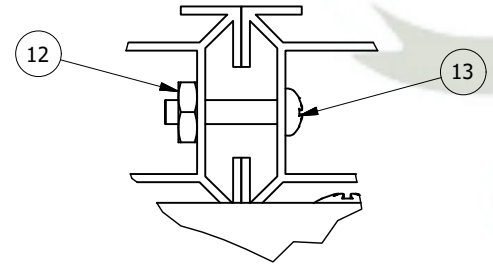
LISTA DE COMPONENTES			
ITEM	CTD	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
1	1	PLATAFORMA	
2	1	TORNAMEZA	
3	1	ALIMENTADOR	
4	1	GUARDA TRANSLUCIDA	
5	1	SISTEMA DE VENTOSA	
6	1	SISTEMA DE ESTAMPADO	
7	1	SISTEMA DE CAMARA	
8	1	CHUTE	
9	1	PORTADOR DE DISCOS 01	
10	1	PORTADOR DE DISCOS 02	
11	1	SISTEMA DE FILTRADO	
12	3	ESTRANGULADOR	
13	1	CANALETAS	
14	5	BANCO DE VALVULA	
15	1	BANCO DE SISTEMA DE VACIO	

Nombre		Fecha	Firma
Dibujado:		C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018
Comprobado:		Sergio Mestas	
Proyecto: SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS			
Título: PLANO GENERAL			
Escala: 1 : 5		ANSI	
Plano N°: 1.00		Hoja / Hojas: 1 / 46	





Detalle A
ESC (1 : 2)



Detalle B
ESC (1 : 1)

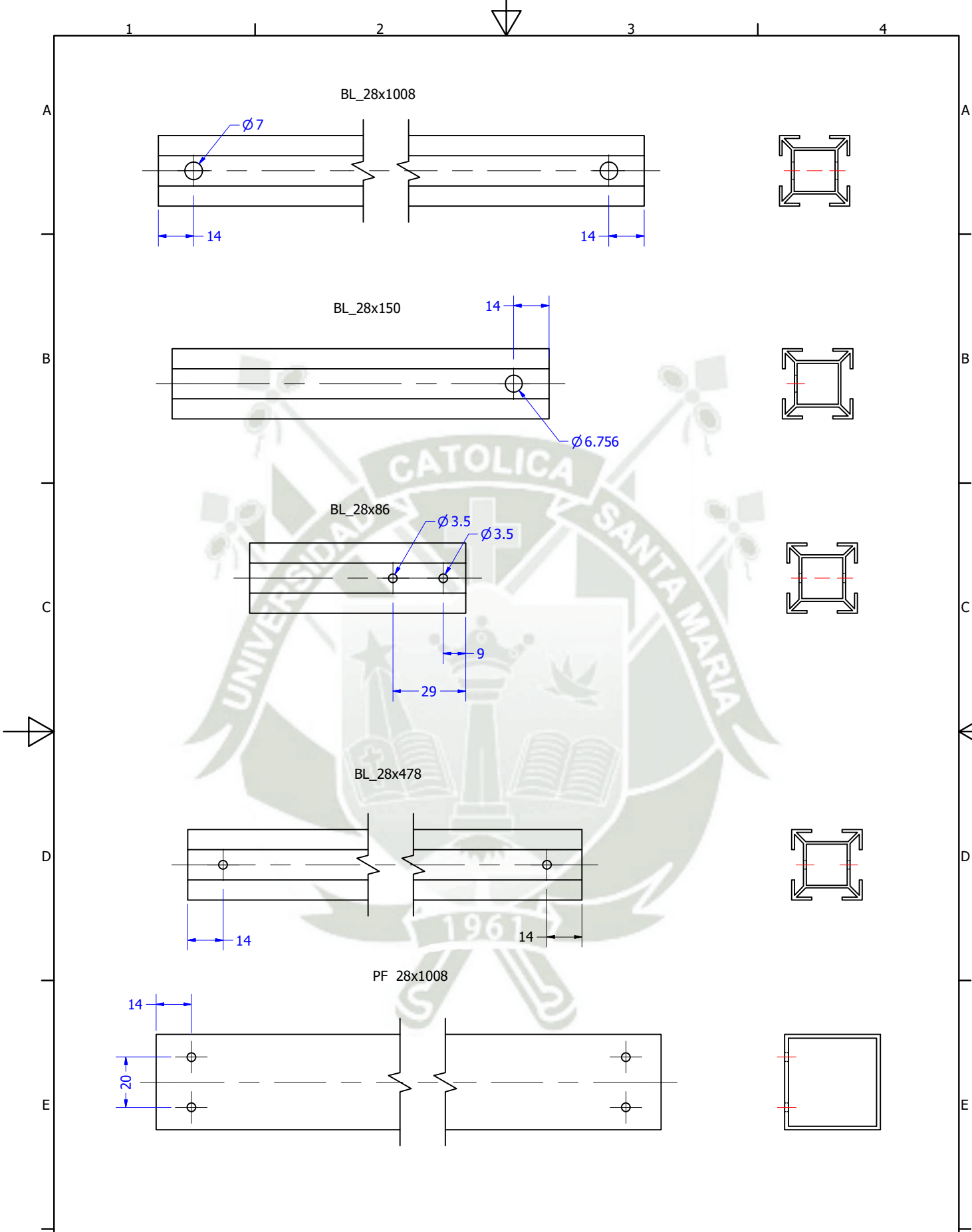
LISTA DE PERFILES					
ITEM	CTD	NUMERO DE PIEZA	LONG UNIT	LONG TOT	MATERIAL
1	2	BL_28x150	150 mm	300.000 mm	Aluminum 6061
2	36	BL_28x478	478 mm	17208.000 mm	Aluminum 6061
3	1	BL_28x1008	1008 mm	1008.000 mm	Aluminum 6061
4	2	PF 28x1008	1008 mm	2016.000 mm	Aluminum 6061
5	4	BL_28x86	86 mm	344.000 mm	Aluminum 6061

LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS				
ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
7	1	ANSI B18.22.1 - 1/4 - Fino - Tipo A	Acero, suave	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B
8	1	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20 - 2 1/4	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA
9	1	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Acero, suave	Tuerca hex. para maquinaria
10	1	ANSI B18.22.1 - N° 5 - Fino - Tipo B	Acero, suave	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B
11	1	ANSI B18.6.3 - 5 - 40 - 1 1/8	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA
12	1	ANSI B18.6.3 - 5 - 40	Acero, suave	Tuerca hex. para maquinaria
13	1	ANSI B18.6.3 - N° 5 - 40 - 5/8	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA

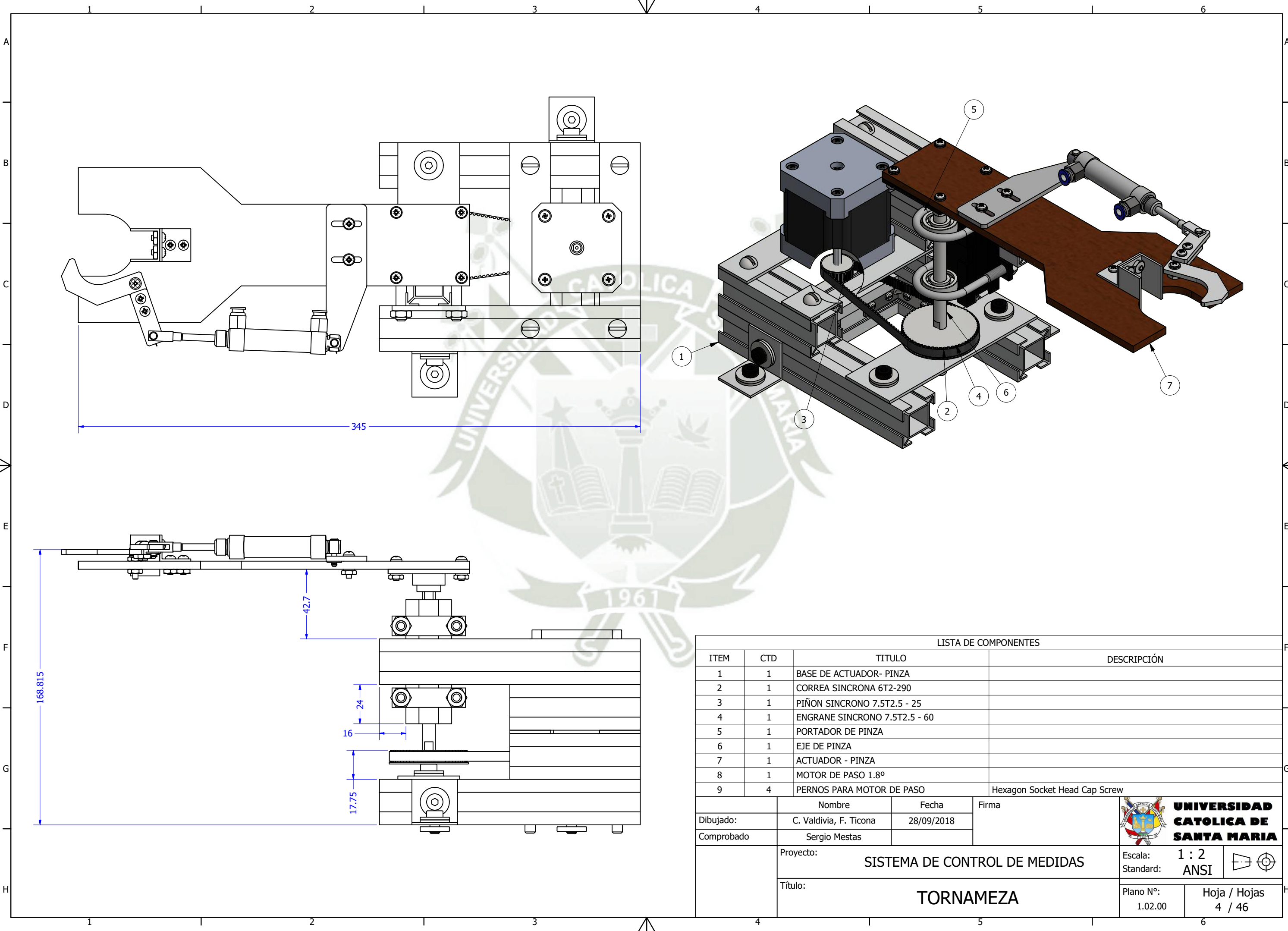
	Nombre	Fecha	Firma
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018	
Comprobado:	Sergio Mestas		

Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS	Escala:	1 : 1
Título:	PLATAFORMA	Standard:	ANSI
		Plano N°:	1-01:01
		Hoja / Hojas	2 / 46



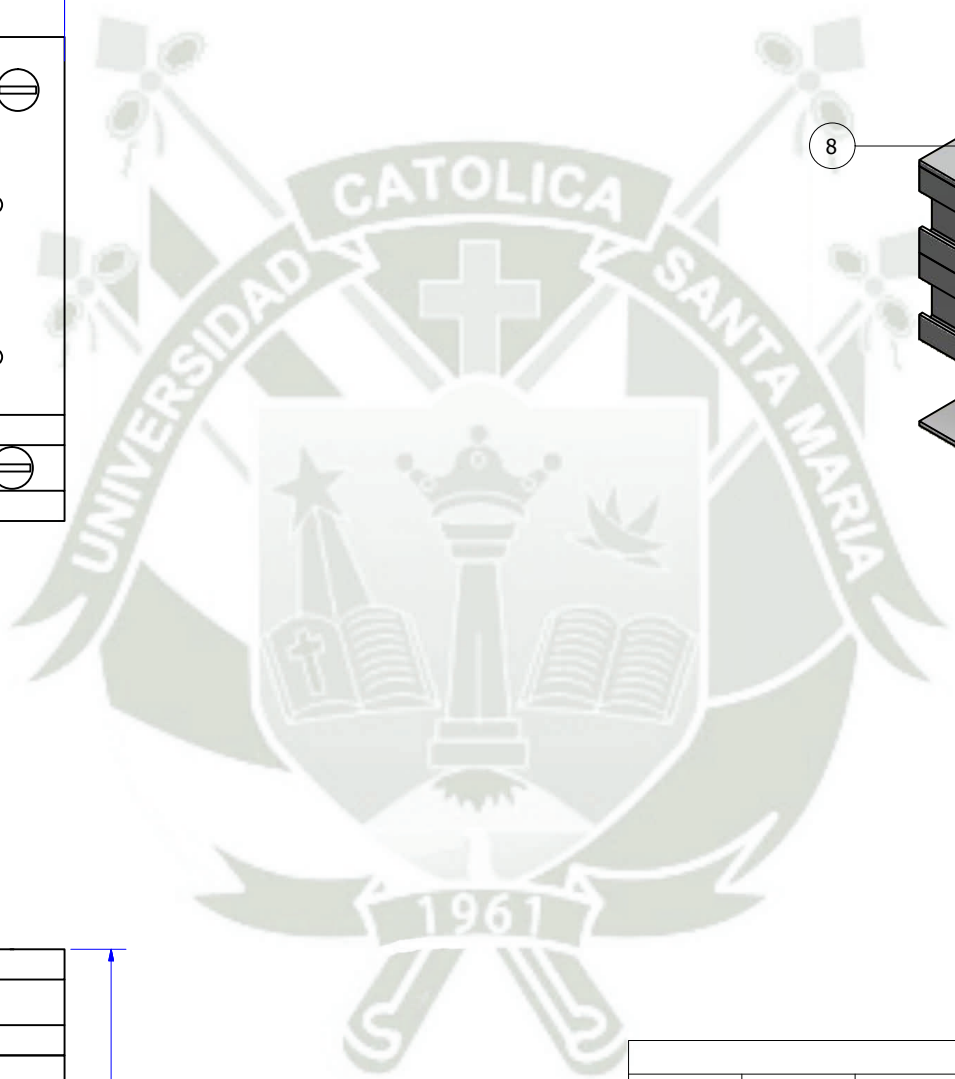
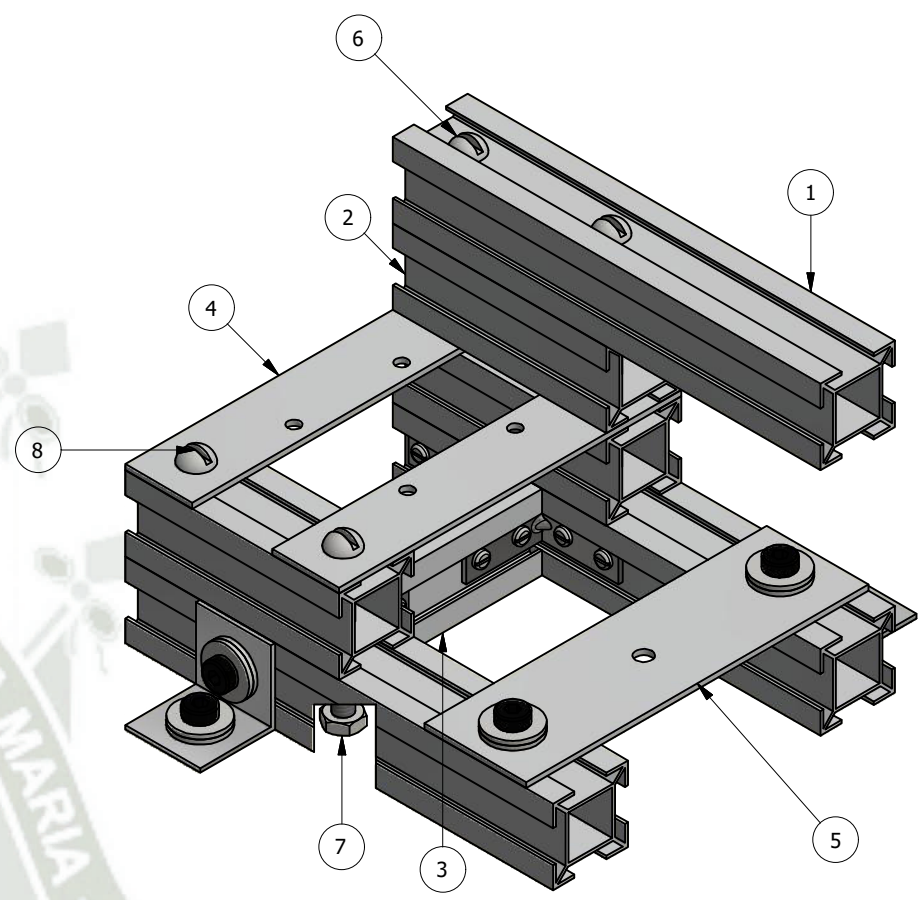
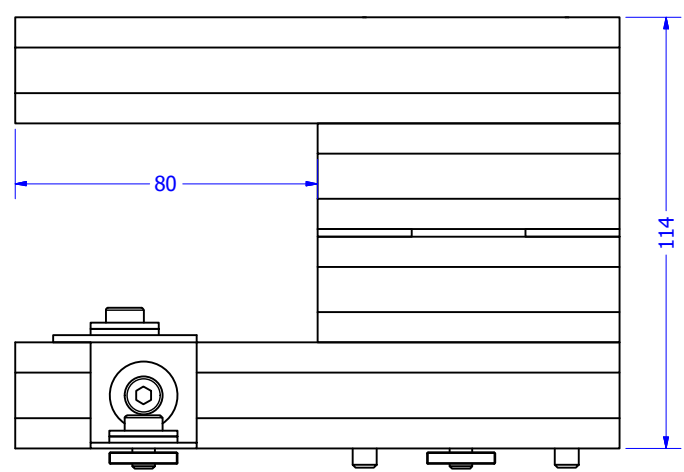
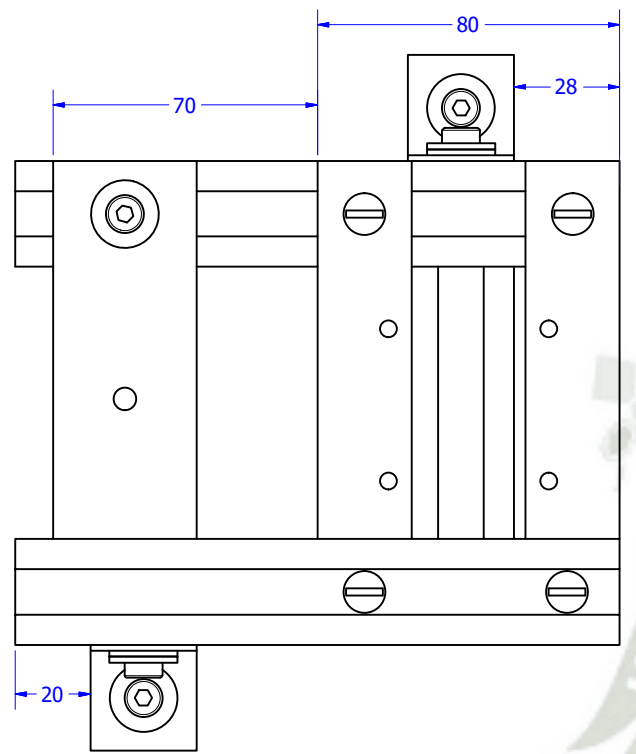


	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 2 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.01.01
				Hoja / Hojas 3 / 46




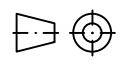
LISTA DE COMPONENTES			
ITEM	CTD	TITULO	DESCRIPCIÓN
1	1	BASE DE ACTUADOR- PINZA	
2	1	CORREA SINCRONA 6T2-290	
3	1	PIÑON SINCRONO 7.5T2.5 - 25	
4	1	ENGRANE SINCRONO 7.5T2.5 - 60	
5	1	PORTADOR DE PINZA	
6	1	EJE DE PINZA	
7	1	ACTUADOR - PINZA	
8	1	MOTOR DE PASO 1.8°	
9	4	PERNOS PARA MOTOR DE PASO	Hexagon Socket Head Cap Screw

Dibujado:	Nombre C. Valdivia, F. Ticona	Fecha 28/09/2018	Firma
Comprobado:	Sergio Mestas		
Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Título:	TORNAMEZA		Escala: 1 : 2 Standard: ANSI
	Plano N°: 1.02.00	Hoja / Hojas 4 / 46	

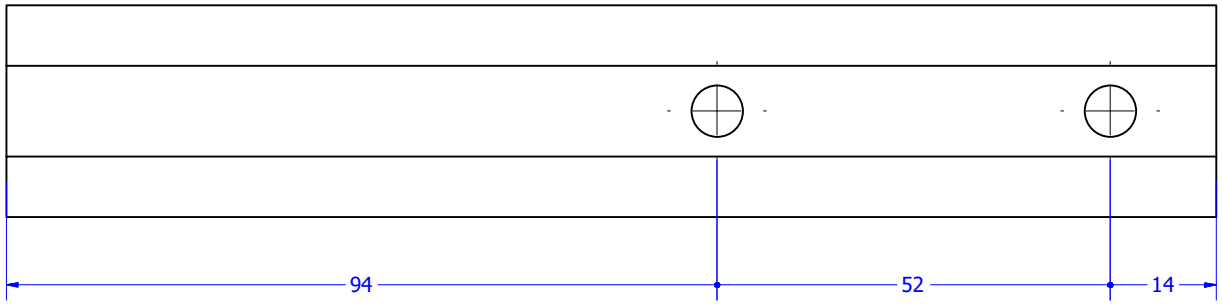


LISTA DE PERFILES					
ITEM	CTD	NUMERO DE PIEZA	LONG UNIT	LONG TOT	MATERIAL
1	3	BL_28x160	160 mm	480.000 mm	Aluminum 6061
2	3	BL_28x80	80 mm	240.000 mm	Aluminum 6061
3	1	BL_28x72	72 mm	72.000 mm	Aluminum 6061

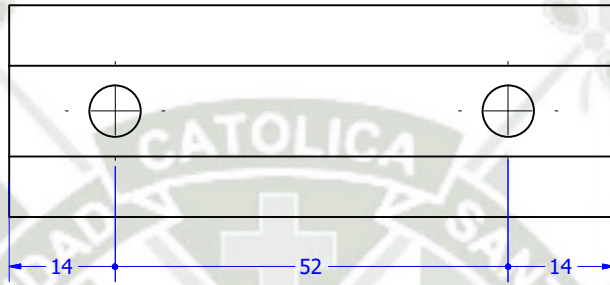
LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS				
ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
6	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 4.5	Acero, suave	Tornillo de cabeza ranurada redonda
7	1	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Acero, suave	Tuerca hex. para maquinaria
8	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 2.25	Acero, suave	Tornillo de cabeza ranurada redonda

Dibujado:	Nombre C. Valdivia, F. Ticona	Fecha 28/09/2018	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Comprobado:	Sergio Mestas			
Proyecto:			SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS	
Título:			BASE DE ACTUADOR- PINZA	
			Escala: 1 : 2 Standard: ANSI	
			Plano N°: 1.02.01.00	Hoja / Hojas 5 / 46

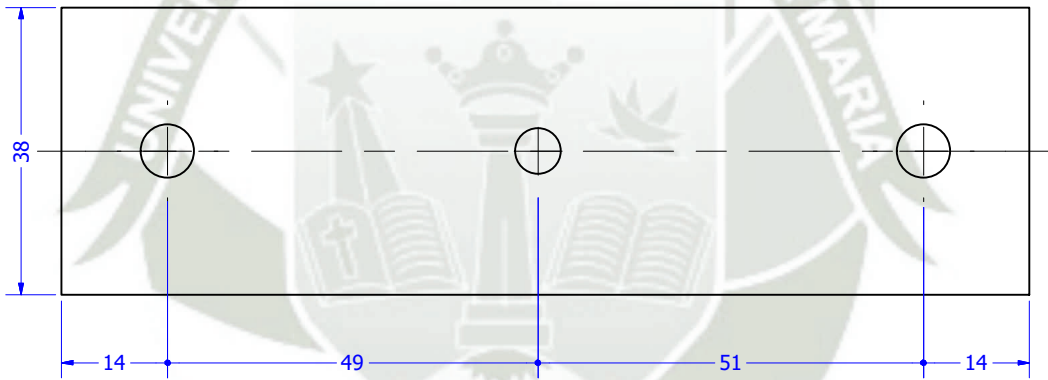
BL_28x160



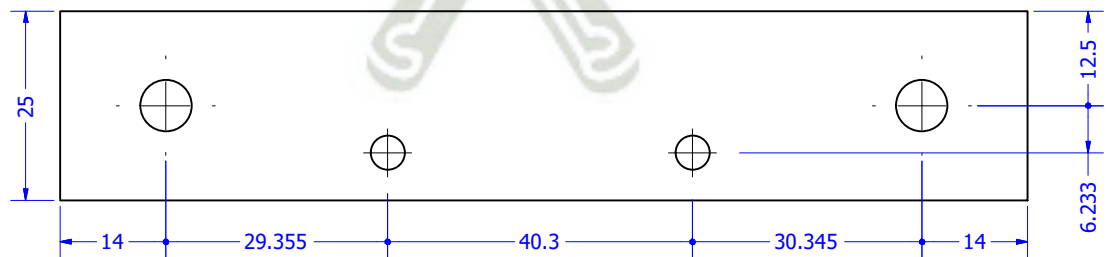
BL_28x80



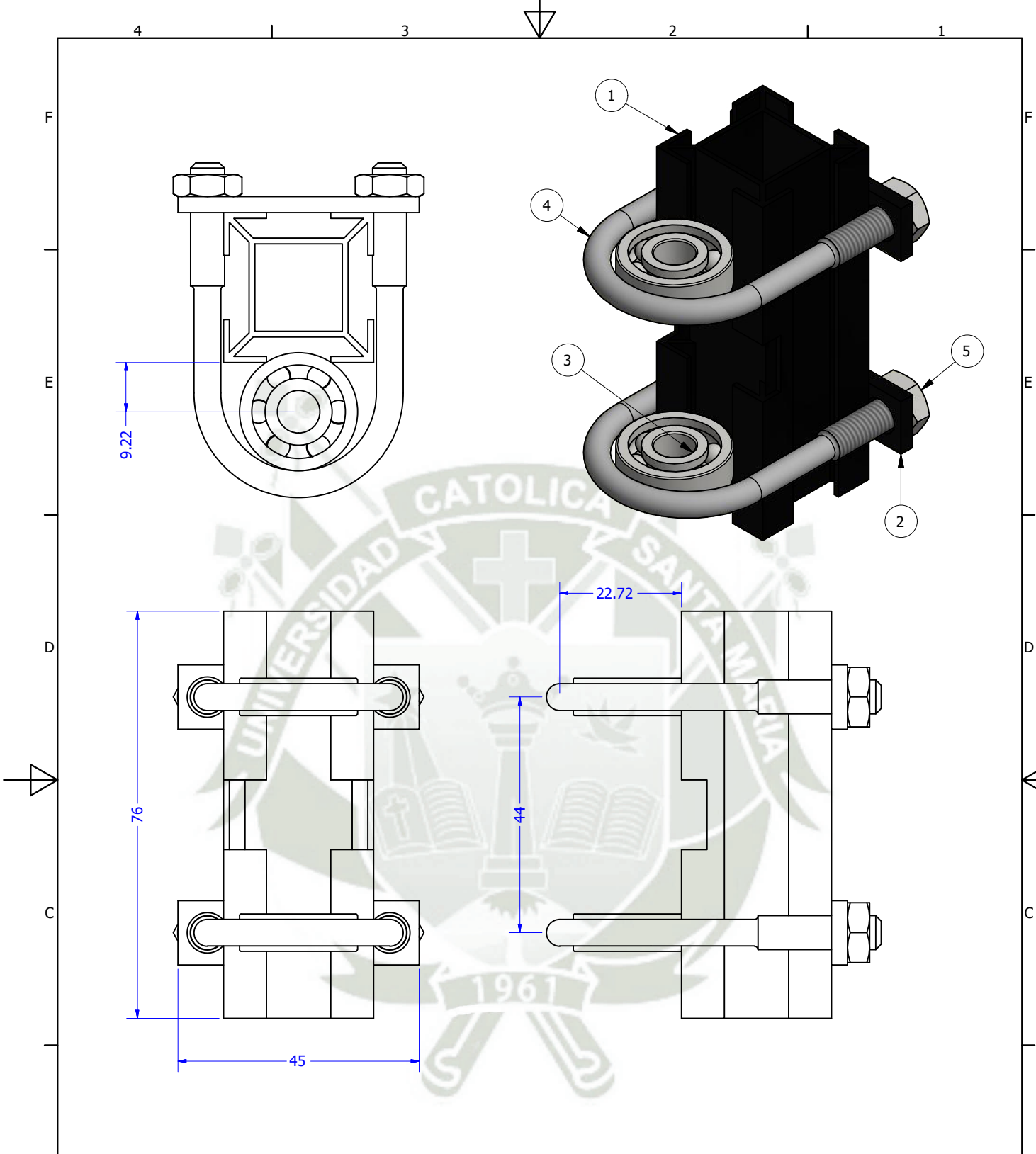
platina encoder



platina motor encoder



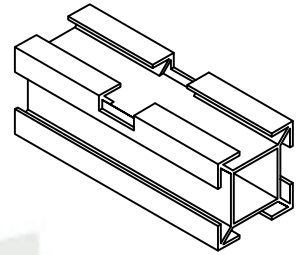
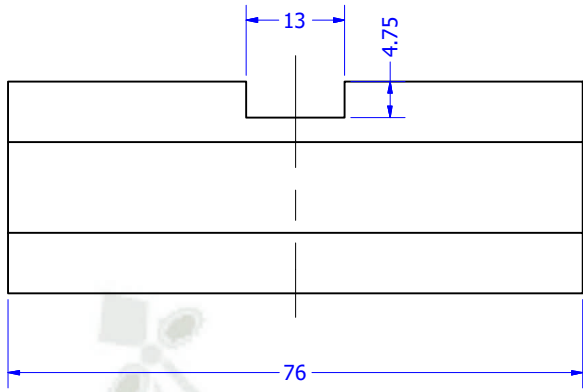
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.02.01.01



