

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 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL CON UNA CÁMARA DE ESCANEAMIENTO LINEAL PARA LA INSPECCIÓN DE ETIQUETAS EN ENVASES CILÍNDRICOS”

Tesis presentada por el Bachiller:

Vilca Huamani, Christian

para Optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Ing. Mestas Ramos, Sergio

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 SISTEMA DE
VISION ARTIFICIAL CON UNA CAMARA DE
ESCANEEO LINEAL PARA LA INSPECCION DE
ETIQUETAS EN ENVASES CILINDRICOS”**

Presentado por el Bachiller:

VILCA HUAMANI CHRISTIAM

Nuestro **DICTAMEN** es:

Favorable

OBSERVACIONES: Ninguna

Arequipa, 03 de marzo del 2019



ING. MARCELO QUISPE CCACHUCO



ING. SERGIO MESTAS RAMOS

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme tener una gran familia, conocer increíbles personas y tener grandes maestros.

A mis padres, Felipe y Vilma, por formarme y guiarme con el ejemplo cada día. Siempre me apoyaron y acompañaron en mis logros, incluso en los momentos más difíciles de mi vida me recibieron con los brazos abiertos y confiaron en mis decisiones.

A mi tía Ana María, que desde pequeño me dio el amor de una madre y siempre me acompañó en cada paso de mi vida.

A mis hermanos Miguel Ángel y Jean Paul, por darme los mejores consejos y todo su apoyo cuando más los necesitaba. Sus palabras me impulsan a alcanzar todos mis objetivos.

A mi asesor Ing. Sergio Mestas Ramos, por ser un gran maestro y contribuir en mi formación profesional, por su asesoramiento y consejos en cada revisión de mis avances de tesis.

Al Ing. Marcelo Quispe Cacchuco, por no solo ser un maestro sino un amigo en mi formación profesional y concursos.

En especial quiero agradecerte a ti, Ana Claudia; por ser esa persona que me impulsa a ser mejor persona cada día y me permite ver la vida como el mejor de los regalos a tu lado. Sin tu apoyo y el de Babi, no podría haber continuado con esas largas noches de trabajo. Su compañía alegra todos mis días y me desafía a seguir alcanzando metas.

Índice General

Índice de Figuras	iv
Índice de Tablas	viii
Resumen	ix
Abstract	xi
Introducción	xiii
Capítulo 1	1
Marco Metodológico	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo Principal	3
1.3.1 Objetivos Secundarios	3
1.4 Hipótesis	3
1.5 Justificación	3
1.5.1 Justificación Técnica	3
1.5.2 Justificación Económica	3
1.5.3 Justificación Social	4
1.6 Alcances y limitaciones	4
Capítulo 2	6
Marco Teórico	6
2.1 Visión Artificial	6
2.1.1 Imagen	7
2.1.2 Modelos	8
Modelo de color RGB	8
Modelo de color CMY y CMYK	9
Modelo de color HSI	10
2.2 Representación	12
2.2.1 Contornos	12
2.2.2 Regiones	14
2.3 Procesamiento	15
2.3.1 Procesamiento de nivel bajo	16
2.3.2 Procesamiento de nivel intermedio	17
2.3.3 Procesamiento de alto nivel	20
2.4 Procesamiento Morfológico	22
Conjuntos	22
Elemento estructurante	24
2.4.1 Operaciones Morfológicas en imágenes binarias	25
Erosión Binaria	25
Dilatación Binaria	26
Apertura y Cierre	27
2.4.2 Operaciones Morfológicas en imágenes con niveles de grises	28
Erosión en niveles de grises	28
Dilatación en niveles de grises	29
Apertura y cierre en niveles de grises	30
2.5 Parámetros en sistemas de visión lineal	32
2.5.1 Reconocimiento (Velocidad)	32
2.6 Cámaras	33
2.6.1 Tipos	34
Según la tecnología del sensor	34

Según la disposición física	34
Cámaras lineales	34
Cámaras matriciales.....	35
2.7 Procesador	36
2.8 Motor	38
2.8.1 Servomotor	38
2.8.2 Motor a pasos	38
Circuitos L/R	39
Circuitos Chopper	39
2.9 Iluminación	40
2.9.1 Técnicas de iluminación	40
2.10 Lentes	41
2.10.1 Formula gaussiana de las lentes delgadas	41
2.10.2 Pasos para seleccionar un lente	44
Capítulo 3	45
Diseño e Implementación	45
3.1 Estado del Arte	45
3.1.1 Control de Posición	48
3.1.2 Iluminación	50
3.1.3 Captura de Frames	51
3.2 Diseño del Sistema	56
3.2.1 Selección de controlador	56
3.2.2 Selección de Cámara	60
3.2.3 Selección de Iluminación	67
3.2.4 Selección de Controlador para Iluminación	68
3.2.5 Implementación de sub-ensambles y selección de componentes	71
3.2.5.1 Alimentador de Envases	72
Implementación de Motor STEPPER	77
Realimentación del control de Alimentador	78
3.2.5.2 Sistema de Sujeción	80
3.2.5.3 Separador de Envases	84
3.2.6 Diseño Electrónico	87
3.2.6.1 Fuente de Alimentación Externa	87
3.2.6.2 Alimentación de controlador BOE	88
3.2.6.3 Interfaz Electrónica	88
Capítulo 4	97
Programación	97
4.1 Diagrama de flujo del funcionamiento	97
4.2 Selección de lenguajes de programación del controlador	98
4.3 Programación en COG's	99
4.4 Control de posición	101
4.4.1 Control de alimentador	101
4.4.2 Control de sistema de sujeción	104
4.5 Control de iluminación	109
4.5.1 Control TRINKET 5V	110
4.6 Control de Cámara Line Scan	111
4.7 Comunicación entre controlador y MATLAB	117
4.8 Procesamiento de Imagen	118
4.8.1 Reconocimiento óptico de caracteres (ROC)	122
4.9 Selección de envases	125
Capítulo 5	129
Pruebas y Resultados	129

Conclusiones	134
Recomendaciones	135
Referencia Bibliografía	136
Anexos Planos Eléctricos	138
Anexos Planos Mecánicos	139



Índice de Figuras

Fig. 2.1. Esquema general de visión por computadora	6
Fig. 2.2. Imagen formada por pixeles	7
Fig. 2.3. Representación matemática de una imagen: $f(x,y)$	8
Fig. 2.4. Esquema simplificado del espacio RGB.	9
Fig. 2.5. Tipos de bases para representación HSI	10
Fig. 2.6. Modelo de color HSI basado en planos triangulares y circulares.	11
Fig. 2.7. La forma de la izquierda se aproxima por una serie de segmentos de recta entre los puntos X_1X_{10}	12
Fig. 2.8. a). Agrupamiento, cuando la orientación es mayor a cierto ángulo. b) y c) División, se unen los puntos entremos y se ubica el punto más alejado de la curva.	13
Fig. 2.9. Números direccionales para 4 y 8 direcciones	13
Fig. 2.10. Representación utilizando código de cadena de 4 y 8 direcciones	14
Fig. 2.11. Arreglo de pertenencia espacial	15
Fig. 2.12. Codificación eje Y	15
Fig. 2.13. Ejemplo de discontinuidad	16
Fig. 2.14. Árbol cuaternario	18
Fig. 2.15. Árbol cuaternario a una imagen real	18
Fig. 2.16. Segmentación por histograma	19
Fig. 2.17. Crecimiento de regiones	19
Fig. 2.18. Esquema de elementos del procesado morfológico	22
Fig. 2.19. Conjuntos en imagen binaria	23
Fig. 2.20. Complemento de imagen binaria	23
Fig. 2.21. Traslación en imagen binaria	23
Fig. 2.22. Transposición en imagen binaria	24
Fig. 2.23. Elemento estructurante en una imagen	24
Fig. 2.24. Elementos estructurantes típicos	24
Fig. 2.25. Representación de ubicación de Elemento estructurante	25
Fig. 2.26. a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen erosionada con elemento estructurante tipo disco de radio 2	26
Fig. 2.27. a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen dilatada con elemento estructurante tipo disco de radio 5	26
Fig. 2.28. a) Imagen segmentada. b) Erosión con elemento estructurante de disco de radio 2. c) Apertura con elemento estructurante de disco de radio 2	27
Fig. 2.29. a) Imagen segmentada. b) Dilatación c) Cierre	27
Fig. 2.30. a) Una función simple. b) Elemento estructurante de altura A. c) Resultado completo de la erosión	28
Fig. 2.31. a) Una función simple. b) Elemento estructurante de altura A. c) Resultado de la dilatación para varios puntos deslizando b en f. d) Resultado completo de la dilatación	29
Fig. 2.32. a) Imagen original. b) Resultado de la dilatación (más claro) c) Resultado de la erosión (más oscuro)	30
Fig. 2.33. a) Línea de escaneo en escala de grises. b) Posiciones del elemento estructurante (esfera) para la apertura. c) Resultado de la apertura. d) Posiciones del elemento estructurante (esfera) para el cierre. e) Resultado del cierre.	31
Fig. 2.34. a) Imagen original. b) Resultado de una apertura. c) Resultado de un cierre	32
Fig. 2.35. Construcción lineal de imagen	34
Fig. 2.36. Obtención de la imagen mediante barridos sucesivos	35
Fig. 2.37. Motor a pasos unipolar	39
Fig. 2.38. Diagrama de lente delgada	41
Fig. 3.1. Sistema de inspección con cámara de escaneo lineal	48

Fig. 3.2. Digital CCD Line Camera – CCD-S3600-D(-UV)13	51
Fig. 3.3. Time delay and Integration Effect (TDI)	53
Fig. 3.4. Frame Grabber Xtium – CLHS PX8	53
Fig. 3.5. Propeller Board of Education	56
Fig. 3.6. Arquitectura interna de Propeller	58
Fig. 3.7. Memoria EEPROM en BOE	58
Fig. 3.8. Memoria Compartida BOE	59
Fig. 3.9. Sticker con malla cuadrada de 1mm	60
Fig. 3.10. Ubicación de sticker	60
Fig. 3.11. Diagrama prueba de sensor	62
Fig. 3.12. Imagen real 8 MP	63
Fig. 3.13. Conexión de TSL3301	64
Fig. 3.14. Ubicación de cámara	64
Fig. 3.15. Distribución fotoceldas en sensor TSL 3301	65
Fig. 3.16. MOBOTIX MX-B079	66
Fig. 3.17. NeoPixel Stick RGB LED 8	67
Fig. 3.18. Secuencia de caracteres	68
Fig. 3.19. Periodo de cada estado	68
Fig. 3.20. Trinket 5V	69
Fig. 3.21. Driver Adafruit	69
Fig. 3.22. Selección de Drivers de Adafruit	69
Fig. 3.23. Gestión de Tarjetas adicionales Arduino	70
Fig. 3.24. Gestor de Tarjetas y contribuciones	70
Fig. 3.25. Instalar paquete Adrafruit AVR Boards	71
Fig. 3.26. Seleccionar Placa y programador en Arduino	71
Fig. 3.27. Sistema en vista isométrica	72
Fig. 3.28. Envase a inspeccionar	72
Fig. 3.29. Transporte de envases cilíndricos	73
Fig. 3.30. Sobre posición de Alimentadores	74
Fig. 3.31. Soporte externo de alimentador 1	74
Fig. 3.32. Soporte externo de alimentador 2	75
Fig. 3.33. Soporte principal sujeción	75
Fig. 3.34. Ensamble alimentador 1	76
Fig. 3.35. Alimentadores de envases al sistema	76
Fig. 3.36. Motor Stepper Serie 23KM-K	77
Fig. 3.37. Relación entre voltaje y corriente en un circuito chopper	78
Fig. 3.38. Driver DRI0043 de la marca DFRobot	77
Fig. 3.39. Sensor Reflectivo OPB701ALZ	79
Fig. 3.40. Pin conexión de sensor reflectivo OPB701ALZ	79
Fig. 3.41. Muecas de cada alimentador	80
Fig. 3.42. Mechanical Iris	80
Fig. 3.43. Sistema de sujeción de envase	81
Fig. 3.44. Sistema de rotación de envase	81
Fig. 3.45. Parallax Standard Servo – 180 (900-00005)	82
Fig. 3.46. Parallax Feedback 360° (900-00360)	83
Fig. 3.47. Vista isométrica del Sistema Sujeción Envase	83
Fig. 3.48. Altura regulable de Servomotor	83
Fig. 3.49. Vista isométrica de: Ensamble Mecanismo Sujeción Envase	84
Fig. 3.50. Tope guidores de ambos separadores	84
Fig. 3.51. Guidores del segundo separador	85
Fig. 3.52. Puntos de contacto con segundo separador	85
Fig. 3.53. Separadores de envase	86

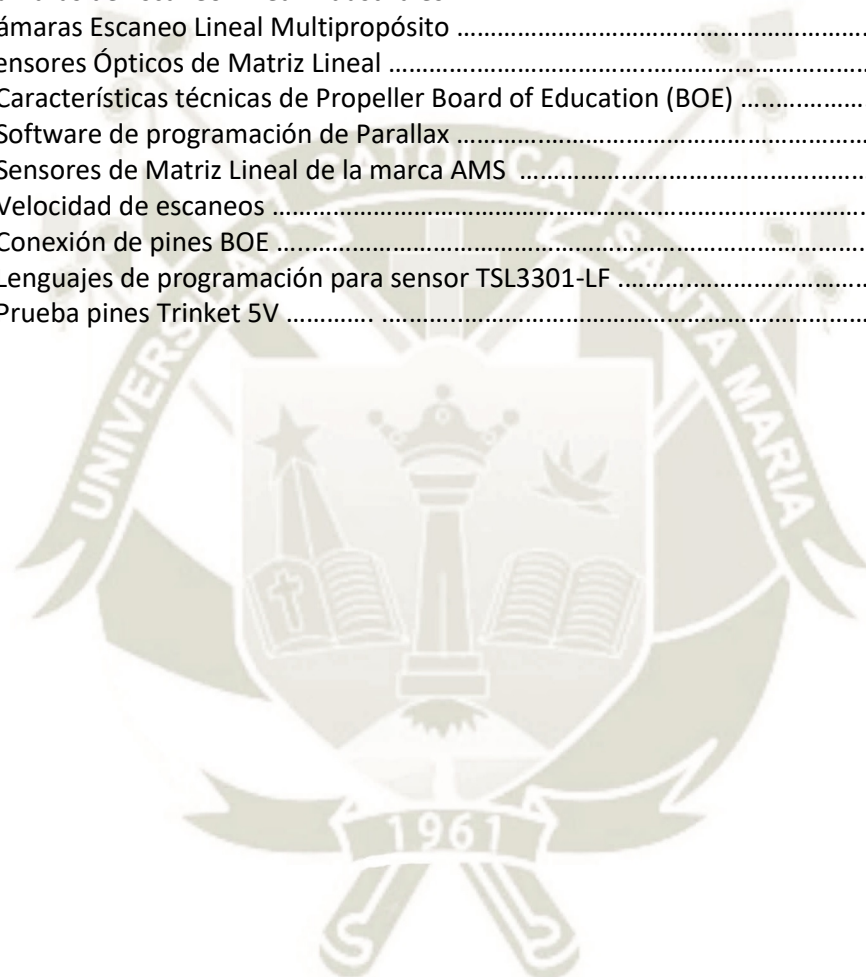
Fig. 3.54. Barra separadora	86
Fig. 3.55. Fuente de energía RSP-320-24	87
Fig. 3.56. Regulador LM2596 DC-DC	88
Fig. 3.57. Conexión Sensor TSL 3301-LF	89
Fig. 3.58. Unión de Neopixel Stick	89
Fig. 3.59. Análisis de corriente en Optoacoplador para Trinket 5V	90
Fig. 3.60. Análisis de corriente en Optoacoplador para Driver Stepper	91
Fig. 3.61. Análisis de corriente en sensor reflectivo	93
Fig. 3.62. Análisis de corriente en pin de control Servomotor 360	94
Fig. 3.63. Tarjeta Acondicionamiento de Señal	95
Fig. 4.1. Diagrama de flujo general del sistema	97
Fig. 4.2. Programación de un COG	99
Fig. 4.3. Diagrama de flujo de cogs en controlador BOE	100
Fig. 4.4. Diagrama de flujo de alineación de alimentadores	101
Fig. 4.5. Ubicación manual de alimentador	102
Fig. 4.6. Señal PWM en terminal PUL	102
Fig. 4.7. Tipos de muescas en alimentador 1	103
Fig. 4.8. Diagrama de flujo de control de alimentadores	104
Fig. 4.9. Relación ancho de pulso vs ángulo para servo 180	105
Fig. 4.10. Diagrama de flujo control Servomotor 180	105
Fig. 4.11. Señal Feedback Servo 360	106
Fig. 4.12. Señal control Servo 360	107
Fig. 4.13. Velocidad promedio vs Ancho de Pulso	108
Fig. 4.14. Diagrama de flujo control Servomotor 360	109
Fig. 4.15. Data transmission Method	110
Fig. 4.16. Composition of 24 bit data	110
Fig. 4.17. Diagrama de flujo control de Sensor TSL3301-LF	112
Fig. 4.18. Diagrama de flujo de la estructura de cada comando	113
Fig. 4.19. Diagrama de flujo para función de RESET	113
Fig. 4.20. Diagrama de flujo para configurar el sensor	114
Fig. 4.21. Diagrama de flujo para iniciar integración	114
Fig. 4.22. Diagrama de flujo para detener integración	115
Fig. 4.23. Diagrama de flujo para iniciar lectura de pixeles	115
Fig. 4.24. Señal de salida del sensor	116
Fig. 4.25. Diagrama de flujo de lectura de pixeles	116
Fig. 4.26. Imagen indexada (102 x 100) pixeles	118
Fig. 4.27. Histograma de imagen indexada	118
Fig. 4.28. Esquema de función imbinarize	119
Fig. 4.29. Negativo de imagen binarizada	119
Fig. 4.30. 8-connected	120
Fig. 4.31. Imagen con bordes filtrados generales	120
Fig. 4.32. Diagrama de flujo de separación de letras	121
Fig. 4.33. Imagen pre-procesamiento	122
Fig. 4.34. Imagen final pre-procesamiento	122
Fig. 4.35. Base maestra de imágenes de 42 x 24 pix	123
Fig. 4.36. Letra "A" de 42 x 24 pix	123
Fig. 4.37. Recorte por fila de caracteres	123
Fig. 4.38. Coeficientes de correlación para la letra A	124
Fig. 4.39. Resultado de Reconocimiento óptico de caracteres	124
Fig. 4.40. Diagrama de flujo para sincronización del giro de barra selectora	126
Fig. 4.41. Barra entre cada envase del alimentador	126
Fig. 4.42. Diagrama de flujo de Seleccionador de envases	127

Fig. 4.43. Barra en 90 grados esperando giro para sincronizar	128
Fig. 5.1. Sistema de Visión con cámara line Scan – vista superior	129
Fig. 5.2. Sistema de Visión con cámara line Scan	129
Fig. 5.3. Área de Inspección con Cámara e iluminación	130
Fig. 5.4. GUI: “Interfaz_Line_scan_TSL3301”	130
Fig. 5.5. Carpeta de base maestra para programa en MATLAB	131
Fig. 5.6. Envases en el alimentador 1	131
Fig. 5.7. Inspección de envase	132
Fig. 5.8. Procesamiento de imagen con MATLAB	132
Fig. 5.9. Selección a la salida del alimentador 2	133



Índice de tablas

Tabla 1: Métodos de Adquisición de Imagen	46
Tabla 2: Aplicaciones de Cámaras de Escaneo Lineal	47
Tabla 3: Servomotores industriales y servos RC	48
Tabla 4: Servomotores y Controladores	49
Tabla 5: Lámparas industriales	50
Tabla 6: Lámparas por arreglo de LEDs	51
Tabla 7: Cámaras de Escaneo Lineal industriales	52
Tabla 8: Cámaras Escaneo Lineal Multipropósito	54
Tabla 9: Sensores Ópticos de Matriz Lineal	54
Tabla 10: Características técnicas de Propeller Board of Education (BOE)	57
Tabla 11: Software de programación de Parallax	59
Tabla 12: Sensores de Matriz Lineal de la marca AMS	62
Tabla 13: Velocidad de escaneos	63
Tabla 14: Conexión de pines BOE	96
Tabla 15: Lenguajes de programación para sensor TSL3301-LF	98
Tabla 16: Prueba pines Trinket 5V	111



Resumen

La visión artificial es un campo que se ha integrado a la industria actual en diversos procesos de inspección de objetos. A través de la utilización de diversas técnicas de procesamiento y sobre todo nuevos componentes (Sensores, Frame grabber), su rendimiento y eficiencia pueden mejorar dependiendo de la aplicación. Perú es un país donde la agricultura constituye un importante porcentaje de su PBI, y la exportación de diversos productos al extranjero, generan el mejor beneficio a sus productores. Sin embargo, es necesario que estos productos alcancen diversos estándares internacionales para garantizar su aceptación en otros mercados. La inspección de sus características físicas y la cantidad de productos a revisar, requieren de sistemas automatizados de clasificación. Entre los sistemas más comunes están aquellos que utilizan cámaras de escaneo por área, sin embargo, también existen sensores lineales que son utilizados para inspecciones a alta velocidad.

La presente investigación plantea el diseño y la implementación de un módulo de visión artificial utilizando una cámara de escaneo lineal para la inspección de etiquetas, integrando el control en paralelo mediante la programación en cores de sistemas de posición, iluminación y captura de frames. Para así aplicar algoritmos de procesamiento de imágenes con el software MATLAB y realizar una correcta clasificación.

El contenido de la tesis consta de cinco capítulos que desarrollan:

El capítulo I Marco Metodológico presenta la introducción y descripción del problema a analizar. Luego plantea los objetivos que se desean alcanzar con la investigación y formula la hipótesis. Finalmente, se realiza la justificación técnica, económica y social, que concluye con los alcances que tendrá el trabajo.

El capítulo II Marco Teórico desarrolla todo el fundamento teórico, que abarca primero la representación, procesamiento y operaciones de imágenes. Luego desarrolla una base teórica del funcionamiento y aplicación de los diversos componentes utilizados en el sistema.

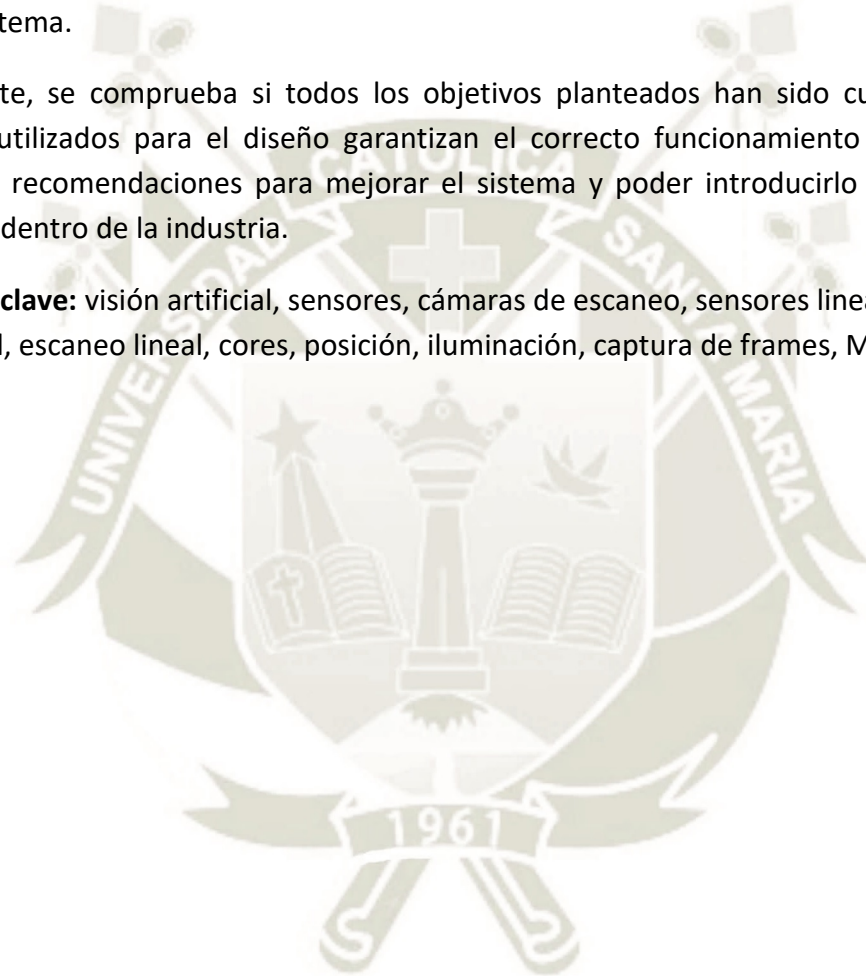
El capítulo III Diseño e Implementación detalla primero el estado del arte de las diversas soluciones que existen en el mercado para solucionar el problema a investigar. Luego explica en su totalidad el proceso de diseño del sistema, desde los cálculos para determinar el sensor y la lente de la cámara, pasando por la selección de componentes que integran los sistemas de posición e iluminación hasta explicar las directrices que se tomaron en el diseño de cada sub ensamble y su implementación. En cuanto al diseño electrónico, se realizaron los cálculos correspondientes para la selección de componentes eléctricos que concluyó en la elaboración de una tarjeta de interfaz y la selección de fuentes de alimentación.

El capítulo IV Programación contiene el tipo de programación en cogs utilizado en todo el sistema y todos los algoritmos implementados primero para el control de cada subsistema de posición, iluminación y captura de frames. Luego comunicación entre el sistema y Matlab, Finalmente la implementación de las técnicas de procesamiento sobre la data y la selección de los envases a través del controlador.

El capítulo V Pruebas y Resultados describe las pruebas realizadas para la calibración de cada componente, así como los requerimientos del sistema y la interacción con la interfaz GUI desarrollada en MATLAB para el control de los algoritmos de procesamiento y comunicación con el sistema.

Finalmente, se comprueba si todos los objetivos planteados han sido cumplidos y si los cálculos utilizados para el diseño garantizan el correcto funcionamiento del sistema. Así como las recomendaciones para mejorar el sistema y poder introducirlo a una aplicación concreta dentro de la industria.

Palabras clave: visión artificial, sensores, cámaras de escaneo, sensores lineales, alta velocidad, escaneo lineal, cores, posición, iluminación, captura de frames, MATLAB.



Abstract

Computer vision is a field that has been integrated into the current industry in many inspection processes. Through the use of some processing techniques and especially new components (Sensors, Frame grabber), their performance and efficiency can improve depending on the application. Peru is a country where agriculture develops an important percentage of its PBI and the export of various products abroad generate the best benefit to its producers. However, it is necessary that these products reach some international standards to ensure their acceptance in other markets. The physical inspection of their characteristics and the quantity of products to be analyzed require automated classification systems. Some of the most common systems are those that use scanning cameras by area, however, there are also linear sensors that are used for high-speed inspections.

The current research proposes the design and implementation of an artificial vision module using a linear scanning camera for the inspection of labels, integrating the parallel control through the programming in cores of position, lighting and frame capture systems. To apply image processing algorithms with MATLAB software and get a classification.

The content of the thesis consists of five chapters that develop:

Chapter I “Methodological Framework” introduce and describe the problem to analyze. Then it proposes the objectives that we want to achieve with the research and formulates the hypothesis. Finally, the technical, economic and social justification are presented and concludes with the reach of the research.

Chapter II “Theoretical Framework” develops all the theoretical basis, which first covers the representation, processing and operations of images. Then develops a theoretical basis of the operation and application of the components used in the system.

Chapter III “Design and Implementation” details the state of art of various solutions that are currently in the market to solve the problem to be investigated. Then it explains the complete process of system design, from the calculations to determine the sensor and the lens of the camera, through the selection of components that integrate the position and lighting systems. Also, it explains the guidelines that were taken in the design of each sub assembly and its implementation. About electronic design, the corresponding calculations were made for the selection of electrical components, elaboration of an interface card and the selection of power supplies.

Chapter IV “Programming” details the type of programming in cogs used in the whole system and all the algorithms implemented for the control of each subsystem of position, lighting and capture of frames. Then the communication between the system and Matlab. Finally, the implementation of processing techniques and the selection of the bottles through the controller.

Chapter V “Tests and Results” describes the tests performed for the calibration of each component, as well as the requirements of the system and the interaction with the GUI interface developed in MATLAB for the control of the processing and communication algorithms with the system.

Finally, we check if all of the objectives have been accomplished and if the calculations secure the accurate performance of the system. As well as the recommendations to improve the system and be able to implement a specific application within the industry.

Keywords: artificial vision, sensors, scanning cameras, linear sensors, high speed, linear scanning, cores, position, lighting, frames capture, MATLAB.



Introducción

En la actualidad, diversos sistemas de inspección de calidad son empleados en distintos productos para satisfacer estándares internacionales. Los sistemas de visión artificial y procesamiento de imágenes son muy utilizados en la inspección de calidad. Sin embargo, se presentan serias dificultades al momento de analizar objetos en movimiento continuo sobre una faja o cuya superficie es irregular, esto genera pausas en el movimiento de ellos para capturar una imagen o múltiples capturas necesarias para poder procesar el mismo objeto, según sea necesario para ser analizado. Estas limitaciones se deben en gran medida al hardware utilizado para la captura de imágenes que consiste en utilizar una cámara de escaneo por área.

Las cámaras de escaneo lineal (Line Scan Cameras) se presentan como una alternativa para la inspección de objetos a alta velocidad, así como aquellos cuya superficie no es plana. Estas cámaras son utilizadas en diversos sistemas de visión artificial; por ejemplo, selección de granos, frutas o verduras, inspección de billetes, inspección de etiquetas en botellas cilíndricas. Básicamente, son utilizadas para la inspección de productos a alta velocidad y selección en tiempo real.

Sin embargo, los sistemas de visión artificial embebidos con cámaras de escaneo lineal (Line Scan Camera) para aplicaciones industriales son muy costosos y se requiere un conocimiento avanzado en temas de visión para poder diseñar un sistema completo de aplicación. Adicionalmente, existen pocos proyectos aplicativos introductorios con el uso de estas cámaras, así como documentación de acceso público para poder hacer investigación.

El presente trabajo está orientado a diseñar e implementar un sistema de visión artificial con una cámara de escaneo lineal, controlando y sincronizando variables como: iluminación, posición, tiempo de exposición de la cámara y procesamiento de señales e imágenes.

CAPÍTULO 1

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Descripción del Problema:

Actualmente, el ingreso de distintos productos a otros mercados está regulado por los estándares de calidad que estos deben de cumplir; por ello se han implementado sistemas de visión artificial para la inspección de calidad de los productos. El problema se presenta en aquellos que tienen una superficie que no es plana; por ejemplo, cuando un cuerpo es cilíndrico. En este caso, los sistemas de visión con cámaras de escaneo por área tienen varias deficiencias, tales como el incremento en la cantidad de capturas para poder conseguir una imagen completa y el tiempo de procesamiento de cada captura para poder generar una imagen limpia del objeto.

Para superar estos problemas, en los sistemas de visión se empezó a utilizar cámaras de escaneo lineal (Line Scan Cameras), cuyas características permiten ser empleadas para: la inspección de la periferia¹ de un cilindro, inspección de objetos a velocidad e inspección de áreas discretas con alta resolución. Los sistemas de visión artificial que utilizan este tipo de tecnología son más complejos, pues adicionalmente al procesamiento de imagen, se requiere paralelamente un control de movimiento y control de iluminación sobre los objetos a analizar. Todos estos detalles provocan que el sistema y sus componentes sean costosos para ser implementados en una aplicación concreta o realizar investigación de forma independiente.

El presente trabajo busca diseñar e implementar un sistema de escaneo lineal aplicado a la inspección de etiquetas en envases cilíndricos, analizando las ventajas y desventajas que ofrece. El sistema utiliza una cámara de escaneo lineal (Line Scan Camera), mediante la cual se captura diferentes frames² para poder ser indexados y analizados. Las dificultades que se presentan en el diseño del sistema son:

- La correcta sincronización entre la posición del envase con la apertura de la cámara para evitar errores al momento de capturar los frames.
- Poder conseguir un procesador que realice tareas en paralelo para el control de las variables de posición, iluminación y control de la cámara. De igual manera comprobar si permite utilizar las librerías de OpenCV, la cual es muy utilizada en aplicaciones de visión, de lo contrario se requerirá de otro software para realizar el procesamiento de imágenes.

¹ Periferia: Zona inmediata al exterior de un espacio.

² Frames: También llamado fotograma.

1.2 Antecedentes

Con el propósito de conocer el desarrollo actual de estos sistemas, se realizó una investigación de los artículos y libros publicados por universidades, empresas privadas o laboratorios de desarrollo que guardan relación con el tema. Respecto al tema de diseño de un sistema de visión por computador, el White paper³ publicado por Perry West, nos brinda una directriz simplificada y clara de todos los pasos a seguir en el diseño de estos sistemas [21], este trabajo nos sirve como punto de inicio sobre el diseño de sistemas de visión a partir de lo que conoce el diseñador que es la entrada (el objeto a inspeccionar y el ambiente donde se va a funcionar) y la salida (las especificaciones funcionales del sistema). En relación a las costosas cámaras industriales que se utilizan en el mercado, en Bélgica se construyó un sistema de bajo costo como una alternativa para la inspección a alta velocidad [20]. Esta investigación nos permite obtener un panorama de la capacidad de esos sensores y como puede implementarse una cámara a partir de un sensor. Los sensores de Matriz lineal no solo se utilizan para la inspección de productos, sino también como parte de robots seguidores de línea. La tesis desarrollada en una Escuela de Ingeniería de República Checa, detalla la construcción y ventajas de este sensor comparado con otras alternativas [15]. Este trabajo nos sirvió como apoyo en la calibración de sensores de escaneo lineal y su programación. Este tipo de sensores también han sido investigados por el laboratorio de investigación del ejército de EEUU, donde se implementó un sistema autónomo capaz de capturar, guardar y analizar la información obtenida por el sensor [17]. Las recomendaciones y sugerencias de cada investigador coinciden en la importancia de seleccionar adecuadamente el tipo de sensor y más aún la correcta sincronización de todos los sistemas (Iluminación, posición y captura de frames).

Respecto al procesamiento de imágenes, se tiene como antecedentes los trabajos de grado realizados en la Universidad Católica de Santa María con el tema “Diseño e implementación de un sistema de clasificación por visión artificial basado en redes neuronales y servo posicionamiento lineal industrial” [19], donde se aplicaron técnicas y algoritmos para el procesamiento sobre una imagen capturada por una cámara de área. Técnicas como la transformación a escala de grises, umbrales y filtro canny les permitieron obtener información sobre la posición y forma de los objetos; y de esa forma sincronizar el servo para ubicar correctamente al actuador. También fue presentado el trabajo de grado “Diseño e implementación de un sistema de video inteligente para el seguimiento de patrones” [12], donde los algoritmos eran aplicados sobre una señal de video. Las técnicas implementadas como transformación al modelo HSV, filtros suavizadores y lógica difusa le permitieron obtener información sobre la posición del objeto y determinar la velocidad de la cámara para poder seguirlo. Estos

³ Es un documento que ayuda a comprender un tema o tomar una decisión. El White paper técnico, está orientado a apoyar a personas capacitadas (Ingenieros) a entender cómo funciona un concepto o tecnología.

trabajos se relacionan con la investigación en curso, pues son una referencia al procesamiento de imágenes y recomendaciones en el diseño de un sistema de visión.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo Principal

- Diseñar e implementar un sistema de visión artificial con una cámara de escaneo lineal para la inspección de etiquetas en envases cilíndricos.

1.3.2 Objetivos Secundarios

- Definir el modelo de control de las variables de posición, iluminación y tiempo de exposición de la cámara.
- Seleccionar y validar las técnicas y algoritmos a utilizar en el procesamiento de señales e imágenes para la indexación de frames y procesamiento de estas.
- Implementar el prototipo del sistema de alimentación y sujeción de envases cilíndricos.
- Seleccionar la iluminación adecuada para el módulo de visión.
- Calibrar los parámetros para el control de cada subsistema.

1.4 Hipótesis

Dado que la visión artificial con cámaras de escaneo lineal es utilizada para la inspección de objetos en movimiento y con superficies que no son planas, es probable que se pueda inspeccionar etiquetas en envases cilíndricos aplicando técnicas y algoritmos de procesamiento de señales e imágenes.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación Técnica

- Implementación de sistema embebido compuesto por control de posición y tiempo de exposición de cámara.
- Investigación de nuevas técnicas de visión artificial para aplicaciones industriales con requerimientos específicos.
- Programación en paralelo para el control de diferentes variables en tiempo real.
- Procedimiento del diseño de una cámara para una aplicación determinada.

1.5.2 Justificación Económica:

- Los sistemas de visión artificial usando cámaras de escaneo lineal son costosos y mayormente son desarrollados para la selección de granos, cualquier otra aplicación específica eleva el costo del sistema.

- Como es un método de inspección no destructivo ni contaminante, puede aplicarse a diferentes productos, lo cual lo hace útil para para diferentes sectores de la industria.
- En el Perú, donde un gran porcentaje del PBI se debe a la exportación de materia primas y manufactura, los avances en sistemas innovadores de inspección de calidad son necesarios.

1.5.3 Justificación Social:

- Aperturar una línea de investigación que se fundamente en la utilización de cámaras de escaneo lineal para diferentes aplicaciones industriales.
- Generar interés en estudiantes de pregrado, por el desarrollo de proyectos con aplicaciones concretas en la industria actual.
- Garantizar una calidad óptima de un producto a través de un sistema de inspección de calidad, que permita a los pequeños productores ingresar a un mercado más selecto, donde pueden percibir una mejor remuneración por sus productos.

1.6 Alcances y limitaciones

Los alcances del proyecto son el diseño e implementación de un sistema de inspección con una cámara de escaneo lineal, elaborando los planos, detallando el proceso de ensamble y la calibración de sus componentes, sin profundizar en detalles sobre el diseño estructural y modelamiento de sus componentes, debido a que estos aspectos no corresponden con el tema central de la investigación.

El proyecto está conformado por un sistema de visión artificial, el cual utiliza una cámara diseñada a partir del sensor TSL3301-LF, cuyo control se realiza utilizando el controlador de la placa Propeller Board of Education⁴. El controlador se programa utilizando el software Propeller Tool⁵, que es el recomendado por la empresa PARALLAX para la programación de sus placas. El programa controlara el paralelo las variables de posición, captura de cámara e iluminación, con los 8 cores que posee el controlador. El procesamiento de las imágenes se realizará en MATLAB, para ello se conectará el controlador con el programa a través de un puerto COM. El programa en MATLAB será optimizado únicamente para el procesamiento de etiquetas determinadas.

El sistema de control de iluminación utiliza dos Led Stick controlados por la placa Trinket 5V⁶, que será esclava del controlador principal. El control de estas lámparas es a través de una señal PWM que envía la placa Trinket 5V. La iluminación se regula con el objetivo de resaltar el área a inspeccionar, evitando sombras y reflejos.

El sistema de control de posición está compuesto por el prototipo de tres subsistemas: alimentación y sujeción y selección. El subsistema de alimentación utiliza dos motores

⁴ Propeller Board of Education: Es un ordenador de placa reducida, desarrollado por la empresa PARALLAX

⁵ Propeller Tool: Interfaz de programación de la empresa PARALLAX para la programación de sus controladores.

⁶ Trinket 5V: Ordenador de placa reducida de la marca Adafruit con regulador de 5V

stepper⁷, cuyo propósito es ingresar nuevos envases para la inspección. Mientras el subsistema de sujeción utiliza dos servomotores diferentes para alinear el envase y rotarlo a una velocidad determinada. La rotación del envase debe ser sincronizada con la velocidad de captura de frames para generar una imagen real del área de inspección y sin distorsión. Finalmente, el subsistema de selección utiliza un servomotor para separar cada envase del alimentador y empujarlo según su selección.

El diseño y construcción del módulo de visión fue concebido con fines didácticos para la inspección de etiquetas diseñadas para envases específicos con letras cuya fuente sea la misma que la base maestra para su comparación y gire sobre su propio eje con la mínima resistencia.

En cuanto a la autonomía del sistema de posición, únicamente los alimentadores requieren ser ubicados manualmente antes de su alineación, para que el programa pueda detectar su punto de origen. Mientras la cantidad de procesos a controlar y la capacidad del controlador no permiten aprovechar al máximo la tasa de escaneo que se menciona en la hoja de datos del sensor.

⁷ Motor Stepper: Llamado también motor a pasos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Visión Artificial:

La visión artificial o visión por computador, puede ser definida como un campo de la “Inteligencia Artificial”, que se enfoca en la extracción automática, análisis e interpretación de la información útil de una imagen o una secuencia de imágenes.

La visión artificial incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las características de una imagen con el objetivo de ser descritas e interpretadas por una computadora. Algunas de las tareas en las que se emplea visión artificial son: [1]

- Para determinar la localización y tipo de objetos en una imagen.
- Para construir una representación tridimensional de un objeto.
- Para analizar un objeto determinando su calidad.
- Para descomponer una imagen en partes.
- Para realizar mediciones angulares y tridimensionales

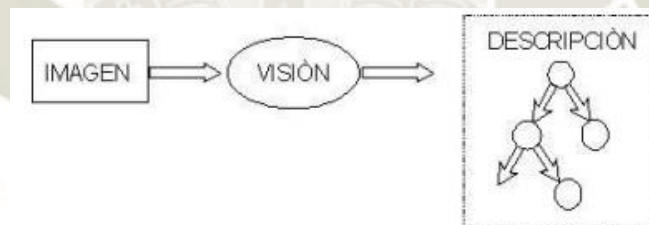


Fig. 2.1. Esquema general de visión por computadora.

Fuente: “*Visión Computacional*” - Sucar, L. Enrique & Gómez, Giovanni

La figura 2.1 muestra a una imagen ser procesada para extraer sus características, para obtener una descripción de la imagen analizada.

En su mayoría, los sistemas de visión artificial contienen funciones típicas como: [2]

Adquisición de imágenes: Dependiendo del tipo de sensor, la información de la imagen puede ser una imagen 2D, un volumen 3D o una secuencia de imágenes.

Pre – procesado: Se procesa la imagen para garantizar que satisface ciertos requerimientos como: muestreo para asegurar el sistema coordinado, reducción de ruido para evitar falsa información, contraste para obtener la información deseada y escalado para una representación apropiada.

Extracción de características: Las características como líneas, esquinas, intersecciones, puntos, textura, forma, entre otras.

Detección / Segmentación: Se determina el área o puntos relevantes a inspeccionar.

Alto nivel de procesado: La poca información que pasa a esta etapa, es sometida a estimaciones, reconocimiento y registro de imágenes para obtener una descripción puntual de la imagen

Interpretación: Basado en reglas, el sistema decide a que grupo (correcto o incorrecto) corresponde la imagen, basado en su descripción.

2.1.1 Imagen:

Una imagen digital está compuesta por una matriz de elementos rectangulares, denominados pixeles. Una imagen puede ser descrita como una matriz de pixeles ($M \times N$) o una función bidimensional, donde el valor que le asigna la función a cada pixel corresponde a la intensidad o brillantez en cada punto de la imagen. Generalmente, se asocia un sistema coordenado (x, y) a la imagen, con el origen en el extremo superior izquierdo como se ve en la imagen. [1][3]

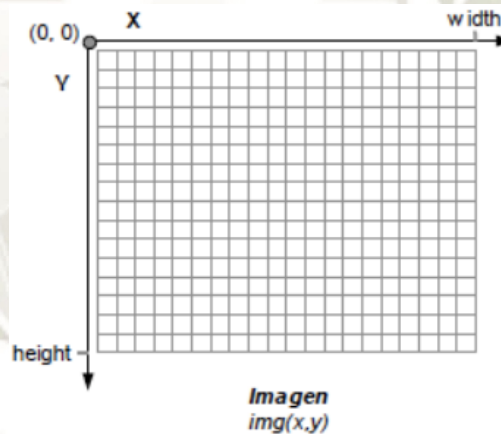


Fig. 2.2. Imagen formada por pixeles.

Fuente: "Reconstrucción 3D de modelos utilizando técnicas de visión artificial" – Vilá, Karen

En imágenes en escala de grises, a cada pixel se le asigna un valor que representa el tono de gris entre blanco y negro. En general se utilizan 256 tonos en escala de grises (8 bits); siendo 0 el negro y 255 el blanco.

Una imagen puede ser representada generalmente por una función de dos variables espaciales (x, y) : [1]

$$I = f(x, y) \quad [2.1]$$

La función anterior, representa el nivel de intensidad de la imagen en las coordenadas (x, y) . Gráficamente, se tienen 3 dimensiones: dos que corresponden a las coordenadas de la imagen y la tercera a la función de intensidad.

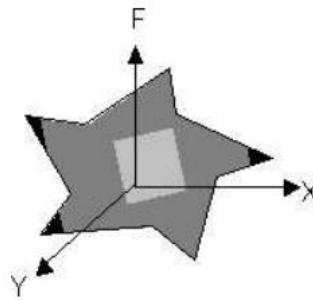


Fig. 2.3. Representación matemática de una imagen: $f(x,y)$.

Fuente: “*Visión Computacional*” – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

En el caso de imágenes a color, existen varios modelos para representarlo digitalmente. Los más utilizados en una imagen digital son el modelo aditivo (RGB = Red, Green y Blue) y el substractivo (CMYK = Cian, Magenta, Yellow, Black). El modelo RGB forma todos los colores del espectro mezclando los colores primarios, rojo, verde y azul, en distinta intensidad y proporción. [3]

Una imagen a color puede ser representada como una imagen multispectral f , que es una función vectorial con componentes $(f_{rojo}, f_{azul}, f_{verde})$, donde cada una representa la intensidad de la imagen a diferentes longitudes de onda. [1]

$$f(x, y) = [f_{rojo}(x, y), f_{azul}(x, y), f_{verde}(x, y)] \quad [2.2]$$

2.1.2 Modelos:

a. Modelo de color RGB:

El modelo de color RGB (Red, Green, Blue) es usado en trabajos digitales y hace referencia a la composición a partir de la intensidad de los colores primarios que lo conforman. Este modelo de color se basa en lo que se conoce como síntesis aditiva, y permite representar un color por la adición de los mismos. [4]

El modelo RGB permite representar un amplio porcentaje del espectro visible combinando los tres colores (rojo, verde y azul) en distintas proporciones e intensidades. El modelo RGB es un sistema de coordenadas cartesianas, tal como muestra la figura 2.4. [4]

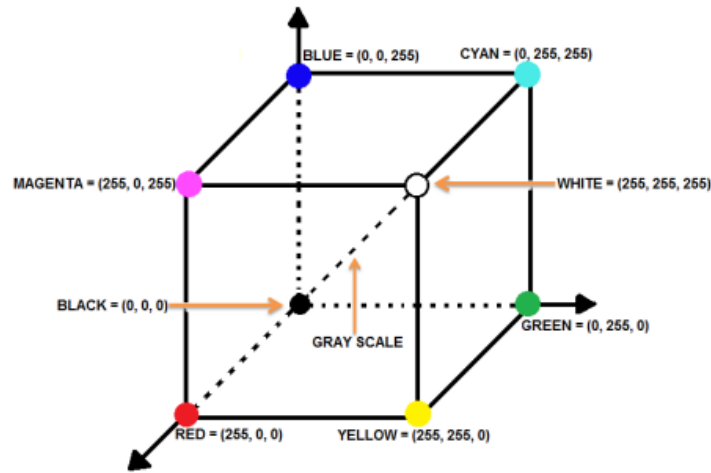


Fig. 2.4. Esquema simplificado del espacio RGB.

Fuente: “*Digital Image Processing*” – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

La diagonal que une los puntos del negro al blanco, representa los niveles de grises. Cada variación de colores depende de la ubicación del punto dentro del cubo, y estos son definidos por vectores. Una imagen en RGB está compuesta por tres canales o matrices de color, cada una con un valor formado por 8 bits de información (256 tonos). [4]

$$\begin{bmatrix} (r_{11}, g_{11}, b_{11}) & \cdots & (r_{1n}, g_{1n}, b_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (r_{m1}, g_{m1}, b_{m1}) & \cdots & (r_{mn}, g_{mn}, b_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} R + \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} G + \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} B \quad [2.3]$$

El modelo RGB es atractivo por la representación fiel de la tricromaticidad. Además, el procesamiento individual de los planos que lo componen, permite extraer formas y detalles significativos de las imágenes. [5]

b. Modelo de color CMY y CMYK:

El modelo CMY se basa en los colores secundarios (cian, magenta y amarillo) de la luz o los colores primarios de los pigmentos. El modelo CMYK se basa igualmente en los colores secundarios de la luz, pero se añade el color negro. Estos modelos se usan en sistemas de impresión. [5]

El espacio CMY se obtiene por la transformación lineal del modelo RGB. Esta conversión se realiza mediante la siguiente operación:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad [2.4]$$

En la ecuación anterior se asume que todos los valores de los colores han sido normalizados en rango $[0,1]$. De la ecuación anterior podemos inferir que la luz reflejada por una superficie amarilla pura ($Y = 1, C = 0, M = 0$) no contiene luz azul ($R = 1, G = 1, B = 0$). De igual forma, magenta puro no refleja el verde y cian puro no refleja el rojo. [5]

c. Modelo de color HSI:

El modelo HSI (Hue, Saturation, Intensity) se puede ver como una transformación del espacio RGB al espacio perceptual. Tiene la forma de dos pirámides triangulares unidas en su base. Los vértices de las pirámides corresponden a blanco y negro; mientras los de la base de la pirámide a R,G,B. En este modelo, la intensidad (I) se mide en el eje vertical, la saturación (S) en función a la distancia a este eje y la matiz (H) como ángulo horizontal tomando el rojo como referencia (cero grados). El centro de este grafico también puede tener la forma de un hexágono o un círculo; todos estas formas mantienen las misma propiedades, separando los colores primarios 120° entre si y las dimensiones se calculan de igual forma en un plano perpendicular al eje vertical de intensidad. [1]

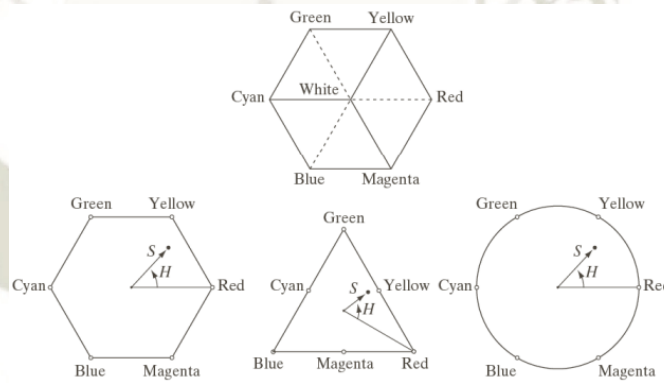


Fig. 2.5. Tipos de bases para representación HSI

Fuente: “*Digital Image Processing*” – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

Cualquiera de las formas anteriores puede ser utilizada para representar el modelo HSI. La siguiente figura muestra el modelo HSI basado en planos de colores triangulares y circulares. [6]

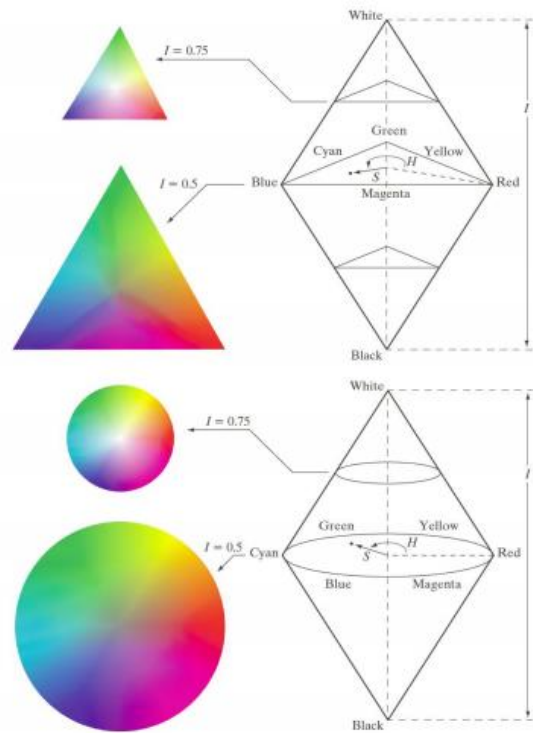


Fig. 2.6. Modelo de color HSI basado en planos triangulares y circulares.

Fuente: "Digital Image Processing" – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

La transformación de RGB a HSI se realiza mediante las siguientes ecuaciones: [5]

$$H = \begin{cases} H & \text{si } B \leq G \\ 360 - H & \text{si } B > G \end{cases} \quad [2.5]$$

$$H = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2}(R-G) + (R-B)}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \quad [2.6]$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad [2.7]$$

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad [2.8]$$

El modelo HSI es atractivo para aplicaciones en procesamiento de imágenes por dos características:

- La información de luminancia esta desacoplada de la información en el matiz y la saturación.
- El matiz y la saturación se corresponden con atributos perceptuales y pueden ser empleados para la identificación y discriminación de objetos.

2.2 Representación:

La representación de una imagen está orientada al modelado y reconocimiento de objetos. Para imágenes en 2D, se pueden utilizar dos alternativas: [1]

- Contornos: El objeto se representa en base a su borde o contorno.
- Regiones: El objeto se representa en base a la región que define.

2.2.1. Contornos:

Para la representación de objetos en base a contornos, podemos usar la técnica de polilíneas, códigos de cadena, descriptores de Fourier y secciones cónicas.

a. Polilíneas:

Consiste en una descripción de los contornos en base a segmentos de línea, donde cada segmento (X) se especifica mediante el punto inicial y final. La concatenación de todos los puntos con el mismo punto inicial y final, describe el contorno: [1]

$$X_1 X_2 \dots X_n X_1$$

Cada X_i corresponde a las coordenadas x, y de cada punto.

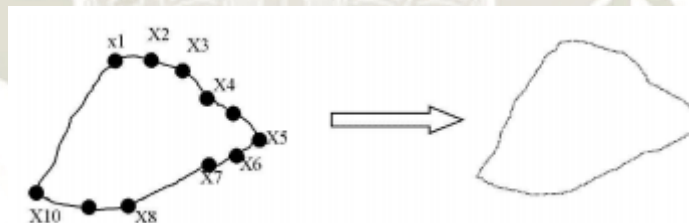


Fig. 2.7. La forma de la izquierda se aproxima por una serie de segmentos de recta entre los puntos $X_1 X_{10}$

Fuente: "Visión Computacional" – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovanni

Se pueden utilizar dos formas para hallar estos puntos:

- Hacer un seguimiento del contorno y comparar la orientación entre las orillas vecinas, cuando la diferencia es mayor a cierto ángulo se marca un punto de quiebre.
- Aproximar la curva por una línea y verificar la distancia de cada punto de la curva a la recta, si es menor a un límite continuar, sino poner un punto de quiebre en el punto más alejado.



Fig. 2.8. a). Agrupamiento, cuando la orientación es mayor a cierto ángulo. b) y c) División, se unen los puntos extremos y se ubica el punto más alejado de la curva.

Fuente: “*Visión Computacional*” – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

b. Códigos de cadena:

Consiste en secciones de línea que están dentro de una retícula fija, con un número de orientaciones limitadas (4 u 8). Se representa con el punto inicial y la dirección codificada del siguiente segmento. La codificación de 4 y 8 direcciones es de la siguiente manera: [1]

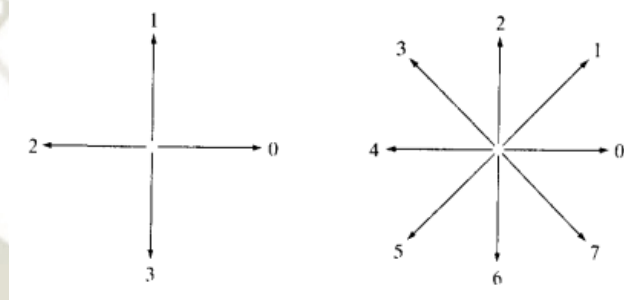


Fig. 2.9. Números direccionales para 4 y 8 direcciones

Fuente: “*Digital Image Processing*” – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

Para obtener el código de cadena de una imagen, utilizamos un mallado de igual espaciamiento en $[x,y]$, el cual es atravesado por la imagen. Cada punto del perímetro que se cruza con la malla busca el vértice más próximo para obtener una representación de la figura.

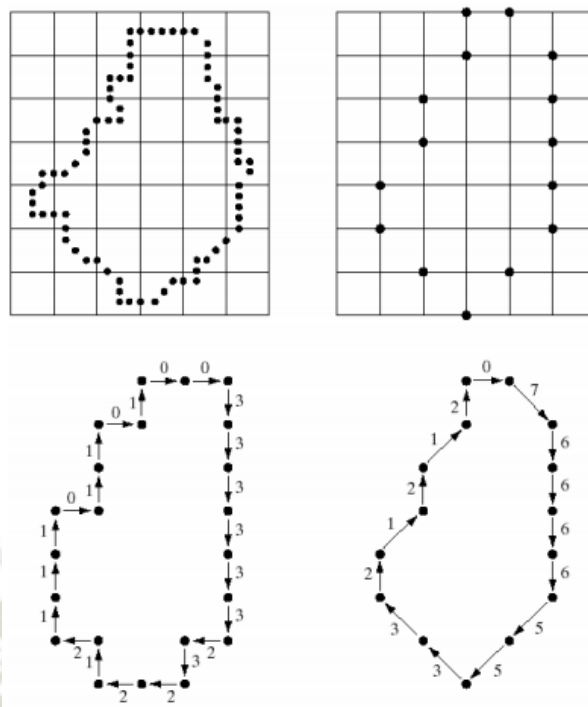


Fig. 2.10. Representación utilizando código de cadena de 4 y 8 direcciones
Fuente: “*Digital Image Processing*” – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

Se puede obtener la derivada del código, que consiste en tomar la diferencia entre cada segmento y el segmento anterior, modulo del número (N) de orientaciones. [1]

$$Derivada = [C_i - C_{i-1}]MODN \quad [2.9]$$

Las representaciones por códigos de cadena tienen las siguientes ventajas sobre la técnica polilíneas:

- Su representación es más compacta en espacio de almacenamiento
- Es la técnica más adecuada para realizar reconocimiento independiente de la posición.
- Su derivada es invariante bajo rotación.
- La técnica es apropiada para el agrupamiento de regiones.

2.2.2. Regiones:

Para la representación de objetos por regiones, podemos utilizar las técnicas de arreglos de ocupación espacial, eje Y, arboles cuaternarios y esqueletos.

- a. **Arreglos de ocupación espacial:** Se utiliza un arreglo de pertenencia $p(x,y)$ que tiene un 1 para cada elemento (pixel) que pertenece a la región y un 0 si no pertenece.

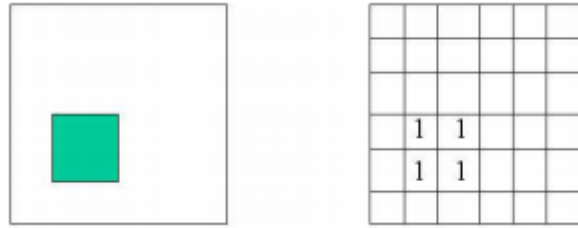


Fig. 2.11. Arreglo de pertenencia espacial

Fuente: “*Visión Computacional*” – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

Esta representación es fácil de implementar y facilita las operaciones lógicas entre regiones, pero es difícil hacer reconocimiento y es muy ineficiente en espacio.

b. Eje Y: Consiste en codificar la región en una serie de listas por renglón (elementos en Y) de forma que cada una representa las coordenadas en X donde se entra y sale de la región.

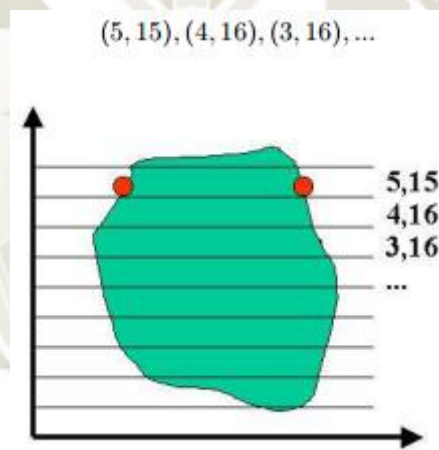


Fig. 2.12. Codificación eje Y

Fuente: “*Visión Computacional*” – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

Aunque esta representación es más eficiente en espacio, tampoco es conveniente para reconocimiento.

2.3 Procesamiento:

Con el objetivo de obtener una descripción apropiada de una imagen, se realiza un procesamiento de esta imagen generalmente en tres niveles: [1]

- Procesamiento de nivel bajo: Consiste en trabajar directamente con los pixeles para extraer propiedades como orillas, gradiente, profundidad, textura, color, etc.
- Procesamiento de nivel intermedio: Consiste en la agrupación de los elementos obtenidos en el nivel anterior, para conseguir líneas y segmentar.
- Procesamiento de alto nivel: Consiste en la interpretación de los entes obtenidos en los niveles anteriores y se utilizan modelos o conocimiento a priori del dominio.

2.3.1 Procesamiento de nivel bajo:

a. Detección de orillas:

Las variaciones de intensidad en una imagen son un punto de partida para la detección de esquinas. Una manera para detectar orillas es el uso de un tipo de derivada aplicado a una región pequeña, lo que nos permite calcular las variaciones entre un punto y su vecindario. Si se considera una imagen como una función, un contorno representa una discontinuidad en dicha función, es decir donde existe una gradiente. [1]

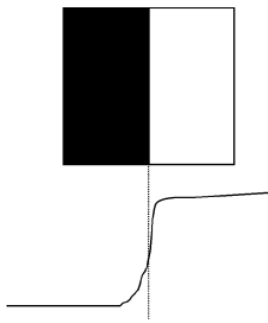


Fig. 2.13. Ejemplo de discontinuidad

Fuente: "Visión Computacional" – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

El borde de una imagen está integrado por orillas locales, las integraciones de estas componen el borde procesado de la imagen. Sin embargo, la detección de orilla es bastante sensible al ruido por ello es necesario reconocer las orillas relevantes de las falsas utilizando cierta información del contexto o del dominio.

Las técnicas de detección de orillas se pueden clasificar en: operadores de gradiente y múltiples respuestas a diferentes orientaciones. Mientras en el post-procesamiento para crear bordes se pueden utilizar técnicas como: relajación y seguimiento de orillas.

b. Procesamiento del color:

El procesamiento del color puede ayudar a la extracción de características e identificación de objetos en la imagen. Para el procesamiento del color podemos utilizar los modelos perceptuales, los cuales están más orientados al procesamiento de imágenes y visión.

Estos modelos son: modelo HSV, modelo HSL, modelo HSI. [1]

Modelo HSV: (Matiz, Saturación y Valor)

Tiene la forma de una pirámide hexagonal invertida, donde los valores de valor o brillantez (V) y saturación (S) están normalizados (entre 0 y 1) y el matiz o croma (H) está entre 0 y 360 grados.

Modelo HLS: (Matiz, Brillantez y Saturación)

Se basa en coordenadas polares en 3 dimensiones, obteniéndose un espacio en forma de 2 conos unidos en su base. Los vértices corresponden al blanco y negro, el eje vertical representa la brillantez (L), el horizontal la saturación (S) y el ángulo de la proyección horizontal el matiz (H).

Modelo HSI: (Matiz, Saturación, Intensidad)

Es una transformación del espacio RGB al espacio perceptual. Tiene la forma de dos pirámides triangulares unidas en su base donde los vértices del triángulo son R,G y B. De igual forma la intensidad (I) se mide en el eje vertical, la saturación (S) en función a la distancia a este eje y el matiz (H) como el ángulo horizontal tomando al rojo como referencia.

c. Tratamiento de texturas:

El análisis y reconocimiento de texturas es útil para el reconocimiento de ciertas clases de objetos. La textura de una imagen está estrechamente relacionada a la resolución. Existen diferentes formas de describir los tipos de textura; se clasifican en: modelos estructurales, modelos estadísticos y modelos espectrales.

Dentro de las texturas podemos encontrar elementos básicos que se repiten en diferentes posiciones, deformaciones y orientaciones, estos son las texturas elementales (texel). [1]

2.3.2 Procesamiento de nivel intermedio:**a. Agrupamiento de orillas:**

El agrupamiento de orillas se realiza con el objetivo de reducir la cantidad de información para producir bordes y determinar las regiones en una imagen. Encontrar los bordes es esencial para delimitar regiones. Para la generación de bordes existen tres técnicas: Transformada de Hough, búsqueda en grafos y agrupamiento perceptual. [1]

Pirámides y arboles cuaternarios:

Las representaciones piramidales basadas en arboles cuaternarios, se utilizan en la detección de orillas, segmentación, reconocimiento de forma, etc. La estructura piramidal se obtiene mediante la división sucesiva de la imagen en cuadrantes hasta llegar al nivel pixel. La pirámide está compuesta por diferentes niveles, donde la base son los pixeles y su nivel superior es el promedio de cada cuadrante, de esta forma se reduce la resolución hasta llegar a un solo valor promedio.

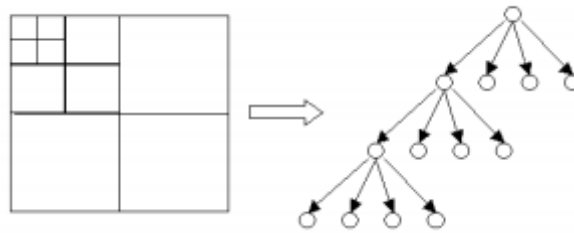


Fig. 2.14. Árbol cuaternario

Fuente: “*Visión Computacional*” – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

Cuando un árbol cuaternario se constituye en una imagen real, las particiones de los cuadrantes que se generan, deben ser juntadas para describir algo más útil. De igual forma es necesario que los cuadrantes se traslapen en 50% en algunas aplicaciones.

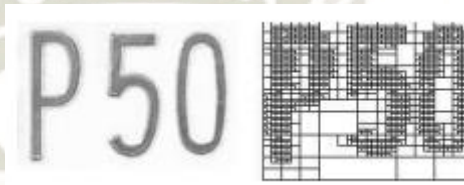


Fig. 2.15. Árbol cuaternario a una imagen real.

Fuente: “*Visión Computacional*” – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

Transformada de Hough:

Está orientada a la detección de contornos cuya forma básica es conocida y que puede ser representada como una curva paramétrica, tales como líneas, círculos, eclipses, cónicas, etc. El objetivo de esta técnica es encontrar una ecuación de la línea que mejor represente los puntos existentes, y rellenar las orillas faltantes.

Agrupamiento perceptual:

Consiste en reconocer las mismas características en dos objetos para agruparlos y segmentarlos. Para el agrupamiento de orillas, generalmente se aplican estos principios:

Proximidad: Orillas cercanas o que forman segmentos de línea recta.

Similaridad: Orillas similares en intensidad, contraste u orientación.

Continuidad: Orillas que forman líneas o curvas continuas.

También es posible combinar estructuras piramidales para extraer contornos, esto se puede aplicar en dos niveles:

- En la extracción de segmentos de línea en las ventanas, eliminando los que no satisfagan los principios.

- Para conectar los segmentos de línea en ventanas y formar contornos. Para esto se utilizan los criterios de continuidad y similaridad en orientación, conectando segmentos continuos con orientación similar.

b. Segmentación:

Consiste en separar la imagen en unidades significativas. Las características más comunes son: intensidad de píxeles, textura, color, gradiente y profundidad relativa. Debido a las variaciones de color en los píxeles, es mejor considerar un color aproximado a nivel de región.

Las técnicas de segmentación se clasifican en tres tipos: [1]

- Locales: se basan en agrupar píxeles en base a sus atributos y los de sus vecinos (agrupamiento)
- Globales: se basan en propiedades globales de la imagen (división)
- División: agrupamiento, combinando propiedades de locales y globales

Segmentación por histograma:

Se toma como base el histograma de intensidades para dividir dos regiones. Se asume que, si hay dos regiones en una imagen, el histograma tiene dos picos, entonces se toma el valle (mínimo) entre los dos y este es considerado la división entre las regiones.

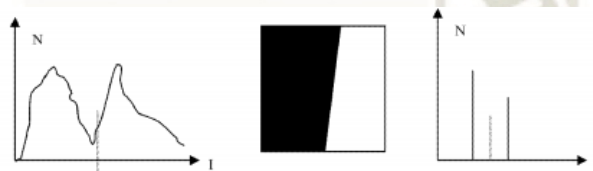


Fig. 2.16. Segmentación por histograma.

Fuente: "Visión Computacional" – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

Segmentación por crecimiento de regiones:

Esta técnica se basa en tomar un píxel, o conjunto de píxeles, y a partir de estos crecer la región con puntos similares hasta alcanzar los límites. Esta técnica tiene dos problemas básicos:

- La selección de puntos iniciales, se deben buscar grupos de puntos similares y tomar su centroide como punto inicial.
- Criterio de similitud, ya sea por conectividad, número de regiones, la dimensión esperada o información del histograma.

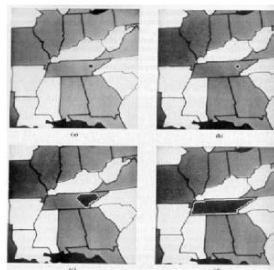


Fig. 2.17. Crecimiento de regiones

Fuente: "Visión Computacional" – Sucar, L. Enrique y Gómez, Giovani

Sistema experto para segmentación:

Estos sistemas se basan en una representación explícita del conocimiento del dominio. El conocimiento se representa por medio de reglas, que se almacenan en la base de conocimientos y que operan con los datos almacenados en la memoria de trabajo mediante una máquina de inferencia. Existen tres tipos de reglas agrupadas en 3 niveles jerárquicos.

1. Reglas de segmentación: Son reglas para el análisis de regiones, líneas y medidas.
2. Reglas de foco de atención: Determina el orden en el análisis de áreas
3. Reglas de estrategia: Seleccionan la estrategia más adecuada de acuerdo al tipo de imagen.

2.3.3 Procesamiento de alto nivel:

a. Visión basada en modelos:

Utiliza el conocimiento específico de cada dominio para procesar las imágenes. Este conocimiento específico es un modelo que describe a los objetos que se buscan. Después de realizar un pre-procesamiento, las imágenes segmentadas pasan a esta etapa donde sus parámetros se comparan con los modelos. El modelo con mayor similitud se asigna al carácter de la imagen.

Este procesamiento se basa en el uso de modelos geométricos para reconocer los objetos de una imagen después de ser procesada. Este sistema de visión tiene tres componentes principales:

- Extracción de características: Se obtiene información de forma de la imagen para construir una descripción geométrica
- Modelado: Se construye modelos geométricos de los objetos de interés.
- Correspondencia: Correspondencia geométrica de la descripción con el modelo interno.

b. Coeficientes de correlación:

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación entre dos variables, siempre y cuando ambas sean cuantitativas y continuas. Este coeficiente puede ser utilizado para medir la correlación entre dos imágenes del mismo tamaño.

Para poder calcularlo se utiliza la expresión:

$$\rho = \frac{\sigma_{LR}}{\sigma_L \sigma_R} \quad [2.10]$$

Donde:

σ_{LR} : Es la covarianza de las imágenes L (Izquierda) y R (Derecha).

σ_L : Es la desviación estándar de la imagen L (Patron).

σ_R : Es la desviación estándar de la imagen L (Imagen a analizar).

Las funciones de covarianza y desviación estándar están representadas con las siguientes ecuaciones:

Covarianza:
$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n} \quad [2.11]$$

Media Aritmética:
$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad [2.12]$$

Desviación estándar:
$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [2.13]$$

Al introducir las funciones de cada imagen $g_L(x, y)$ y $g_R(x, y)$ en la ecuación anterior, se obtienen las siguientes expresiones en función de cada imagen. [7]

Media Aritmética de cada imagen:

$$\bar{g}_L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad [2.14]$$

$$\bar{g}_R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad [2.15]$$

Desviación estándar de cada imagen

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)^2}{n \cdot m - 1}} \quad [2.16]$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)^2}{n \cdot m - 1}} \quad [2.17]$$

Covarianza de ambas imágenes:

$$\sigma_{LR} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)(g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L))}{n \cdot m - 1} \quad [2.18]$$

Coefficiente de correlación:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)(g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L))}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)^2)(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)^2)}} \quad [2.19]$$

El valor del índice de correlación varía en el intervalo $[-1 \ 1]$, donde el signo indica el sentido de correlación. Mientras el valor del coeficiente se acerque a ± 1 , podemos decir que hay una correlación entre ambas imágenes. Siendo el valor de 1 una correlación directa positiva y el valor de -1 una negativa. Cuando el valor es 0, indica que no existe ninguna relación lineal entre ambas imágenes.

2.4 Procesamiento Morfológico:

El procesamiento morfológico es una técnica de procesamiento no lineal de la señal, que se caracteriza en realzar la geometría y forma de los objetos en una imagen. Los elementos del análisis y procesado morfológico se basan en el álgebra de conjuntos y en la topología. El procesamiento morfológico se aplica a imágenes binarias (0: negro y 1: Blanco) y a imágenes en niveles de grises. [8]

Los tipos de morfología son: [8]

- Morfología binaria.
- Morfología de niveles de gris.
- Morfología de imágenes policromáticas.

En el procesamiento morfológico podemos identificar tres elementos: [8]

- **Conjuntos** (Imágenes)
- **Operadores Morfológicos** (Dilatación, erosión, apertura/cierre)
- **Elementos Estructurantes**

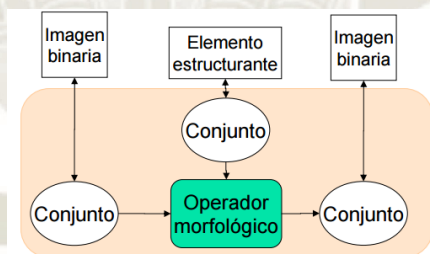


Fig. 2.18. Esquema de elementos del procesado morfológico.

Fuente: "Morfología matemática" – Alba, J. L., Martín, F., Cid, J., & Mora, I.

a. Conjuntos:

Los conjuntos representan la forma de los objetos en una imagen. [8]

Como imagen binaria:

- En una imagen binaria que contiene píxeles blancos y negros con un valor de 1 y 0 o viceversa; se pueden definir dos conjuntos o planos como:

$$\text{Primer plano: } A: \{(x, y) / f(x, y) = 1\} \quad [2.20]$$

$$\text{Fondo: } B: \{(x, y) / f(x, y) = 0\} \quad [2.21]$$

- Cada conjunto está conformado por puntos de un espacio 2D; cada elemento es un punto de coordenadas (x,y) en el plano 2D de la imagen.

Como imagen monocromática: (niveles de grises)

- Una imagen de niveles de grises, puede ser representada como conjuntos cuyas componentes están en un espacio 3D.
- En este caso, 2 componentes de cada elemento de un conjunto se refieren a las coordenadas del pixel, y la tercera componente está relacionada con la intensidad.

Las operaciones sobre conjuntos pueden ser:

- Sean A y B conjuntos de puntos en un espacio Z^2 con componentes:

$$a = (a_1, a_2) , b = (b_1, b_2)$$



Fig. 2.19. Conjuntos en imagen binaria.

Fuente: "Morfología matemática" – Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I.

- Complementario:

$$A_c = \{(x, y) / (x, y) \notin A\} \quad [2.22]$$



Fig. 2.20. Complemento de imagen binaria.

Fuente: "Morfología matemática" – Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I.