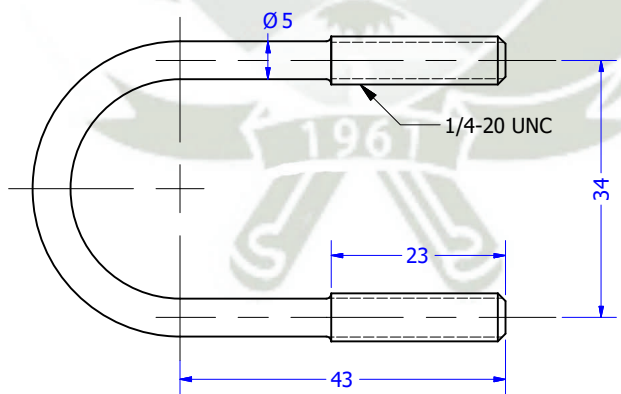
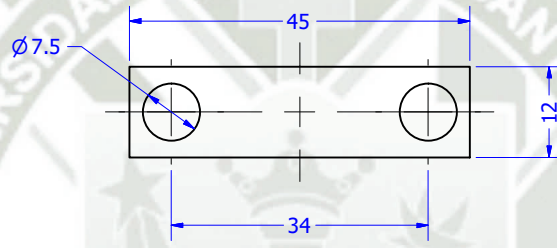
LISTA DE PIEZAS


ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	BL_AI-001 - 76mm		Aluminio 6061	0.033 kg
2	2	CONTRA SOPORTE U		Acero, carbono	0.011 kg
3	2	DIN 625 SKF - SKF 608	Rodamientos de bolas de una hilera	Acero, suave	0.012 kg
4	2	SOPORTE EN U 1_4_B		Generic	0.003 kg
5	4	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Tuerca hex. para maquinaria	Acero, suave	0.003 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
A	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
	Título:	PORTADOR DE PINZA		Plano N°: 1.02.02.00
				Hoja / Hojas 7 / 46

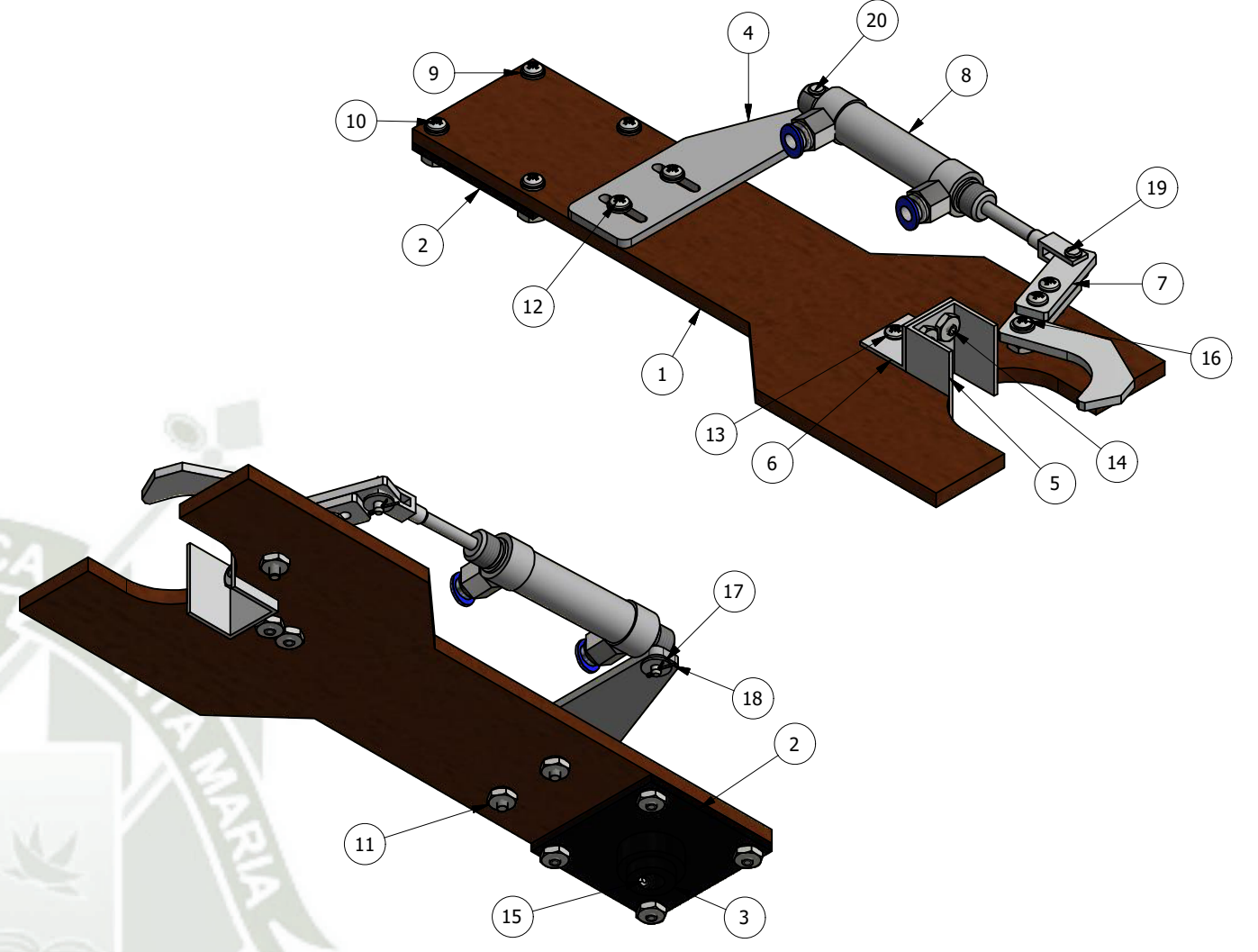
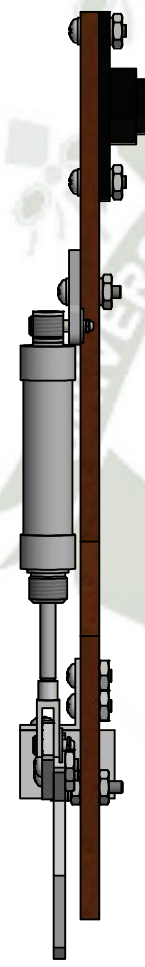
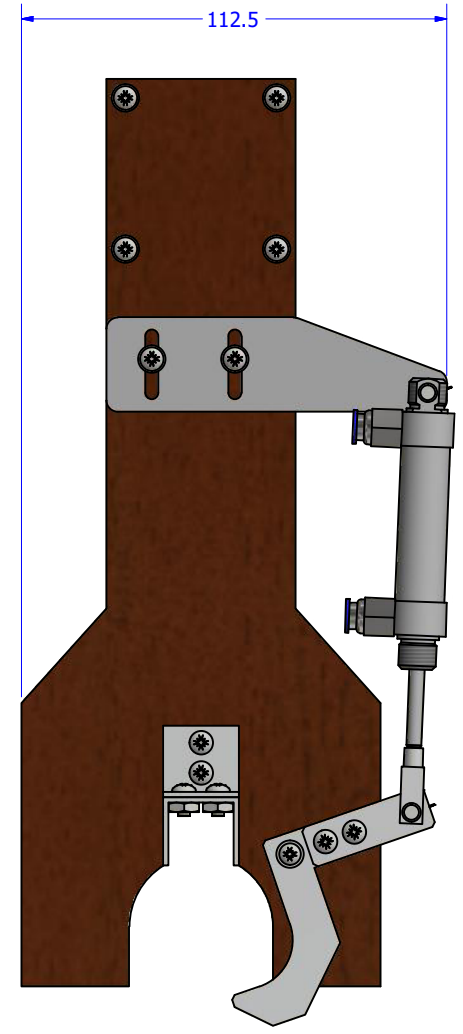


SCALE 1:2

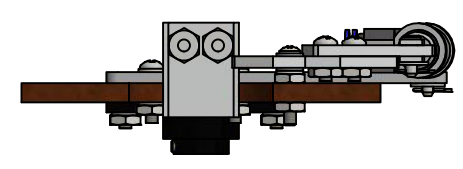


	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
A	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.02.02.01

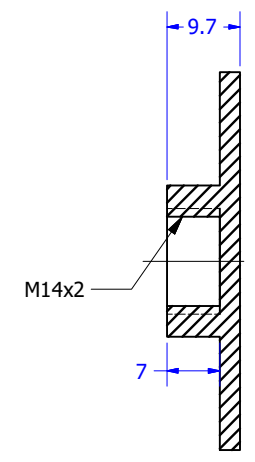
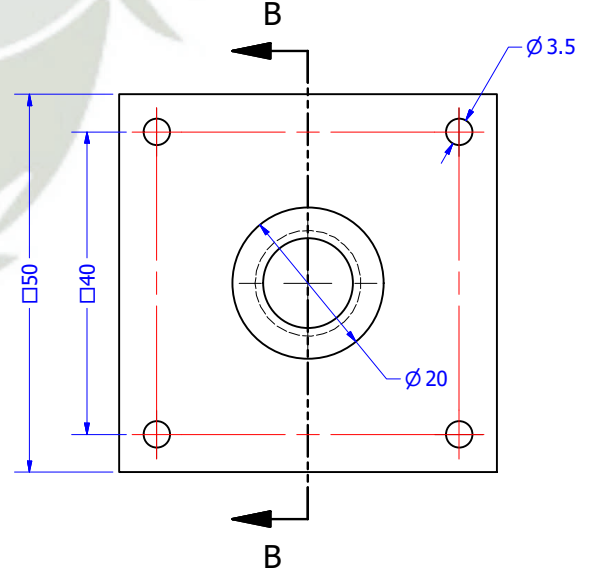
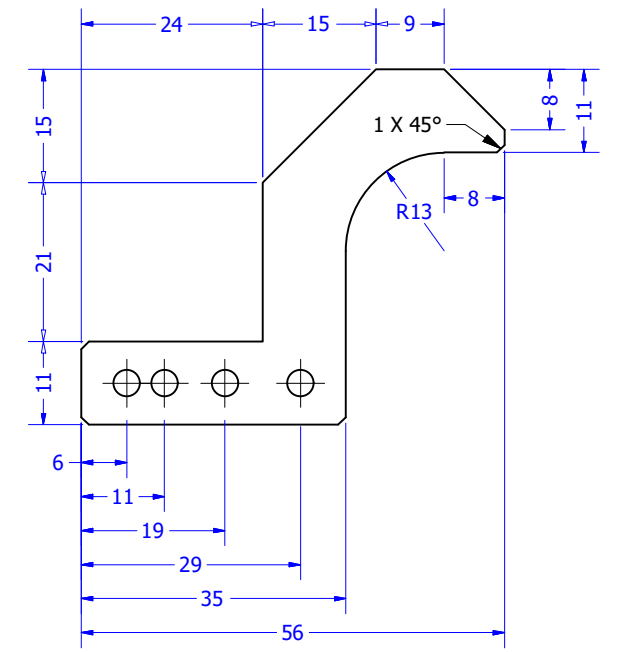
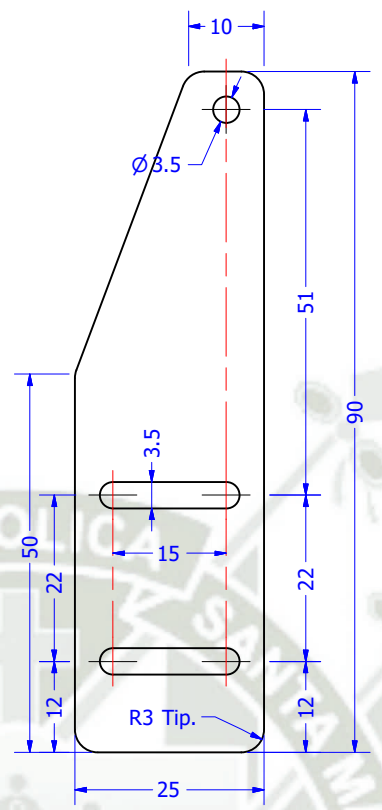
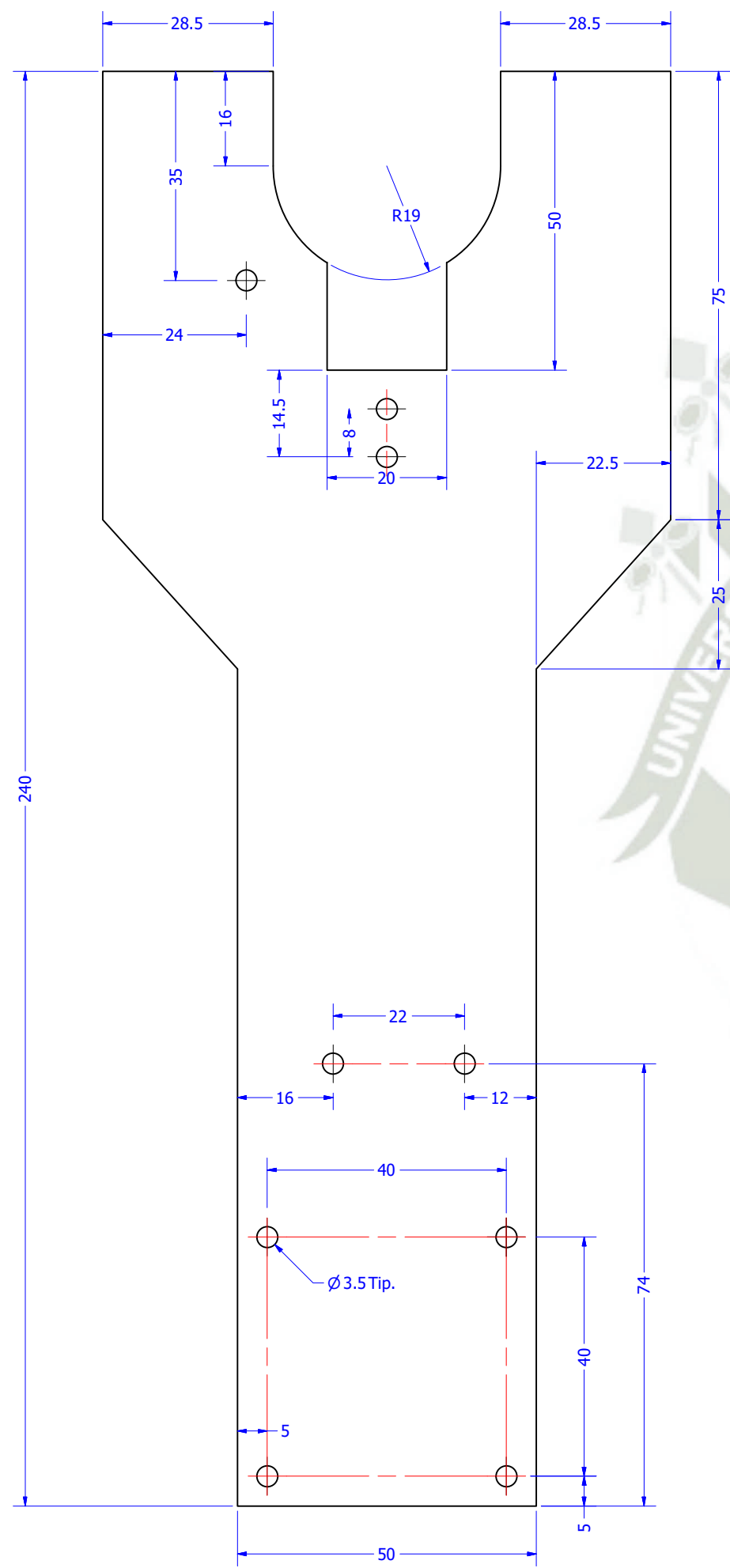
LISTA DE PIEZAS DE DISEÑO					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	BASTIDOR DE PINZA	ESP : 5 mm	Thermoplastic Resin	0.092 kg
2	1	BRIDA		Acero	0.063 kg
3	1	PORTA EJE		Generic	0.001 kg
4	1	BASTIDOR DE PISTON		Generic	0.005 kg
5	1	GUIA		Aluminio 6061	0.005 kg
6	1	REFUERZO GUIA		Aluminio 6061	0.002 kg
7	1	UNA PINZA			0.014 kg
8	1	4933 DGS-12-25-P	DGS-Round cylinder		0.011 kg



LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS				
ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
9	1	ANSI B18.22.1 - N° 5 - Fino - Tipo B	Acero, suave	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B
10	1	ANSI B18.6.3 - N° 5 - 40 - 1/2	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA
11	1	ANSI B18.6.3 - 5 - 40	Acero, suave	Tuerca hex. para maquinaria
12	1	ANSI B18.6.3 - 5 - 40 - 9/16	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA
13	1	ANSI B18.6.3 - N° 5 - 40 - 3/8	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA
14	1	ANSI B18.6.3 - N° 5 - 40 - 1/4	Acero, suave	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA
15	1	ANSI B18.3 - 5-44 UNF x 0.19	Acero, suave	Tornillo sin cabeza con hueco hexagonal y extremo con cono embutido
16	1	ANSI B18.6.3 - N° 5 - 40 - 3/4	Acero, suave	Tornillo taladrado para maquinaria con hueco cruciforme - Tipo IA
17	1	DIN 9021 - 3.2	Steel, Mild	Washer
18	1	ISO 1234 - 0.8 x 6	Steel	Split Pin
19	1	ISO 2341 - B - 3 x 10	Steel	Ejes de articulación con cabeza
20	1	ISO 2341 - B - 3 x 16	Steel	Clevis pins with head

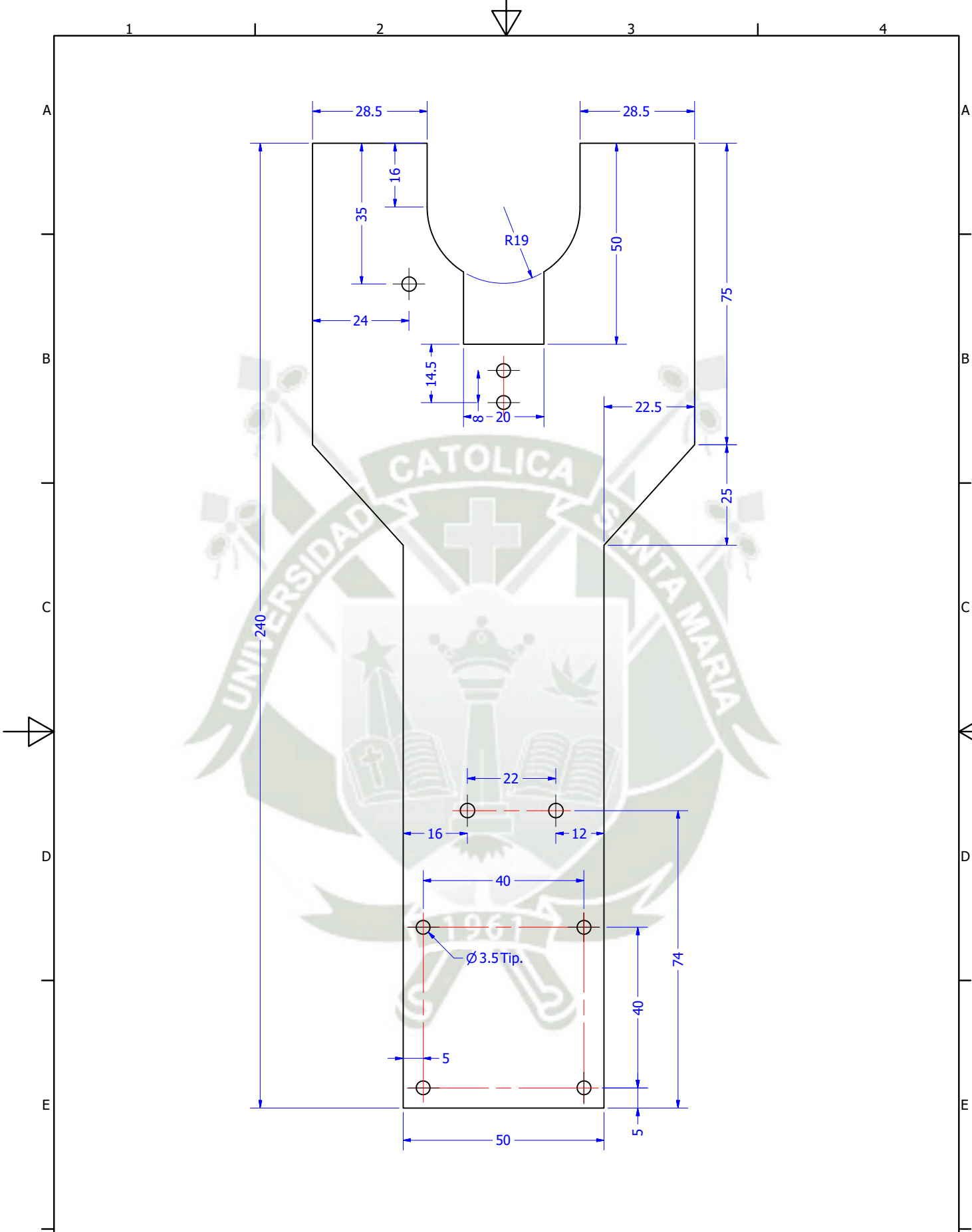


	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado:	Sergio Mestas			Escala: 1 : 2 Standard: ANSI
	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Plano N°: 1.02.03
	Título:	ACTUADOR - PINZA		Hoja / Hojas: 9 / 46

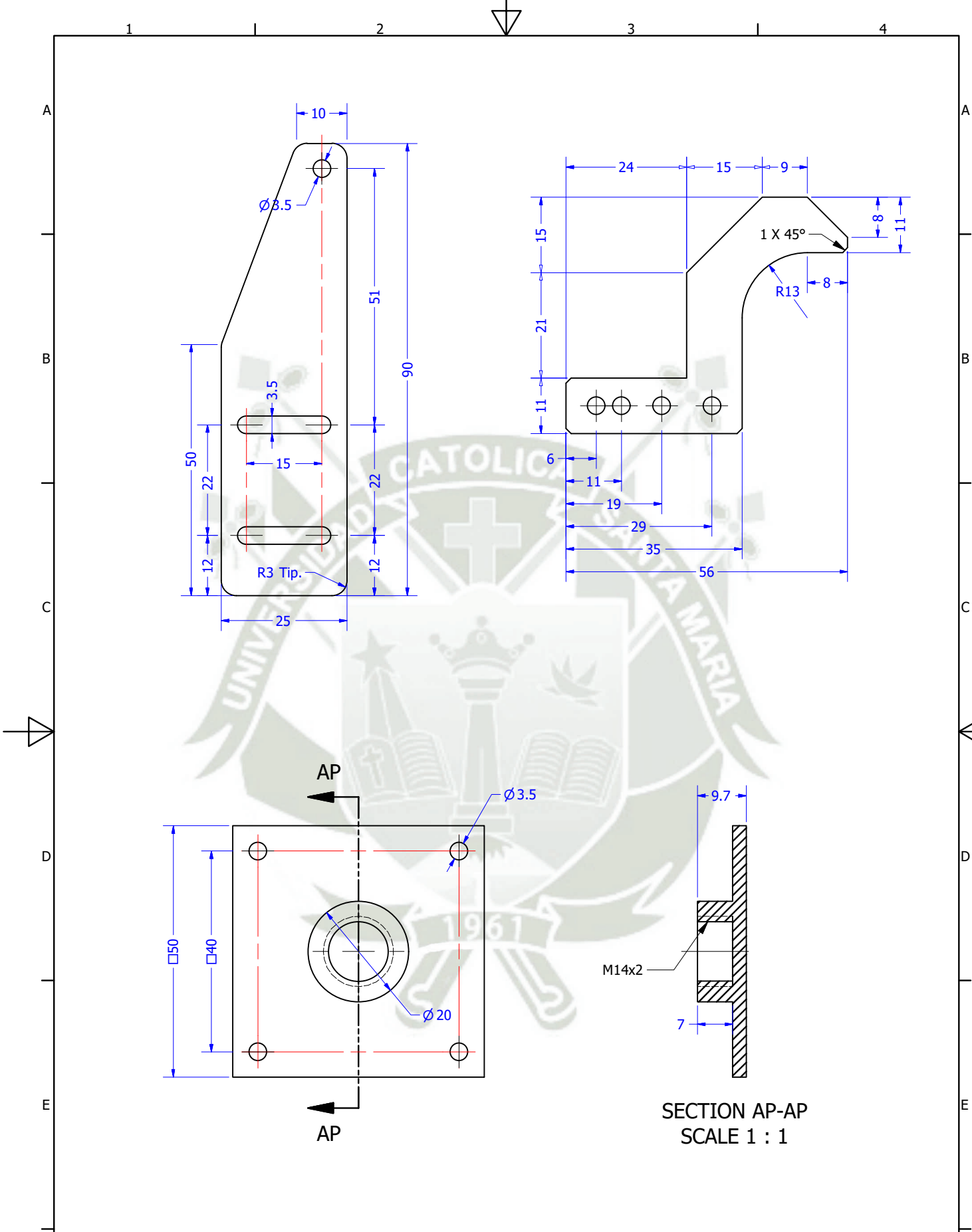


SECTION B-B
SCALE 1 : 1

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			Escala: 1 : 1 Standard: ANSI
	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		
	Título:	Plano N°: 1.02.03.01	Hoja / Hojas 10 / 46	

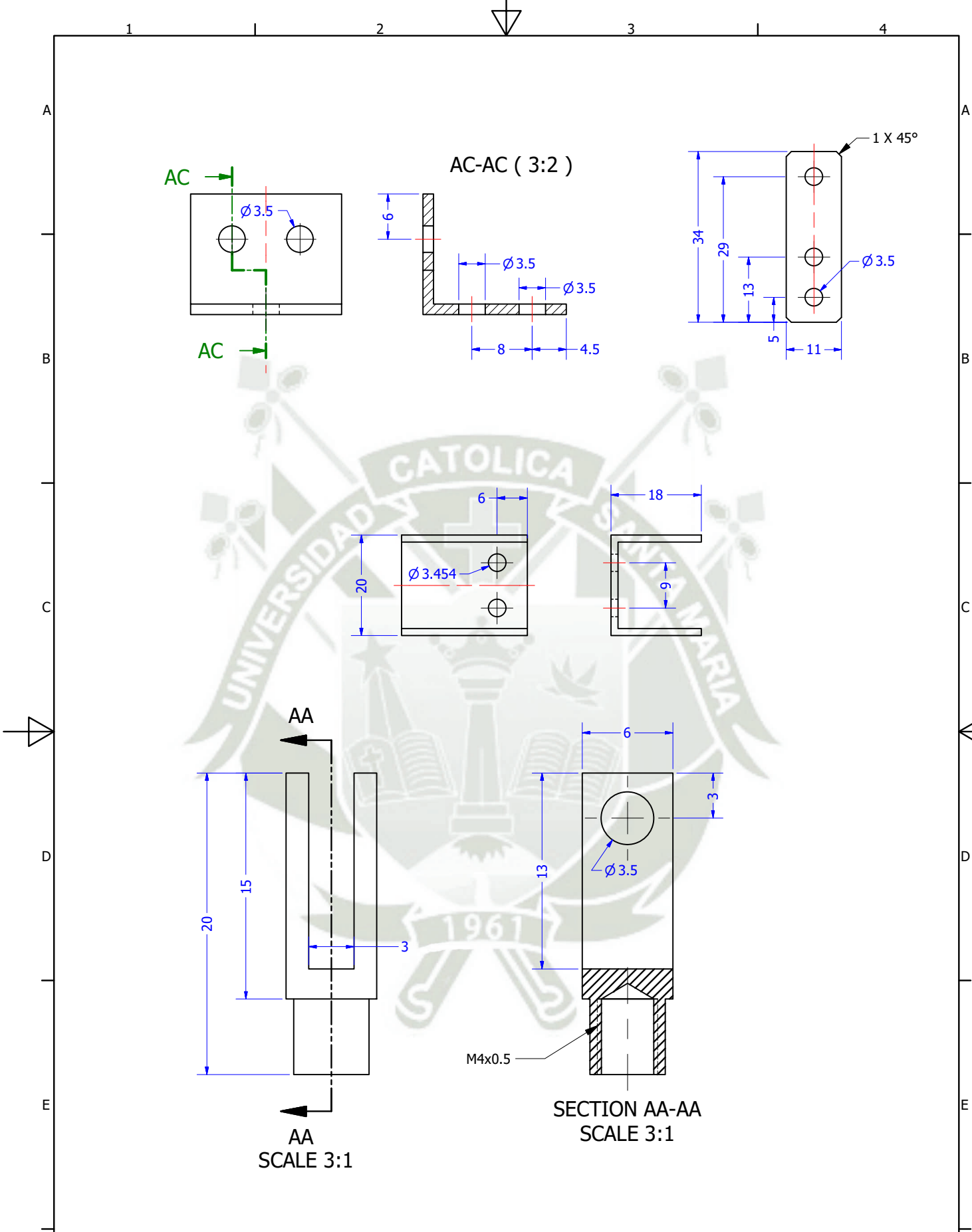


	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 4 : 5 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.02.03.01

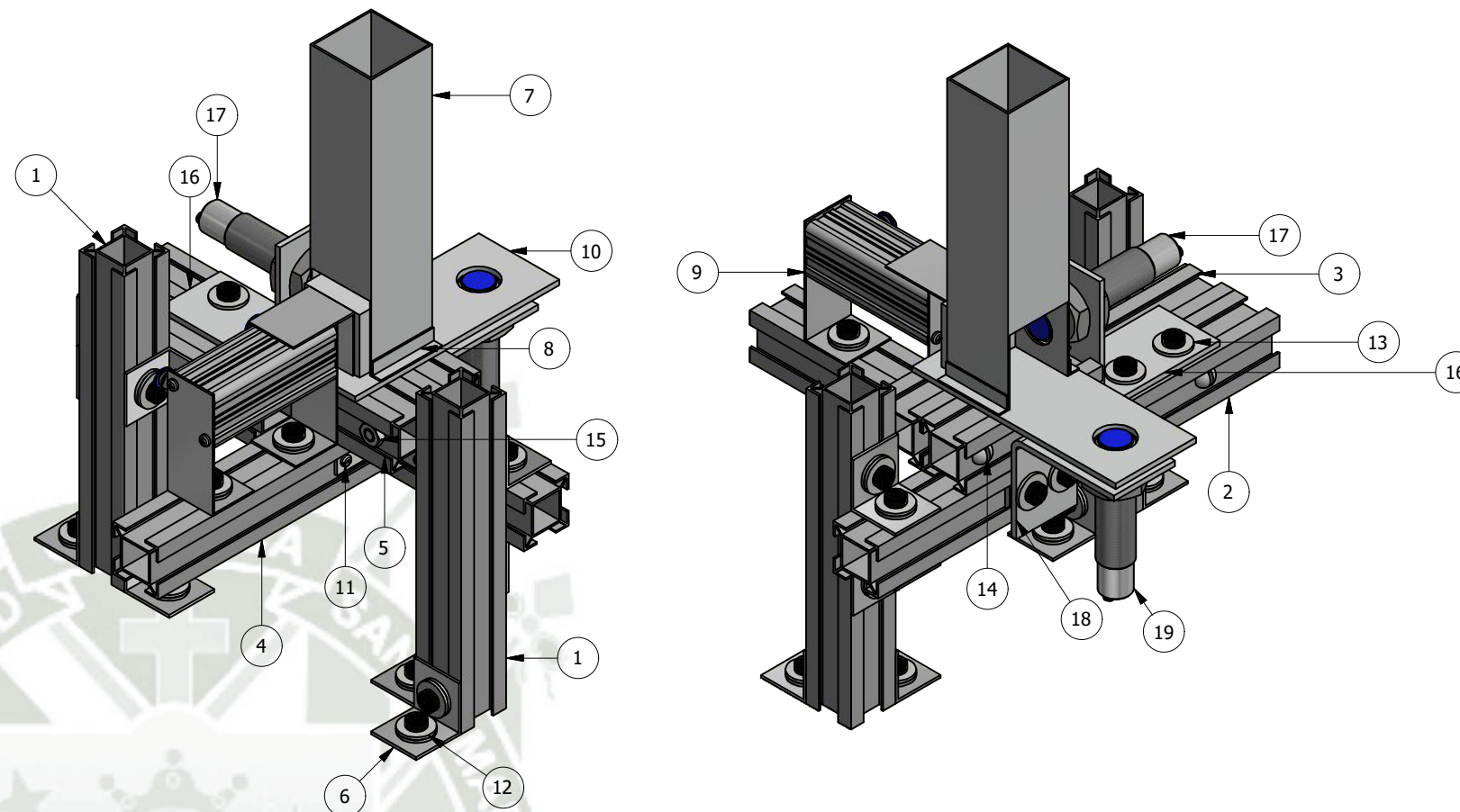
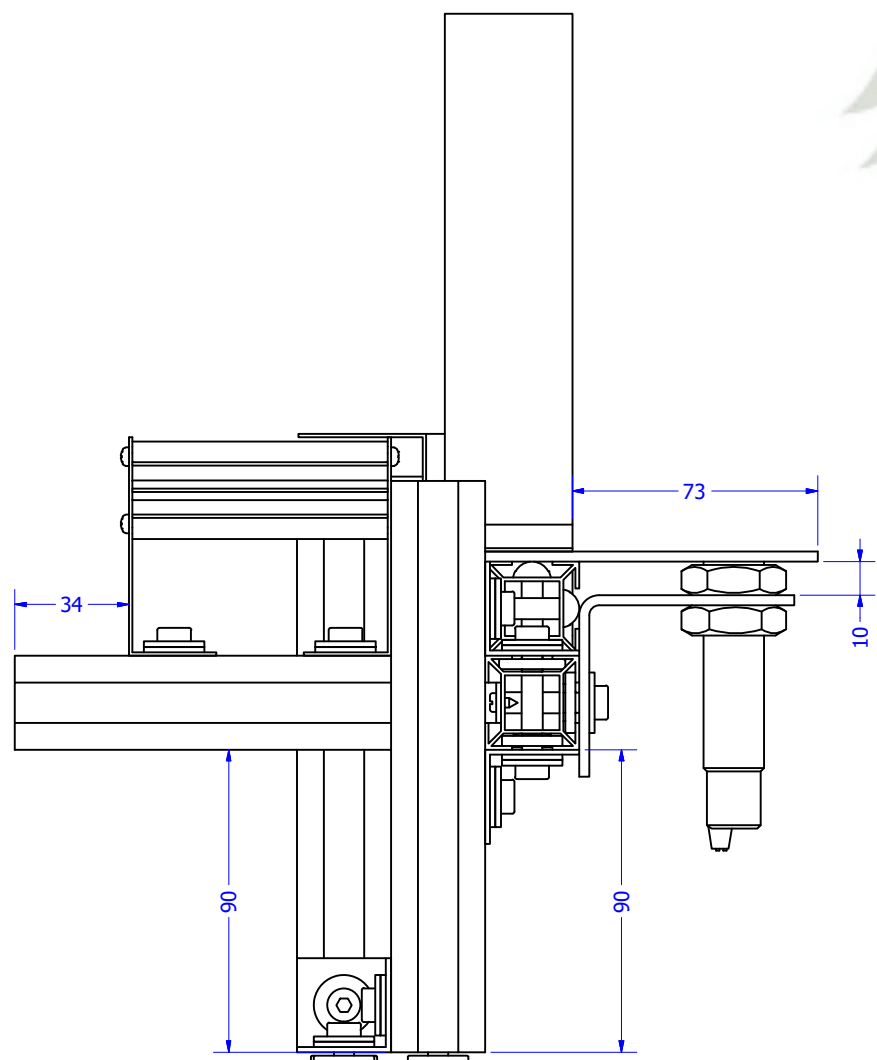
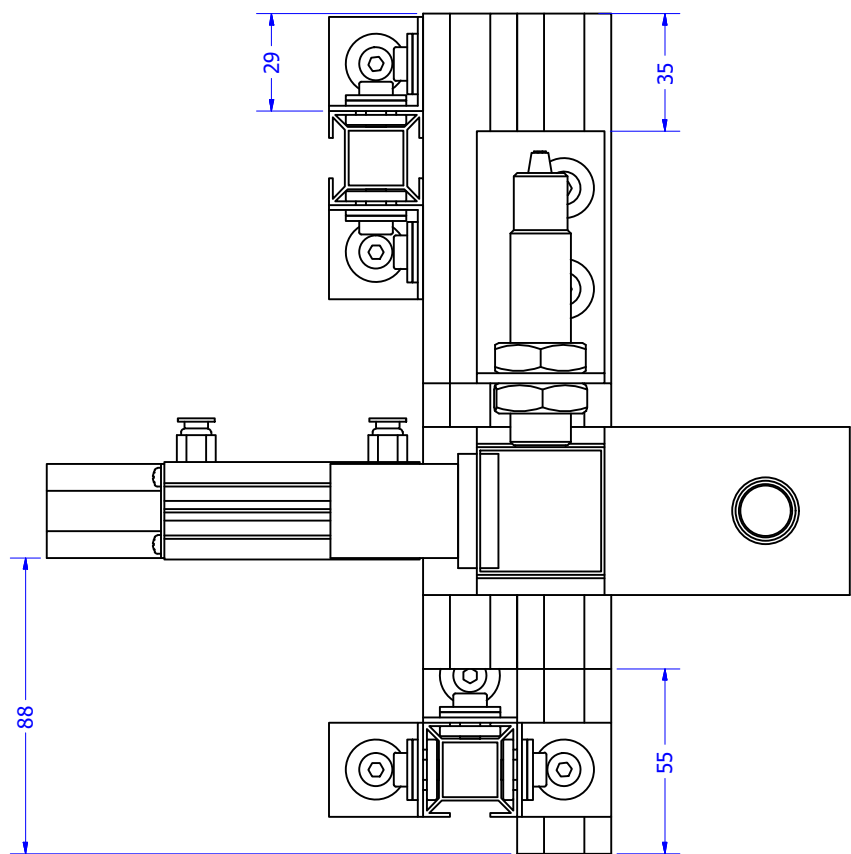


SECTION AP-AP
SCALE 1 : 1

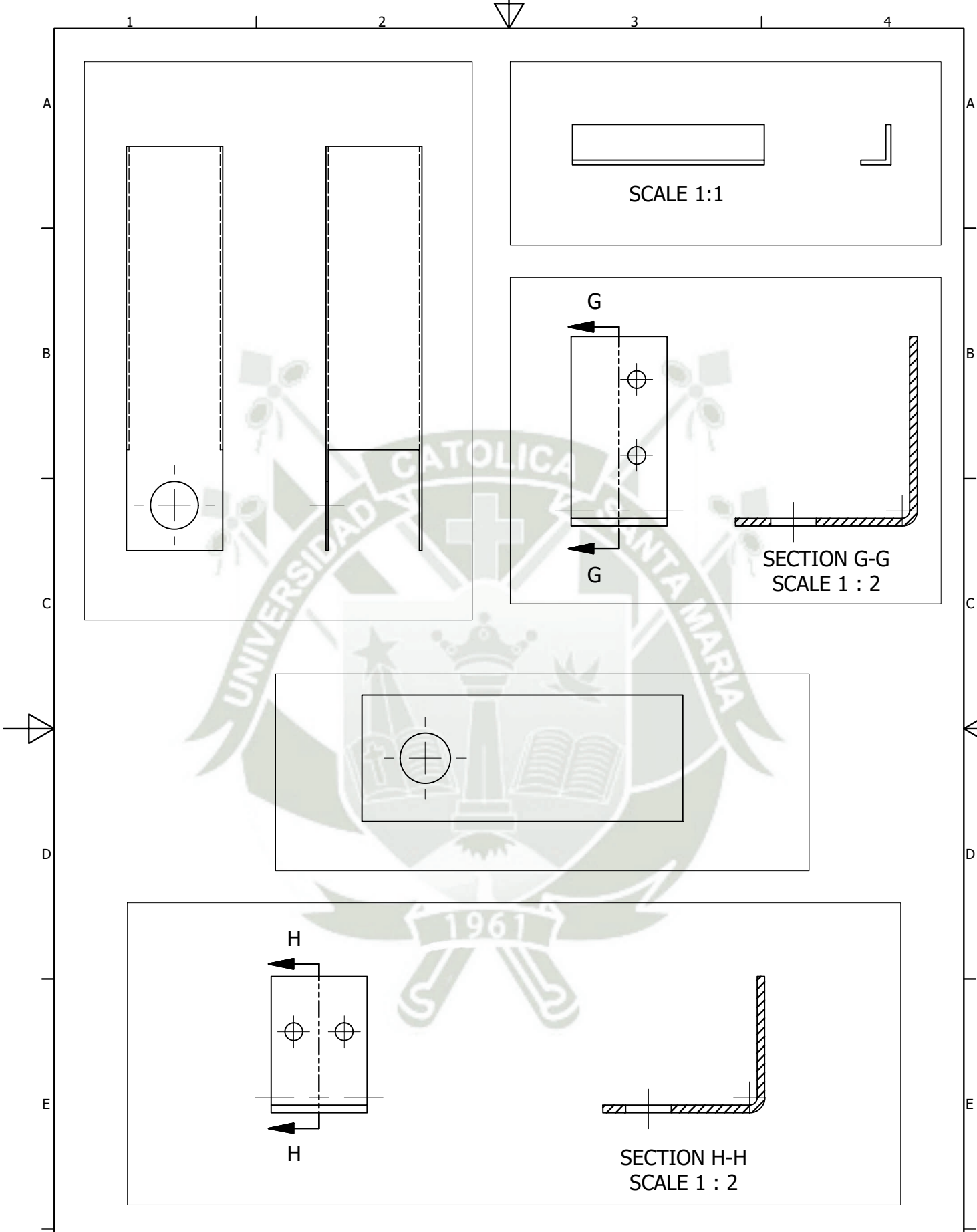
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI
	Título:			Plano N°: 1.02.03.02 Hoja / Hojas: 12 / 46



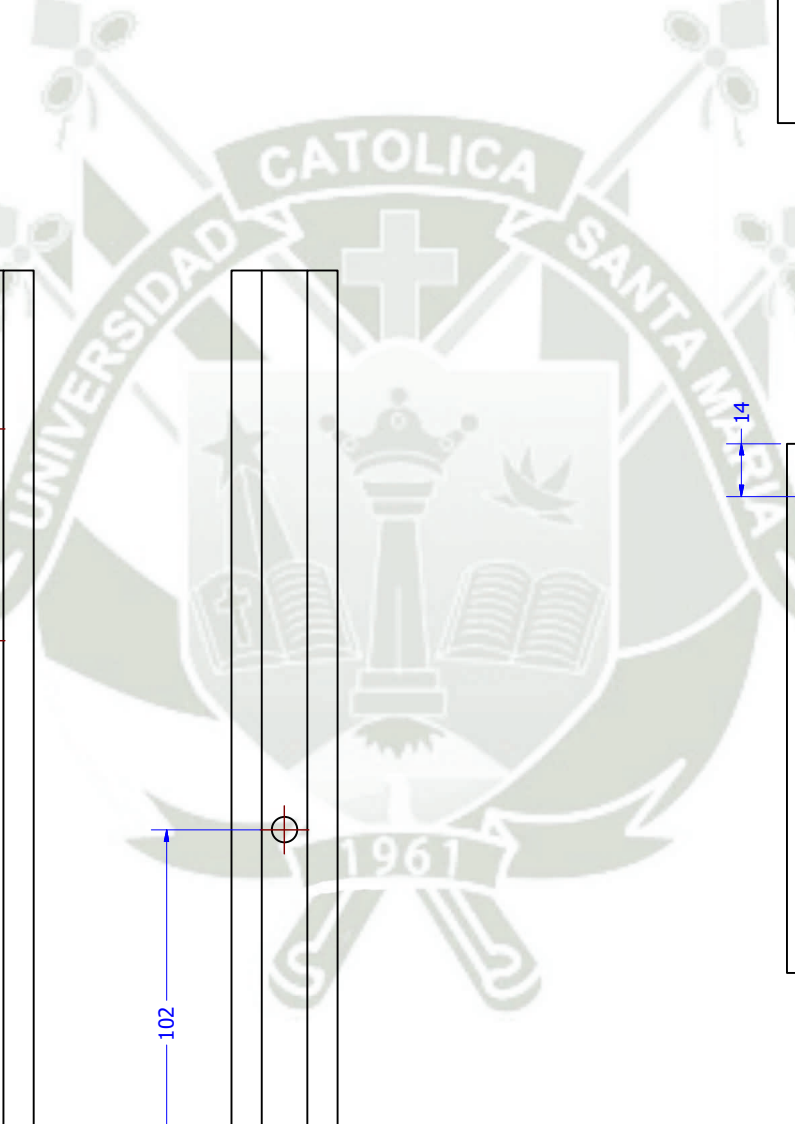
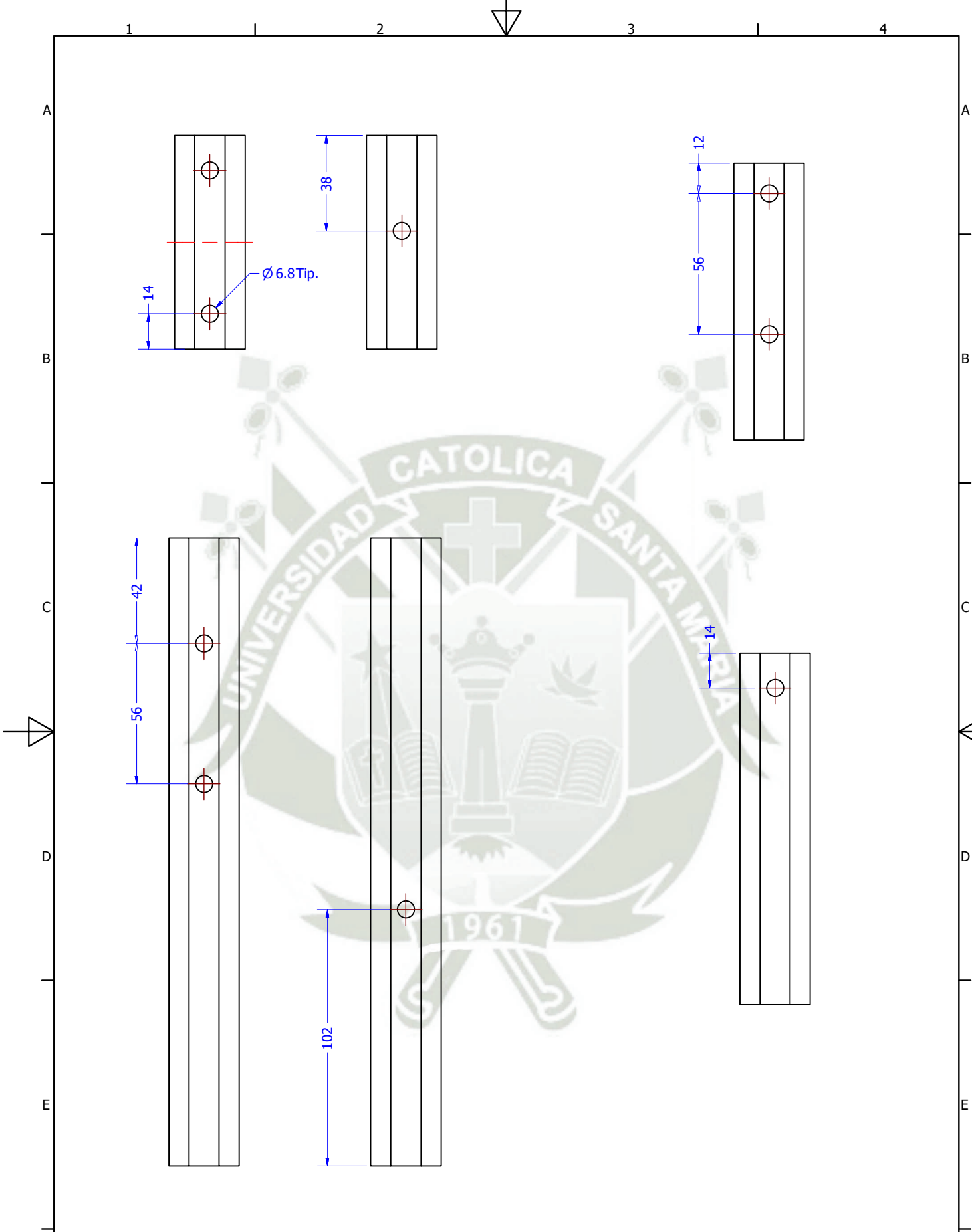
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018			
Comprobado	Sergio Mestas				
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 3 : 2 Standard: ANSI	
	Título:			Plano N°: 1.02.03.03	Hoja / Hojas 13 / 46



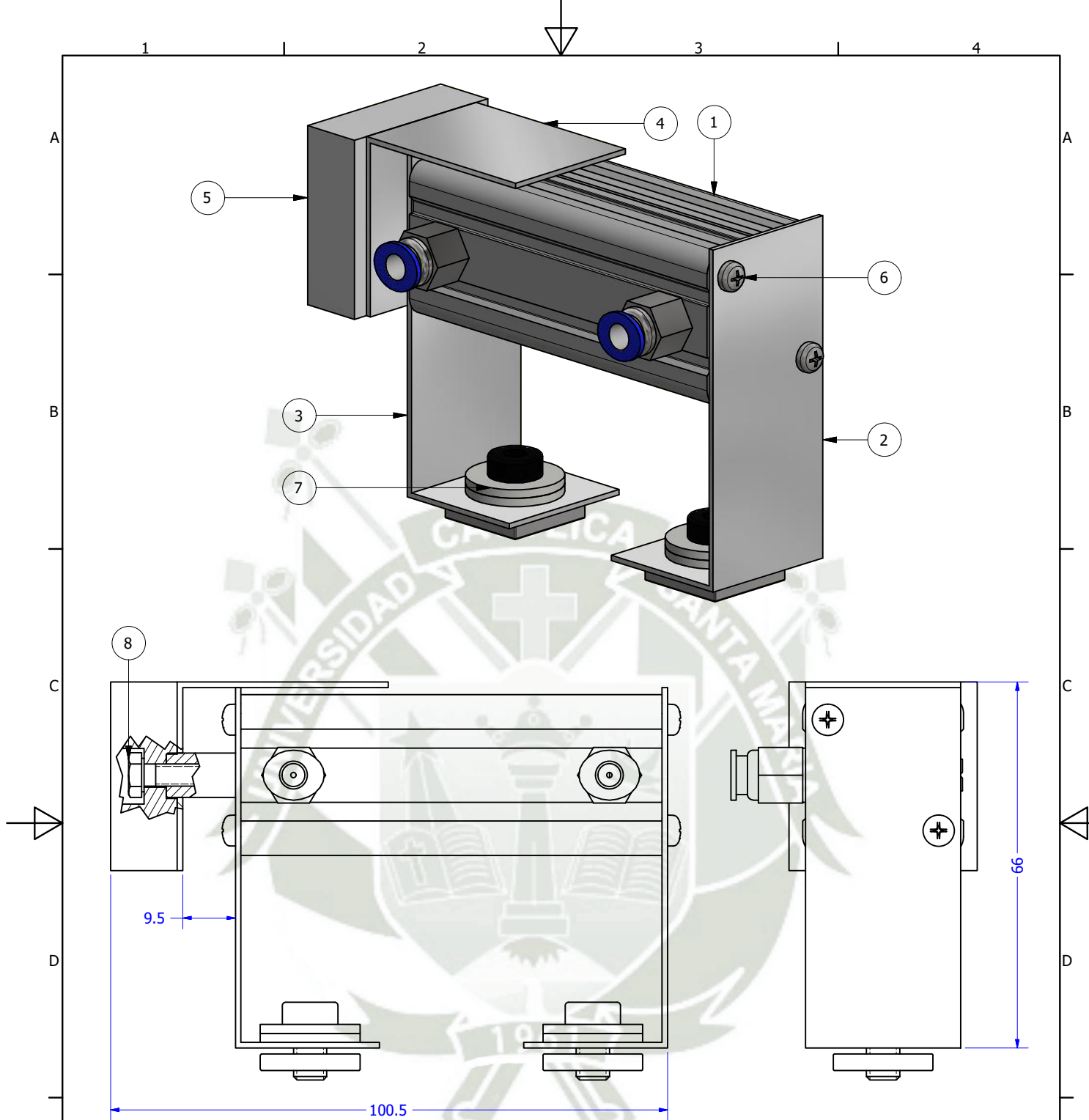
LISTA DE PIEZAS					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	2	BL_28x170		Genérico	0.028 kg
2	1	BL_28x250		Genérico	0.041 kg
3	1	BL_28x110		Genérico	0.018 kg
4	1	BL_28x140		Genérico	0.023 kg
5	2	BL_28x85		Genérico	0.014 kg
6	8	Ele 2 1.5mm		Generic	0.002 kg
7	1	Ducto alimentador		Aluminio 6061	0.056 kg
8	2	soprote de ducto alimentador		Aluminio 6061	0.001 kg
9	1	ensamble piston alimentacion			0.108 kg
10	1	Plataforma de muestra		Aluminio 6061	0.049 kg
11	2	ensamble ele 1			0.003 kg
12	16	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg
13	4	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg
14	6	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 2	Tornillo de cabeza ranurada redonda	Acero, suave	0.015 kg
15	6	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Tuerca hex. para maquinaria	Acero, suave	0.003 kg
16	1	Soporte sensor 1		Aluminio 6061	0.041 kg
17	1	SensorXproximity	M12 3-wire dc proximity sensor,pre-wired		0.11 kg
18	1	Soporte sensor 2		Aluminio 6061	0.032 kg
19	1	SensorXproximity2	M12 3-wire dc proximity sensor,pre-wired		0.11 kg
Dibujado:		Nombre	Fecha	Firma	
Comprobado:		C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Proyecto:		SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS			 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Título:		ALIMENTADOR			Escala: 2 : 1 Standard: ANSI
		Plano N°:	Hoja / Hojas		
		1.03.00	14 / 46		



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 2 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.03.00



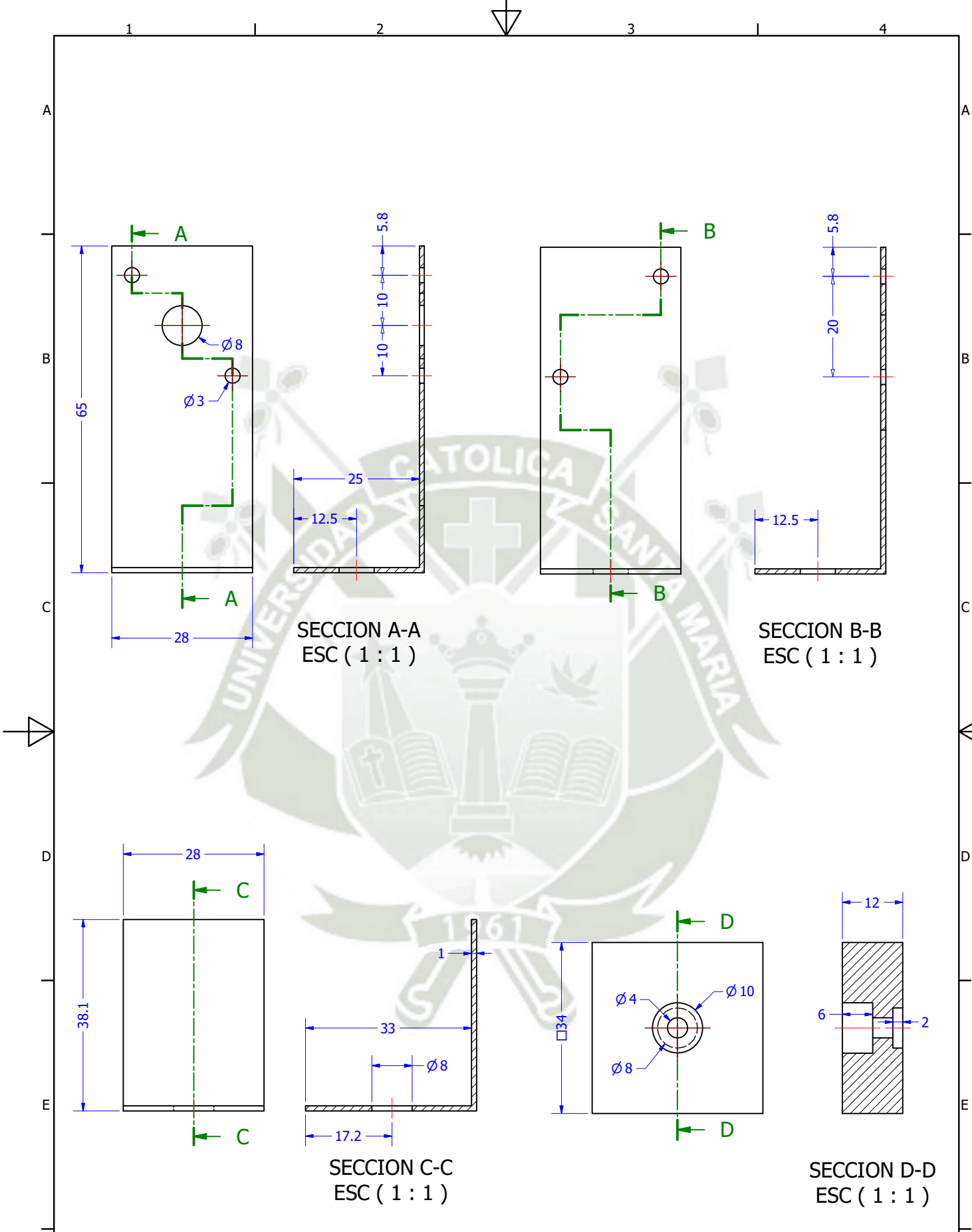
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 2 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.03.00.02



LISTA DE PIEZAS

ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	ACQD-16x50 (00)	ACQD ACQJ-Compact Cylinder		0.049 kg
2	1	soporte trasero piston		Generic	0.002 kg
3	1	soporte piston b		Generic	0.002 kg
4	1	soporte teflon		Generic	0.002 kg
5	1	teflon		Polystyrene	0.014 kg
6	4	ISO 7045 - M3 x 5 - 4.8 - H	Tornillo de cabeza redondeada con hueco cruciforme	Acero inoxidable, 440C	0.001 kg
7	2	SUJECION TIPO A_1.0mm			0.017 kg
8	1	ISO 4017 - M4 x 12	Perno de cabeza-hex	Steel, Mild	0.002 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018			
Comprobado	Sergio Mestas				
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI	
	Título:			Plano N°: 1.03.01	