- Traslación:

$$A_x = A + x = \{a + x / a \in A\} \quad [2.23]$$

Siendo $x = (x, y)$

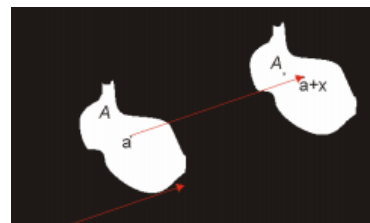


Fig. 2.21. Traslación en imagen binaria.

Fuente: "Morfología matemática" – Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I.

- Transposición (Reflexión): El transpuesto de un conjunto simétrico coincide con el mismo.

$$\hat{A} = -A = \{-\mathbf{a} / \mathbf{a} \in A\} \quad [2.24]$$

$$-\mathbf{a} = (-a_1, -a_2)$$

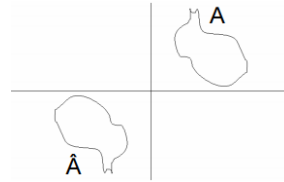


Fig. 2.22. Transposición en imagen binaria.

Fuente: “*Morfología matemática*” – Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I.

- Diferencia:

$$A - B = \{\mathbf{a} / \mathbf{a} \in A, \mathbf{a} \notin B\} = A \cap B^C \quad [2.25]$$

b. Elemento estructurante:

O también llamado patrón de ajuste, es utilizado para examinar la estructura geométrica de una imagen, determinando la forma de los conjuntos.



Fig. 2.23. Elemento estructurante en una imagen.

Fuente: “*Morfología matemática*” – Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I.

El elemento estructurante puede adoptar cualquier tamaño y forma (cuadrado, rectángulo, etc).



Fig. 2.24. Elementos estructurantes típicos.

Fuente: “*Capítulo 6: Procesamiento morfológico*” – Carlos Platero

El centro del elemento estructurante se sitúa en cada pixel de la imagen original, aplicando la operación morfológica en cada pixel alrededor.

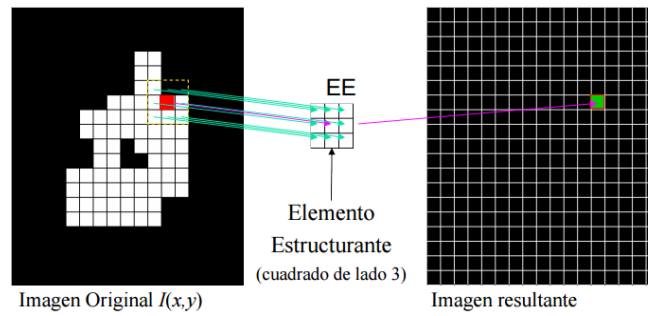


Fig. 2.25. Representación de ubicación de Elemento estructurante.

Fuente: "Morfología matemática" – Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I.

c. Operadores morfológicos:

Al operador también se le denomina imagen (φ) y es el resultado de cualquier transformación a una imagen. Existen tres tipos:

- **Extensivo:** Si el resultado contiene a la imagen original

$$A \subseteq \varphi(A) \quad [2.26]$$

- **Antiextensivo:** Si el resultado está contenido en la imagen original

$$\varphi(A) \subseteq A \quad [2.27]$$

- **Idempotente:** Si al aplicar el operador dos o más veces, el resultado es el mismo que si se aplicara una sola vez.

$$\varphi(\varphi(A)) = \varphi(A) \quad [2.28]$$

2.4.1. Operaciones Morfológicas en imágenes binarias

a. Erosión binaria:

La erosión es el resultado de comprobar si el elemento estructurante [B] (cuadrado, círculo, etc.) está completamente incluido dentro del conjunto [X] (imagen). Cuando no ocurre, el resultado de la erosión es el conjunto vacío. [19]

$$\varepsilon_B(X) = X \ominus B = \{x/B_x \subseteq X\} \quad [2.29]$$

Los objetos menores al elemento estructurante desaparecen. La erosión es una degradación de la imagen. La aplicación iterativa de esta transformación terminara en la eliminación de todos los objetos existentes en la imagen. La erosión es una transformación antiextensiva. [19]

$$\varepsilon_B(X) \subseteq X \quad [2.30]$$



Fig. 2.26. a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen erosionada con elemento estructurante tipo disco de radio 2.

Fuente: “Capítulo 6: Procesamiento morfológico” – Carlos Platero

b. Dilatación binaria:

El resultado de la dilatación es el conjunto de elementos tal que al menos algún elemento del conjunto estructurante [B] está contenido en el conjunto [X] (imagen), cuando B se desplaza sobre el conjunto [X]. [18]

$$\delta_B(X) = X \oplus B = \{x / X \cap B_x \neq \emptyset\} \quad [2.31]$$

En la frontera del conjunto [X], al desplazar el elemento estructurante [B], el conjunto resultado se expandirá. La aplicación iterada de este operador haría degradar la imagen, haciendo coincidir el conjunto dilatado con la imagen. La dilatación es una transformación extensiva.

$$X \subseteq \delta_B(X) \quad [2.32]$$

La aplicación de una operación de erosión seguida con una dilatación no es conmutativa. Los resultados son diferentes, dando paso a las aperturas y cierres morfológicos.



Fig. 2.27. a) Imagen original, b) Imagen segmentada, c) Imagen dilatada con elemento estructurante tipo disco de radio 5.

Fuente: “Capítulo 6: Procesamiento morfológico” – Carlos Platero

c. Apertura y Cierre:

La operación de apertura es la aplicación en cascada de erosión y dilatación binaria con igual elemento estructurante. [18]

$$\gamma_B(X) = X \circ B = \delta_B(\varepsilon_B(X)) \quad [2.33]$$

La apertura binaria elimina todos los objetos que no están completamente contenidos en el elemento estructurante, pero además no disminuye el tamaño a los objetos que superen la erosión. Sin embargo, la imagen resultante no recupera la misma forma de los objetos filtrados de la imagen de entrada. Esta operación puede ser ideal para la eliminación de ruido, aunque no preserva la geometría de los objetos. [18]

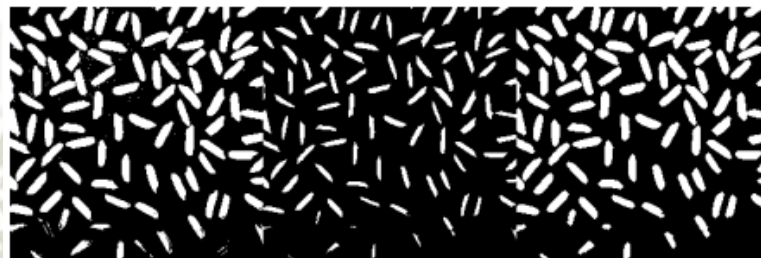


Fig. 2.28. a) Imagen segmentada. b) Erosión con elemento estructurante de disco de radio 2. c) Apertura con elemento estructurante de disco de radio 2.

Fuente: “Capítulo 6: Procesamiento morfológico” – Carlos Platero

La operación de cierre es la aplicación en cascada de dilatación y erosión binaria con igual elemento estructurante. [18]

$$\varphi_B(X) = X \bullet B = \varepsilon_B(\delta_B(X)) \quad [2.34]$$

El cierre binario morfológico permite rellenar los agujeros y grietas que la erosión no puede separar, al mismo tiempo suaviza los contornos de los objetos, manteniendo el relleno de las fisuras.



Fig. 2.29. a) Imagen segmentada. b) Dilatación c) Cierre.

Fuente: “Capítulo 6: Procesamiento morfológico” – Carlos Platero

2.4.2. Operaciones Morfológicas en imágenes con niveles de grises

En las imágenes en escalas de grises, debemos considerar al conjunto (imagen) como una función $[f(s, t)]$ que asigna un valor en la escala de grises a cada par de coordenadas $[(s, t)]$.

Donde el dominio de la de la función $[D_f]$ está compuesto por todos los pares coordenados $[(s, t)]$ que definen la ubicación de cada pixel en el conjunto (imagen).

De igual manera, el elemento estructurante debe ser considerado como una función de sub-imagen $[b(x, y)]$ que asigna un valor en la escala de grises a cada par de coordenadas $[(x, y)]$.

Donde el dominio de la función $[D_b]$ está compuesto por todos los pares coordenados $[(x, y)]$ que definen el tamaño del elemento estructurante. [6]

a. Erosión en niveles de grises

La erosión de una función en un punto será el valor mínimo de la función dentro de la ventana definida por el elemento estructurante B, cuando B esté situado en dicho punto. La erosión en escala de grises de una imagen representada por la función $[f(s, t)]$ con el elemento estructurante $[b(x, y)]$ se define como: [6]

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \{f(s + x, t + y) - b(x, y) / (s + x), (t + y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad [2.35]$$

La ecuación anterior se evalúa en un espacio 2D, debido a que representamos a la imagen en escala de grises como una función $[f]$ que asigna un valor en la escala de grises a cada par coordenado. Si evaluamos la función en un espacio 1D, la ecuación sería definida como: [6]

$$(f \ominus b)(s) = \min \{f(s + x) - b(x) / (s + x) \in D_f; x \in D_b\} \quad [2.36]$$

Una aplicación de la ecuación anterior se muestra en la siguiente imagen:

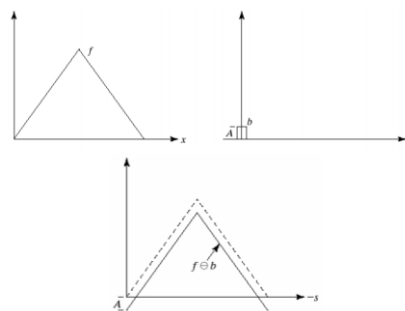


Fig. 2.30. a) Una función simple. b) Elemento estructurante de altura A. c) Resultado completo de la erosión.

Fuente: "Digital Image Processing" – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

Aplicar una erosión a una imagen en escala de grises puede causar dos efectos:

- Si todos los valores del elemento estructurante [b] son positivos, la imagen de salida tiende a ser más oscura que la imagen de entrada.
- El efecto de los detalles brillantes en la imagen de entrada que tienen un tamaño más pequeño que el elemento estructurante quedan reducidos. El grado de reducción es determinado por los valores en escala de grises de los pixeles que rodean al detalle brillante; también es considerada la amplitud de valores que componen al elemento estructurante [b].

b. Dilatación en niveles de grises

La dilatación de una función será el valor máximo de la función dentro de la ventana definida por el elemento estructurante [B], cuando el origen de B este situado en dicho punto. La dilatación en escala de grises de una imagen representada por la función [f(s, t)] con el elemento estructurante [b(x, y)] se define como: [6]

$$(f \oplus b)(s, t) = \max \{f(s - x, t - y) + b(x, y) / (s - x), (t - y) \in D_f; (x, y) \in D_b\} \quad [2.37]$$

La ecuación anterior se evalúa en un espacio 2D, debido a que representamos a la imagen en escala de grises como una función [f] que asigna un valor en la escala de grises a cada par coordenado. Si evaluamos la función en un espacio 1D, la ecuación sería definida como: [6]

$$(f \oplus b)(s) = \max \{f(s - x) + b(x) / (s - x) \in D_f; x \in D_b\} \quad [2.38]$$

Una aplicación de la ecuación anterior se muestra en la siguiente imagen:

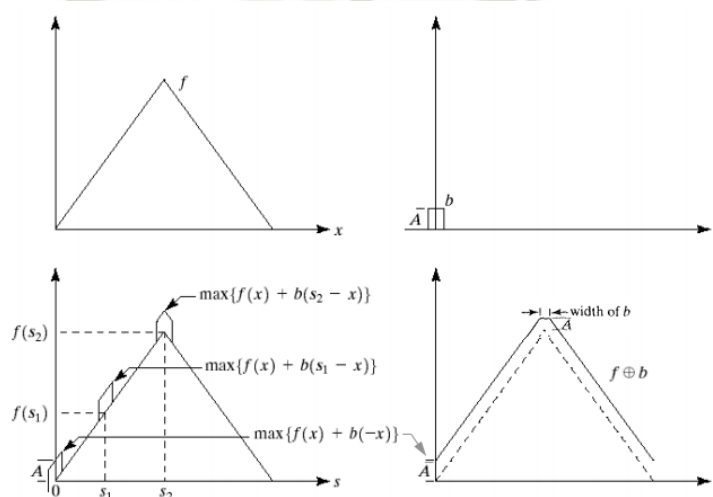


Fig. 2.31. a) Una función simple. b) Elemento estructurante de altura A. c) Resultado de la dilatación para varios puntos deslizando b en f. d) Resultado completo de la dilatación.

Fuente: "Digital Image Processing" – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

Aplicar una dilatación a una imagen en escala de grises puede causar dos efectos:

- Si todos los valores del elemento estructurante $[b]$ son positivos, la imagen de salida tiende a ser más brillante que la entrada.
- Los detalles oscuros son reducidos o eliminados dependiendo en como sus valores y formas se relacionan con el elemento estructurante $[b]$ usado para la dilatación.

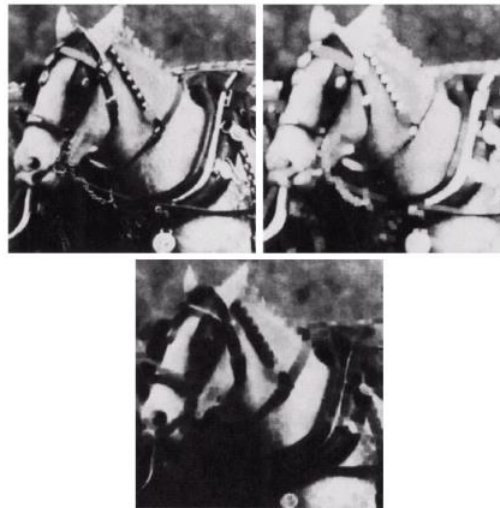


Fig. 2.32. a) Imagen original. b) Resultado de la dilatación (más claro) c) Resultado de la erosión (más oscuro)

Fuente: "Digital Image Processing" – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

c. Apertura y cierre en niveles de grises

En imágenes en niveles de grises, la apertura eliminará formas claras menores que el elemento estructurante. Mientras en el cierre los objetos oscuros serán atenuados. Tanto la apertura como el cierre son operaciones idempotentes; esto quiere decir que la aplicación sucesiva de varios cierres o aperturas dan el mismo resultado que aplicar la operación una única vez. [18]

La apertura de la imagen $[f]$ con el elemento estructurante $[b]$ se denota como:

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad [2.39]$$

El cierre de la imagen $[f]$ con el elemento estructurante $[b]$ se denota como:

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad [2.40]$$

Si aplicamos la operación de apertura y cierre a una columna que compone la imagen $[f]$, con un elemento estructurante $[b]$ en forma de esfera, podemos obtener la siguiente representación. [6]

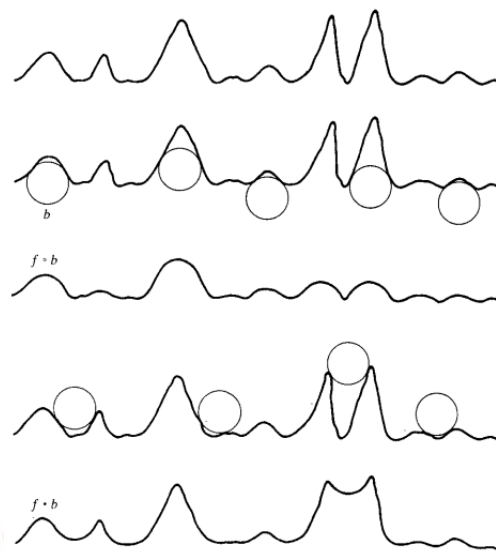


Fig. 2.33. a) Línea de escaneo en escala de grises. b) Posiciones del elemento estructurante (esfera) para la apertura. c) Resultado de la apertura. d) Posiciones del elemento estructurante (esfera) para el cierre. e) Resultado del cierre.

Fuente: “*Digital Image Processing*” – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

La aplicación de una operación de apertura a una imagen utilizando un elemento estructurante en forma de esfera, se interpreta geoméricamente como el proceso de deslizar y ubicar la esfera debajo de la superficie de la función $[f]$ de la imagen; de esta forma, el resultado es una superficie con los puntos más altos alcanzados por la esfera mientras se desliza debajo de la gráfica de la función $[f]$. [6]

Las operaciones de apertura en imágenes en escala de grises son aplicadas para remover pequeños detalles de luz, dependiendo del tamaño del elemento estructurante. Al mismo tiempo, mantiene relativamente invariables los niveles de grises y los rasgos brillantes más grandes.

La aplicación de una operación de cierre a una imagen utilizando un elemento estructurante en forma de esfera, se interpreta geoméricamente como el proceso de deslizar y ubicar la esfera encima de la superficie de la función $[f]$ de la imagen; de esta forma, el resultado es una superficie con los puntos más bajos alcanzados por la esfera mientras se desliza encima de la gráfica de la función $[f]$.

Las operaciones de cierre en imágenes en escala de grises son aplicadas para remover pequeños detalles oscuros de una imagen, dependiendo del tamaño del elemento estructurante. Al mismo tiempo, mantiene relativamente invariables los rasgos brillantes.

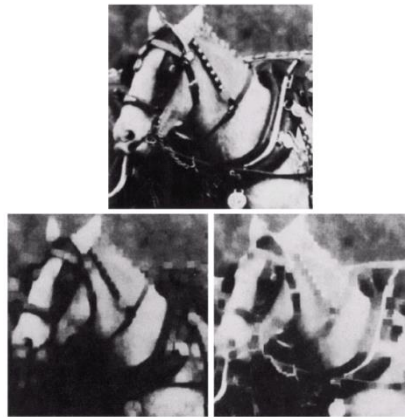


Fig. 2.34. a) Imagen original. b) Resultado de una apertura. c) Resultado de un cierre.

Fuente: “*Digital Image Processing*” – Rafael C. Gonzalez y Richard E. Woods.

2.5 Parámetros en sistemas de visión lineal

2.5.1 Reconocimiento (Velocidad):

Para determinar la velocidad de escaneo en un sistema de visión, primero se deben hallar los siguientes parámetros:

a. Área de visión (FOV)

El área de visión en un sistema de visión lineal puede ser hallada de la siguiente forma:

$$FOV = (D_p + L_v)(1 + P_a) \quad [2.41]$$

Donde:

FOV : (Field of view) Área de visión requerida en una dimensión

D_p : Tamaño máximo del objeto en la orientación del área de visión

L_v : Máxima variación de la posición y orientación del objeto

P_a : Es la tolerancia en el enfoque de la cámara en porcentaje

b. Resolución de imagen (R_i)

La resolución de imagen es el número de píxeles en la línea de escaneo. Este valor es determinado por la cámara y su sensor. En las cámaras de escaneo lineal, los valores típicos son de 128, 256, 512, 1024 y 2048 píxeles.

c. Resolución espacial (R_s)

La resolución espacial es el espaciado entre los centros de los píxeles cuando son ubicados en la escena. Sus dimensiones son unidad de longitud por píxel (e.g. 0.1 cm/píxel). La resolución espacial se puede calcular de la siguiente forma:

$$R_s = \frac{FOV}{R_i} \quad [2.42]$$

Donde:

R_s : Resolución espacial en la orientación del área de visión

FOV : (Field of view) Área de visión requerida en una dimensión

R_i : Resolución de la imagen, número de píxeles

Para determinar la tasa de escaneo con una cámara de escaneo lineal utilizamos la siguiente fórmula, asumiendo que se conoce la resolución espacial en la dirección del movimiento:

$$T_s = \frac{R_s}{S_p} \quad [2.43]$$

Donde:

T_s : Velocidad de escaneo de la cámara

R_s : Resolución espacial requerida en la dirección del movimiento

S_p : Velocidad de movimiento del objeto perpendicular al área de inspección.

La velocidad de procesamiento total es la suma de las cargas de procesamiento para cada una de los escaneos. La mejor estimación para hallar esta velocidad, son los píxeles por segundo de la entrada al procesador. Esto se halla con la siguiente fórmula:

$$R_p = \frac{R_i}{T_i} \quad [2.44]$$

Donde:

R_p : Tasa de píxeles en píxeles/segundo

R_i : Resolución de la imagen, número de píxeles

T_i : Tiempo mínimo para adquirir cada píxel (para cámaras de escaneo lineal, es el T_s)

2.6 Cámaras:

La función de la cámara es capturar la imagen que se proyecta en el sensor para ser transferido a un sistema electrónico.

Las cámaras que se utilizan en visión artificial tienen que tener determinadas características que permitan un control del disparo para la captura de piezas en la posición deseada. A diferencia de las cámaras comunes, las cámaras para visión artificial tienen un control completo de: tiempos, señales, velocidad de obturación, sensibilidad, etc. [9]

2.6.1 Tipos:

Dependiendo del tipo de aplicación existen cámaras con características particulares como: color, monocromo, alta definición, alta velocidad, infrarrojas, etc. Las cámaras pueden ser clasificada según la tecnología del elemento sensor y según la disposición física. [9]

a. Según la tecnología del elemento sensor:

Cámaras de tubo:

Utilizan un material fotosensible que capta la imagen, para luego ser leída por un haz de electrones

Cámaras de estado sólido CCD:

Utilizan materiales semiconductores fotosensibles, pero no necesitan un barrido electrónico para su lectura.

b. Según la disposición física:

Cámaras Lineales:

Se basan en un sensor CCD lineal. Las cámaras lineales construyen cada imagen línea a línea realizando un barrido perpendicular al sensor lineal.

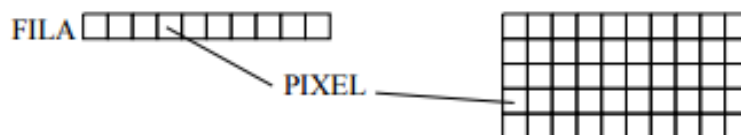


Fig. 2.35. Construcción lineal de imagen.

Fuente: Centro Integrado Politécnico "ETI"- Vision Artificial

Construir imágenes de alta calidad a partir de capturas lineales individuales, requiere de una alta precisión. Tanto la alineación como el sincronismo son críticos, para obtener una imagen precisa del objeto. [9]

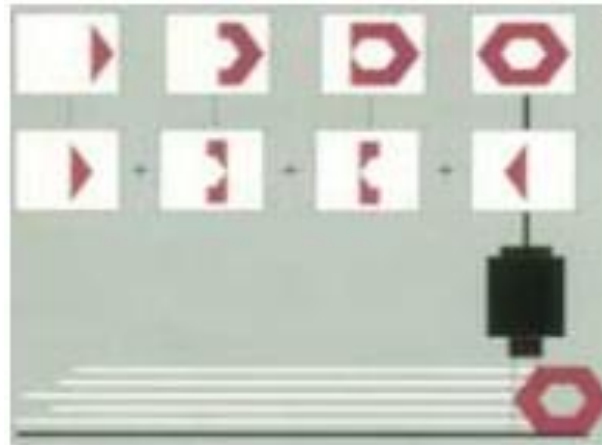


Fig. 2.36. Obtención de la imagen mediante barridos sucesivos.

Fuente: Centro Integrado Politécnico "ETI"- Vision Artificial

Características técnicas de las cámaras lineales: [9]

- **Número de elementos del sensor:** La cantidad de píxeles define el tamaño de la óptica
- **Velocidad:** Son los píxeles leídos por unidad de tiempo. Las cámaras lineales pueden alcanzar velocidades superiores a los 200 Mhz, cuyo valor es mayor que en las matriciales.
- **Cámaras lineales a color:** Están compuestas de tres sensores lineales para cara color (rojo, verde y azul). Dependiendo de su construcción, estas cámaras pueden ser de dos tipos:
 - a. **Trisensor:** En esta configuración, los sensores están separados por un pequeño espacio, esto le permite tener una buena sensibilidad, pero solo se utilizan en superficies planas
 - b. **Prisma:** En esta configuración, los sensores se ubican en las tres caras de un prisma. Con esta distribución se requiere una mayor iluminación sobre el objeto.

Cámaras Matriciales:

Se basan en un sensor CCD o CMOS matricial, para el análisis de imágenes en 2 dimensiones. Los sensores CCD están formados por diodos fotosensibles posicionados en forma matricial. Estos sensores poseen las siguientes características: [9]

- **Factor de relleno:** Es el porcentaje del área del píxel que es sensible a la luz, debido a la separación entre los registros no llega al 100%.
- **Tipo de transferencia:** Según la forma de transferencia de la información pueden ser:

- **Transferencia Inter-Línea (ITL):** Son los más comunes, utilizan registros de desplazamiento ubicados entre las líneas de pixel para almacenar y transferir los datos, lo que permite una alta velocidad de obturación.
- **Transferencia de cuadro:** Utilizan un área dedicada al almacenamiento de la luz que está separada del área activa, esto permite un mayor factor de relleno, pero reduce la velocidad de obturación.
- **Cuadro entero:** Utilizan un registro paralelo para exposición de fotones, integración de la carga y transporte de la misma; alcanzando un factor de relleno de 100%

2.7 Procesador:

Un microcontrolador es un circuito integrado que posee en su interior una unidad de procesamiento, memoria y puertos de I/O. Existe una amplia variedad de microcontroladores, que se diferencian por características como velocidad de procesamiento, cantidad de puertos, cantidad de memoria, etc. Actualmente, existen diferentes tarjetas de desarrollo de Hardware basadas en microcontroladores. Estas tarjetas de desarrollo de Hardware pueden llevar dentro un conjunto de periféricos que se describen a continuación.

Procesador Multicore:

Los procesadores multicore, son aquellos que combinan dos o más microprocesadores independientes en un solo paquete o circuito integrado. Los microprocesadores multicore permiten que el dispositivo exhiba una forma de paralelismo sin incluir diversos microprocesadores en paquetes físicos separados.

Los procesadores se unen a un canal de alta velocidad y comparten la carga de trabajo general entre ellos. En caso que uno falle, el siguiente puede cubrirlo. El multiprocesamiento se refiere específicamente a la ejecución de instrucciones simultáneas.

Entradas y salidas de propósito general:

Son también conocidas como puertos I/O, permiten leer datos del exterior o escribir en ellos desde el interior del microcontrolador, los dispositivos mayormente conectados a estas entradas son relés, LED, etc.

Algunos puertos de I/O tienen características especiales que les permiten manejar salidas con determinados requerimientos de corriente o podrían comunicar señales de interrupción de rutina hacia el microcontrolador.

Temporizadores y contadores:

Los temporizadores son utilizados para la medición de frecuencia, implementación de relojes o para el trabajo en conjunto con otros periféricos que requieren una base de tiempo estable. Los tamaños típicos de los registros de conteo son 8 y 16 bits.

Conversor ADC y DAC:

Diversas placas incorporan conversores ADC y/o DAC, que se encargan de convertir las señales de varias entradas diferentes utilizando un multiplexor.

Las resoluciones más frecuentes son 8 y 10 bits. La velocidad de estos conversores depende en parte de la velocidad del oscilador de la placa. El uso de múltiples entradas en simultáneo para el proceso de conversión, limita la velocidad de conversión.

Puertos de Comunicación:

Los puertos de comunicación que puede contener son:

- **Puerto Serie:** Este puerto puede estar contenido en la placa en forma de UART o USART, dependiendo de si permiten o no el modo síncrono de comunicación. Este tipo de puerto puede utilizarse para la comunicación con una PC mediante la interfaz RS-232, aunque también se puede utilizar mediante la interfaz RS-485 que se usa en la industria, por su mayor alcance, velocidad y resistencia al ruido.
- **I2C:** Es muy utilizado para conectar las tarjetas gráficas de las computadoras con los monitores, para permitir la autoconfiguración de sistemas de video
- **USB:** Es un sistema que permite conectar, comunicar y proveer alimentación eléctrica a la placa con otros dispositivos. Dependiendo del tipo instalado en la placa, puede variar la velocidad de transmisión de datos. Los tipos son:
 - Baja velocidad (1.0) – Tasa de transferencia de hasta 188 kB/s
 - Velocidad completa (1.1) – Tasa de transferencia de hasta 1.5 MB/s
 - Alta velocidad (2.0) – Tasa de transferencia real máxima de 22 MB/s
 - Superalta Velocidad (3.0) – Tasa de transferencia de hasta 625 MB/s

Modulador de Ancho de pulso:

Las placas pueden contar con moduladores de ancho de pulso (PWM) para el control de motores, inversión DC/AC para UPS, control regulado de luz (dimming) entre otras.

Memoria de datos:

Los microcontroladores poseen una memoria de datos tipo RAM o memoria de programa, donde se almacena el código del programa que se va a ejecutar por el procesador del microcontrolador. Adicionalmente los microcontroladores poseen una memoria de datos no volátil en forma de EEPROM.

2.8 Motor:

Los motores eléctricos son dispositivos que convierten la energía eléctrica en mecánica, debido a los campos magnéticos generados en sus bobinas.

Los motores de corriente continua son utilizados en robótica o donde se requiera un control de posición, torque o velocidad. Dentro de los motores eléctricos usados en electrónica podemos encontrar a los servomotores y motores paso a paso. En esta sección se revisa brevemente a los servomotores y motores paso a paso.

2.8.1 Servomotor:

Un servomotor de corriente continua, está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Su constitución, le permite ofrecer un control de velocidad y posición en su eje. El rango de giro de los servomotores puede variar entre 180 y 360 grados, dependiendo del modelo.

El control de los servomotores de corriente continua se realiza mediante la modulación por ancho de pulso (PWM) para controlar su dirección o posición. El servomotor utiliza su posición para realimentar el control en lazo cerrado de su movimiento y posición final.

El principio de funcionamiento de los servomotores más simples, utiliza la señal de un encoder para determinar la posición del eje y compararla con la posición deseada (señal de entrada). Si la señal del encoder difiere de la posición deseada, la tarjeta de control envía una señal de error para que el motor siga girando. Tan pronto la posición del eje se acerca a la indicada, la señal de error del motor se reduce a cero, lo que permite parar el motor.

Los servomotores más sofisticados utilizan encoders ópticos rotatorios y algoritmos de control PID para tener un control de posición más preciso y rápido sin sobrecarga.

2.8.2 Motor a pasos:

Un motor a pasos es un motor DC de imanes permanentes, que divide la rotación completa del motor en un número de pasos iguales. La posición del motor puede ser controlada y mantenida en un punto sin necesidad de un sensor de retroalimentación, siempre que el motor sea cuidadosamente seleccionado de acuerdo a su torque y velocidad.

Los motores a pasos convierten un tren de pulsos de entrada en un preciso incremento de posición del eje, cada pulso mueve al eje a una posición fija.

Los motores a pasos tienen múltiples electroimanes dentados ubicados alrededor de una pieza central en forma de engrane de hierro. Los electroimanes son energizados por un circuito externo. Para iniciar la rotación, un electroimán se energiza, y atrae magnéticamente a un diente del engrane. Una vez el diente se alinea al electroimán, existe un pequeño desfase con respecto al siguiente electroimán. Entonces cuando el siguiente electroimán se energiza y anterior se apaga, el engrane rota ligeramente

para alcanzar este nuevo electroimán. Cada rotación es un paso, y el total de pasos suman una vuelta en el eje.

Los tipos de motores a pasos son:

- De imanes permanentes.
- De reluctancia variable.
- Híbridos síncronos.

Los motores de paso híbridos, son una combinación entre el de imanes permanentes y reluctancia variable. Este motor posee un alto par y precisión en la posición.

El desempeño de los motores a paso está estrechamente relacionado al tipo de controlador que se conecte. Dentro de los controladores podemos encontrar a los circuitos L/R y chopper.

a. Circuitos L/R

Los circuitos L/R se refieren a un voltaje constante positivo o negativo aplicado a cada devanado para mover el eje cada paso. Sin embargo, lo que genera el torque es la corriente que pasa por el devanado. La inductancia y resistencia en el devanado determinan la cantidad de corriente y velocidad máxima de cambio de corriente en el devanado, de acuerdo a la fórmula de Ohm y la fórmula de los inductores:

$$I = \frac{V}{R} \quad [2.45]$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V}{L} \quad [2.46]$$

b. Circuitos Chopper

Los circuitos chopper se caracterizan por enviar corriente constante a cada devanado. En cada paso nuevo, el circuito envía inicialmente un voltaje alto al devanado, lo que causa que la corriente se eleve rápido por la fórmula de los inductores. La corriente en cada devanado es monitoreada de forma que si excede un límite específico, el voltaje se corta usando comúnmente transistores. Cuando la corriente desciende hasta un límite específico, el voltaje se conecta nuevamente. Este procedimiento le permite al motor tener un torque alto a velocidades altas.

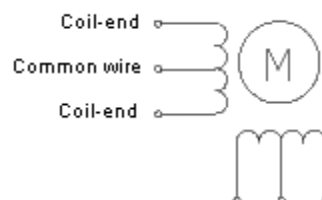


Fig. 2.37. Motor a pasos unipolar.

Fuente: "Stepper Motor"- Wikipedia

2.9 Iluminación:

La iluminación es una parte crítica dentro de un sistema de visión. El propósito de la iluminación en los sistemas de visión es controlar la forma en que la cámara captura la luz reflejada sobre el objeto. Dependiendo de la textura, forma y sección de inspección del objeto a inspeccionar, los sistemas de iluminación pueden variar. [9]

Las características que se tienen en cuenta al momento de seleccionar un sistema de iluminación son las siguientes: [9]

- Intensidad de luz necesaria
- Longitud de onda adecuada
- Superficie a iluminar
- Reflectividad del objeto
- Color del objeto
- Espacio disponible
- Tipo de cámara utilizada

2.9.1 Técnicas de Iluminación:

Según la forma de iluminar un objeto existen las siguientes técnicas:

- Iluminación posterior (backlight)
- Iluminación frontal oblicua y direccional
- Iluminación Frontal Axial (difusa)
- Iluminación de Día Nublado (cloudy day illumination, CDI)
- Iluminación de Campo Oscuro (dark field)
- Array de luces
- Iluminación de campo claro (o brillante)

Según su construcción los tipos de iluminación puede ser mediante fibra óptica, fluorescente, led, difusa, láser. [9]

a. Iluminación mediante fibra óptica:

Proporciona una intensidad de luz uniforme, con ausencia de sombras, siendo ideal para iluminar objetos pequeños.

b. Iluminación mediante fluorescentes:

Pueden ser: anulares, lineales, lineales de apertura o de panel. Existen lámparas blancas en distintas temperaturas de color y también ultravioletas. Esta iluminación es aplicada en ambientes donde se requiere mucha luz y ningún tipo de sombra.

c. Iluminación mediante diodos led:

Proporcionan una luz difusa, pueden ser de iluminación directa y en anillo.

d. Iluminación mediante láser:

Utilizados en su mayoría para la medida de profundidad y de superficies irregulares.

2.10 Lentes:

Los lentes son los elementos que se colocan en las cámaras para trasladar la luz de la escena y formar adecuadamente la imagen sobre el sensor electrónico. Su funcionamiento se debe al principio de la refracción óptica, que es un fenómeno natural.

Las lentes pueden ser clasificadas de acuerdo a 2 criterios:

- a. **Grosor:** Existen lentes delgadas o gruesas, según tengan un grosor pequeño o alto en comparación con los radios de curvatura de las superficies refractoras.
- b. **Comportamiento:** Existen lentes convergentes (también llamadas convexas o positivas) y lentes divergentes (también llamadas cóncavas o negativas). Las primeras convergen los rayos que llegan paralelos al eje óptico en un punto denominado foco imagen a la derecha del lente. Las segundas divergen los rayos al pasar por el lente, por lo que el foco imagen se ubica a la izquierda del lente.

Debido al amplio campo de la óptica, se desarrollará únicamente en esta sección el tema de las lentes delgadas.

2.10.1 Formula gaussiana de las lentes delgadas

La fórmula gaussiana de las lentes delgadas, parte de la fórmula de las lentes delgadas, pero no utiliza el criterio de signos DIN, utiliza la normativa para óptica de refracción (lentes). Esta fórmula describe el comportamiento de dicho lente. [16]

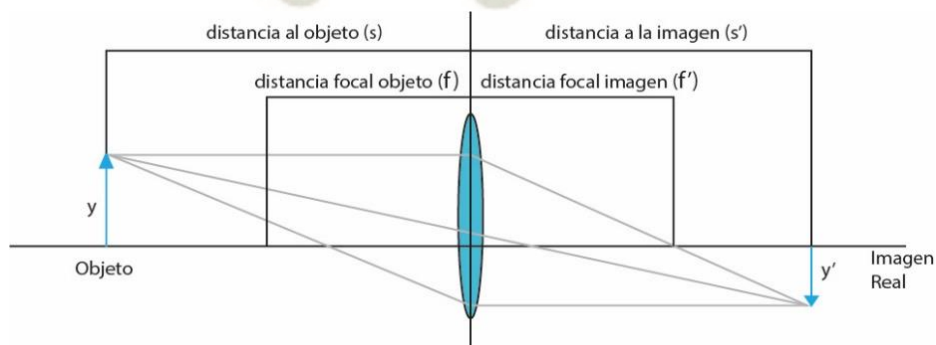


Fig. 2.38. Diagrama de lente delgada

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{1}{f'} \quad [2.47]$$

Donde:

- s, s' : Son las distancias del objeto y la imagen respectivamente al origen O. Su unidad es el metro (m).
- f y f' : Son las distancias focales del objeto y la imagen respectivamente al origen O. Su unidad es el metro (m).

a. Aumento Lateral

También llamado aumento transversal, es la relación entre la imagen y el objeto tras atravesar una lente. Se denota como A_L

$$A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \quad [2.48]$$

Donde:

- y, y' : Son las alturas del objeto y la imagen respectivamente. Su unidad es el metro (m).

b. Potencia de una lente

Representa la capacidad de una lente para hacer converger los rayos de luz que la atraviesan. Se denota como P

$$P = \frac{1}{f'} \quad [2.49]$$

Su unidad de medida es $[m^{-1}]$

c. Ángulo de visión

El ángulo de visión, es el cono de entrada de luz sobre el lente. Se denota como θ

$$\theta = 2 \arctan\left(\frac{y'}{2 \cdot f}\right) \quad [2.50]$$

Al momento de seleccionar un lente, se deben considerar los siguientes puntos:[14]

- Distancia focal
- Angulo de visión
- Número F
- Campo de visión
- Profundidad de campo
- Distorsión de la imagen

- Distorsión de los colores de la escena
- Sistemas de montaje
- Rango de temperatura
- Resolución

En el mercado, al momento de seleccionar el tipo de lente a utilizar, predominan estos tres tipos de lentes: [21]

- Lente Montaje-C
- 35 mm Lentes
- Lente de extensión

d. Lente Montaje C

Se refiere principalmente a las especificaciones de la rosca que lleva para montarse y la distancia focal hasta el sensor. Después se desarrolló una variación que fue el lente montaje CS, para las nuevas cámaras con sensores más pequeños. Utiliza la misma rosca de montaje, pero su distancia focal puede ser de 5mm o menor.

Este tipo de lentes son relativamente económicos, pequeños y ligeros.

e. 35mm Lentes

Este tipo de lentes ofrecen una muy buena relación, calidad y precio. Estos lentes son muy utilizados en cámaras de escaneo por área y lineal. Estos lentes se montan a presión, por ello cuando se exponen a ambientes con bastante vibración, no pueden ser utilizados para cámaras que rastrean la posición de un objeto.

f. Lente de Extensión

Estos lentes son diseñados para imágenes de campo plano. Mientras que los lentes anteriores permiten una curvatura en el campo de visión, permitiendo enfocar largas distancias, estos están optimizados para trabajar a distancias cortas. Estos lentes tienen un limitado rango de distancias focales y pueden unirse con adaptadores que amplían su rango de enfoque.

2.10.2 Pasos para seleccionar un lente

Los pasos para seleccionar un lente son:

1. Determinar la distancia del objeto, utilizar un valor medio si existe un rango permitido.
2. Calcular el aumento lateral con el tamaño del objeto y sensor.
3. Calcular la distancia focal requerida
4. Seleccionar un lente con un valor cercano al calculado
5. Recalcular la distancia al objeto para el lente seleccionado.



CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACION

3.1 Estado del Arte

En el proceso de diseño del sistema, se investigaron primero las diversas soluciones que existen en el mercado para la inspección de etiquetas.

Estas soluciones se pueden agrupar de acuerdo a 2 criterios; el tipo de etiqueta que se va a inspeccionar y las características de la superficie del envase. Específicamente, para los envases cilíndricos; cada sistema se diferencia del otro por el método de adquisición de imagen, que puede ser mediante sensores de color o cámaras (matriciales o lineales) con su respectiva calibración y procesamiento.

Las características de cada método se analizaron bajo los siguientes puntos:

- **Velocidad de procesamiento:** Si bien la velocidad de procesamiento depende del algoritmo, también depende de la cantidad de data que se va a analizar. Por ello se tomaron los siguientes criterios:
 - Cantidad de data que proporciona el sistema solo para un análisis.
 - Posibilidad de segmentar el área de inspección para reducir la data.Mientras el sensor de color solo detecta el color que tiene en frente, las cámaras matriciales entregan una matriz con información sobre cada pixel. Y las cámaras lineales escanean únicamente una línea y su área de inspección puede ser segmentada.
- **Campo de aplicaciones:** Para analizar esto se compararon la cantidad de aplicaciones que tiene cada sistema en el mercado. Los sensores de luz se utilizan para detectar un único color a una corta distancia, mientras las cámaras permiten capturar una escena completa con un mayor detalle.
- **Hardware adicional:** En este punto se analizaron los componentes adicionales a cada cámara o sensor para que estos puedan entregar la data correctamente. En el caso de los sensores de color y cámaras matriciales, estos pueden conectarse directamente al controlador, mientras que las cámaras lineales necesitan la mayoría de veces un Frame Grabber antes del controlador para indexar cada frame o evitar una sobrecarga de información en el controlador.
- **Complejidad de implementación:** Para analizar este punto, se evaluaron los sistemas adicionales a la cámara, que son necesarios para realizar una captura. Para los sensores de color y cámaras matriciales lo más importante es tener una correcta iluminación, mientras que, para las cámaras lineales a parte de la

iluminación, se necesita sincronizar la velocidad de captura y la velocidad de la superficie a inspeccionar (control de posición).

Todos estos puntos se representan en la tabla 1.

Tabla 1: Métodos de Adquisición de Imagen.

Sistemas con:	Sensores de Color	Cámaras Matriciales	Cámaras Lineales
Velocidad de procesamiento	Rápido	Lento	Rápido
Campo de aplicaciones	Limitado	Amplio	Amplio
Hardware adicional	No Necesita	No necesita	Necesita
Complejidad de implementación	Simple	Simple	Complejo

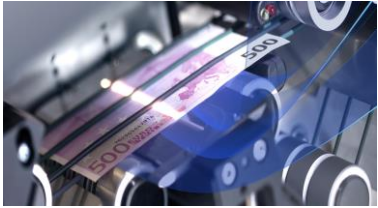
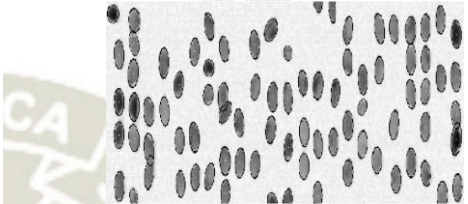

Fuente: Elaboración propia

Debido al amplio campo de aplicaciones y la velocidad de procesamiento, se han investigado las cámaras lineales dentro del mercado.

Dentro del mercado existen diversas empresas que implementan sistemas de visión utilizando cámaras de escaneo lineal, con aplicaciones en la inspección de calidad de productos, inspección de etiquetas, inspección de billetes e inspección de detalles en alta resolución. Todos estos procesos requieren que la inspección sea en tiempo real y para una gran cantidad de productos. Estos sistemas de inspección generalmente son colocados en la parte final de una línea de producción para determinar la calidad de los productos y poder seleccionarlos.

Debido a la complejidad y el costo de los sistemas de inspección con cámaras de escaneo lineal, el mayor desarrollo en el mercado está orientado a aquellos procesos con mayor demanda; por ejemplo, la inspección de granos, impresión y envases, donde se producen maquinas en serie. Aunque también existen empresas que diseñan sistemas específicos para un determinado ambiente y producto.

Tabla 2: Aplicaciones de Cámaras de Escaneo Lineal

Nombre	Proceso
<p>Inspección de impresión</p>	
<p>Inspección de Granos</p>	 <p>Fuente: CCD Rice Grain Positioning Algorithm for Color Sorter with Line CCD Camera - Lei Yan, Sang – Ryong Lee, Yang, Lee</p>
<p>Inspección de Envases</p>	

Fuente: Elaboración propia

Los sistemas de inspección con cámaras de escaneo lineal poseen la constante de estar integrados por tres subsistemas en la adquisición de imágenes. Estos subsistemas son: posicionamiento, iluminación y captura de frames; los cuales se intentarán replicar de forma sencilla en el proceso de diseño de un sistema para la inspección de etiquetas en envases cilíndricos.

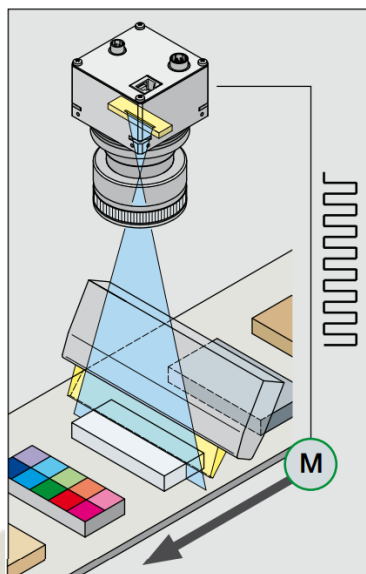


Fig. 3.1. Sistema de inspección con cámara de escaneo lineal

Fuente: Line scan cameras for industrial image processing –
Peter Gips and Ulrich Oechsner.

https://www.sukhamburg.com/download/Art-Optik+Photonik_2012_7_49_E.pdf

3.1.1 Control de Posición:

En lo referente al control de posición, existen diversos servomotores o motores a paso dentro del mercado. Según el uso, los servomotores pueden ser industriales para alto torque o servos rc⁸ para modelismo. Los servomotores industriales poseen realimentación y son robustos, con la capacidad de comunicarse con controladores a través de protocolos industriales, mientras la mayoría de los servos RC no poseen realimentación hacia el controlador y su control es a través de PWM. En el mercado existes marcas como SEW, FESTO, ABB, Siemens, entre otros para los servomotores industriales, mientras marcas como Parallax, Futaba para servomotores pequeños.

Tabla 3: Servomotores industriales y servos RC

SEGÚN USO	MARCAS	SERVOMOTORES
SERVOMOTORES INDUSTRIALES	SEW	

⁸ Servo RC: o también llamado servo de modelismo, está compuesto por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control y se utiliza frecuentemente en sistemas de radiocontrol y en robótica.

	ABB	
	SIEMENS	
SERVOS RC	PARALLAX	
	FUTABA	




Fuente: Elaboración propia

En el caso de los motores a paso, existen diversos motores y controladores. Estos motores no poseen retroalimentación y los controladores se encargan de control. En el mercado podemos encontrar motores de paso y controladores tanto para aplicaciones industriales como de modelismo. Algunas marcas son: Oriental motor, Sherline IPD, Sparkfun.

En el desarrollo del sistema se utilizó servos RC y motores a paso semi-industriales, dependiendo de su disposición en el mercado y el costo de cada uno.

Tabla 4: Servomotores y Controladores

SEGÚN USO	MARCA MOTOR	SERVOMOTORES	DRIVER
MOTOR A PASO INDUSTRIALES	ORIENTAL MOTOR		

	SHERLINE		
MOTOR A PASO PARA MODELISMO	Sparkfun		

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Iluminación:

En lo referente a iluminación, dentro del mercado podemos encontrar diferentes tipos de lámparas. La variedad de lámparas depende de la aplicación, pudiendo ser de anillo, lineales, barras y fondo. Las lámparas industriales pueden comunicarse con su controlador a través de protocolos industriales y para su selección se contemplan criterios como dirección, espectro, polarización, intensidad y uniformidad. [21] En el mercado existen marcas como KEYENCE para lámparas industriales

Tabla 5: Lámparas industriales

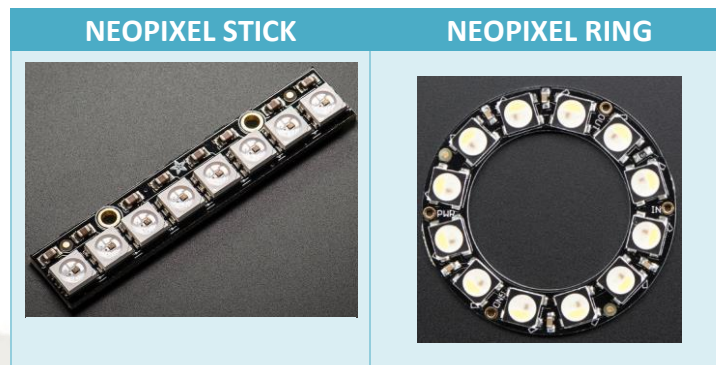
ILUMINACION ANULAR	ILUMINACION DE BARRA	ILUMINACION DE DOMO	ILUMINACION DE LINEA
			

Fuente: Elaboración propia

También existen lámparas que están compuestas por arreglos de LEDs, en forma stick o anillo, cuya iluminación es controlada por PWM y no poseen refrigeración para un uso continuo. En el mercado existen marcas como Adafruit para lámparas por arreglo de LEDs.

En el desarrollo del sistema, se utilizaron lámparas por arreglo de LEDs, dependiendo de la disposición, forma y soporte de software para el control.

Tabla 6: Lámparas por arreglo de LEDs



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Captura de Frames:

La captura de frames, se realiza con cámaras de escaneo lineal. Dentro del mercado podemos encontrar cámaras semi industriales, cámaras industriales, cámaras multiuso y sensores ópticos.

Las cámaras semi industriales son cámaras que cumplen con estándares de calidad y protección IP, que les permite ser utilizadas en entornos industriales. Su principal ventaja es que pueden ser enlazadas con diversos controladores o programas, a través de drivers que ofrece la misma marca. Esta característica brinda libertad en el diseño, para seleccionar el controlador y lenguaje más adecuado. Su velocidad de captura está limitada por la tasa de datos que permite el protocolo de comunicación que se utilice. Estas cámaras llevan el hardware integrado para adaptar su señal en la comunicación por USB (Universal Serial Bus).



Fig. 3.2. Digital CCD Line Camera – CCD-S3600-D(-UV)

Fuente: ALPHALAS

Las cámaras industriales de software propio, necesitan de un software de la misma empresa para poder ser programadas. Si bien poseen un controlador integrado, su programación se da dentro de los límites definidos por el software. Estas cámaras pueden ser utilizadas en entornos industriales, gracias a los estándares de calidad y protección IP que cumplen.

Tabla 7: Cámaras de Escaneo Lineal industriales

MARCA	CAMARA ESCANEO LINEAL
BASLER	
TELEDYNE DALSA	

Fuente: Elaboración propia

Sus principales características son la resolución de su sensor, su lente y su forma de construcción. Respecto a su forma de construcción, en el mercado existen cámaras con tecnología TDI (Time Delayed Integration)⁹, que consiste en utilizar sensores que tienen de 2 a 256 filas de pixeles colocados verticalmente, pasando la carga de cada celda a la siguiente con el fin de que un pixel pueda ser leído más veces, para obtener una mejor resolución y mantener la alta velocidad de captura.

⁹ TDI: Tiempo retardado para integración

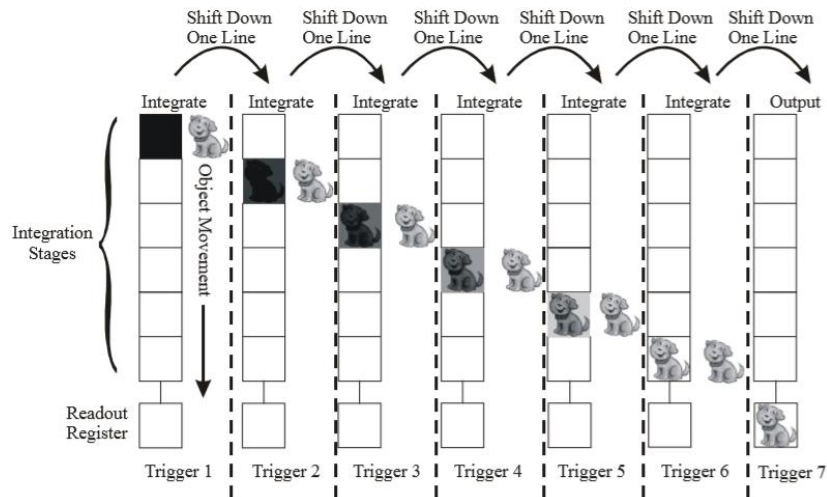


Fig. 3.3. Time delay and Integration Effect (TDI)

Fuente: Application Note – Line Scan Imaging Basics – DALSA.

Sin embargo, dependiendo de la velocidad de captura de frames y su resolución, es necesario la utilización de un Frame Grabber. Los Frame Grabber permiten que la cámara pueda trabajar a su capacidad real, realizar un pre-procesamiento de la señal y no ser limitada por la velocidad del controlador o la cantidad de Baudrate que permite el protocolo de comunicación del controlador. Todos estos detalles hacen que la cámara tenga un costo relativamente alto.




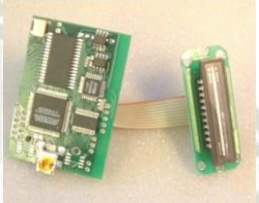
Fig. 3.4. Frame Grabber Xtium – CLHS PX8

Fuente: TELEDYN DALSA.

Las cámaras multipropósito son dispositivos simples, cuyo diseño está orientado a educación o proyectos sencillos. Estos dispositivos requieren de un controlador externo para ser programados. En el mercado existen algunas empresas que desarrollan cámaras multiuso con sensores lineales como Parallax y Eureka Messtechnik, y sus características dependen del tipo de sensor que utilice. Sin embargo, la mayoría de cámaras multiuso tienen una velocidad limitada de captura de

frames y son sensibles al ruido, debido a que el sensor CMOS que utilizan genera una señal de salida analógica que es tratada por el controlador. Estas cámaras tienen un costo accesible y la mayoría de estas se comunican por USB (Universal Serial Bus).

Tabla 8: Cámaras Escaneo Lineal Multipropósito

MARCA	CODIGO	CAMARA ESCANEO LINEAL	Señal de Salida
Parallax	TSL1401-DB		Analógica
Eureka Messtechnik	USB-Board- ELIS-1024		Digital

Fuente: Elaboración propia

Los sensores ópticos de matriz lineal (Linear Optical Sensor Array) son utilizados en la construcción de cámaras de escaneo lineal. En el mercado podemos encontrar sensores con tecnología CMOS – APS (Active pixel sensor) y CCD (Charge-Coupled Device). Los sensores pueden variar dependiendo de su tipo, resolución, señal de salida, construcción y velocidad. Respecto a la construcción, existen sensores que llevan integrados conversores ADC (Convertor Analógico a Digital) con el propósito de incrementar su velocidad y evitar la distorsión. En el mercado existen diversas marcas como AMS, FAIRCHILD IMAGING, SONY y TOSHIBA. El costo de estos sensores es accesible y se pueden conseguir por importación para Perú. En el desarrollo del sistema se consideraron los sensores dependiendo de su disposición en el mercado y su costo.

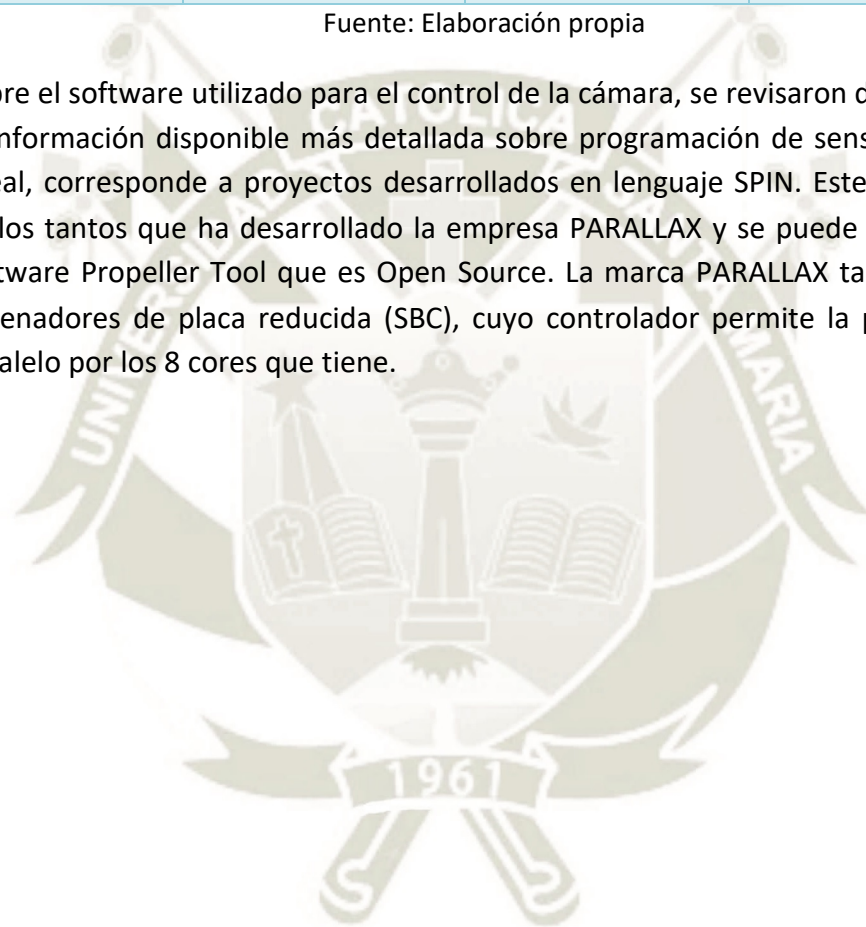
Tabla 9: Sensores Ópticos de Matriz Lineal

MARCA	CODIGO	CAMARA ESCANEO LINEAL	Señal de Salida
Dynamax Imaging	ELIS1024		Analógica

<p>AMS</p>	<p>TSL3301-LF</p>		<p>Digital</p>
<p>Melexis</p>	<p>MLX75306</p>		<p>Digital</p>

Fuente: Elaboración propia

Sobre el software utilizado para el control de la cámara, se revisaron diversas fuentes y la información disponible más detallada sobre programación de sensores de escaneo lineal, corresponde a proyectos desarrollados en lenguaje SPIN. Este lenguaje es uno de los tantos que ha desarrollado la empresa PARALLAX y se puede programar en su software Propeller Tool que es Open Source. La marca PARALLAX también desarrolla ordenadores de placa reducida (SBC), cuyo controlador permite la programación en paralelo por los 8 cores que tiene.



3.2 DISEÑO DEL SISTEMA

3.2.1 Selección de controlador:

Para poder seleccionar el controlador se analizaron los funciones y requerimientos que debe cumplir. Estos son los requerimientos:

- Ser ordenador de placa reducida
- Existir soporte documentario de proyectos con cámaras de escaneo lineal.
- Software de Programación debe ser OPEN SOURCE
- Tener librerías
- Alimentación externa
- Comunicación USB
- Salida de 5V y 3.3V
- Interfaz de comunicación con controlador.

Estas son sus funciones:

- Controlar más de 2 sistemas en paralelo.
- Controlar más de 15 entradas y salidas digitales.
- Comunicación con Computador

En el mercado existen diversas marcas de ordenadores de placa reducida como arduino, raspberry pi, etc. Todas estas cumplen con la mayoría de requisitos, sin embargo, no todas tienen la posibilidad de realizar tareas en paralelo; por ello se priorizo esta característica. Finalmente, la empresa Parallax desarrollo ordenadores de placa reducida cuyo controlador posee 8 procesadores (cores), para poder controlar procesos en paralelo. El modelo seleccionado fue Propeller Board of Education, porque aparte de cumplir con todos los requerimientos anteriores, existe soporte documentario de proyectos utilizando cámaras de escaneo lineal.

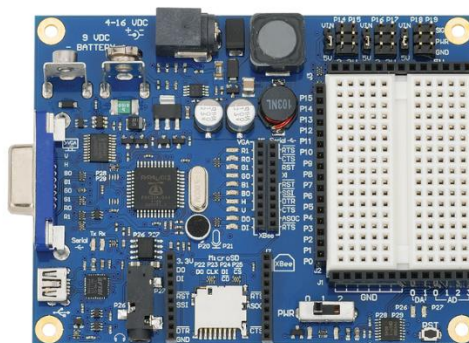


Fig. 3.5. Propeller Board of Education

Fuente: Parallax inc

Las características de este procesador son:

Tabla 10: Características técnicas de Propeller Board of Education (BOE)

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Procesador:	Propeller P8X32A - 32 bits
Set de Instrucciones:	RISC de 32 bits
Cores:	8
Velocidad de Ejecución:	160 MIPS ¹⁰ (20 MIPS/cog)
RAM GLOBAL	32KB
ROM GLOBAL	32KB
EEPROM:	64KB (No volátil)
Core RAM:	512 x 32 bits (por core)
Oscilador de Cristal:	5 Mhz – hasta 80Mhz (clock frequency)
Alimentación por Bateria:	Batería de 9 V
Fuente externa:	4-16 VDC Min: 1.5 A Enchufe centro positivo de 2.1mm
Boton Reset	SI
Conectores Adicionales:	Mini Stereo-audio Electrek microphone VGA para proyección audio/visual
Memoria Externa:	MicroSD
Indicador LED:	Energía, Habilitación Servo, 8 x VGA, 2 x salida analógica, USB Tx/Rx
Salida Voltaje regulado:	5VDC x 6 (Hasta 3A) 3.3VDC x 7 (Hasta 460mA)
Comunicación:	USB 2.0 Mini Type B
Convertor DA:	DA0, DA1
Convertor AD:	AD0, AD1, AD2, AD3 - (10 bits)
GPIO:	16 (P0 ... P15) *Accesibles en la placa
Protoboard:	Si
Puertos Servo:	6
Dimensiones:	111.1 mm x 77.47 mm

Fuente: Elaboración propia

Los 8 procesadores ‘COGs’ que posee son de 32 bits con el mínimo soporte lógico y la conexión básica a los pines de entrada y salida. Todos los cogs funcionan a la misma velocidad y ejecutan sus instrucciones de forma sincrónica¹¹.

¹⁰ MIPS: Millones de instrucciones por segundo

¹¹ Sincrónica: Que se realiza al mismo tiempo que otro proceso.

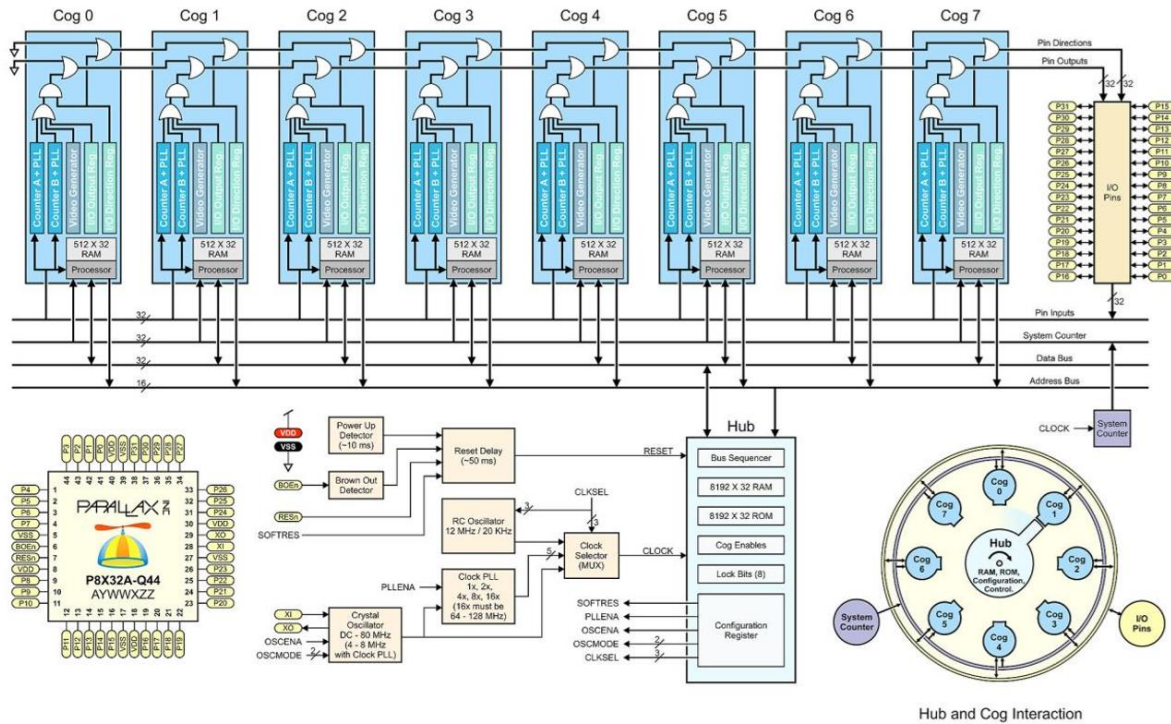


Fig. 3.6. Arquitectura interna de Propeller

Fuente: W.G. Marshall Rev.1.3 – Radiospares Radionics

La memoria EEPROM tiene como objetivo cargar código almacenado en la RAM, cuando esta ha sido reiniciada o encendida.

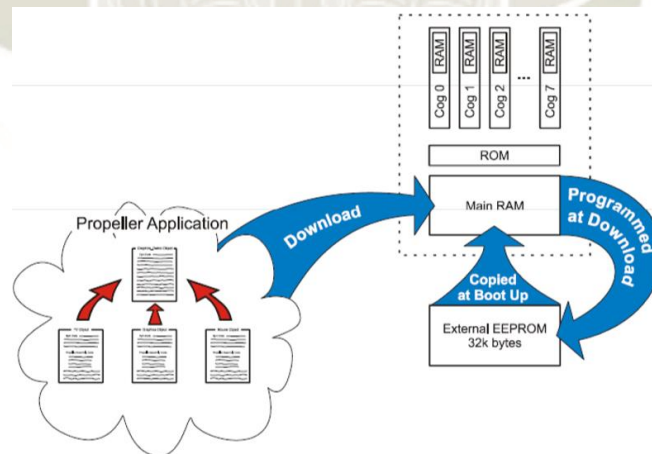


Fig. 3.7. Memoria EEPROM en BOE

Fuente: The Spin Language & PropBot Programming

La memoria compartida del controlador BOE separa 32KB para la RAM y 32KB para la ROM. De los cuales, dentro de la RAM se reservan los primeros 16 Bytes y el resto de la RAM hasta la dirección \$7FFF es el espacio disponible para guardar el código. Mientras que en la memoria ROM están almacenados las diferentes tablas de caracteres, log, antilog, interpretadores entre otros para la ejecución de las operaciones.

La memoria RAM almacena no solo el programa, sino también la data, variables globales y el ‘stack space’¹². El stack space es un bloque de memoria usado en el lenguaje SPIN para almacenar información temporal y permitir la correcta ejecución de los programas cuando se realiza el multiproceso. El tamaño del stack space está limitado por el espacio libre que tenga disponible la memoria. Calcular el tamaño requerido para el programa de cada Cog es complicado. Sin embargo, existen funciones que permiten conocer cuánto espacio ha sido utilizado por el core para regular el tamaño del stack antes definido.

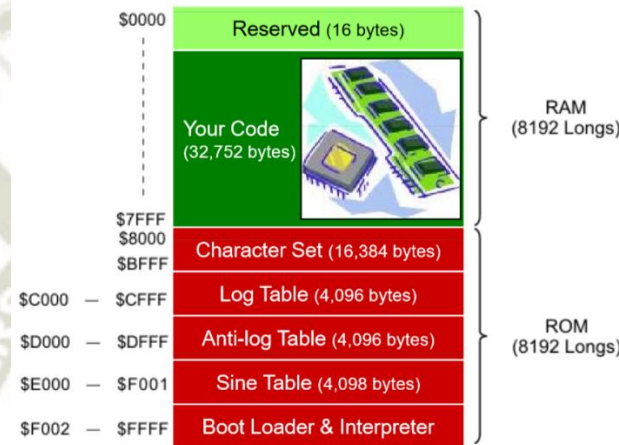


Fig. 3.8. Memoria Compartida BOE

Fuente: The Spin Language & PropBot Programming

La firma Parallax también ofrece el software “Propeller Tool” y “SIMPLE IDE” que son open source. Estos programas no solo permiten la programación de sus controladores, también ofrecen una interfaz de comunicación “Parallax Serial Terminal” que permite recibir o enviar información al controlador. Cada software permite programar el controlador con un lenguaje diferente.

Tabla 11: Software de programación de Parallax

SOFTWARE	Propeller Tool	SIMPLE IDE
LENGUAJES	Assembly	Propeller C
	SPIN ¹³	

Fuente: Elaboración propia

La implementación de un programa en SPIN es más rápida que uno en Assembly. Sin embargo, la ejecución de instrucciones en Assembly es más rápida. Adicionalmente a estos lenguajes están el C, Basic, BlocklyProp, entre otros. El software utilizado para la programación en nuestro sistema fue Propeller Tool v1.3.2

¹² Stack space: Espacio dentro de Memoria para las variables del core programado.

¹³ Lenguaje propio de la firma PARALLAX, es un lenguaje de alto nivel, orientado a objetos.

3.2.2 Selección de la Cámara:

Para poder seleccionar la cámara es necesario determinar características como su resolución, velocidad de captura, tipo de comunicación. Para obtener estos datos es necesario analizar los requerimientos del sistema.

a. Requerimientos de la cámara:

El objeto a inspeccionar es un sticker que esta sobre una superficie cilíndrica, el sticker tiene una altura de 60 mm y un largo de 75 mm. El espesor mínimo de las letras es de 1 mm aproximadamente.



Fig. 3.9. Sticker con malla cuadrada de 1mm.

Fuente: Elaboración propia.

El envase circular es de 47 mm de diámetro, por lo que el sticker ocupara la aproximadamente la mitad de la circunferencia.

$$\begin{aligned}
 S &= \theta \cdot r & [3.1] \\
 75 \text{ mm} &= \theta * 23.5 \text{ mm} \\
 \theta &= 3.19 \text{ rad} = 182.8^\circ
 \end{aligned}$$

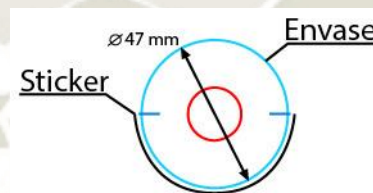


Fig. 3.10. Ubicación de sticker

Fuente: Elaboración propia.

Como el sistema es un módulo de pruebas, no existe una velocidad a alcanzar en la rotación del envase. Sin embargo, la velocidad mínima está determinada por el motor que se seleccione para la posición. En nuestro caso, probando diversos servomotores RC se concluyó que alcanzan una velocidad mínima estable de 10 mm/seg.

Si la cámara tiene una resolución de 1mm x pixel, entonces calcularemos la velocidad mínima de captura de frames.

$$\begin{aligned}
 FPS &= \frac{1 \text{ frame}}{1 \text{ mm}} \times \frac{10 \text{ mm}}{\text{seg}} & [3.2] \\
 FPS &= 10
 \end{aligned}$$

Si la resolución es de 1mm x pixel y nuestra superficie a inspeccionar son 75 mm, entonces:

$$S = 75 \text{ frames}$$

Con los datos anteriores podemos calcular aproximadamente el tiempo que le tomará a la cámara barrer la superficie a inspeccionar.

$$T_{insp} = \frac{S}{FPS} \quad [3.3]$$

$$T_{insp} = \frac{75 \text{ frame}}{10 \frac{\text{frame}}{\text{seg}}}$$

$$T_{insp} = 7.5 \text{ seg}$$

b. Selección del Cámara de Escaneo Lineal

Las cámaras industriales y semi industriales están sobre dimensionadas para esta aplicación, su resolución y su velocidad de captura es muy superior a la mínima requerida. Se optó por realizar pruebas con las cámaras multiuso dentro del mercado. La marca PARALLAX tiene entre sus productos una cámara multiuso de escaneo lineal (TSL1401-DB). Esta cámara utiliza un sensor óptico TSL1401 de la marca TAOS. Para probar la cámara se desarrolló un programa en lenguaje C, en el entorno de SIMPLE IDE; para luego ser cargado en la tarjeta BOE (Board of Education) de Parallax. Si bien la resolución de la cámara era suficiente, la principal desventaja era el tipo de salida análogo, que era sensible al ruido y tenía que escalarse dentro del programa. Como resultado, la cámara tenía una tasa de 2 FPS, mejorando el programa se hubiera conseguido una mejor tasa, pero no la adecuada para nuestro sistema. Al igual que esta empresa, existen otras marcas que producen cámaras multiuso con sensores de salida análogo.

Para el desarrollo del proyecto, se diseñó una cámara de escaneo lineal.

ETAPA 1: Selección de sensor:

Los sensores ópticos de la marca AMS, son uno de los más utilizados en el desarrollo de cámaras multiuso en el mercado. Podemos encontrar dentro de sus productos, diversos tipos de sensores.

Tabla 12: Sensores de Matriz Lineal de la marca AMS

Sensor	Resolución	Características
TSL1401CCS	128 x 1	Con memoria 400 DPI ¹⁴
TSL1401CL	128 x 1	Con memoria 400 DPI
TSL3301	102 x 1	Con ADC 300 DPI

Fuente: Elaboración propia

El sensor TSL3301, es un sensor óptico de 102 pixeles en forma lineal que tiene integrado un conversor ADC. Las características de este sensor son:

- ✓ Sensor de alta sensibilidad
- ✓ 300 DPI (Puntos por pulgada)
- ✓ 102 pixeles x 1 línea
- ✓ ADC integrado de 8 bits
- ✓ Los pixeles están agrupados en 3 zonas
- ✓ Ganancia y Offset programables por cada zona
- ✓ Salida digital
- ✓ Interface serial de alta velocidad (SCLK,SDIN,SDOUT)
- ✓ Tasa de Pixeles de 1MHz
- ✓ Fuente de 3 V a 5.5 V

Se seleccionó este sensor porque cumple con los requerimientos y posee la ventaja de contar con un conversor ADC integrado de gran velocidad. Esto permitirá eliminar la sensibilidad al ruido en la cámara, pues la salida del sensor será digital. Adicionalmente, existe información disponible en la web a cerca de su programación con controladores. [11]

Para probar el sensor se implementó un programa en lenguaje máquina, para la programación y lectura del sensor. Además, se implementó un programa en lenguaje SPIN para el control de comandos y comunicación. Para interpretar los datos que obtenía el controlador se preparó un programa en MATLAB, que se comunicaba con el controlador y graficaba la información que recibía del controlador.



Fig. 3.11. Diagrama prueba de sensor

Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ DPI: Puntos por pulgada

Se instaló el sensor sobre una placa con un lente para realizar las pruebas.

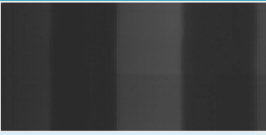
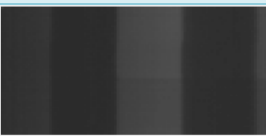



Fig. 3.12. Imagen real 8 MP

Fuente: Elaboración propia.

La velocidad de captura se probó para diversos puntos.

Tabla 13: Velocidad de escaneos

Imagen	Desde	Hasta	Velocidad	Detalles
	TSL3301	Controlador	450 FPS	Código assembly y SPIN
	TSL3301	Controlador	30 FPS	Solo código SPIN
	TSL3301	Matlab	12 FPS	Codigo assembly y SPIN. Comunicación serial, Baudrate: 115 200

Fuente: Elaboración propia.

Con esta prueba se pudo determinar que el sensor alcanza la tasa mínima requerida para nuestro sistema. Dependiendo del punto donde se implemente el algoritmo para el procesamiento de imágenes, la velocidad de captura puede variar, ya sea en el controlador o en MATLAB.

ETAPA 2: Implementación de sensor:

De acuerdo a la hoja de datos técnica del sensor TSL3301-LF [10], el sensor se alimenta con un voltaje entre 3 V a 5.5 V y presenta una mayor sensibilidad cuando se trabaja con ondas de 700nm, correspondientes al color rojo. En el caso de trabajar con fuentes no reguladas es necesario colocar un diodo y un capacitor para evitar sobrecargas. En nuestro caso, el sensor será alimentado desde la tarjeta BOE (Board of Education), que

tiene salidas de voltaje regulado de 3.3 V. La comunicación con el sensor se realiza en forma serial con niveles de voltaje TTL¹⁵, que son las señales digitales que posee el controlador, por ello no requiere mayor implementación.

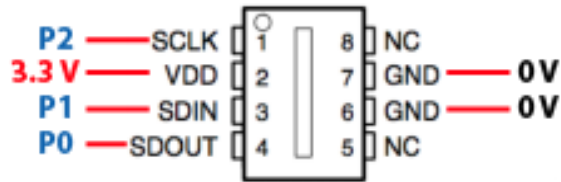


Fig. 3.13. Conexión de TSL3301

Fuente: Elaboración propia.

ETAPA 3: Selección de Lente.

Para poder seleccionar el lente es necesario determinar los requerimientos del sistema. Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección del lente son: el área inspeccionar, la distancia de la cámara al envase, el enfoque y la posibilidad de intercambiar el lente.

El área a inspeccionar tiene una altura de 60 mm, y la distancia de la cámara al envase puede variar. Sin embargo, la velocidad de captura del sensor es alta, por ello la cantidad de luz que incide sobre el sensor debe ser la mayor posible. Bajo este criterio, mantendremos una relación de 1:1 entre la sección a inspeccionar y la distancia entre el envase y la cámara.

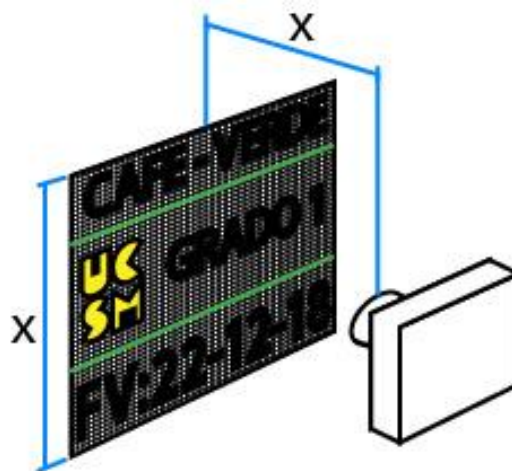


Fig. 3.14. Ubicación de cámara

Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ Niveles de voltaje TTL: Para entrada: Lógica 0 \Rightarrow 0 - 0.8V, Lógica 1 \Rightarrow 2.0 - 5.0 V
Para salida: Lógica 0 \Rightarrow 0 - 0.8V, Lógica 1 \Rightarrow 2.0 - 5.0 V

Utilizamos la formula gaussiana de las lentes delgadas [2.47] y la relación del aumento lateral [2.48] para calcular la distancia focal del lente.

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \quad \wedge \quad A_L = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

Donde:

s' = Distancia de la imagen (mm)

s = Distancia del objeto (mm)

f = Distancia focal del lente

A_L = Aumento lateral

y' = Tamaño del sensor (mm)

y = Tamaño del campo de visión (mm)

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

$$f(s' + s) = s' \cdot s$$

$$f \left(1 + \frac{s}{s'} \right) = s$$

$$f \left(1 + \frac{y}{y'} \right) = s \quad [3.4]$$

El tamaño del sensor lo podemos obtener del Datasheet del TSL3301 (TAOS, 2001). Donde nos indica que el sensor contiene 102 pixeles, cada uno mide 85 μm de alto, 77 μm de alto y están separados a 85 μm entre centros.

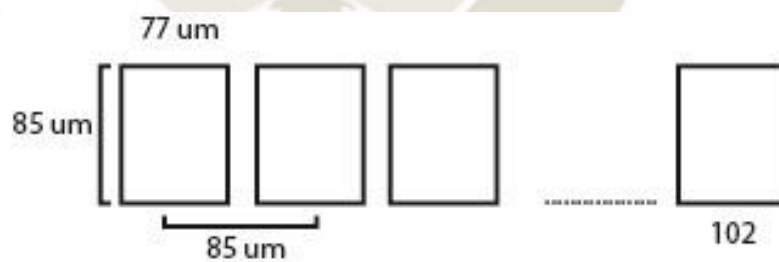


Fig. 3.15. Distribución fotoceldas en sensor TSL 3301

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño del sensor lo podemos calcular de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} y' &= (77 \mu\text{m} * 102) + (85 - 77) \mu\text{m} * 101 & [3.5] \\ y' &= 7.854 \text{ mm} + 0.808 \text{ mm} \\ y' &= 8.662 \text{ mm} \end{aligned}$$

Calcularemos la distancia focal, con el siguiente criterio:

Se mantendrá una relación 1:1 entre la sección a inspeccionar y la distancia del lente al objeto, con el propósito de colocar la iluminación lo más cerca posible al objeto y que la cámara no sea afectada por la iluminación del ambiente. Entonces:

$$s = 60 \text{ mm}$$

$$y = 60 \text{ mm}$$

De la ecuación [3.4]:

$$f \left(1 + \frac{y}{y'} \right) = s$$

$$f \left(1 + \frac{60 \text{ mm}}{8.662 \text{ mm}} \right) = 60 \text{ mm}$$

$$f = 7.57 \text{ mm}$$

Para calcular el ángulo de visión aplicamos la fórmula [2.50]:

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{y'}{2 * f} \right)$$

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{8.662 \text{ mm}}{2 * 7.57 \text{ mm}} \right)$$

$$\theta = 59.55^\circ$$

Se seleccionó un lente intercambiable para diferentes resoluciones y con enfoque manual de la marca MOBOTIX.



Fig. 3.16. MOBOTIX MX-B079

Fuente: Amazon.ca

El lente seleccionado tiene las siguientes características:

- ✓ Distancia focal: 7.9 mm
- ✓ Apertura fixed: f1.8
- ✓ Enfoque manual: (min. 25mm)
- ✓ Rosca de 12mm x 0.5mm
- ✓ Field of view (FOV): 54° Diagonal (45° H x 34° V)

- Recalculo para lente seleccionado.

$$f \left(1 + \frac{y}{y'} \right) = s$$
$$7.9 \left(1 + \frac{60mm}{8.662 mm} \right) = s$$
$$s = 62.6 mm$$

* Con el lente seleccionado para inspeccionar la etiqueta de 60 mm de alto debemos colocar aproximadamente el lente a 63 mm del envase.

3.2.3 Selección de Iluminación:

El propósito de seleccionar la correcta iluminación es obtener el mejor contraste en la imagen, diferenciando las partes del fondo. En nuestro caso, la cámara utiliza un sensor de escaneo lineal, que captura frames en 1D sobre una superficie que rota. Por ello utilizaremos la técnica de iluminación lineal, que consiste en una lámpara lineal compuesta por leds. Para seleccionar la adecuada debemos considerar los siguientes detalles:

- La sección a inspeccionar tiene 60 mm de alto
- El espacio permitido para colocar la luminaria son 80 mm
- El control de la luminaria debe ser con señales digitales del controlador.

Las luminarias industriales no pueden ser utilizadas en nuestro diseño porque su tamaño mínimo es 150mm y requieren de un controlador adicional que utiliza protocolos de comunicación industriales. La opción que se seleccionó fueron 2 lámparas Stick de la marca Adafruit que poseen las siguientes características:

- ✓ Compuesto por 8 LED WS2812
- ✓ $V_{cc} = 5.0 V$
- ✓ $V_i = 5.0 V$
- ✓ Control por PWM - 800 Khz
- ✓ Consumo por Led = 30 mA (Para R:255 G:255 B:255 – Full intensidad)

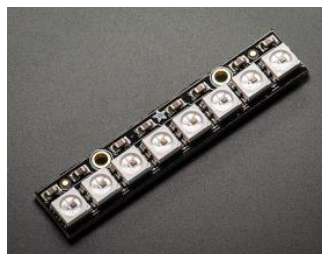


Fig. 3.17. NeoPixel Stick RGB LED 8

Fuente: adafruit.com

La señal de control del Neopixel Stick es:

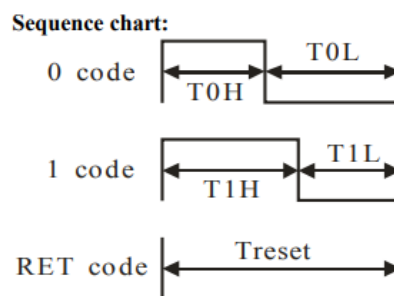


Fig. 3.18. Secuencia de caracteres

Fuente: Datasheet WS2812

Los periodos de cada estado son:

Data transfer time(TH+TL=1.25μs±600ns)

T0H	0 code ,high voltage time	0.35us	±150ns
T1H	1 code ,high voltage time	0.7us	±150ns
T0L	0 code , low voltage time	0.8us	±150ns
T1L	1 code ,low voltage time	0.6us	±150ns
RES	low voltage time	Above 50μs	

Fig. 3.19. Periodo de cada estado

Fuente: Datasheet WS2812

El control de estas lámparas requiere una señal PWM constante, por ello se seleccionó un controlador específico para esta aplicación, el cual será esclavo del controlador Board of Education (BOE). El mayor beneficio que se obtiene es evitar reducir los recursos del controlador principal para que pueda controlar el resto de subsistemas.

3.2.4 Selección de Controlador para Iluminación:

El controlador debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Poseer 2 pines I/O digitales
- Tener librerías para señal PWM
- Software Open Source
- Opcionalmente, tener librerías para el control del NEOPIXEL

El controlador seleccionado es el "TRINKET 5V" que posee 5 puertos digitales y es el recomendado por el fabricante para controlar las luminarias NEOPIXEL STICK.

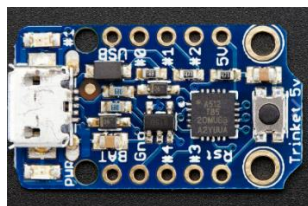


Fig. 3.20. Trinket 5V
Fuente: adafruit.com

La programación de estos controladores se realiza en el entorno de desarrollo Arduino con la instalación de drivers.

Primero se descarga el driver de los productos adafruit, que se encuentra en la misma página del fabricante¹⁶.



Fig. 3.21. Driver Adafruit
Fuente: Elaboración propia

Luego seleccionamos los drivers a instalar, debemos asegurarnos que este marcado el cuadro de Trinket.

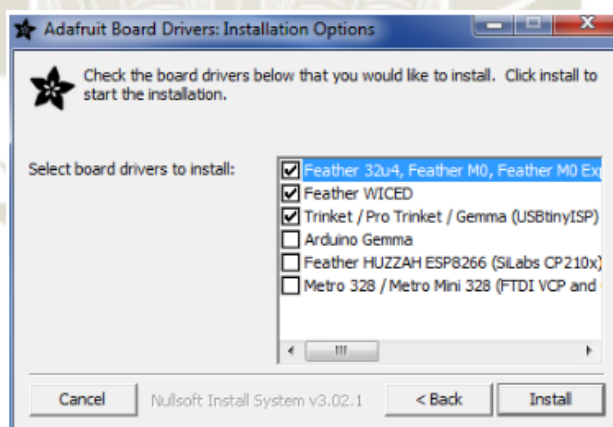


Fig. 3.22. Selección de Drivers de Adafruit
Fuente: Adafruit.com

Después de completar la instalación, nos vamos al entorno de Arduino y ahí, en la opción Archivo > Preferencias, copiamos la dirección URL (https://adafruit.github.io/arduino-board-index/package_adafruit_index.json) en su gestor de tarjetas adicionales y presionamos OK.

¹⁶ <https://learn.adafruit.com/adafruit-arduino-ide-setup/windows-driver-installation>

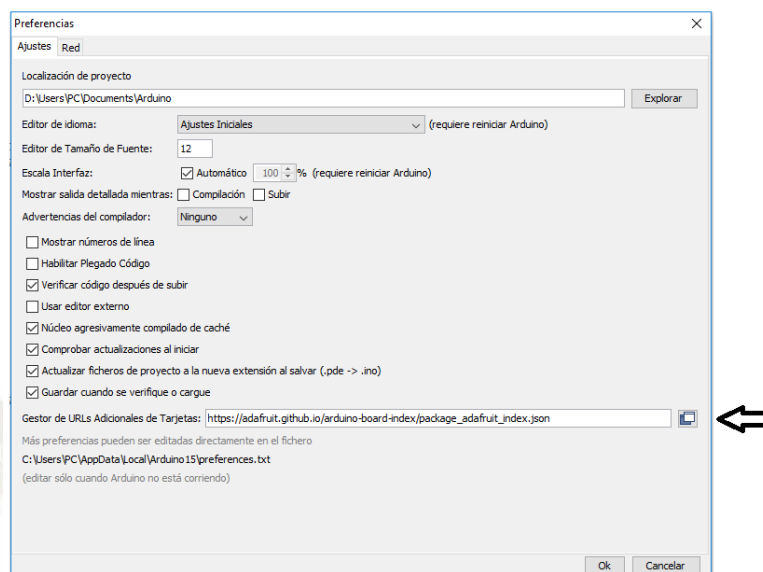


Fig. 3.23. Gestión de Tarjetas adicionales Arduino

Fuente: Elaboración propia

Luego vamos a la opción Herramientas > Placa > Gestor de Placas y seleccionamos la opción contribuciones.

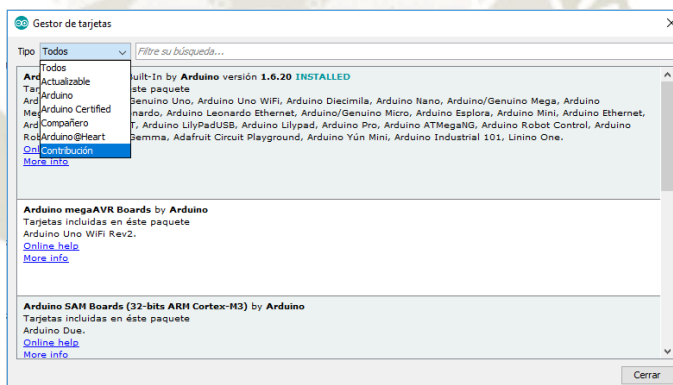


Fig. 3.24. Gestor de Tarjetas y contribuciones

Fuente: Elaboración propia

Luego de ello buscamos la palabra Trinket y seleccionamos el paquete “Adafruit AVR Boards by Adafruit” para instalarlo. Finalmente, reiniciamos el software Arduino para poder programar este controlador.

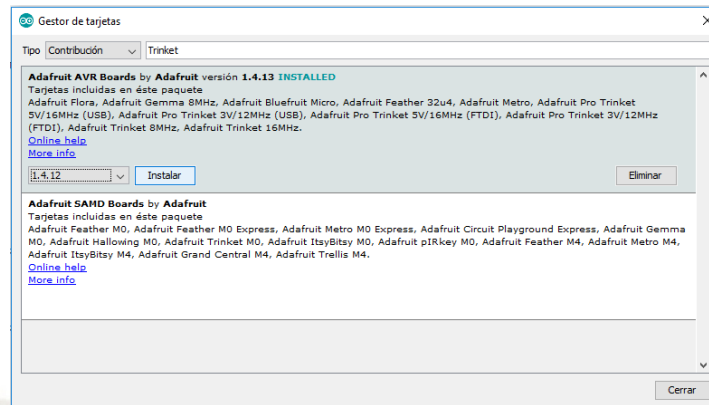


Fig. 3.25. Instalar paquete Adrafruit AVR Boards

Fuente: Elaboración propia

Antes de grabar un programa en el controlador debemos seleccionar en la opción Herramientas > Placa el controlador “Adafruit Trinket (ATtiny85 @ 16MHz)” y en Herramientas > Programador la opción “USBtinyISP”.

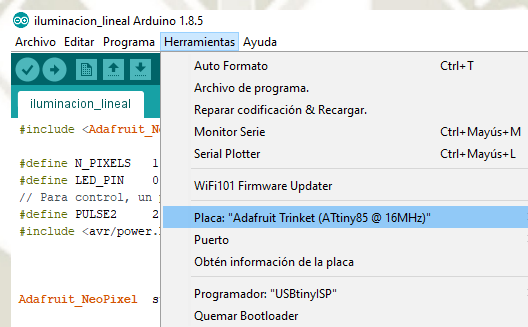


Fig. 3.26. Seleccionar Placa y programador en Arduino

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Implementación de Sub-ensambles y selección de componentes:

En la implementación de los sub-ensambles del sistema se priorizo que las partes mecánicas de cada sub-ensamble se acoplen de forma compacta para un correcto desempeño del sistema. Al ser un módulo de pruebas y simulaciones, las fuerzas que actúan son mínimas, pero requiere el soporte necesario para transmitir el movimiento o sujetar sus componentes. La función principal de los sub-ensambles de este sistema es ubicar correctamente los envases tanto a la entrada del sistema (alimentación) como en la inspección de cada uno.

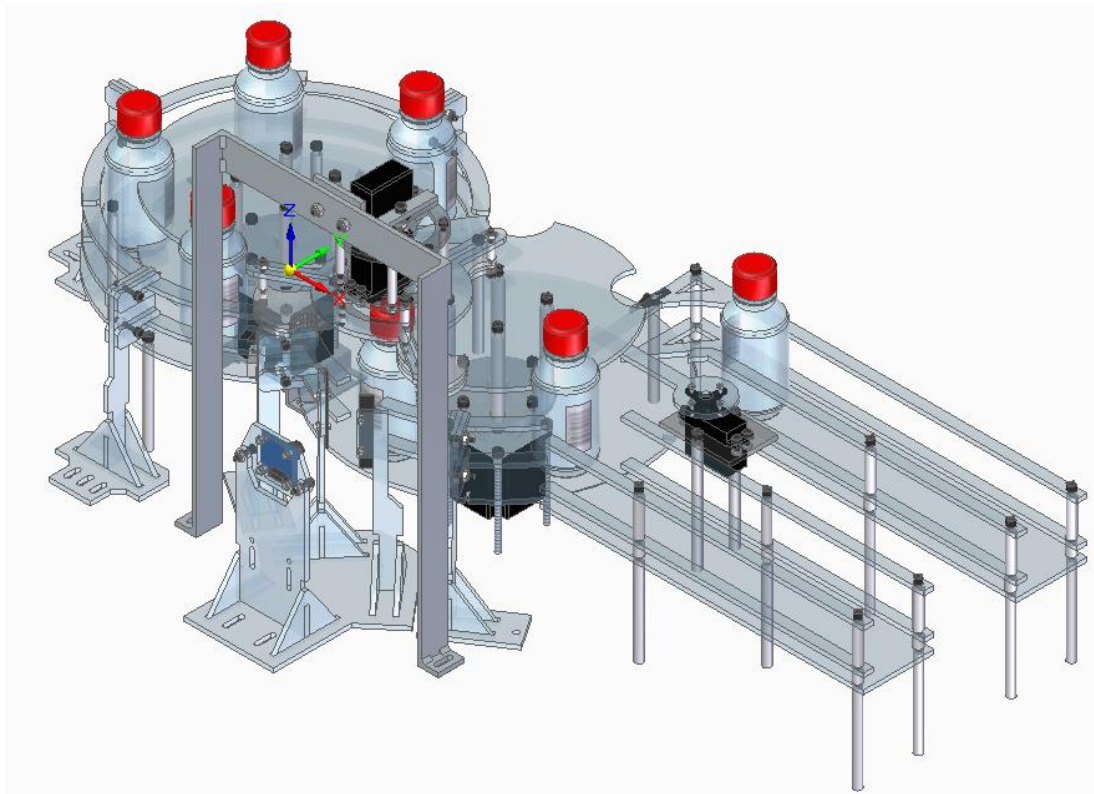


Fig. 3.27. Sistema en vista isométrica

Fuente: Elaboración propia

El envase a inspeccionar es una botella de plástico de 200 ml, con un diámetro exterior de 47mm y una altura total de 11.8 cm (Anexo Planos Mecánicos: N° 13-1).



Fig. 3.28. Envase a inspeccionar

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.1 Alimentador de envases:

Para trasladar los envases al área de inspección, se seleccionó el transporte de mesa giratoria como directriz en el diseño de esta parte. Este sistema es uno de los más utilizados en la industria para el transporte de envases cilíndricos.



Fig. 3.29. Transporte de envases cilíndricos

Fuente: Dara Pharma – Máquina SYX-E-LYO

El subsistema alimentador de envases está compuesto por dos alimentadores, donde el primero recibe los envases y con un giro sincronizado son transportados por el segundo para ingresar al área de inspección. Las características físicas principales de estos discos alimentadores son:

- Ser discos dentados con el mismo diámetro del envase a transportar.
- La superficie del disco dentado debe sujetar al envase en un 50% de su perímetro, para evitar que se atore en el mismo disco cuando sea empujado fuera de él por el selector final.
- Para este módulo, se transporta hasta 5 envases dentro del disco.
- Los alimentadores deben tener al menos dos puntos de contacto con el envase para evitar que los envases puedan caer.
- Los alimentadores deben tener al borde soportes externos para que el envase rote, pero no pueda salir fuera del disco.

Para que los alimentadores puedan transportar envases durante su rotación, deben estar alineados y sobrepuestos. Esto quiere decir que el primero debe tener un corte para que la base del segundo pueda encajar y los envases pasen del primer alimentador al segundo como se muestra en el anexo planos mecánicos (Plano 4-7). La alineación se refiere a la altura del disco base, que soportara a cada envase, ambos deben tener la misma altura para evitar que algún envase pueda atorarse al momento de pasar entre cada alimentador.

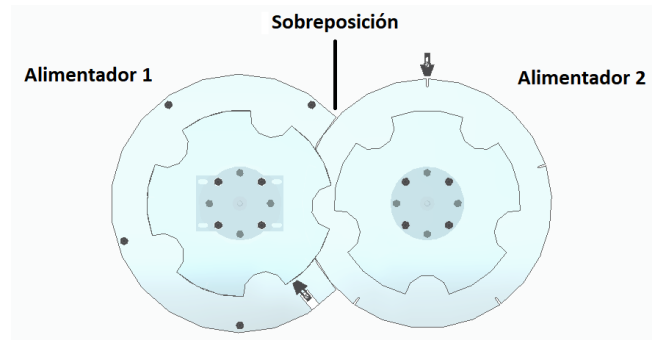


Fig. 3.30. Sobre posición de Alimentadores

Fuente: Elaboración propia

ALIMENTADOR 1

El alimentador 1 es donde se colocan los envases para ser transportados (Anexo Planos Mecánicos: N° 4-7). Este alimentador utiliza una base fija sobre la cual se deslizará el envase, esta base también tiene una muesca para que la base móvil del segundo alimentador pueda encajar (Anexo Planos Mecánicos: N° 4-4). Para trasladar el envase utiliza dos discos dentados que empujan cada envase en puntos cercanos a la base (Anexo Planos Mecánicos: N° 4-2) y antes del cono de la botella (Anexo Planos Mecánicos: N° 4-5). Adicionalmente, el primer disco dentado tiene muescas entre cada diente para que puedan ser detectadas por el sensor reflectivo que marca su posición (Anexo Planos Mecánicos: N° 4-2).

El alimentador 1 también tiene soportes externos que permiten mantener al envase pegado al disco dentado hasta que el mismo es recogido por el segundo alimentador. Estos soportes se muestran en el anexo Planos Mecánicos N° 9-5 y 10-2.

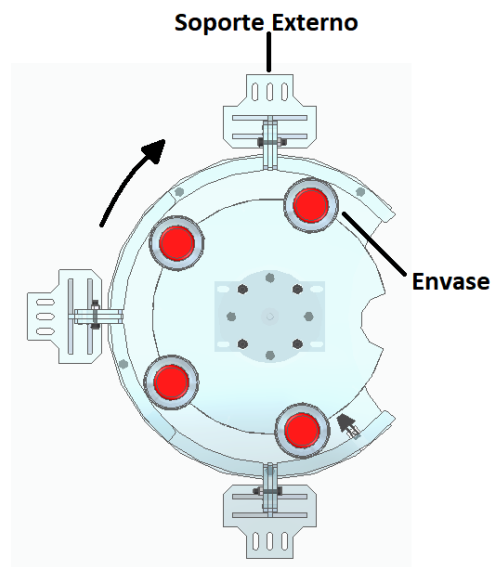


Fig. 3.31. Soporte externo de alimentador 1

Fuente: Elaboración propia

ALIMENTADOR 2

El alimentador 2 recibe los envases y los lleva hasta el área de inspección (Anexo Planos Mecánicos: N° 5-4). Este alimentador utiliza una base móvil (Anexo Planos Mecánicos: N° 5-1) sobre la cual cada envase se mueve con la ayuda de un disco dentado ubicado antes del cono de la botella (Anexo Planos Mecánicos: N° 5-2). Adicionalmente, la base móvil tiene muescas que coinciden entre cada diente del disco superior, para que puedan ser detectadas por el sensor reflectivo que marca su posición (Anexo Planos Mecánicos: N° 5-1).

El alimentador 2 también posee soportes externos que permiten mantener el envase pegado al disco dentado antes de entrar al área de inspección y al salir de la misma. Estos soportes se muestran en el anexo Planos Mecánicos N° 11-4 y 12-2.

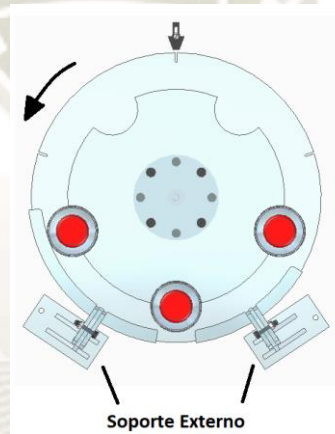


Fig. 3.32. Soporte externo de alimentador 2

Fuente: Elaboración propia

Para transmitir el movimiento del eje del motor, se elaboró un acople que unía el eje con los discos dentados. Los planos a detalle se adjuntan en el anexo Planos Mecánicos N° 4-1.

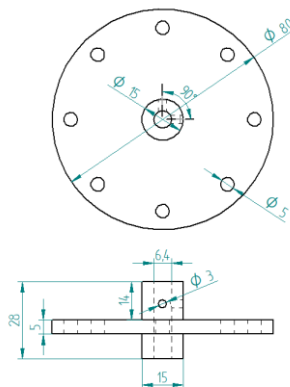


Fig. 3.33. Soporte principal sujeción

Fuente: Elaboración propia

Y a la vez, se fabricaron separadores para transmitir el movimiento entre ambos discos de cada alimentador.

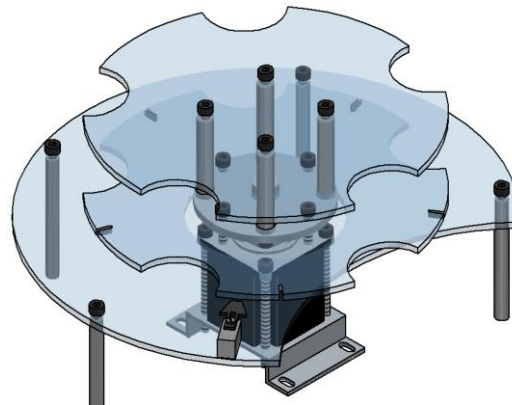


Fig. 3.34. Ensamble alimentador 1

Fuente: Elaboración propia

Como el diseño era para un módulo de pruebas, y los envases tienen un peso mínimo; el material que se seleccionó fue acrílico de 4mm por su facilidad de manufactura y baja densidad. Los soportes principales, los separadores y el disco de acople se construyeron en acero CK-20.

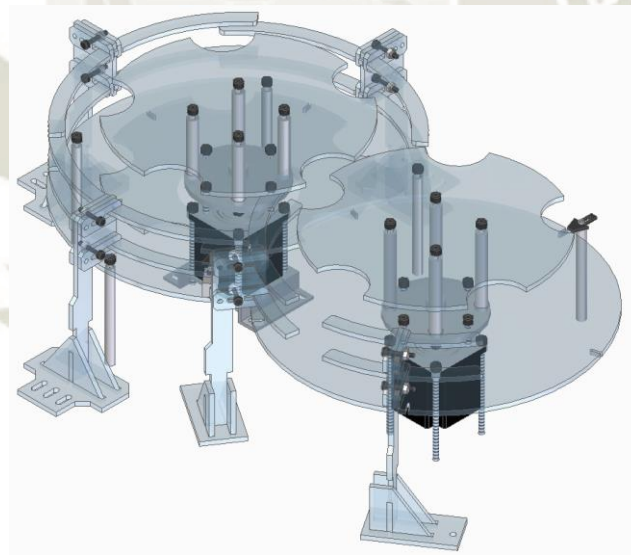


Fig. 3.35. Alimentadores de envases al sistema

Fuente: Elaboración propia

Los componentes de este subsistema son dos discos dentados que transportan cada envase desde un extremo del sistema hasta el área de inspección y su respectivo actuador para rotar cada disco. Los principales requerimientos de los actuadores de este subsistema son:

- Permitir una sincronización entre el giro de cada disco y la precisión en su movimiento.
- Tener el suficiente torque para transmitir el movimiento a través de su soporte y poder trasladar los envases.
- Tener una geometría adecuada que permita ser instalado fácilmente en el sistema.

Basándonos en estos criterios se seleccionó como actuador a los motores Stepper para el control de posición. Estos motores son utilizados en la construcción de máquinas CNC, principalmente por su precisión en el control de posición y su torque. Sin embargo, no poseen realimentación y su resolución es de acuerdo al número de pasos que tiene.

a. Implementación de Motor STEPPER

Se seleccionó un motor stepper unipolar 23KM-K035-43 del fabricante Minebea Co. pues era uno de los más accesibles en el mercado y ofrecía un torque mayor al necesario para transportar los envases.

- ✓ Motor Stepper de 24V
- ✓ Corriente: 2 A
- ✓ Resistencia por fase 4 Ohmios
- ✓ 200 Step/rev



Fig. 3.36. Motor Stepper Serie 23KM-K

Fuente: Fabricante Minebea Co.

Este motor Stepper no podía utilizar un circuito L/R con una señal PWM directa entre los bornes de sus bobinas, pues, su construcción requería un control de corriente adicional. Por ello se seleccionó un driver con circuito chopper que permitiera regular la corriente que llegaba a las bobinas y al mismo tiempo poder hacer microstepping¹⁷.

¹⁷ Microstepping: Consiste en dividir cada paso del servomotor en pequeños pasos con el objetivo de aumentar su resolución.

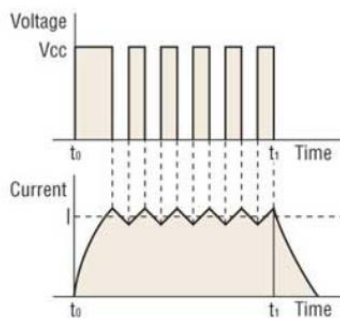


Fig. 3.37. Relación entre voltaje y corriente en un circuito chopper

Fuente: Oriental Motor USA Corp.

El driver seleccionado fue el DRI0043 de la marca DFRobot, que permite el control de motores Stepper Bipolares, limitando la corriente y pudiendo hacer microstepping.

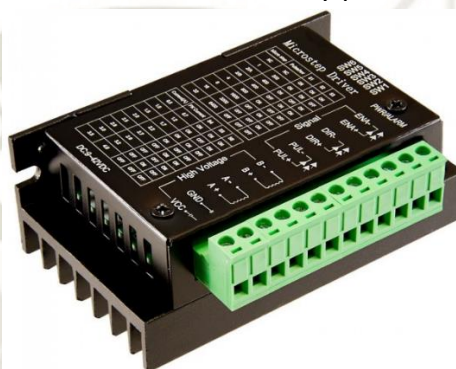


Fig. 3.38. Driver DRI0043 de la marca DFRobot

Fuente: Core electronics

Las características de este driver son:

- ✓ Corriente Entrada: 0 – 5.0 A
- ✓ Corriente de Salida: 0.5 – 4.0 A
- ✓ Potencia: (max) 160W
- ✓ Micro Step: 1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
- ✓ 6 DIP Switch para variar su control
- ✓ VCC : 9 - 42V

b. Realimentación del control de Alimentador

Para obtener la realimentación de posición en este subsistema, fue necesario instalar un sensor con una geometría discreta que no obstaculice la operación continua del alimentador y permita determinar si el motor llegó a la posición deseada. Entre toda la cantidad de sensores en el mercado se optó por seleccionar un sensor reflectivo con luz infraroja para evitar falsas lecturas en un ambiente abierto. El sensor seleccionado fue el OPB701ALZ de la marca TT Electronics que permitía regular su posición gracias a su cubierta exterior.

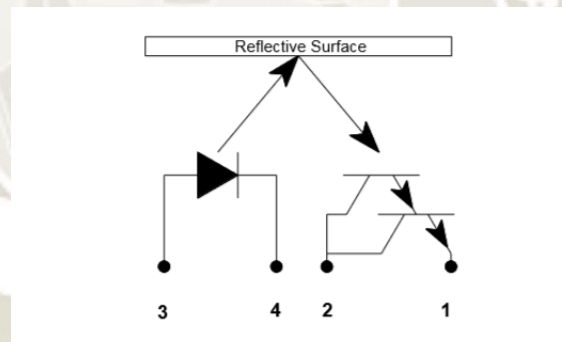


Fig. 3.39. Sensor Reflectivo OPB701ALZ

Fuente: TT Electronics

Las características de este sensor son:

- ✓ Distancia de reflejo (max): 5.08 mm
- ✓ Sensor Darlingtong
- ✓ Onda de luz: 890nm
- ✓ Diodo Corriente continua: 100 mA
- ✓ Corriente colector: 2.5 – 43.0 mA ($V_{ce} = 5V$)



OPB701			
Color/Pin #	LED	Color/Pin #	LED
Red-3	Anode	White-2	Collector
Black-4	Cathode	Green-1	Emitter

Fig. 3.40. Pin conexión de sensor reflectivo OPB701ALZ

Fuente: TT Electronics

Para determinar la posición del alimentador se realizaron muescas en el primer disco de cada alimentador y se colocó un sensor al borde de cada uno. De esta forma el sensor detectaba una interrupción al encontrar cada muesca, informándonos que había llegado a la posición deseada. La conexión de estos sensores se detalla en el Anexo de planos eléctricos N° 9.

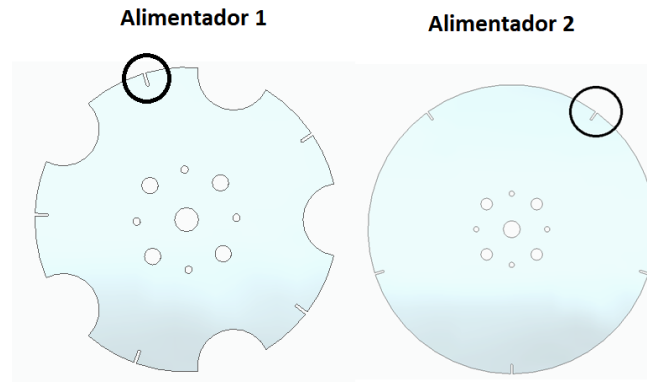


Fig. 3.41. Muestras de cada alimentador

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.2 Sistema de Sujeción:

Para la inspección de cada envase era necesario que cada uno este alineado con respecto a la cámara y pueda rotar sobre su eje con una velocidad constante. Con este objetivo, se seleccionó el mecanismo de iris mecánico, como una directriz para la implementación de esta parte. El mecanismo del iris mecánico comúnmente utilizado para cerrar o abrir el diafragma en una cámara, converge todas sus hojas¹⁸ al mismo tiempo al centro del diafragma; así también permite que todas sus hojas se puedan abrir y roten sobre un punto en el borde exterior.



Fig. 3.42. Mechanical Iris

Fuente: Autodesk Online Gallery

El sistema de sujeción consta de dos partes: la primera es la encargada de alinear y sujetar el envase y la segunda se encarga de rotar el envase sobre su propio eje con una velocidad constante y control de posición final. Con el mecanismo de iris mecánico como directriz se optó por utilizar 3 hojas para sujetar el envase, pues al rotar las hojas permitían tener un mejor ángulo para que puedan salir y entrar envases en el área de inspección (Anexo Planos Mecánicos: N° 2-7). Para sujetar correctamente el envase se utilizó doble hoja en el sistema.

¹⁸ Hojas: En este contexto, son las piezas que se desplazan dentro del iris mecánico para cerrar su centro.

Cada grupo de hojas gira sobre un punto fijo y son empujadas en el otro extremo por un pin corredor que se desplaza al rotar una base que lo contiene. Lo anteriormente descrito se representa en la siguiente gráfica, donde la base de pin (Anexo Planos Mecánicos: N° 2-5) gira por acción de un servomotor y permite que el pin se deslice sobre un guiador, permitiendo el movimiento de las hojas para abrir o cerrarlas al sujetar un envase.

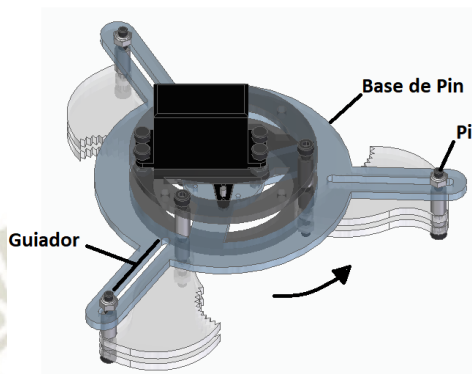


Fig. 3.43. Sistema de sujeción de envase

Fuente: Elaboración propia

Las hojas tienen un corte dentado en la punta para sujetar la superficie de la tapa del envase. Estas características aplicadas en el diseño del sub-sistema de sujeción, permitieron que, al cerrarse las hojas se alineé el envase y puedan ser sujetado de la parte superior. Y al abrirse las hojas, puedan ingresar nuevos envases sin ser obstruidos por la presencia de las mismas.

Para rotar el envase sobre su propio eje, se acoplo un nuevo servomotor alineado sobre el eje del sistema anteriormente descrito. Para ello se conectó con soportes el eje del nuevo servomotor a la base donde estaba unido el primer servomotor. Todo esto se representa en la siguiente imagen.

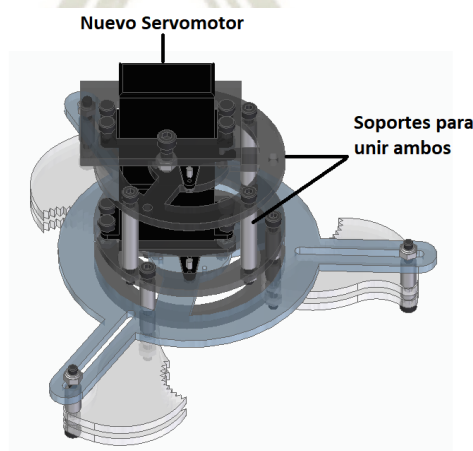


Fig. 3.44. Sistema de rotación de envase

Fuente: Elaboración propia

Las funciones de este subsistema eran: sujetar el envase y poder rotarlo a una velocidad constante hasta una posición deseada. Para poder accionar las hojas del mecanismo se requería un motor que permitiera controlar la posición de su eje, tener un tamaño pequeño y al mismo ser ligero para no aumentar peso al sistema que fue construido en acrílico y cuyos separadores y puntos de apoyo son de acero 1020. Se seleccionó como actuador un Servomotor de 180 grados de la marca PARALLAX (900-00005), porque cumplía con los requerimientos anteriormente señalados y podía ser instalado fácilmente en el sistema.



Fig. 3.45. Parallax Standard Servo – 180 (900-00005)

Fuente: Parallax INC

Las características de este servomotor de 180 grados son:

- ✓ Vservo: 5.0 V (Típico)
- ✓ Señal de control: 5.0 V (Típico)
- ✓ PWM Señal de Control: 0.75 – 2.25 ms (ON), Periodo = 20 ms
- ✓ Corriente: 140 mA +/- 50 (Operando sin Carga)
- ✓ Rotación: 180 grados

Una vez sujetado el envase, se necesitaba un motor que permitiera controlar la rotación del envase en los 360 grados, pues el área de inspección podía iniciar en cualquier lado de la circunferencia. Se seleccionó un servomotor de 360 grados con realimentación de la marca PARALLAX. Las características principales de este servo son las siguientes:

- ✓ Rotación de 360 grados
- ✓ Rotación Bidireccional continua desde -120 a 120 RPM
- ✓ Consumo: hasta 1200 mA (Detenido) y 150 mA (sin carga)
- ✓ Vservo: 6.0 VDC (Típico)
- ✓ Señal de control: 3.3 VDC (Típico)
- ✓ PWM Señal de Control: 1280 – 1720 uS
- ✓ Zona muerta (Vel = 0) : 1480 – 1520 uS (+/- 15)
- ✓ Sensor de Realimentación: Efecto Hall
- ✓ Señal de Realimentación: PWM, 3.3V, 910 Hz, 2.7% - 97.1% ciclo de trabajo



Fig. 3.46. Parallax Feedback 360° (900-00360)

Fuente: Parallax INC

Dentro de las pruebas realizadas en la instalación de este servomotor, se concluyó que el pin de control no podía quedar al aire pues asumía un estado de indecisión, y el servomotor giraba sin control. Para corregir ello se conectó el pin de control a tierra con una resistencia y de esta forma cuando no había señal de control, el servomotor permanecía quieto. La conexión de estos servomotores se detalla en el Anexo de planos eléctricos N° 10.

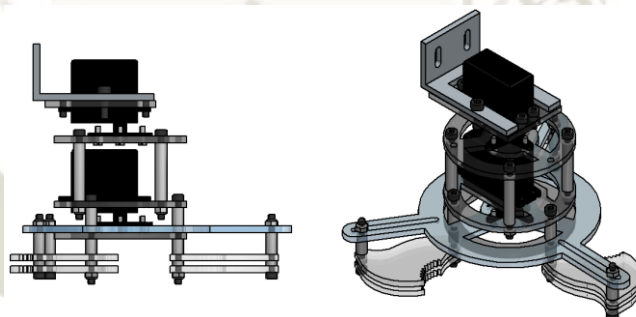


Fig. 3.47. Vista isométrica del Sistema de Sujeción Envase

Fuente: Elaboración propia

Como el diseño era para un módulo de pruebas, el material que se seleccionó fue acrílico de 4mm por su facilidad de manufactura y baja densidad. Los soportes principales y los separadores dentro del iris mecánico se construyeron en acero CK-20. Para sujetar el sistema de sujeción se fabricó un soporte con altura regulable (Anexo Planos Mecánicos: N° 2-3) para calibrar la altura donde las garras sujetan el envase.

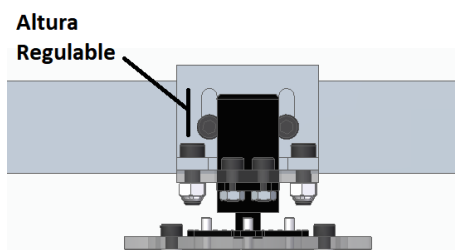


Fig. 3.48. Altura regulable de Servomotor

Fuente: Elaboración propia

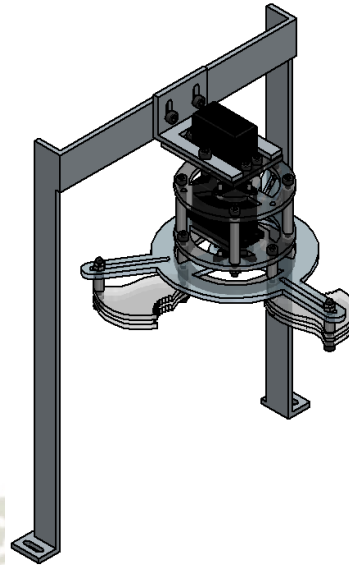


Fig. 3.49. Vista isométrica de: Ensamble Sistema de Sujeción Envase

Fuente: Elaboración propia

Los planos a detalle se adjuntan en el anexo de planos mecánicos, al final de este documento.

3.2.5.3 Separador de Envases:

El sistema implementado tiene como propósito separar aquellos envases que cumplen con la fecha de vencimiento señalada en el sistema. Para ello, se implementaron dos separadores que almacenan los envases vencidos de los no vencidos. Los separadores tienen dos topes guidores a cada extremo con el objetivo de orientar el recorrido de cada envase y evitar que estos puedan salir de los separadores.

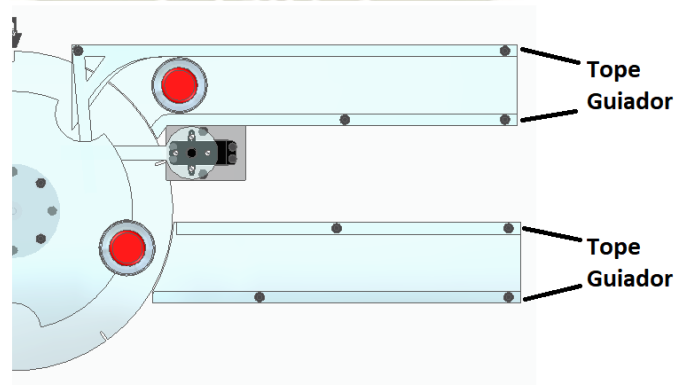


Fig. 3.50. Topes guidores de ambos separadores

Fuente: Elaboración propia

Cada separador está ubicado en la posición donde se detienen los envases del segundo alimentador después de ser inspeccionados. En el caso del primer separador (Anexo Planos Mecánicos: N° 6-4), los envases son empujados del alimentador al separador con la ayuda de una barra separadora para que se ubique dentro del separador.

En el caso del segundo separador (Anexo Planos Mecánicos: N° 7-5), se colocaron guidores para que los envases puedan deslizarse del alimentador y se ubiquen a la entrada de su separador. Para luego, también ser empujados por la barra separadora. El propósito del guía superior (Anexo Planos Mecánicos: N° 7-4) es aprovechar la rotación del alimentador para sacar progresivamente al envase de su posición y este pueda deslizarse sobre el guía inferior (Anexo Planos Mecánicos: N° 7-2).

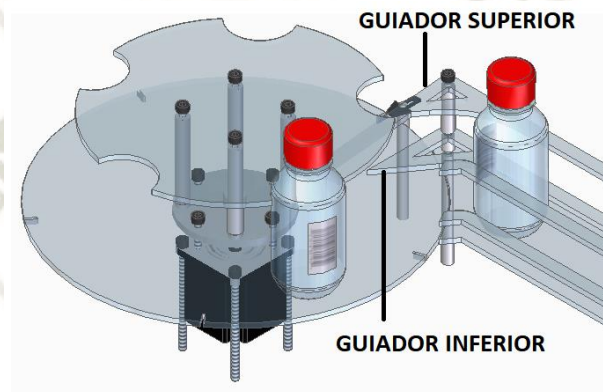


Fig. 3.51. Guidores del segundo separador
Fuente: Elaboración propia



Fig. 3.52. Puntos de contacto con segundo separador
Fuente: Elaboración propia

Como el diseño era para un módulo de pruebas, el material que se seleccionó fue acrílico de 4mm por su facilidad de manufactura y baja densidad. Los soportes principales y los separadores de cada separador se construyeron en acero CK-20.

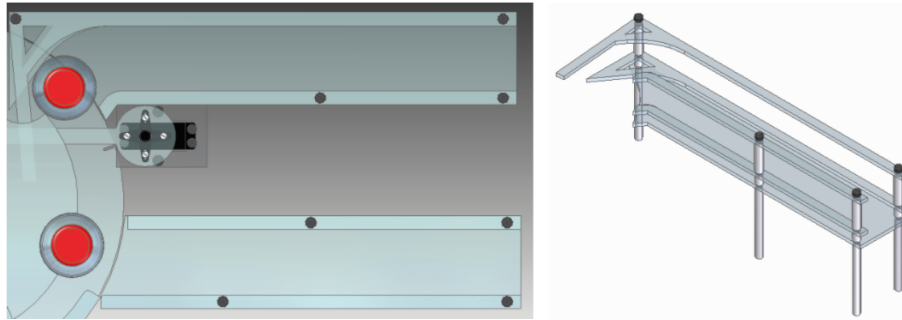


Fig. 3.53. Separadores de envase
Fuente: Elaboración propia

La barra separadora está compuesta de una barra de acrílico que empuja cada envase según su clasificación (No Vencidos: Separador 1, Vencidos: Separador 2) y cuya velocidad es controlada para sincronizar con la rotación del alimentador 2 y tener el suficiente impulso para empujar cada envase.

Se seleccionó un servomotor de 360 grados con realimentación de la marca PARALLAX como actuador para esta parte; los detalles de este servomotor se especificaron en secciones anteriores. Este servomotor no solo permite que su posición sea controlada, sino también permite variar su velocidad en pleno giro y aumentar su fuerza al incrementar la velocidad. Estas características son muy importantes para esta aplicación, pues el servomotor debe reducir su velocidad para sincronizarse con el segundo alimentador y después aumentar su fuerza para empujar cada envase a su respectivo separador. Y finalmente controlar su posición para que empuje únicamente al envase seleccionado.

La barra empuja a cada envase del medio (Anexo Planos Mecánicos: N° 8-1), con el objetivo de que pueda deslizarse sobre su base y no se genere un momento que lo pueda voltear. La ubicación del 0 absoluto para este servomotor se especifica en el anexo de planos mecánicos (Plano N° 8-2).

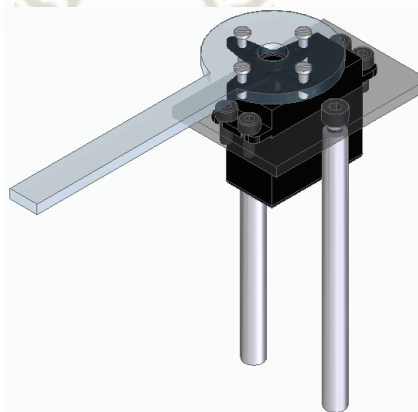


Fig. 3.54. Barra separadora
Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Diseño electrónico

Después de seleccionar los actuadores que emplearemos en el sistema, procedemos a determinar todos los componentes eléctricos y electrónicos adicionales que brinden energía y protección a cada componente, para garantizar su correcto funcionamiento.

3.2.6.1 Fuente de Alimentación Externa

Para determinar la fuente principal debemos analizar el consumo de cada componente. En nuestro sistema el componente que consume mayor potencia son los motores Stepper. Cada uno requiere 24 V y hasta 2 A por bobina. En el proceso de control de estos motores, existe momentos donde se activarán ambas bobinas, lo que indica que por motor puede llegar a consumir hasta un máximo de 4 A, y que en total sería hasta 8 A por ambos. Cabe mencionar que este consumo de potencia no es continuo pues varía de acuerdo al control de la polarización en cada bobina.

Con estos requerimientos se seleccionó una fuente con ventilación AC-DC de 24V y 13.4A de la marca Mean Well (RSP-320-24). Esta fuente no solo alimentara a los motores Stepper, sino también a los reguladores posteriores que rectifican el voltaje para el resto de componentes.



Fig. 3.55. Fuente de energía RSP-320-24
Fuente: Mean Well USA

El resto de componentes operan con el siguiente consumo: (El consumo de corriente corresponde a cada uno)

- Servomotor 180 – Parallax: En el sistema utilizamos uno solo que consume:
V: 5 VDC I: 140 mA +/- 50
- Servomotor feedback 360 – Parallax: En el sistema utilizamos uno solo que consume V: 6 VDC y estando detenido puede llegar hasta
I: 1200 mA
- Driver Stepper (Señal de control): En el sistema utilizamos 2 Driver cuyas señales de control requieren V: 5 VDC y cada señal de PWM y DIR
I: 15mA

- Neopixel Stick RGB: En el sistema utilizamos dos Stick cuyo consumo en un estado de full intensidad (Luz Blanca) es V: 5VDC y I: 30 mA por cada LED. Al tener cada Stick 8 Leds, consume 240mA c/u.
- Trinket 5V: En el sistema utilizamos uno solo que consume:
V: 5VDC I: 150mA

Para la alimentación de los componentes anteriormente mencionados se utilizaron dos reguladores de voltaje LM2596 DC-DC. Cada regulador se calibro en 5 VDC (FR1) y 6 VDC (FR2). La conexión de cada componente a estas fuentes se detalla en el Anexo de planos eléctricos N° 2.



Fig. 3.56. Regulador LM2596 DC-DC

Fuente: AliExpress

Las características de este regulador son:

- ✓ V (entrada): Hasta 40 V
- ✓ I (salida): Hasta 3 A
- ✓ Salida de voltaje regulable 1.2 V – 37V

3.2.6.2 Alimentación de controlador BOE (Board of Education)

La fuente de alimentación externa, así como los reguladores de voltaje constituyen la parte de potencia en nuestro sistema. Mientras que el ordenador de placa reducida BOE corresponde a la parte de control. Entonces la alimentación de este es a través del cable USB de comunicación con la PC.

3.2.6.3 Interfaz Electrónica

Para obtener un control y lecturas correctas, es necesario acondicionar las señales de entrada y salida de cada componente, así como las señales de control a la salida de cada pin del controlador BOE (Board of Education).

a. Acondicionamiento de señal a la cámara Line Scan:

El sensor TSL3301-LF requiere una señal de alimentación (Pin 2) entre 3V y 5.5V. En el sistema se alimentó al sensor con un voltaje de 3.3 V que se obtuvo de los reguladores internos que posee la placa BOE.

En cuanto a los pines de comunicación y reloj, todos ellos estaban dentro de los niveles TTL, por ello podían ser conectados directamente desde el controlador al sensor.

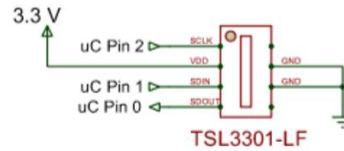


Fig. 3.57. Conexión Sensor TSL 3301-LF

Fuente: Elaboración propia

b. Acondicionamiento de señal para Neopixel Stick RGB:

Las luminarias Neopixel Stick poseen la característica de poder ser conectadas en serie. Esto quiere decir que solo se debe alimentar la entrada de la primera, y conectar ésta con el resto.

Como se mencionó anteriormente en la sección de fuentes de alimentación, ambos Neopixel Stick puede llegar a consumir hasta un máximo de 480 mA. Para evitar una sobrecarga y que la corriente vaya en un solo sentido se colocó el diodo rectificador 1N4001 que limita la corriente a 1A.

El fabricante también recomienda colocar una resistencia en serie de hasta 220 ohms con una potencia de 0.5 W con el propósito de disipar la energía en la señal de control que se conecta al **pin DIN**.

El siguiente diagrama muestra lo descrito.

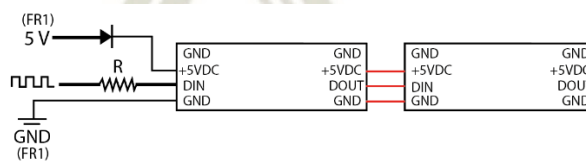


Fig. 3.58. Unión de Neopixel Stick

Fuente: Elaboración propia

El control de estas luminarias es a través de la placa Trinket 5V, como se menciona en la parte selección de controlador para iluminación. El pin GND de la luminaria Neopixel Stick es el común (-V) tanto para el control (DIN) como para la energía (+5VDC), por esta razón el controlador que envía los pulsos debe ser alimentado con la misma fuente que utilizan las luminarias para que la corriente que sale del pin de controlador pueda cerrar circuito con la tierra común.

El control de las luminarias se realiza mediante un maestro que es la placa BOE y el esclavo que corresponde a la placa Trinket 5V. Con una señal digital de salida del BOE, el controlador Trinket debe prender o apagar las lámparas, según corresponda.

Sin embargo, cada uno es alimentado por una fuente diferente, en el caso del ordenador BOE es el cable USB. Por ello se decidió implementar un optoacoplador para que las señales puedan llegar de un lado a otro sin unir las fuentes de cada uno.

El optoacoplador utilizado es el 4N35, por ser uno de los más comerciales y con suficientes prestaciones para esta aplicación. Para ser implementado se calcularon las resistencias adicionales.

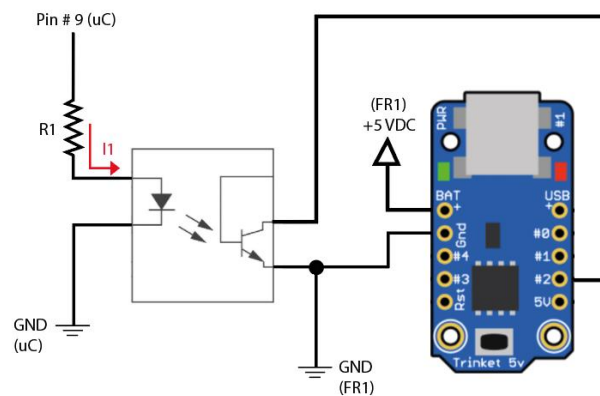


Fig. 3.59. Análisis de corriente en Optoacoplador para Trinket 5V

Fuente: Elaboración propia

El voltaje de salida del pin del controlador es 5 VDC y puede llegar a entregar hasta 20 mA.

$$I_1 \leq 20mA$$

$$\sum V = 0; V_d = 1.3 V$$

$$I_1 \cdot R1 + 1.3 = 5 \quad [3.6]$$

$$\therefore R1 = 185 \rightarrow R1 \approx 220 \Omega; P = 0.1 W$$

La resistencia puede tener una potencia de 0.25 W

c. Acondicionamiento de señal para Driver de Stepper:

Cada motor Stepper es controlado por un driver DRI0043. En nuestro sistema utilizamos motores Stepper unipolares; sin embargo, para obtener un mayor torque conectaremos este motor en un circuito bipolar, que consiste en alimentar el motor desde cada extremo de sus dos bobinas. Para poder determinar los bornes extremos de cada bobina, medimos la resistencia entre cada uno de los 6 terminales. Aquellos

que tengan la mayor resistencia son los extremos, en nuestro caso las bobinas de cada borne llegaron a medir hasta 4Ω . Luego cada bobina se conectó a los terminales (A+) (A-) y (B+) (B-) del driver por separado. A continuación, se analizará únicamente un driver, pues la conexión para ambos es la misma.

Como se mencionó anteriormente en la sección de fuentes de alimentación externa, el motor Stepper requiere de 24V y hasta 2A por bobina. Por ello se conectaron las salidas de la fuente principal RSP-320-24 a cada driver para que alimenten con la potencia requerida al motor stepper.

En cuanto a las señales de control para la dirección de giro y pulsos, se utilizaron optoacopladores 4N35; pues cada pin del controlador BOE puede entregar hasta un máximo de 20 mA. Por ello se utilizó el voltaje del regulador FR1 para enviar las señales al driver. El siguiente diagrama representa lo descrito.

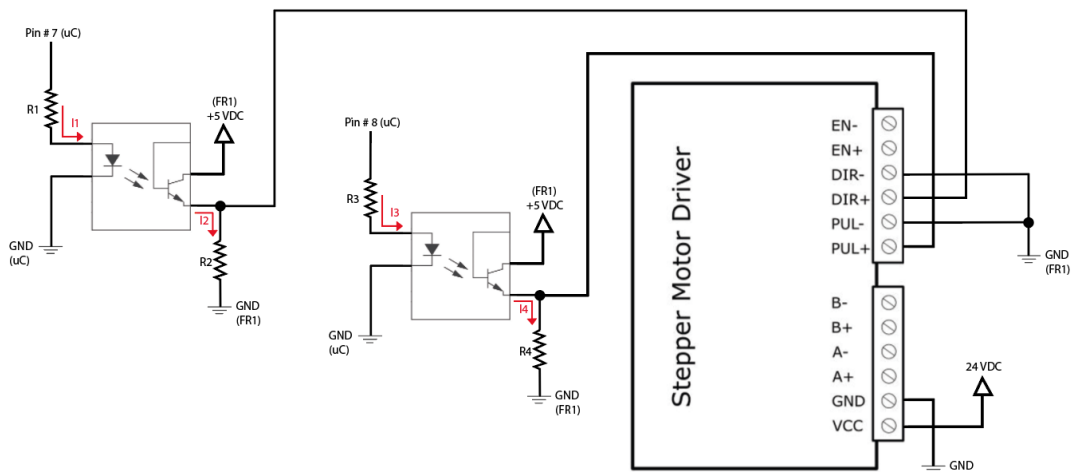


Fig. 3.60. Análisis de corriente en Optoacoplador para Driver Stepper

Fuente: Elaboración propia

El análisis de corriente de cada optoacoplador en esta sección es el mismo para ambos, pues llevan la misma conexión. Por ende:

$$I_1 = I_3 \quad [3.7]$$

$$R1 = R3 \quad [3.8]$$

$$I_2 = I_4 \quad [3.9]$$

$$R2 = R4 \quad [3.10]$$

Al analizar el lado del diodo, sabemos que el voltaje de salida del pin del controlador es 5 VDC y puede llegar a entregar hasta 20 mA.

$$I_1 \leq 20mA$$

$$\sum V = 0; V_d = 1.3 V$$

$$I_1 \cdot R1 + 1.3 = 5 \quad [3.11]$$

$$\therefore R1 = 185 \rightarrow R1 \approx 220 \Omega ; R3 \approx 220 \Omega$$

$$P = 5 \cdot I_1 \quad [3.12]$$

$$\therefore P = 0.1 W$$

La resistencia puede tener una potencia de 0.25 W

Al analizar el driver, determinamos que los pines de entrada (DIR) y (PUL) requieren únicamente una diferencia de potencial para detectar un 1 (lógico). Por ello la corriente a la salida del emisor del optoacoplador es despreciable, únicamente se requiere que cierre circuito con tierra a través de una resistencia alta. Para este caso seleccionamos una resistencia de 1K.

$$\sum V = 0; R2 = R4 = 1 K\Omega$$

$$I_2 \cdot R2 = 5 \quad [3.13]$$

$$\therefore I_2 = 5mA$$

$$\therefore P = 0.025 W$$

La resistencia puede tener una potencia de 0.25 W

d. Acondicionamiento de señal para Sensor Reflectivo:

El sensor reflectivo OPB701ALZ, requiere de una fuente de alimentación conectada al diodo para emitir una luz infraroja que por reflejo pueda ser captada en el fotodarlington. Para regular la corriente que ingresa al diodo se conectó una resistencia en serie a la entrada de este. Como la señal de salida de este sensor se conectaría al controlador BOE, también se conectaron resistencias para limitar la corriente y evitar dejar el pin del controlador al aire con un posible estado de indecisión. A continuación, se analizará únicamente un sensor, pues la conexión para ambos es la misma. El siguiente diagrama representa lo anteriormente descrito.

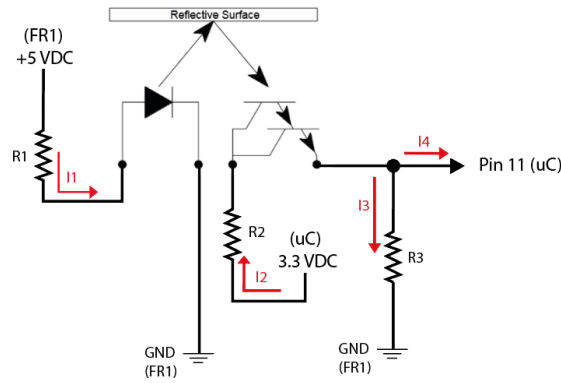


Fig. 3.61. Análisis de corriente en sensor reflectivo

Fuente: Elaboración propia

La corriente en el diodo no debe ser mayor a 50mA

$$I_1 \leq 50mA$$

$$\sum V = 0; V_d = 1.7V$$

$$I_1 \cdot R1 + 1.7 = 5 \quad [3.14]$$

$$\therefore R1 = 66 \rightarrow R1 \approx 220 \Omega; P = 0.25W$$

La resistencia puede tener una potencia de 0.25 W

La señal de salida del sensor va conectada a un pin del controlador, el cual requiere únicamente una diferencia de potencial para detectar un 1 (lógico) y estar conectado a tierra en caso no haya una señal para evitar un estado de indecisión. Por ello se seleccionó una resistencia R3 de alto valor para que al cerrar el circuito y la corriente I_3 sea mínima, mientras la resistencia R2 limita la corriente que ingresa al pin del controlador BOE. La cual no puede ser mayor a 20 mA.

$$I_4 \leq 20mA$$

$$\sum I_e = \sum I_s; I_3 \approx 0$$

$$I_2 = I_4 + I_3 \quad [3.15]$$

$$\therefore I_2 \approx I_4$$

$$\sum V = 0; V_{CE} = 1.1V$$

$$I_2 \cdot R2 + 1.1 = 3.3 \quad [3.16]$$

$$\therefore R2 = 110 \rightarrow R2 \approx 220 \Omega$$

Ahora asignamos un valor $R3$ mayor al de $R2$

$$R3 = 50 \cdot R2 \quad [3.17]$$

$$\therefore R3 = 5500 \rightarrow R3 \approx 10K\Omega; P = 0.1 W$$

La resistencia puede tener una potencia de 0.25 W

e. Acondicionamiento de señal para Servomotores:

Los 2 servomotores de 360 y el de 180 grados utilizados en el sistema se energizan con voltajes de 6VDC (FR2) y 5VDC (FR1), respectivamente. Mientras la señal de control es enviada desde un pin del controlador BOE, y requiere que el GND del controlador y la fuente estén conectados para que la señal pueda ser detectada por el servomotor. En el caso del pin de realimentación de los servomotores de 360 grados, se conectan directamente al controlador, pues su salida es de 3.3V y únicamente varía el ancho de pulso para indicar su posición.

Con el propósito de no dejar el terminal de control de cada servomotor al aire y asumir un estado de indecisión, se conectó una resistencia a tierra para que cuando no haya una señal del controlador, este pin asuma el 0 (lógico). Entonces se seleccionó en valor alto en la resistencia para que la corriente sea mínima. A continuación, se analizará únicamente la conexión del servomotor 360, pues es la misma para el servomotor de 180 grados. El siguiente diagrama representa lo anteriormente descrito.

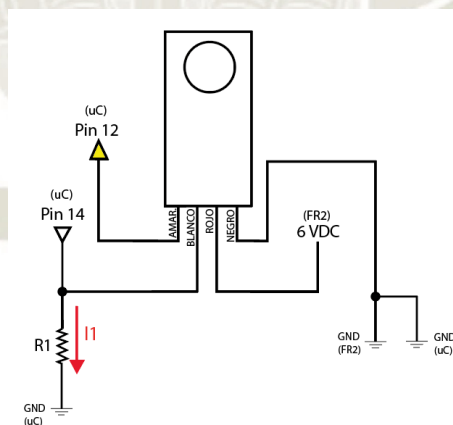


Fig. 3.62. Análisis de corriente en pin de control Servomotor 360

Fuente: Elaboración propia

$$\sum V = 0; R1 = 10 K\Omega$$

$$I_1 \cdot R1 = 5 \quad [3.18]$$

$$\therefore I_1 = 0.5 mA; P = 0.0025 W$$

La resistencia puede tener una potencia de 0.25 W

f. Conexión de GPIO del controlador BOE

El controlador BOE posee en total 31 Pines I/O, de las cuales 16 (0 – 15) son GPIO y son de fácil conexión en la placa, mientras el resto están conectados a otros sistemas como comunicación, convertidores entre otros.

La siguiente tabla señala la conexión de los 16 GPIO con los componentes del sistema de visión.

Tabla 14: Conexión de pines BOE

Numero Pin	Variable	Descripción	Subsistema	Tipo (E/S)
P0	SDOUT	Pin de señal SDOUT de sensor LINE SCAN (TSL3301-LF)	Cámara	Entrada
P1	SDIN	Pin de señal SDIN para sensor LINE SCAN (TSL3301-LF)	Cámara	Salida
P2	SCLK	Pin de señal CLK para sensor LINE SCAN (TSL3301-LF)	Cámara	Salida
P3	PIN_START	Pin de señal para inicio de funcionamiento / Alineación		Entrada
P4	ENCODER_DOS	Pin de Sensor Reflec. del Alimen. 2	Posición	Entrada
P5	DIR_PIN	Pin sentido de giro del Alimen. 2 (Driver Stepper)	Posición	Salida
P6	PWM_PIN	Pin de pulsos para Alimen. 2 (Driver Stepper)	Posición	Salida
P7	DIR_PIN_AL1	Pin sentido de giro del Alimen. 1 (Driver Stepper)	Posición	Salida
P8	PWM_PIN_AL1	Pin de pulsos para Alimen. 1 (Driver Stepper)	Posición	Salida
P9	piniluminacion	Pin de control de Iluminación	Iluminación	Salida
P10	pin180Control	Pin de control de Servo 180	Posición	Salida
P11	ENCODER_AL1	Pin de Sensor Reflec. del Alimen. 2	Posición	Entrada
P12	pinFeedBack	Pin de realimentación Servo 360	Posición	Entrada
P13	pinControl	Pin de control de Servo 360	Posición	Salida
P14	pinFeedBack_se	Pin de realimentación Servo 360 - Seleccionador	Selección	Entrada
P15	PinControl_se	Pin de control de Servo 360 - Seleccionador	Selección	Salida

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

PROGRAMACION:

4.1 Diagrama de flujo del funcionamiento:

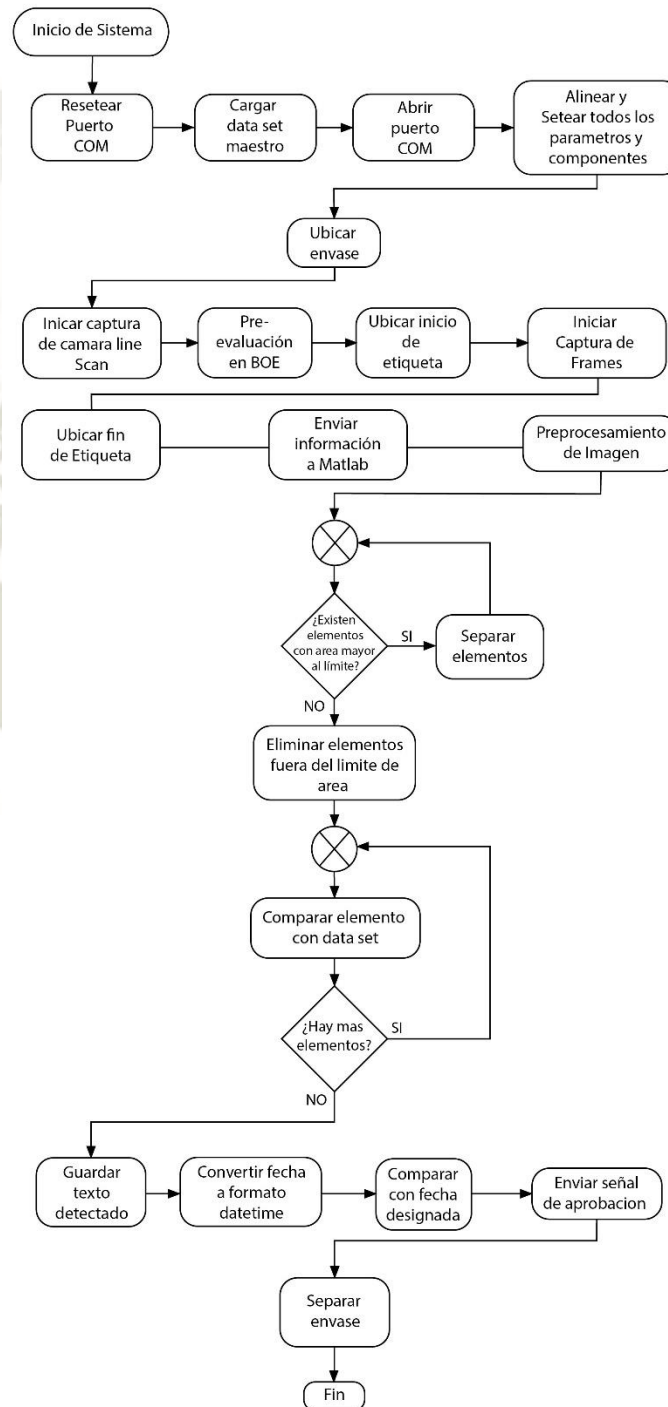


Fig. 4.1. Diagrama de flujo general del sistema

Fuente: Elaboración propia.

El sistema implementado obedece a una serie de procesos que se ejecutan en secuencia para seleccionar los envases que cumplen con un requerimiento fijado. En la figura 92 se explica a través del diagrama de flujo la secuencia de procesos en forma general. Para el funcionamiento del sistema, se programó el controlador BOE utilizando los lenguajes assembly y SPIN. La función de este programa es controlar las variables y subsistemas de posición, iluminación y captura de frames. Después se envía la información al programa MATLAB para que indexe todos los frames y pueda realizar el procesamiento de la imagen. Finalmente, una señal de salida se envía al controlador para que este separe al envase de acuerdo a su clasificación.

4.2 Selección de Lenguajes para programación del controlador:

El controlador BOE de la marca Parallax fue programado mediante el software Propeller Toll v1.3.2, que permite los lenguajes Assembly y Spin. El lenguaje Spin es propio de la firma Parallax, y es un lenguaje intermedio entre el lenguaje de bajo nivel y de alto nivel. En nuestro sistema la parte más crítica es el control de la cámara de escaneo lineal, pues el sensor requiere que la señal de CLK sea a alta velocidad (Hasta 10 Mhz) para poder aprovechar la velocidad de captura del sensor (Tasa de pixeles: 1Mhz). Para seleccionar el lenguaje adecuado, se comparó la velocidad de escaneos de un programa implementado en SPIN con otro desarrollado en Assembly. El resultado se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15: Lenguajes de programación para sensor TSL3301-LF

Sensor	Lenguaje	Descripcion	Tasa (Escaneos/seg)
TSL3301-LF	Assembly	Control de cámara con programa en lenguaje ASSEMBLY. Comunicación únicamente entre sensor y controlador.	450 esc/seg
TSL3301-LF	SPIN	Control de cámara con programa en lenguaje SPIN. Comunicación únicamente entre sensor y controlador.	30 esc/seg

* Cada escaneo consta de 102 pixeles, 1 pixel = 1 Byte.

Fuente: Elaboración propia

La gran diferencia en la tasa de escaneos nos confirmó que la mejor opción es utilizar el lenguaje Assembly para el control de la cámara, a pesar de su compleja implementación. Sin embargo, al analizar el resto de subsistemas se determinó que la

velocidad no era un requisito indispensable para su correcto desempeño, por ello se utilizó el lenguaje SPIN para el control de los mismos.

4.3 Programación en COG's:

El controlador BOE tiene en total 8 cores, llamados también cogs. Cada COG utiliza un espacio en la memoria para almacenar el programa que ejecuta. Sin embargo, también requiere un 'stack space' que es un espacio dentro de la memoria para pasar parámetros, evaluar expresiones y facilitar el llamado de métodos. A diferencia del primer COG (COG 0), los 7 restantes requieren separar un 'stack space'.