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.03.01.01

1 2 3 4 5 6

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

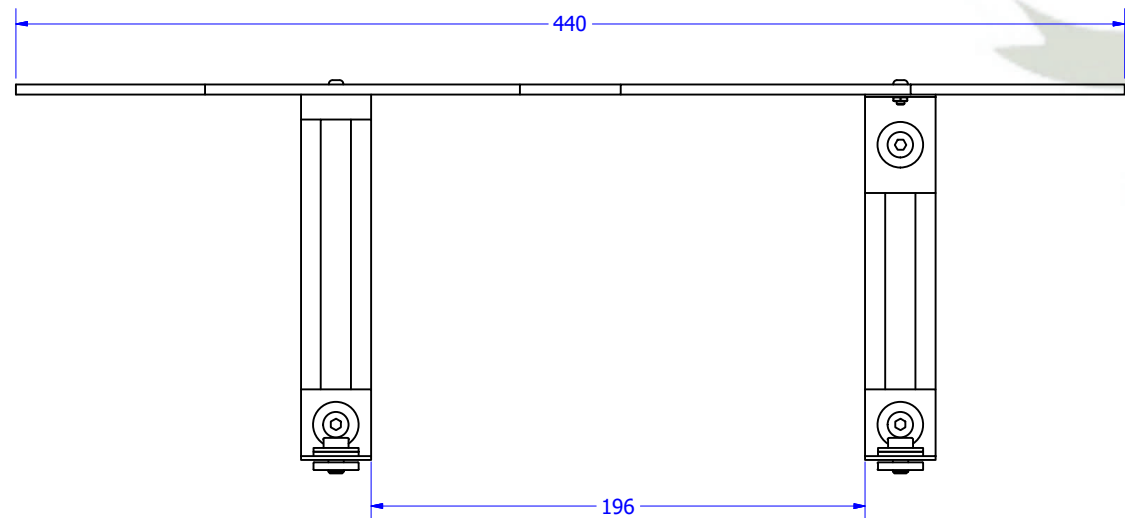
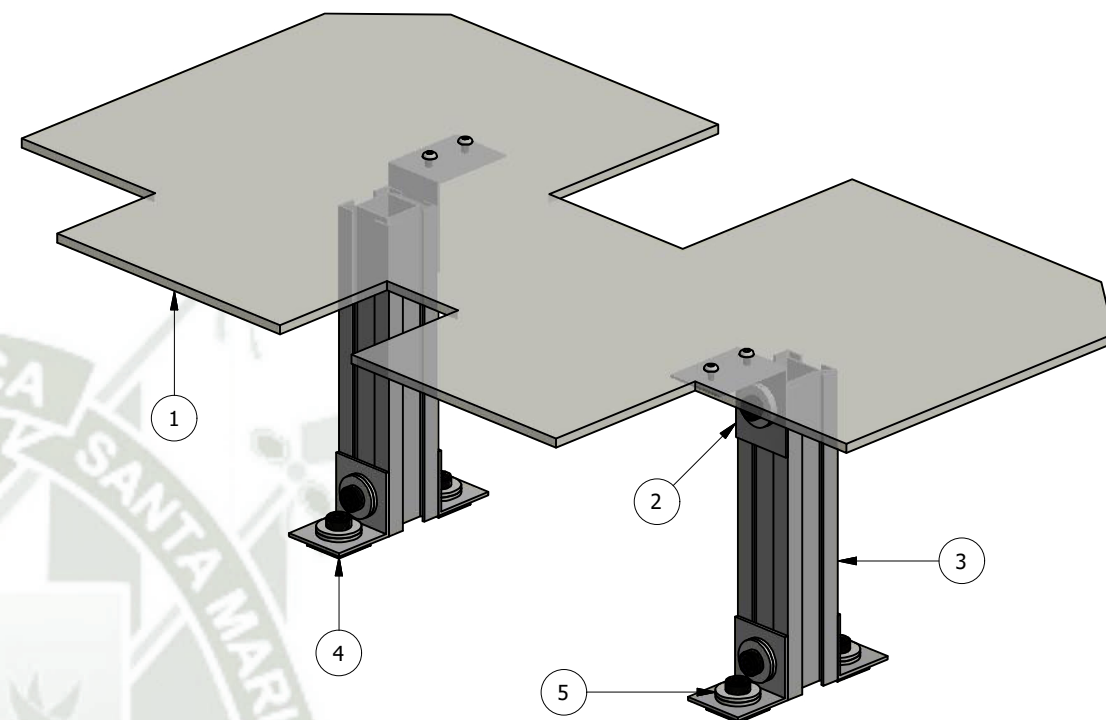
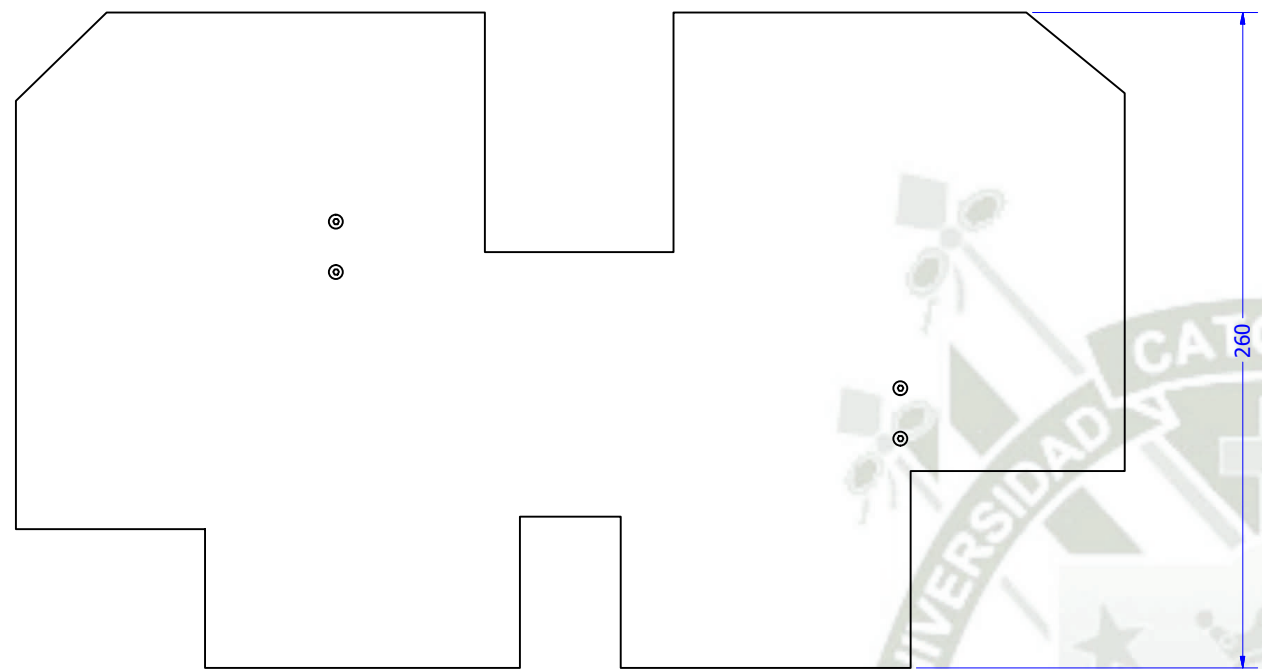
F

G

G

H

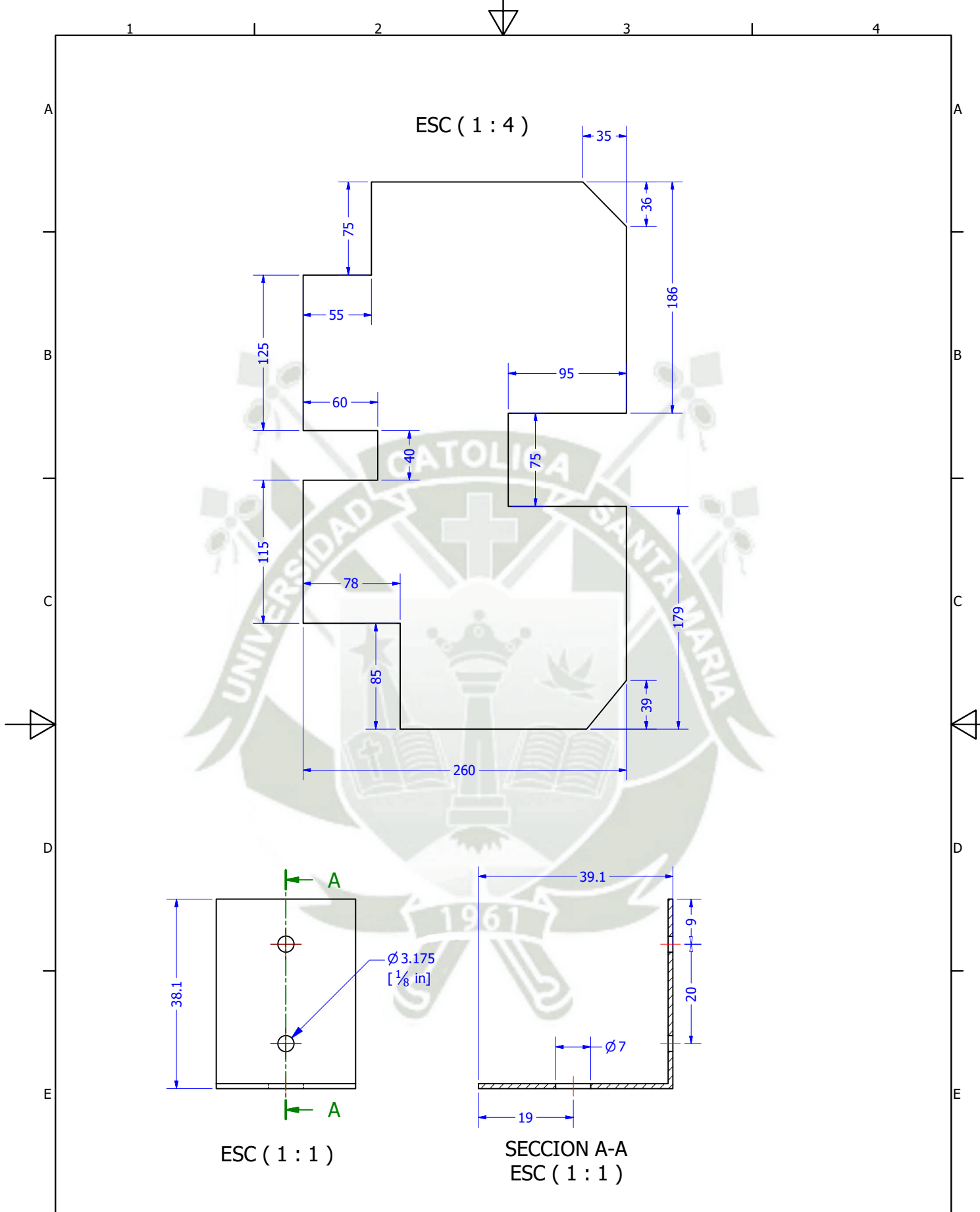
H



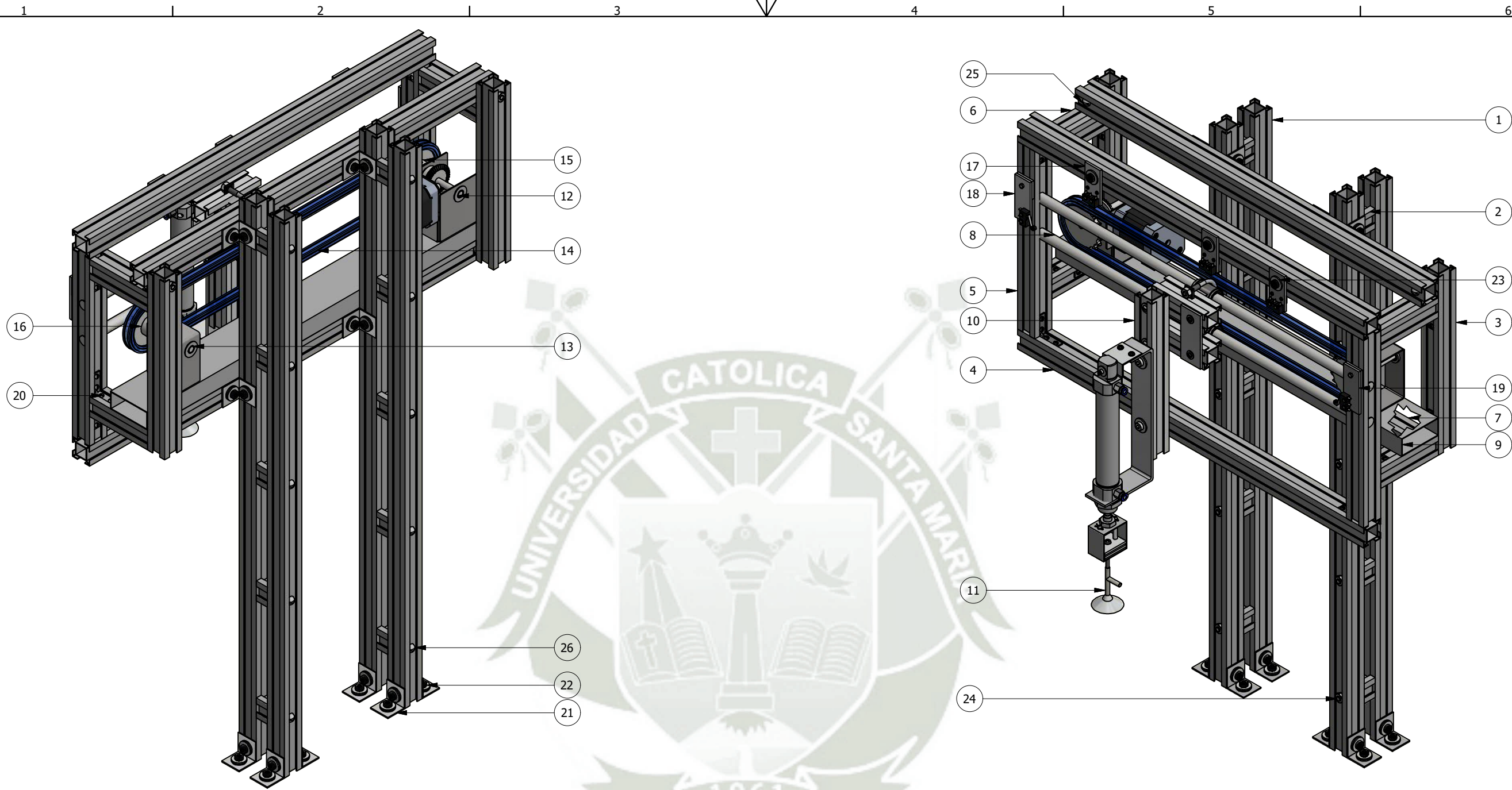
LISTA DE PIEZAS					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	Acrílico		Polycarbonate, Clear	0.446 kg
2	2	Ensamble ele acrílico			0.021 kg
3	2	BL_28x135		Genérico	0.022 kg
4	4	Ele 2 1.5mm		Generic	0.002 kg
5	8	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado:	Sergio Mestas			
	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 3 Standard: ANSI
	Título:	GUARDA TRANSLUCIDA		Plano N°: 1.04.00 Hoja / Hojas: 19 / 46

1 2 3 4 5 6



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: S/E Standard: ANSI
	Título:	PIEZAS		Plano N°: 1.04.01 Hoja / Hojas: 20 / 46



LISTA DE COMPONENTES


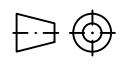
ITEM	CTD	TITULO	DESCRIPCIÓN
10	1	PORTADOR MOVIL DE VENTOSA	
11	1	VENTOSA	
12	1	CHASIS MOTOR PASO	
13	1	CHASIS SIN MOTOR PASO	
14	1	CADENA DE RODILLOS	
15	1	PIÑÓN DE ACIONAMIENTO PARA PORTAVENTOSA	Z = 20
16	1	PIÑÓN DE RETORNO PARA PORTAVENTOSA	Z = 20
17	3	SOPORTE Y SENSOR DE CARRERA	
18	1	SOPORTE Y SENSOR DE FINAL DE CARRERA 1	
19	1	SOPORTE Y SENSOR DE FINAL DE CARRERA 2	
20	16	UNION ANGULAR	
21	16	SOPORTE L DE 1.5mm	
22	32	SUJECION DE 1.5mm	
23	3	SUJECION L de 3.0mm	

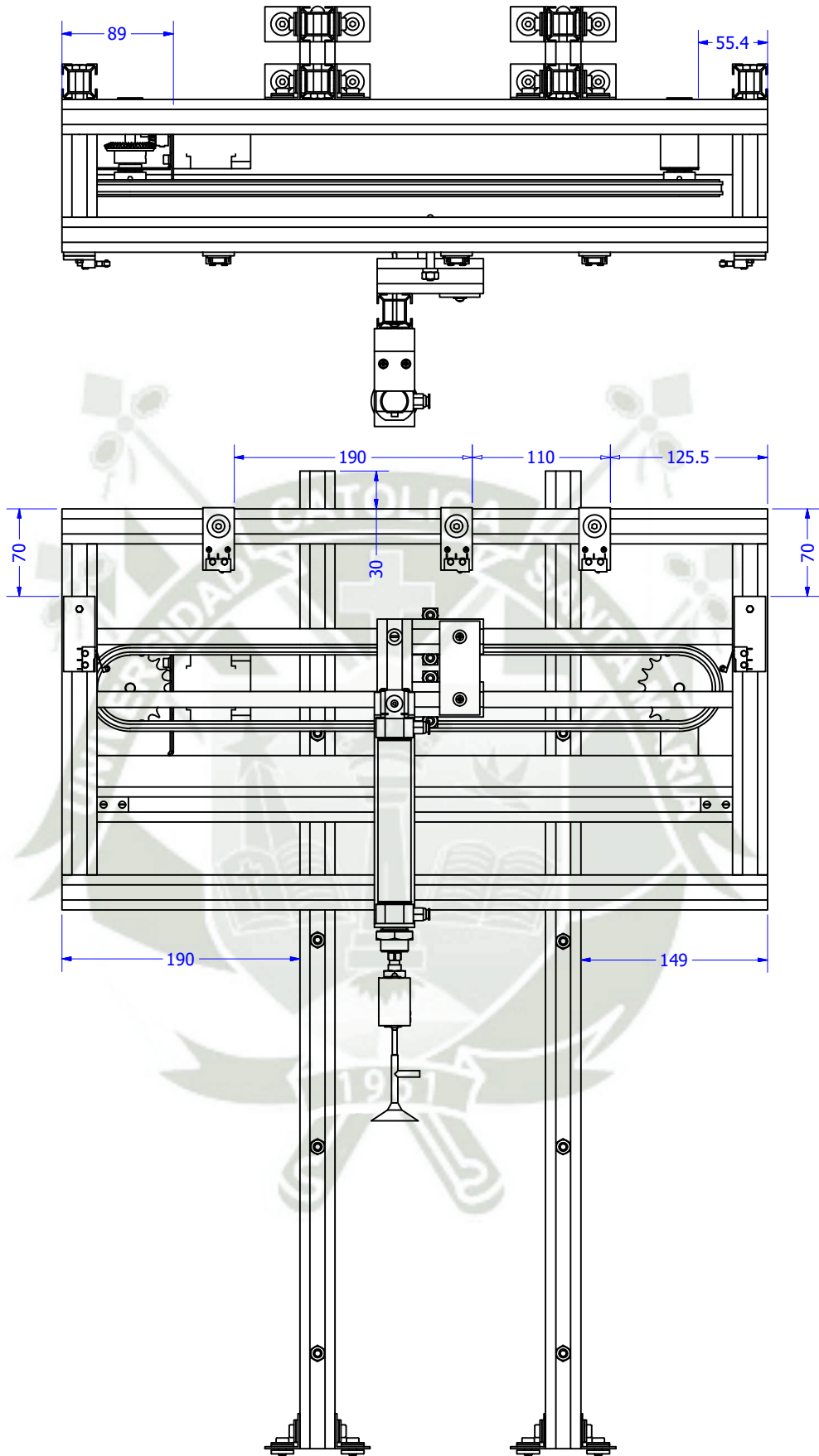
LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS

ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
24	1	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Acero, suave	Tuerca hex. para maquinaria
25	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 2	Acero, suave	Tornillo de cabeza ranurada redonda
26	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 2.75	Acero, suave	Tornillo de cabeza ranurada redonda

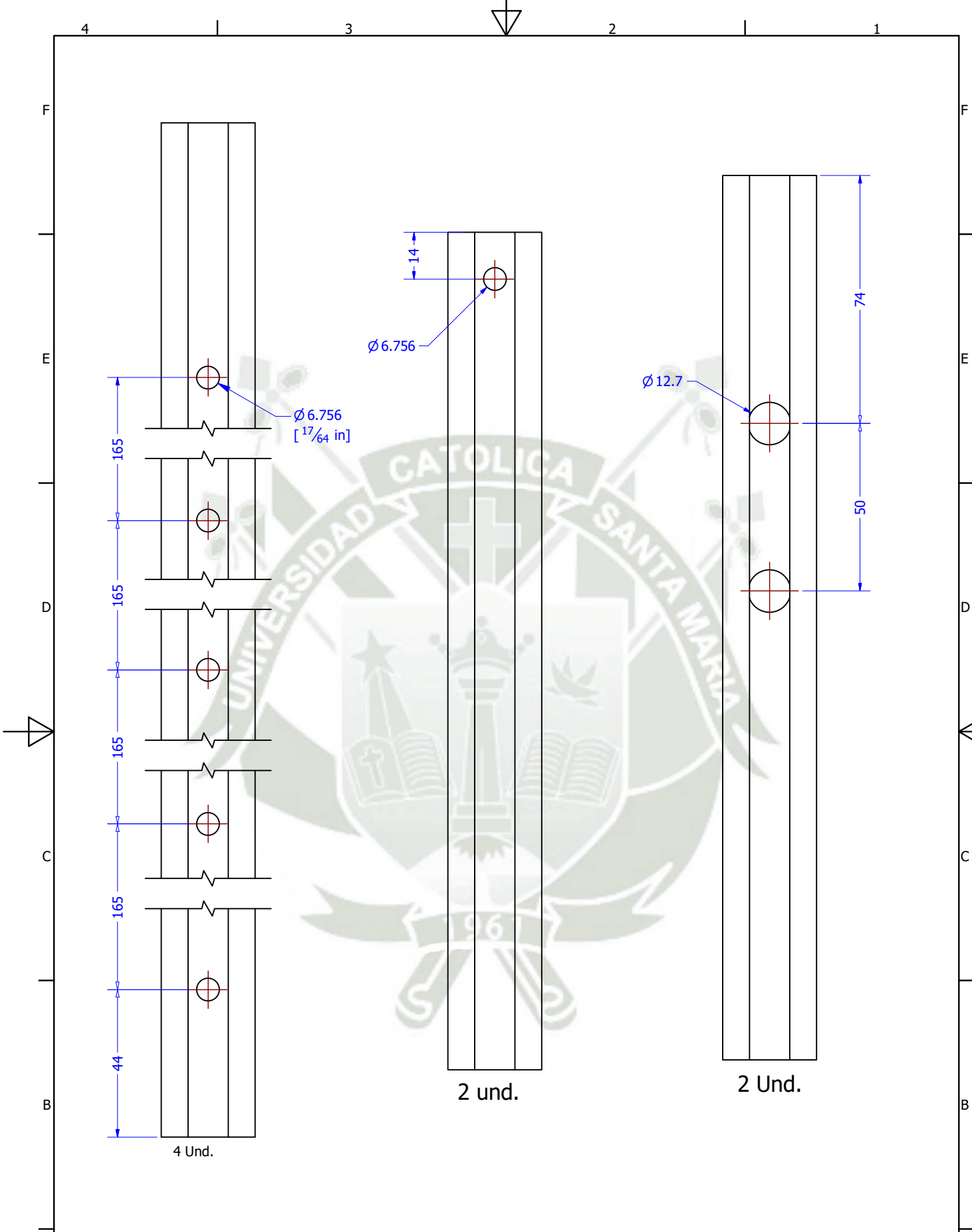
LISTA DE PERFILES

ITEM	CTD	NUMERO DE PIEZA	LONG UNIT	LONG TOT	MATERIAL
1	4	BL_28x780	780 mm	3120.000 mm	Genérico
2	10	BL_28x18	18 mm	180.000 mm	Genérico
3	2	BL_28x250	250 mm	500.000 mm	Genérico
4	3	BL_28x563	563 mm	1689.000 mm	Genérico
5	2	BL_28x264	264 mm	528.000 mm	Genérico
6	4	BL_28x94	94 mm	376.000 mm	Genérico
7	1	BL_28x507	507 mm	507.000 mm	Genérico
8	2	ANSI/AISC Rolled Steel - 1/2-21.87	556 mm	1111.000 mm	Acero, suave
9	1	Perfil_recto-04	563 mm	563.000 mm	Genérico

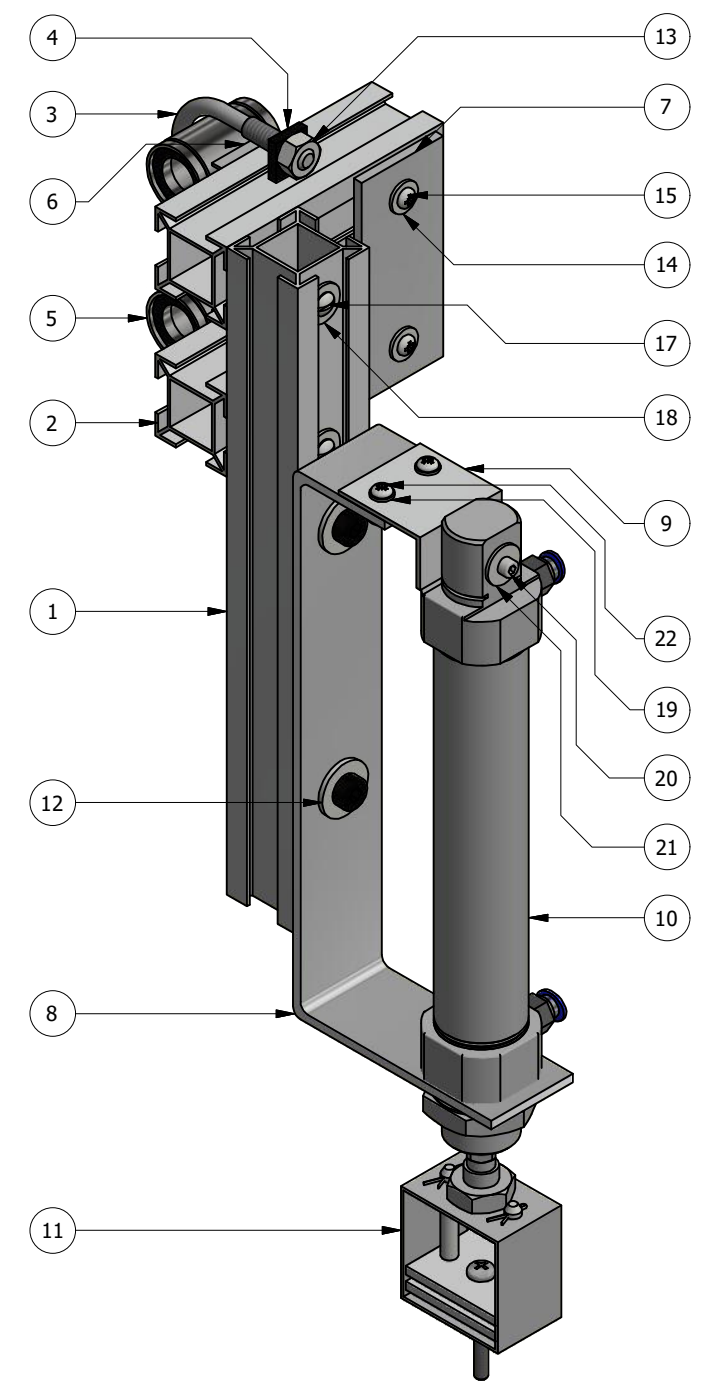
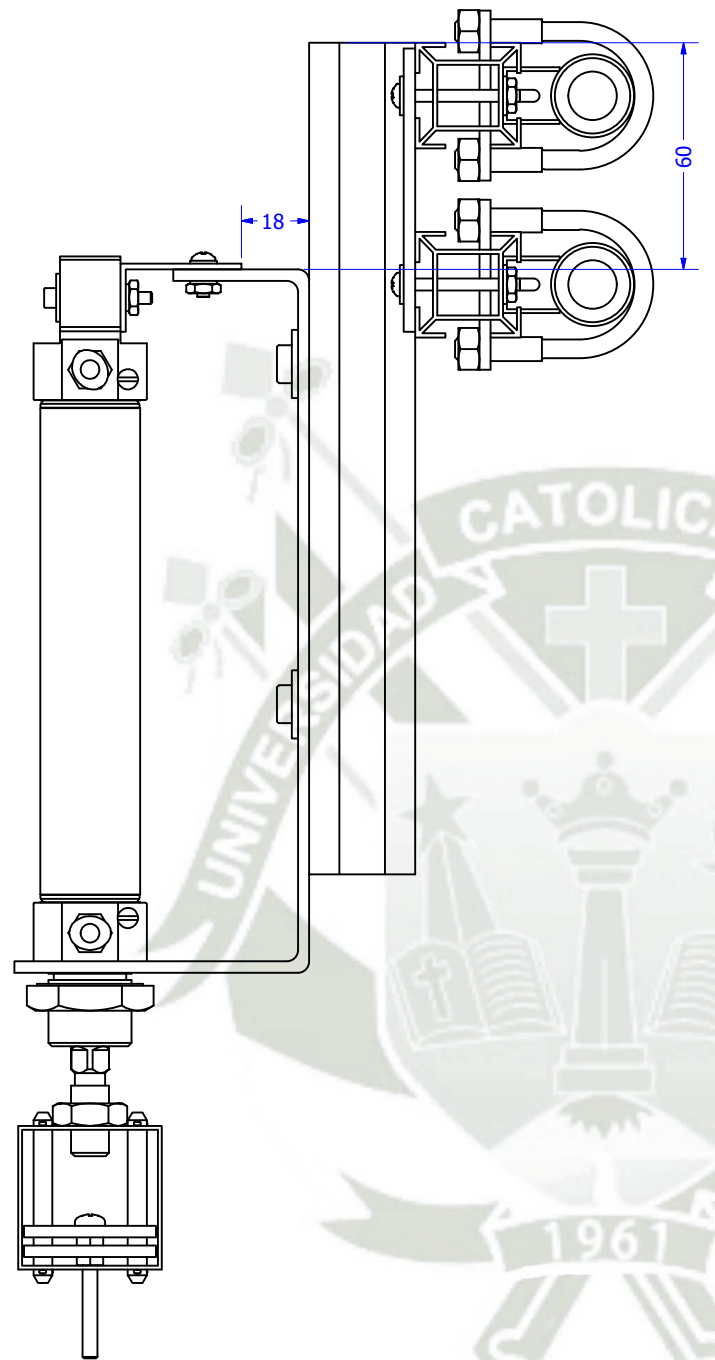
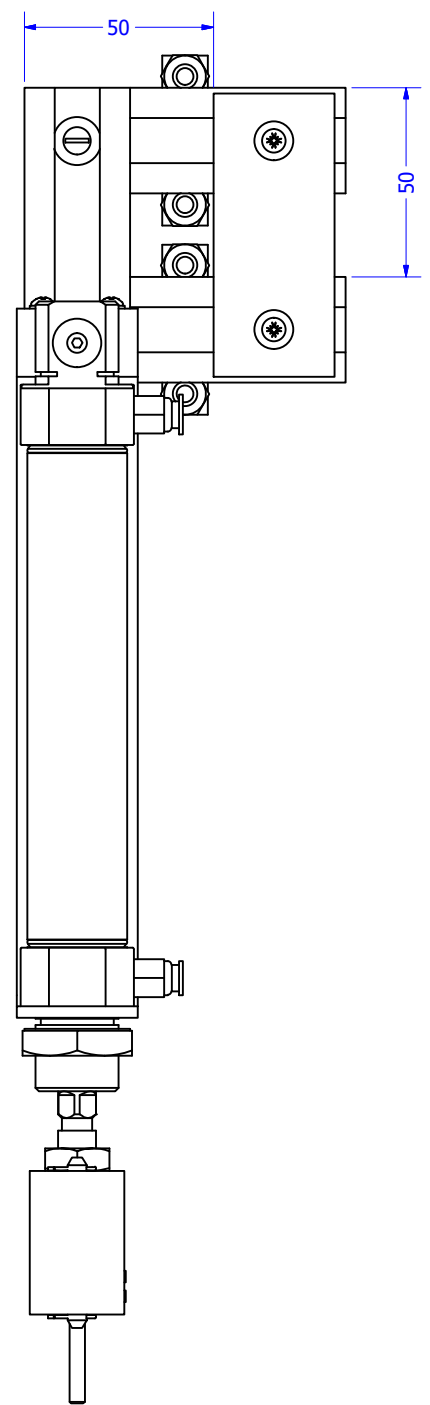
Nombre		Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado: C. Valdivia, F. Ticona		28/09/2018		
Comprobado: Sergio Mestas				
Proyecto: SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS			Escala: 1 : 5	
Título: SISTEMA DE VENTOSA			Standard: ANSI	
			Plano N°:	Hoja / Hojas 21 / 46