El primer COG es el encargado de iniciar el programa, establecer la frecuencia de trabajo, cargar variables y administrar la apertura o cierre del resto de COGS.

```

Propeller Tool - Untitled2
File Edit Run Help
D:\...\Sensor TSL3301
Material TESIS
  Alimentación Energia
  Arduino mega
  CAD - MAQUETA
  Iluminacion
  Libros - Referencia
  Material Plan de Tesi
  Matlab
  Nuevas Referencia -
  Posicion
  Posicion
Programa unido - Posicion 360 - 180 -
Programa unido - Posicion 360 - 180 -
Programa unido - Posicion 360 - 180 -
Propeller Source (*.spin)
15:51 Modified Insert

Untitled2*
Full Source Condensed Summary Documentation
CON
  _clkmode = xtal1 + pll16x
  _xinfreq = 5_000_000
  'En este caso clkfreq = 5_000_000 x 16 = 80_000_000
obj
var
  'Variables para Posicion 180 -
  long C180Stack[40] 'Stack space para cogservo180ID
  byte cogservo180ID 'Almacena numero de Cog
pub main
  'El cog 0 es el main
  cogservo180ID := cognew(servo180, @C180Stack) 'iniciamos un cog
  cogstop(cogservo180ID) 'Detiene el cog
PUB servo180
  'Programa dentro del cog
  
```

Fig. 4.2. Programación de un COG

Fuente: Elaboración propia.

Para programar un COG, el primer paso es declarar las variables para el Stack Space y el número de cog. El siguiente paso es ejecutar las instrucciones que abren o cierran un COG según sea conveniente.

- COGNEW(x,@y): Función para habilitar el siguiente COG disponible. Requiere que se mencione el nombre del método que se va a cargar y la dirección del stack space que se ha separado para su funcionamiento. Después de activar el COG, esta función devuelve el número de COG asignado.
- COGSTOP(#): Función para detener un COG. Requiere el número de COG que se desea detener.

La función que se cargará al COG, debe ser declarada fuera de la función principal. Existen otras instrucciones como COGID, COGINIT y REBOOT que permiten el control del COG, pero en nuestro sistema se utilizaron únicamente las funciones antes descritas.

Distribución de cogs para el control del sistema y sus variables:

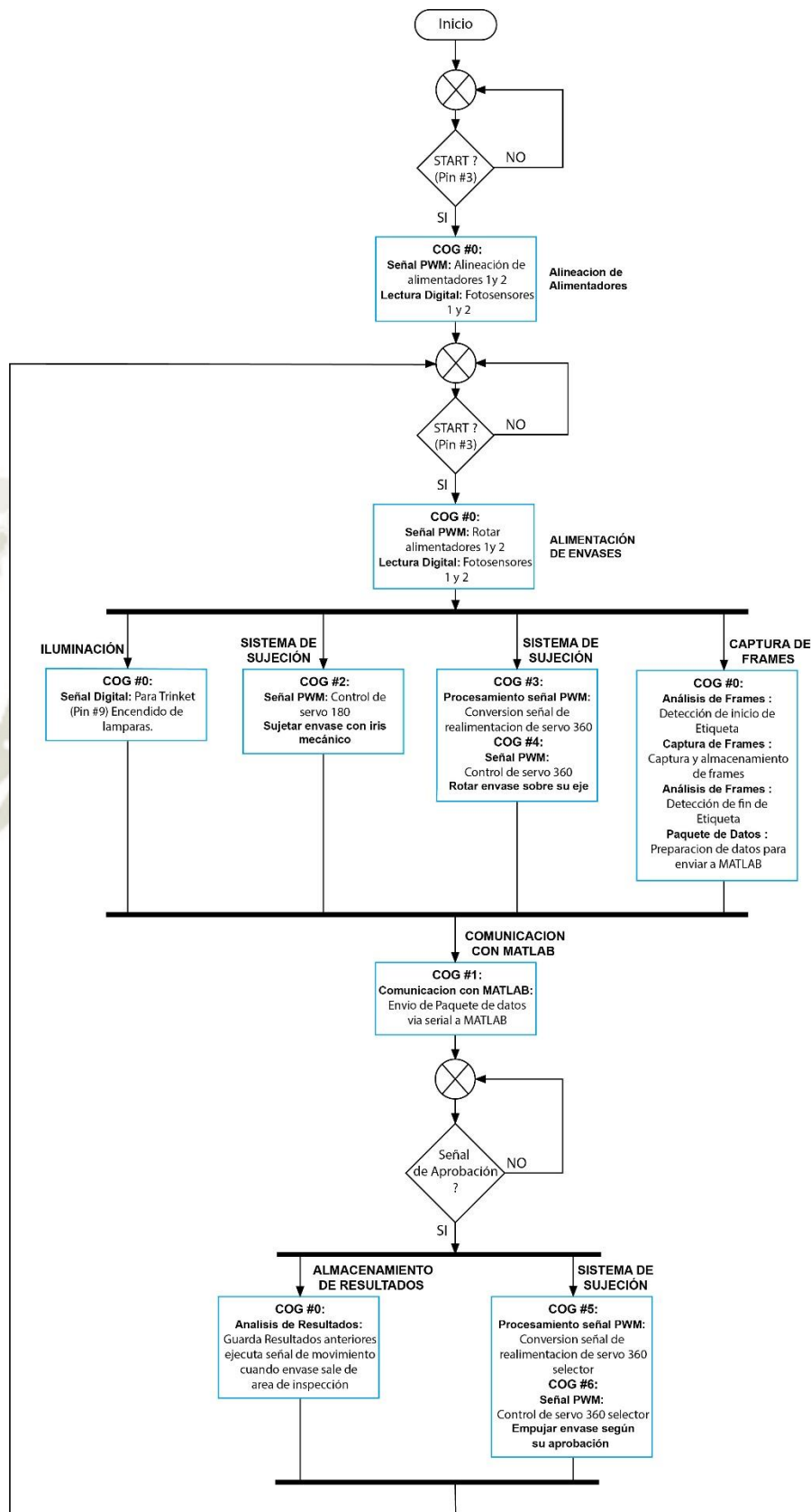


Fig. 4.3. Diagrama de flujo de cogs en controlador BOE

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Control de posición

4.4.1 Control de Alimentador.

a. Alineación

Los alimentadores son los encargados de transportar el envase hasta el área de inspección. Cada alimentador consta de un sensor reflectivo, un motor Stepper y un driver que lo controla. El sensor reflectivo tiene como función detectar las muescas en el disco inferior de cada alimentador, indicando que llegó a una posición determinada. Pero no permite conocer la posición del disco fuera de sus muescas. Por ello es necesario siempre alinear los alimentadores solo al iniciar el sistema para que reconozcan este punto como el origen.

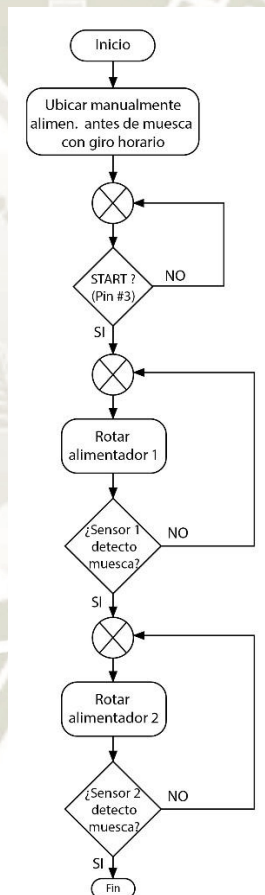


Fig. 4.4. Diagrama de flujo de alineación de alimentadores

Fuente: Elaboración propia.

Para alinear el alimentador, debemos girarlo manualmente en sentido horario antes que el sensor pueda detectar una muesca del disco. De esta forma al ejecutar el programa, este se encargará de rotar ambos alimentadores hasta encontrar la muesca y hacerla su punto origen.

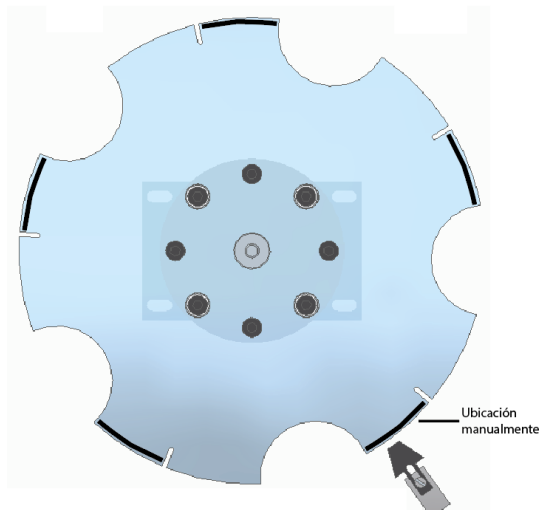


Fig. 4.5. Ubicación manual de alimentador

Fuente: Elaboración propia.

b. Control de alimentadores

Los motores stepper seleccionados son de 200 pul/rev. Su control se realiza a través de los drivers DRI0043 que determinan la velocidad y sentido de giro, según las señales de entrada en sus terminales DIR (Sentido Giro) y PUL (Pulso).

La resolución del motor también puede ser modificada a través del microstepping, que se configura en el driver. En nuestro caso, se configuró a 1600 pul/rev para tener una mayor precisión en la posición del alimentador.

Las señales de entrada en el terminal DIR son estados lógicos que se interpretan como:

- Lógico 0: Giro Horario
- Lógico 1: Giro Antihorario

La señal de entrada en el terminal PUL es una señal PWM, cuya frecuencia regula la velocidad de giro del motor. En nuestro caso, se utilizó una señal PWM con un ciclo de trabajo de 50% y un periodo de 9 ms. Estos valores se obtuvieron luego de probar diferentes señales y conseguir el arranque más suave y con menor vibración en la rotación.

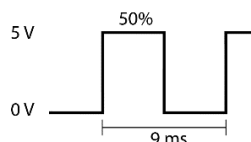


Fig. 4.6. Señal PWM en terminal PUL

Fuente: Elaboración propia.

Para el transporte de los envases en los alimentadores, se requiere que el alimentador 1 gire en sentido horario, mientras el alimentador 2 en sentido antihorario y a una misma velocidad. Finalmente, el sensor reflectivo enviará una señal confirmando que cada alimentador llegó a la posición requerida y deberá detenerse el giro.

La construcción del primer alimentador requiere que ambos discos sean dentados para el transporte de los envases. Por ello, el sensor de este alimentador hacia lecturas incorrectas, confundiendo cada muesca (Verdadera posición) con los dientes propios del alimentador.

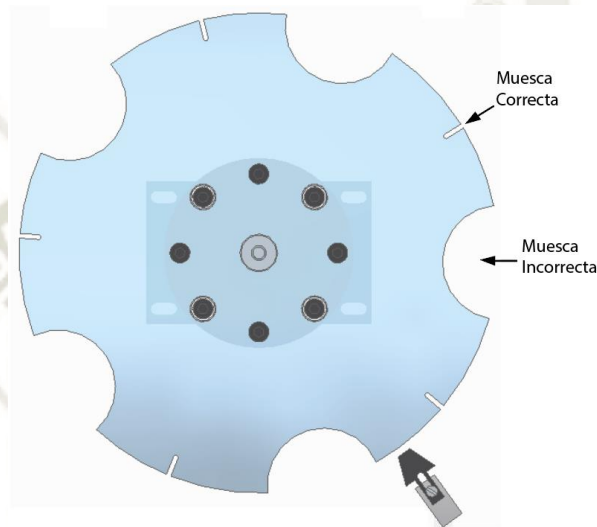


Fig. 4.7. Tipos de muescas en alimentador 1

Fuente: Elaboración propia.

Para corregir ello, se implementó un contador calculado a partir de la nueva resolución del motor Stepper. Como se mencionó anteriormente, esta es de 1600 pulsos para dar 1 vuelta. Si tenemos 5 muescas distribuidas uniformemente a lo largo del perímetro, podemos calcular el número de pulsos requeridos entre cada muesca.

$$Total_{pulsos} = P_{entre} * 5 \quad [4.1]$$

$$\therefore P_{entre} = 320$$

Para evitar las lecturas incorrectas el programa cuenta 300 pulsos antes de consultar al sensor si detecto una muesca, así evitamos cualquier lectura errónea en ambos discos.

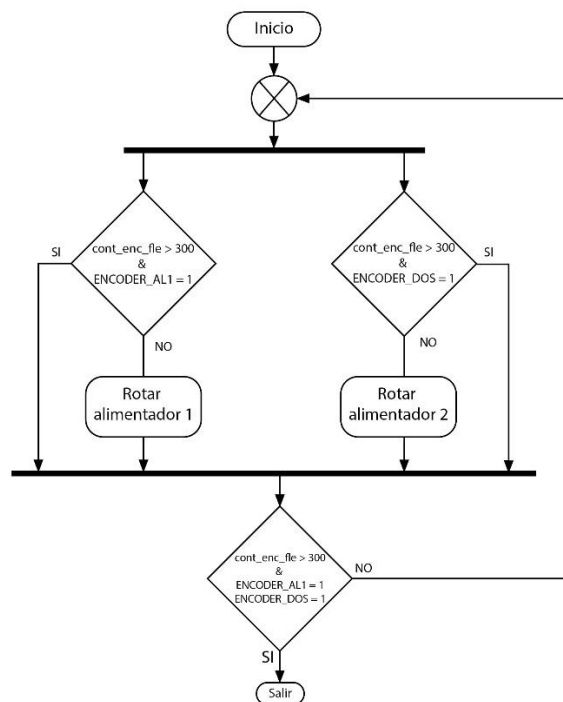


Fig. 4.8. Diagrama de flujo de control de alimentadores

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Control de sistema de Sujeción.

El sistema de sujeción consta de 2 servomotores de 180 y 360 grados, que se encargan de sujetar y rotar el envase, respectivamente.

a. Servomotor 180

El servomotor de 180 grados se encarga de abrir las hojas del sistema de sujeción y cerrarlas para sujetar un envase. Tanto la sujeción como la apertura de las hojas, deben ser mantenidas durante el proceso. Pues de lo contrario, los envases podrían soltarse y no rotar, o chocar con las hojas al rotar en el alimentador. Por ello necesitamos que la señal de control se ejecute en paralelo con el resto de señales.

Para la programación de esta función se utilizó un COG, y se le destino un stack space de 40 valores LONG.

El servomotor de 180 grados controla la posición de su eje dependiendo del ancho de pulso que se envía a su pin de control. Según las pruebas que se realizaron al servomotor, el ancho de pulso debe estar entre 605 uS – 2395 uS y debe enviarse la señal cada 20 mS para que mantenga esa posición.

Al calibrar el servomotor, se determinó que los ángulos requeridos para sujetar el envase y abrir las hojas son:

Apertura: 148°

Sujetar Envase: 79°

Para calcular el ancho de pulso correspondiente se aplicó la ecuación de la recta, sabiendo que 0° (605 uS) y 180° (2395 uS).

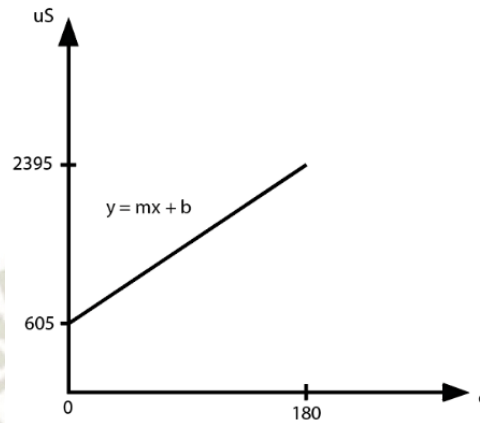


Fig. 4.9. Relación ancho de pulso vs ángulo para servo 180

Fuente: Elaboración propia.

$$Ancho_{pulso} = \left(\frac{2395 - 605}{180} \right) x + 605 \quad [4.2]$$

$$\therefore x = 148^\circ \rightarrow Ancho_{pulso} = 2077 \text{ uS}$$

$$\therefore x = 79^\circ \rightarrow Ancho_{pulso} = 1391 \text{ uS}$$

El COG destinado para este control se encarga únicamente de mantener la señal mientras el controlador este prendido; pero, éste no decide cuándo deben abrirse o cerrarse las hojas. Es el COG principal quien mediante una variable compartida decide la posición que debe tener el servomotor de 180 (apertura o sujeción).

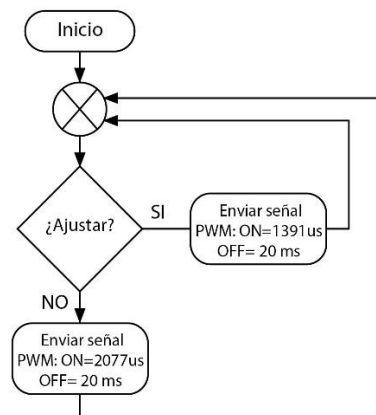


Fig. 4.10. Diagrama de flujo control Servomotor 180

Fuente: Elaboración propia.

b. Servomotor 360 Feedback

El servomotor 360 Feedback posee dos pines (Control y Realimentación), que se utilizan para su control. El control de este servo se realiza mediante una señal que varía su ancho de pulso para determina la velocidad de giro. Mientras que, el pin de realimentación está conectado a un sensor de efecto Hall interno que envía una señal PWM con un ancho de pulso proporcional al ángulo en el que se encuentra (0-360).

Tanto la señal de control como de realimentación deben ser todo el tiempo controladas y analizadas, respectivamente. De lo contrario, el movimiento del servo seria interrumpido constantemente mientras se ejecutan el resto de instrucciones. Por ello se implementaron en dos COGS diferentes, el control del servo y el análisis de la señal de realimentación.

A los COG's encargados de estos procesos se le destino independientemente un stack space de 50 valores LONG.

Señal de Realimentación

La señal de realimentación es una señal PWM de 910 Hz +/- 5% con un ciclo de trabajo entre 2.9% - 97.1% que corresponden a 0° – 359 ° (sentido antihorario).

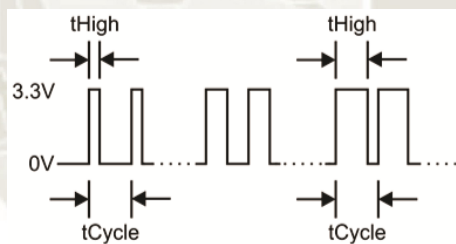


Fig. 4.11. Señal Feedback Servo 360

Fuente: Hoja de datos de PARALLAX Feedback 360

Para poder determinar el ángulo se realiza una calibración de la señal. Después de determinar el tHigh (Tiempo de señal en 1 digital) y tLow (Tiempo de señal en 0 digital), podemos calcular el periodo de la señal (t_{cycle}).

$$t_{cycle} = tHigh + tLow \quad [4.3]$$

Después calculamos el ciclo de trabajo ($Duty_{cycle}$) y lo multiplicamos por un factor de 10 para trabajar con 1 decimal más.

$$Duty_{cycle} = \frac{tHigh}{t_{cycle}} * 100\% \quad [4.4]$$

$$DCy = Duty_{cycle} * 10 \quad [4.5]$$

Para escalar la posición angular debemos utilizar los valores del rango de ciclo de trabajo señalado por el fabricante con un decimal adicional.

$$DCy_{min} = 2.9\% = 29$$

$$DCy_{max} = 97.1\% = 971$$

Escalamos la posición angular ($theta$) utilizando la siguiente formula sugerida por el fabricante para obtener la medida del ángulo con giro horario:

$$theta = 359 - \frac{(DCy - DCy_{min}) * 360}{DCy_{max} - DCy_{min} + 1} \quad [4.6]$$

Para determinar si el giro del eje pasa los 360 grados, se compara el valor actual con el anterior calibrado. Si el nuevo valor está en el primer cuadrante de la circunferencia ($0^\circ - 90^\circ$), mientras el anterior está en el cuarto cuadrante ($270^\circ - 359^\circ$) es señal que paso una vuelta, pues la medida llega hasta 359 y luego 0 nuevamente. El mismo criterio se utilizó para determinar si el eje retrocedía una vuelta, al comparar los valores entre el cuarto y primer cuadrante. De esta forma se consiguió tener el valor absoluto de la posición del eje del servomotor.

Señal de Control

El servomotor puede girar hasta 120 RPM en forma bidireccional con control de realimentación. Para controlar la velocidad y sentido de giro, se envía al pin de control una señal PWM con una frecuencia de 50Hz.

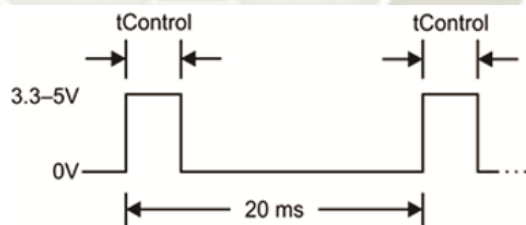


Fig. 4.12. Señal control Servo 360

Fuente: Hoja de datos de PARALLAX Feedback 360

Al realizar las pruebas con el servomotor se obtuvo la siguiente gráfica

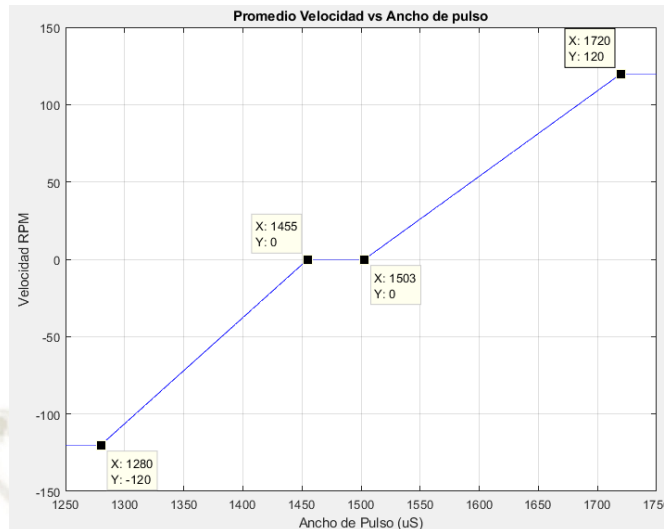


Fig. 4.13. Velocidad promedio vs Ancho de Pulso

Fuente: Elaboración propia

El servomotor empieza a girar en sentido horario en forma estable, cuando el ancho de pulso supera los 1503 uS y alcanza su velocidad máxima cuando este llega a los 1720 uS. Mientras que requiere un ancho de pulso menor a 1455 uS para girar en sentido anti-horario en forma estable y alcanza su máxima velocidad cuando este llega a los 1280 uS.

Para controlar la posición del servomotor se calculó la diferencia entre la posición deseada del servo con la posición actual que nos señalaba el pin de realimentación. De esta forma se variaría el ancho de pulso en forma proporcional a la diferencia que existía. Sin embargo, la respuesta a la señal de control del servo no es lineal como se aprecia en la figura 113. Por ello se utilizaron márgenes de offset para converger los puntos del 1455 uS al 1503 uS en un solo valor.

$$Ancho_{pulso} = \begin{cases} Val_{medio} + offset_{pos} + x & \text{si } x > 0 \\ Val_{medio} & \text{si } x = 0 \\ Val_{medio} + offset_{neg} + x & \text{si } x < 0 \end{cases} ; \quad [4.7]$$

$$offset_{pos} = 1503 - Val_{medio}$$

$$offset_{neg} = 1455 - Val_{medio}$$

Donde:

Val_{medio} = El valor seleccionado entre el rango de (1455 – 1503). Usamos: 1473 uS

x = Es la diferencia entre el ángulo deseado y el ángulo actual. (+/-)

$offset_{pos}$ = Es + 30 uS (Para $Val_{medio} = 1473$ uS)

$offset_{neg}$ = Es - 18 uS (Para $Val_{medio} = 1473$ uS)

El valor x puede ser positivo o negativo y el motor girará en sentido horario si es positivo o en sentido anti-horario si es negativo.

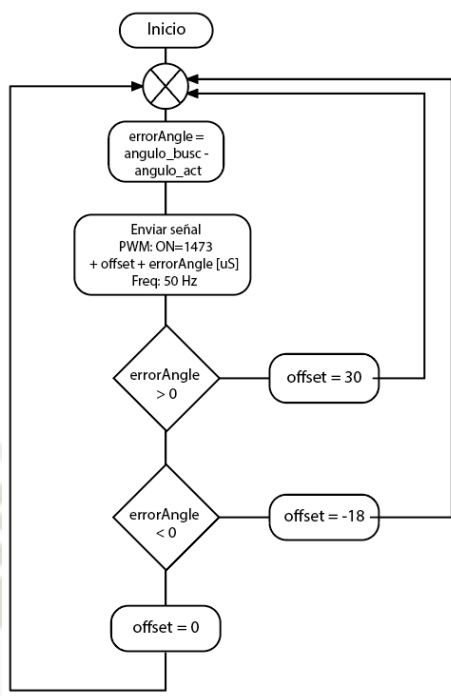


Fig. 4.14. Diagrama de flujo control Servomotor 360

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Control de Iluminación

El control de las luminarias Neopixel Stick se realizó mediante la placa Trinket 5V, que se encarga de dar la señal y mantenerla para que las lámparas enciendan y permanezcan en ese estado, pero, esta placa no decide cuándo deben encenderse o apagarse. Es el COG principal quien mediante una señal digital ordena a la placa Trinket 5V que controle las luminarias (encendido o apagado)

Señal de control de iluminación de BOE

La señal digital del controlador BOE puede ser:

1 (lógico): Encender las luminarias

0 (lógico): Apagar las luminarias

Esta señal digital se conecta con el trinket 5V mediante un acondicionamiento previo que se detalló en la parte de diseño, sección interfaz electrónica. Las luminarias deben encenderse antes de empezar la captura de frames, y apagarse al después de capturar el último frame.

4.5.1 Control TRINKET 5V

Las luminarias Neopixel Stick esta compuestas cada uno de 8 LED's WS2812. Estos LED tienen un controlador interno que permite calibrar su intensidad en 256 niveles, y con 16777216 variaciones de color que se modifican al variar los valores de los colores primarios R (0 - 255), G (0 - 255), B (0 - 255).

El control se realiza a través de una señal de transmisión en cascada de una sola línea con una tasa min de 800 Kbps¹⁹ y el protocolo de transferencia de datos utiliza el código binario NRZ²⁰.

En la transmisión de datos, los primeros 24 bits enviados por el pin DIN, son recogidos por el primer LED y el resto se envía al siguiente que está conectado a su salida. El método de transmisión de datos se muestra en la siguiente figura:

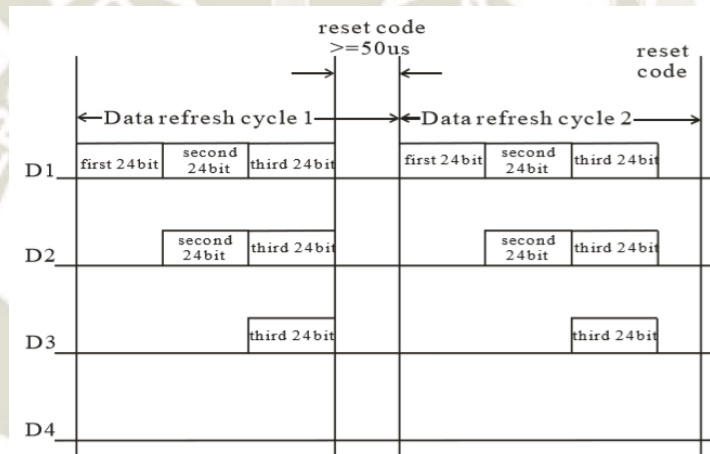


Fig. 4.15. Data transmission Method

Fuente: WS2812 - Worldsemi

Los 24 bits recogidos por cada LED señalan el valor binario de la combinación Green (G7 – G0), Red (R7 – R0), Blue (B7 – B0).

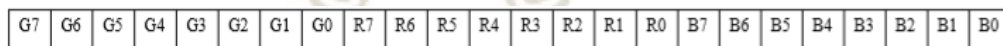


Fig. 4.16. Composition of 24 bit data

Fuente: WS2812 - Worldsemi

Para enviar esta señal, se utilizó el controlador Trinket 5V de la marca Adafruit que posee un total de 5 pines I/O.

¹⁹ Kbps: Kilo bits por segundo

²⁰ NRZ: Non return to zero, es un código binario donde el "1" está representado con un voltaje positivo mientras que el "0" es un voltaje negativo.

Tabla 16: Prueba pines Trinket 5V

PINES I/O	PINES solo OUT	PINES no OUT/ IN
# 0 (Pin 0) # 2 (Pin 2)	# 1 (PIN 1) # 4 (PIN 4)	# 3 (PIN 3) (Resistencia Pull up)

Fuente: Elaboración propia.

Únicamente los pines 0 y 2 pueden ser entradas o salidas digitales, mientras los pines 1 y 4 pueden ser solo salidas.

Para la programación de las luminarias se utilizaron las librerías del fabricante Adafruit, que nos permiten regular la intensidad de la luminaria con la instrucción:

```
strip.setBrightness(0);
```

Y para cambiar el color se modifica el valor de los colores primarios RGB con la instrucción:

```
colorWipe(strip.Color(255, 255, 255), 0);
```

Se seleccionó al pin "0" para enviar la señal de control a las luminarias mientras que el pin 2 estaba conectado al optoacoplador esperando la señal del controlador BOE. Únicamente cuando el pin 2 detectaba un 0 lógico las luminarias encendían, de lo contrario permanecían apagadas.

4.6 Control de Cámara Line Scan

El sensor TSL3301-LF de la cámara line scan, utiliza tres líneas digitales (compatible con niveles TTL) para su comunicación y programación. Estas líneas son SDIN (Comunicación serial con el sensor), SDOOUT (Salida de información serial del sensor) y SCLK (Señal de reloj serial). El protocolo de comunicación es isosincrónico, lo que indica que además de la señal de reloj sincrónica, el paquete de 8 bits requiere un bit de inicio y otro de fin (10 clocks en total).

La información enviada a través del pin SDIN, incluye no solo la señal para iniciar o parar la captura, también los valores de ganancia u offset que se guardan en los registros del sensor. Como SCLK es el único reloj de máquina de estados del sensor, se requieren clocks adicionales para llevar a cabo las instrucciones.

En sistema diseñado se implementó la señal de reloj necesaria para ejecutar cada función, y mantenerla inactiva el resto de tiempo. El control del sensor TSL3301-LF se puede dividir en 8 pasos:

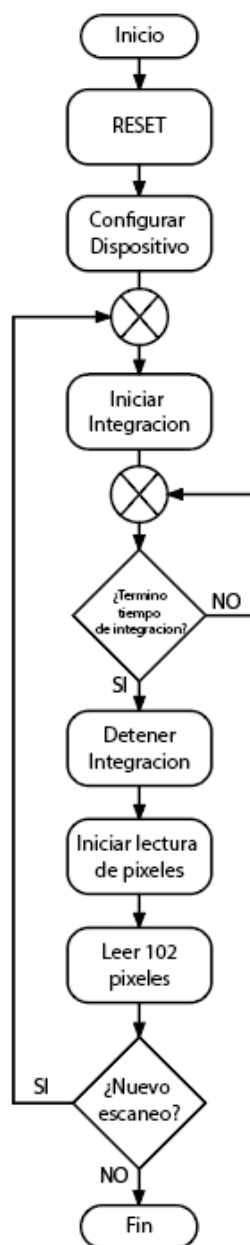


Fig. 4.17. Diagrama de flujo control de Sensor TSL3301-LF

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso es eliminar cualquier tipo de señal o carga que posean las fotoceldas, para iniciar una nueva inspección. Luego sigue la configuración del dispositivo. El sensor divide sus fotoceldas en 3 partes y cada una de ellas debe ser configurada con un valor de ganancia y offset. El proceso de integración es la apertura de las fotoceldas para que almacenen la carga eléctrica producto de la luz que incide sobre ellas. Este proceso requiere un tiempo de integración antes de detenerla. Después de ello las señales van al conversor ADC dentro del sensor y se envía el comando de lectura, para que por el pin SDOOUT se envíe una señal digital "0" y se inicie la lectura del valor de cada pixel (8 bits) al controlador. Para iniciar una nueva captura se envía la señal de inicio de integración para repetir el proceso.

SEND (Byte):

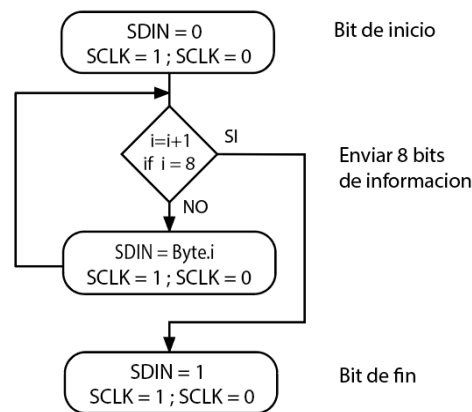


Fig. 4.18. Diagrama de flujo de la estructura de cada comando

Fuente: Elaboración propia.

Para controlar cada función del sensor se envían comandos a través de un paquete de 8 bits más los 2 bits (inicio y fin) por el pin SDIN. Par enviar cada comando se debe seguir la estructura señalada en el diagrama de flujo anterior.

a. RESET



Fig. 4.19. Diagrama de flujo para función de RESET

Fuente: Elaboración propia.

Esta función es la primera en ejecutarse, para eliminar todos los registros guardados y cualquier carga que haya en las fotoceldas.

b. CONFIGURAR DISPOSITIVO

El sensor divide sus fotoceldas en tres grupos iguales (derecha, centro e izquierda). A cada uno se debe asignar un valor de offset y ganancia.

El valor de ganancia (**GAIN**) puede ser igual o mayor a 0 y menor o igual a 31, según la hoja de datos del sensor y para enviarlo debe ser convertido de decimal a binario. El valor del offset (**OFFSET**) está limitado por la cantidad de bits que se pueden enviar por paquete. En este caso es 127, pues el bit más significativo (MSB) de este paquete está destinado al signo del número (1: negativo y 0: positivo). En el sistema se calibro en GAIN: 30 y OFFSET: 25.

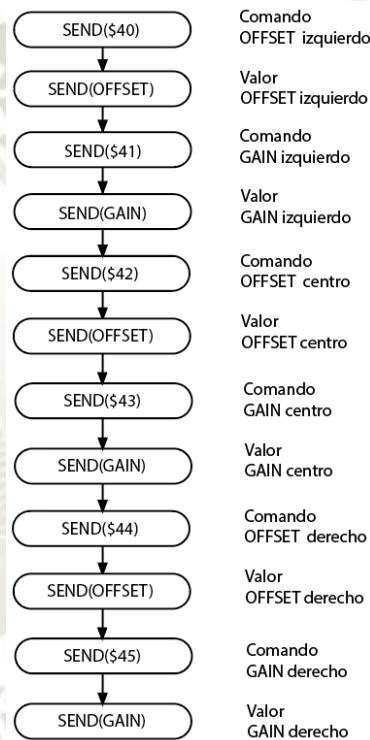


Fig. 4.20. Diagrama de flujo para configurar el sensor

Fuente: Elaboración propia.

c. INICIAR INTEGRACION

Esta función apertura las fotoceldas para que almacenen la carga eléctrica producto de la luz que incide sobre ellas.

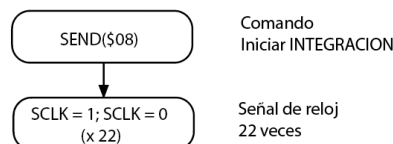


Fig. 4.21. Diagrama de flujo para iniciar integración

Fuente: Elaboración propia.

d. TIEMPO DE INTEGRACION

El tiempo de integración es aquel que pasa después de ejecutar la función para iniciar la integración. Este tiempo no tiene límite pues depende del diseñador determinar el tiempo que permita que sus celdas capten la luz que incide sobre ellas. Sin embargo, para una aplicación a velocidad este tiempo debe ser mínimo y sus celdas deben capturar la intensidad suficiente que permita obtener una buena imagen. Por ello es importante que la sección a analizar tenga la mejor iluminación posible para disminuir este tiempo.

En este sistema se ha seleccionado un tiempo de integración de 1000 pulsos de reloj que equivale a 12.5 uS. (Freq BOE: 80 MHz)

e. DETENER INTEGRACION

Esta función cierra las fotoceldas con la carga eléctrica que hayan almacenado.

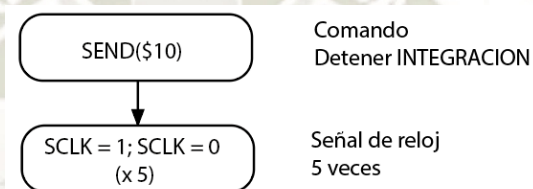


Fig. 4.22. Diagrama de flujo para detener integración

Fuente: Elaboración propia.

f. INICIAR LECTURA DE PÍXELES

Esta función ordena al sensor que la carga eléctrica de cada fotocelda pase por el ADC y se obtenga el valor de capa pixel con una resolución de 8 bits. El sensor enviara una señal "0" por el pin SDOOUT, cuando la data esté lista para ser enviada al controlador, mientras tanto la señal de reloj debe mantenerse.

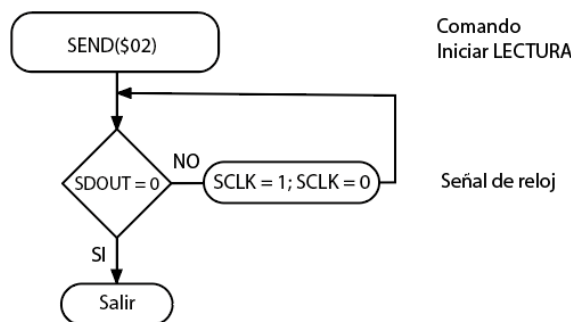


Fig. 4.23. Diagrama de flujo para iniciar lectura de pixeles

Fuente: Elaboración propia.

g. LECTURA DE PÍXELES

Después de recibir la confirmación del sensor, el valor digital del primer píxel es enviado al controlador con el bit menos significativo al principio (LSB) y después del bit más significativo de información (MSB) un bit de stop, que indica que este primer paquete de datos termino y empieza el siguiente.

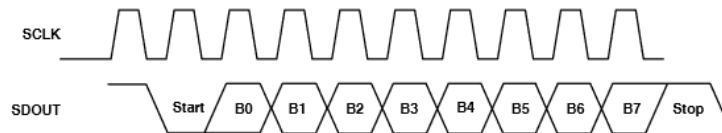


Fig. 4.24. Señal de salida del sensor.

Fuente: Hoja de datos sensor TSL3301-LF

Cada paquete de datos (8 bits) que contiene la información de cada píxel está acompañado de un bit (inicio) al principio y un bit (stop) al final.

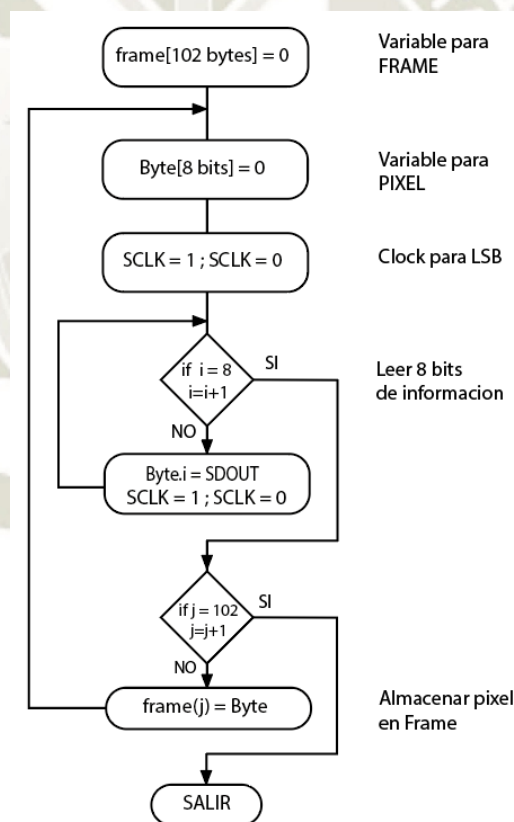


Fig. 4.25. Diagrama de flujo de lectura de píxeles.

Fuente: Hoja de datos sensor TSL3301-LF

El grupo de funciones que controlan el sensor TSL3301-LF fue programado en Assembly para mejor la velocidad de ejecución. Esta serie de rutinas fueron implementadas por el consultor en tecnología William Lawson y utilizadas en el programa principal para el control de la cámara.

4.7 Comunicación entre controlador y MATLAB

La información que envía el sensor al controlador se indexa en una variable de n (Numero de frames) x m (Resolución de cámara = 102px) valores. Los cuales luego son enviados a través del cable USB al programa de MATLAB. Antes de ello, el controlador BOE suma el valor de cada escaneo lineal con el objetivo de encontrar el inicio de la etiqueta y almacenar a partir de ahí los valores de cada pixel. La suma de la intensidad de los pixeles de cada frame debe ser superior a 9000, este valor se obtuvo luego de hacer diferentes pruebas con el envase que analizamos. El mismo valor límite de 9000 se utiliza para detectar el fin de la etiqueta e iniciar la transmisión de la información.

El programa del controlador prepara cada paquete de datos para que el programa de MATLAB pueda reconocer cada frame e indexarlo.

Primero se separó cada pixel (byte) y después de enviar cada uno, se enviaba una coma “,” para que el programa de Matlab reconociera que eran valores diferentes. Luego, después de cada paquete de 102 valores se enviaba un punto y coma “;” para que el programa reconozca cada paquete como una fila.

La función que lee todos los datos almacenados en el puerto y los almacena en una variable es:

```
B=fscanf(PH);
```

La función que interpretaba todos estos datos y retorna una matriz es

```
B1=str2num(B);
```

Finalmente, para terminar la comunicación serial, el ultimo byte que se enviaba correspondía al valor “\$0D” Hex, que en código ASCII corresponde a “CR”. Esto debido a que la función utilizada para abrir el puerto de comunicación, fue programada con Terminator = CR. Lo que indica que apenas esta señal pase por el puerto o el Timeout supere el valor designado, se enviará un señal de corte de datos.

```
PH=serial('COM6','BaudRate',115200,'Terminator','CR','Input  
BufferSize',57400,'Timeout',10);
```

Para tener una correcta comunicación entre el programa de MATLAB y el controlador BOE es importante resetear el puerto antes de abrirlo. El reseteo consiste en abrir y cerrar el puerto con una pausa intermedia de 2 segundos.

El puerto debe abrirse una sola vez para iniciar la comunicación con el controlador y ser cerrado cuando se va a desconectar el controlador. Durante las pruebas realizadas entre el controlador y el programa de MATLAB, se concluyó que las instrucciones de cierre de puerto dentro del programa de MATLAB reinician al controlador BOE.

El puerto de comunicación con el controlador BOE debe permanecer abierto durante todo el proceso de recepción de información, procesamiento y señal de salida para seleccionar cada envase.

4.8 Procesamiento de Imagen:

El procesamiento de imagen se realizó en Matlab. El sensor captura cada pixel con una resolución de 8 bits. Una vez obtenida la matriz de la imagen se realizó una rotación en sentido anti-horario, pues la imagen resultante correspondía a la captura vertical de cada frame cuando el envase rotaba.



Fig. 4.26. Imagen indexada (102 x 100) pixeles

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el histograma de la imagen nos damos cuenta que no podemos seleccionar un umbral global para binarizarla, pues hay más de dos picos significativos.

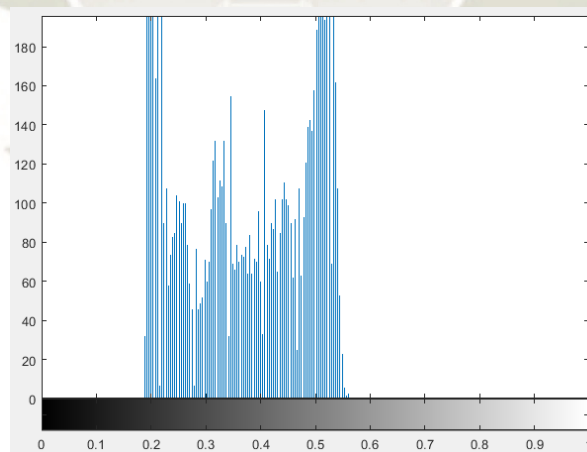


Fig. 4.27. Histograma de imagen indexada

Fuente: Elaboración propia

Dentro del programa se realizó un recorte de la imagen en el borde superior e inferior, pues esta área no corresponde a nuestra región de interés. Sobre la imagen recortada se aplicó un binarizado con la función “`imbinarize`”, donde definimos:

```
BW = ~imbinarize(Irot, 'adaptive', 'ForegroundPolarity',  
                'dark', 'Sensitivity', 0.43);
```

- **Method:** Es el método usado para binarizar la imagen. En nuestro caso, no podemos seleccionar un umbral global para binarizar la imagen pues en algunos casos se pierde grandes detalles de cada letra. Por ello se seleccionó un método adaptativo.

Método Adaptativo: Este método adaptativo binariza la imagen utilizando un límite local adaptativo. Este método también es llamado el método Bradley's [13], donde el algoritmo selecciona un rango de píxeles alrededor del que se analiza y calcula su umbral. Este proceso se repite al analizar cada píxel, y el tamaño del área a analizar es 1/8 del tamaño de la imagen principal.

- **ForegroundPolarity:** Determina que píxeles son considerados los de interés. En nuestra imagen, las letras a analizar son de color negro y resaltan sobre un fondo blanco, por ello se seleccionó "dark".
- **Sensitivity:** Es el factor de sensibilidad para límite adaptativo.

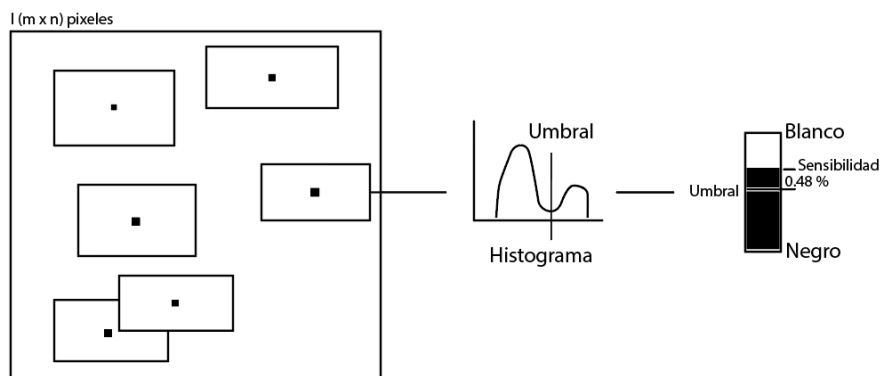


Fig. 4.28. Esquema de función imbinarize

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el binarizado, se obtuvo el negativo de esta imagen para realizar el resto de operaciones.



Fig. 4.29. Negativo de imagen binarizada

Fuente: Elaboración propia

Al tener la imagen en blanco y negro podemos aplicar una función para detectar los bordes de todos los elementos presentes. La función “bwlabel” coloca etiquetas al grupo de pixeles que tenga sus elementos conectados por las esquinas o lados (Conectividad 8). Para determinar esto, se analiza el borde de cada pixel y si tiene conectividad con otro, se les asigna la misma etiqueta a ambos.

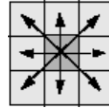


Fig. 4.30. 8-connected

Fuente: Mathworks.com

Luego con la función “regionprops” podemos obtener el área, centroide y el boundingbox de cada elemento etiquetado con la función anterior.

- El área es la suma de todos los pixeles que llevan la misma etiqueta.
- El centroide corresponde a las coordenadas del punto central de cada boundingbox, respecto a la esquina superior izquierda de la imagen.
- El boundingbox es la información de los límites [Col_ini , Fila_ini , Col_dif, Fila_dif] que tiene cada elemento etiquetado. Donde:

Col_ini: Número de columna donde inicia el objeto.

Fila_ini: Número de fila donde inicia el objeto.

Col_dif: Es la cantidad de columnas que ocupa su borde ($Col_{fin} - Col_{ini}$).

Fila_dif: Es la cantidad de filas que ocupa el borde ($Fila_{fin} - Fila_{ini}$).

Para determinar los bordes de cada elemento, se analiza la posición de cada pixel que integra cada grupo de etiquetas y luego se determinan el máximo y mínimo valor de sus filas y columnas.

Después de ubicar todos los elementos, ahora solo tomamos aquellos cuyo tamaño de boundingbox es menor a 25 pixeles por columna y 18 pixeles por fila, pues es el margen aproximado para filtrar cada región de interés en una imagen de 100 x 102 px.



Fig. 4.31. Imagen con bordes filtrados generales

Fuente: Elaboración propia

Luego de analizar la imagen anterior, nos damos cuenta que es necesario separar aquellas letras que están unidas.

Para identificar los elementos que tienen 2 letras por separar, se filtran aquellos cuyo boundingbox está entre 12 y 23 pixeles por columna y entre 11 y 17 pixeles por fila. Luego, sumamos todos los pixeles por columna de cada elemento y comparamos los valores de las tres columnas que se encuentran en medio de cada elemento. A la columna con el menor número le asignamos el valor 0 a sus pixeles para separar ambos caracteres.

Para identificar los elementos que tienen 3 letras por separar, se filtran aquellos cuyo boundingbox está entre 23 y 26 pixeles por columna y menor a 18 pixeles por fila. Luego, sumamos todos los pixeles por columna de cada elemento y dividimos el tamaño del elemento en tres partes para ubicar las columnas alrededor de cada división. A la columna con el menor número le asignamos el valor 0 a sus pixeles para separar los caracteres y en caso que existan más de un valor correcto, se toma el primer elemento ubicado.

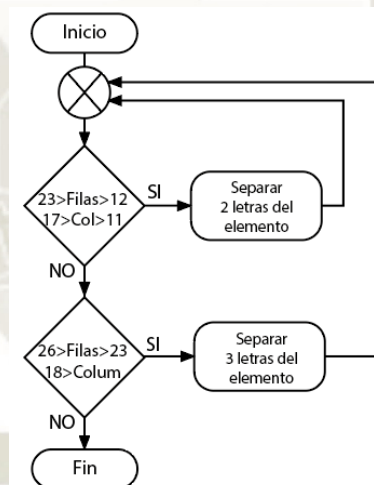


Fig. 4.32. Diagrama de flujo de separación de letras

Fuente: Elaboración propia

A la nueva imagen con las letras separadas, se aplicaron nuevamente los algoritmos para etiquetar todos los elementos y encontrar los márgenes y propiedades de cada uno. De la imagen nos interesan 2 tipos de caracteres:

Para separar las nuevas letras se filtran aquellos elementos cuyo boundingbox está entre 21 y 2 pixeles por columna y entre 18 y 10 pixeles por fila, además de no estar pegados al borde de la imagen. Mientras que para separar los signos de puntuación se filtran aquellos elementos cuyo boundingbox está entre 7 y 1 pixeles por columna, entre 5 y 1 pixeles por fila y cuya columna de inicio está entre la 20 y 85; y fila de inicio está entre la 7 y 90.



Fig. 4.33. Imagen pre-procesamiento
Fuente: Elaboración propia

Después de encontrar todos los elementos que nos interesan, eliminamos el resto de pixeles que quedaron fuera del filtro.



Fig. 4.34. Imagen final pre-procesamiento
Fuente: Elaboración propia

4.8.1 Reconocimiento Óptico de Caracteres (ROC)

Es un proceso dirigido la digitalización de textos, donde cada carácter es comparado con una base maestra y selecciona aquella muestra con la que el carácter tiene el mayor índice de correlación.

La base maestra está compuesta de imágenes separadas de todas las letras del abecedario y números con un tamaño de 16 x 12 pix en blanco y negro y formato “.bmp”.

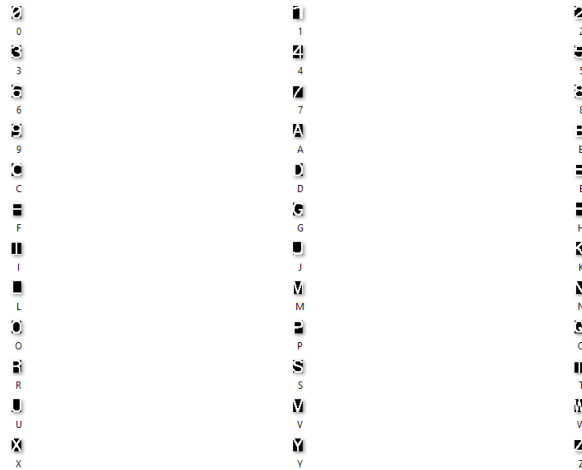


Fig. 4.35. Base maestra de imágenes de 16 x 12 pix
Fuente: Elaboración propia

Todas estas imágenes son ordenadas y almacenadas en una variable dentro de MATLAB, para luego ser usadas en la correlación como base maestra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1:0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
2:0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3:1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4:1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
5:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
6:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
7:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
8:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
9:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
10:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
11:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
12:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
13:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
14:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
15:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
16:0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
17:									1	1	1	1	

Fig. 4.36. Letra “A” de 16 x 12 pix
Fuente: Elaboración propia

Después de obtener la base maestra, se segmenta la imagen pre-procesada según el número de filas de caracteres. Al estar separados todos los caracteres se aplica un algoritmo que suma todas las filas y compara aquellas cuya fila anterior y actual es diferente. Básicamente, la fila cuya suma de elementos sea 0 es el límite, donde termina cada grupo de letras.



Fig. 4.37. Recorte por fila de caracteres
Fuente: Elaboración propia

Sobre la imagen segmentada se ejecuta nuevamente la función “bwlabel” para colocar etiquetas a cada carácter y definir su boundingbox. Aquellos caracteres que tienen un tamaño menor a 5 px verticalmente y horizontalmente, se los reconoce como signos de puntuación y se les asigna un espacio en blanco “ ”.

El resto de caracteres, son escalados uno por uno hasta llegar al tamaño de los elementos de la base maestra (42x24 px). A cada carácter se le calcula el coeficiente de correlación con respecto a los elementos de la base maestra

$$R = \text{corr2}(A, B)$$

La función corr2, calcula el coeficiente de correlación utilizando la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad [4.8]$$

Donde:

m y n: corresponde al número de filas y columnas que la imagen a analizar

\bar{A} = Calcula la media de todos los valores de la matriz A

\bar{B} = Calcula la media de todos los valores de la matriz B

Los valores resultantes están normalizados y oscilan en el intervalo [-1, 1]. Teniendo una correlación directa cuando los valores se acercan a +/-1 y poca correlación cuando los valores se acercan a “0”.

Después de comparar todos los coeficientes, se le asigna la letra con la que tenga el mayor valor.

```

comp =
Columns 1 through 13
A  0.2903 -0.0478  0.0137 -0.1600 -0.0777  0.1669  0.0427 -0.1269 -0.1146 -0.3638  0.1914 -0.1133 -0.2132
Columns 14 through 26
  0.0330 -0.1024  0.1278 -0.0956  0.2302  0.0687 -0.0195 -0.3209 -0.0902  0.1132  0.0597 -0.0539 -0.1863
Columns 27 through 36
 -0.0663 -0.2156 -0.0152  0.1632  0.1323  0.1325 -0.1336  0.0763  0.0028 -0.0291
    
```

Fig. 4.38. Coeficientes de correlación para la letra A.

Fuente: Elaboración propia

Este procesamiento se aplica a todos los caracteres de la imagen y se obtiene la digitalización del texto en la etiqueta.

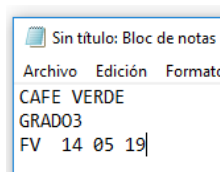


Fig. 4.39. Resultado de Reconocimiento óptico de caracteres.

Fuente: Elaboración propia

De los caracteres encontrados, analizamos los que corresponden a la fecha de vencimiento que se encuentra en la tercera línea de información. Para poder identificar la fecha debemos separar todos los valores numéricos dentro de esta línea.

```
fecha_enc = regexp(last_word, '\d*', 'Match');
```

La función `regexp` busca los string de los números encontrados en la última línea y los ordena en forma vertical, según su orden.

Para poder procesar la fecha primero se debe convertir los caracteres de String a números con la función `str2num`.

```
fecha_num(ii,1)=str2num(fecha_enc{ii});
```

Luego se obtienen los números, editamos el valor del año para que se represente como un valor de 4 dígitos. Finalmente convertimos esta información a una fecha con la función `Datetime`

```
fecha_conv = datetime(fecha_num(3), fecha_num(2), fecha_num(1));
```

La fecha obtenida será comparada con la fecha determinada en la programación, que en este caso es (15 de marzo de 2019).

Si la fecha obtenida es menor a la fecha determinada, entonces el producto está vencido, por ello se debe enviar una señal "0" en forma serial al controlador. Sin embargo, si la fecha es mayor o igual a la determinada, el producto sigue estando en buenas condiciones y se envía una señal "1" en forma serial al controlador para que sea separado.

```
aprobado = 0 (Vencido)  
aprobado = 1 (No vencido)
```

Para enviar estos valores al controlador utilizamos el puerto abierto y la función `fscan` para enviar la información en base 8 (octal)

```
fprintf(PH, '%o', aprobado)
```

4.9 Selección de envases:

Para la selección de envases se utilizaron dos separadores donde se ubican los envases que están vencidos de los que no lo están. Para ello se utilizó una barra separadora que rota sobre un punto fijo y empuja cada envase desde el disco alimentador 2 hacia el separador que le corresponda. Esta barra utiliza un servomotor 360 grados con realimentación de la marca Parallax para ubicarse. En esta parte no se detallará el control del servomotor, pues este ya fue desarrollado en las secciones anteriores. Sin embargo, se desarrollará el control sobre su variable de posición y velocidad.

Para poder realizar la correcta selección de los envases es fundamental que la barra separadora se ubique entre cada envase cuando el alimentador rota. Para conseguir ello, se sincronizó la velocidad de giro del alimentador con la velocidad de giro de la barra y el movimiento siempre es horario de 90 a 0 grados. Este movimiento inicia cuando se presiona el botón de inspección (Pin #3), y empiezan a girar los alimentadores. La velocidad seleccionada es 1470 – 18 Us (ON)

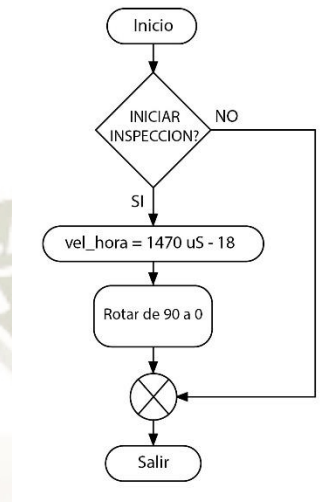


Fig. 4.40. Diagrama de flujo para sincronización del giro de barra selectora

Fuente: Elaboración propia

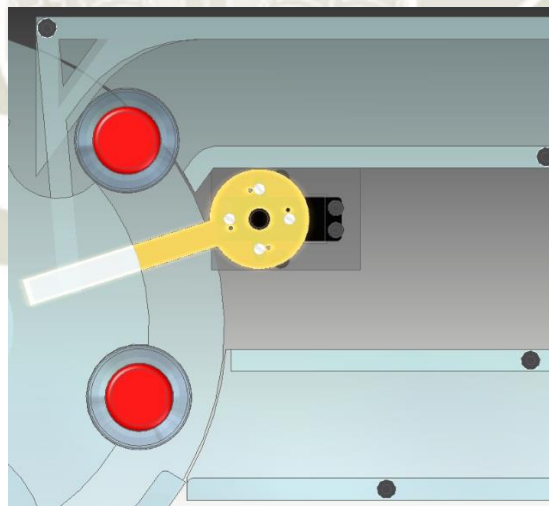


Fig. 4.41. Barra entre cada envase del alimentador

Fuente: Elaboración propia

Después de ubicar la barra entre cada envase del alimentador, el controlador BOE espera una respuesta de MATLAB confirmando si el envase esta vencido o no lo está. La respuesta y el número de inspección de envase se almacenan en una variable llamada “prim”, y si esta tiene algún valor, entonces la respuesta de MATLAB se almacena en la variable “seg”. La posición y resultado de cada envase deben ser

almacenados en la memoria del programa; pues el seleccionador no puede separar el envase directamente desde el área de inspección. Sino, debe esperar que el envase salga del área de inspección y el alimentador se detenga, para que recién pueda evaluar si corresponde empujarlo al primer seleccionador o en su defecto, dejarlo pasar para que vaya al segundo.

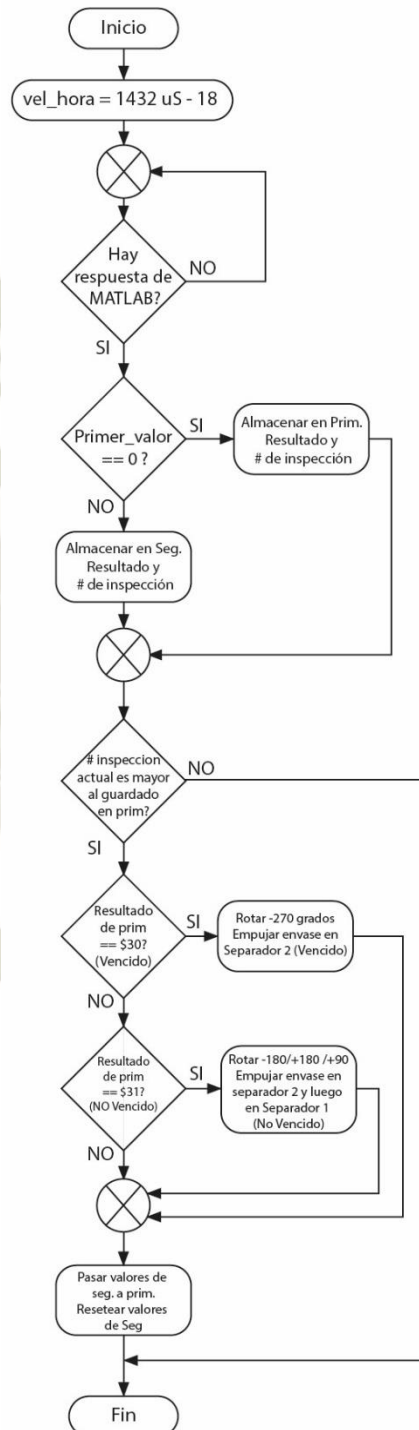


Fig. 4.42. Diagrama de flujo de Seleccionador de envases

Fuente: Elaboración propia

Cuando el programa de Matlab envía su respuesta al controlador a través del comando `fprintf`, el controlador BOE recibe el símbolo "0" o "1", que según la tabla ASCII corresponde al valor HEX de 30h o 31h, respectivamente.

Para poder empujar cada envase del alimentador, se modifica la velocidad de giro horario del servomotor hasta un pulso ON = 1432 - 18 uS. Esta velocidad se obtuvo probando el sistema con diferentes envases con un peso constante.

Si el envase está vencido ("0" = 30h) y el alimentador ya lo sacó del área de inspección, entonces la barra gira 270 grados en sentido horario. De esta forma, empuja cualquier envase que esté a la entrada del separador 2 (vencido) y la barra se queda en la posición 270 horario = 90 anti-horario, a la espera de una nueva inspección para ubicarse entre cada envase cuando rota el alimentador.

Si el envase no está vencido ("1" = 31h) y el alimentador ya lo sacó del área de inspección, entonces la barra gira 180 grados en sentido horario para ubicar cualquier envase que pudiera estar a la entrada del alimentador 2. Luego gira 360 grados en sentido anti-horario, para ubicar el envase en el separador 1 (no vencido) y retorna la posición 90 grados en sentido anti-horario, a la espera de una nueva inspección para ubicarse entre cada envase cuando rota el alimentador.

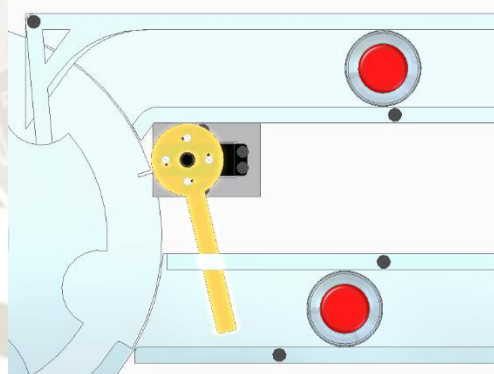


Fig. 4.43. Barra en 90 grados esperando giro para sincronizar

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el capítulo 3 se realizó el diseño del sistema de visión y la elaboración de los planos correspondientes de todas las piezas de su estructura. Basados en ellos, se pudo ensamblar todos los sub-sistemas con los actuadores y demás componentes eléctricos correctamente alineados.

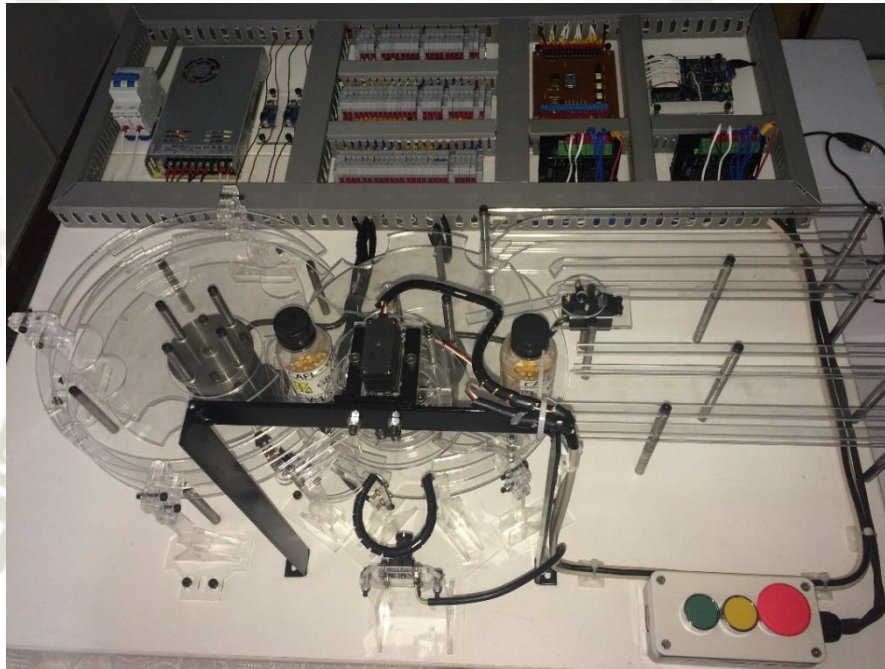


Fig. 5.1. Sistema de Visión con cámara line Scan – vista superior

Fuente: Elaboración propia

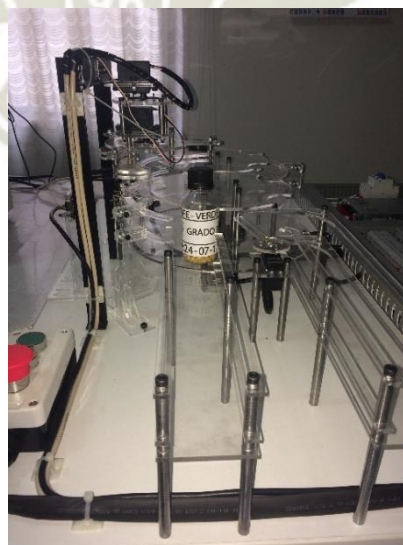


Fig. 5.2. Sistema de Visión con cámara line Scan

Fuente: Elaboración propia

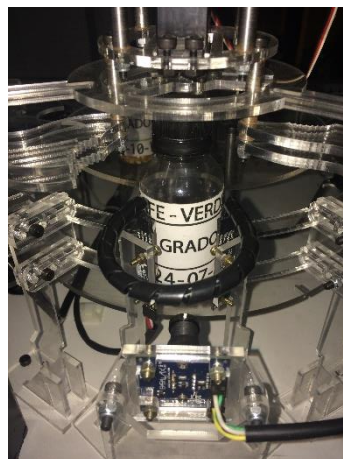


Fig. 5.3. Área de Inspección con Cámara e iluminación

Fuente: Elaboración propia

Se hicieron pruebas de la iluminación con un tiempo de integración de 1000 pulsos CLK y la imagen resultante es buena. Las fotoceldas se programaron con casi toda la ganancia disponible (30) y un offset que permite resaltar las diferencia entre el fondo y la región de interés (25). Se realizaron pruebas en la sincronización del giro con la captura de frames obteniendo buenos resultados. El servomotor encargado de la rotación del envase se calibró para que el envase tenga una velocidad constante aproximada de 10 mm/seg respecto al sensor. Mientras que la velocidad de la cámara era superior y se programó una pausa de 30 mS entre escaneo. Todos los valores anteriormente señalados se calibraron a partir de pruebas realizadas en el sistema. Al seleccionar un lente regulable, se pudo variar el enfoque de la cámara para capturar con mayor detalle el sticker del envase.

Para establecer la comunicación, iniciar el procesamiento y observar la salida, utilizamos el GUI “Interfaz_Line_scan_TSL3301”

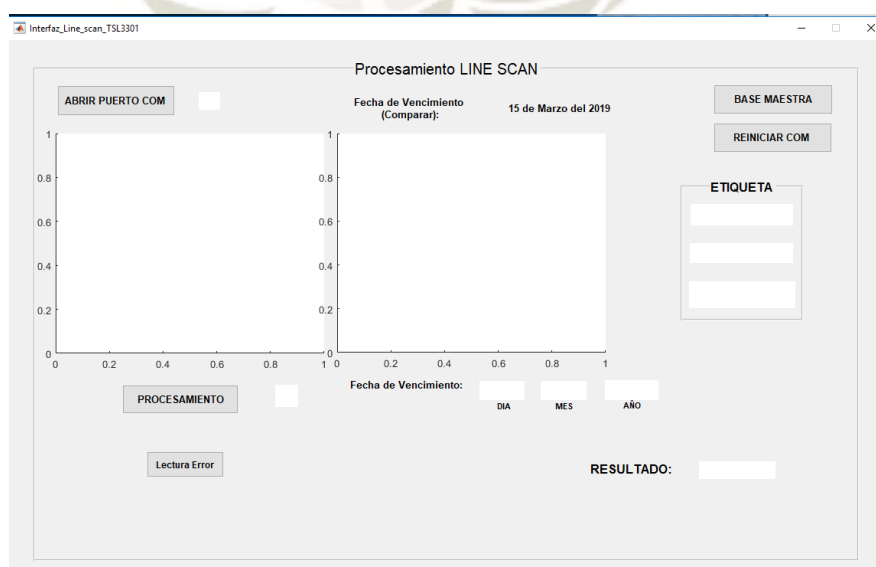


Fig. 5.4. GUI: “Interfaz_Line_scan_TSL3301”

Fuente: Elaboración propia

Para iniciar el funcionamiento del sistema se debe cerrar la llave termomagnética y las fuentes del sistema se encenderán. Luego de conectar el cable USB del controlador con el puerto COM6 de la PC, se enciende el controlador. Para iniciar, dentro de la interfaz GUI, presionamos el botón “REINICIAR COM” para que se libere el puerto que utilizaremos. Después, se presiona el botón “BASE MAESTRA” que utiliza todas las letras y números almacenados en una carpeta con el mismo nombre letras_numeros, para crear una variable que almacena todas las letras con un tamaño 16x12 pixeles, cada una.

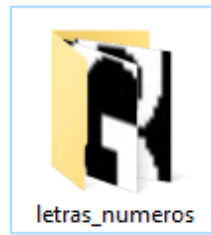


Fig. 5.5. Carpeta de base maestra para programa en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

Mientras tanto en el controlador se encenderá el pin 26 indicando que los alimentadores deben alinearse manualmente como se muestra en la sección 4.4.1

Después de alinearlos se presiona el botón de inicio (PIN #3) para que el programa principal gire a ambos alimentadores hasta encontrar la muesca correcta y determine el punto origen de cada alimentador. Una vez realizado esto, se procede a colocar todos los envases a inspeccionar en el alimentador 1.



Fig. 5.6. Envases en el alimentador 1

Fuente: Elaboración propia

Luego en la interfaz GUI se abrirá el puerto al presionar el botón “ABRIR PUERTO COM”. El puerto estará habilitado después que se encienda el indicador visual que está a la derecha del botón con un color azul. Finalmente se presionará el botón “PROCESAMIENTO”, y el programa MATLAB esperará a que el controlador envíe la información capturada por el sensor para procesarla.

Presionando nuevamente el botón de inicio (PIN #3), los alimentadores rotaran hasta ubicar el envase en el área de inspección. Luego el sistema de sujeción lo cogerá de la tapa y las luminarias se encenderán para que el envase pueda girar y la cámara capture los frames del envase. El sistema está configurado para buscar el inicio de la etiqueta, por ello, primero rotará hasta encontrar el inicio de la etiqueta y a partir de ahí comenzará con la captura de frames. Luego el sistema se detendrá dependiendo si alcanzó el máximo de frames permitidos en el programa (110 frames) o el fin de la etiqueta.

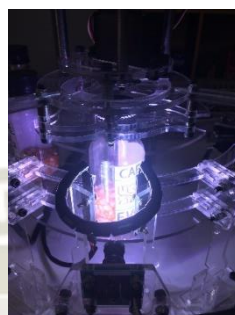


Fig. 5.7. Inspección de envase
Fuente: Elaboración propia

Después de capturar los frames, la información se envía al controlador que almacena la data y prepara cada paquete de bits para que sean enviados al programa de MATLAB.

Toda esta información es detectada por el programa de MATLAB y realiza la indexación de los frames, el pre-procesamiento y se aplican los algoritmos para el reconocimiento óptico de caracteres. Finalmente, de los datos obtenidos se compara la fecha de vencimiento del envase con la fecha designada ('15 de Marzo del 2019'). Si la fecha del primero es menor a la designada en el sistema, el resultado es "0" (Vencido). De lo contrario, el resultado es "1" (No vencido)



Fig. 5.8. Procesamiento de imagen con MATLAB
Fuente: Elaboración propia

Automáticamente, el valor de la variable “resultado” es enviado de vuelta al controlador para que este separe el envase según sea su clasificación. La clasificación se realiza como se mencionó en la sección 4.9, después que el envase sale del área de inspección. Para continuar con la inspección del resto de envases, se debe presionar primero el botón “PROCESAMIENTO” y luego el botón de inicio (PIN #3) cada vez que se vaya a inspeccionar un envase. En el caso de tener capturas cuyo procesamiento es imposible, se presiona el botón “Lectura error” para que el controlador pueda interpretar que es una lectura incorrecta y el sistema pueda seguir inspeccionando

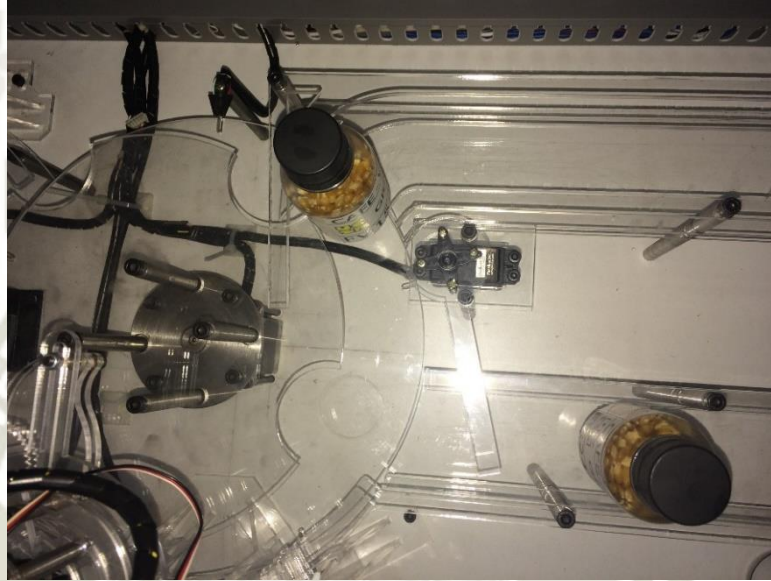


Fig. 5.9. Selección a la salida del alimentador 2

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño e implementación de un sistema de clasificación de envases según la fecha de vencimiento, utilizando una cámara de escaneo lineal diseñada y ensamblada para esta aplicación con una tasa de escaneo superior a la mínima requerida. Además de la sincronización y comunicación entre la parte de control y potencia de los subsistemas a través de optoacopladores.
- Se definió el modelo de control de la variable de posición como un control de lazo cerrado por ser necesario un control de posición preciso para esta aplicación. Mientras que el control de iluminación fue en lazo abierto, cuyo encendido y apagado depende del inicio o cierre de captura de frames, respectivamente. El control del tiempo de exposición se fijó a partir de la calibración de velocidad del sub-sistema de sujeción. Finalmente se implementó en diferentes cores cada programa para el control de variables en simultaneo que requería el sistema.
- Se seleccionaron técnicas de procesamiento de alto nivel sobre los frames indexados que permitieron determinar el índice de correlación entre dos imágenes a partir de una base maestra. Para ello es importante que la data maestra tenga el mismo tipo de fuente de las letras con las que se va a comparar.
- Se implementó el prototipo del sistema alimentación y sujeción con material acrílico por su baja densidad y la posibilidad de tomar formas complejas con un corte por láser, mientras que para los separadores se utilizó el acero CK-20. Para la implementación del alimentador se utilizó como directriz los sistemas empleados para transporte de envases en la industria, mientras que la implementación del sistema de sujeción surgió a partir del análisis de funcionamiento del mecanismo iris mecánico.
- Se seleccionó una iluminación lineal en forma de Stick, debido al tipo de sensor lineal y el tamaño compacto de la lámpara. La correcta iluminación sobre el área de interés, le permite al sensor de la cámara reducir el tiempo de integración para captar la luz que incide sobre sus fotoceldas.
- Se calibraron los parámetros de cada subsistema a través de pruebas y simulaciones para obtener la menor vibración en los motores stepper, una velocidad y sincronización de los servomotores y la correcta comunicación entre el controlador y el programa de MATLAB.

RECOMENDACIONES

- La velocidad de captura de frames es superior a la requerida para esta aplicación. Sin embargo, si se desea analizar algún objeto con mayor velocidad se podría implementar una lectura y envío de señal sobrepuesta. Esto quiere decir que mientras se lee la carga de una fotocelda, la lectura de la anterior celda se envía en paralelo al controlador, evitando esperar a que se tengan todas las lecturas del array para recién enviarlas al controlador.
- Se recomienda evitar dejar los pines de entrada de información o señal al aire para evitar un estado de indecisión que causa falsas lecturas y en consecuencia una operación incorrecta.
- Para reducir el tiempo de inspección de cada envase, se pueden implementar los algoritmos de MATLAB dentro del controlador y así evitar el retraso que causa el envío de información por el cable USB. Sin embargo, la placa no tiene soporte de algoritmos de visión artificial, por ello cada uno debe ser implementado desde lo más básico.
- Se recomienda estructurar correctamente la información que se envía del controlador al programa de MATLAB para que cada paquete de datos sea interpretado correctamente en el receptor.
- Se podría utilizar un motor más potente o colocar un material flexible en los dientes de cada hoja del sistema de sujeción para que se adapte mejor a la tapa del envase y pueda sujetarlo con mayor firmeza.
- La cantidad de cores del controlador BOE lo hacen ideal para esta aplicación. Sin embargo, no tiene soporte para la implementación de funciones de visión artificial. Se podría implementar un sistema embebido si se seleccionara un controlador con ambas características.

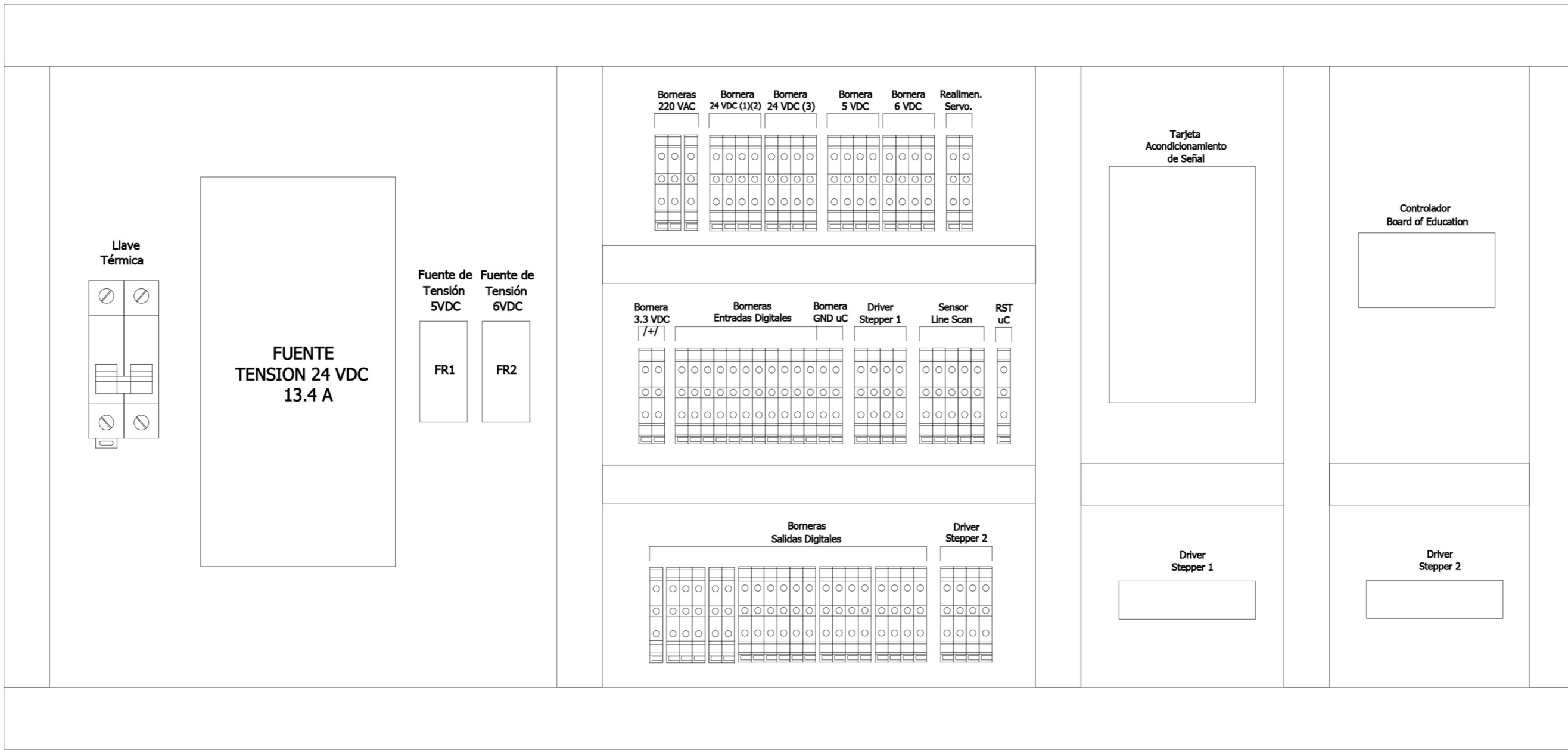
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Sucar, L. E., & Gómez, G. (s.f.). *Visión Computacional*.
- [2] *Computer Vision*. (15 de 05 de 2017). Recuperado el 23 de 05 de 2017, de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision
- [3] Vilá, K. (Junio de 2009). "Reconstrucción 3D de modelos utilizando técnicas de visión artificial". (*Proyecto fin de carrera*). Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas - (ICAI).
- [4] Castellanos, A., Ramírez, D., & Robledo de la Cruz, E. (05 de Diciembre de 2011). "Simulador de punción intravenosa en brazo como apoyo a la enseñanza básica de la medicina". (*Tesis de Pregrado*). D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional.
- [5] Ortiz, F. (Mayo de 2002). "Procesamiento Morfológico de Imágenes en color. Aplicación a la Reconstrucción Geodésica". (*Tesis Doctoral*). Alicante, España: Universidad de Alicante.
- [6] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing* (Second ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- [7] Pastor, E. (2012). *Análisis de imágenes basado en correlación de imágenes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- [8] Alba, J. L., Martin, F., Cid, J., & Mora, I. (Abril de 2006). *Morfología matemática*. Obtenido de Centro de Computacion Grafica - UCV: http://ccg.ciens.ucv.ve/~hector/pdi/Morfologia_matematica.pdf
- [9] Centro Integrado Politécnico "ETI". (s.f.). *Etitudela*. Recuperado el 23 de 05 de 2017, de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- [10] TAOS. (Febrero de 2001). *Linear Optical Sensor TSL3301-LF*. Obtenido de <https://robopoly.epfl.ch/files/content/sites/robopoly/files/prisme/documents/TSL3301.pdf>
- [11] TAOS. (s.f.). *Using the TSL3301 with a Microcontroller*. Recuperado el Noviembre de 2016, de ams.com/kor/content/view/download/145172
- [12] Baluarte, R. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de video inteligente para el seguimiento de patrones*. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- [13] Bradley, D., & Roth, G. (s.f.). *Adaptive Thresholding Using the Integral Image*. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.420.7883&rep=rep1&type=pdf>
- [14] Casarino, E. (2008). Lentes para CCTV. *Negocios de Seguridad*, 180-192.
- [15] Čížek, L. (19 de Diciembre de 2013). Diseño e implementacion de un robot de seguimiento de linea negra. *NÁVRH A REALIZACE ROBOTY SLEDUJÍCÍHO ČERNOU ČÁRU*. ČESKÉ BUDĚJOVICE, DUKELSKÁ 13, Republica Checa: STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STROJNÍ A ELEKTROTECHNICKÁ.

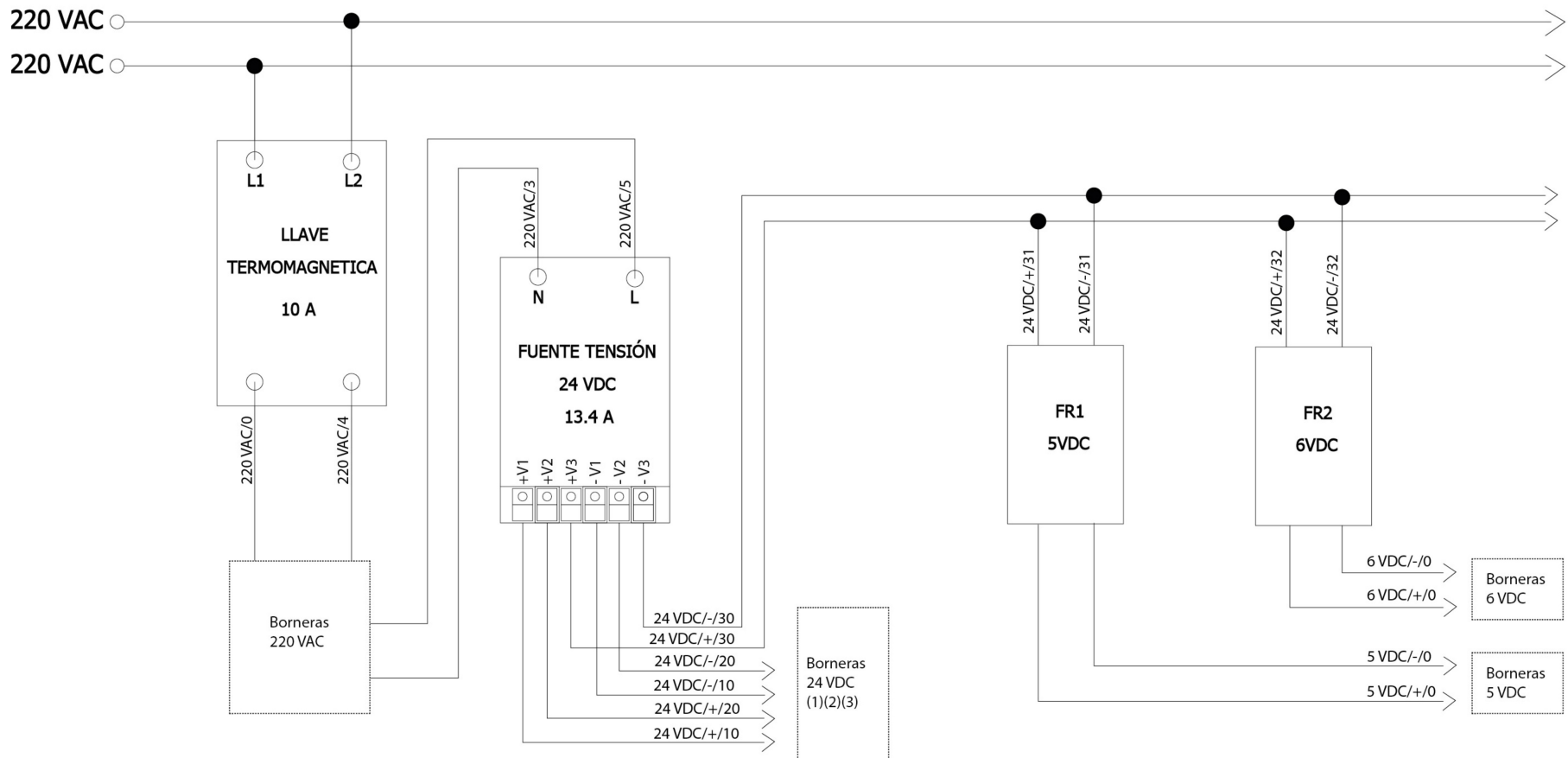
- [16] Fernandez, J. (05 de 06 de 2018). *Fisica LAB*. Obtenido de Lentes delgadas:
<https://www.fiscalab.com/apartado/lentes-delgadas#contenidos>
- [17] Kottke, T. (2014). *A Hardware Platform for Characterizing and Validating 1-Dimensional Optical Systems*. Army Research Laboratory. EE.UU.: Weapons and Materials Research.
- [18] Platero, C. (2009). *Apuntes de Vision Artificial*. Obtenido de Departamento de Ingeniería Electrónica, Automática e Informática Industrial:
http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap6VAProcMorf.pdf
- [19] Rodriguez, E., & Zarate, M. (Marzo de 2015). *Diseño e Implementación de un sistema de clasificación por vision Artificial basado en Redes Neuronales y servo posicionamiento lineal industrial*. Arequipa: Universidad Católica de Santa Maria.
- [20] Van Wolputte, S., Abbeloos, W., Helsen, S., Bey-Temsamani, A., & Goedemé, T. (2015). *Embedded Line Scan Image Sensors: The low cost alternative for high speed imaging. International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications*.
- [21] West, P. (04 de Mayo de 2007). *A Roadmap for Building a Machine Vision System*. Obtenido de Imagenation Corp.: <http://www.imagenation.com/pdf/roadmap.pdf>
- Szeliski, R. (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer.
- Universidad Nacional de Quilmes. (Agosto de 2005). *Iluminacion para las aplicaciones de Visión Artificial*. Recuperado el 02 de Julio de 2017, de Ingeniería en Automatización y Control Industrial:
<http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Tipos%20de%20Iluminaci%C3%B3n.pdf>
- Microcontrolador*. (24 de Mayo de 2017). Recuperado el 02 de Julio de 2017, de Wikipedia:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- Servomotor*. (19 de Junio de 2017). Recuperado el 01 de Julio de 2017, de Wikipedia:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- Teledyne Dalsa. (Mayo de 2012). *Time Delay Integration Speeds Up Imaging*. Obtenido de http://info.teledynedalsa.com/acton/attachment/14932/f-041d/1/-/-/-/TDI_Speeds_Up_Imaging-Photonics_Spectra_May2012.pdf
- Universal Serial Bus*. (22 de Junio de 2017). Recuperado el 02 de Julio de 2017, de Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus



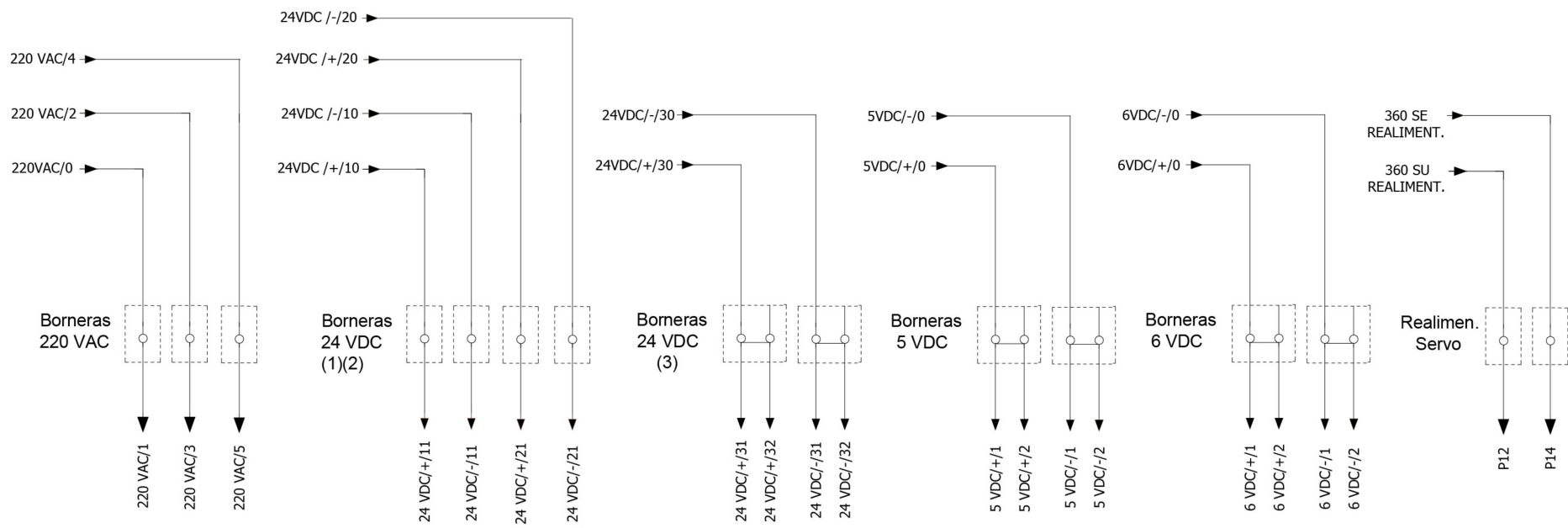
ANEXO PLANOS ELÉCTRICOS



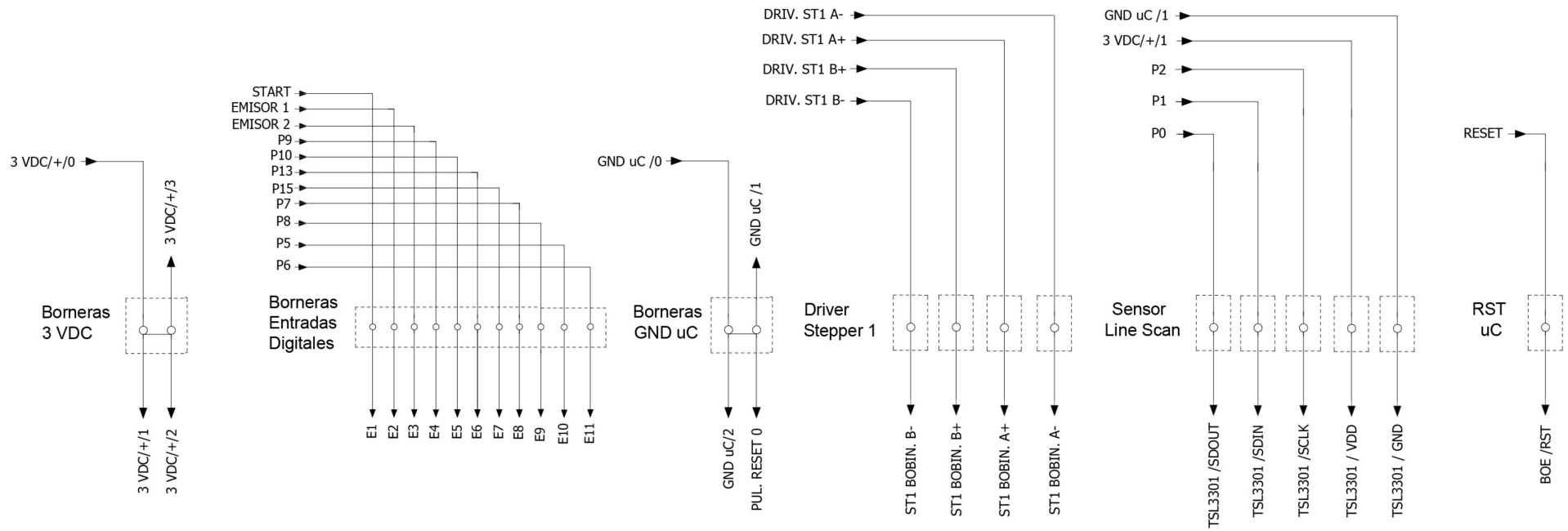
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEEO LINEAL	A3
ESCALA: S/E	DISTRIBUCION GENERAL			Nº DIBUJO 1 / 13



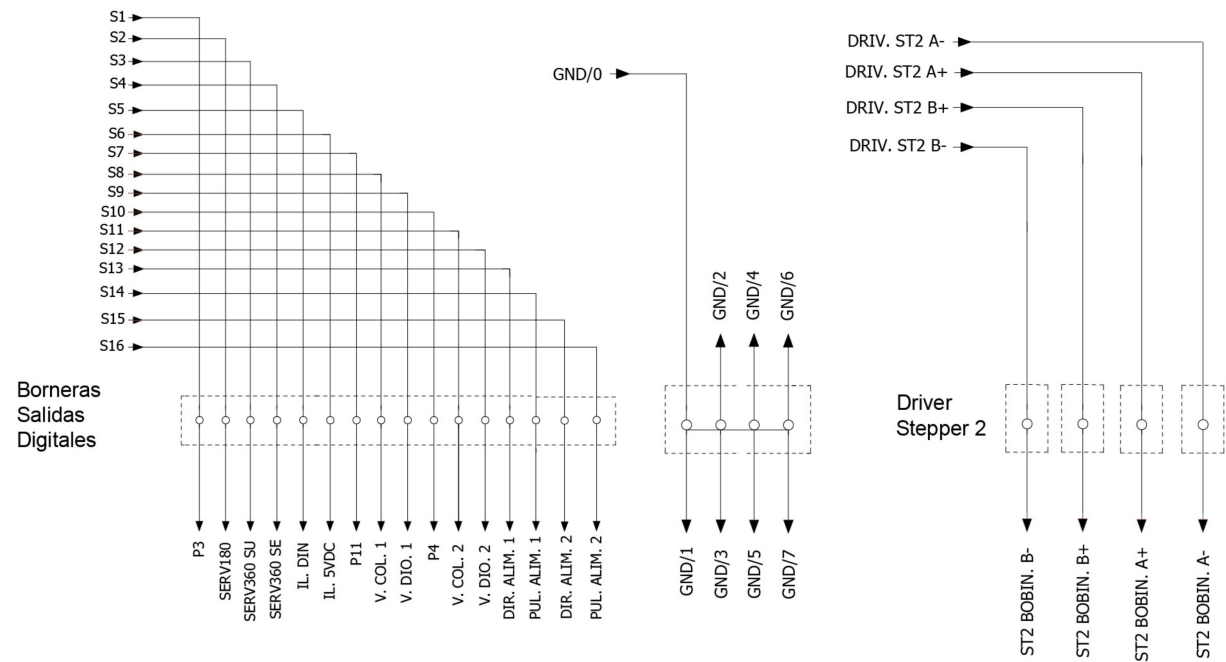
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANE0 LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXIÓN FUENTE DE ALIMENTACIÓN			Nº DIBUJO 2 / 13



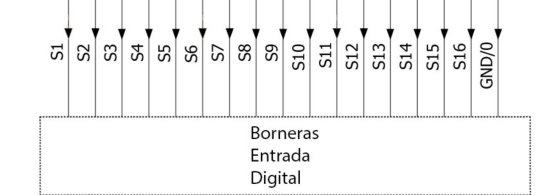
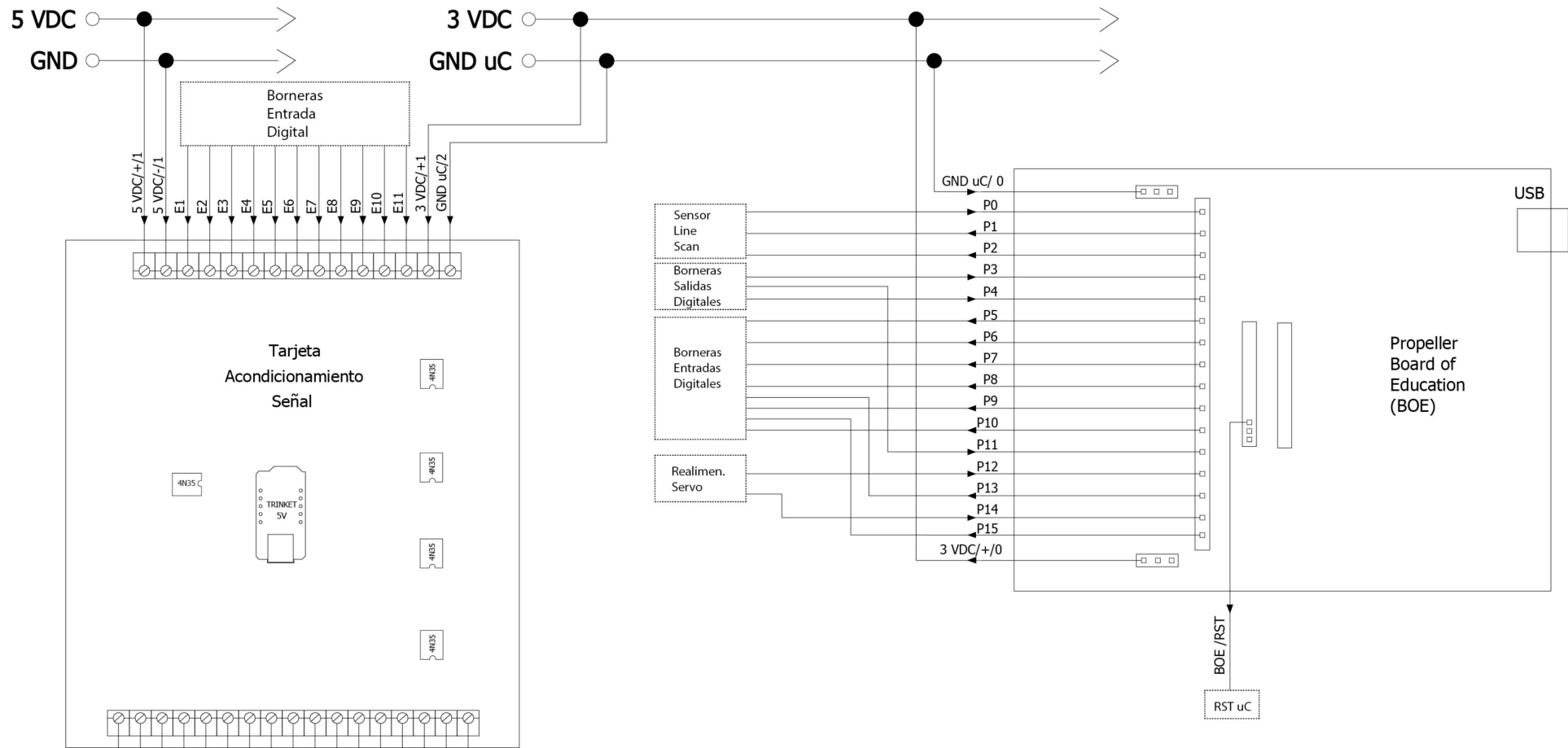
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXION BORNERAS ENERGIA Y REALIM. SERVO 360			Nº DIBUJO 3 / 13



PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXION BORNERAS ENTRADA ACONDI. - DRIVER AL1 - TSL 3301			Nº DIBUJO 4 / 13



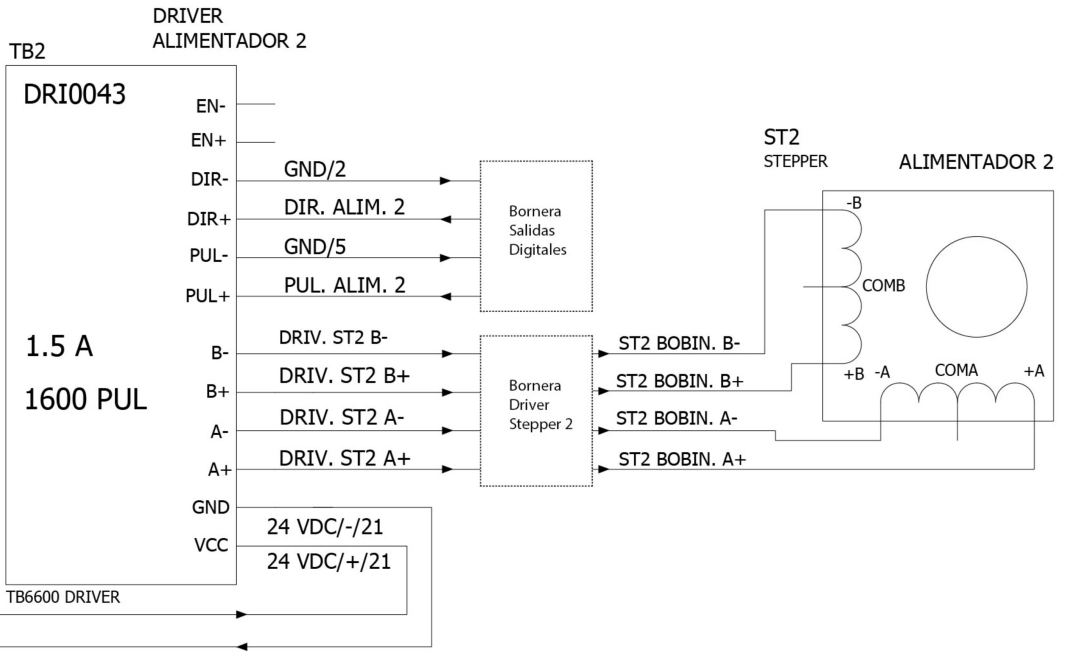
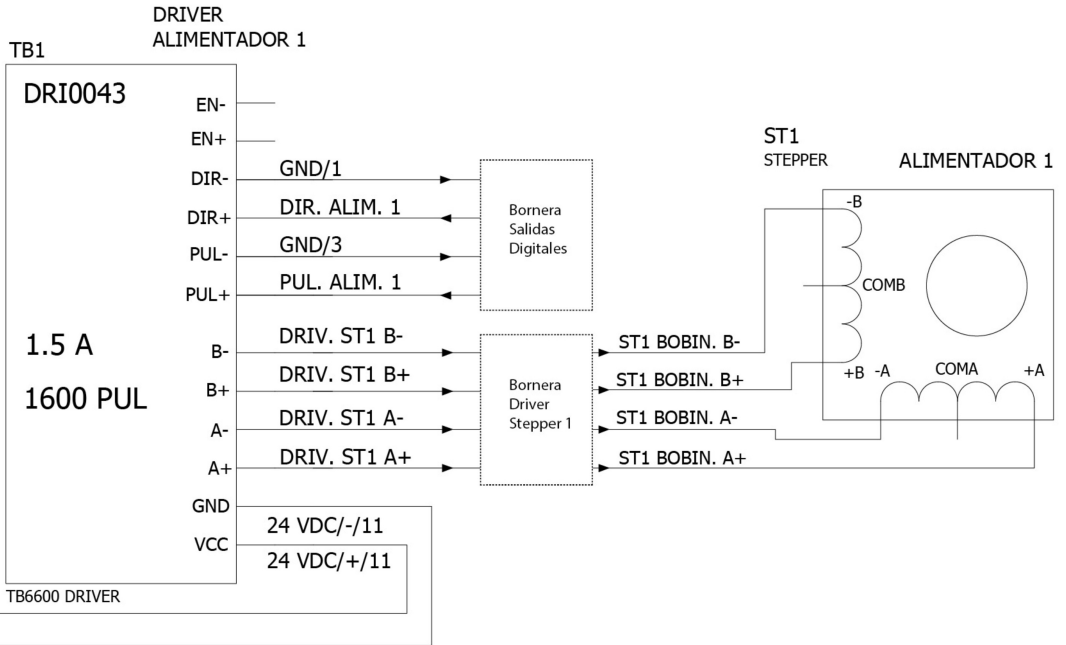
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANE0 LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXIÓN BORNERAS SALIDA ACONDIC. - DRIVER AL2			Nº DIBUJO 5 / 13



PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		
		FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
ELABORADO POR:	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANE0 LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXION TARJETA ACONDIC. SEÑAL Y BOARD OF EDUCATION			Nº DIBUJO
				6 / 13

24 VDC/+/

24 VDC/-/



PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ELABORADO POR:

FECHA: 15/01/19

NOMBRE: CHRISTIAN VILCA H.

ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA
SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEADO LINEAL

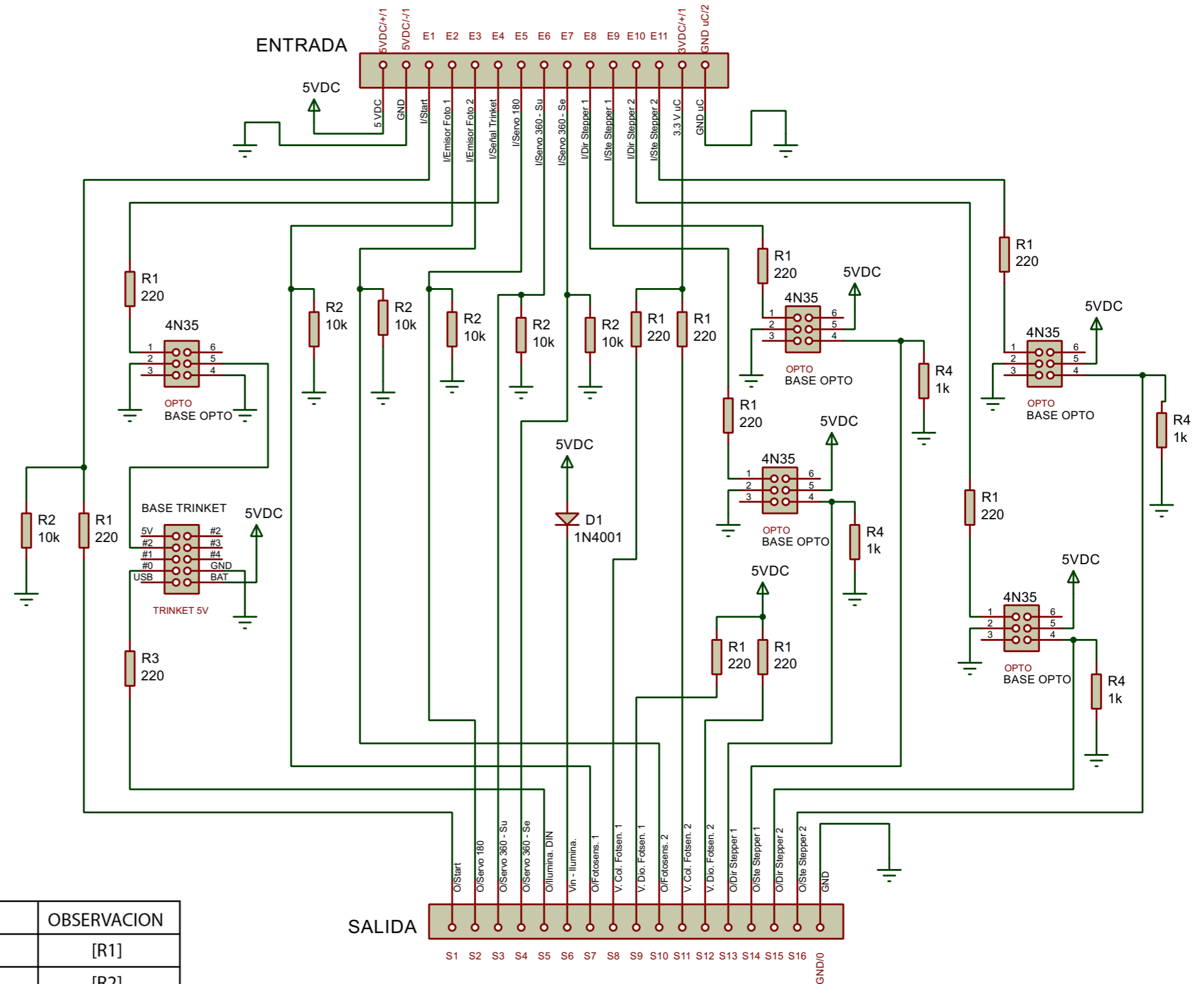
LAMINA A4

ESCALA: S/E

CONEXIÓN DRIVER Y STEPPER

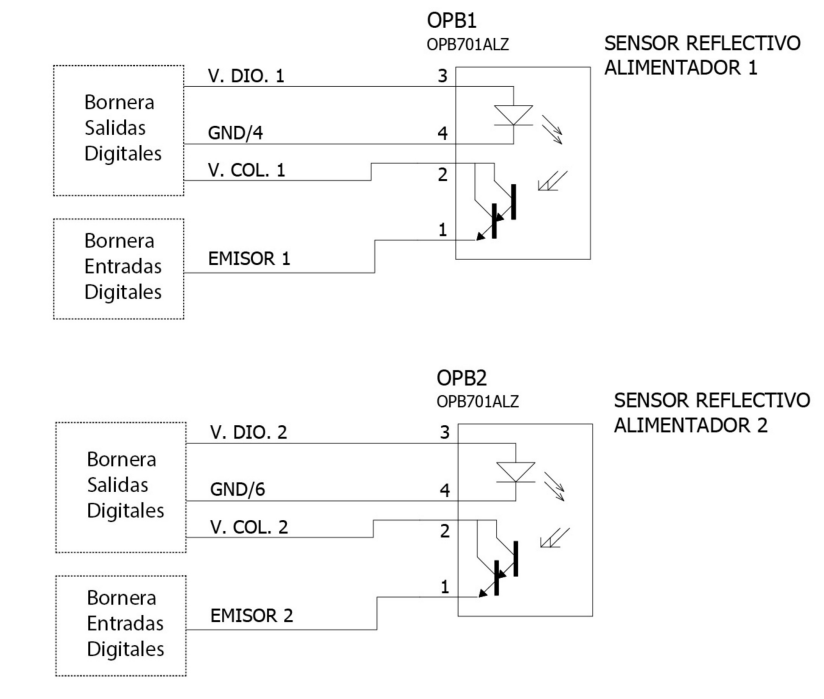
Nº DIBUJO

7 / 13

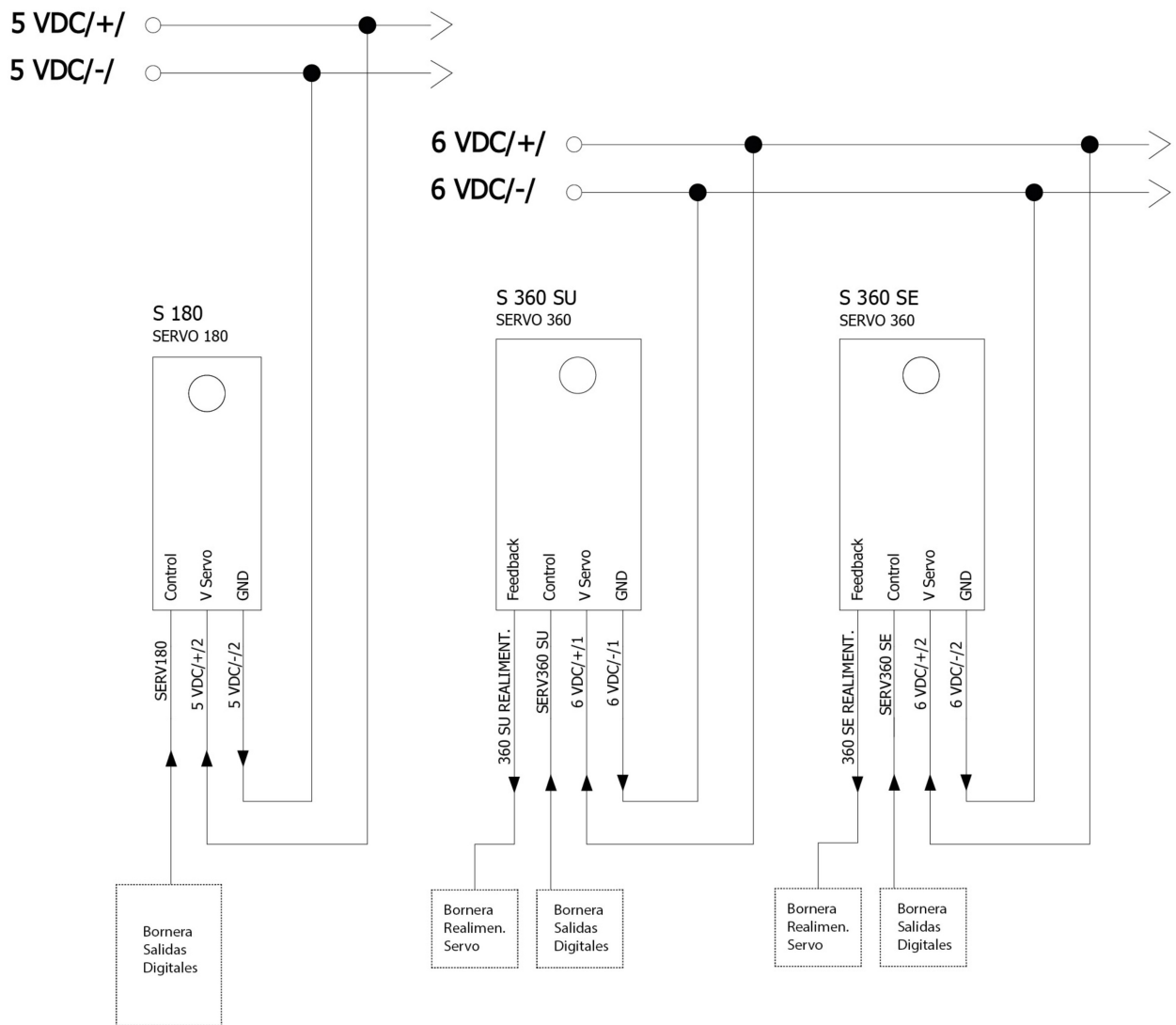


IT	QT	DESCRIPCION	OBSERVACION
1	10	Resistencia de 220 Ω , 0.25 W tolerancia 1%	[R1]
2	6	Resistencia de 10k Ω , 0.25 W tolerancia 1%	[R2]
3	1	Resistencia de 220 Ω , 0.5 W tolerancia 1%	[R3]
4	4	Resistencia de 1k Ω , 0.25 W tolerancia 1%	[R4]
5	5	Socket doble de 6 pines	[BASE OPTO]
6	5	Optoacoplador 1.5 kV, 3A	[4N35]
7	1	Diodo 400 V, 1 A	[1N4001]
8	1	Socket doble de 10 pines	[BASE TRINKET]
9	1	Controlador Trinket 5V	ADAFRUIT [TRINKET 5V]

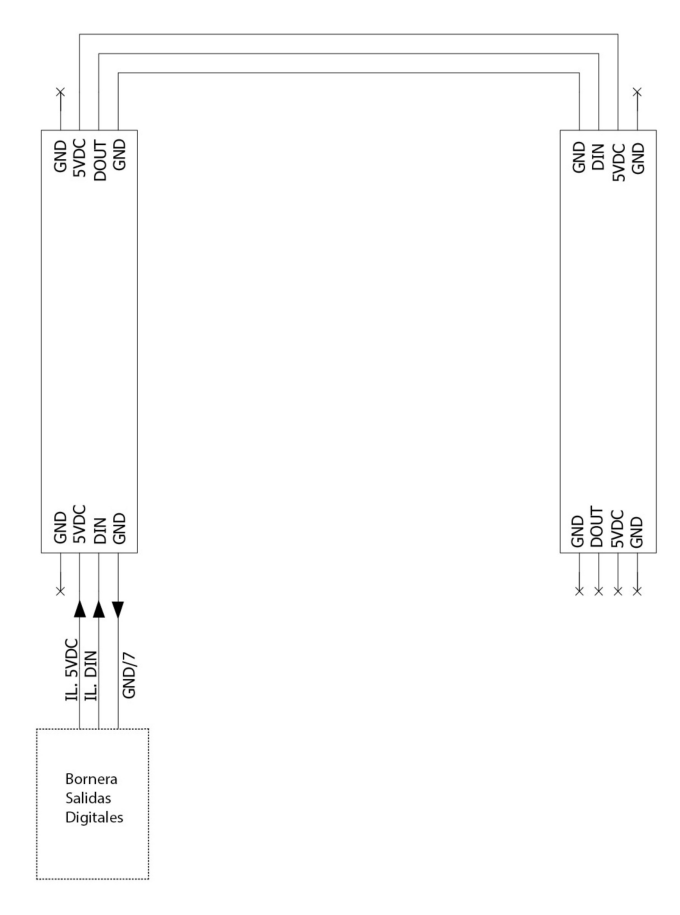
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
ELABORADO POR:	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEAO LINEAL	A3
ESCALA: S/E	TARJETA ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL			Nº DIBUJO 8 / 13



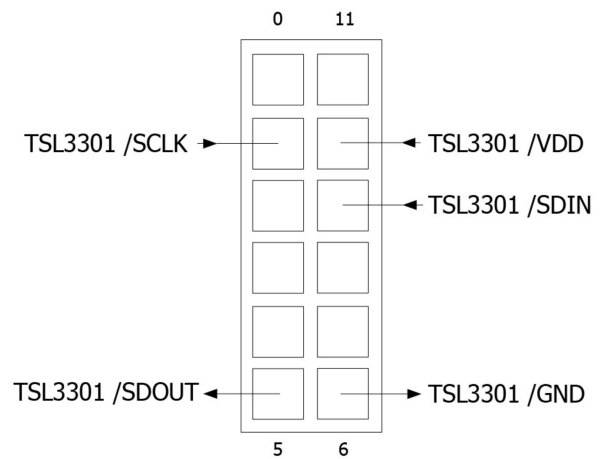
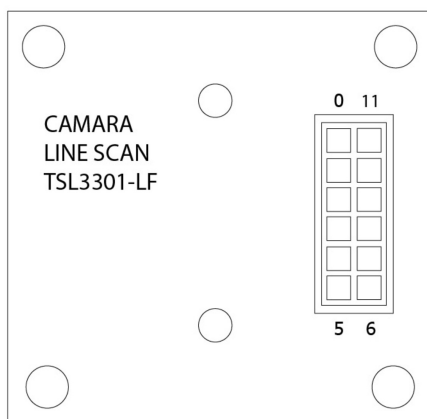
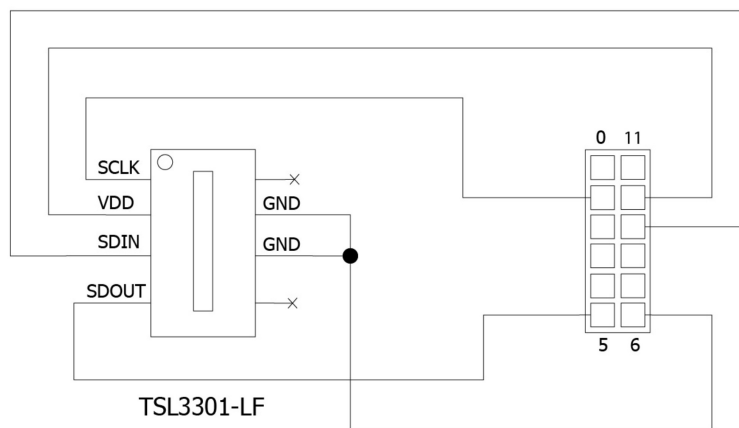
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXIÓN SENSOR REFLECTIVO			Nº DIBUJO 9 / 13



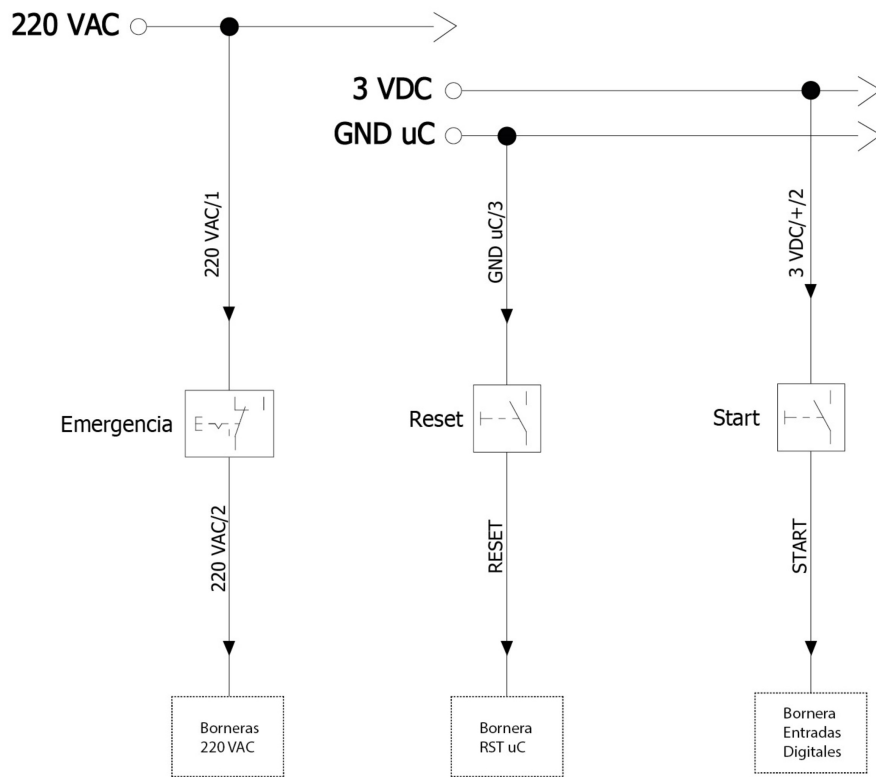
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
ELABORADO POR:	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXIÓN SERVOMOTORES			Nº DIBUJO 10 / 13



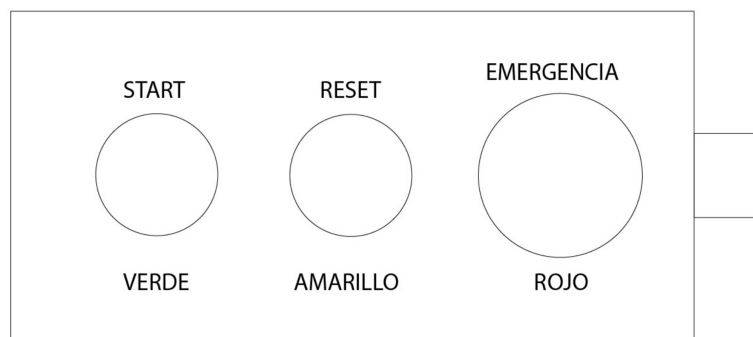
PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXIÓN DE NEOPIXEL STICK			Nº DIBUJO 11 / 13



PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	CONEXIÓN DE SENSOR TSL3301 - LF			N° DIBUJO 12 / 13



DISTRIBUCION DE PULSADORES

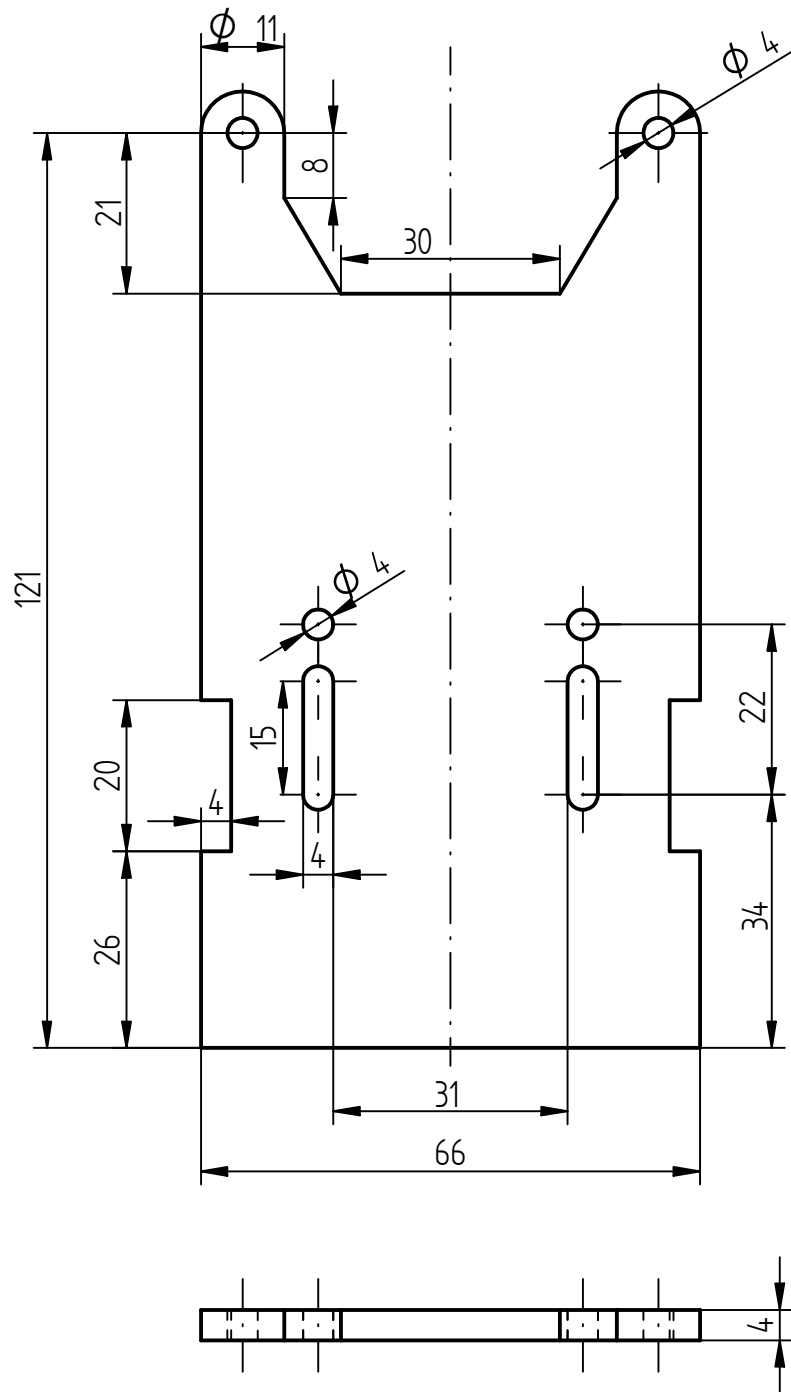


PLANO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA		UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MEC., MEC. ELEC. Y MECATRÓNICA	LAMINA
ELABORADO POR:	15/01/19	CHRISTIAN VILCA H.	SISTEMA DE VISIÓN CON CÁMARA ESCANEO LINEAL	A4
ESCALA: S/E	DISTRIBUCION DE PULSADORES			Nº DIBUJO 13 / 13



ANEXO

PLANOS MECÁNICOS

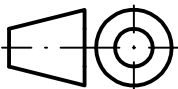


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

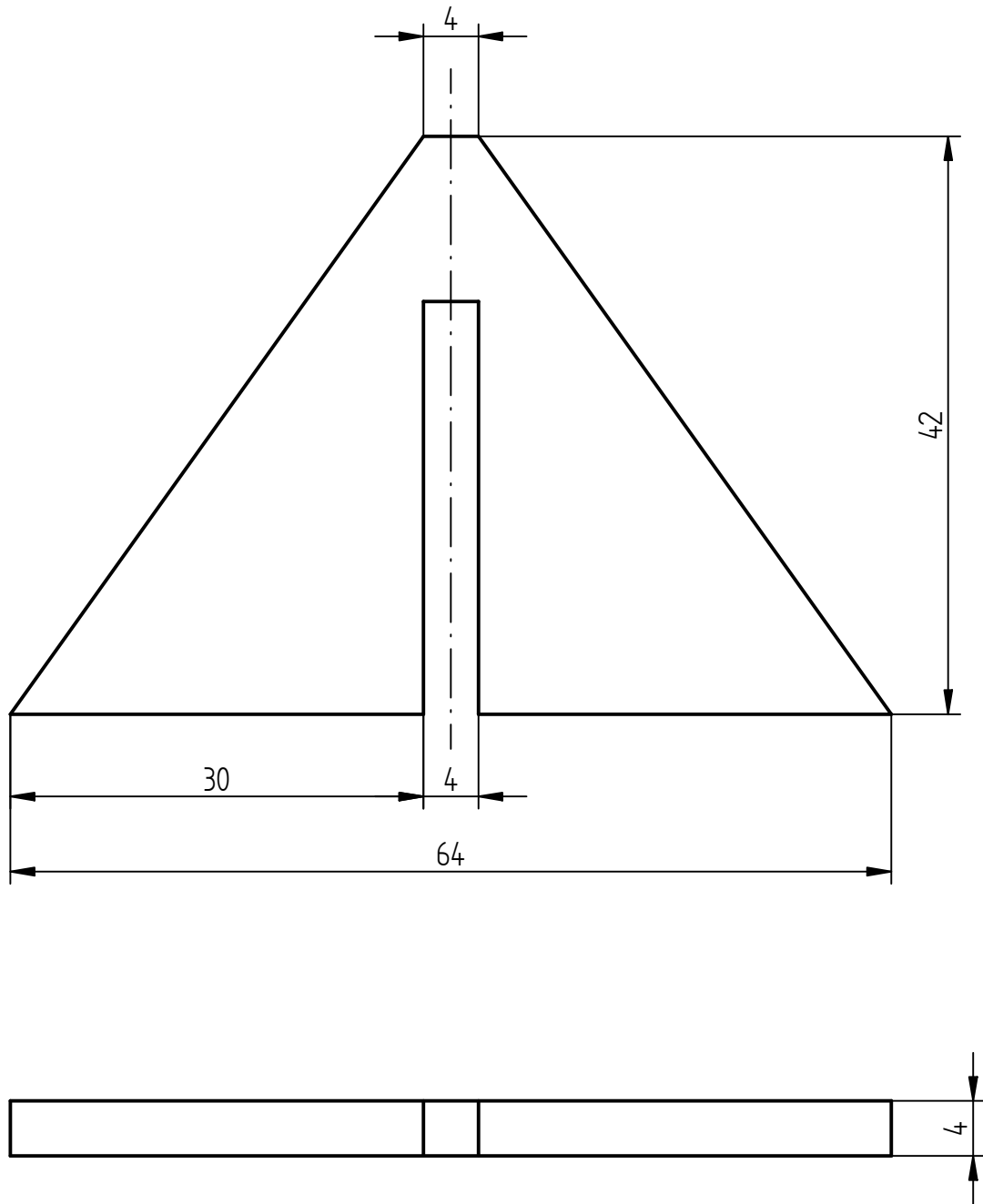
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Soporte _soporte_camara de base		Nº DIBUJO: 1 - 1

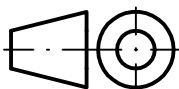


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

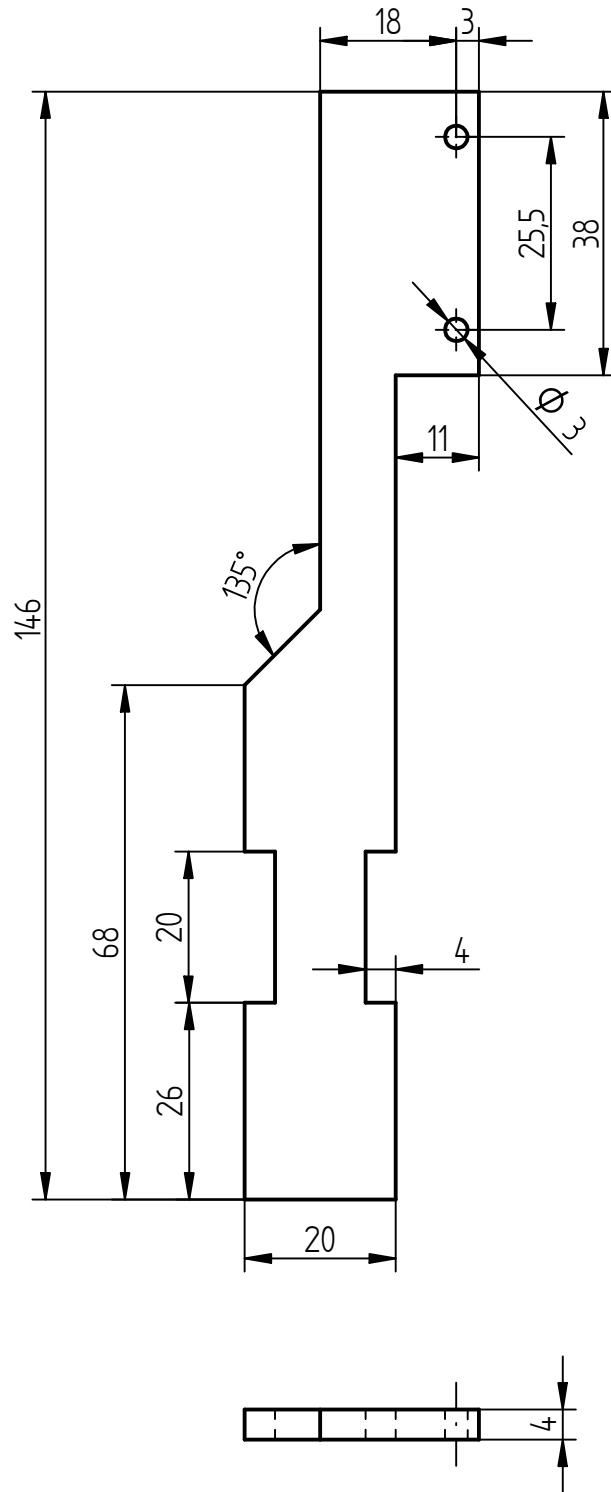
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 2 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Triangulo_soporte_camara_de base		Nº DIBUJO: 1 - 2

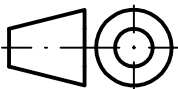


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL

A4

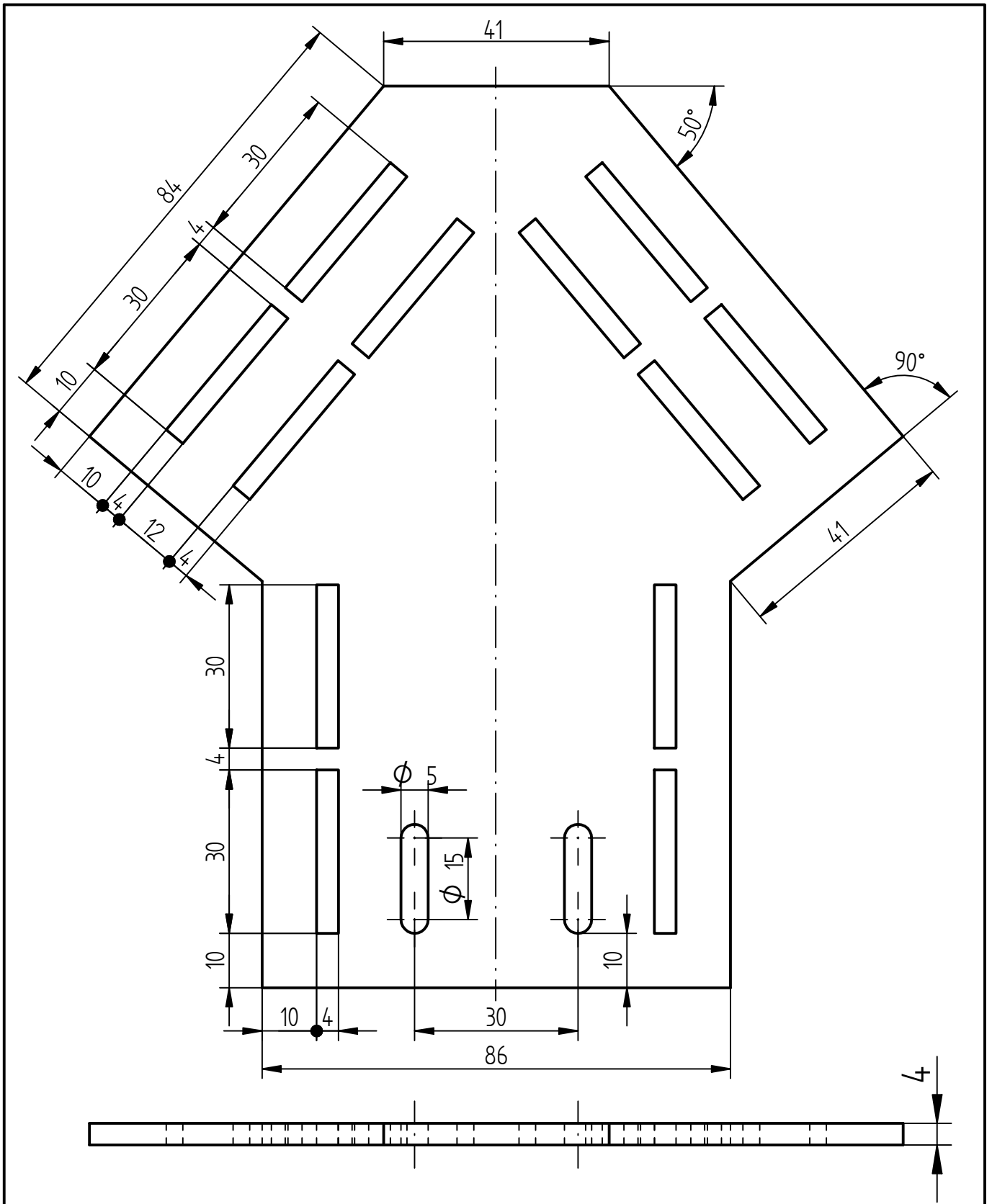
APROBADO:

ESCALA
1 : 1

MATERIAL:
ACRILICO

Soporte_stick_led_x2

N° DIBUJO:
1 - 3

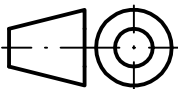


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

FECHA: 09/11/18

NOMBRE: Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL

A4

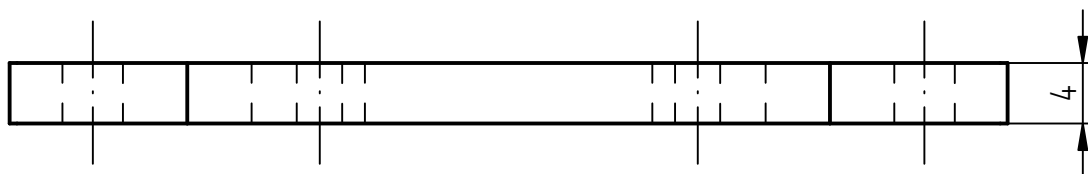
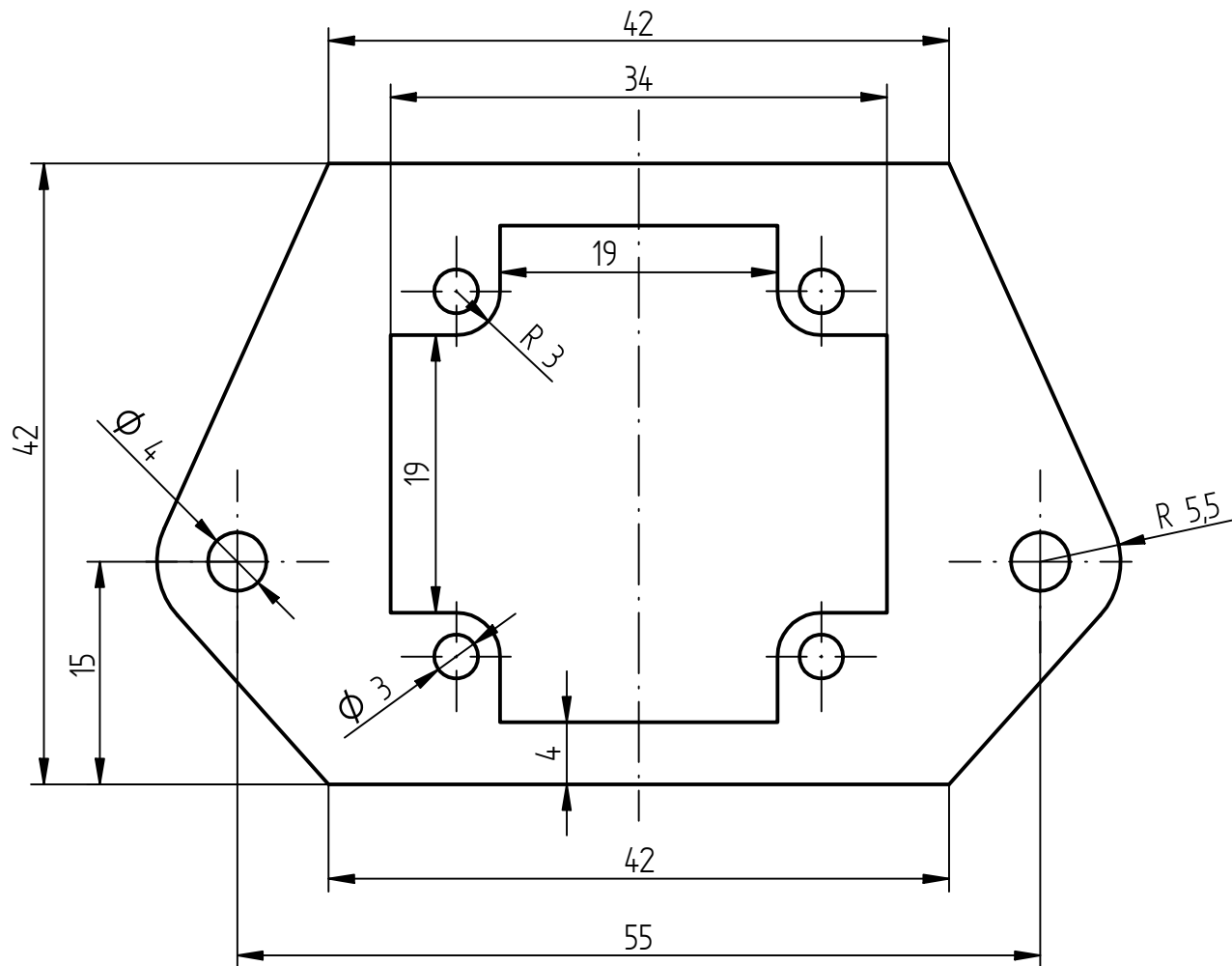
APROBADO:

ESCALA
1:1

MATERIAL:
ACRILICO

Base_Camara e iluminacion

Nº DIBUJO:
1 - 4

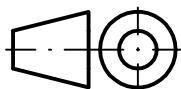


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

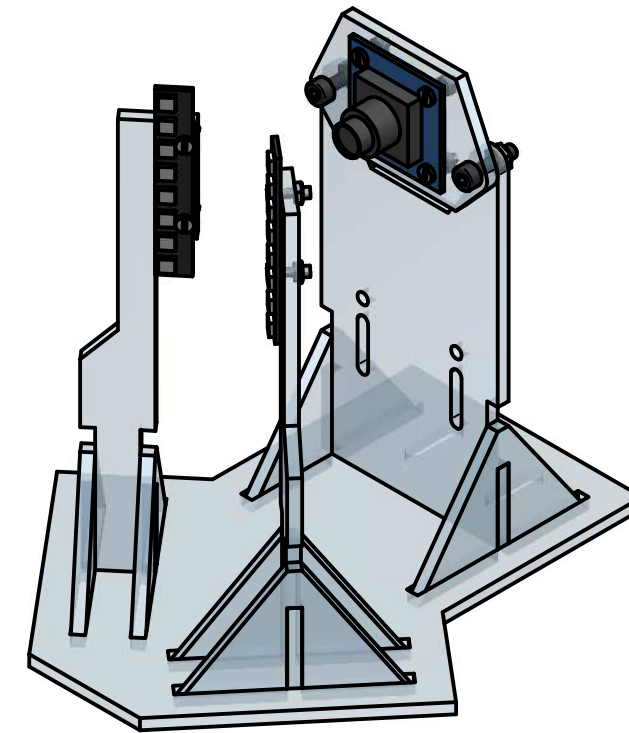
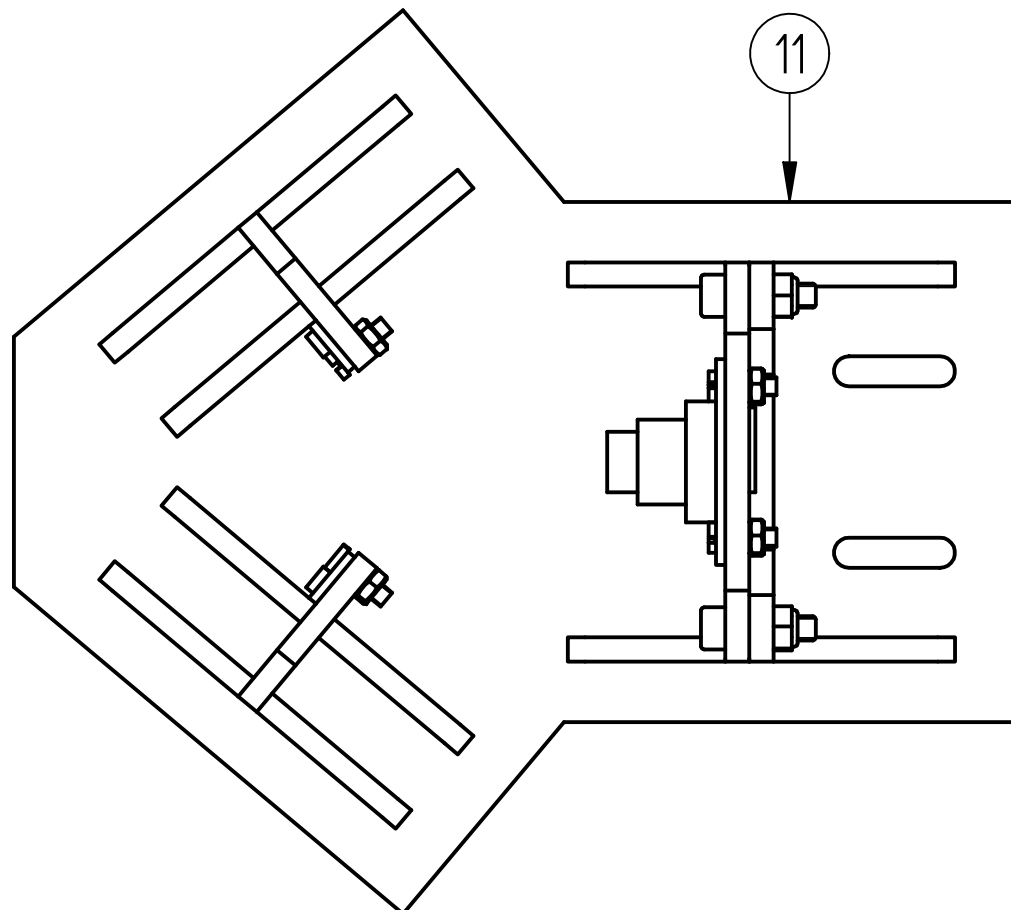
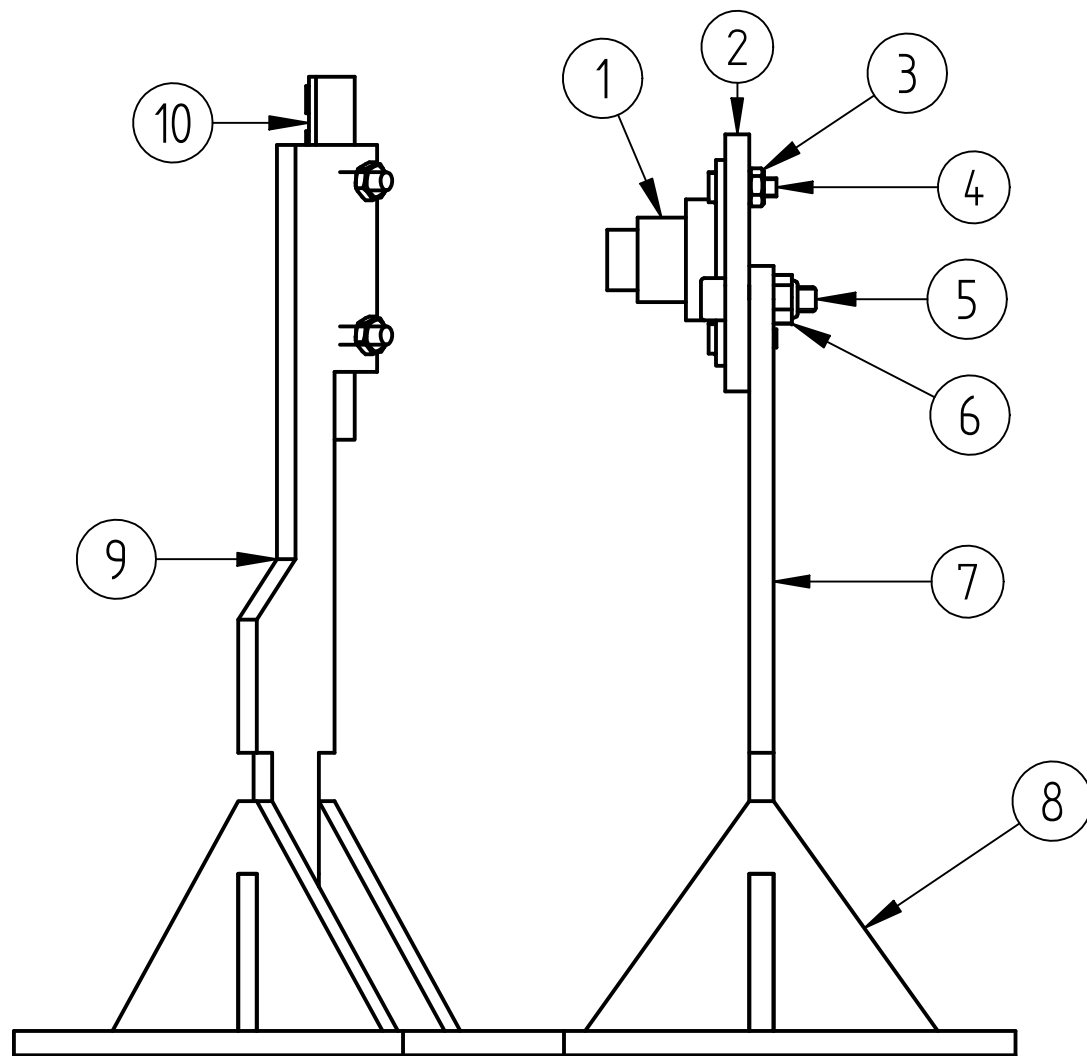
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