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 5 Standard: ANSI
	Título:	SISTEMA DE VENTOSA		
		Plano N°: 1.05.00	Hoja / Hojas 22 / 46	



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
A	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 2 : 3 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.05.00.01



LISTA DE PERFILES

ITEM	CTD	NUMERO DE PIEZA	LONG UNIT	LONG TOT	MATERIAL
1	1	BL_28x220	220 mm	220.000 mm	Aluminum 6061
2	2	BL_28x85	85 mm	170.000 mm	Aluminum 6061

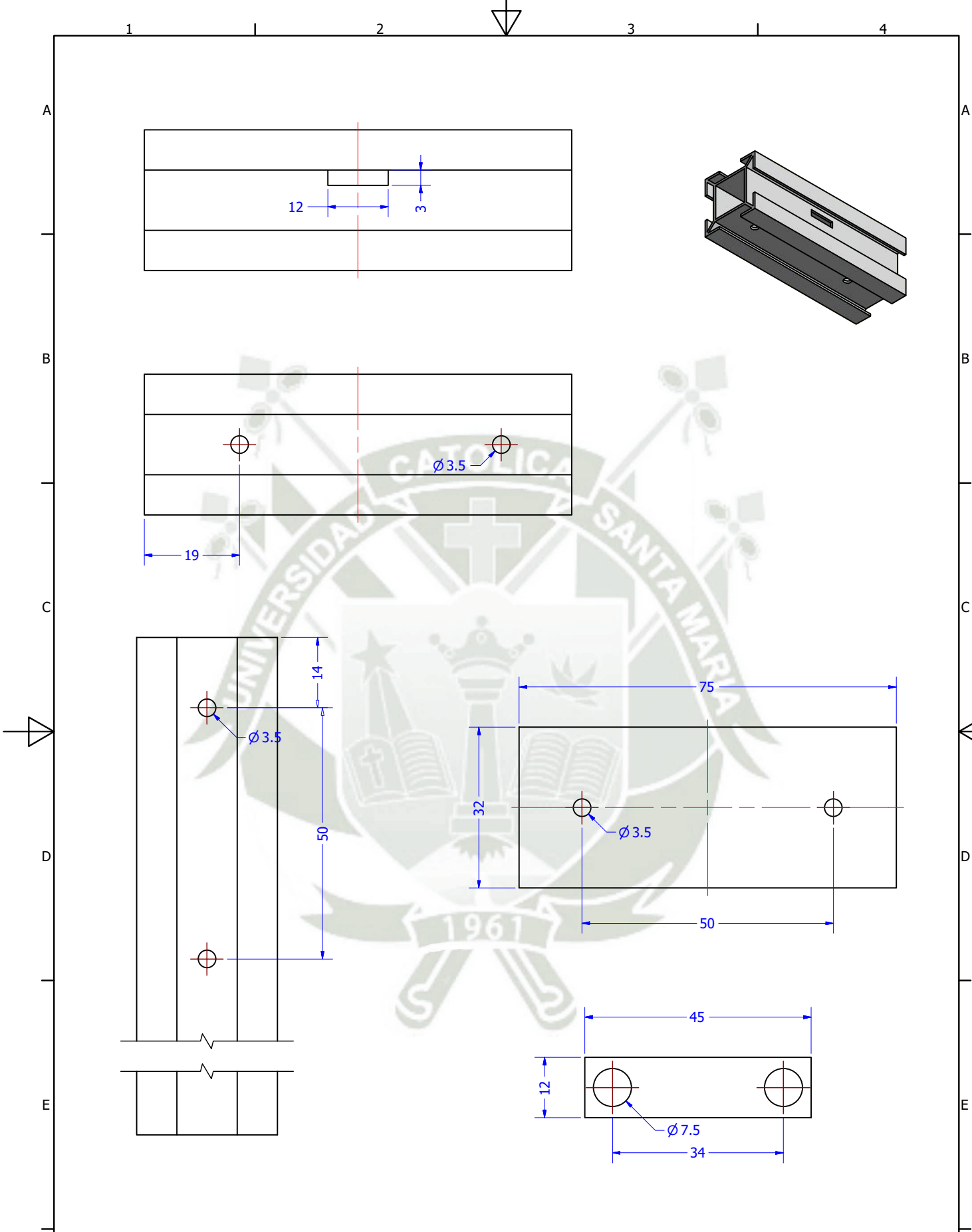
LISTA DE PIEZAS DE DISEÑO

ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
3	2	SOPORTE EN U 1_4		Generic	0.003 kg
4	2	CONTRA SOPORTE U		Acero, carbono	0.011 kg
5	2	Rodamiento Axial 1_2x32		Generic	0.003 kg
6	2	CONTRA SOPORTE RODAMIENTO		Generic	0.001 kg
7	1	Soporte Carril 2		Generic	0.007 kg
8	1	Soporte Carril Piston2		Aluminum 6061	0.027 kg
9	1	PORTA PISTON - SUPERIOR		Aluminum 6061	0.002 kg
10	1	58mic25s0100cag_			0.079 kg
11	1	MANIPULADOR VENTOSA			0.036 kg
12	2	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg

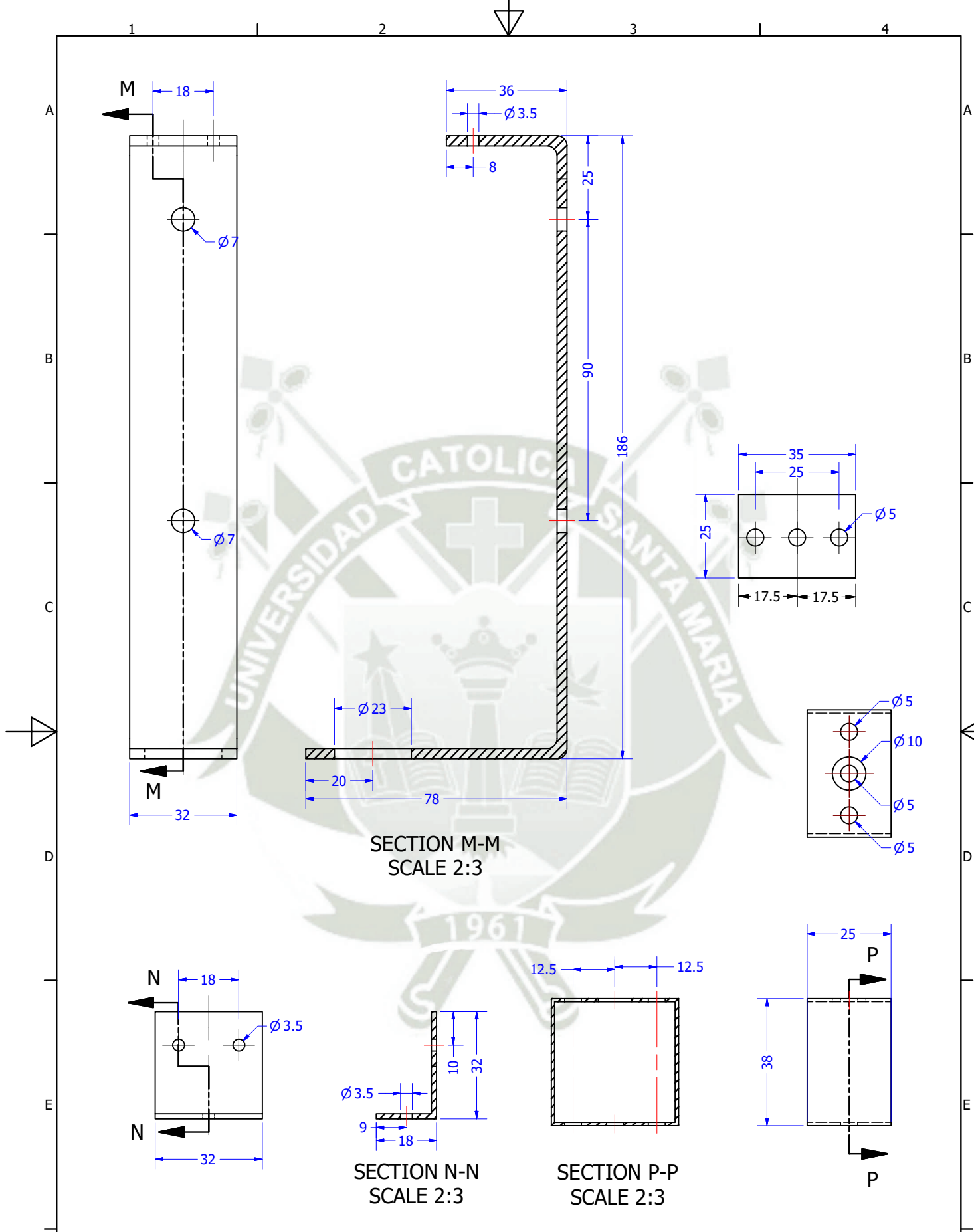
LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS

ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
13	1	ANSI B18.2.2 - 1/4 - 20	Acero, suave	Hex Nuts (Inch Series) Hex Nut
14	1	ANSI B18.22.1 - No. 5 - Regular - Type B	Acero, suave	Plain Washer (Inch)Type A and B
15	1	ANSI B18.6.3 - No. 5 - 40 - 1 1/4	Acero, suave	Cross Recessed Pan Head Machine Screw - Type IA
16	1	ANSI B18.6.3 - 5 - 40	Acero, suave	Hex Machine Screw Nut
17	1	ANSI B18.6.3 - 5-40 UNC - 2.25	Acero, suave	Slotted Truss Head Machine Screw
18	1	ANSI B18.22.1 - No. 5 - wide - Type B	Acero, suave	Plain Washer (Inch)Type A and B
19	1	ANSI B18.22.1 - No. 5 - narrow - Type B	Acero, suave	Plain Washer (Inch)Type A and B
20	1	ANSI B18.3 - Nº 5 - 40 UNC - 1 HS HCS	Acero, suave	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
21	1	ANSI B18.22.1 - Nº 5 - Anchura - Tipo B	Acero, suave	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B
22	1	ANSI B18.6.3 - No. 5 - 40 - 3/8	Acero, suave	Cross Recessed Pan Head Machine Screw - Type IA

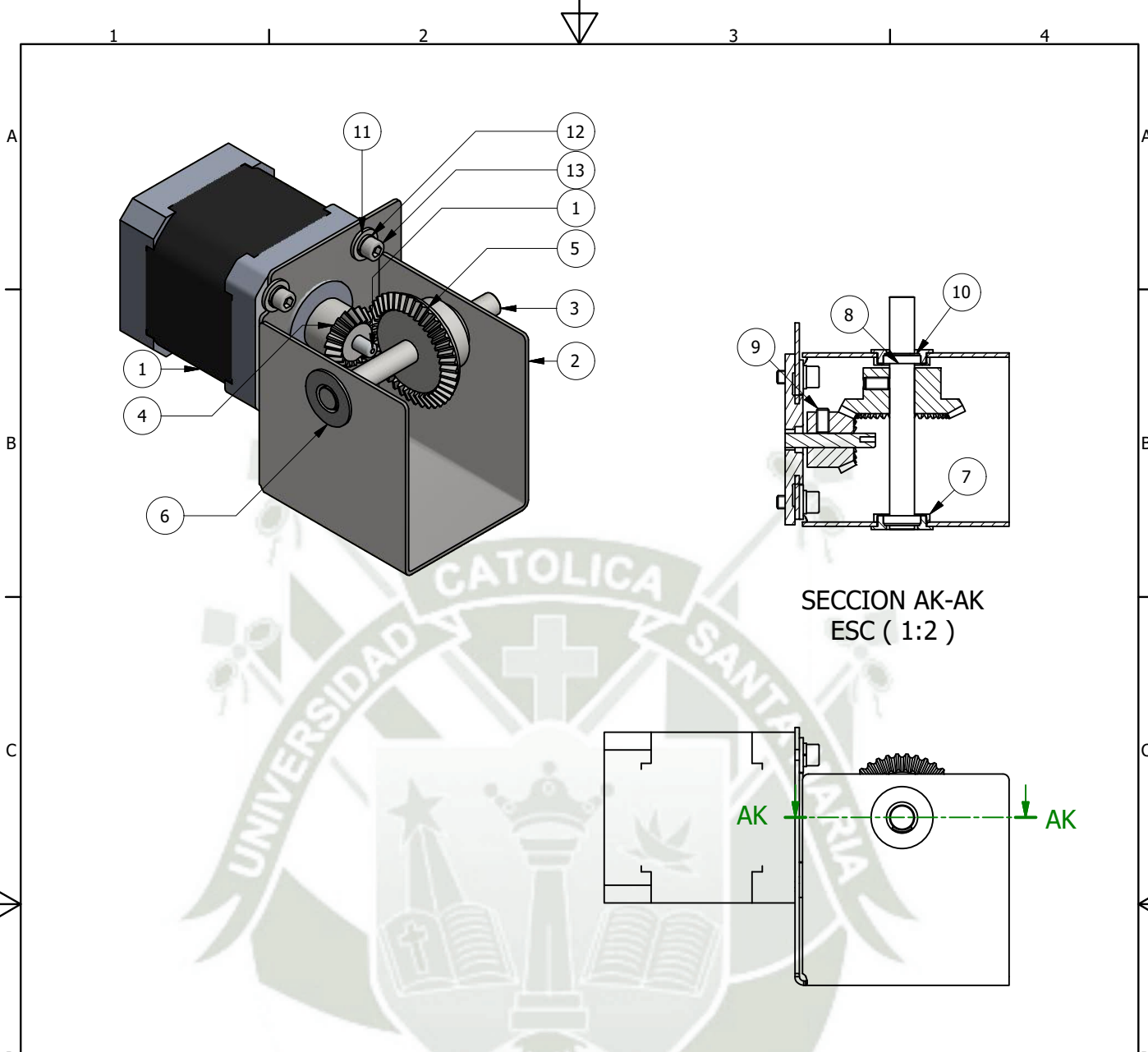
Dibujado:	Nombre C. Valdivia, F. Ticona	Fecha 28/09/2018	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Comprobado:	Sergio Mestas			
Proyecto:			SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS	
Título:			PORTADOR MOVIL DE VENTOSA	
Escala:			1 : 3	
Standard:			ANSI	
Plano N°:			1.05.01	Hoja / Hojas 24 / 46



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.05.01.01



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 2 : 3 Standard: ANSI 
	Título:			Plano N°: 1.05.01.02



LISTA DE PIEZAS

ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	MOTOR DE PASO NEMA 17			0.17 kg
2	1	BASTIDOR MOTOR PASO		Steel, Galvanized	0.18 kg
3	1	Shaft		Steel	0.029 kg
4	1	Engranaje biselado1		Steel, Mild	0.027 kg
5	1	Engranaje biselado2		Steel, Mild	0.074 kg
6	2	PORTA RODAMIENTO MACHO		Generic	0.001 kg
7	2	PORTA RODAMIENTO HEMBRA		Generic	0 kg
8	2	JIS B 1521 - 678 8x12x2.5	Rodamiento de bolas, acanalado profundo	Acero, suave	0.001 kg
9	2	DIN 913 - M4 x 8	Tornillo sin cabeza con hueco hexagonal	Steel, Mild	0.001 kg
10	2	DIN 6799 - 5	Placa de sujeción para ejes	Acero, suave	0 kg
11	4	ANSI B18.22.1 - No. 8 - Tipo A	Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B	Acero, suave	0.001 kg
12	4	ASME B18.21.1 - N°8	Arandela de presión normal (Serie en pulgadas)	Acero, suave	0 kg
13	4	ANSI B18.3 - N° 8 - 32 UNC - 3/8 HS HCS	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal	Acero, suave	0.002 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 2 Standard: ANSI 
	Título:	CHASIS MOTOR PASO		Plano N°: 1.05.02
				Hoja / Hojas 27 / 46

1 2 3 4

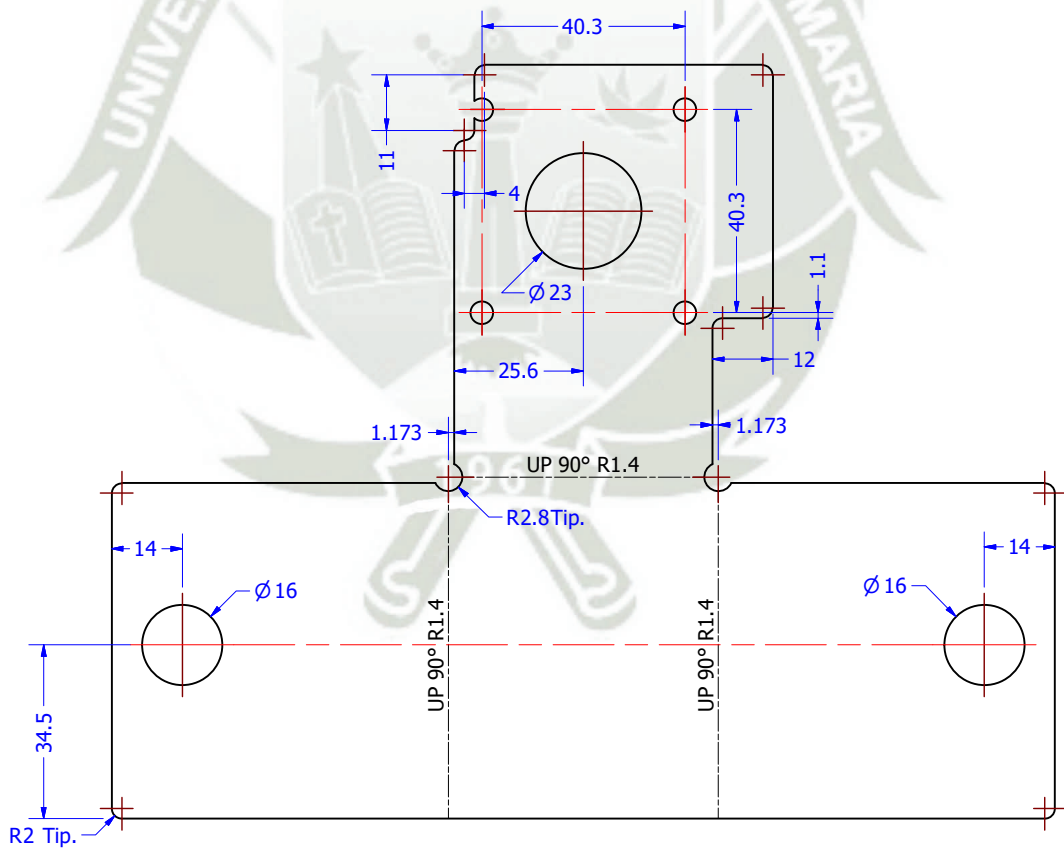
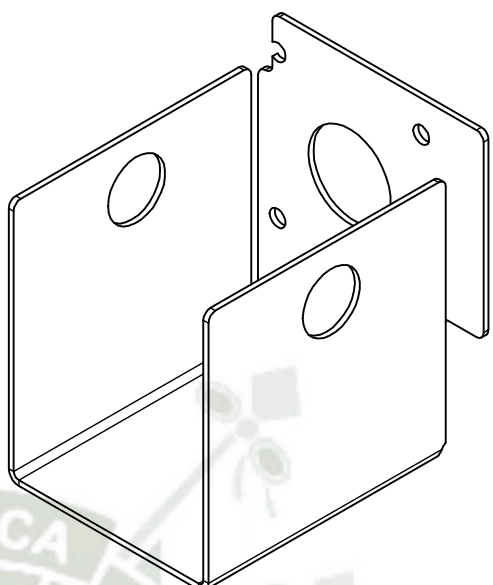
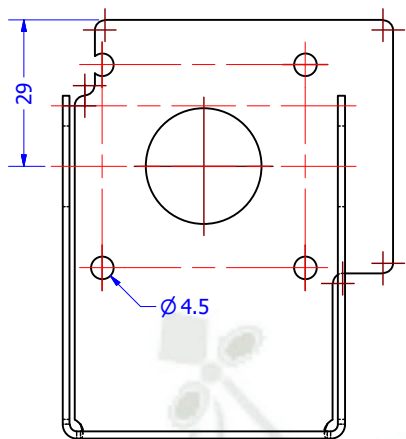
A

B

C

D

E



A

B

C

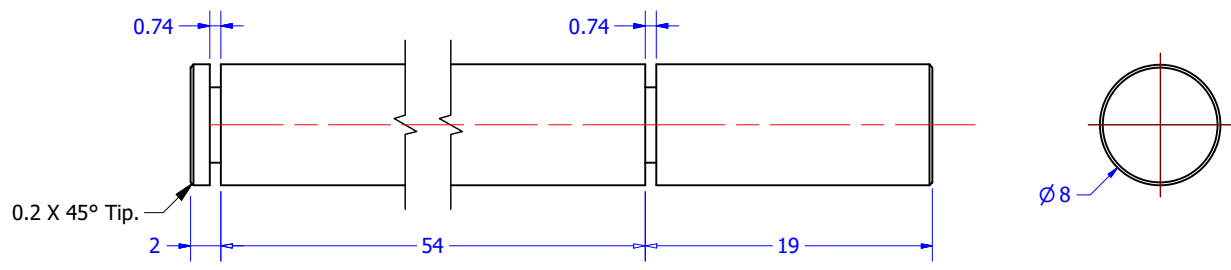
D

E

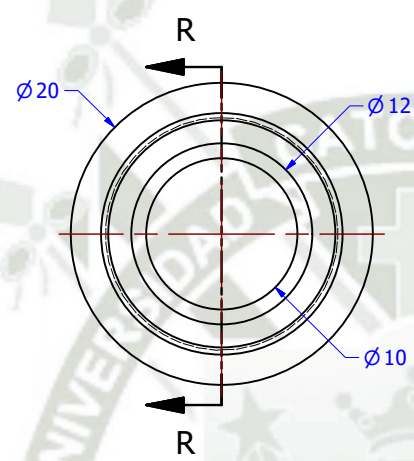
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			Escala: 2 : 3 Standard: ANSI 
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Plano N°:
	Título:	BASTIDOR DE MOTOR PASO-PASO		1.05.02.01
				Hoja / Hojas 28 / 46

1 2 3 4

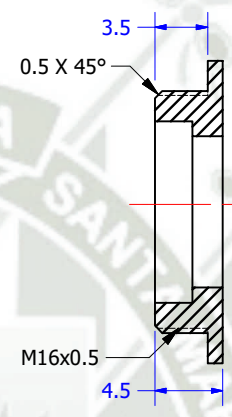
F



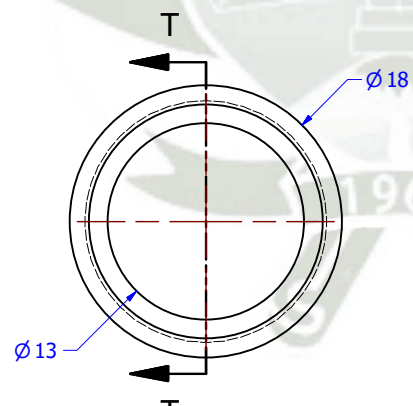
VIEW168
SCALE 2:1



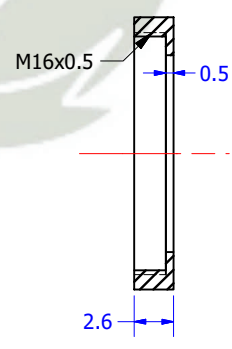
VIEW170
SCALE 2:1



SECTION R-R
SCALE 2:1

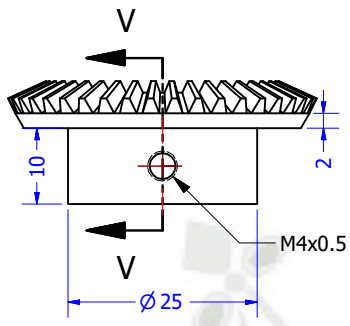


VIEW171
SCALE 2:1

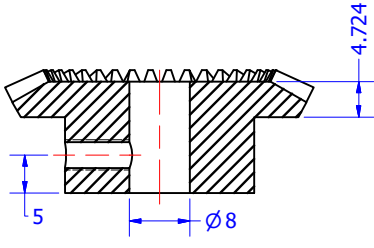


SECTION T-T
SCALE 2:1

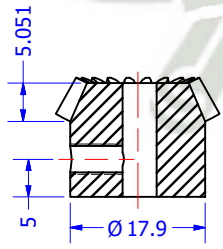
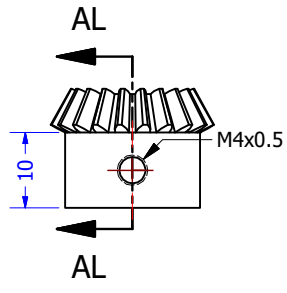
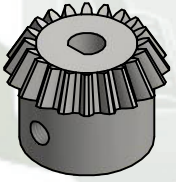
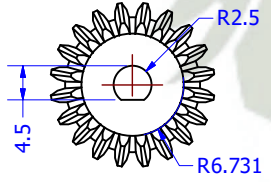
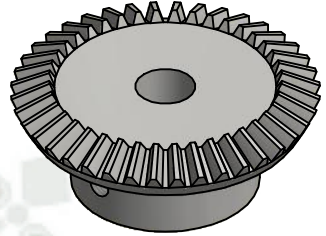
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 2 : 1 Standard: ANSI 
	Título:	EJES Y PORTA RODAMIENTOS		Plano N°: 1.05.02.02
				Hoja / Hojas 29 / 46



VIEW 175
SCALE 1 : 1




SECTION V-V
SCALE 1 : 1



SECTION AL-AL
SCALE 1 : 1

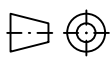
PARAMETROS DE TRANSMISION	
Parámetro	Detalle
Relación de transmisión	2
Modulo Tangencial	1.000 mm
Angulo de presión	20.00°
Angulo de ejes	90.00°
Ancho de cara de diente	5.500 mm
Piñon	
Num. de Dientes	20
Paso Diametral Final	20 mm
Paso Diametral en plano medio	17.54 mm
Angulo exterior de cono	29.1257°
Angulo reverso de cono	26.5651°
Engrane	
Num. de Dientes	40
Paso Diametral Final	40.00 mm
Paso Diametral en plano medio	35.081 mm
Angulo exterior de cono	65.9956°
Angulo reverso de cono	63.4349°

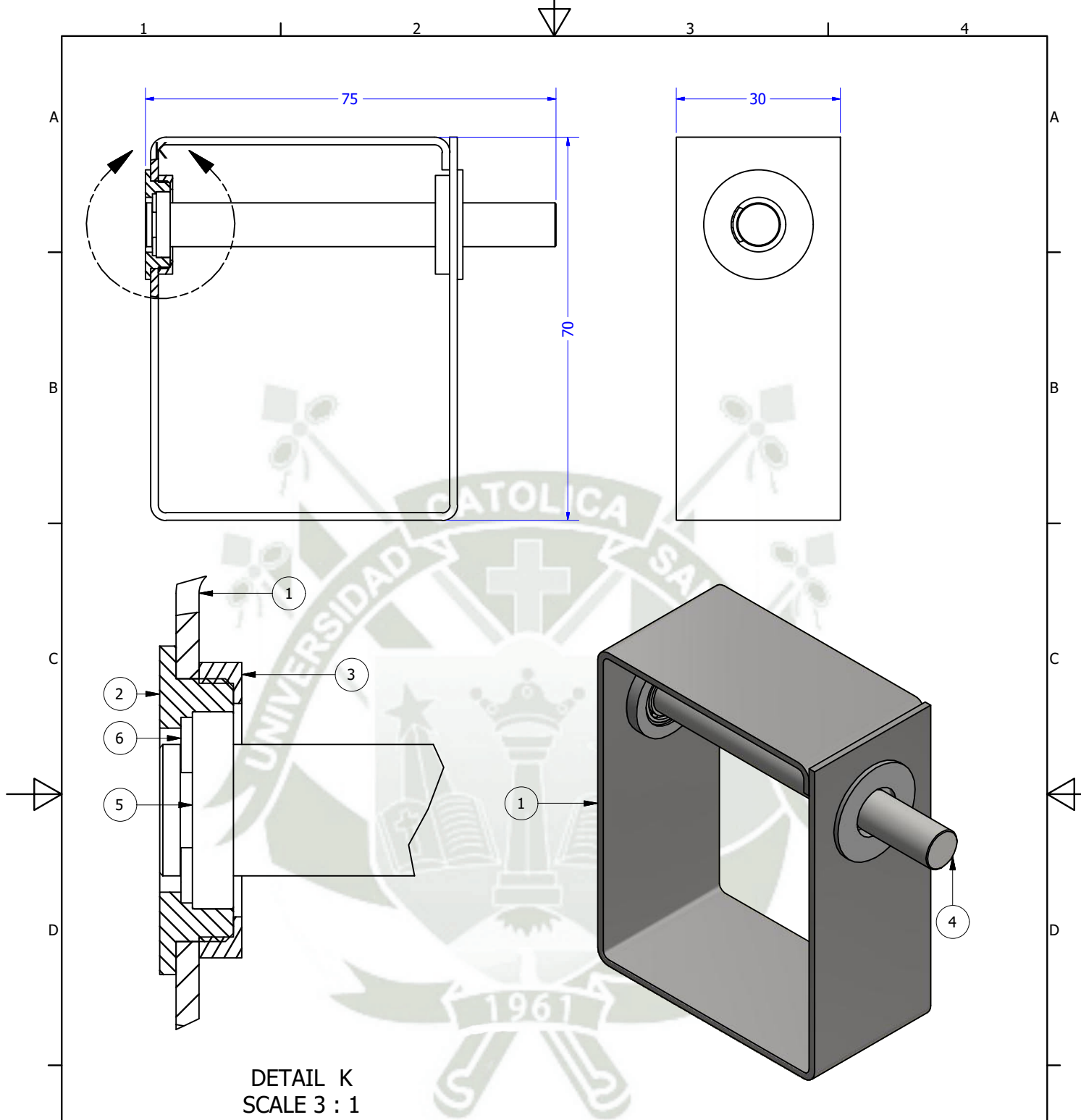
	Nombre	Fecha	Firma
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018	
Comprobado	Sergio Mestas		