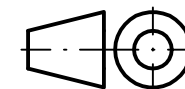
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 2 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Soporte_camara_base		Nº DIBUJO: 1 - 5



Escala 1 : 2

IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	1	Camara Line Scan TSL3301			Line Scan C.
2	1	Soporte_camara_base		Acrilico	
3	8	Tuerca Hexagonal M3	DIN 934	8	
4	8	Tornillo M3X10	DIN 7985	4.8	
5	2	Perno Allen M4 x 15	DIN 912	8.8	
6	2	Tuerca Autoblocante M4	DIN 982	8	
7	1	Soporte _soporte_camara de base		Acrilico	
8	6	Triangulo_soporte_camara_de base		Acrilico	
9	2	Soporte_stick_led_x2		Acrilico	
10	2	STICK Led 8 RGB			Iluminacion
11	1	Base_Camara e iluminacion		Acrilico	

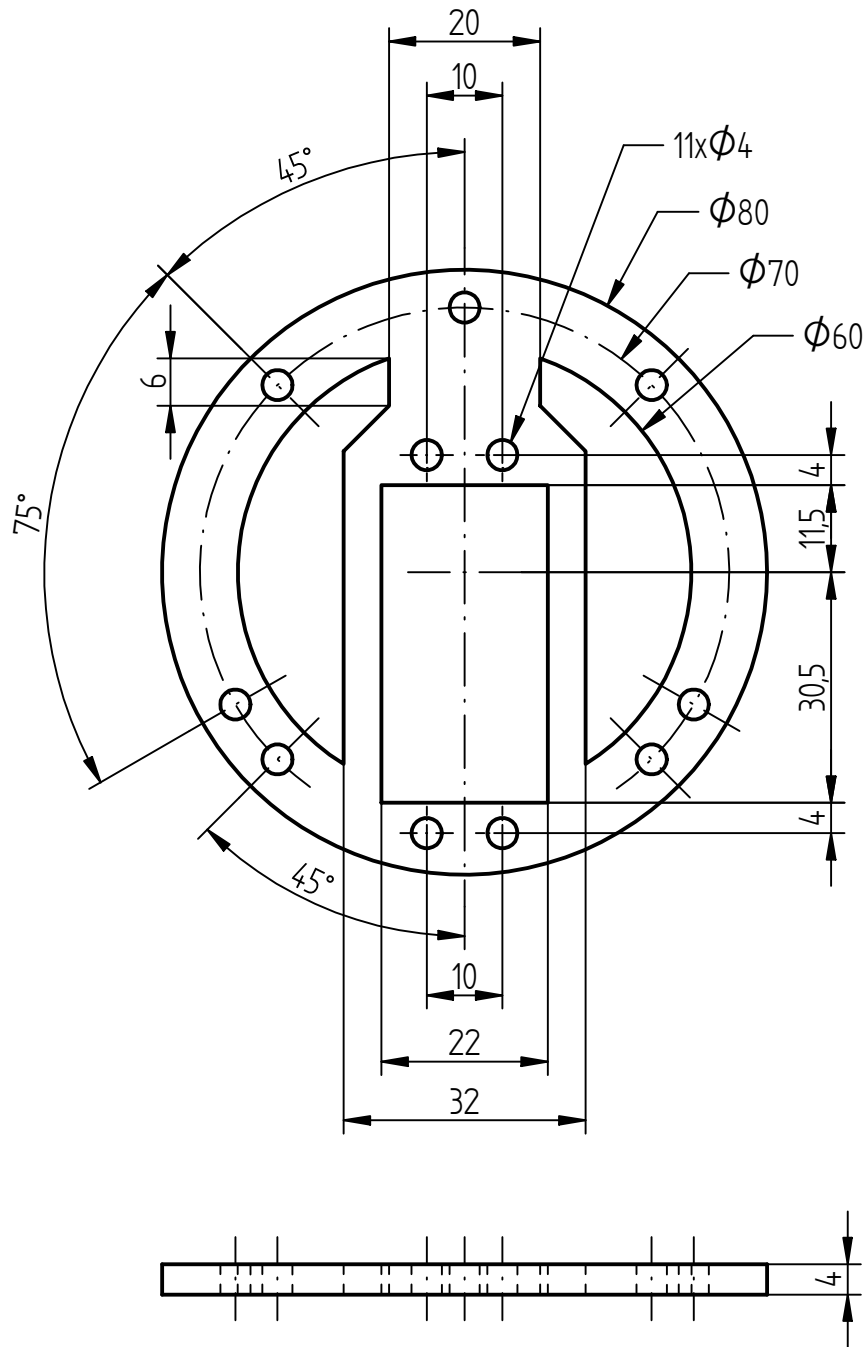
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCaneo LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA:	MATERIAL:	MONTAJE DE CAMARA E ILUMINACION		Nº DIBUJO:
1 : 1.25				1 - 6

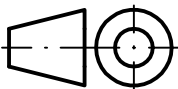


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

FECHA

09/11/18

NOMBRE:

Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL

A4

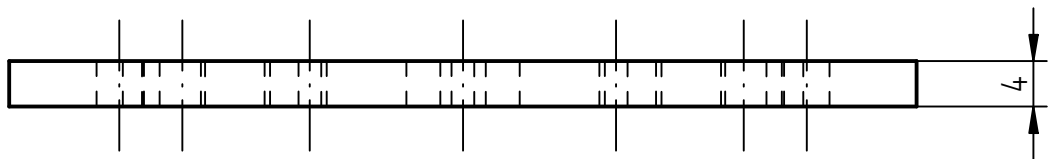
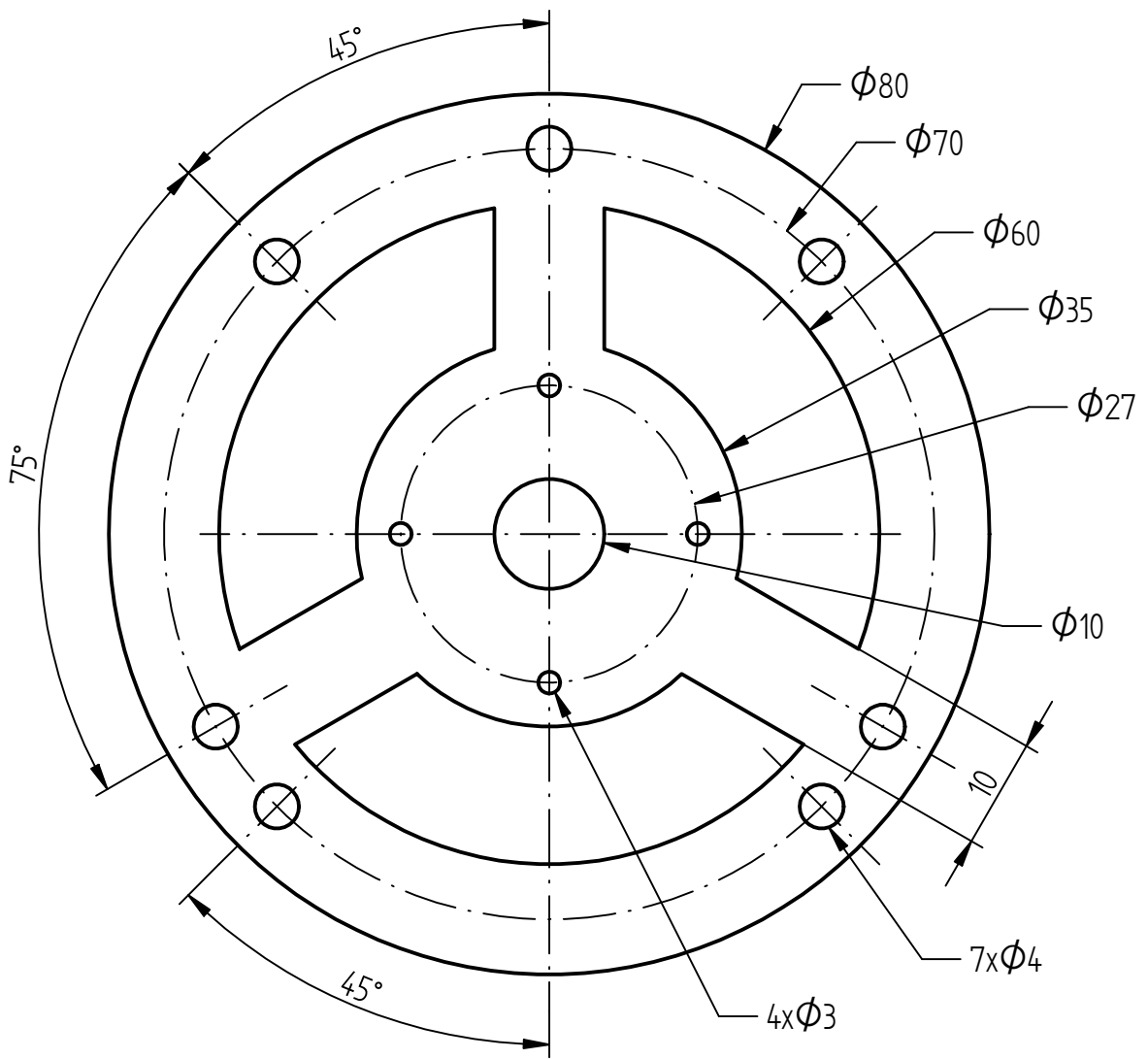
APROBADO:

ESCALA
1:1

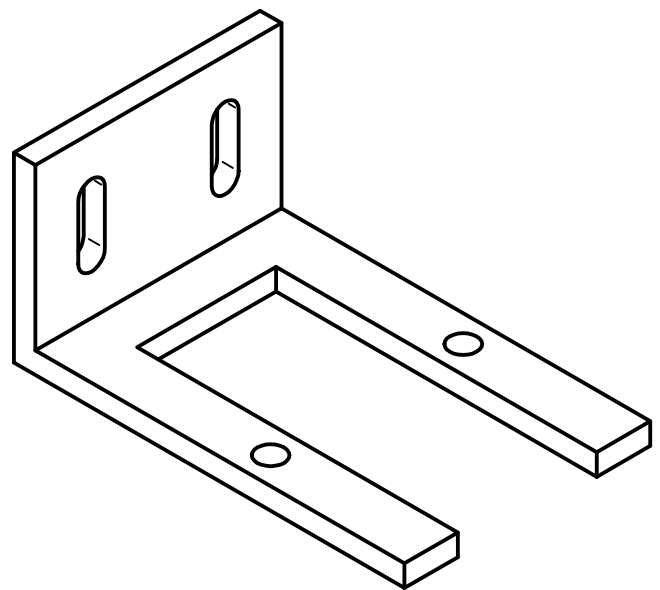
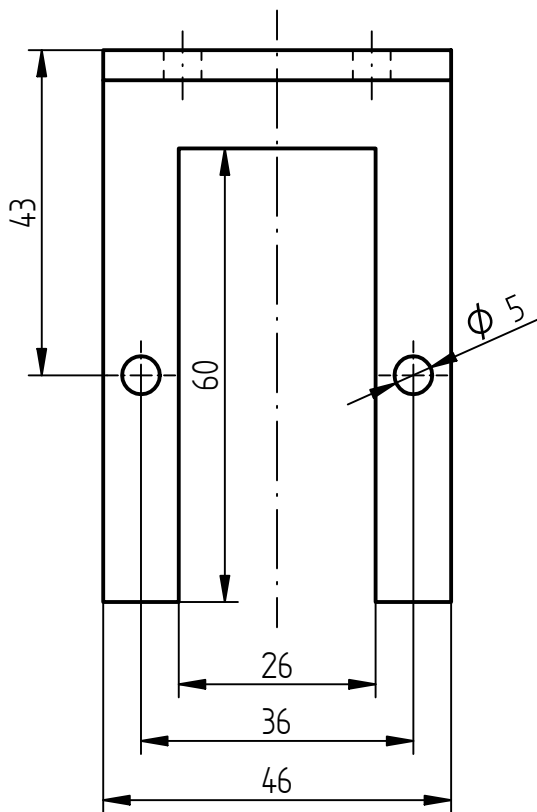
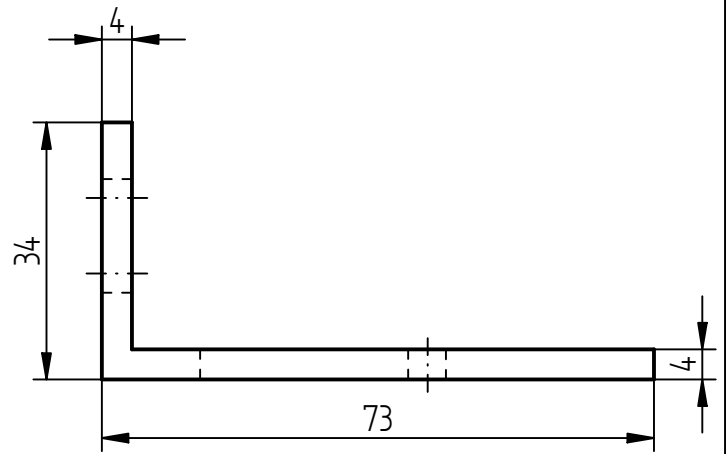
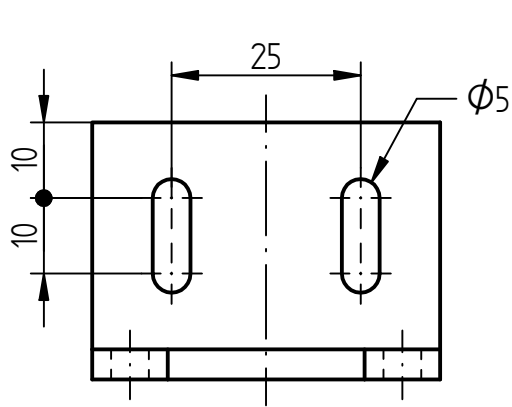
MATERIAL:
ACRILICO

Soporte _serv_ajuste_modelo_3

Nº DIBUJO:
2 - 1



ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL: DIN ISO 2768 - MEDIO		
METODO DE PROYECCION:		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
				
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1.5 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Soporte_serv_rotacion_modelo_3		Nº DIBUJO: 2 - 2



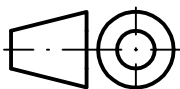
Escala 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

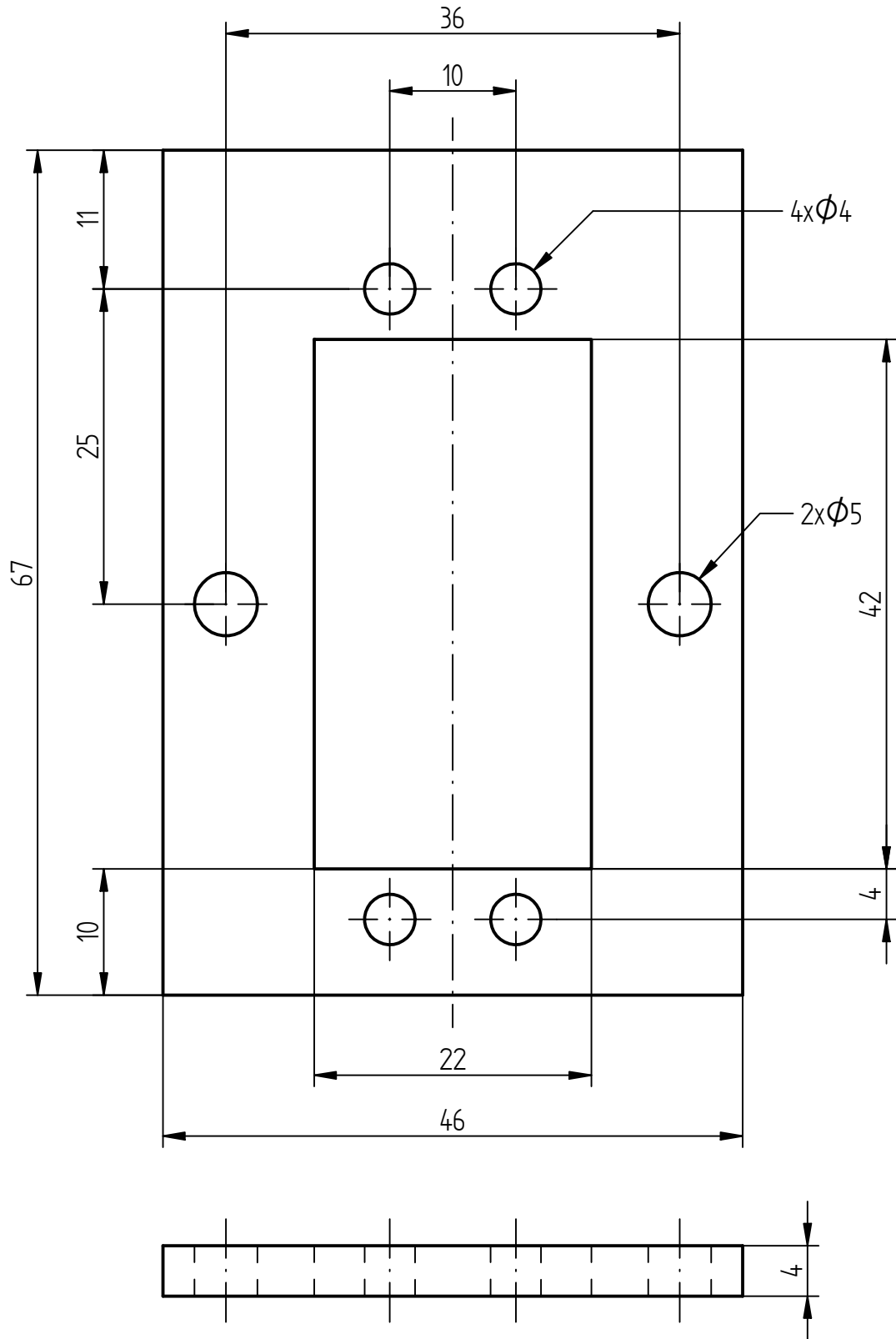
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ASTM A 36	Soporte Metal_base_ultimo_servo		Nº DIBUJO: 2 - 3

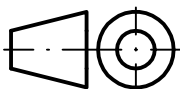


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

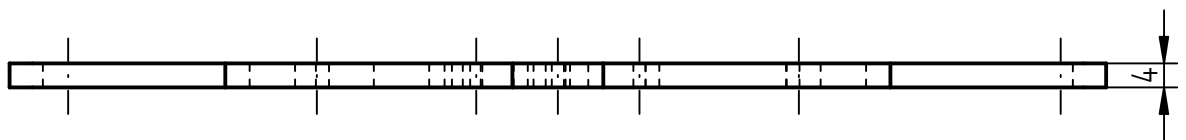
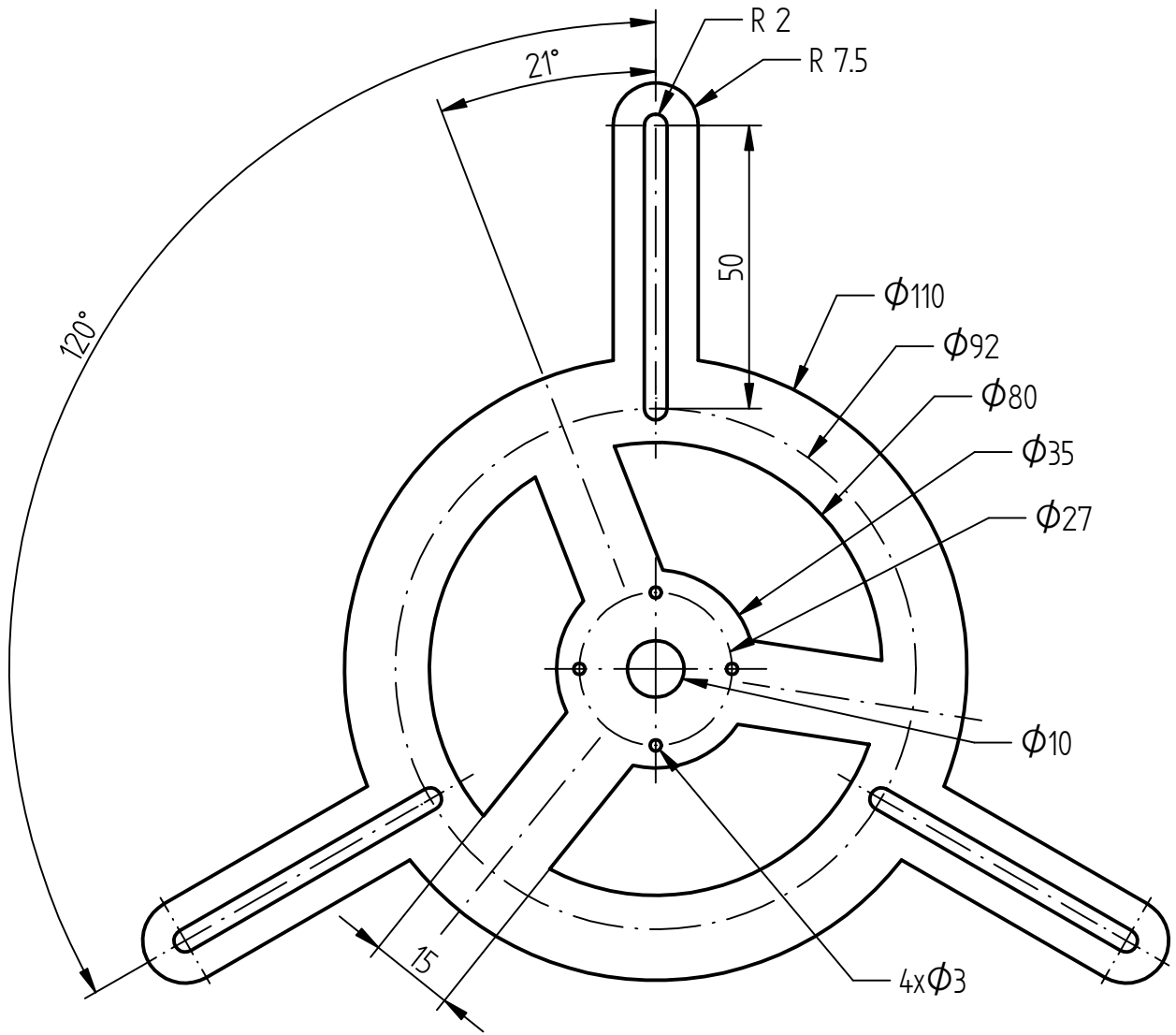
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 2 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Soporte_serv_principal_a_barra		Nº DIBUJO: 2 - 4

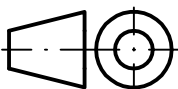


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL

A4

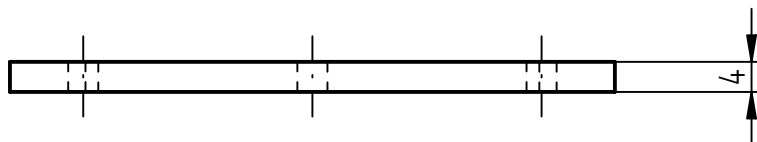
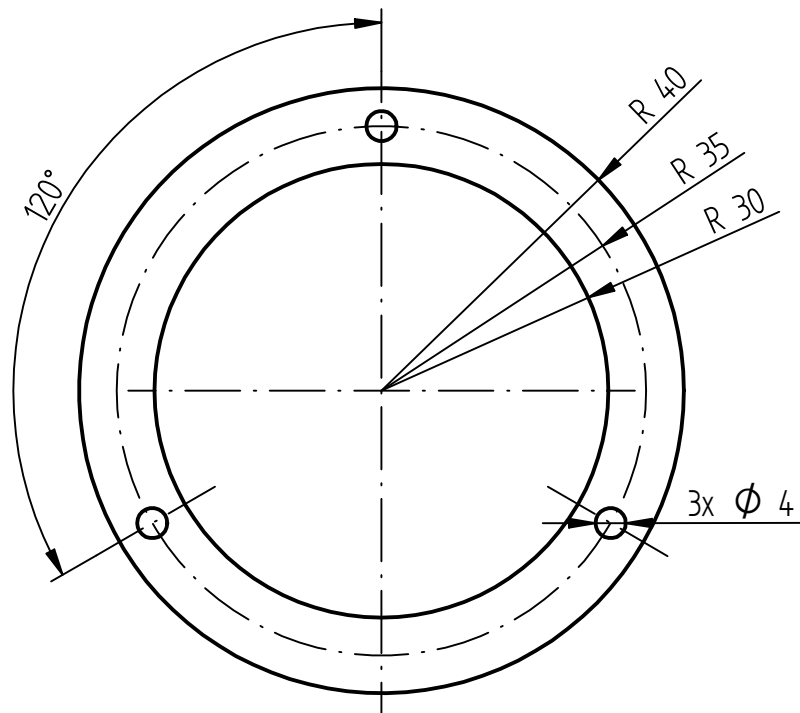
APROBADO:

ESCALA
1 : 1.25

MATERIAL:
ACRILICO

Hoja_modelo_6_variacion

Nº DIBUJO:
2 - 5

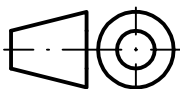


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:

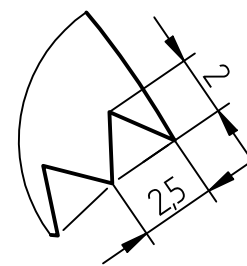


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

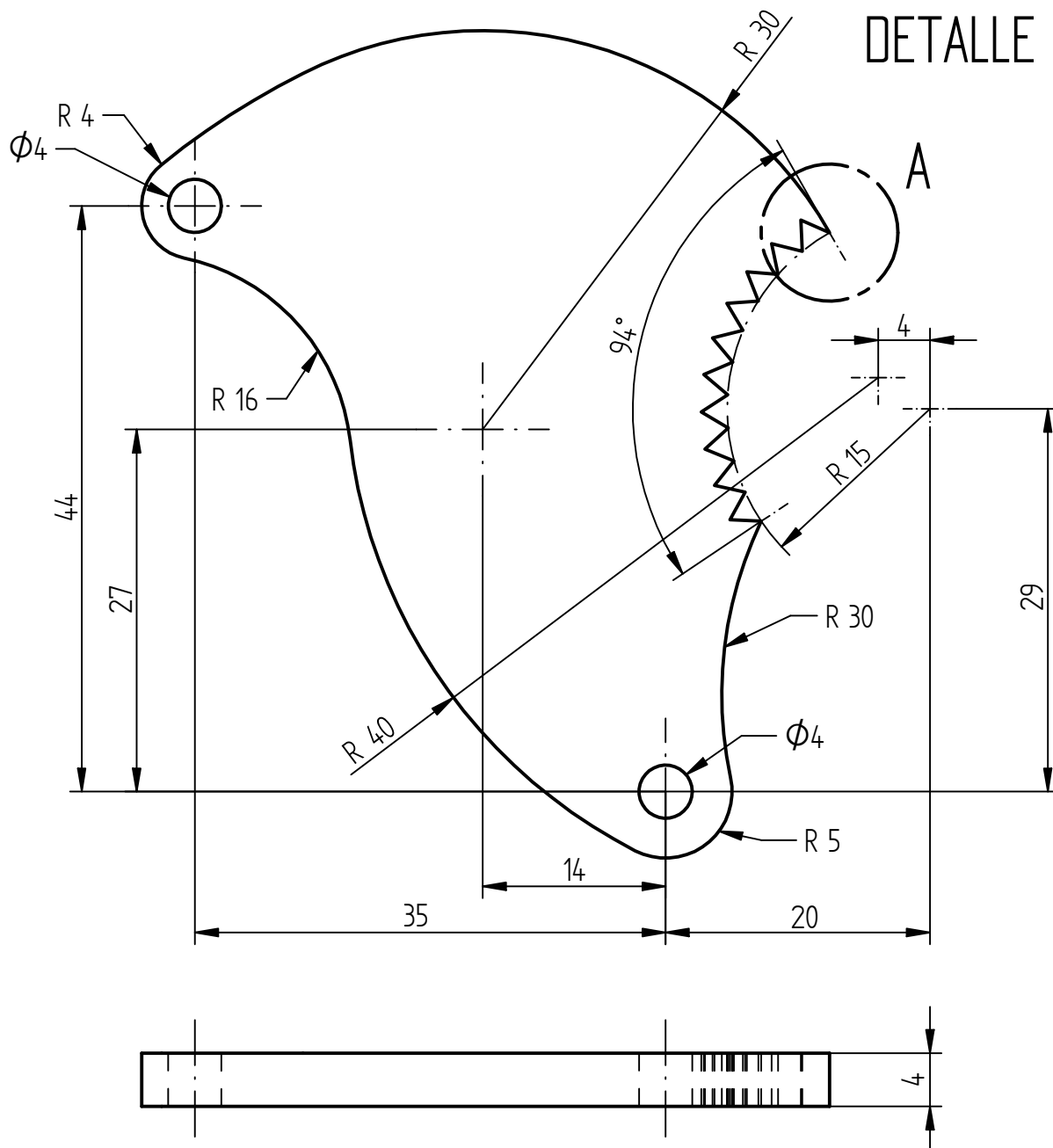
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Anillo_modelo_3		Nº DIBUJO: 2 - 6

Escala 4 : 1



DETALLE A

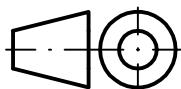


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

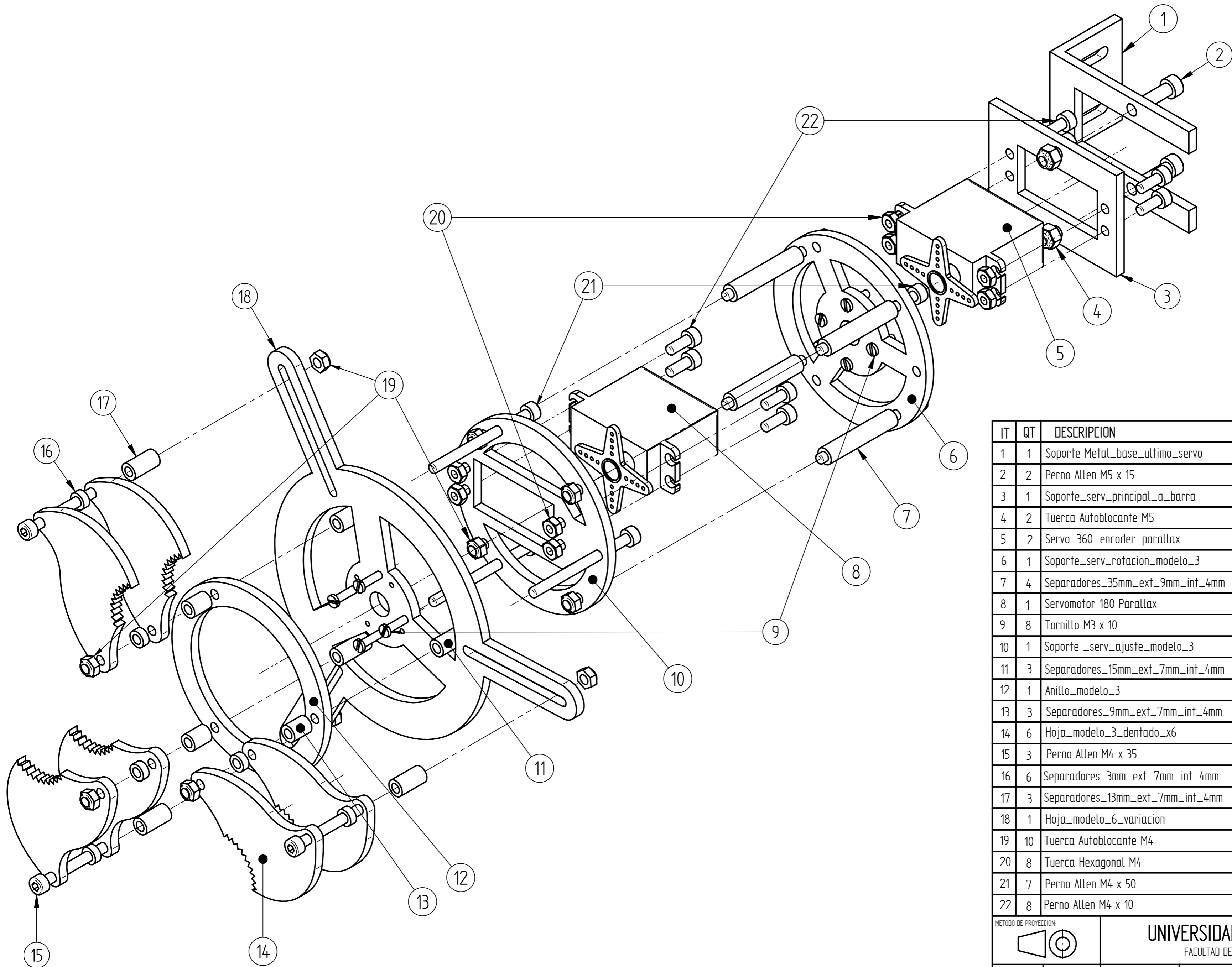
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

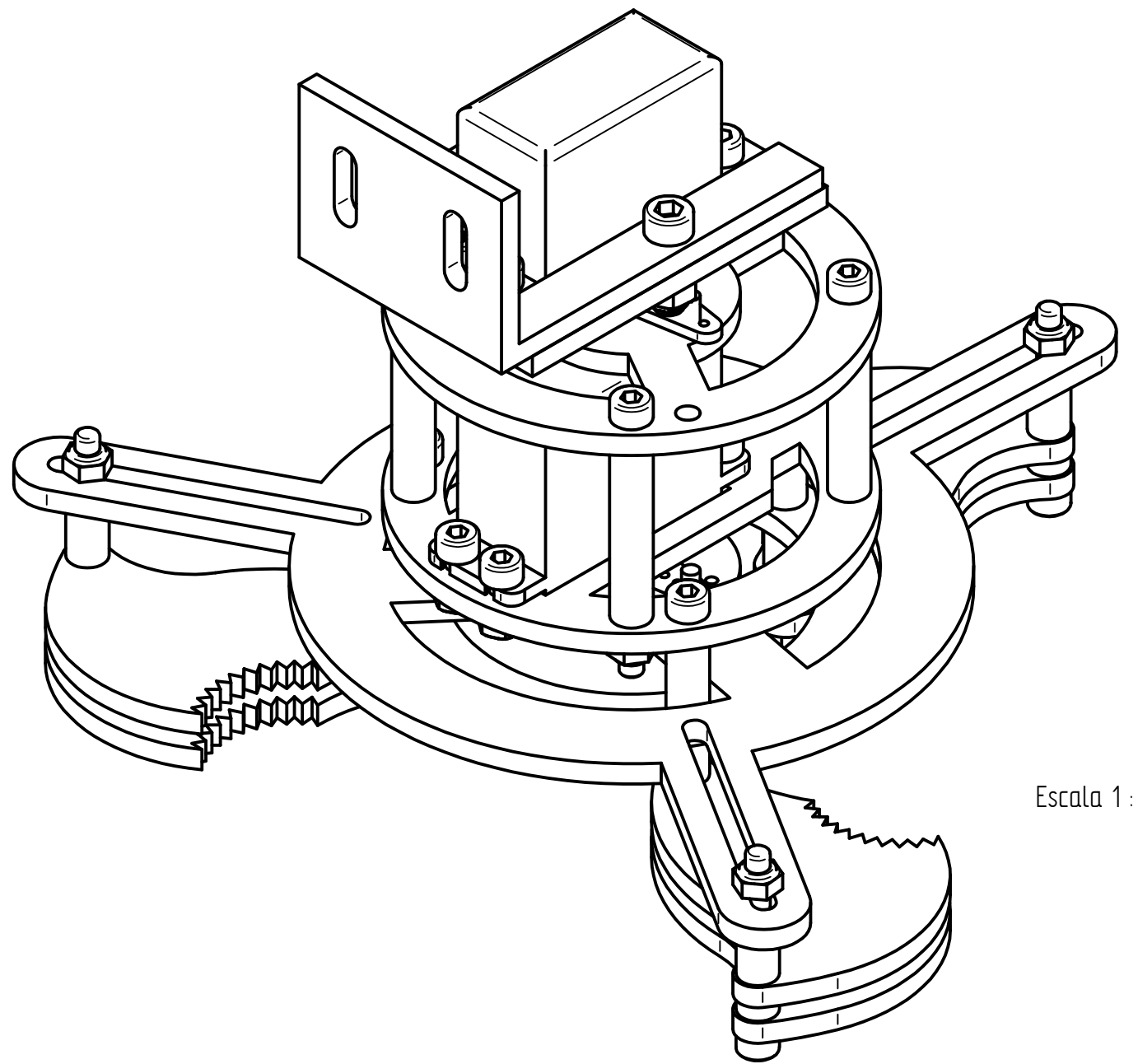
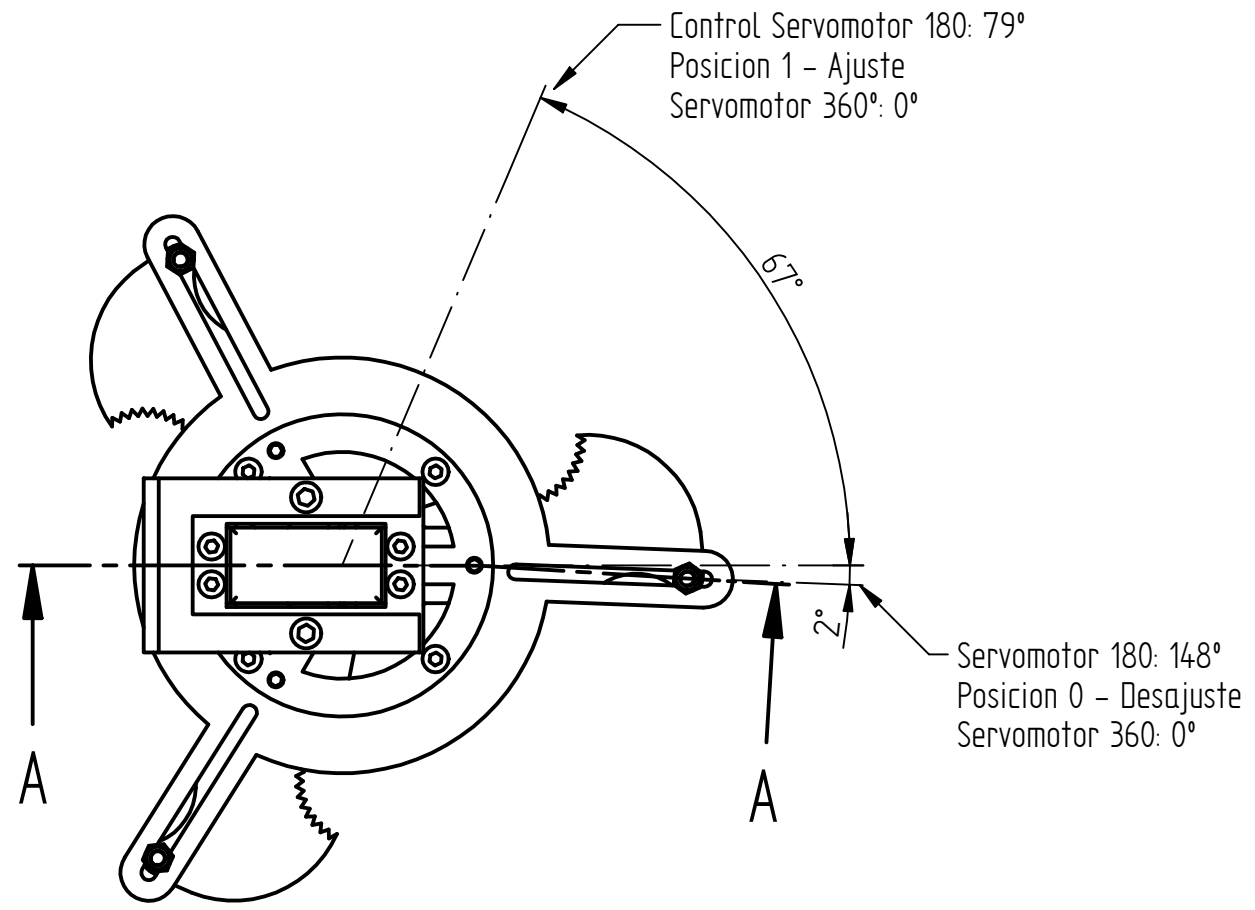
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				Nº DIBUJO:
ESCALA 2 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Hoja_modelo_3_dentado_x6		2 - 7

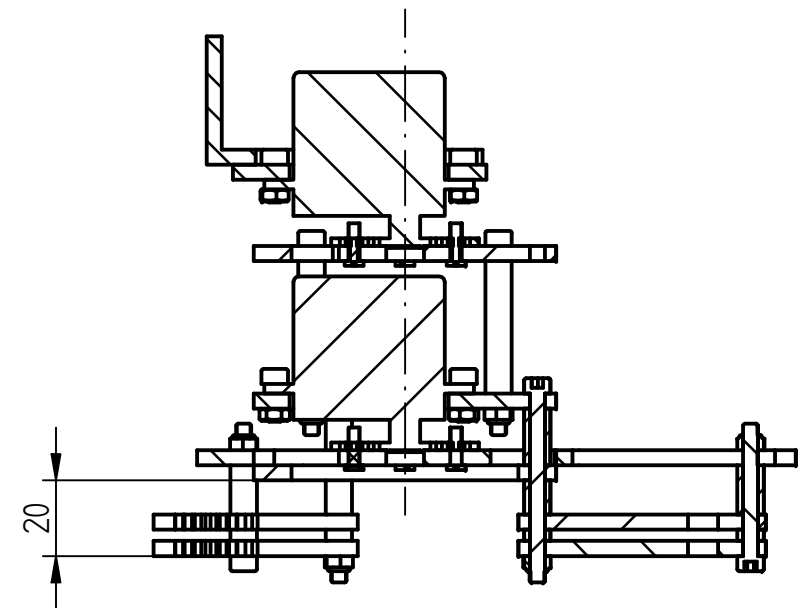


IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	1	Soporte Metal_base_ultimo_servo		ASTM A 36	
2	2	Perno Allen M5 x 15	DIN 912	12.9	
3	1	Soporte_serv_principal_a_barra		Acilico	
4	2	Tuerca Autoblocante M5	DIN 982	8	
5	2	Servo_360_encoder_parallax			SERVOMOTOR
6	1	Soporte_serv_rotacion_modelo_3		Acilico	
7	4	Separadores_35mm_ext_9mm_int_4mm		CK-20	NB
8	1	Servomotor 180 Parallax			SERVOMOTOR
9	8	Tornillo M3 x 10	DIN 7985	4.8	
10	1	Soporte_serv_ajuste_modelo_3		Acilico	
11	3	Separadores_15mm_ext_7mm_int_4mm		CK-20	NB
12	1	Anillo_modelo_3		Acilico	
13	3	Separadores_9mm_ext_7mm_int_4mm		CK-20	NB
14	6	Hoja_modelo_3_dentado_x6		Acilico	
15	3	Perno Allen M4 x 35	DIN 912	8.8	
16	6	Separadores_3mm_ext_7mm_int_4mm		CK-20	NB
17	3	Separadores_13mm_ext_7mm_int_4mm		CK-20	NB
18	1	Hoja_modelo_6_variacion		Acilico	
19	10	Tuerca Autoblocante M4	DIN 982	8	
20	8	Tuerca Hexagonal M4	DIN 934	8	
21	7	Perno Allen M4 x 50	DIN 912	8.8	
22	8	Perno Allen M4 x 10	DIN 912	8.8	

METODO DE PROYECCION:				
		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	A2
APROBADO:				
ESCALA:	MATERIAL:	SISTEMA SUJECION ENVASE EXPLOSION		Nº DIBUJO: 2 - 8
1:1				



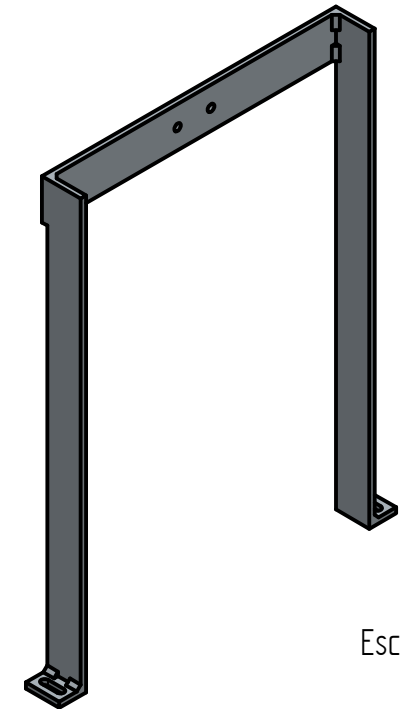
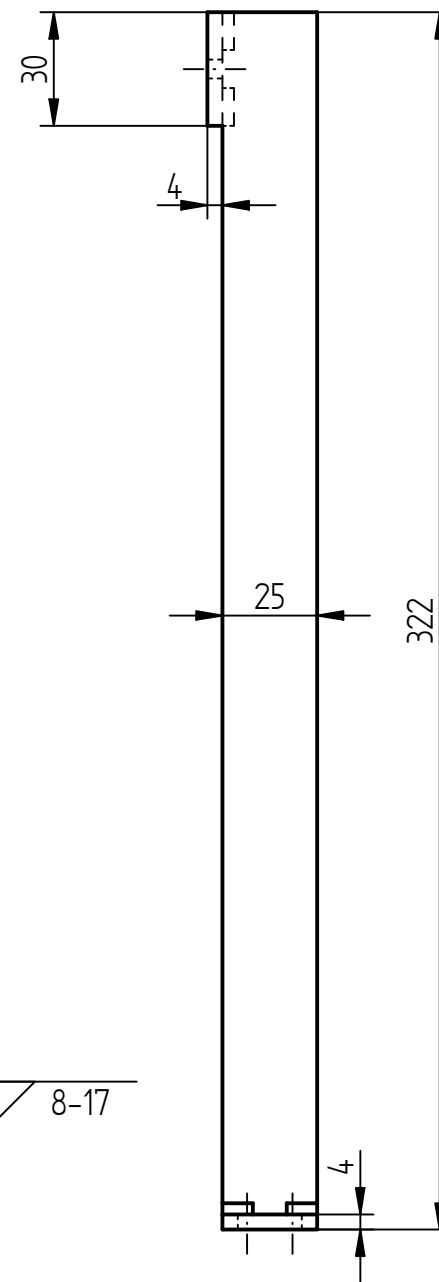
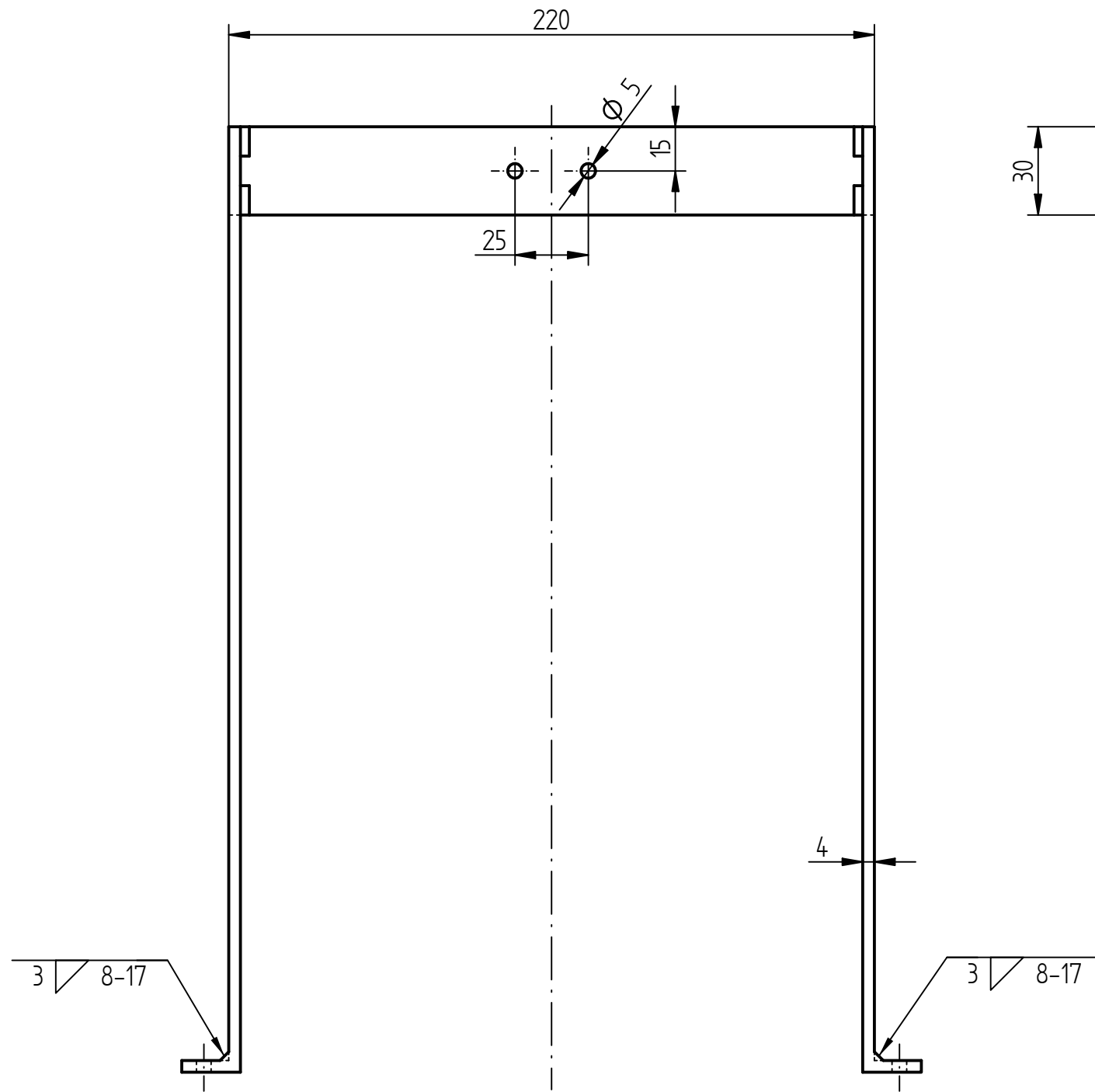
Escala 1 : 1



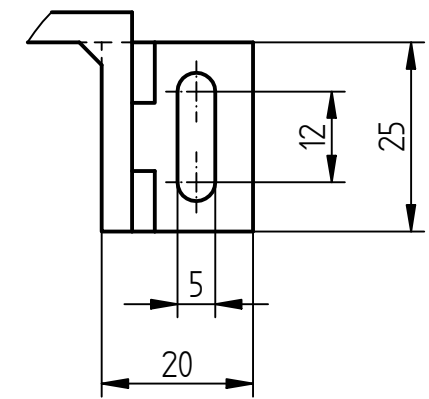
Escala 1 : 2

SECCION A-A

METODO DE PROYECCION: 		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
FECHA: 09/11/18		NOMBRE: Christian V. H.		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA
DIBUJADO: APROBADO:		SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL		
ESCALA: 1 : 2		MATERIAL:		LAMINA: A3
SISTEMA SUJECION ENVASE				N° DIBUJO: 2 - 9

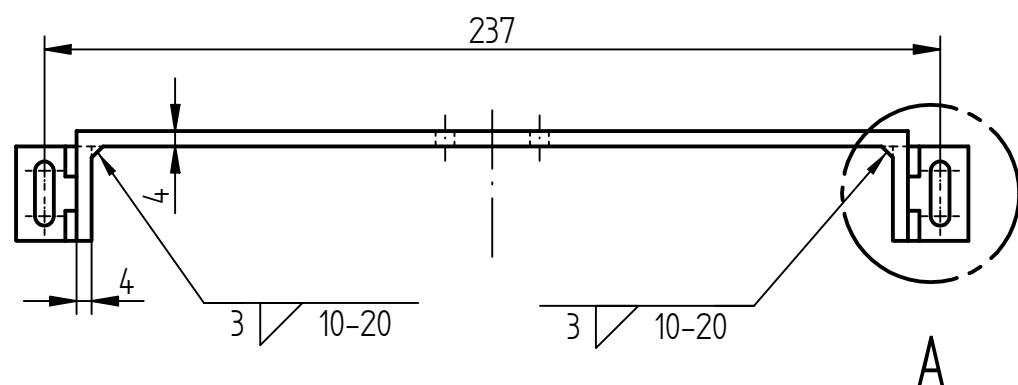


Escala 1 : 4

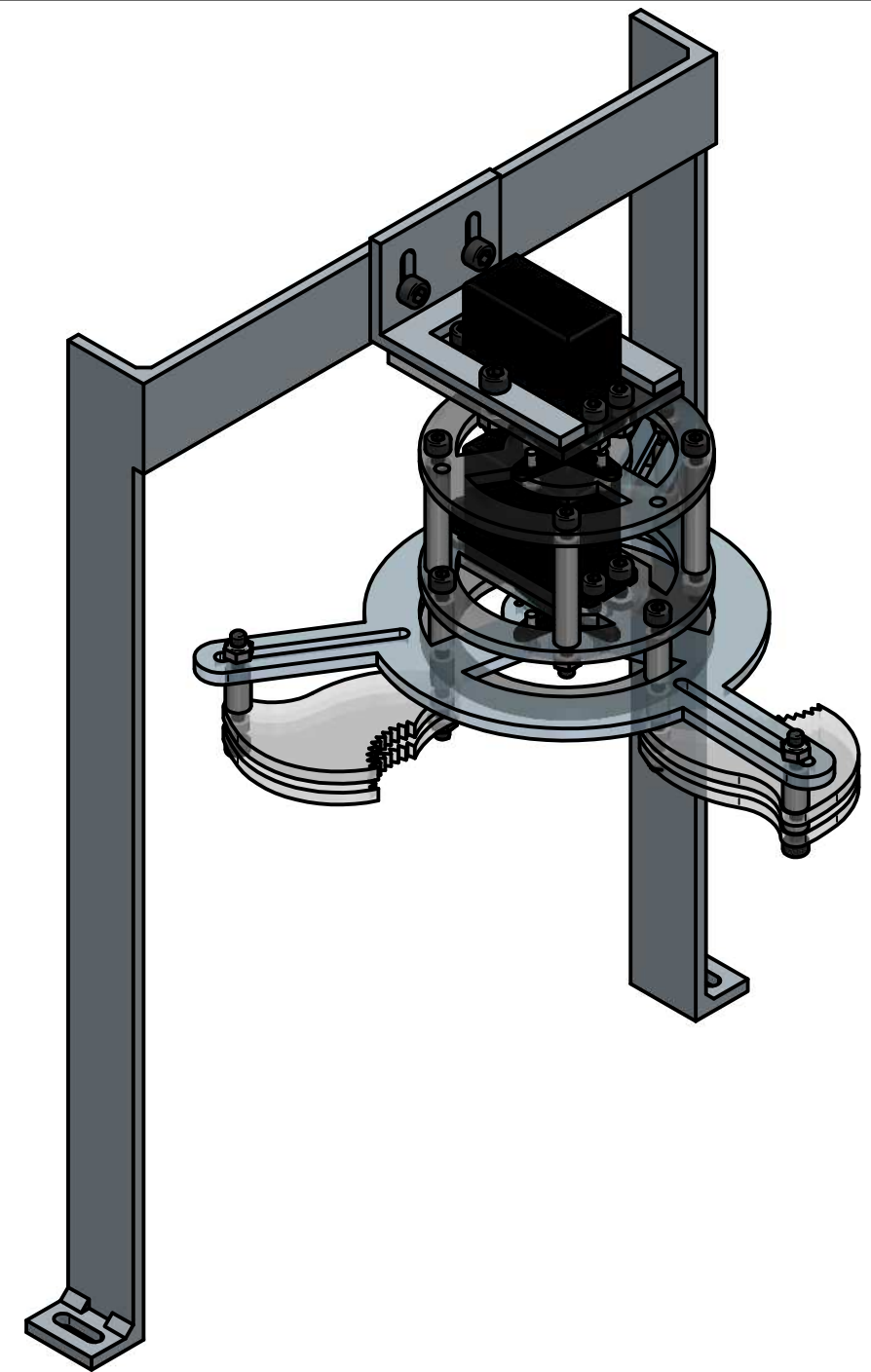
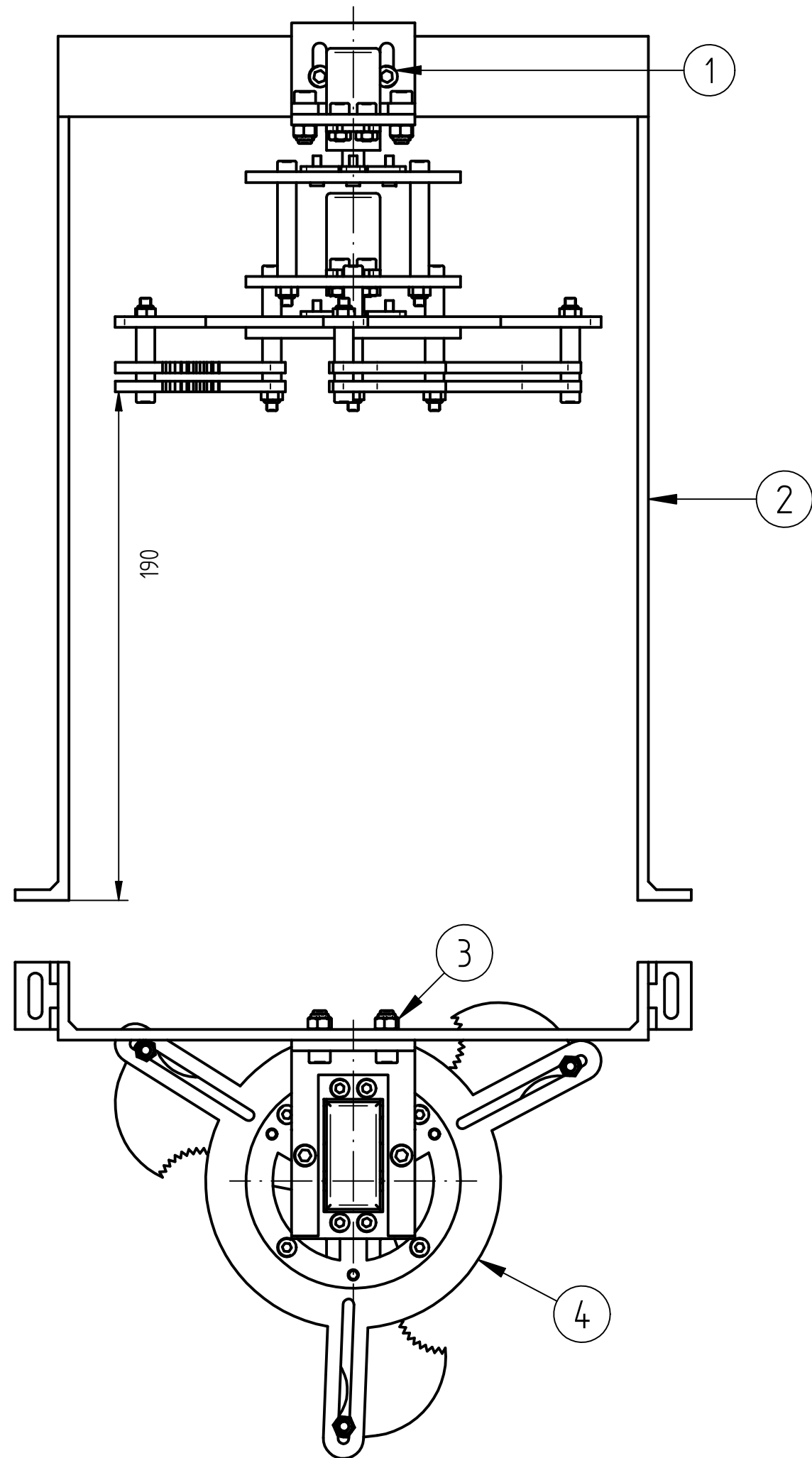


Escala 1 : 1

DETALLE A

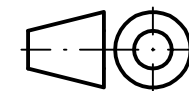


ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL: DIN ISO 2768 - MEDIO		
METODO DE PROYECCION: 		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL: ASTM A 36	Soporte_metal_para_ultimo_servo		Nº DIBUJO: 3 - 1



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	2	Perno Allen M5 X 15	DIN 912	12.9	
2	1	Soporte_metal_para_ultimo_servo		ASTM A 36	
3	2	Tuerca Autoblocante M5	DIN 982	8	
4	1	SISTEMA SUJECION ENVASE			SUB-ENSAMBLE

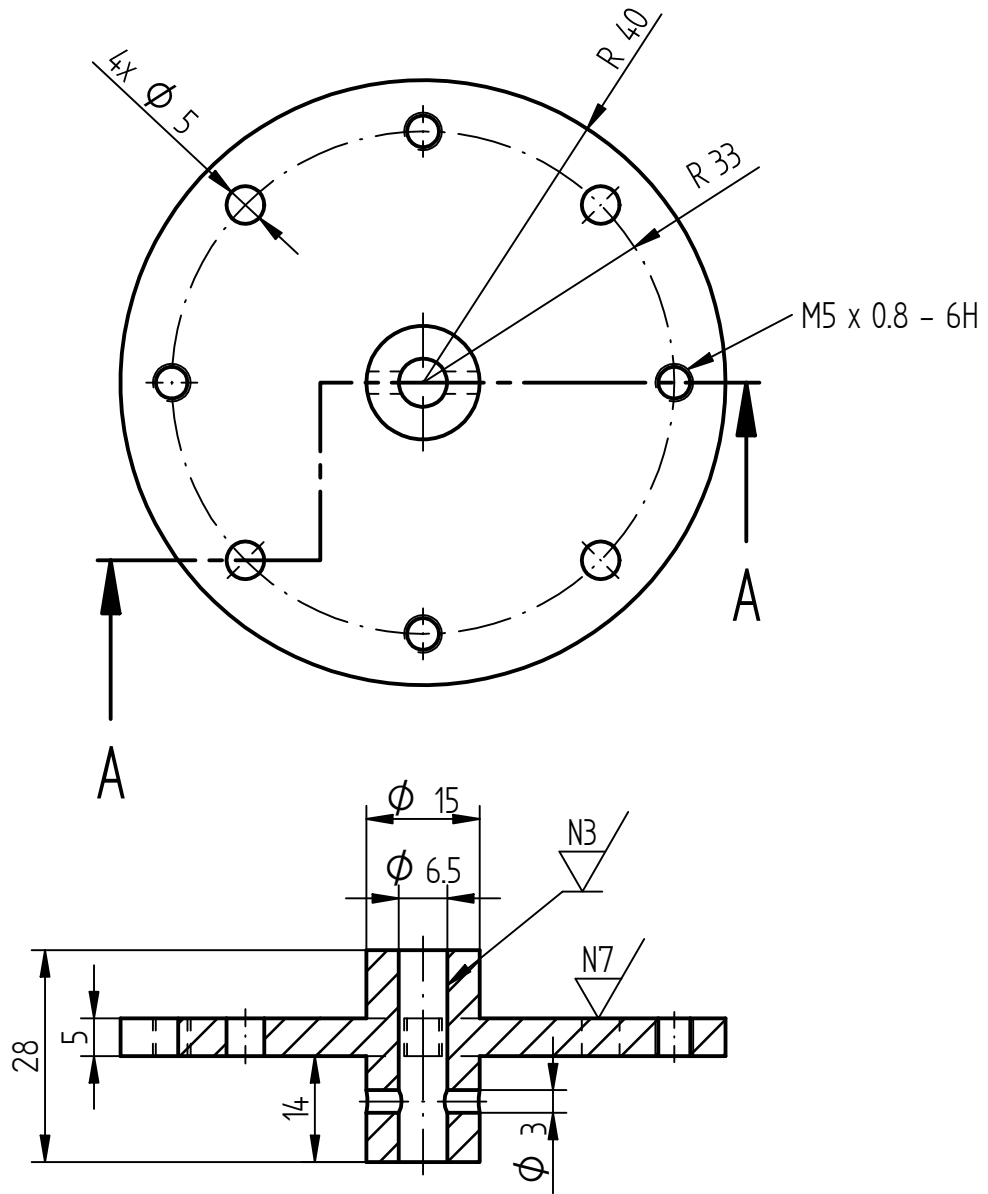
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA 1:2	MATERIAL:	ENSAMBLE SISTEMA SUJECION ENVASE		Nº DIBUJO: 3 - 2



SECCION A-A

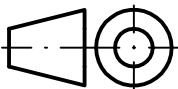
ACABADO SUPERFICIAL:



TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

FECHA

09/11/18

NOMBRE:

Christian V. H.