**UNIVERSIDAD
CATOLICA DE
SANTA MARIA**

F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS
	Título:	PIÑON - ENGRANE

Escala:	1 : 1	
Standard:	ANSI	
Plano N°:	1.05.02.03	Hoja / Hojas 30 / 46

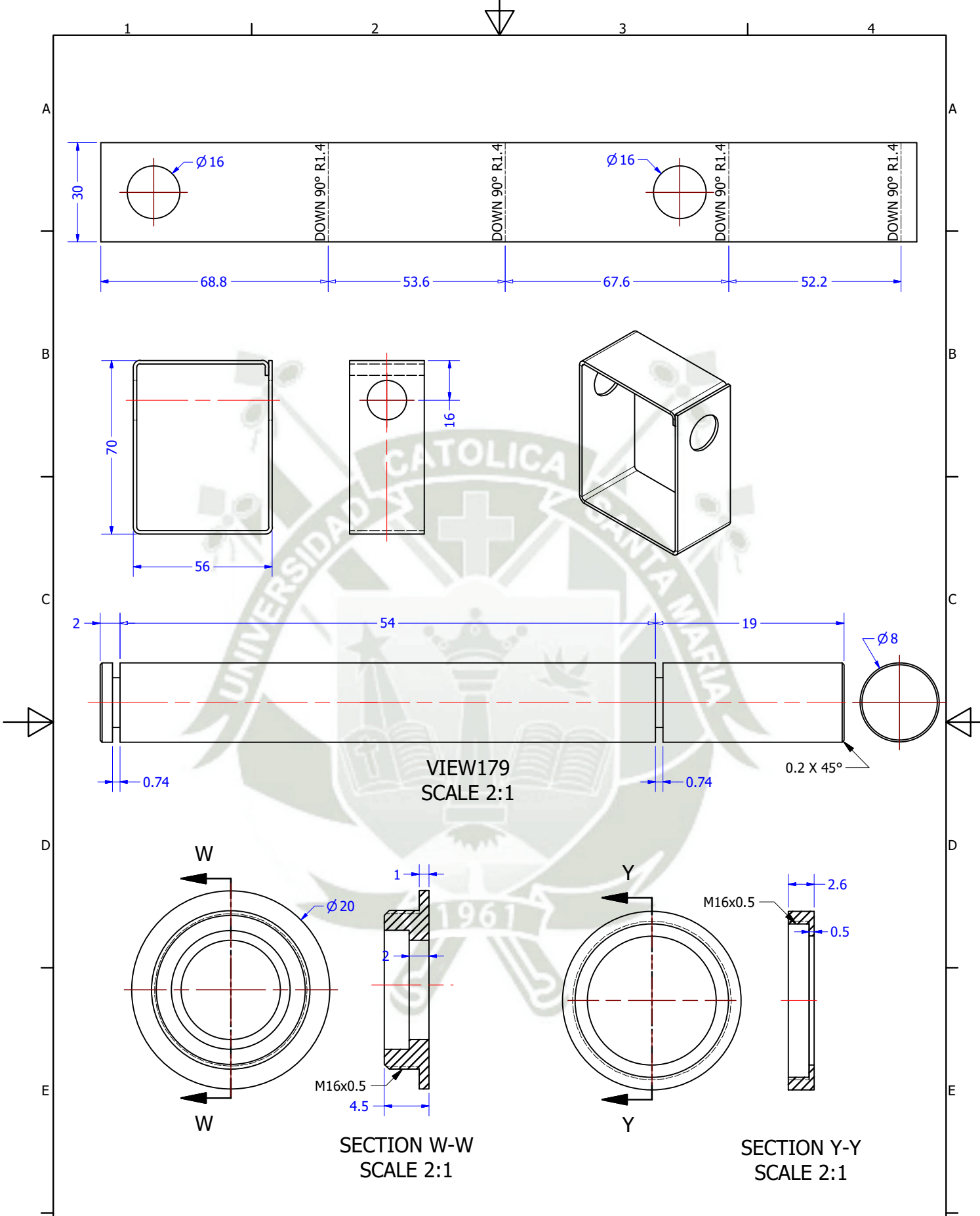


DETAIL K
SCALE 3 : 1

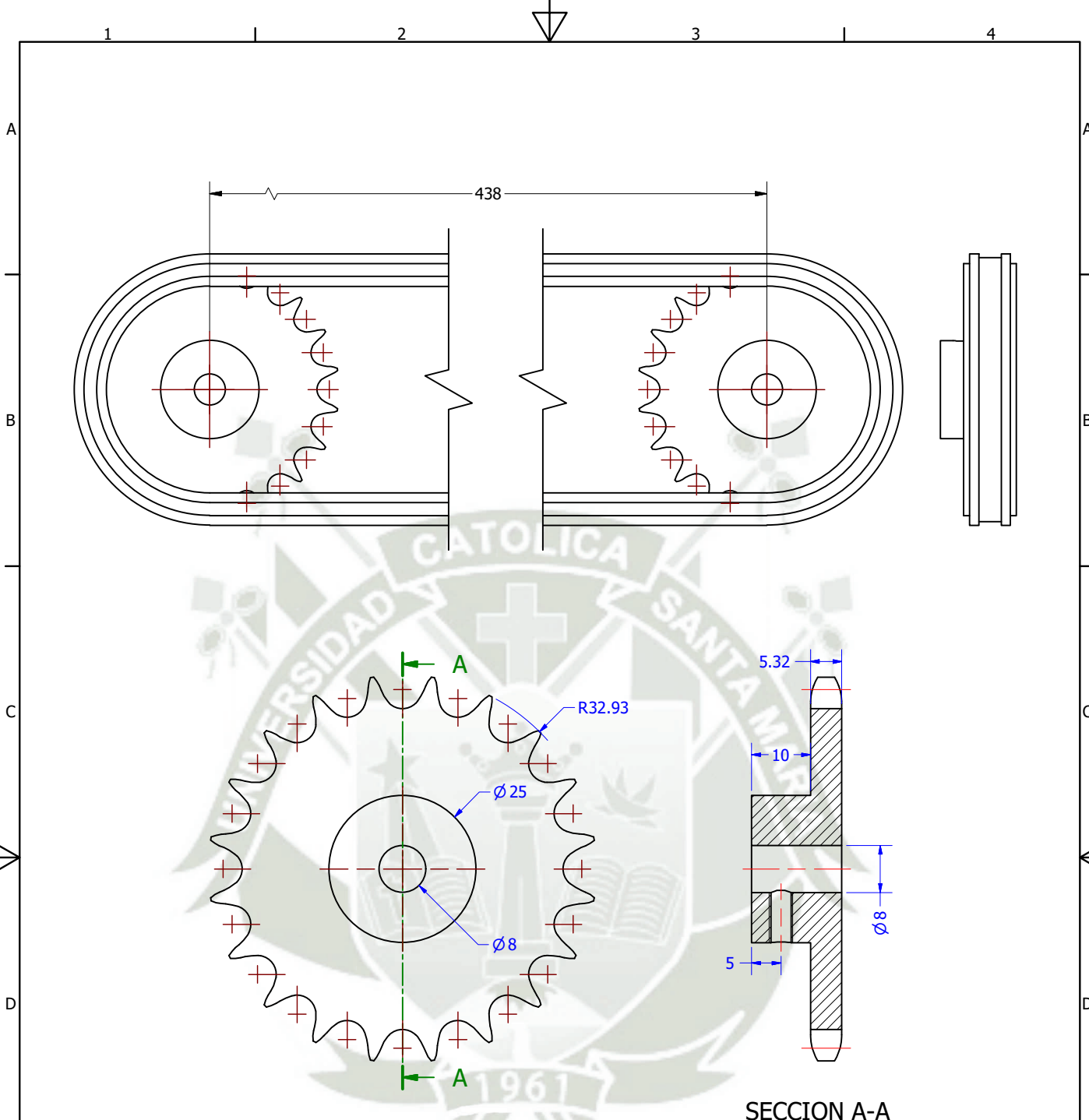
LISTA DE PIEZAS

ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	BASTIDOR SIN MOTOR PASO		Acero, carbono	0.077 kg
2	2	PORTA RODAMIENTO MACHO		Generic	0.001 kg
3	2	PORTA RODAMIENTO HEMBRA		Generic	0 kg
4	1	Shaft		Steel	0.029 kg
5	2	JIS B 1521 - 678 8x12x2.5	Rodamiento de bolas, acanalado profundo	Acero, suave	0.001 kg
6	2	DIN 6799 - 5	Placa de sujeción para ejes	Acero, suave	0 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
	Título:	CHASIS SIN MOTOR PASO		Plano N°: 1.05.03
				Hoja / Hojas 31 / 46



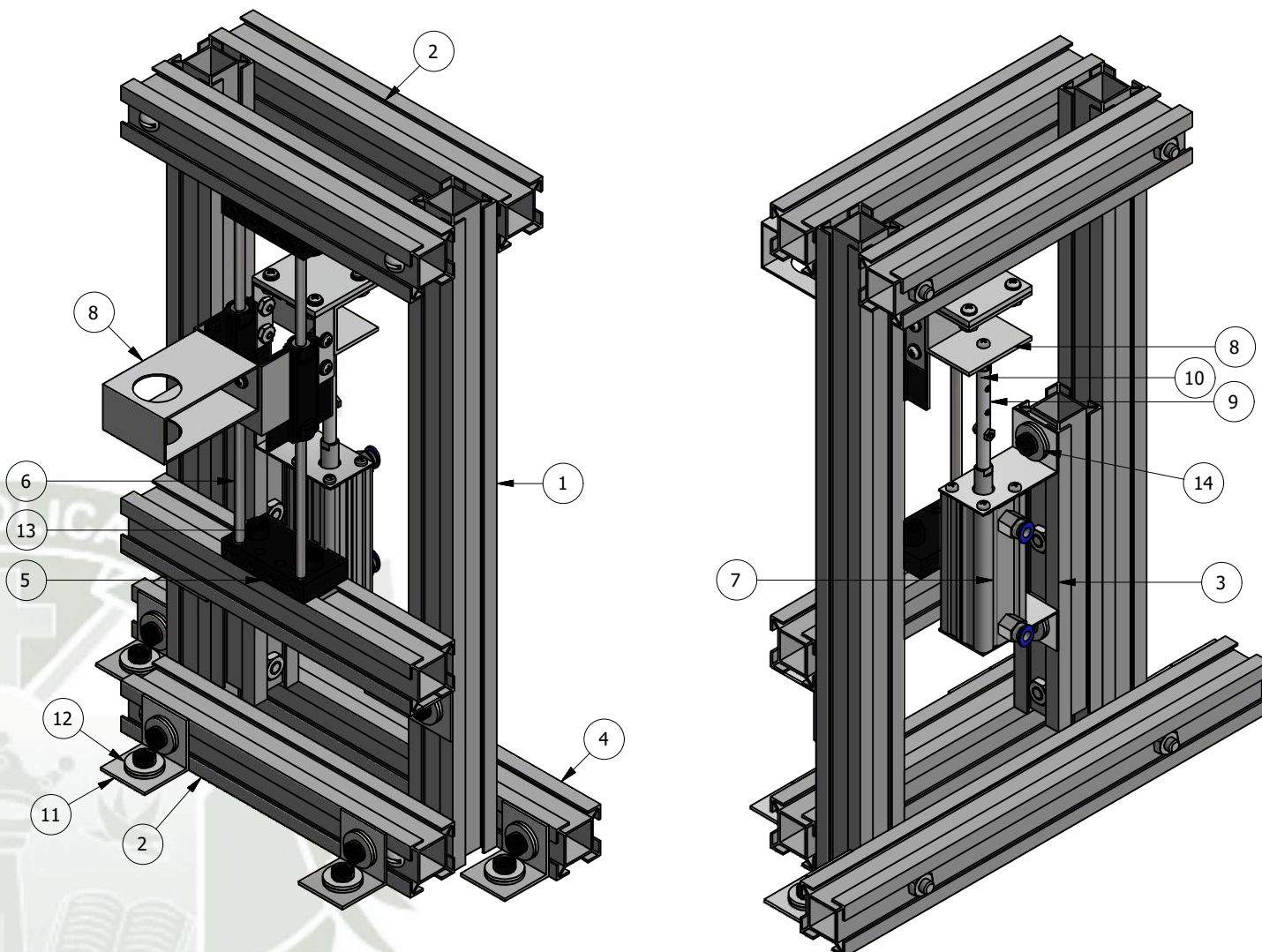
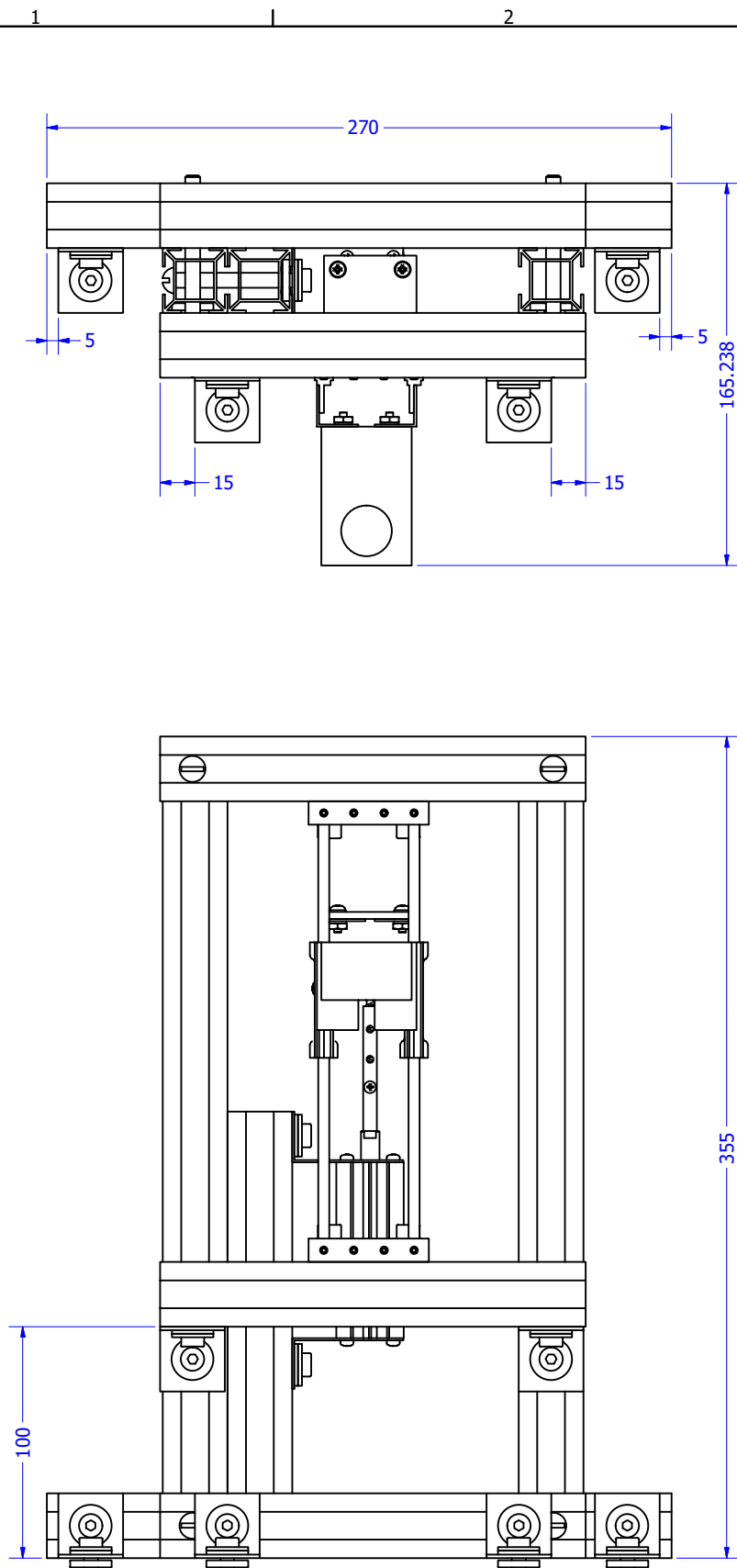
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			Escala: 2 : 1 Standard: ANSI
Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS			
Título:	PIEZAS MULTIPLES			
				Plano N°: 1.05.03.01
				Hoja / Hojas 32 / 46



SECCION A-A
ESC (1:1)

Chain : ISO 606:2004 - Short-pitch transmission precision roller chains (EU)	
Chain size designation	06B-1-112
Pitch	p 9.525 mm
Number of Chain Links	X 112.000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁ 5.720 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁ 6.350 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃ 8.260 mm
Maximum width over bearing pins	b 13.500 mm
Tensile Strength	F _u 8900.000 N

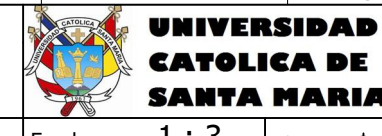
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1:1 Standard: ANSI
	Título:	TRANSMISIÓN DE CADENA		Plano N°: 1.05.03 Hoja / Hojas: 33 / 46

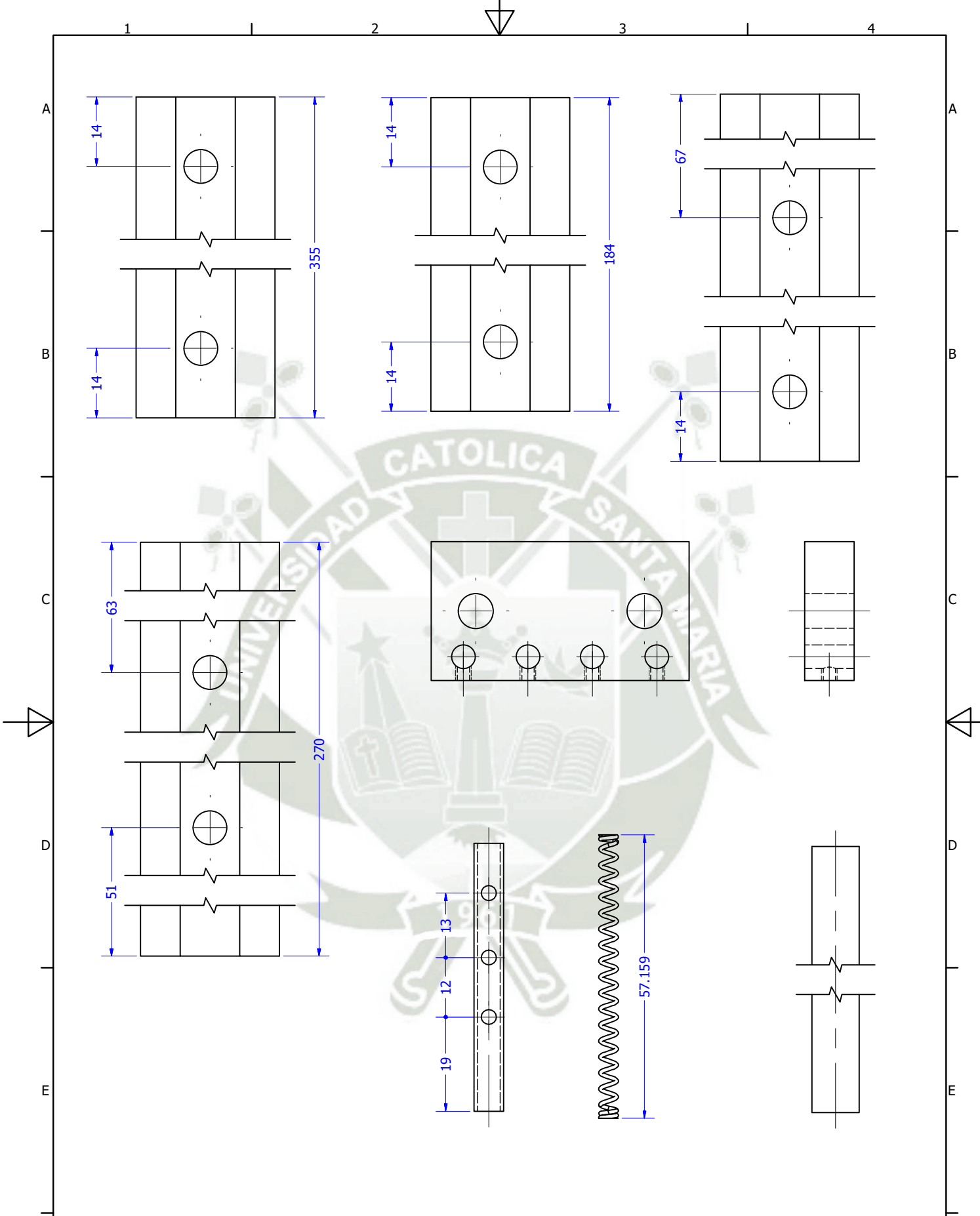


LISTA DE PERFILES					
ITEM	CTD	NUMERO DE PIEZA	LONG UNIT	LONG TOT	MATERIAL
1	2	BL_28x355	355 mm	710.000 mm	Genérico
2	4	BL_28x184	184 mm	736.000 mm	Genérico
3	1	BL_28x165	165 mm	165.000 mm	Genérico
4	1	BL_28x270	270 mm	270.000 mm	Genérico

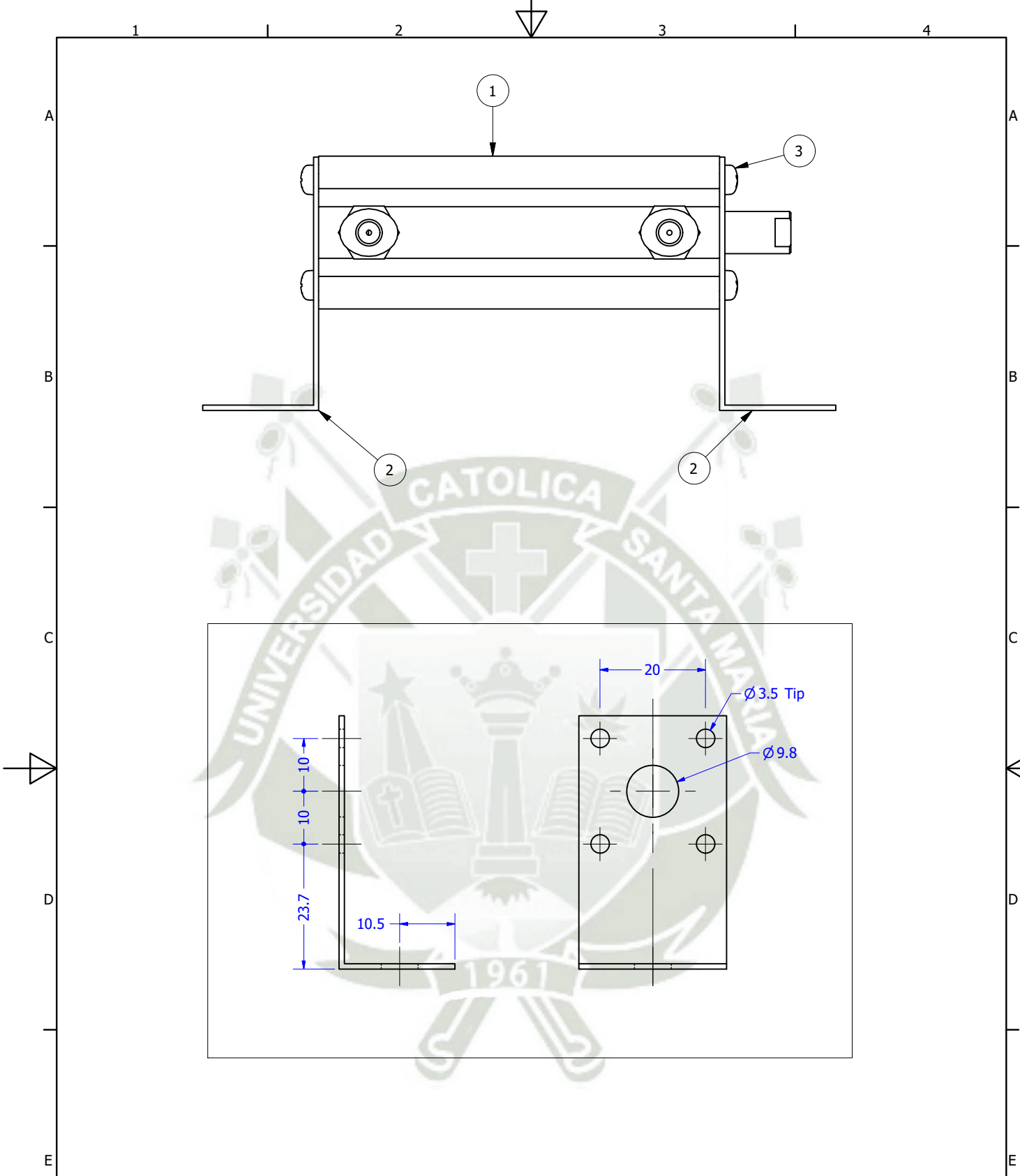
LISTA DE PIEZAS DE DISEÑO					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
5	2	Base de rieles		Resina acetral, negra	0.019 kg
6	2	Riel Estampador		Acero, aleación	0.027 kg
7	1	ensamble piston de estampado			0.057 kg
8	1	Tren de estampado			0.095 kg
9	1	guia de resorte		Aluminio 6061	0.002 kg
10	1	Muelle de compresión1		Steel	0.001 kg
11	6	Ele 1.5mm		Generic	0.002 kg
12	12	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg
13	4	SUJECION TIPO A_10.0mm			0.014 kg
14	2	SUJECION TIPO A_1.0mm			0.017 kg

LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS				
ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
15	1	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Acero, suave	Tuerca hex. para maquinaria
16	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 2	Acero, suave	Tornillo de cabeza ranurada redonda
17	1	ANSI B18.3 - 5-44 UNF x 0.125	Acero, suave	Tornillo sin cabeza con hueco hexagonal y punta plana
18	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 3.25	Acero, suave	Tornillo de cabeza ranurada redonda
19	1	ISO 7045 - M3 x 16 - 4.8 - H	Acero inoxidable, 440C	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco cruciforme tipo H - producto de clase A
20	1	ISO 7045 - M2.5 x 8 - 4.8 - H	Acero inoxidable, 440C	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco cruciforme tipo H - producto de clase A
21	1	ISO 4036 - M2.5	Acero inoxidable, 440C	Tuercas hexagonales estrechas (sin achaflanar) - Productos de clase B

Dibujado:	Nombre: C. Valdivia, F. Ticona	Fecha: 28/09/2018	Firma:
Comprobado:	Sergio Mestas		
Proyecto: SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS			 Escala: 1 : 3 Standard: ANSI
Título: SISTEMA DE ESTAMPADO			
Plano N°: 1.06.00		Hoja / Hojas: 34 / 46	


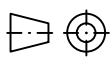


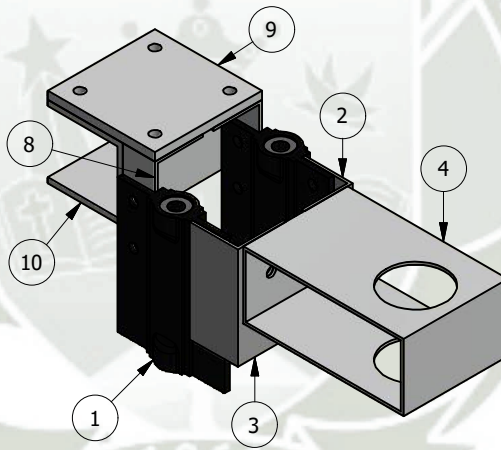
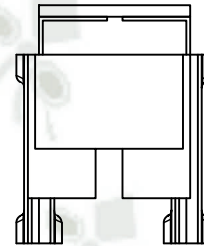
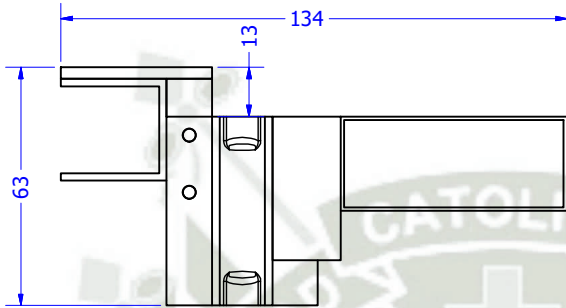
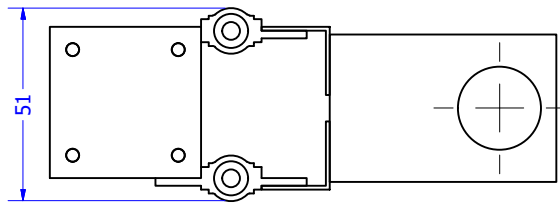
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Plano N°:
	Título:			1.06.01
				Hoja / Hojas 35 / 46



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ACQD-16x50 (00)	ACQD ACQJ-Compact Cylinder
2	2	Soporte de Piston	
3	8	ISO 7045 - M3 x 5 - 4.8 - H	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H - producto de clase A

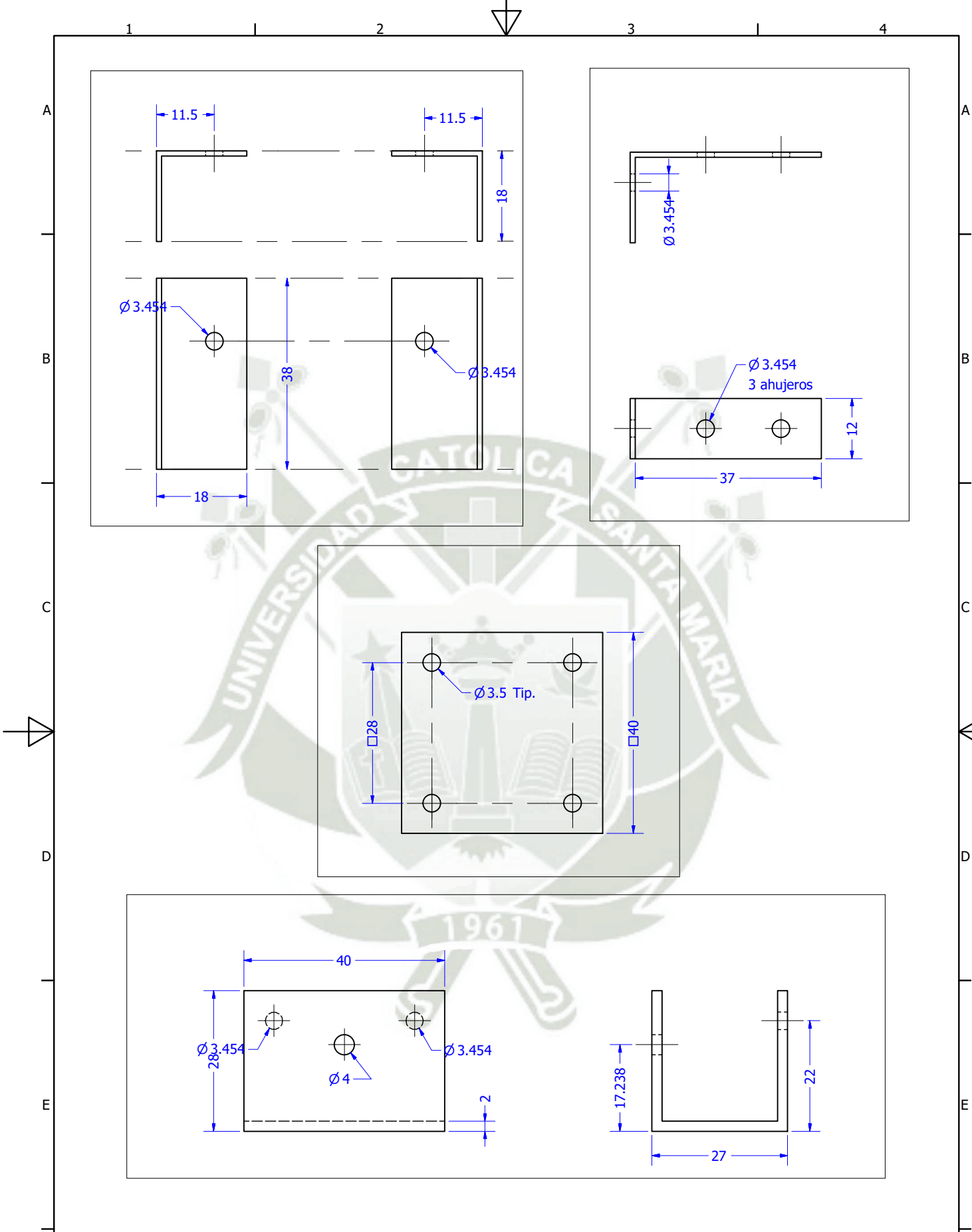
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018			
Comprobado	Sergio Mestas				
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 1 Standard: ANSI	
	Título:			Plano N°: 1.06.02	



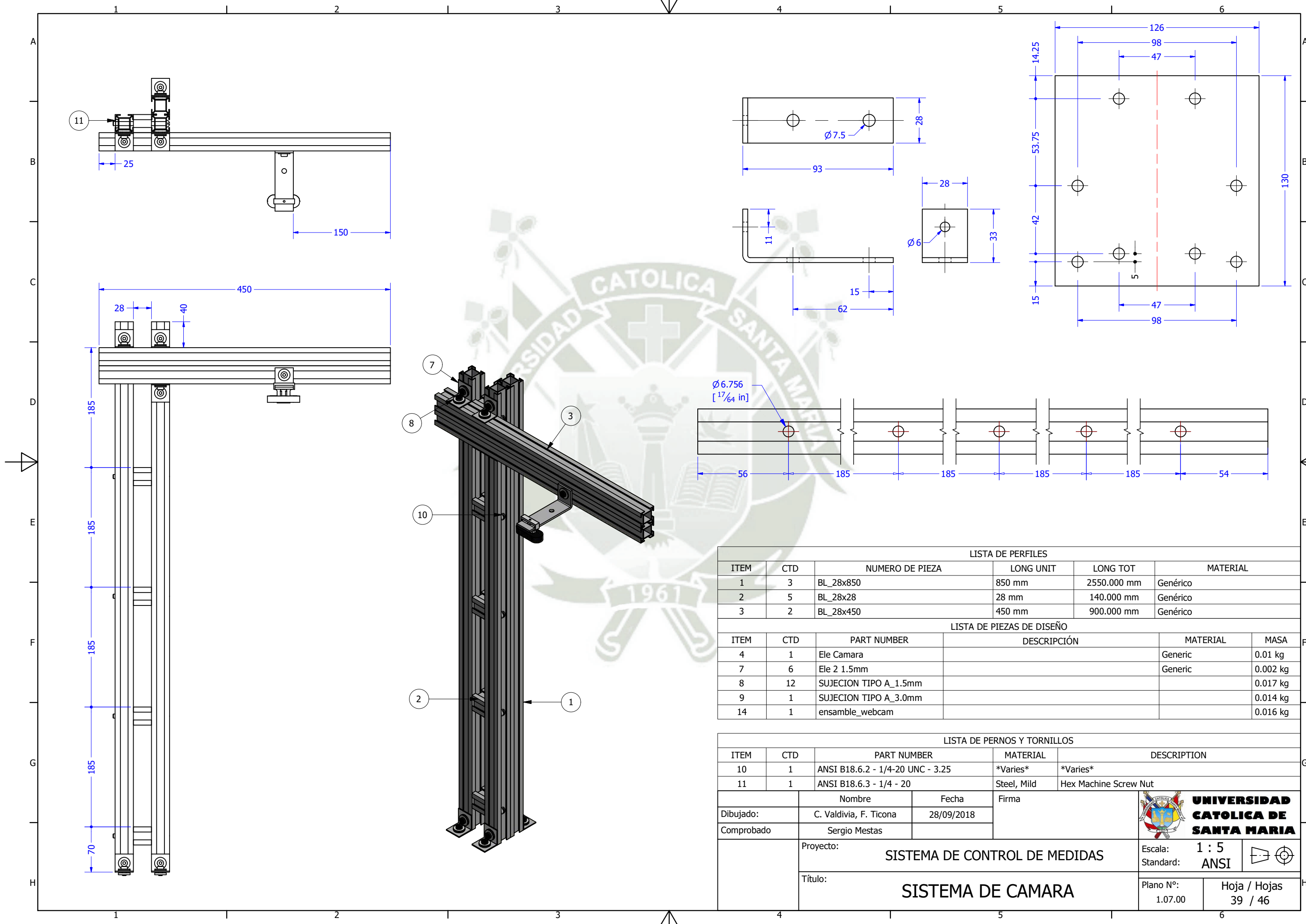
LISTA DE PIEZAS

ITEM	CTD	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	seguidor longitudinal 3_16	
2	1	Estampador parteA	
3	1	Estampador parteB	
8	2	Estampador parteC	
9	1	Estampador parteD	
10	1	Estampador parteE	
4	1	guia de sellador	

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS TREN DE ESTAMPADO			Escala: 1:2 Standard: ANSI
				Plano N°: 1.06.03



	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Plano N°:
	Título:			1.06.03.01
				Hoja / Hojas 38 / 46

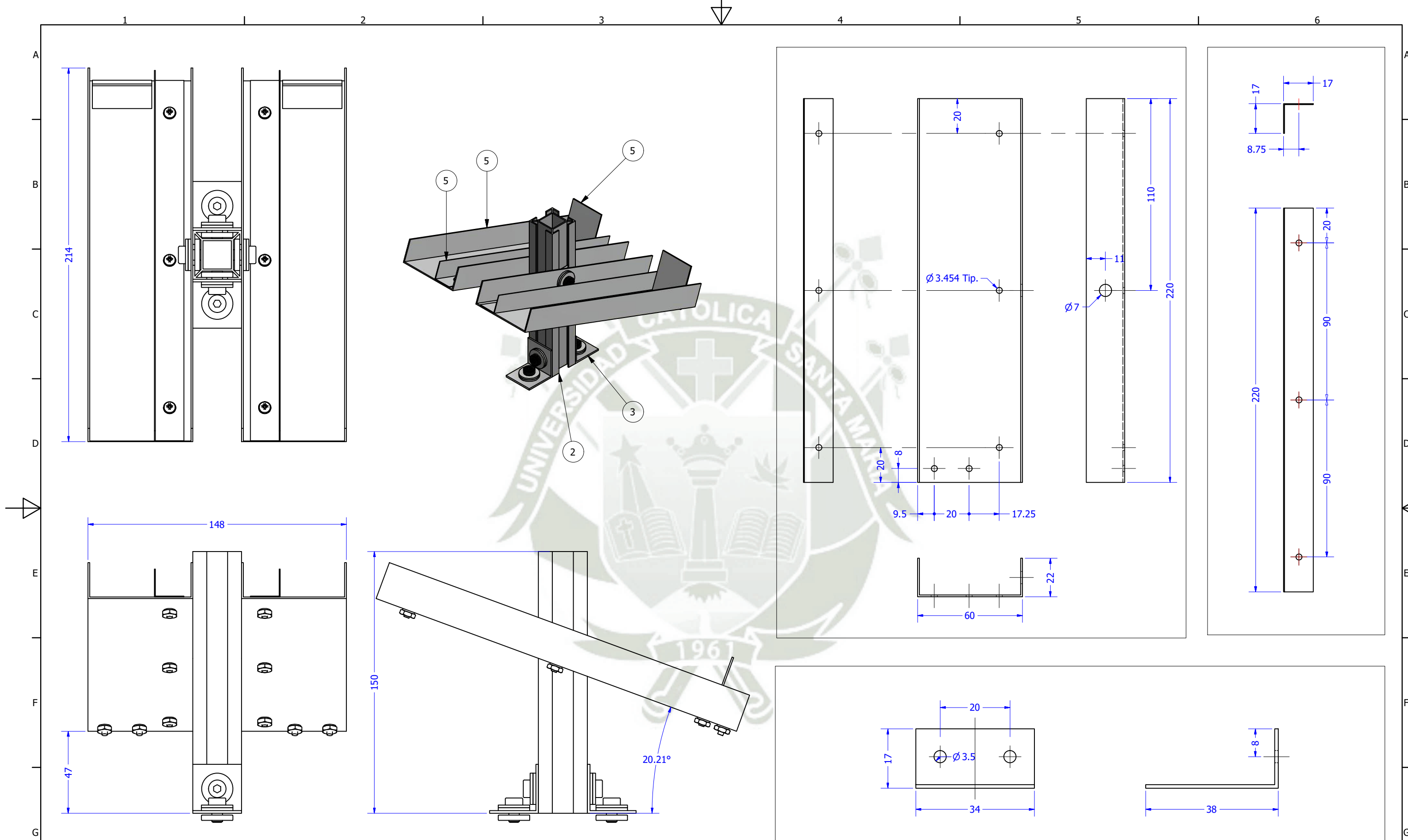


LISTA DE PERFILES					
ITEM	CTD	NUMERO DE PIEZA	LONG UNIT	LONG TOT	MATERIAL
1	3	BL_28x850	850 mm	2550.000 mm	Genérico
2	5	BL_28x28	28 mm	140.000 mm	Genérico
3	2	BL_28x450	450 mm	900.000 mm	Genérico

LISTA DE PIEZAS DE DISEÑO					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
4	1	Ele Camara		Generic	0.01 kg
7	6	Ele 2 1.5mm		Generic	0.002 kg
8	12	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg
9	1	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg
14	1	ensamble_webcam			0.016 kg

LISTA DE PERNOS Y TORNILLOS				
ITEM	CTD	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
10	1	ANSI B18.6.2 - 1/4-20 UNC - 3.25	*Varies*	*Varies*
11	1	ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20	Steel, Mild	Hex Machine Screw Nut

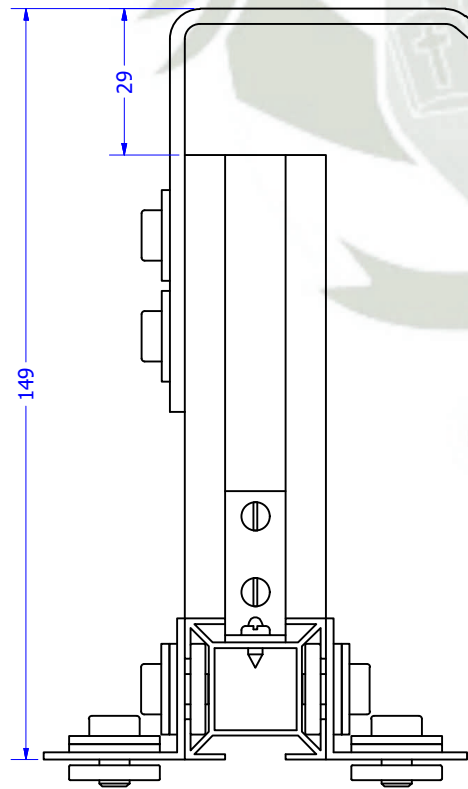
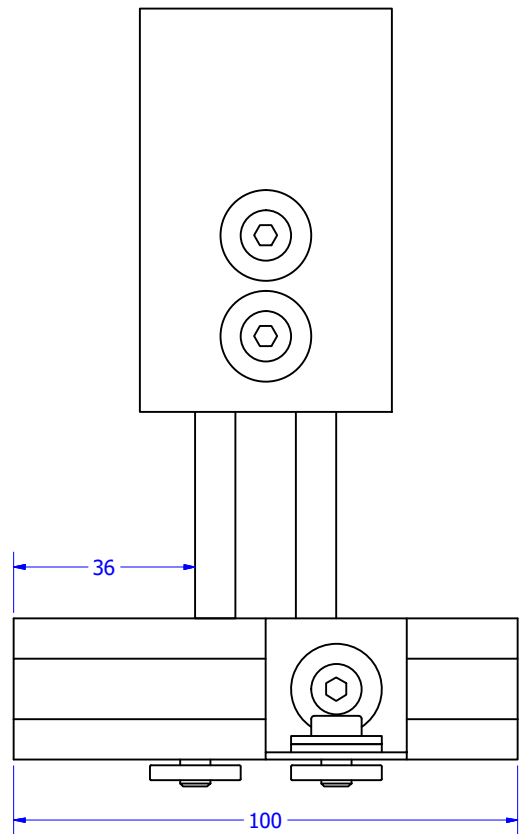
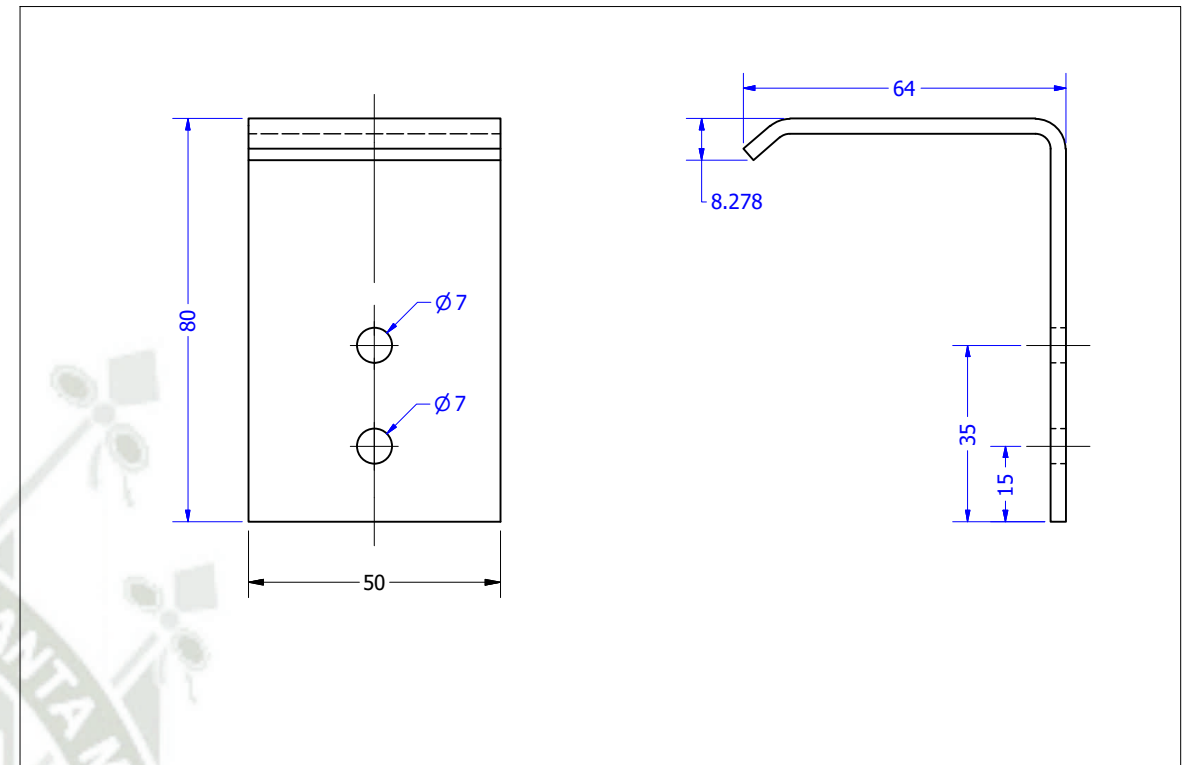
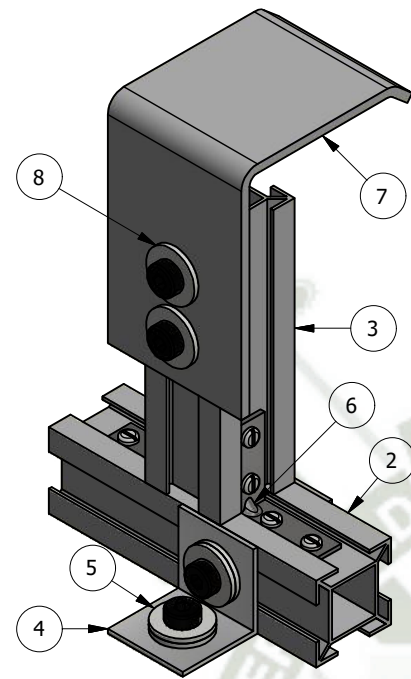
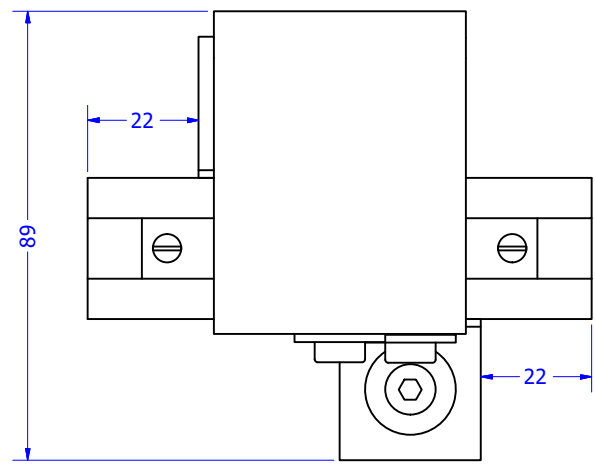
Dibujado:	Nombre C. Valdivia, F. Ticona	Fecha 28/09/2018	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Comprobado:	Sergio Mestas			
Proyecto:			SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS	
Título:			SISTEMA DE CAMARA	
Escala:			1 : 5	
Standard:			ANSI	
Plano N°:			1.07.00	
Hoja / Hojas:			39 / 46	




LISTA DE PIEZAS

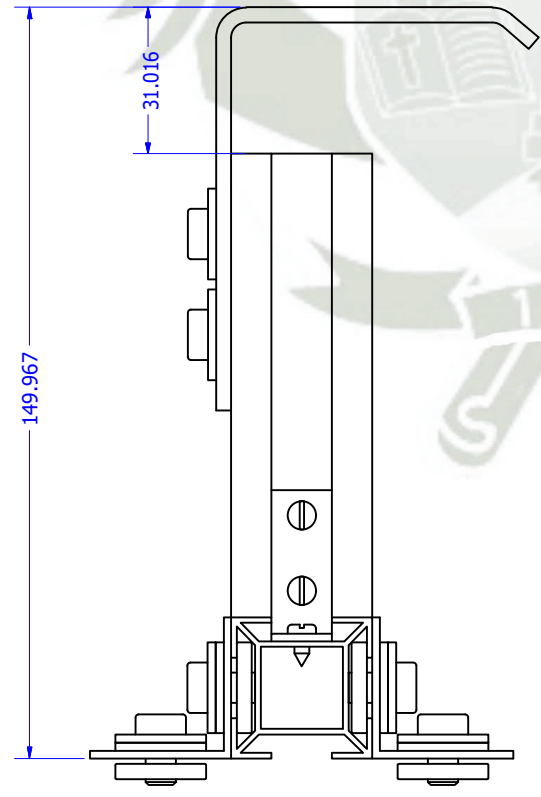
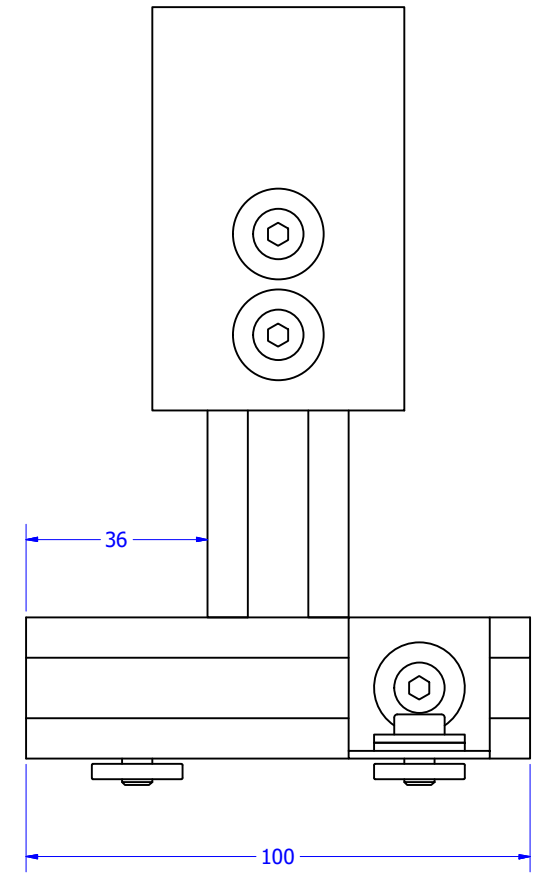
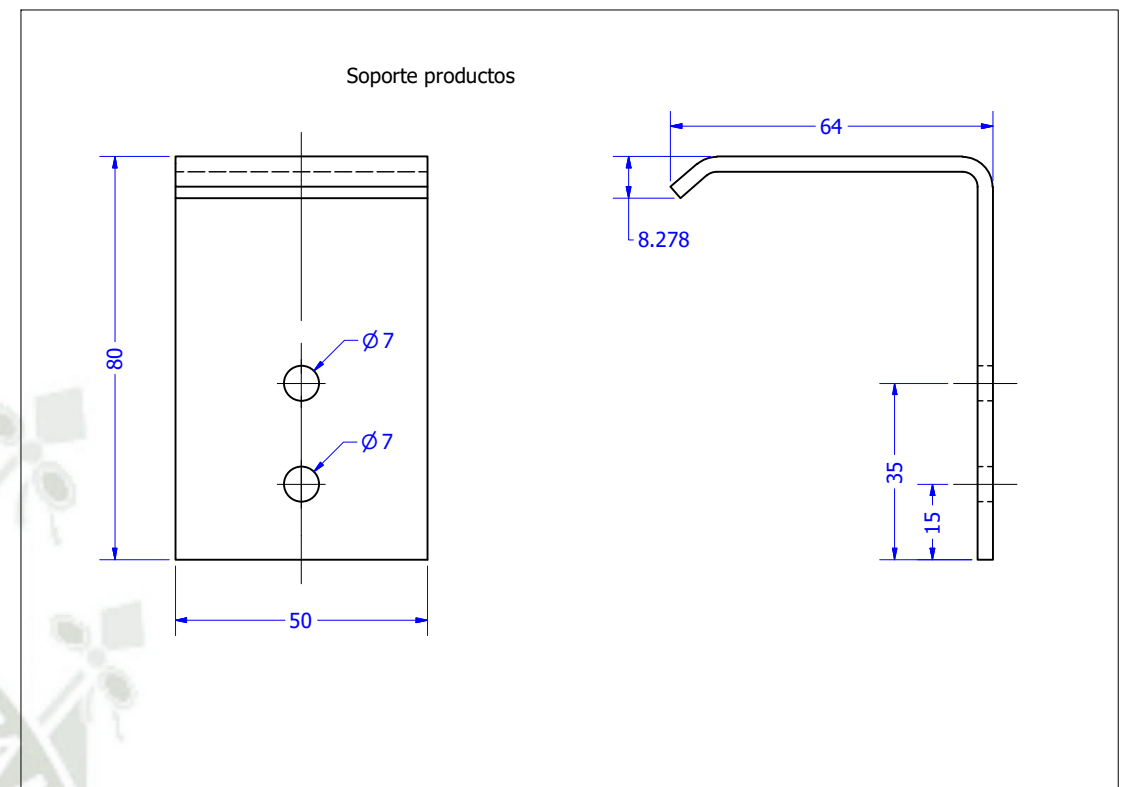
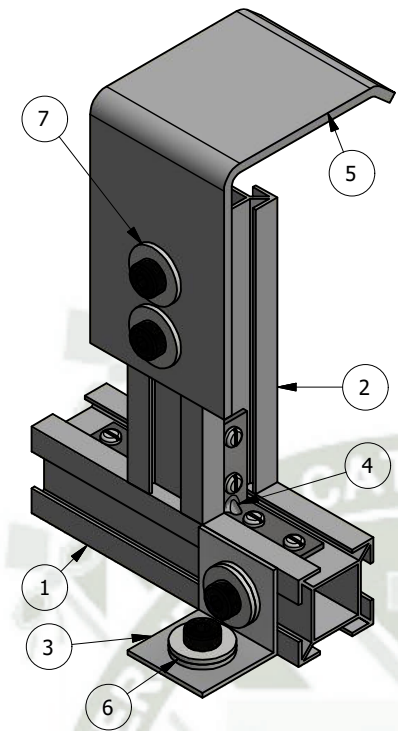
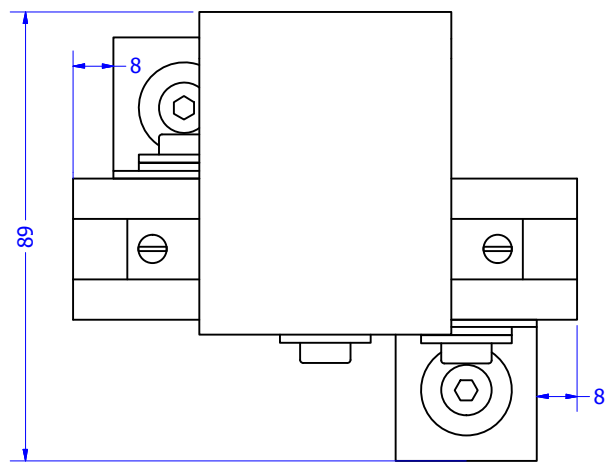
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	Mesa		Generic	0 kg
2	1	BL_28x150		Genérico	0.025 kg
3	2	Ele 2 1.5mm		Generic	0.002 kg
4	4	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg
5	1	Carril derecho de chute			0.086 kg
6	1	Carril izquierdo de chute			0.086 kg
7	2	SUJECION TIPO A_1.0mm			0.017 kg

Dibujado:	Nombre	Fecha	Firma
	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018	
Comprobado:	Sergio Mestas		
Título:	Proyecto: SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 1 : 2 Standard: ANSI
	CHUTE		