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL

LAMINA:

A4

APROBADO:

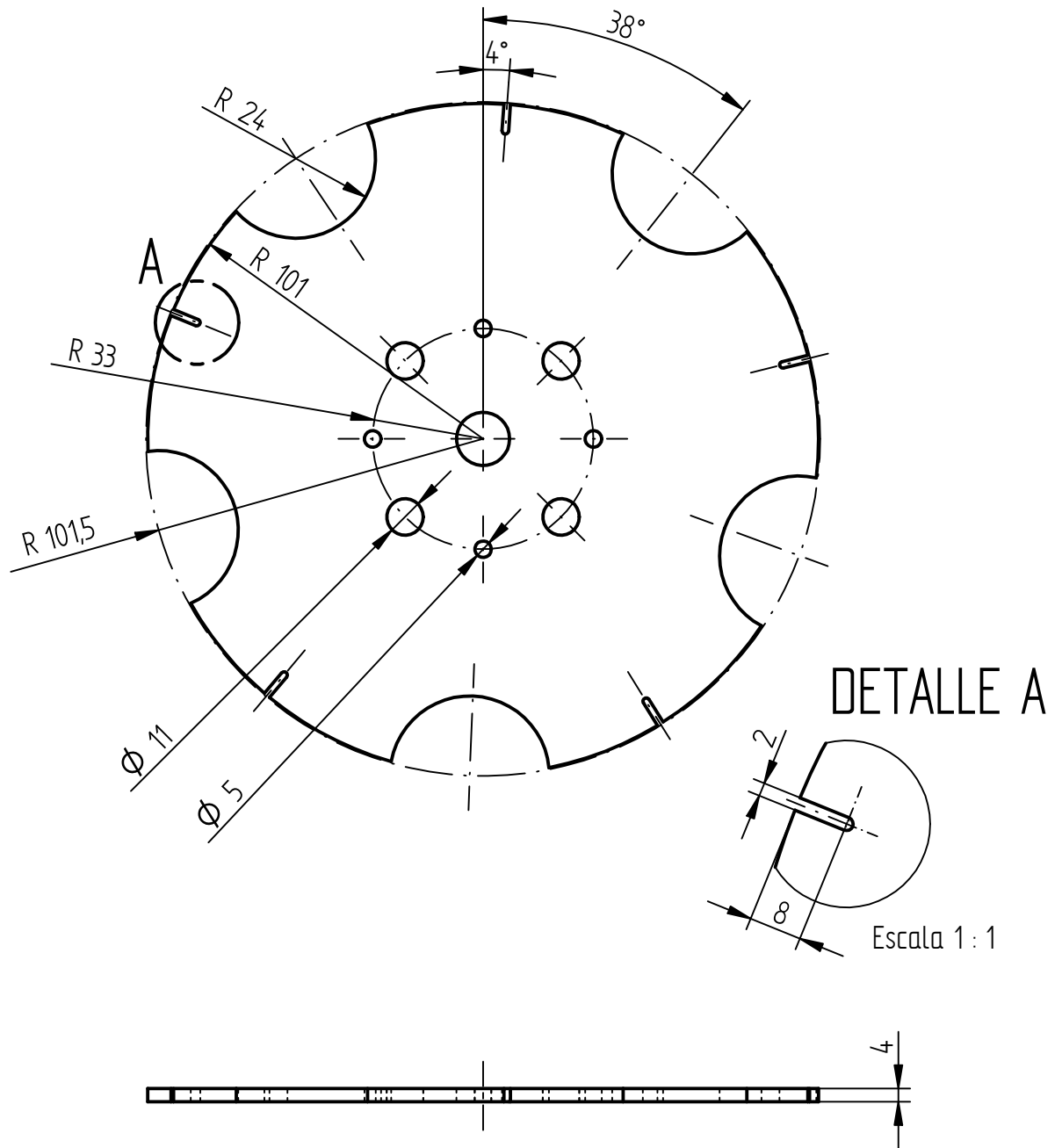
ESCALA
1:1

MATERIAL:
CK-20

Soporte para stepper

Nº DIBUJO:

4 - 1

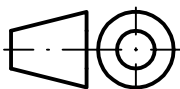


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL

A4

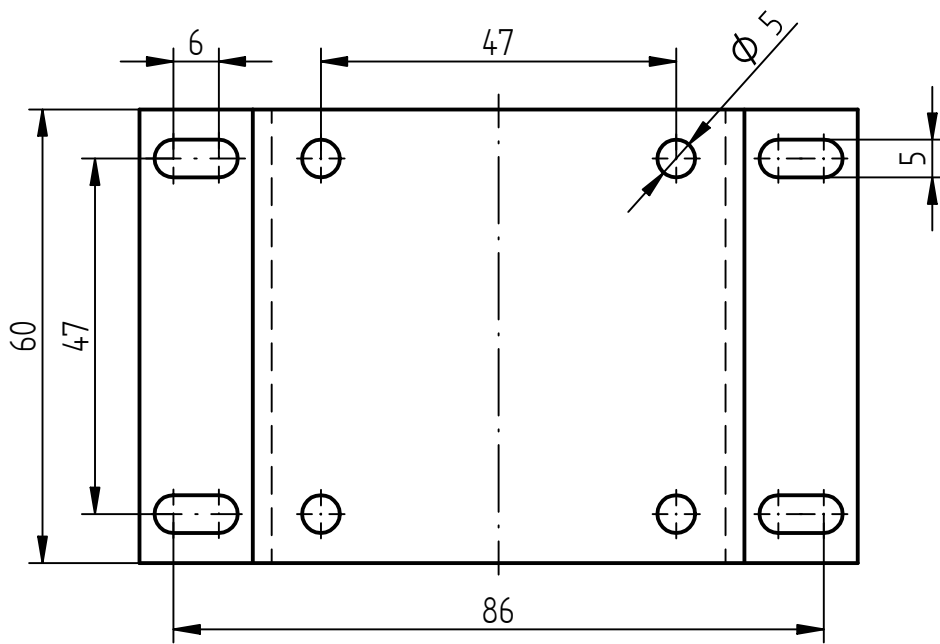
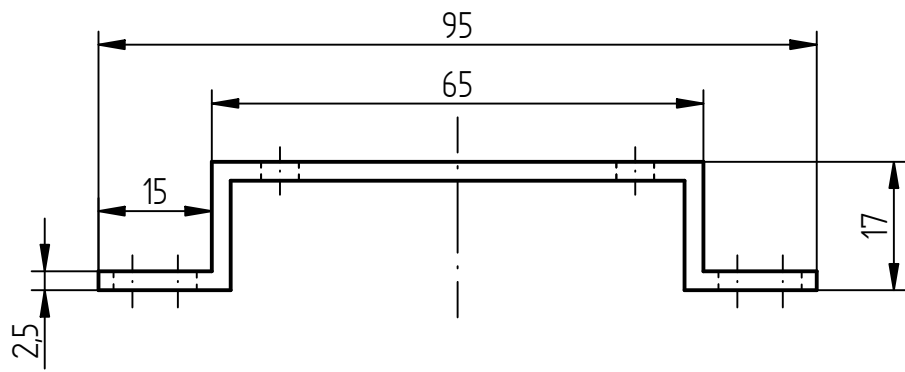
APROBADO:

ESCALA
1:2

MATERIAL:
ACRILICO

Disco_de_alimentador

Nº DIBUJO:
4 - 2

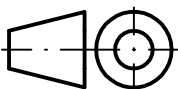


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL

A4

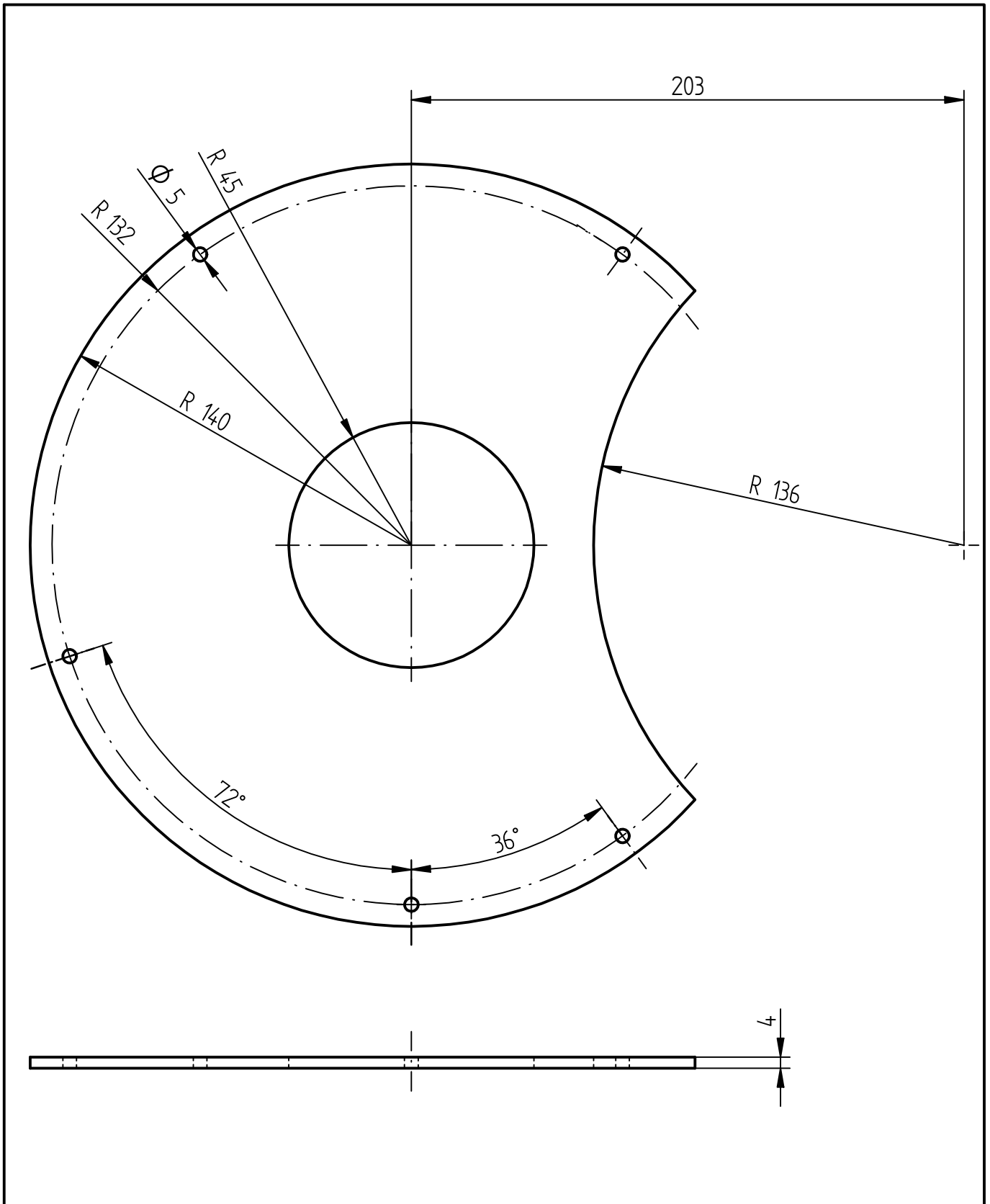
APROBADO:

ESCALA
1 : 1

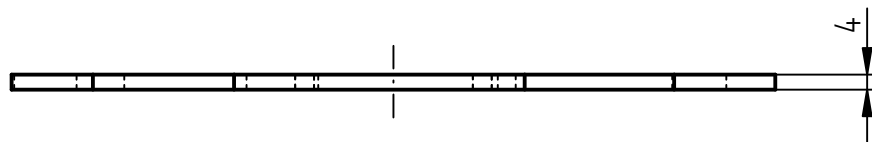
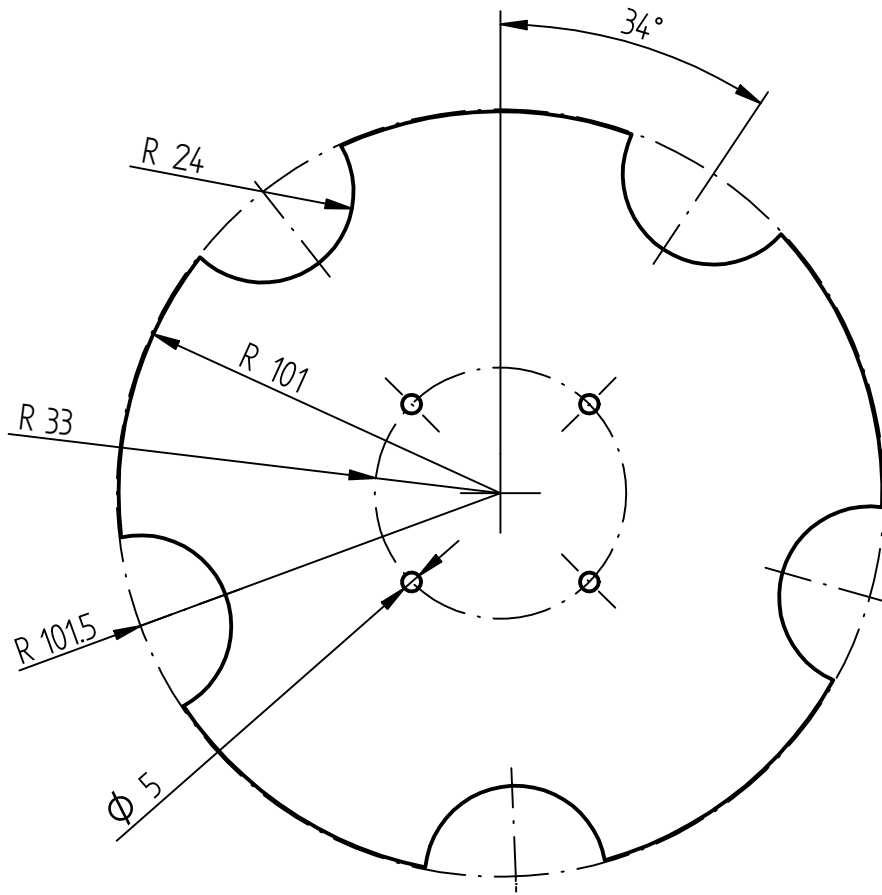
MATERIAL:
ASTM A 36

Base_motor_alimentador

Nº DIBUJO:
4 - 3



ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL:		DIN ISO 2768 - MEDIO
MÉTODO DE PROYECCIÓN:		<h2 style="text-align: center;">UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA</h2> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES</p>		
DIBUJADO:	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
APROBADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
ESCALA:	MATERIAL:	Base - alimentador		Nº DIBUJO:
1:2	ACRILICO			4 - 4

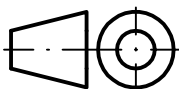


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL

A4

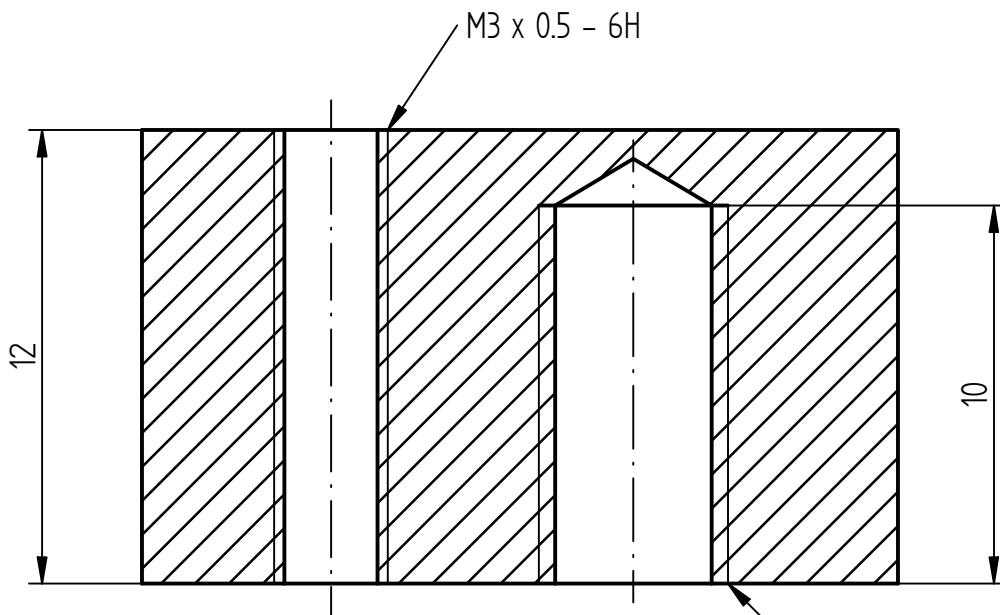
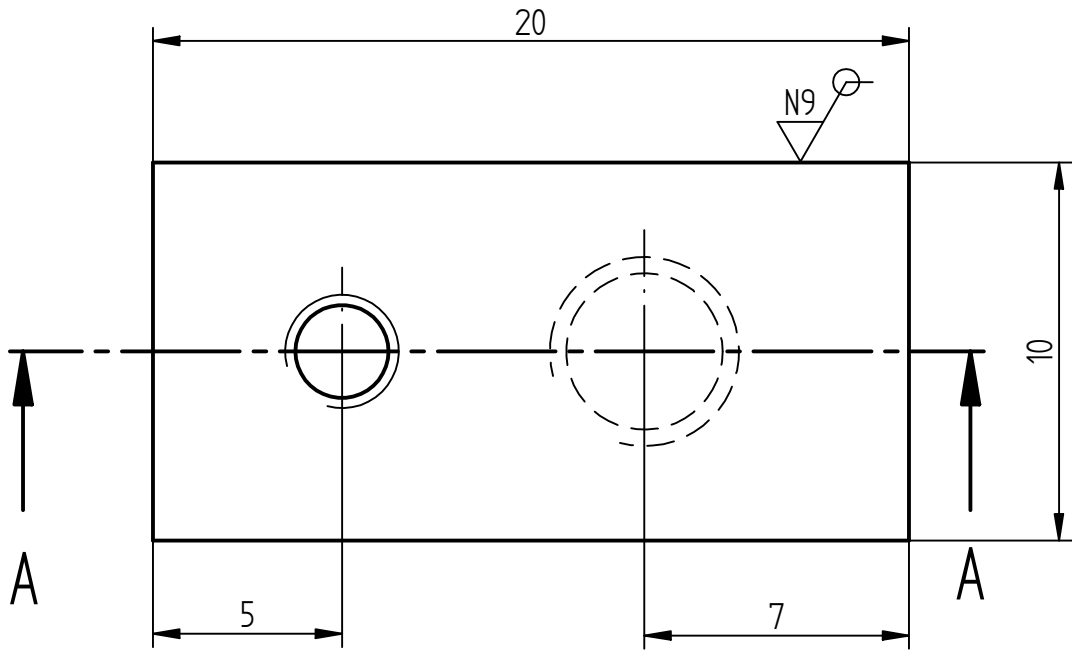
APROBADO:

ESCALA
1:2

MATERIAL:
ACRILICO

Disco_plan_tesis - final

Nº DIBUJO:
4 - 5



SECCION A-A

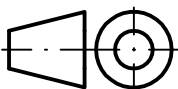
ACABADO SUPERFICIAL:



TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

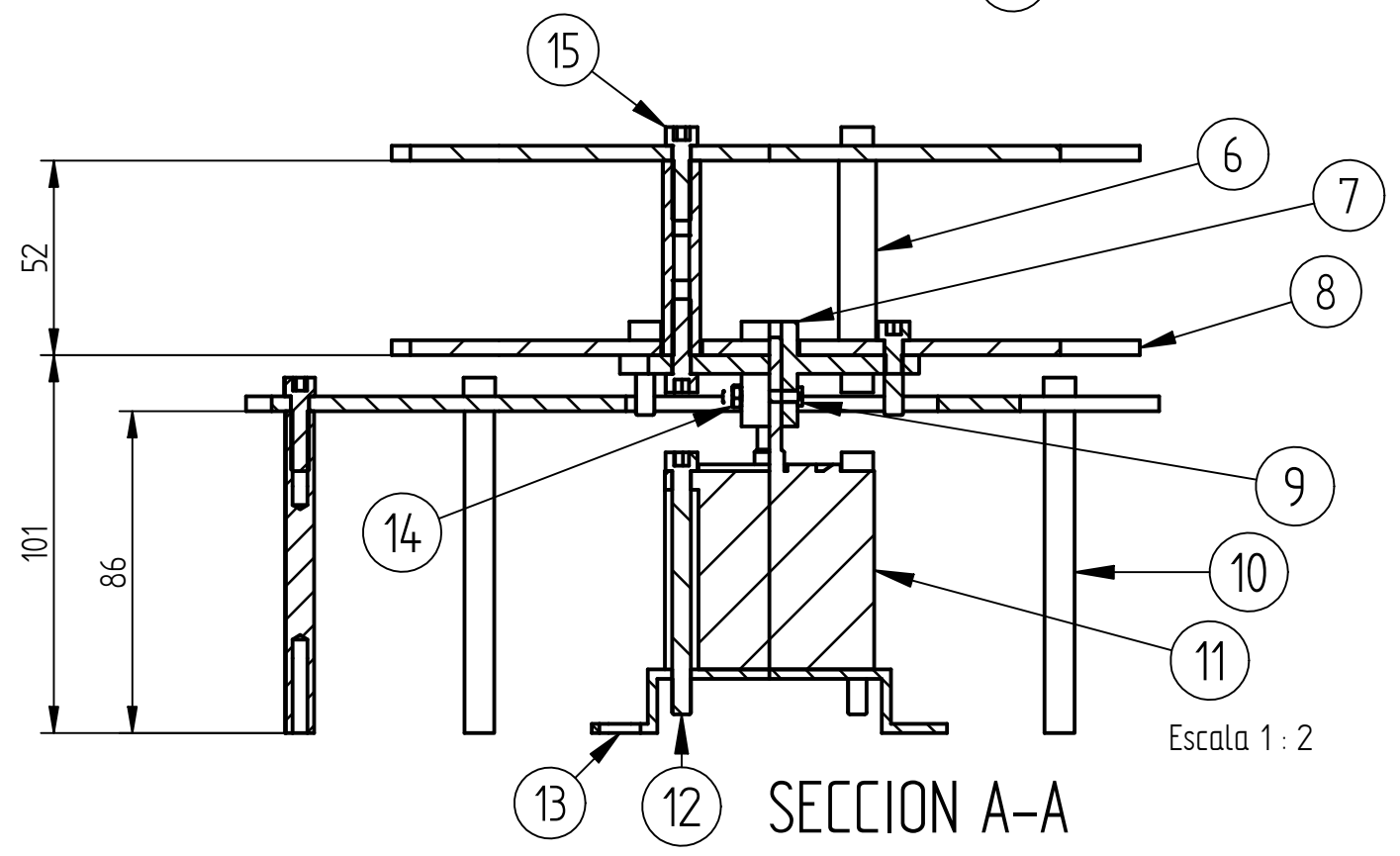
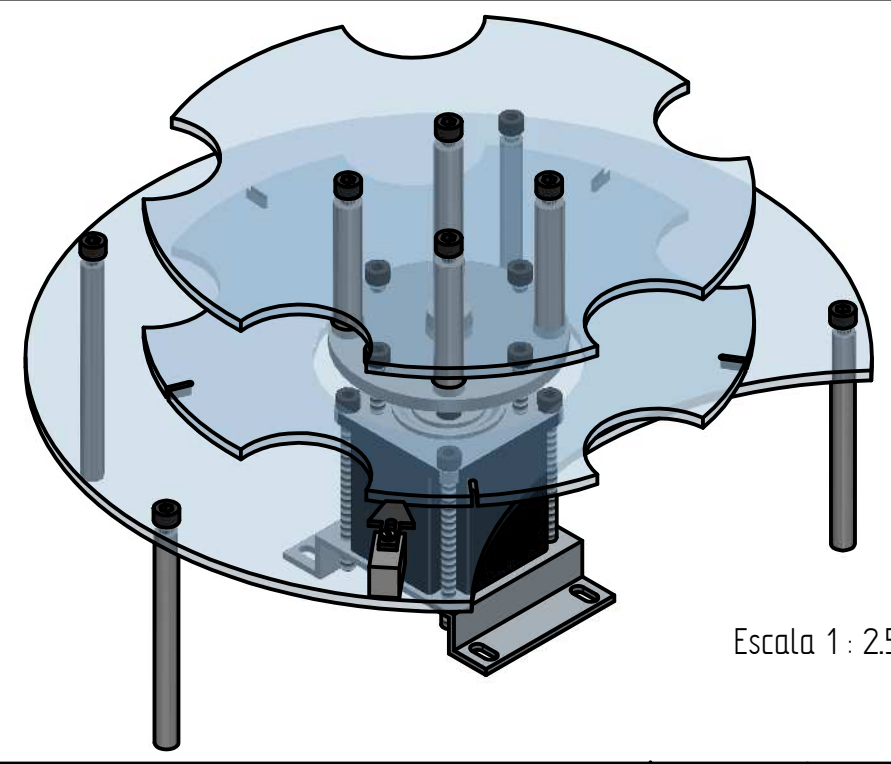
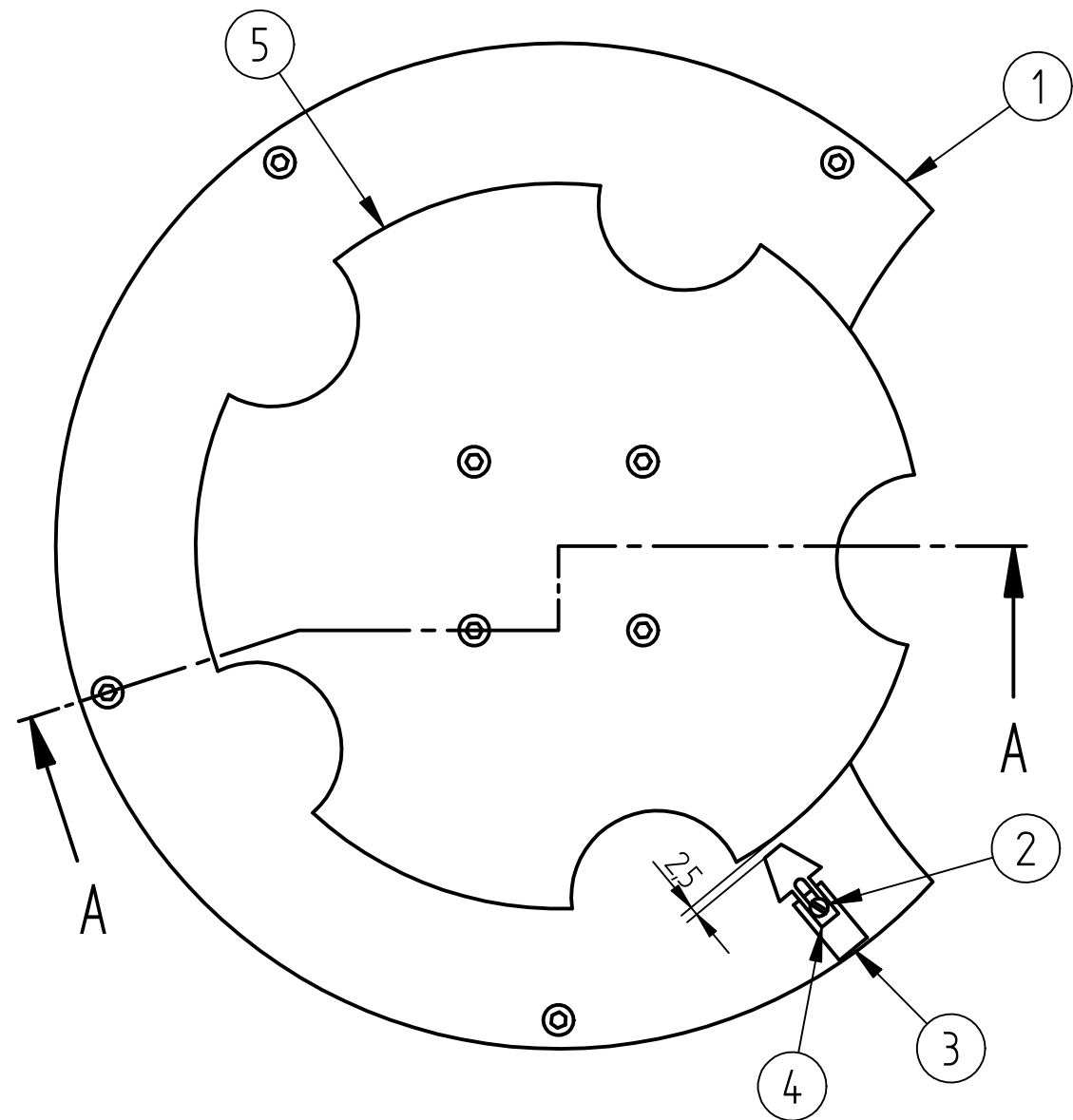
METODO DE PROYECCION:



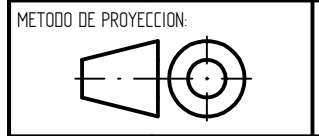
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA	MATERIAL:	Soporte_metal_sensor_al_1		Nº DIBUJO:
5 : 1	EK-20			4 - 6

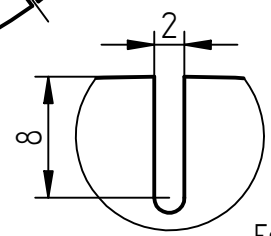
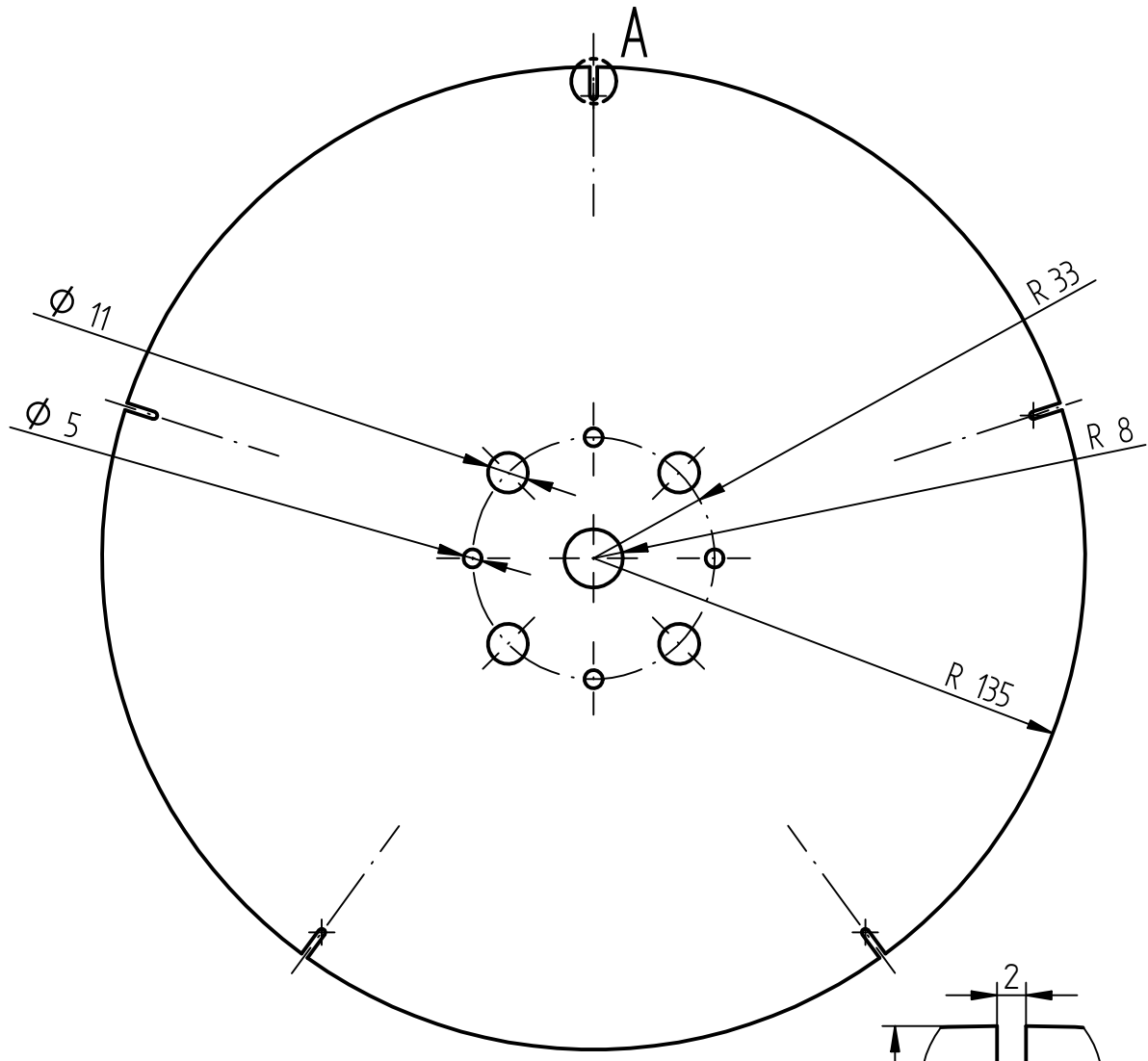


IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	1	Base - alimentador		Acrilico	
2	1	Tornillo M3 x 10	DIN 7985	4.8	
3	1	Soporte_metal_sensor_al_1		CK-20	
4	1	Sensor_posicion_OPB701ALZ			Sensor Fotoe.
5	1	Disco_plan_tesis - final		Acrilico	
6	4	Separador_52mm_M5x0.8-6H_20mm		CK-20	N8/
7	1	Soporte para stepper		CK-20	
8	1	Disco_de_alimentador		Acrilico	
9	1	Tornillo M3 x 20	DIN 7985	4.8	
10	4	Soporte_86mm_M5x0.8-6H_20mm		CK-20	N8/
11	1	Stepper 24V			Stepper 200
12	4	Perno Allen M5 x 65	DIN 912	12.9	
13	1	Base_motor_alimentador		ASTM A 36	
14	1	Tuerca Hexagonal M3	DIN 934	8	
15	16	Perno Allen M5 x 20	DIN 912	12.9	



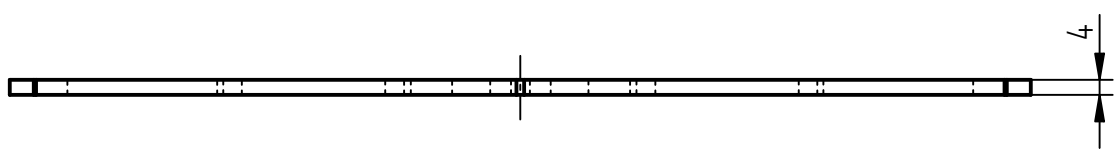
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

DIBUJADO:		FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
APROBADO:		09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	A3
ESCALA:	MATERIAL:	ALIMENTADOR 1			Nº DIBUJO:
1:2					4 - 7

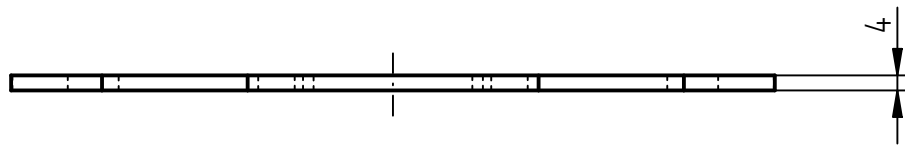
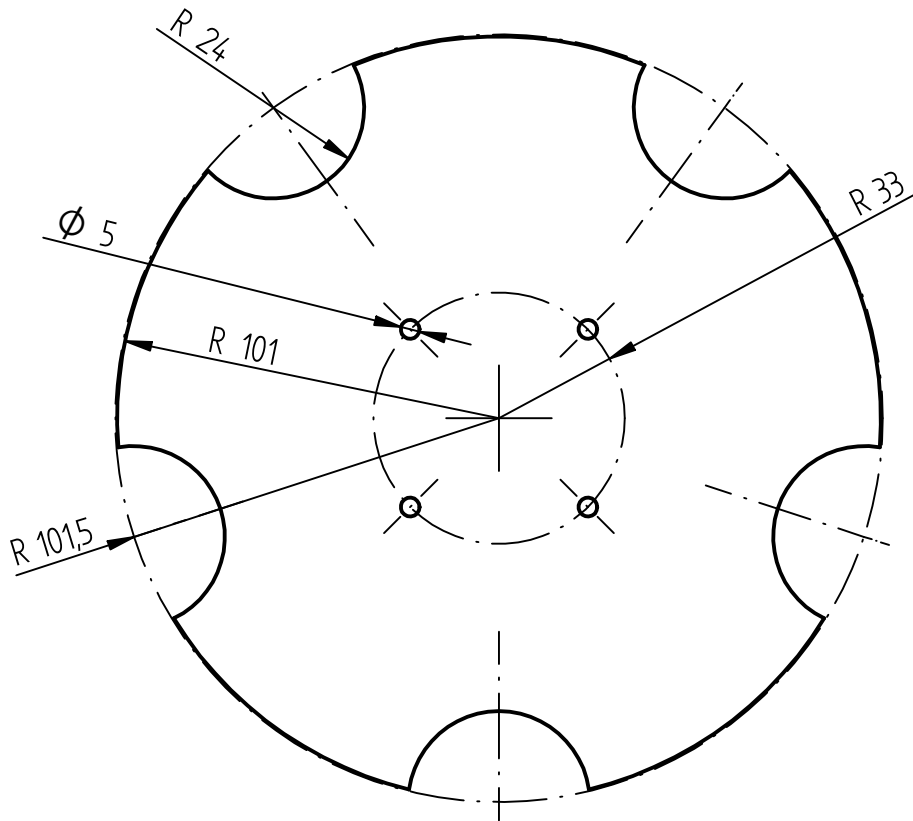


Escala 2 : 1

DETALLE A



ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL: DIN ISO 2768 - MEDIO		
METODO DE PROYECCION:		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL: ACRILICO	Base_x1		Nº DIBUJO: 5 - 1

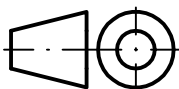


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL

A4

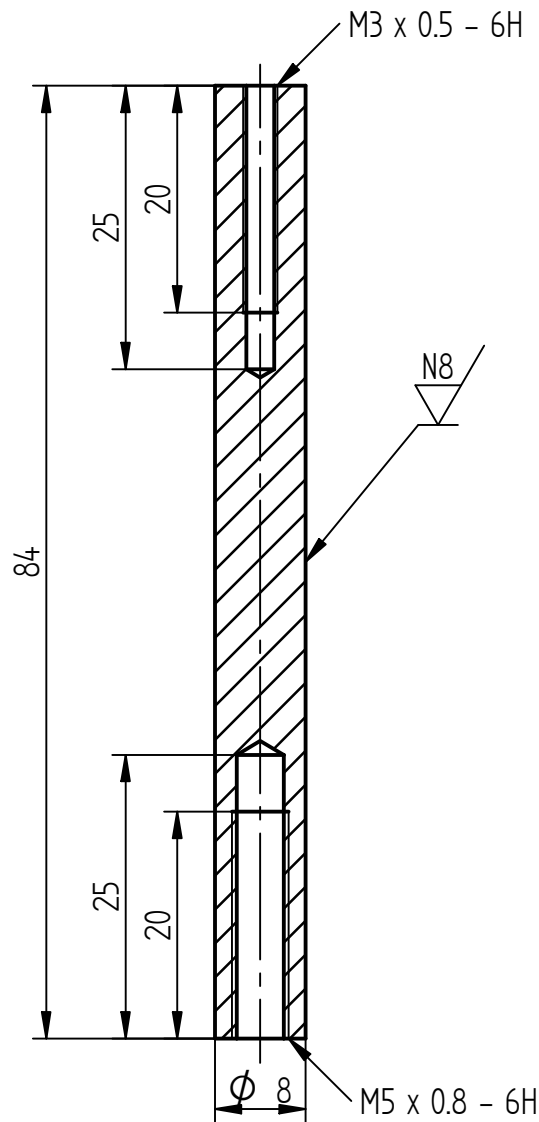
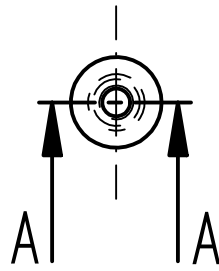
APROBADO:

ESCALA
1 : 2

MATERIAL:
ACRILICO

Disco_plan_tesis - final_al_2

Nº DIBUJO:
5 - 2



SECCION A-A

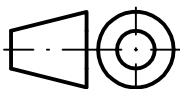
ACABADO SUPERFICIAL:



TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

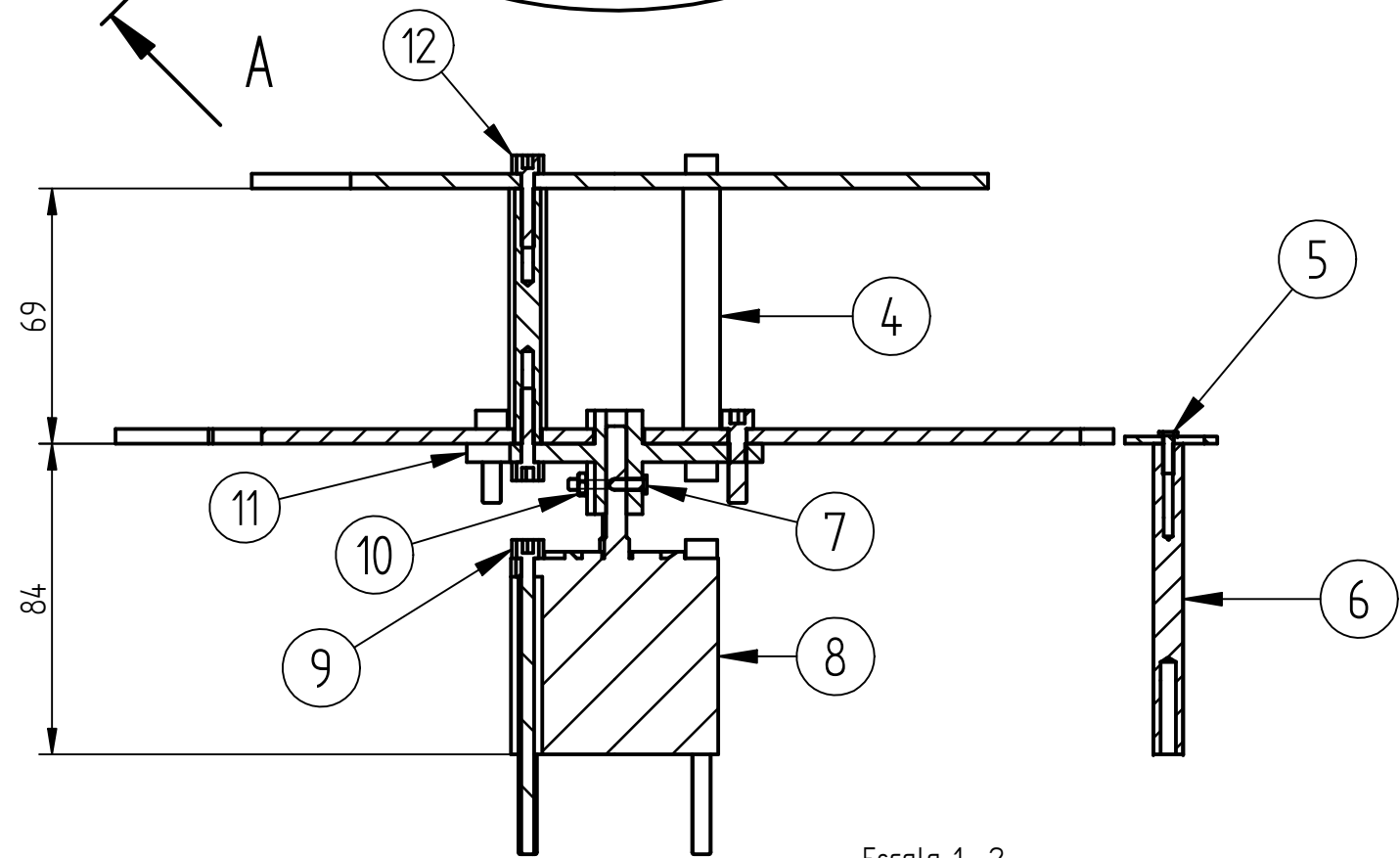
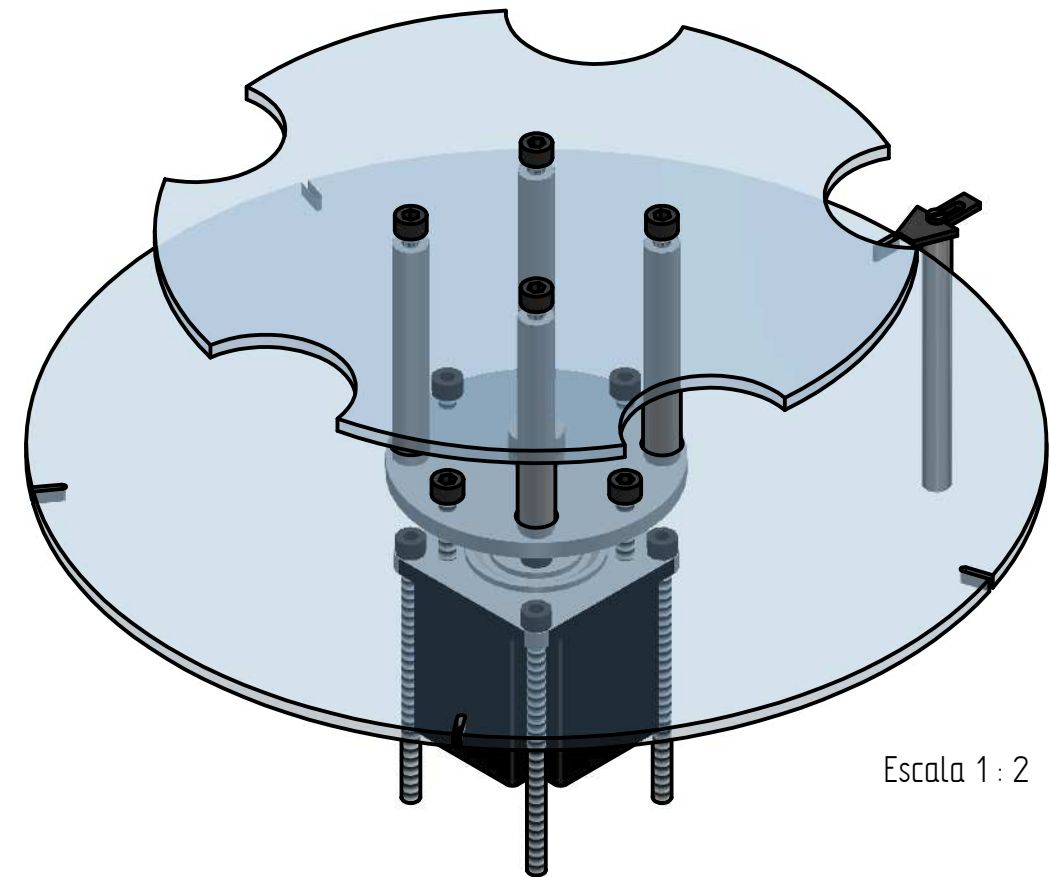
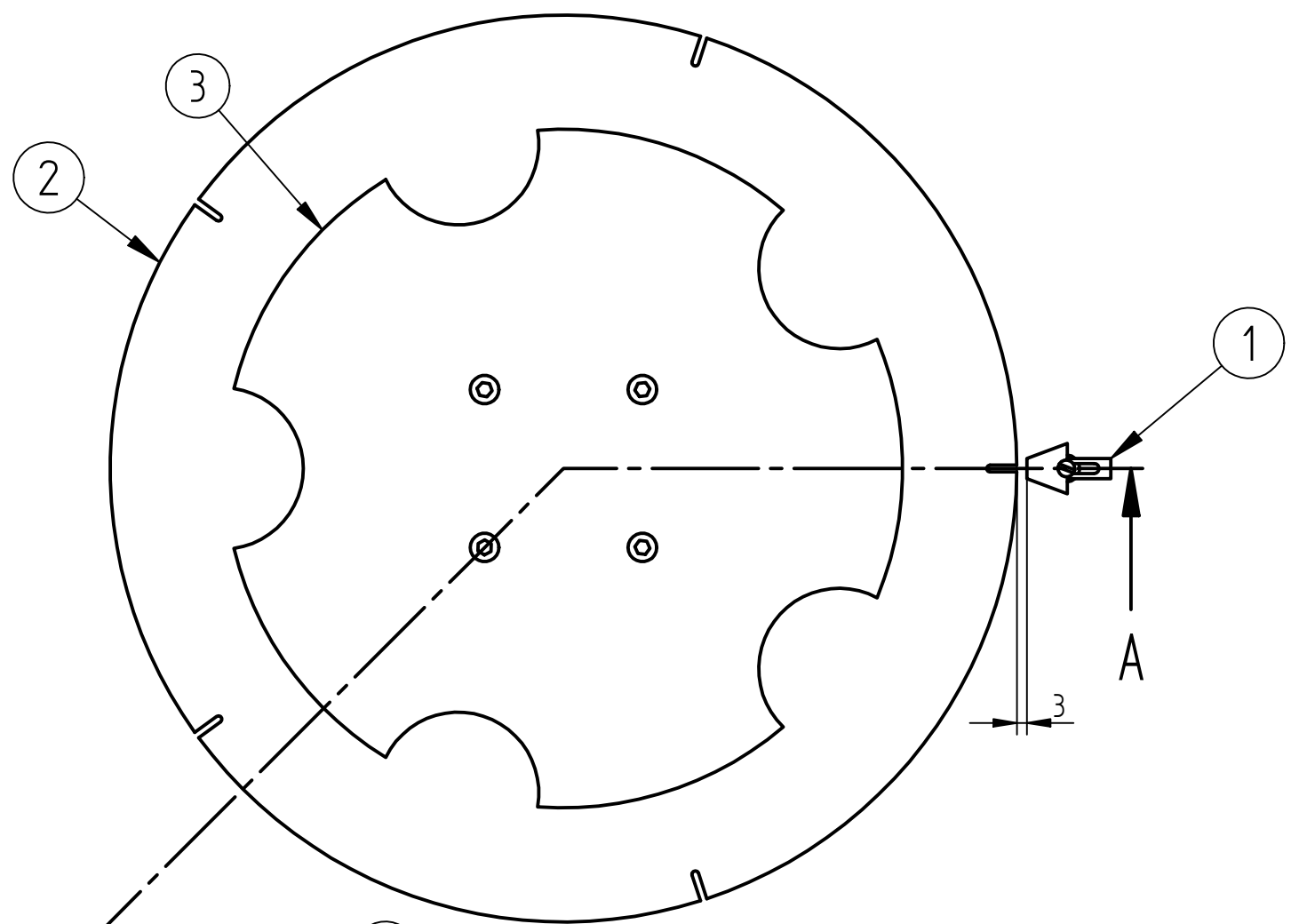
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

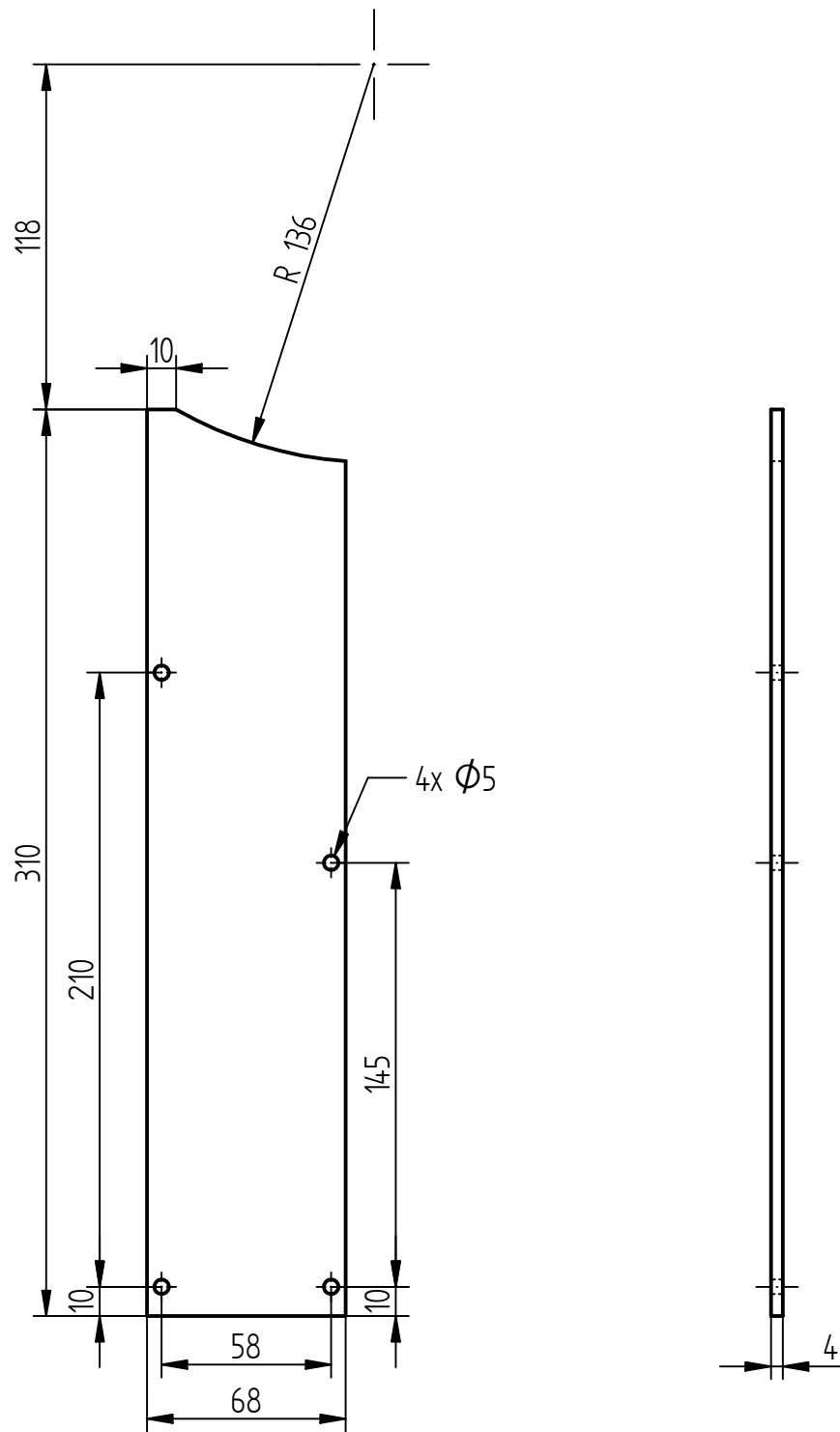
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1.5 : 1	MATERIAL: CK-20	Soporte alimentador 1 sensor		Nº DIBUJO: 5 - 3



SECCION A-A
Escala 1:2

IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	1	Sensor_posicion_OPB701ALZ			Sensor Fotoe.
2	1	Base_x1		Acrilico	
3	1	Disco_plan_tesis - final_al_2		Acrilico	
4	4	Separador_69mm_M5x0.8-6H_20mm		CK-20	N8/
5	1	Tornillo M3 x 10	DIN 7985	4.8	
6	1	Soporte alimentador 1 sensor		CK-20	
7	1	Tornillo M3 x 20	DIN 7985	4.8	
8	1	Stepper 24V			Stepper 200
9	4	Perno Allen M5 x 80	DIN 912	12.9	
10	1	Tuerca Hexagonal M3	DIN 934	8	
11	1	Soporte para stepper		CK-20	
12	12	Perno Allen M5 x 20	DIN 912	12.9	

METODO DE PROYECCION:		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		
		FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA:	MATERIAL:	ALIMENTADOR 2		N° DIBUJO:
1:2				5 - 4

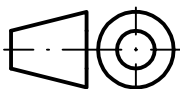


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

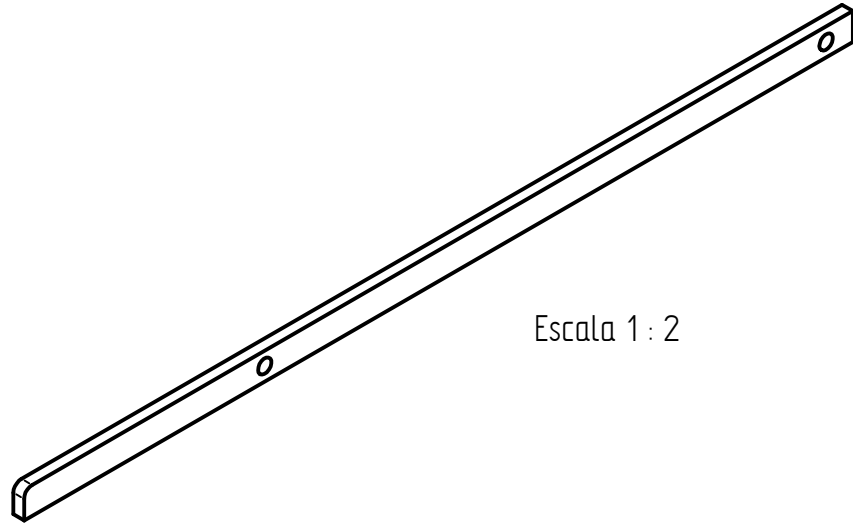
METODO DE PROYECCION:



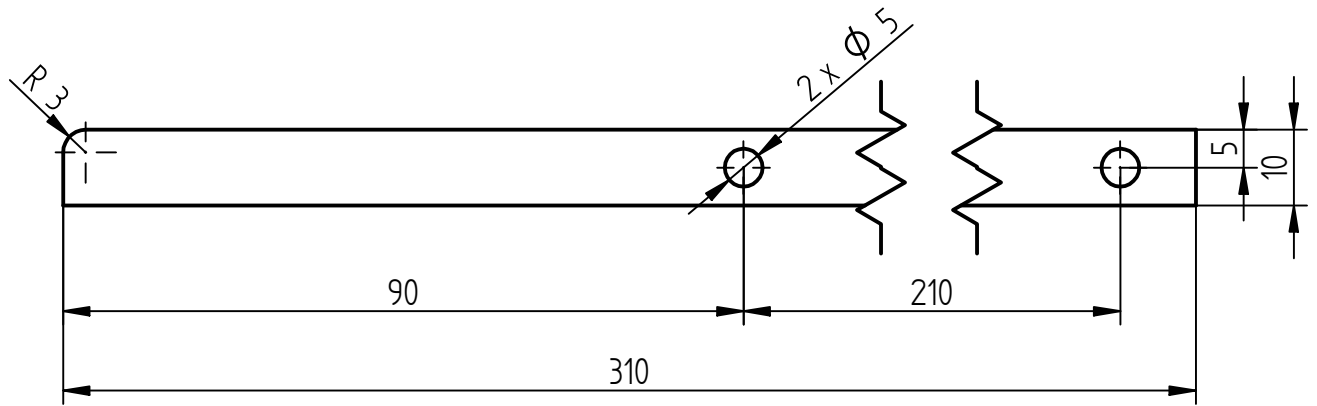
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

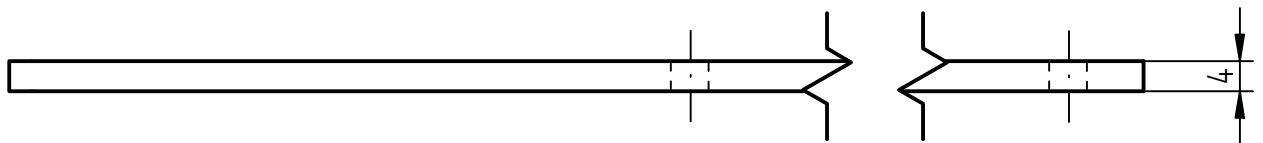
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2.5	MATERIAL: ACRILICO	Base_separador_1		Nº DIBUJO: 6 - 1



Escala 1 : 2



Escala 1 : 1



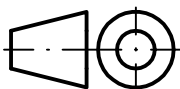
Escala 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

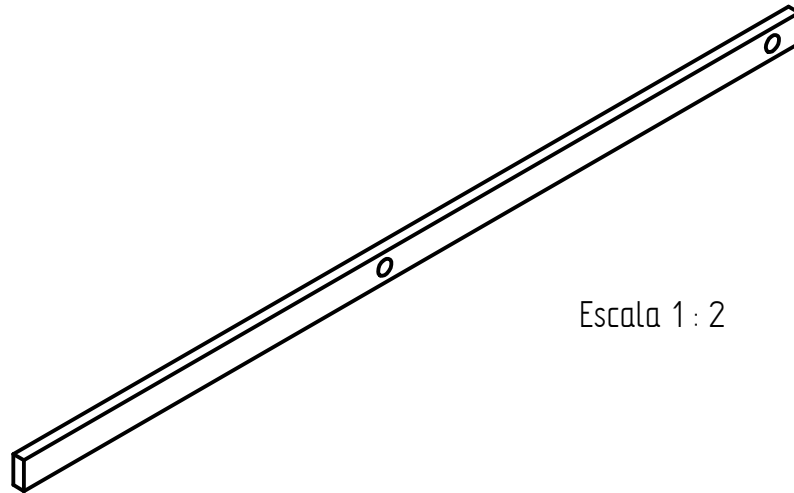
METODO DE PROYECCION:



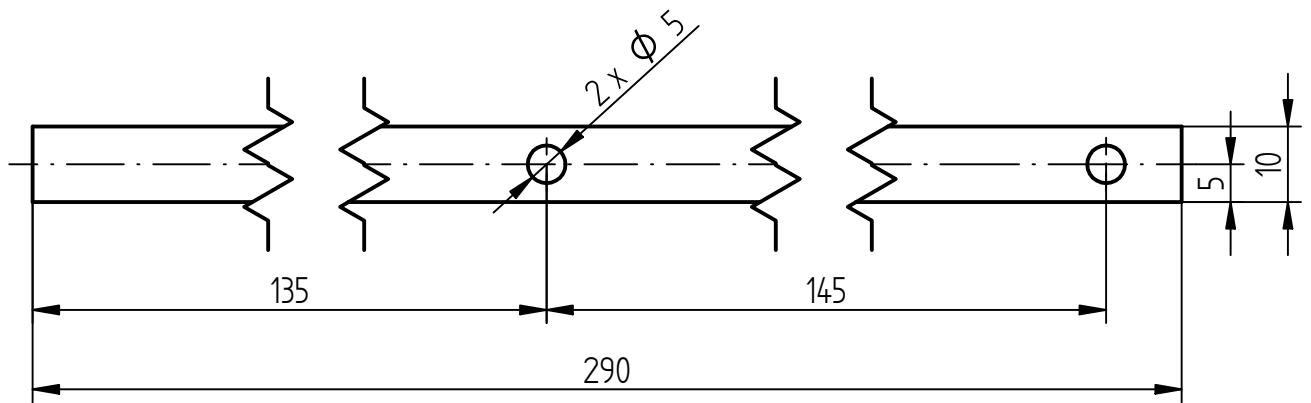
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

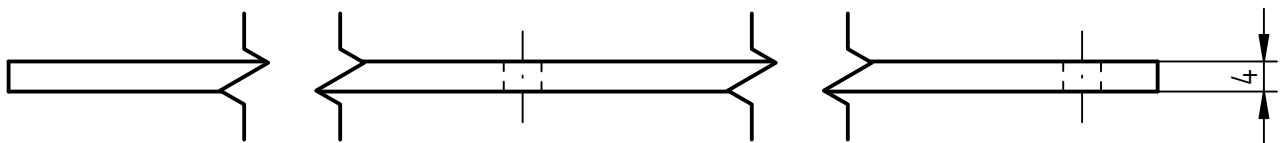
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Barra_1_separador_1		Nº DIBUJO: 6 - 2



Escala 1 : 2

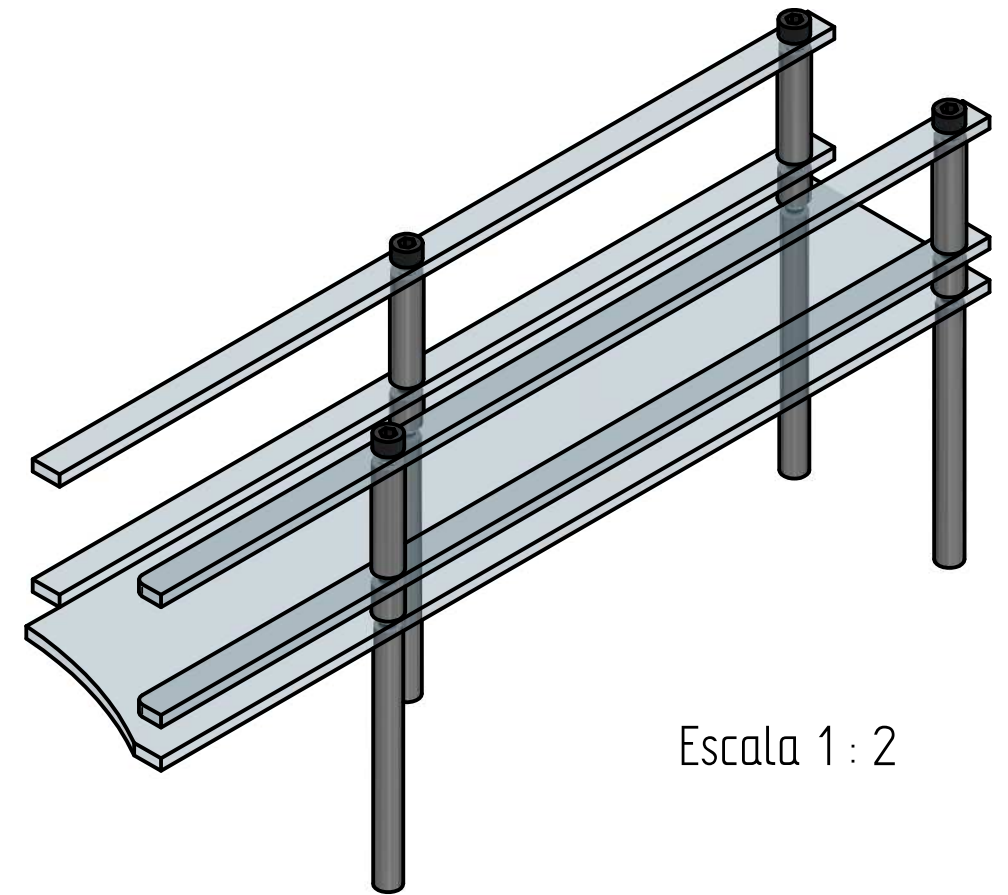
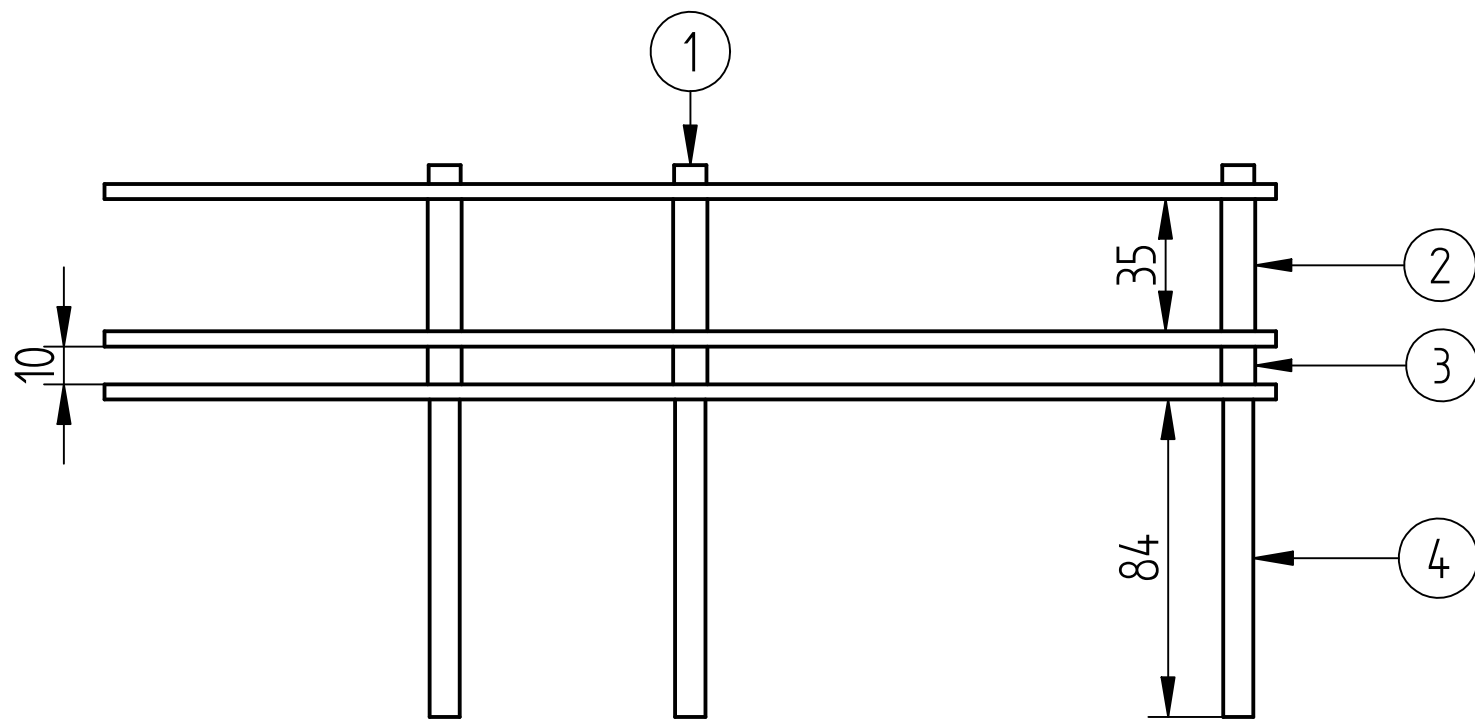


Escala 1 : 1

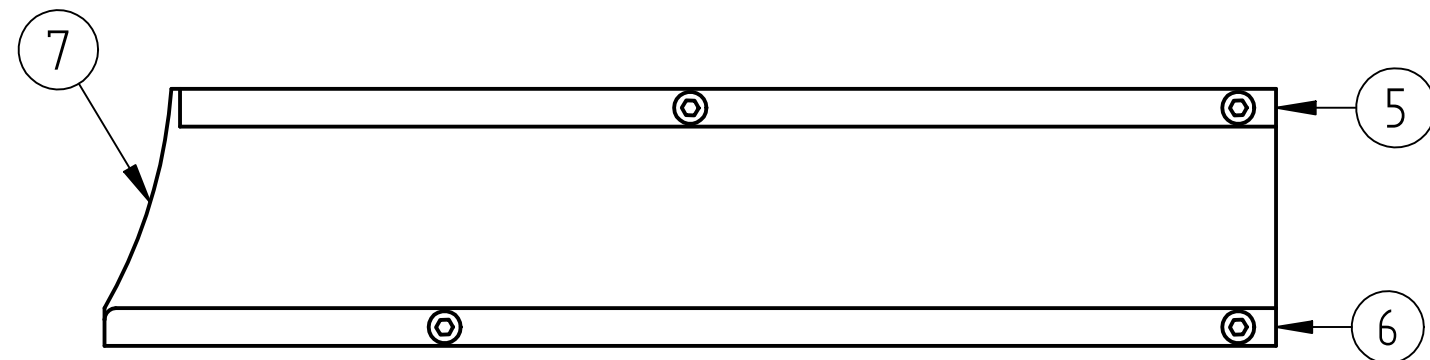


Escala 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL:		DIN ISO 2768 - MEDIO
METODO DE PROYECCION:		<h2 style="text-align: center;">UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA</h2> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES</p>		
				
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Barra_2_separador_1		Nº DIBUJO: 6 - 3

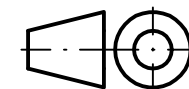


Escala 1 : 2



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	4	Perno Allen M5 x 70	DIN 912	12.9	
2	4	Separador_35mm_ext_9mm_int_5mm		CK-20	NB/
3	4	Separador_10mm_ext_9mm_int_5mm		CK-20	NB/
4	4	Soporte_84mm_M5x0.8-6H_20mm		CK-20	NB/
5	2	Barra_2_separador_1		Acrilico	
6	2	Barra_1_separador_1		Acrilico	
7	1	Base_separador_1		Acrilico	

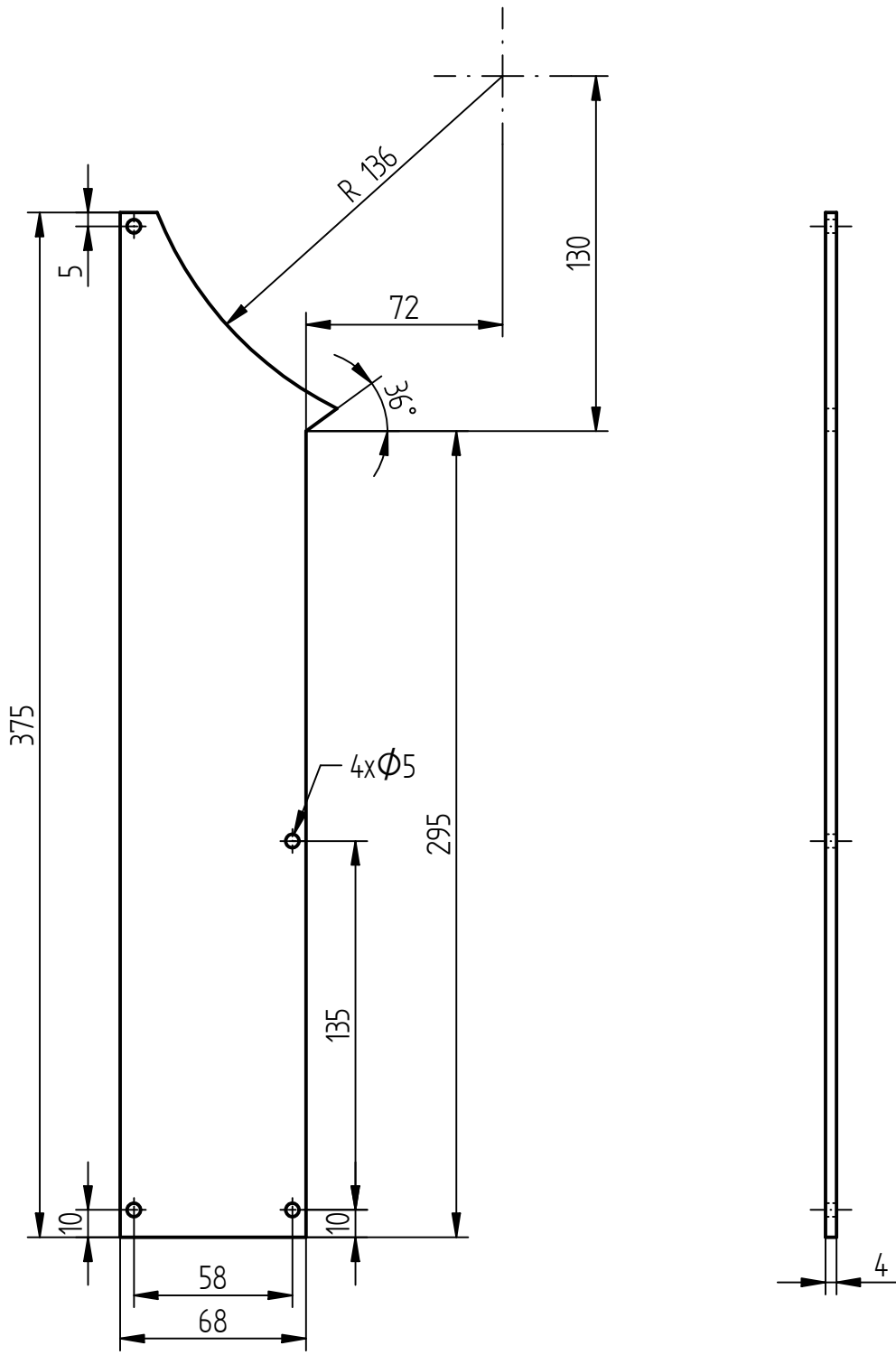
METODO DE PROYECCION:



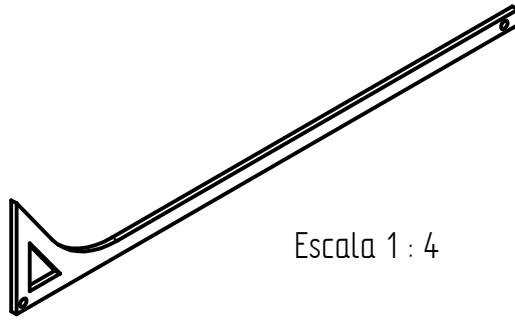
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

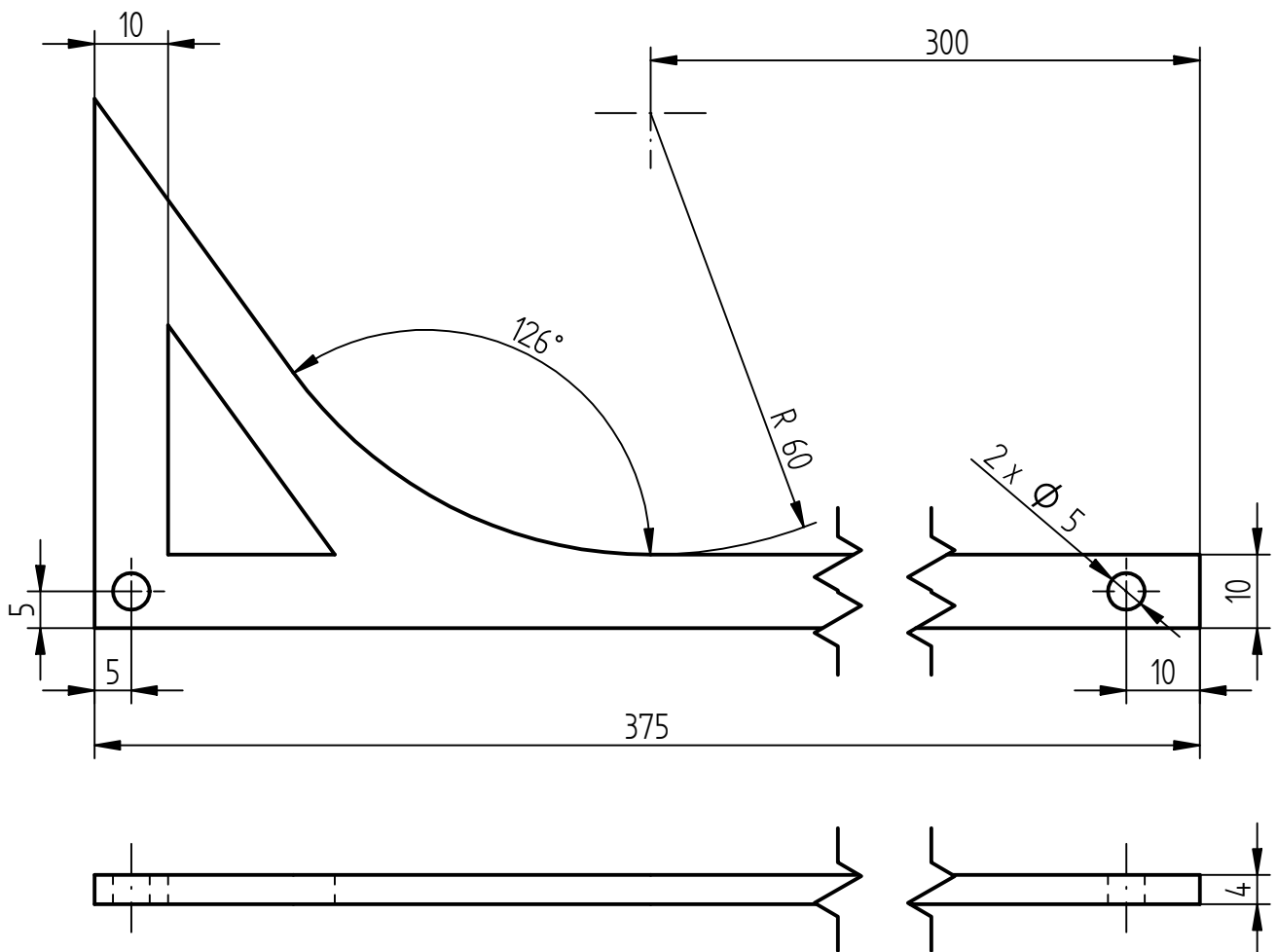
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCaneo LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL:	SEPARADOR_1		Nº DIBUJO: 6 - 4



ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL: DIN ISO 2768 - MEDIO		
METODO DE PROYECCION: 		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2.5	MATERIAL: ACRILICO	Base_separador_dos		Nº DIBUJO: 7 - 1



Escala 1 : 4



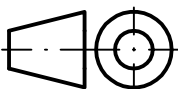
Escala 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

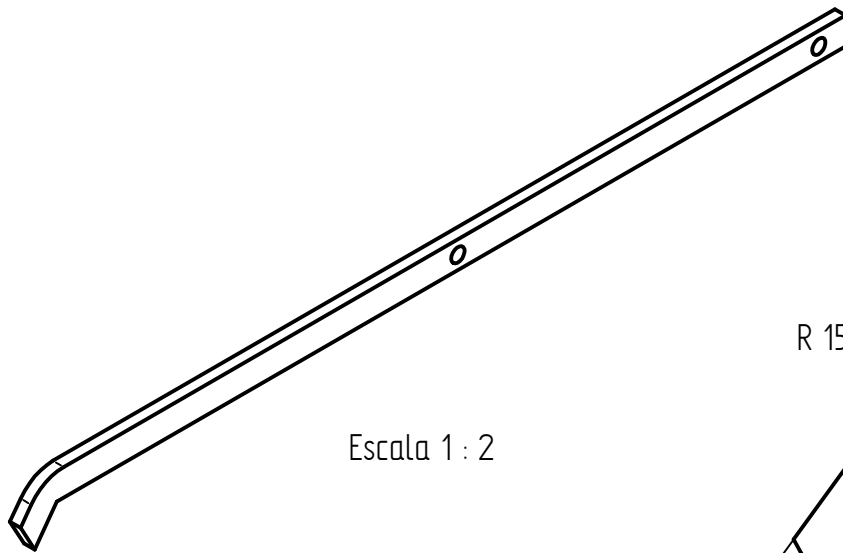
METODO DE PROYECCION:



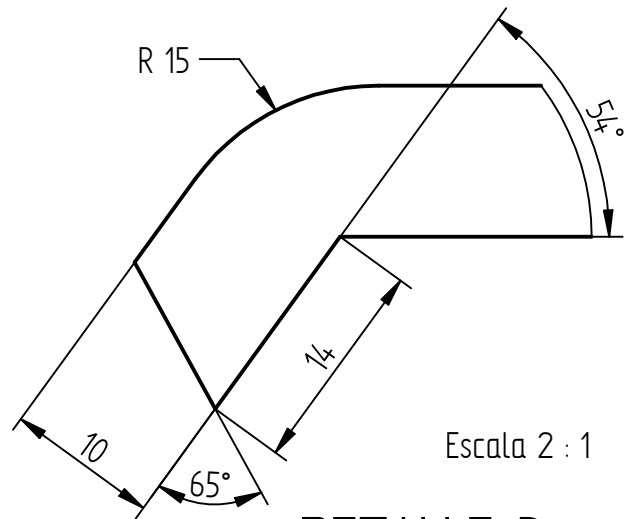
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Barra_2_separador_dos		Nº DIBUJO: 7 - 2