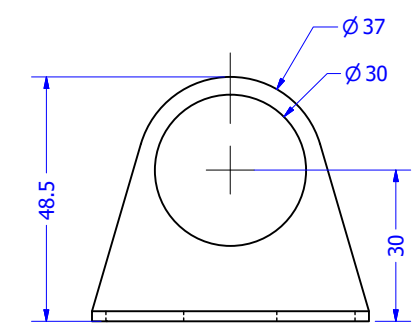
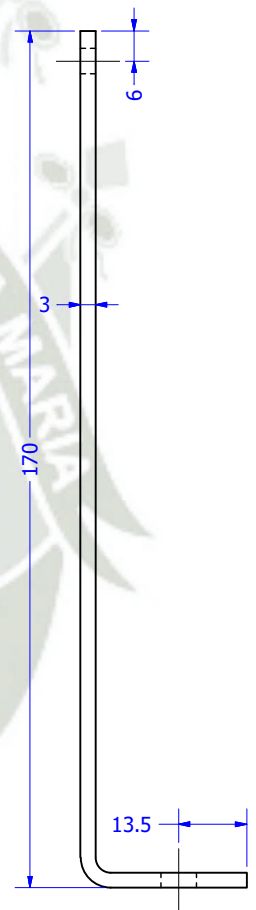
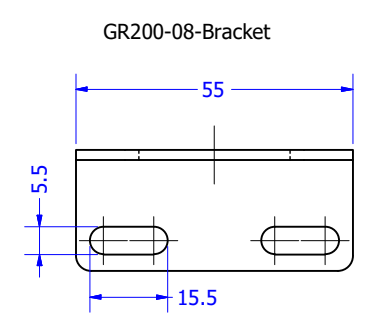
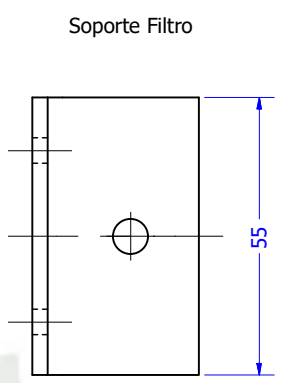
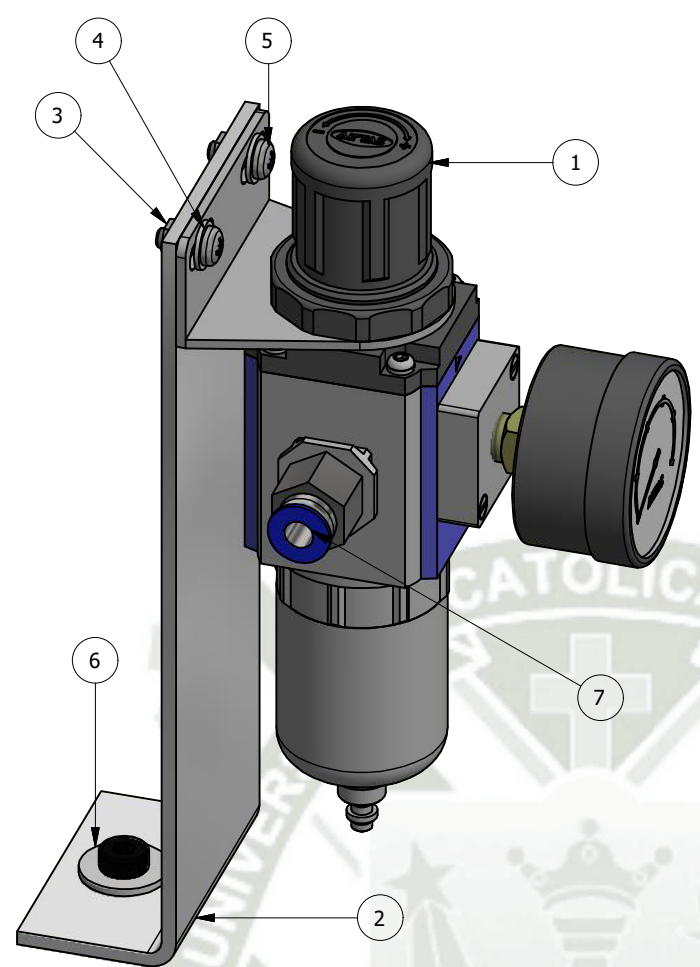
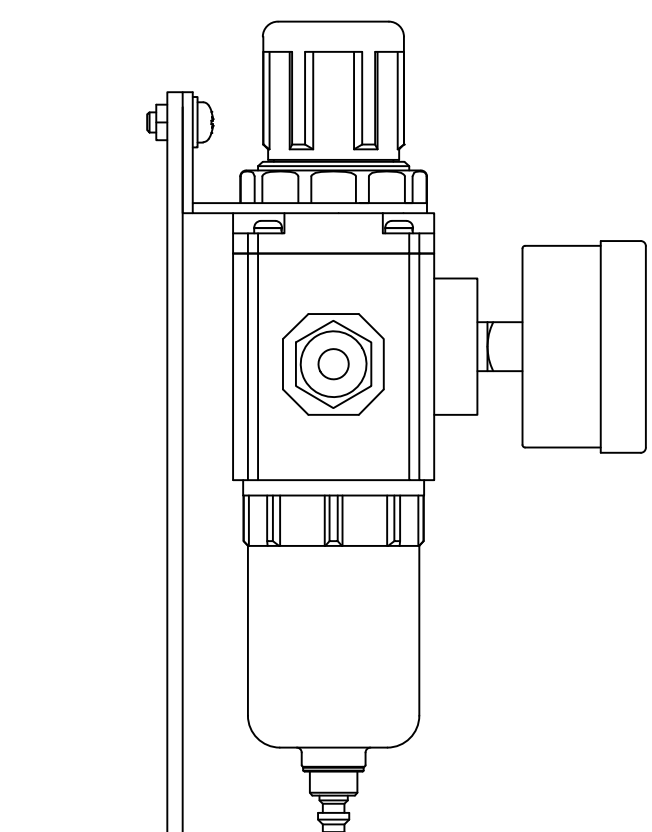
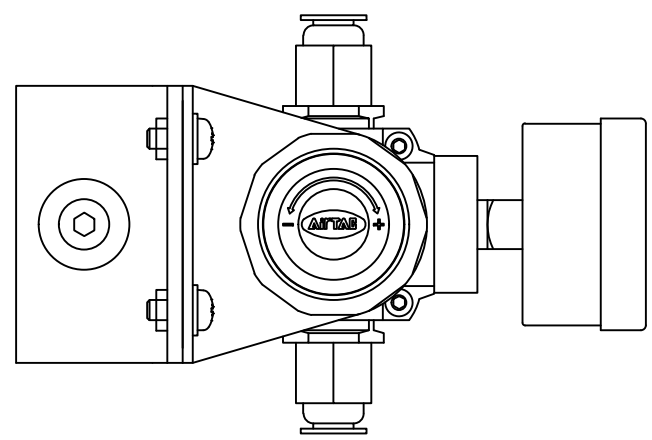
LISTA DE PIEZAS					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
2	1	BL_28x100		Genérico	0.016 kg
3	1	BL_28x92		Genérico	0.015 kg
4	2	Ele 2 1.5mm		Generic	0.002 kg
5	4	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg
8	2	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg
6	2	ensamble ele 1			0.003 kg
7	1	Soporte productos		Generic	0.021 kg
1	1	Mesa		Generic	0 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado:	Sergio Mestas			Escala: 1 : 2 Standard: ANSI
	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Plano N°: 1.09.00 Hoja / Hojas 41 / 46
	Título:	PORTADOR DE DISCOS 01		



LISTA DE PIEZAS					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	BL_28x100		Genérico	0.016 kg
2	1	BL_28x92		Genérico	0.015 kg
3	2	Ele 2 1.5mm		Generic	0.002 kg
4	2	ensamble ele 1			0.003 kg
5	1	Soporte productos		Generic	0.021 kg
6	4	SUJECION TIPO A_1.5mm			0.017 kg
7	2	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg

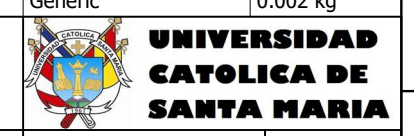
Dibujado:	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado:	Sergio Mestas			
Proyecto:			SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS	
Título:			PORTADOR DE DISCOS 02	
Escala:			ANSI	
Standard:			ANSI	
Plano N°:			Hoja / Hojas	
			42 / 46	

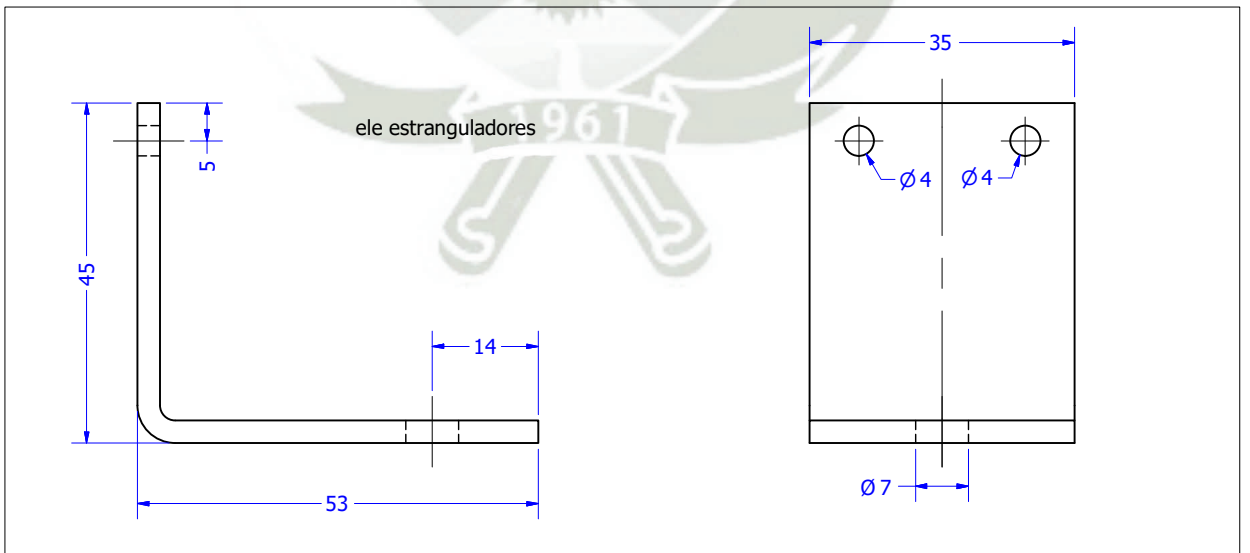
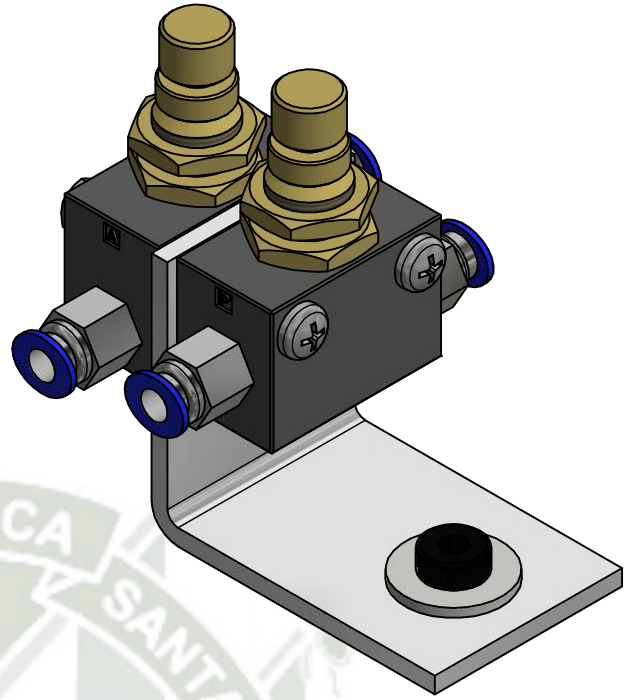
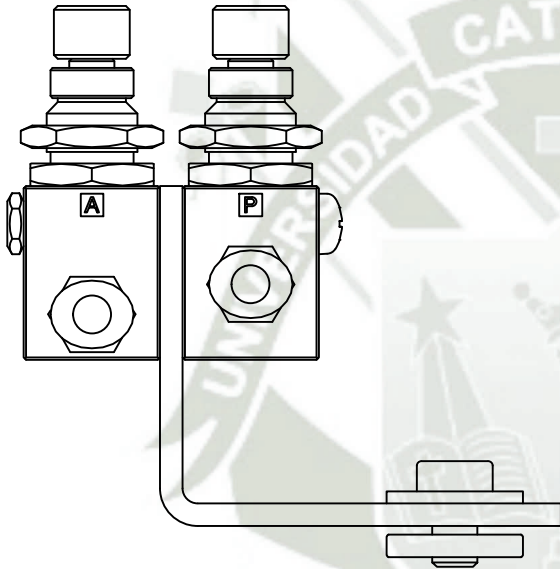
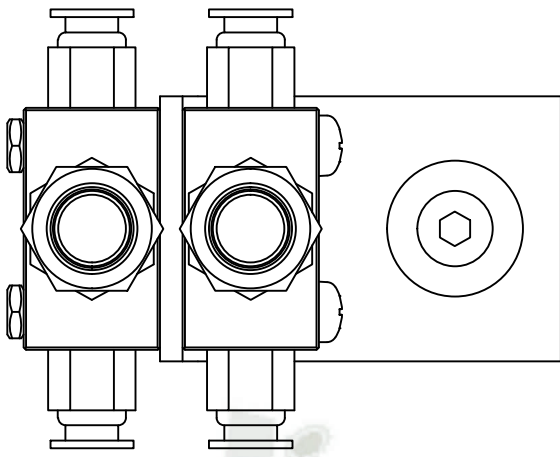


LISTA DE PIEZAS					
ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	GFR200-08-C1-P	GFR-Filter and regulator		0.167 kg
2	1	Soporte Filtro		Generic	0.032 kg
3	2	ISO 4036 - M4	Hexagon thin nuts(un chamfered) - product grade B	Acero inoxidable, 440C	0.001 kg
4	2	ISO 7091 - ST 4 - 100 HV	Arandelas planas - Serie normal	Acero	0 kg
5	2	ISO 7045 - M4 x 10 - 4.8 - Z	Tornillo de cabeza redondeada con hueco cruciforme de tipo Z	Acero inoxidable, 440C	0.002 kg
6	1	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg
7	2	adaptador c		Generic	0.002 kg

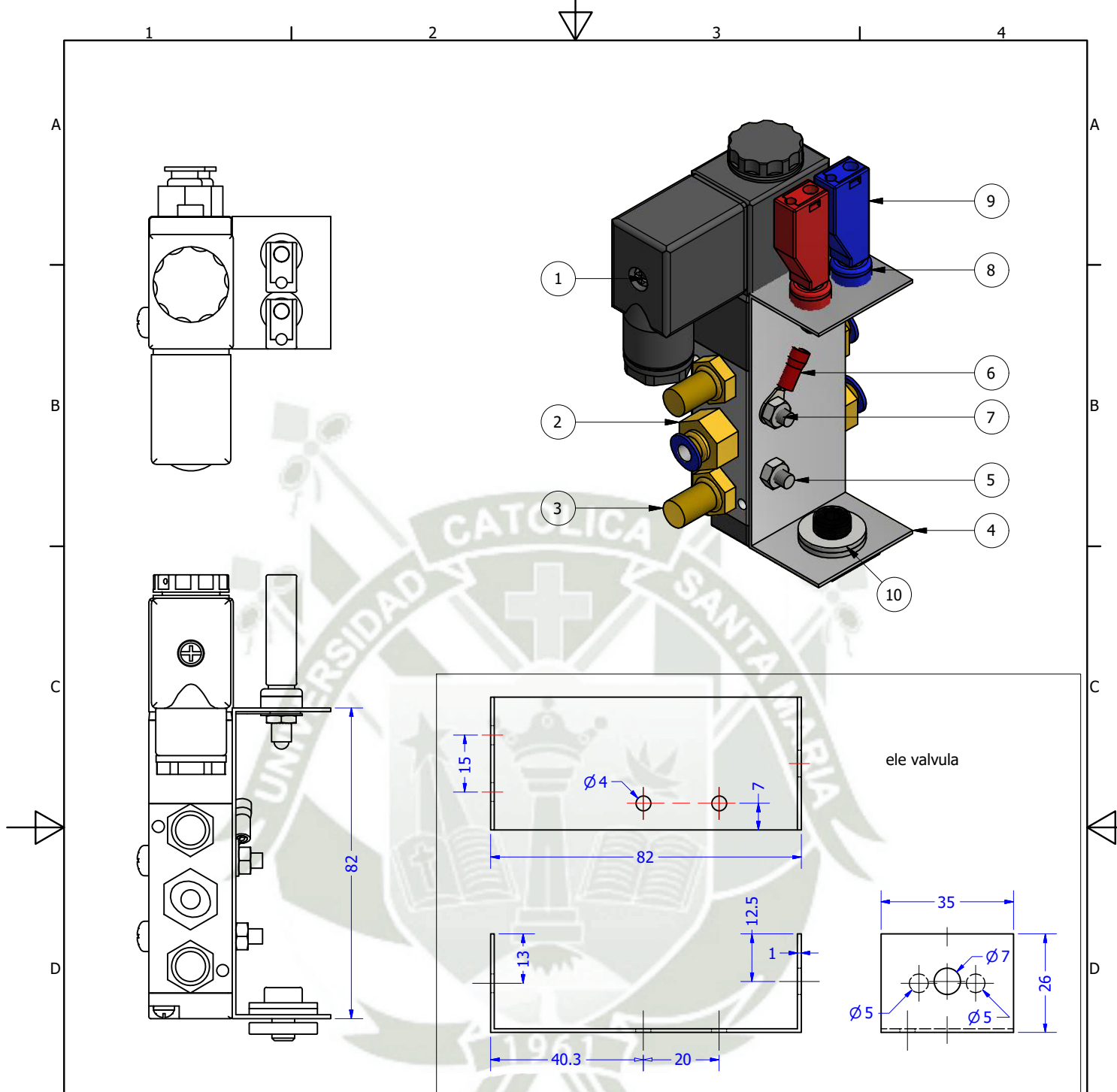
Dibujado:	Nombre C. Valdivia, F. Ticona	Fecha 28/09/2018	Firma
Comprobado:	Sergio Mestas		

Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS	Escala:	2 : 3
Título:	SISTEMA DE FILTRADO	Standard:	ANSI
		Plano N°:	1.11.00
		Hoja / Hojas	43 / 46





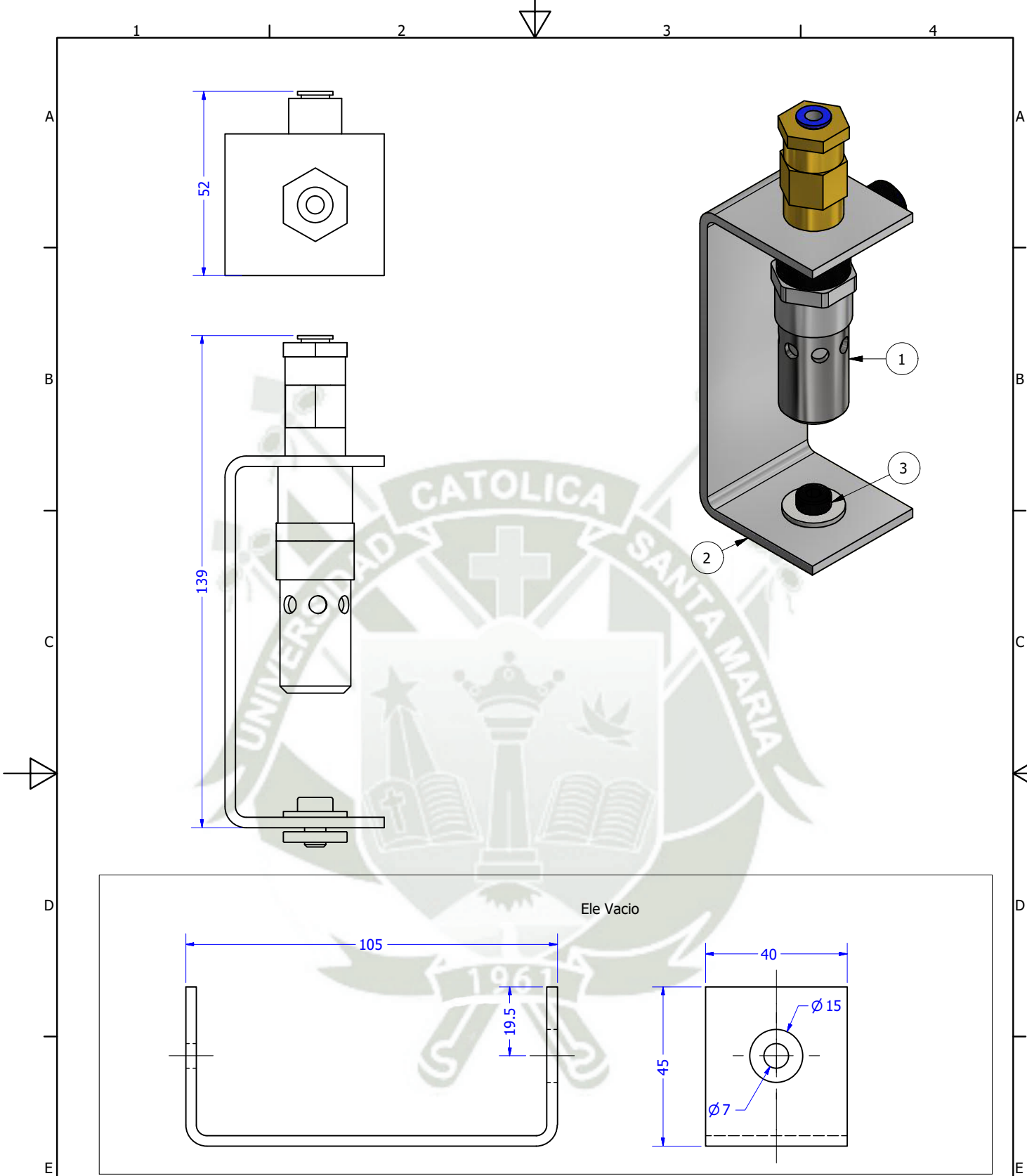
	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			Escala: 1 : 1 Standard: ANSI 
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Plano N°:
	Título:	ESTRANGULADOR		1.12.00
				Hoja / Hojas
				44 / 46



LISTA DE PIEZAS


ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	4V210-08-B-P	4V200-Solenoid Valve		0.095 kg
2	3	adaptador b		Generic	0.001 kg
3	2	Filtro a		Generic	0.001 kg
4	1	ele valvula		Generic	0.005 kg
8	2	4mm Panel Mount Banana Socket			0.001 kg
9	2	4mm Banana Connector - SCI R8-19			0.002 kg
6	1	#8 Terminal Ring 22 - 18 AWG		Generic	0 kg
10	1	SUJECION TIPO A_1.0mm			0.017 kg
5	2	ANSI B18.6.7M - M4x0.7 x 30	Tornillo para maquinaria con cabeza ranura en cruz	Steel, Mild	0.004 kg
7	2	ANSI B 18.2.4.1 M - M4 x 0.7	Hex Nut	Steel, Mild	0.001 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 2 : 3 Standard: ANSI
	Título:	BANCO DE VALVULA		Plano N°: 1.14.00 Hoja / Hojas: 45 / 46



LISTA DE PIEZAS

ITEM	CTD	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	Vacio		Generic	0.031 kg
2	1	Ele Vacio		Generic	0.022 kg
3	1	SUJECION TIPO A_3.0mm			0.014 kg

	Nombre	Fecha	Firma	 UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado:	C. Valdivia, F. Ticona	28/09/2018		
Comprobado	Sergio Mestas			
F	Proyecto:	SISTEMA DE CONTROL DE MEDIDAS		Escala: 2 : 3 Standard: ANSI
	Título:	BANCO DE SISTEMA DE VACIO		Plano N°: 1:15:00 Hoja / Hojas 46 / 46

Apéndice D

Muestras

TABLA D.1: Total de muestras analizadas

Muestra	Dimensiones					Validación
	D_r [mm]	D_f [mm]	$D_{m(Op.2)}$ [mm]	e_f [mm]	$e_{m(Op.2)}$ [mm]	
001	30	29.78	29.64	0.22	0.36	P
002	35	34.93	34.05	0.07	0.95	G
003	35	33.33	34.28	1.67	0.72	G
004	30	29.87	29.84	0.13	0.16	P
005	35	34.85	34.37	0.15	0.63	G
006	35	35.15	34.28	-0.15	0.72	G
007	35	34.85	33.78	0.15	1.22	G
008	30	30.13	29.46	-0.13	0.54	P
009	30	30.04	29.52	-0.04	0.48	P
010	35	34.85	34.13	0.15	0.87	G
011	30	30.13	29.68	-0.13	0.32	P
012	35	35.30	34.25	-0.30	0.75	G
013	30	30.13	29.55	-0.13	0.45	P
014	30	30.30	29.54	-0.30	0.46	P
015	30	30.90	29.62	-0.90	0.38	P
016	35	34.40	34.12	0.60	0.88	G

Tabla D.1 continuación de la página previa

Muestra	Dimensiones					Validación
	D_r [mm]	D_f [mm]	$D_{m(Op.2)}$ [mm]	e [mm]	$e_{m(Op.2)}$ [mm]	
017	35	34.85	34.48	0.15	0.52	G
018	30	30.04	29.58	-0.04	0.42	P
019	30	29.34	29.35	0.66	0.65	P
020	35	35.30	34.13	-0.30	0.87	G
021	30	29.87	29.54	0.13	0.46	P
022	30	29.34	29.55	0.66	0.45	P
023	35	35.96	34.22	-0.96	0.78	G
024	30	30.13	29.86	-0.13	0.14	P
025	35	34.93	34.33	0.07	0.67	G
026	35	34.55	34.26	0.45	0.74	G
027	30	29.43	29.60	0.57	0.40	P
028	35	34.85	34.50	0.15	0.50	G
029	30	30.13	29.74	-0.13	0.26	P
030	30	30.04	29.88	-0.04	0.12	P
031	30	30.04	29.75	-0.04	0.25	P
032	35	34.93	34.10	0.07	0.90	G
033	35	34.93	34.24	0.07	0.76	G
034	35	35.08	34.01	-0.08	0.99	G
035	30	28.81	29.94	1.20	0.06	P
036	30	27.32	29.89	2.68	0.11	P
037	35	34.85	34.34	0.15	0.66	G
038	30	30.13	29.79	-0.13	0.21	P
039	35	34.85	34.43	0.15	0.57	G
040	30	30.04	28.78	-0.04	1.22	P
041	30	30.04	31.00	-0.04	-1.00	P
042	35	35.30	35.33	-0.30	-0.33	G
043	35	35.59	35.49	-0.59	-0.49	G
044	35	35.59	35.62	-0.59	-0.62	G
045	35	35.81	35.75	-0.81	-0.75	G

Tabla D.1 continuación de la página previa

Muestra	Dimensiones					Validación
	D_r [mm]	D_f [mm]	$D_{m(Op.2)}$ [mm]	e [mm]	$e_{m(Op.2)}$ [mm]	
046	35	35.30	35.46	-0.30	-0.45	G
047	30	30.30	30.68	-0.30	-0.68	P
048	35	35.30	35.40	-0.30	-0.40	G
049	35	35.30	35.47	-0.30	-0.47	G
050	35	35.30	35.54	-0.30	-0.54	G
051	35	35.15	35.55	-0.15	-0.55	G
052	30	30.04	30.99	-0.04	-0.99	P
053	35	35.59	35.50	-0.59	-0.50	G
054	35	35.30	35.53	-0.30	-0.53	G
055	35	34.85	35.53	0.15	-0.53	G
056	30	30.04	30.92	-0.04	-0.92	P
057	35	35.52	35.59	-0.52	-0.59	G
058	35	35.30	35.61	-0.30	-0.61	G
059	35	34.48	35.52	0.52	-0.52	G
060	30	30.30	30.72	-0.30	-0.72	P
061	35	35.30	35.49	-0.30	-0.49	G
062	30	30.30	30.79	-0.30	-0.79	P
063	30	30.13	30.71	-0.13	-0.71	P
064	35	34.48	35.32	0.52	-0.32	G
065	30	30.30	30.79	-0.30	-0.79	P
066	30	31.73	30.72	-1.73	-0.72	P
067	35	35.30	35.48	-0.30	-0.48	G
068	30	30.30	30.79	-0.30	-0.79	P
069	35	35.30	35.49	-0.30	-0.49	G
070	30	31.73	30.69	-1.73	-0.69	P
071	30	30.13	30.66	-0.13	-0.66	P
072	35	35.15	35.38	-0.15	-0.38	G
073	30	30.30	30.82	-0.30	-0.82	P
074	35	34.55	35.24	0.45	-0.24	G

Tabla D.1 continuación de la página previa

Muestra	Dimensiones					Validación
	D_r [mm]	D_f [mm]	$D_{m(Op.2)}$ [mm]	e [mm]	$e_{m(Op.2)}$ [mm]	
075	30	30.39	30.90	-0.39	-0.90	P
076	35	35.30	35.40	-0.30	-0.40	G
077	30	30.13	31.11	-0.13	-1.11	P
078	35	35.52	35.54	-0.52	-0.54	G
079	35	35.59	35.51	-0.59	-0.51	G
080	30	29.78	30.89	0.22	-0.89	P
081	30	31.73	30.76	-1.73	-0.76	P
082	35	35.30	35.46	-0.30	-0.45	G
083	35	35.30	35.36	-0.30	-0.36	G
084	30	30.30	30.72	-0.30	-0.72	P
085	35	34.48	35.35	0.52	-0.35	G
086	30	29.87	30.68	0.13	-0.68	P
087	35	34.85	35.45	0.15	-0.45	G
088	30	30.13	30.56	-0.13	-0.56	P
089	30	27.13	30.72	2.87	-0.72	P
090	30	29.78	30.95	0.22	-0.95	P
091	30	30.04	30.60	-0.04	-0.60	P
092	35	34.55	35.44	0.45	-0.44	G
093	30	30.04	30.69	-0.04	-0.69	P
094	30	30.13	30.81	-0.13	-0.81	P
095	35	35.37	35.35	-0.37	-0.35	G
096	30	30.04	31.02	-0.04	-1.02	P
097	30	30.13	30.86	-0.13	-0.86	P
098	30	30.13	30.81	-0.13	-0.81	P
099	35	35.08	35.49	-0.08	-0.49	G
100	30	29.87	30.71	0.13	-0.71	P