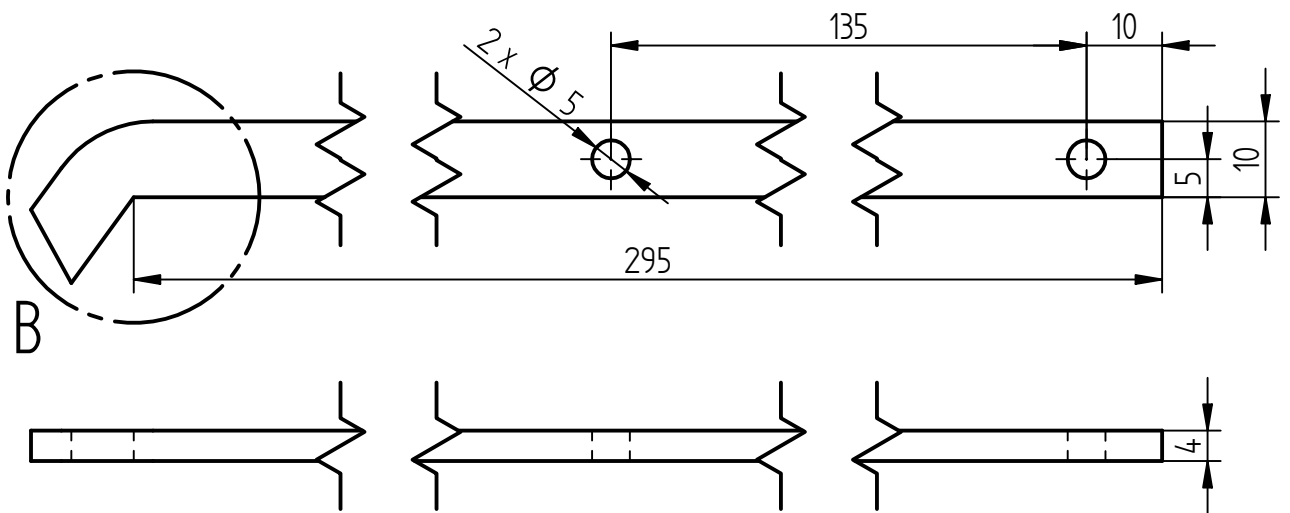


Escala 1 : 2



Escala 2 : 1

DETALLE B



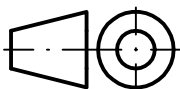
Escala 1 : 1

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

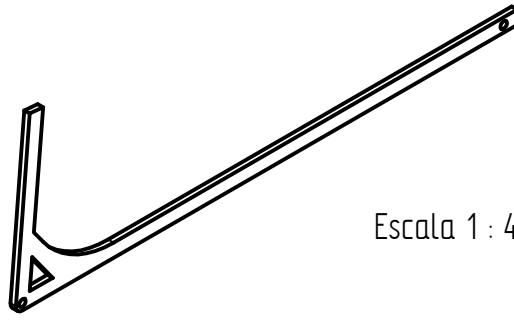
METODO DE PROYECCION:



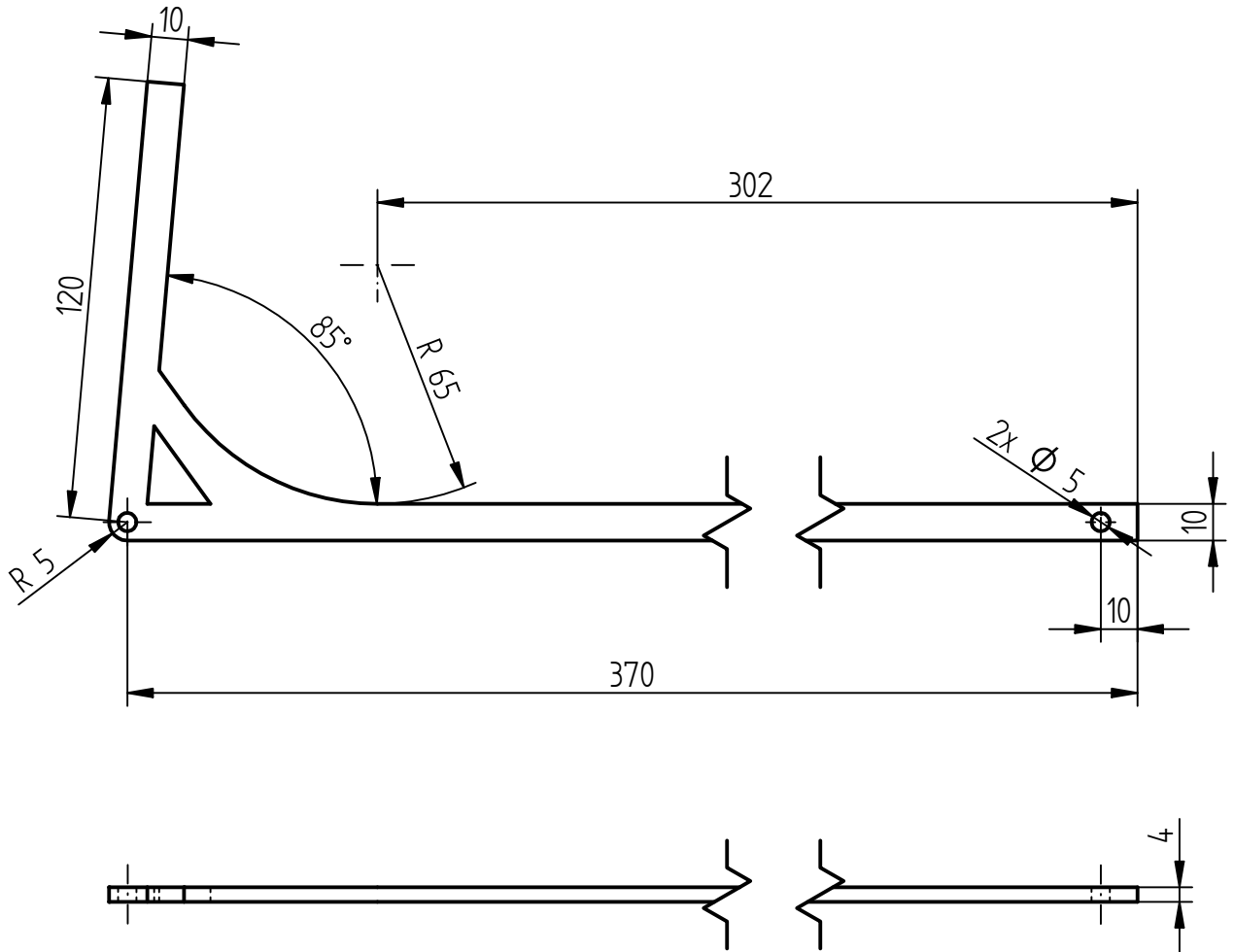
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: ACRILICO	Barra_1_separador_dos		Nº DIBUJO: 7 - 3



Escala 1 : 4



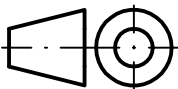
Escala 1 : 2

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

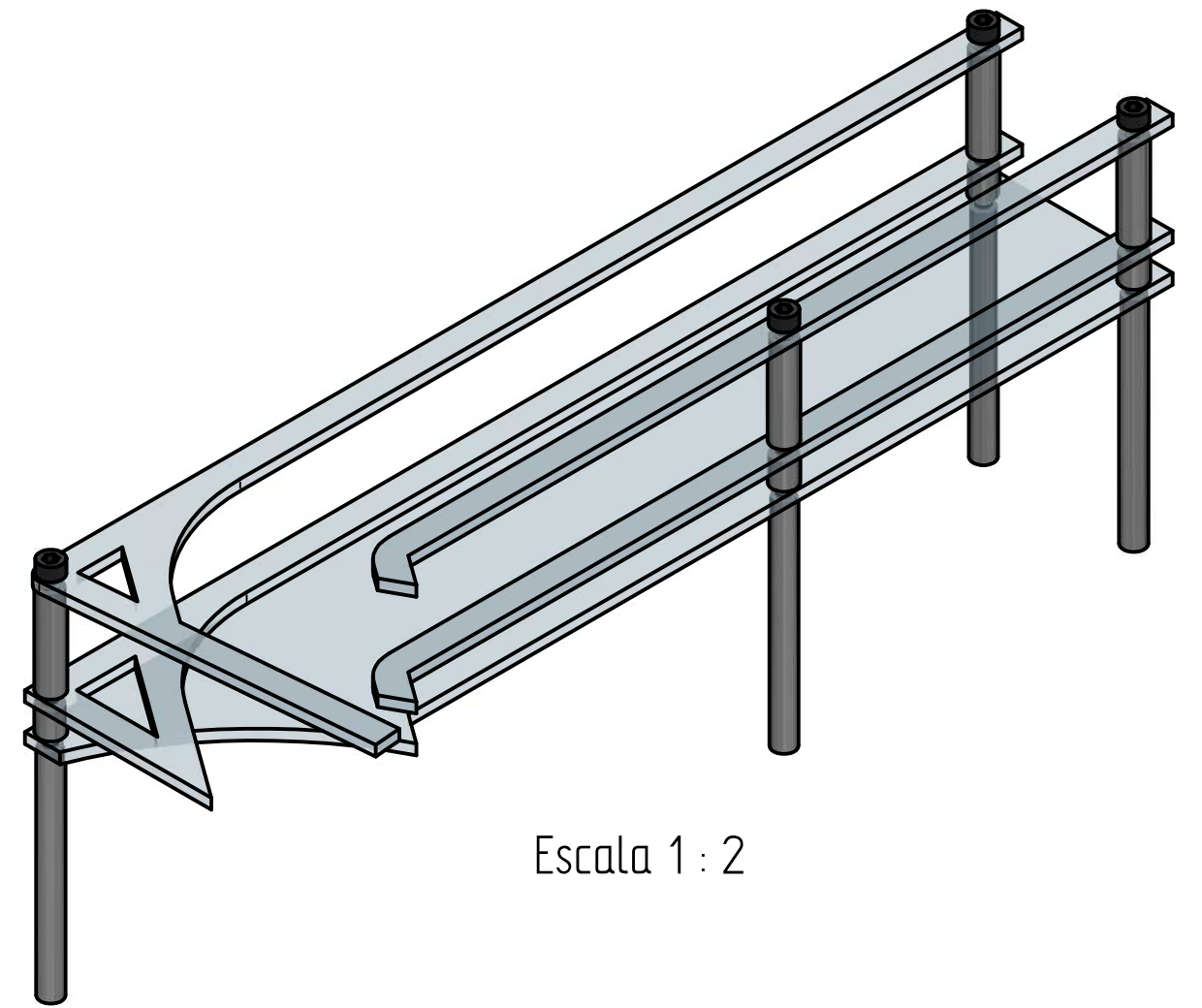
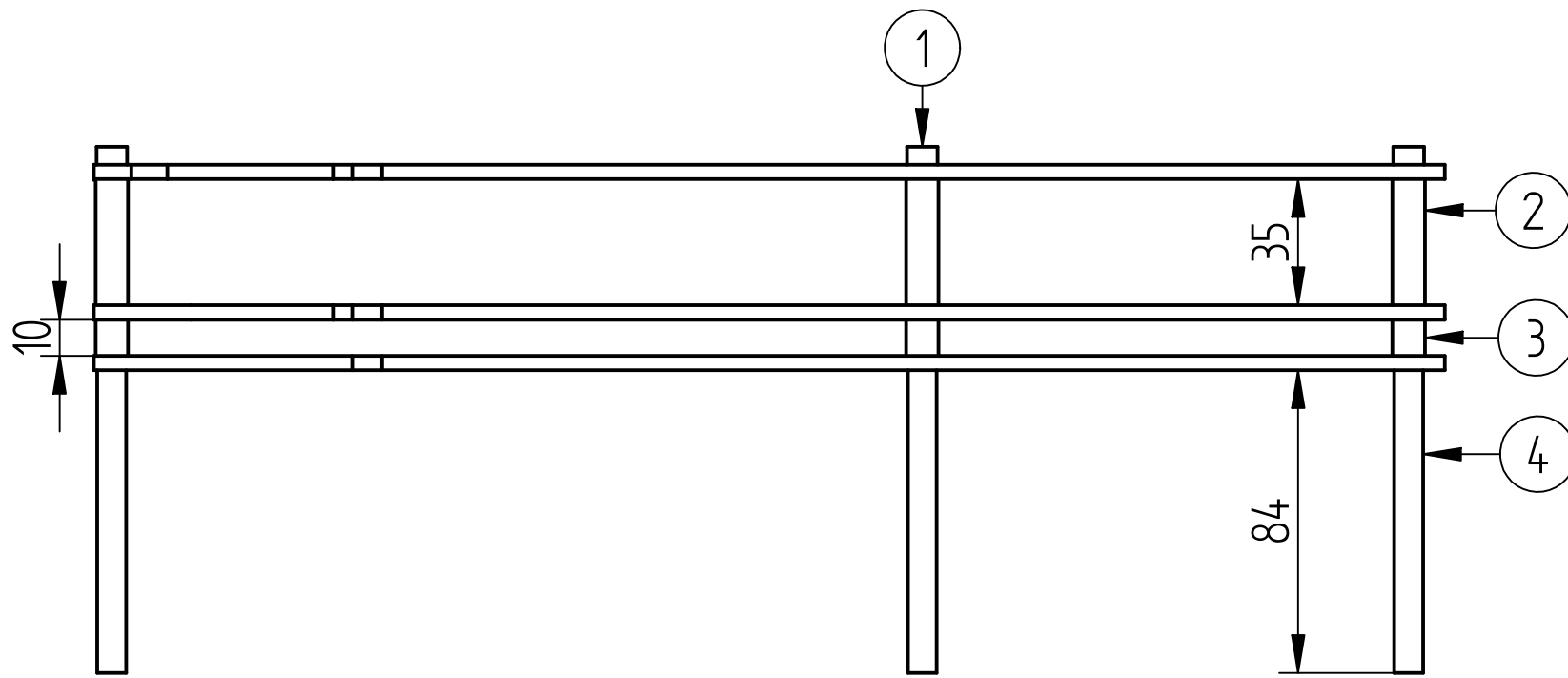
METODO DE PROYECCION:



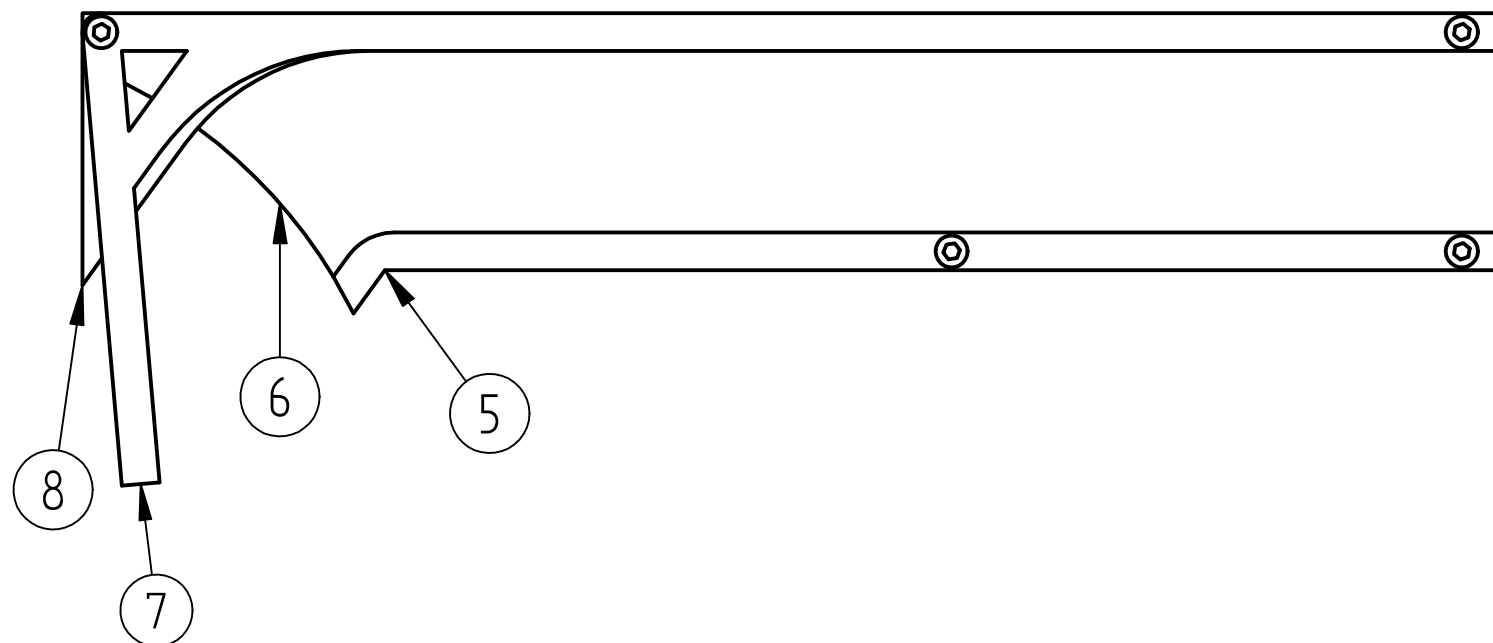
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL: ACRILICO	Barra_2_separador_dos - modelo2		Nº DIBUJO: 7 - 4

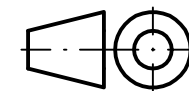


Escala 1 : 2



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	4	Perno Allen M5 x 70	DIN 912	12.9	
2	4	Separador_35mm_ext_9mm_int_5mm		CK-20	N8/
3	4	Separador_10mm_ext_9mm_int_5mm		CK-20	N8/
4	4	Soporte_84mm_M5x0.8-6H_20mm		CK-20	N8/
5	2	Barra_1_separador_dos		Acrilico	
6	1	Base_separador_dos		Acrilico	
7	1	Barra_2_separador_dos - modelo2		Acrilico	
8	1	Barra_2_separador_dos		Acrilico	

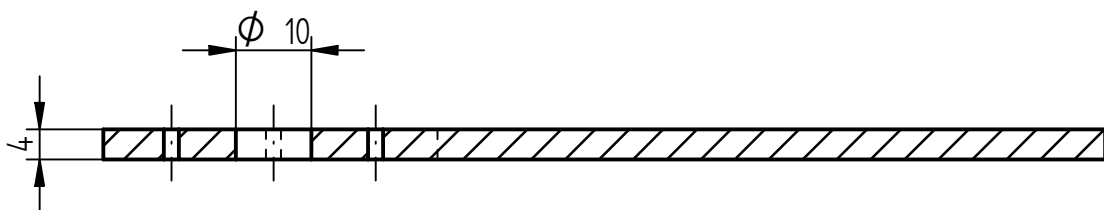
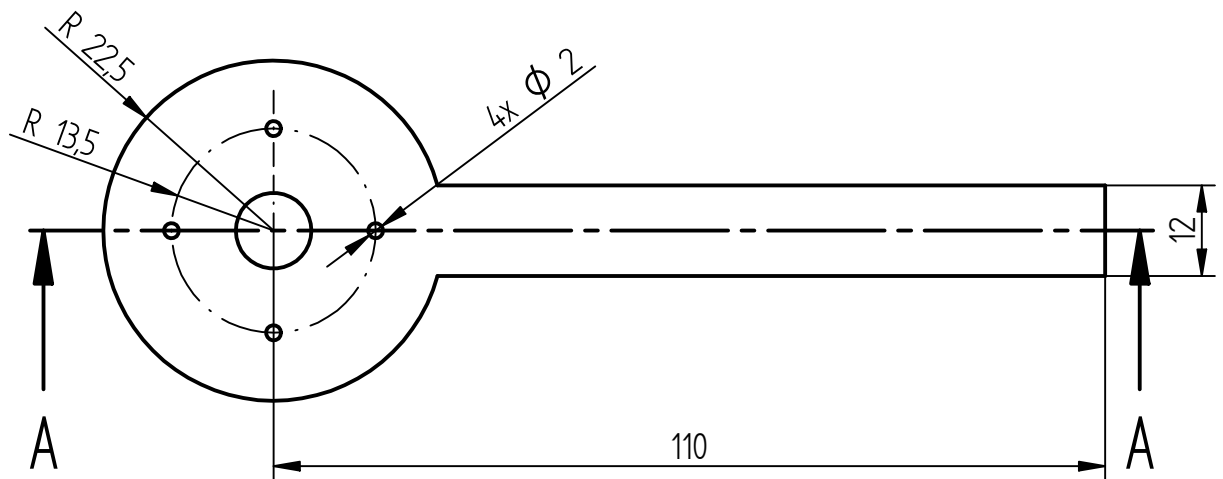
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA:	MATERIAL:	SEPARADOR_DOS		N° DIBUJO:
1 : 2				7 - 5



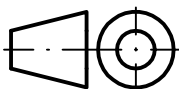
SECCION A-A

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

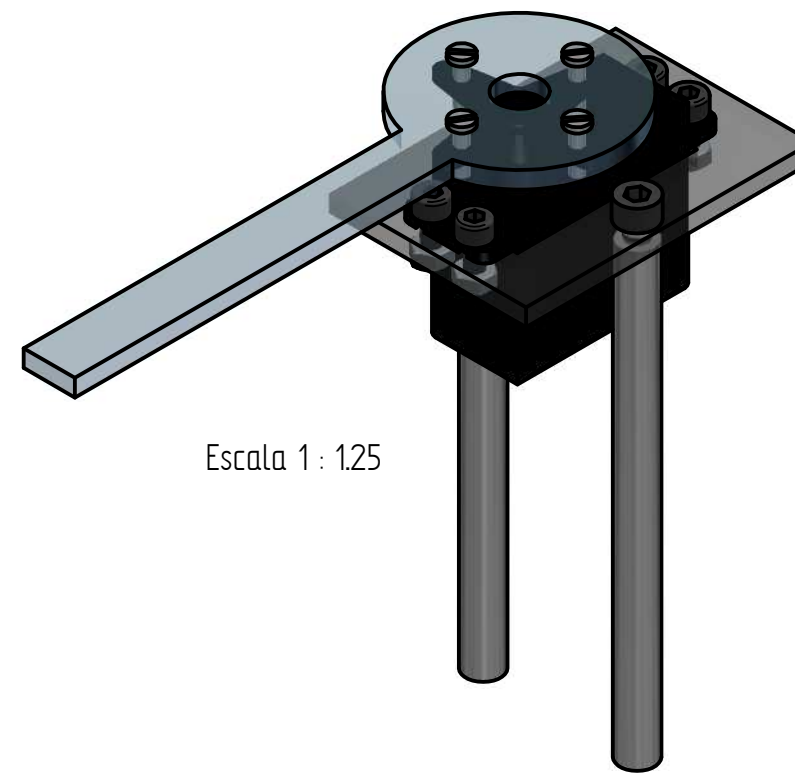
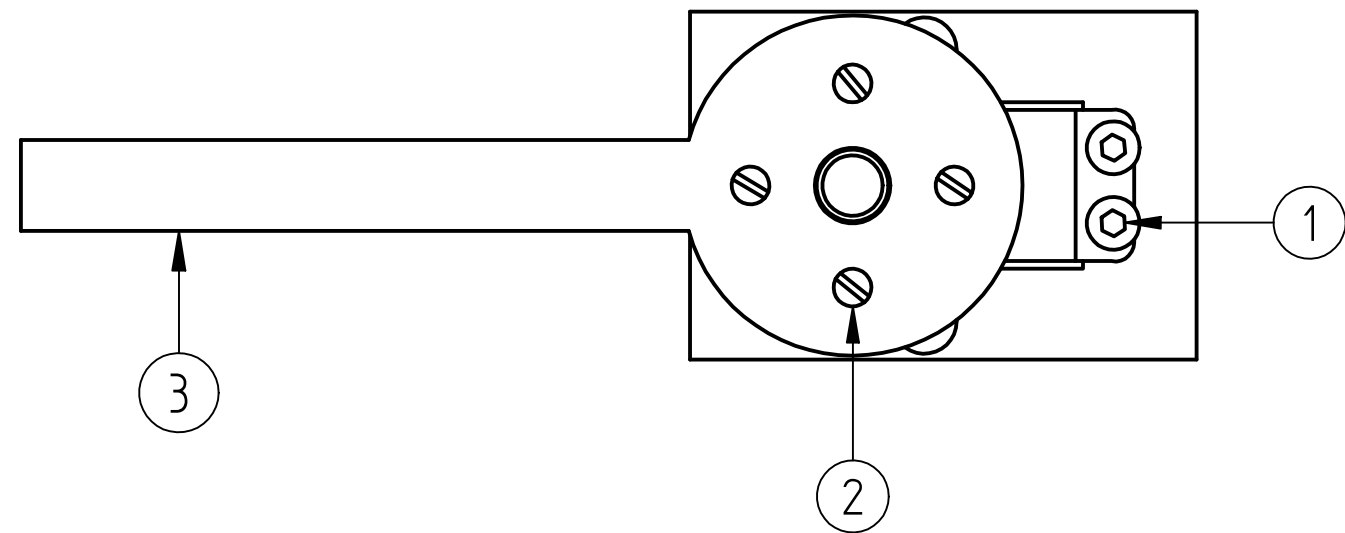
METODO DE PROYECCION:



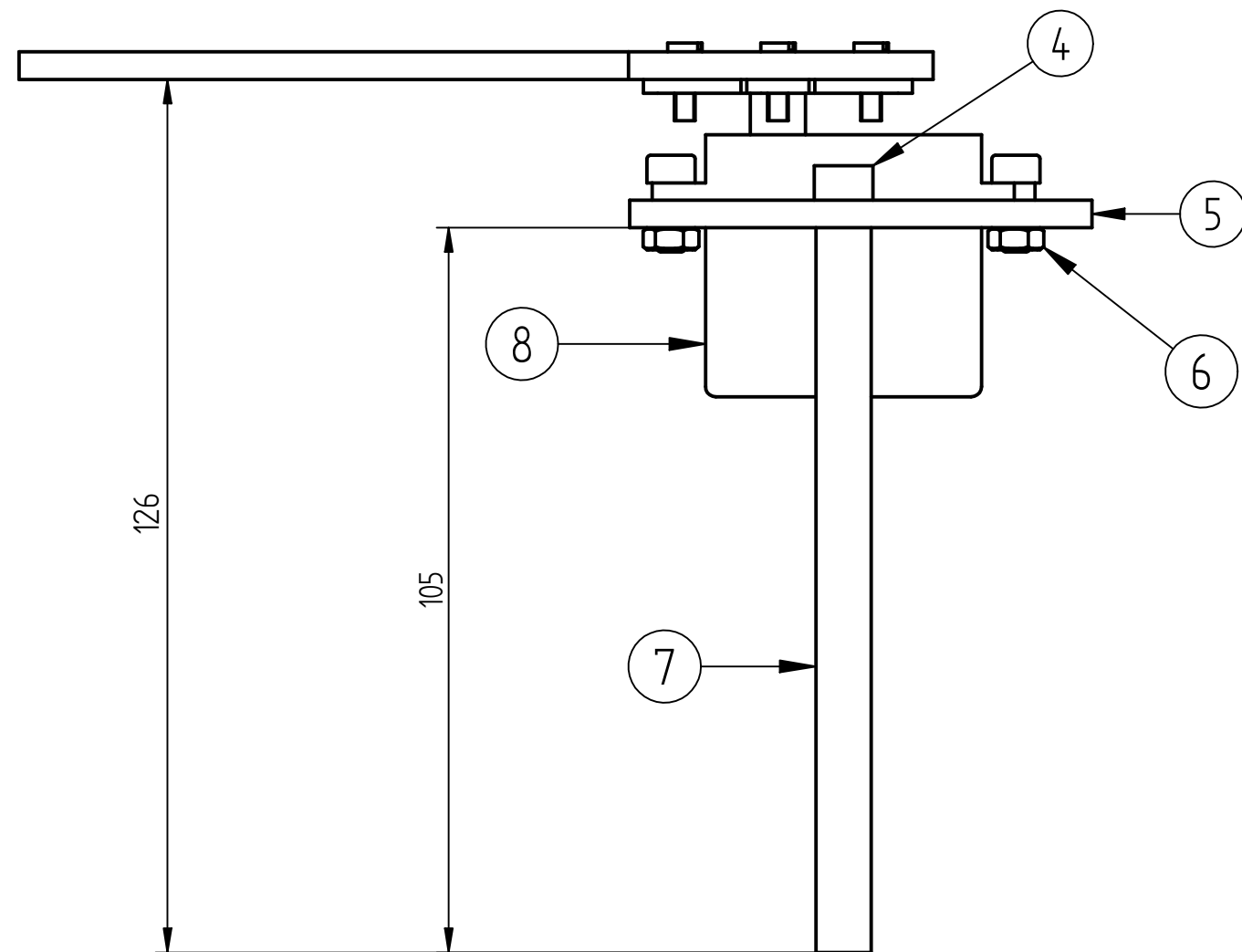
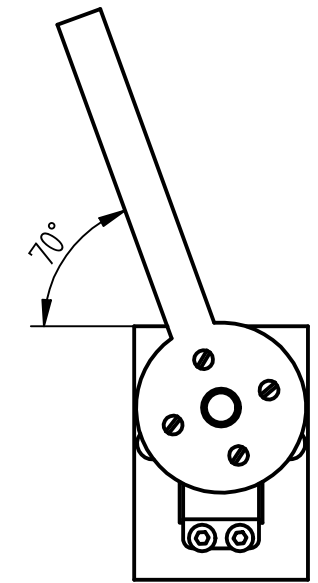
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1:1	MATERIAL: ACRILICO	Separador_botellas		Nº DIBUJO: 8 - 1

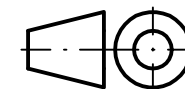


Control Servomotor
Posicion 0°



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	4	Perno Allen M4 x 10	DIN 912	8.8	
2	4	Tornillo M3 x 10	DIN 7985	4.8	
3	1	Separador_botellas		Acrylic	
4	2	Perno Allen M5 x 20	DIN 912	12.9	
5	1	Soporte_serv_principal_a_barra		Acrylic	
6	4	Tuerca Hexagonal M4	DIN 934	8	
7	2	Soporte_105mm_M5x0.8-6H_20mm		CK-20	$\frac{NS}{\nabla}$
8	1	Servo_360_encoder_parallax			SERVOMOTOR

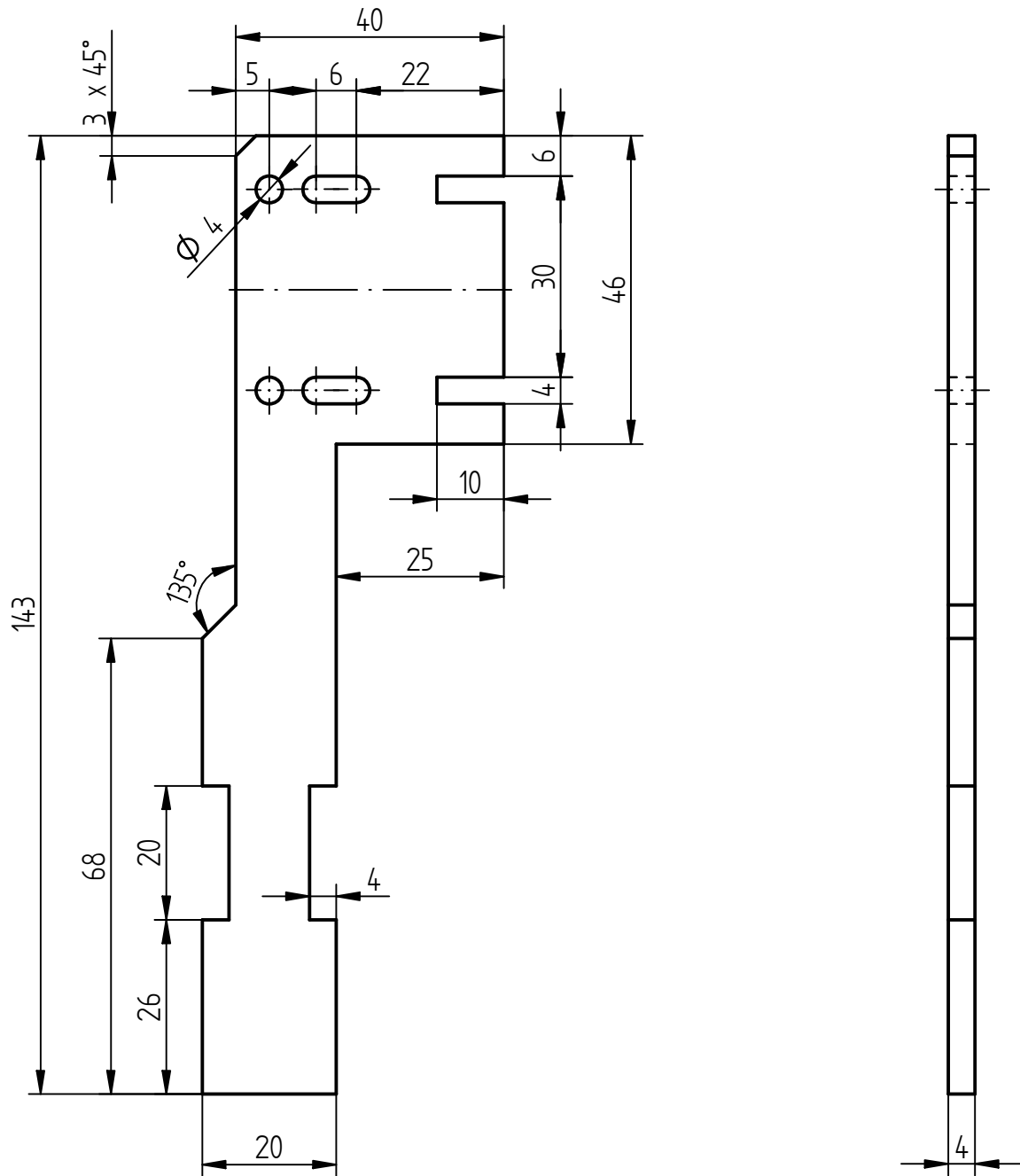
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

		FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL		A3
APROBADO:					
ESCALA:	1:1	MATERIAL:	BARRA_SEPARADOR		Nº DIBUJO: 8 - 2

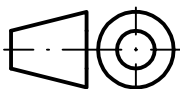


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

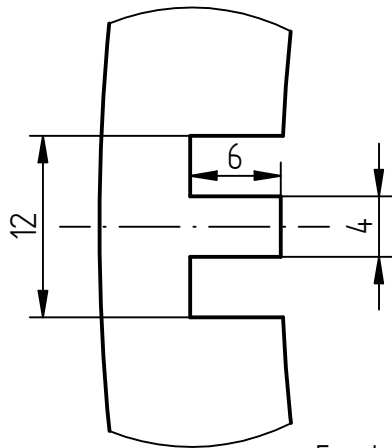
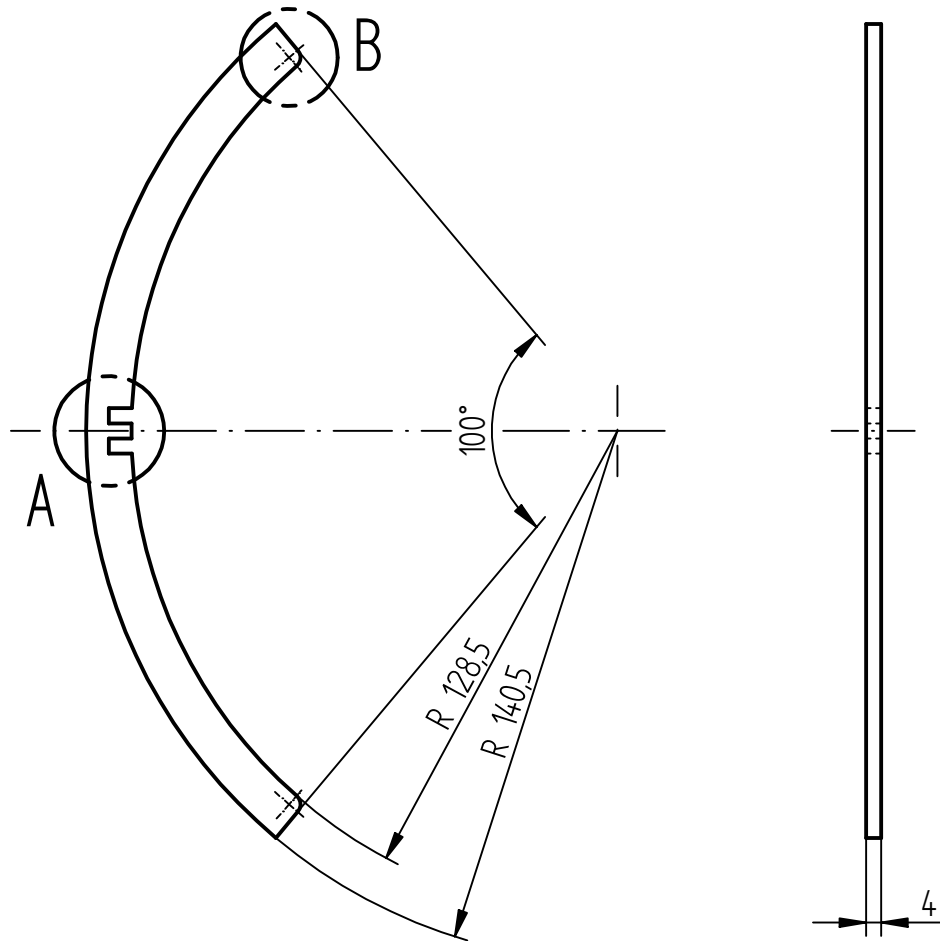
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

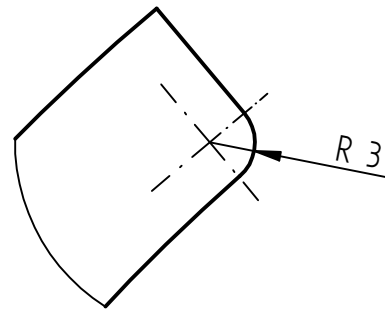
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1:1	MATERIAL: ACRILICO	Soporte_guiador		Nº DIBUJO: 9 - 1



Escala 2 : 1

DETALLE A



Escala 2 : 1

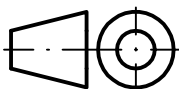
DETALLE B

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

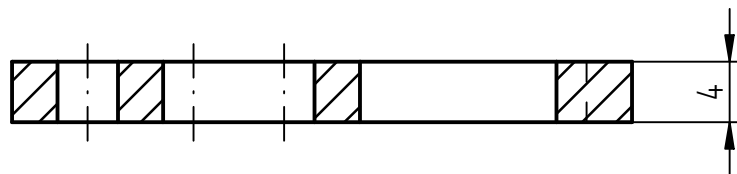
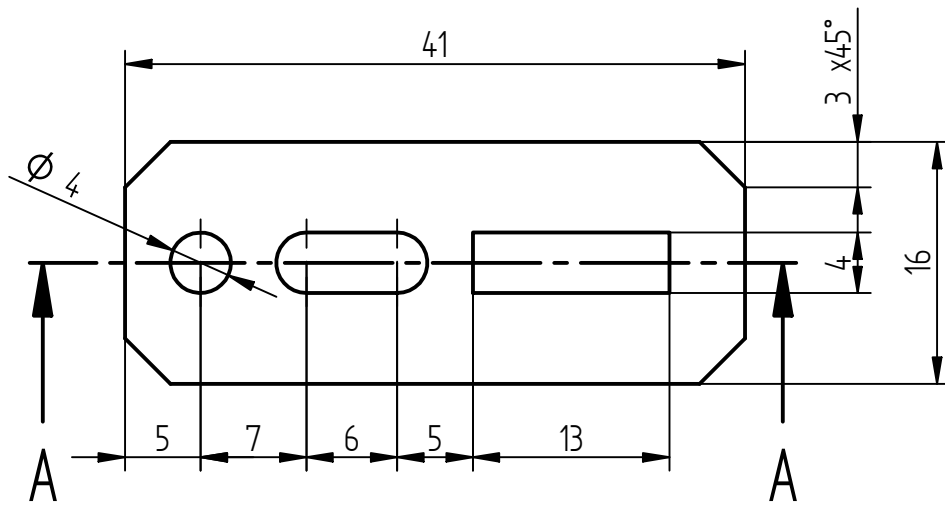
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL: ACRILICO	Guiador_seleccionado		Nº DIBUJO: 9 - 2



SECCION A-A

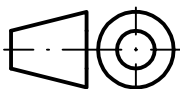
Escala 2 : 1

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL

A4

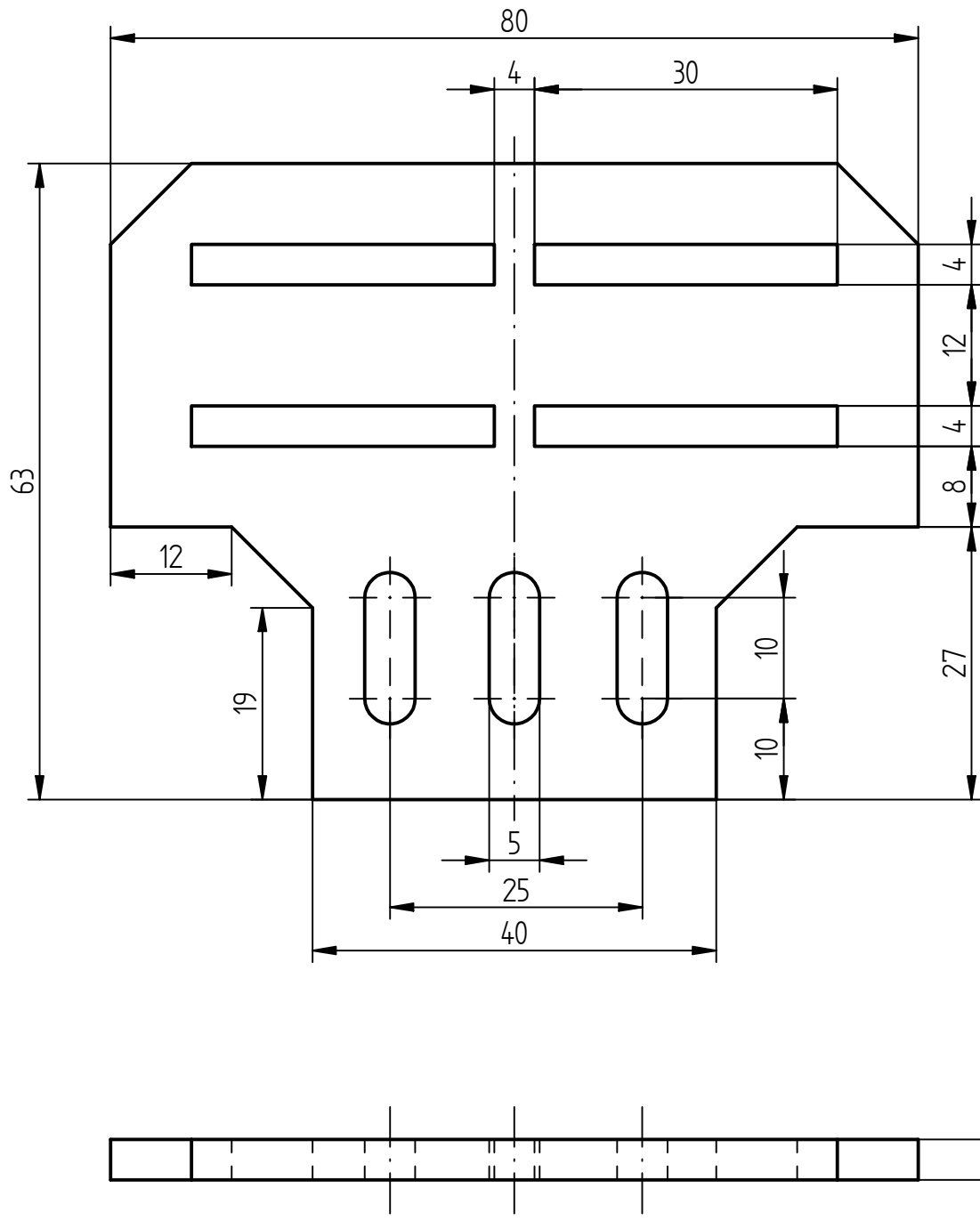
APROBADO:

ESCALA
2 : 1

MATERIAL:
ACRILICO

Sujetador_guiador_x4

Nº DIBUJO:
9 - 3

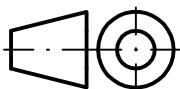


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL

A4

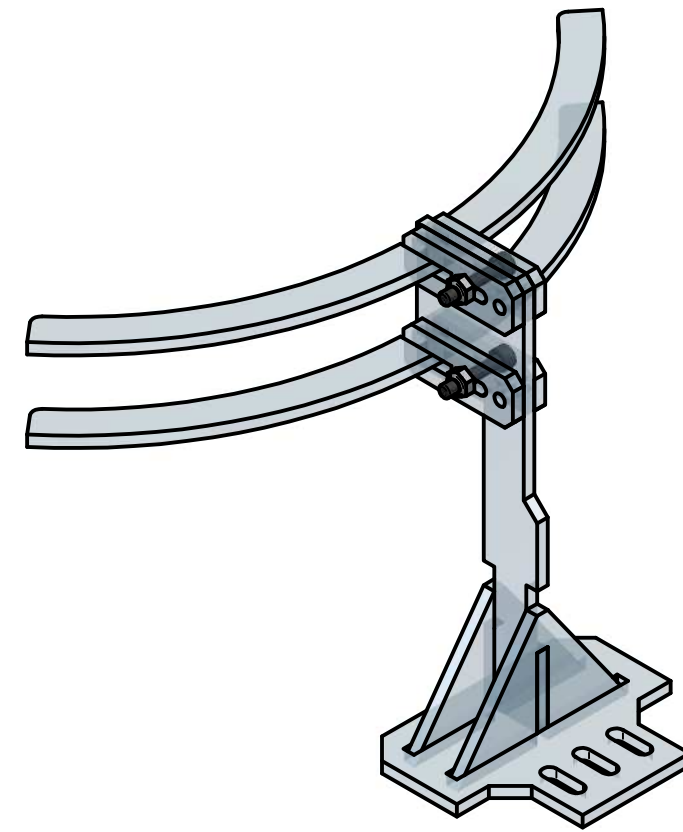
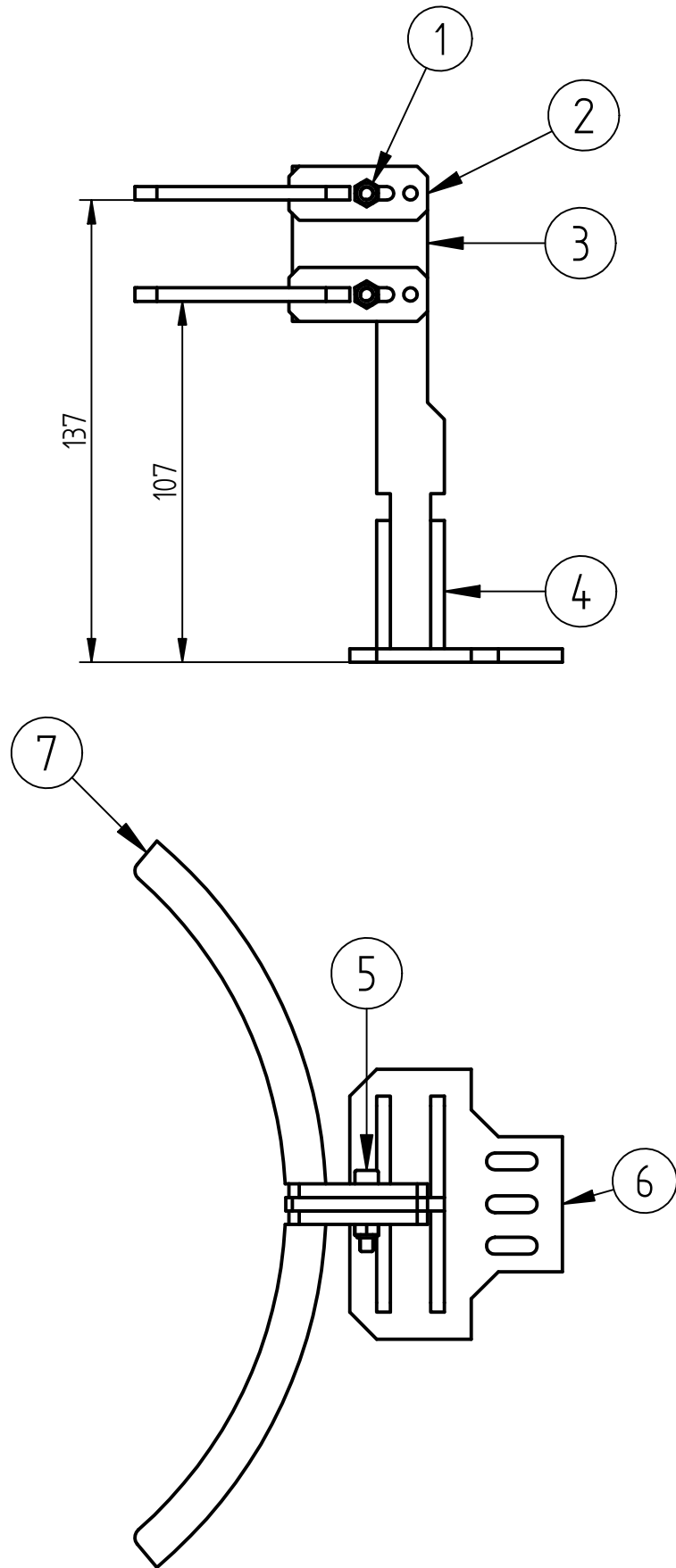
APROBADO:

ESCALA
1.5 : 1

MATERIAL:
ACRILICO

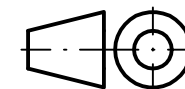
Base_guiador

Nº DIBUJO:
9 - 4



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	2	Tuerca Autobloquante M4	DIN 982	8	
2	4	Sujetador_guiador_x4		Acilico	
3	1	Soporte_guiador		Acilico	
4	2	Triangulo_soporte_camara de base		Acilico	
5	2	Perno Allen M4 x 20	DIN 912	8.8	
6	1	Base_guiador		Acilico	
7	2	Guiador_seleccionado		Acilico	

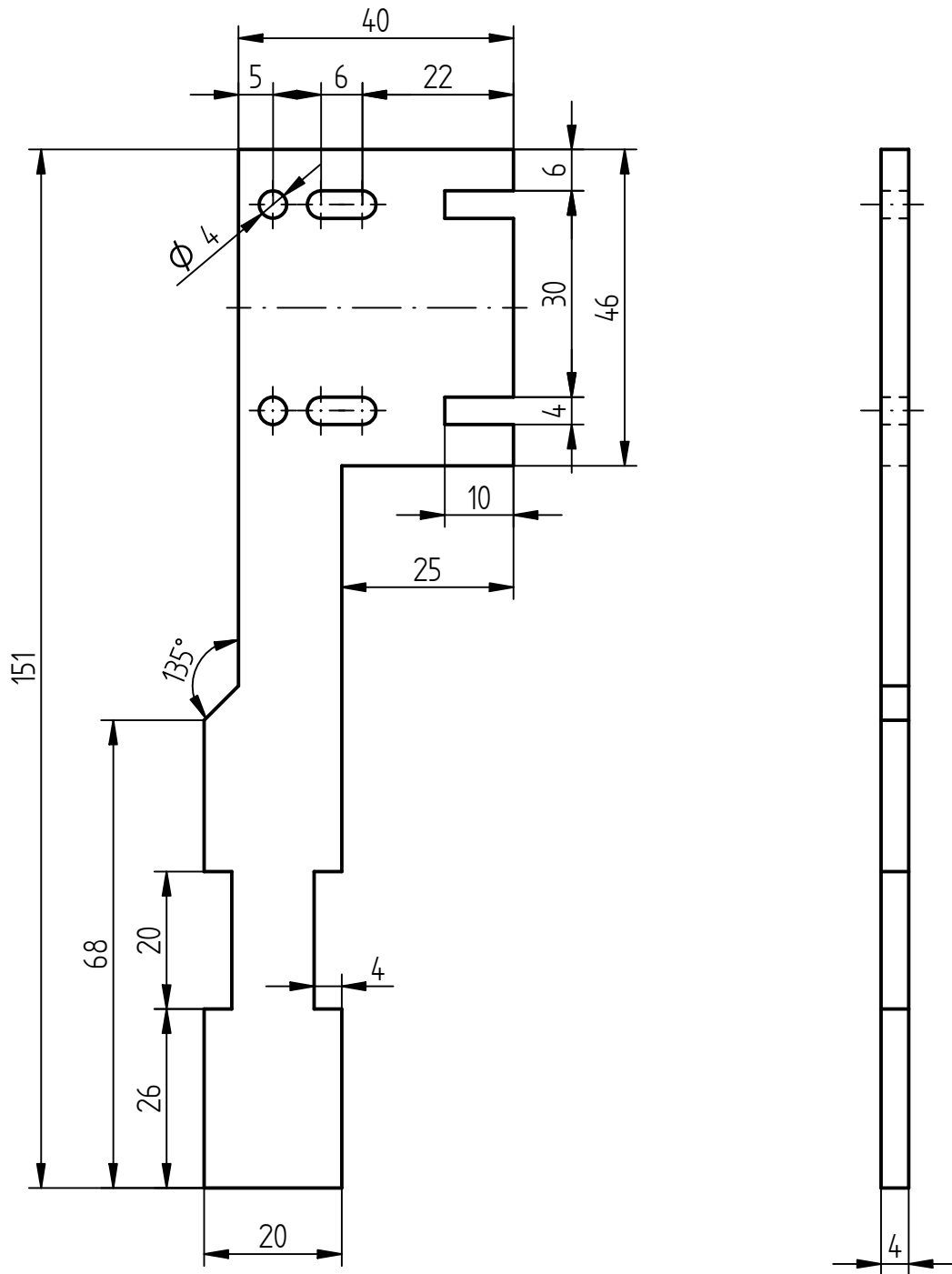
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA:	MATERIAL:	ENSAMBLE_GUIADOR_1		Nº DIBUJO:
1:2				9 - 5

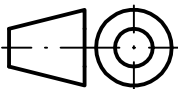


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL

A4

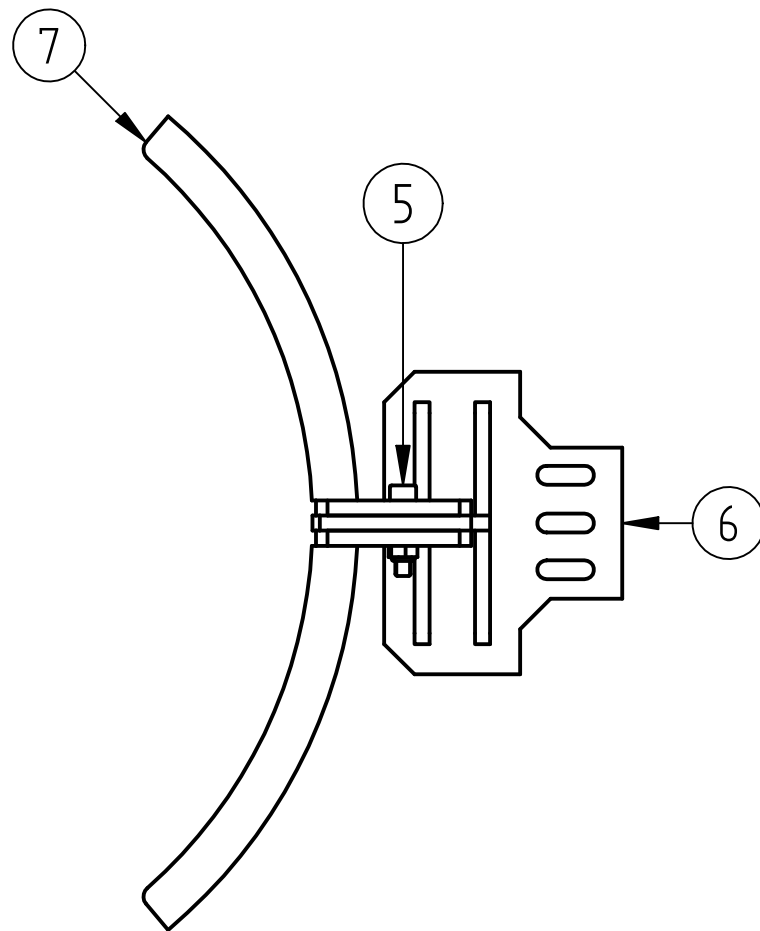
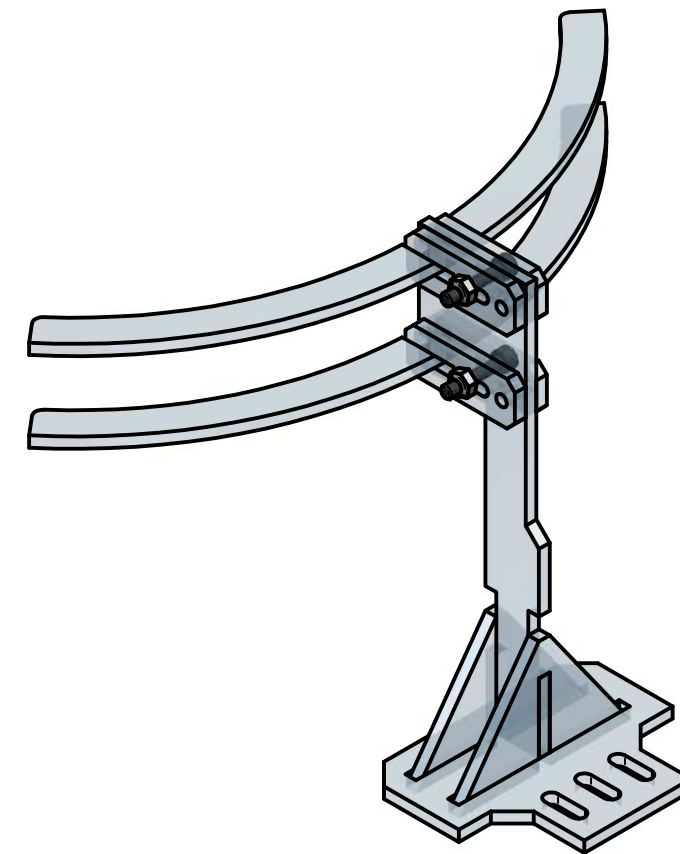
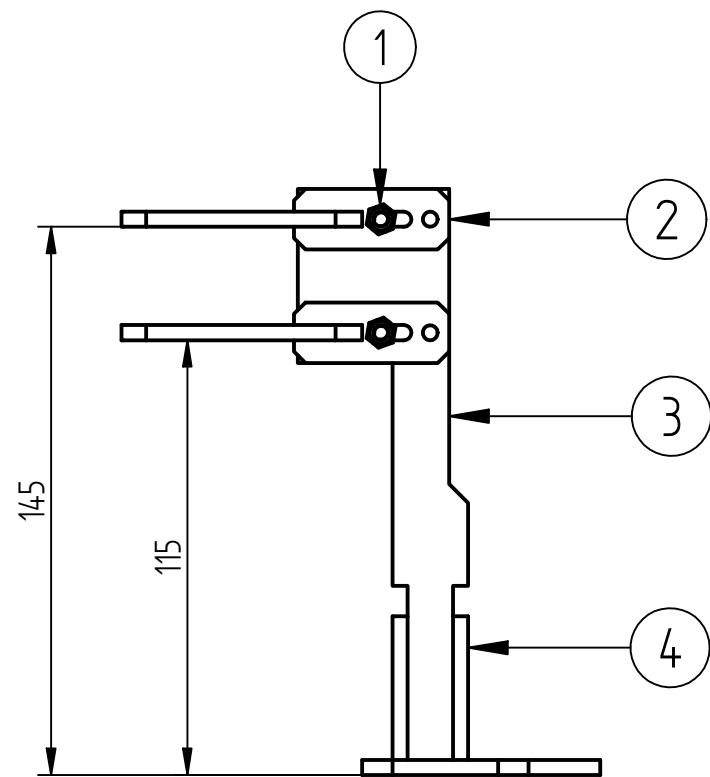
APROBADO:

ESCALA
1 : 1

MATERIAL:
ACRILICO

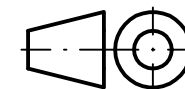
Soporte_guiador_mod_2

Nº DIBUJO:
10 -1



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	2	Tuerca Autoblocante M4	DIN 982	8	
2	4	Sujetador_guiador_x4		Acrilico	
3	1	Soporte_guiador_mod_2		Acrilico	
4	2	Triangulo_soporte_camara de base		Acrilico	
5	2	Perno Allen M4 x 20	DIN 912	8.8	
6	1	Base_guiador		Acrilico	
7	2	Guiador_seleccionado		Acrilico	

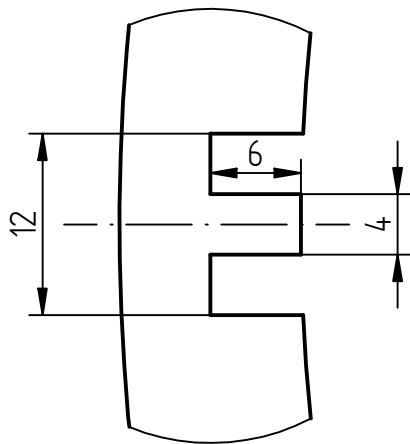
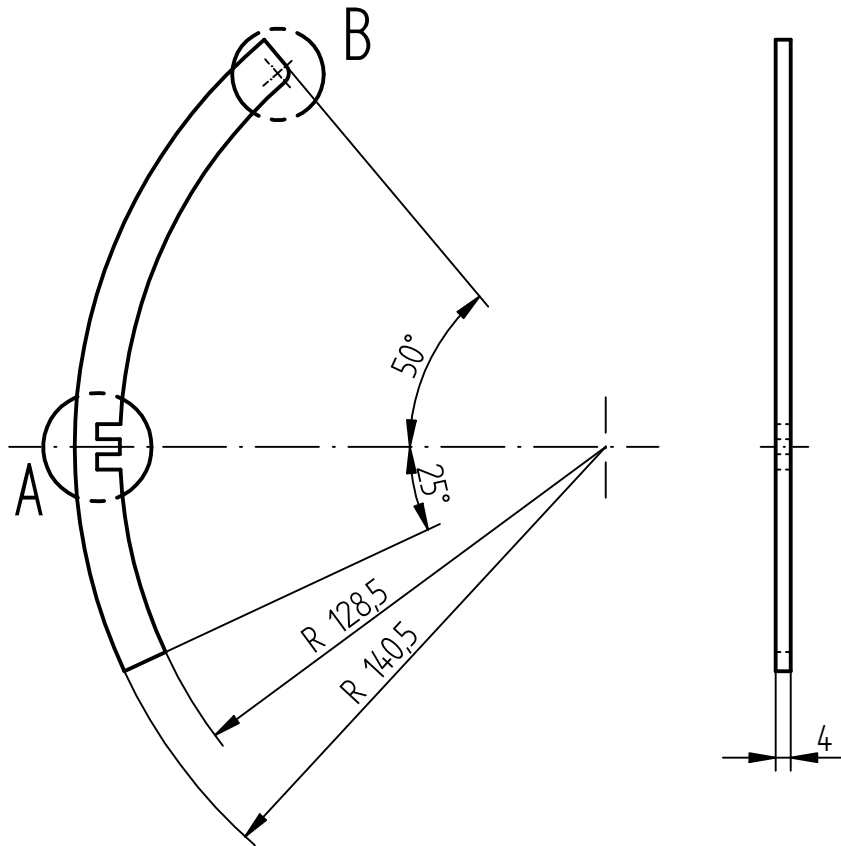
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

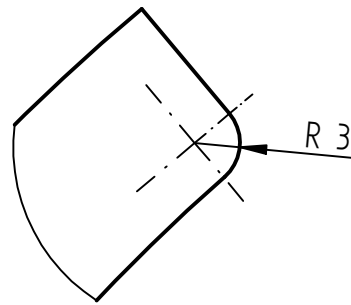
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

		FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCaneo LINEAL		A3
APROBADO:					
ESCALA	MATERIAL:	ENSAMBLE_GUIADOR_2			Nº DIBUJO:
1:2					10 - 2



Escala 2 : 1

DETALLE A



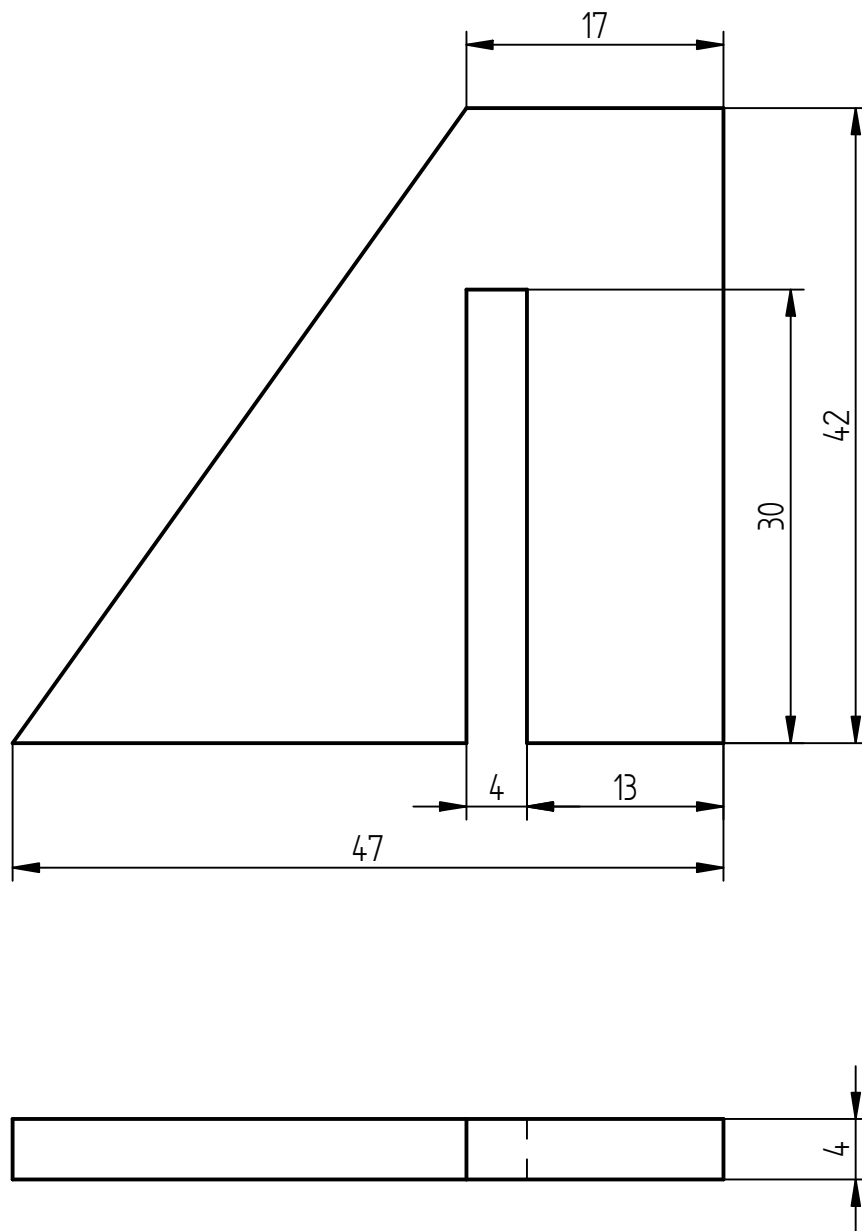
Escala 2 : 1

DETALLE B

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	SISTEMA DE VISION CON CÁMARA LINEAL	A4
Dibujado:	09/11/18	Christian V. H.		
Revisado:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL: ACRILICO	Guiador_seleccionado_antes_inspe		LAMINA: 11 -1

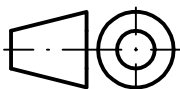


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

NOMBRE:
Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL

A4

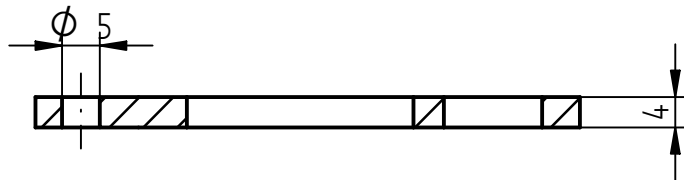
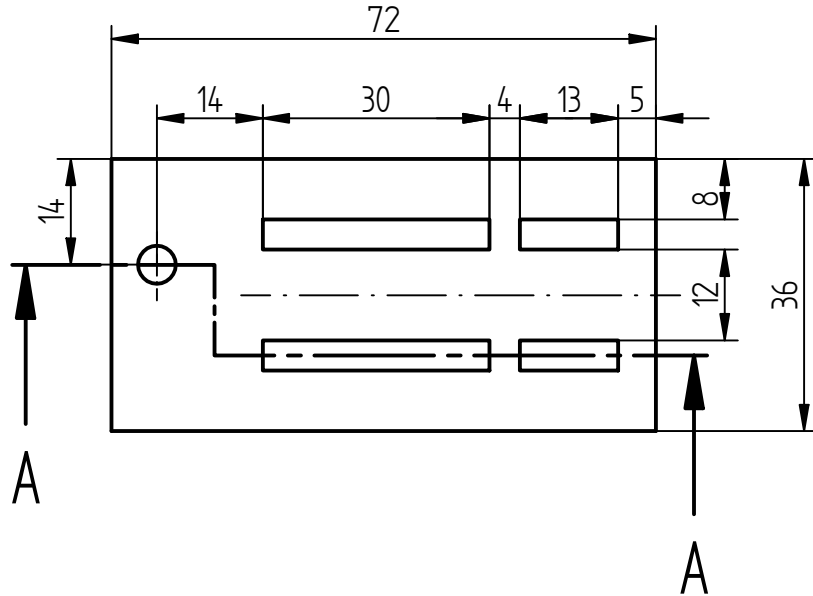
APROBADO:

ESCALA
2 : 1

MATERIAL:
ACRILICO

Triangulo_soporte_antes_inspe

Nº DIBUJO:
11 - 2



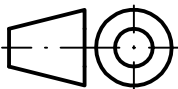
SECCION A-A

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

FECHA

NOMBRE:

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA

LAMINA:

DIBUJADO:

09/11/18

Christian V. H.

SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL

A4

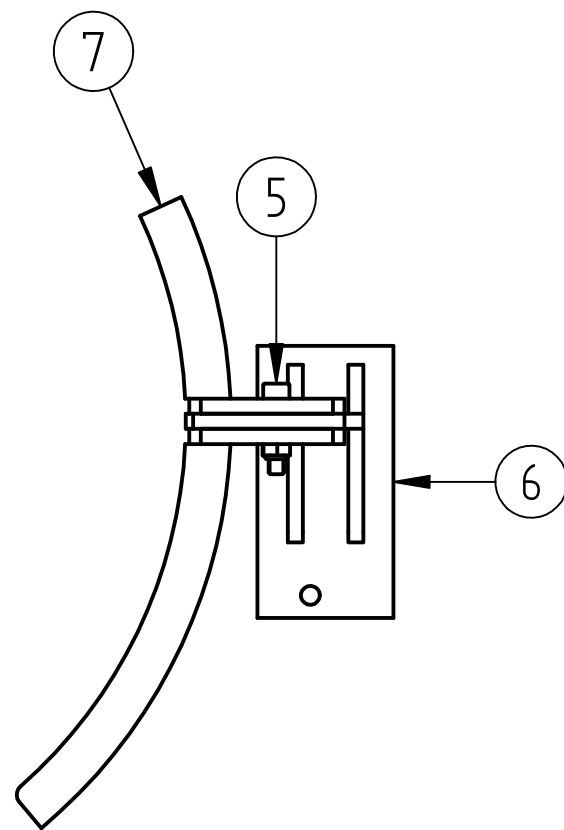
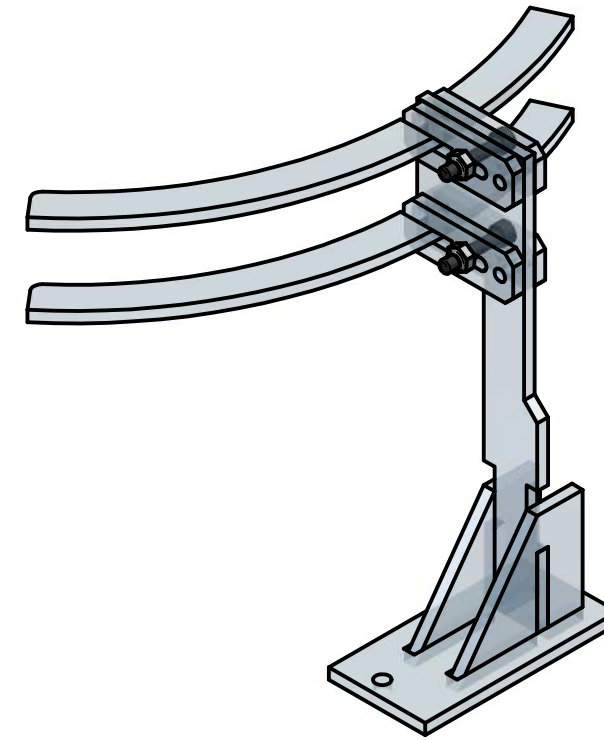
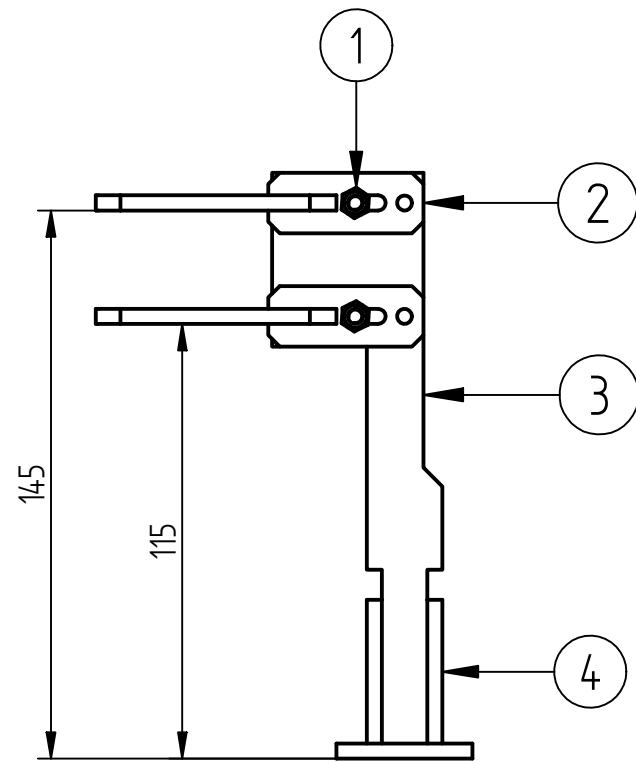
APROBADO:

ESCALA
1 : 1

MATERIAL:
ACRILICO

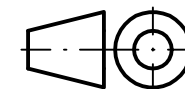
Base_guiador_antes_inspe

Nº DIBUJO:
11 - 3



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	2	Tuerca Autobloquante M4	DIN 982	8	
2	4	Sujetador_guiador_x4		Acrilico	
3	1	Soporte_guiador_mod_2		Acrilico	
4	2	Triangulo_soporte_antes_inspe		Acrilico	
5	2	Perno Allen M4 x 20	DIN 912	8.8	
6	1	Base_guiador_antes_inspe		Acrilico	
7	2	Guiador_seleccionado_antes_inspe		Acrilico	

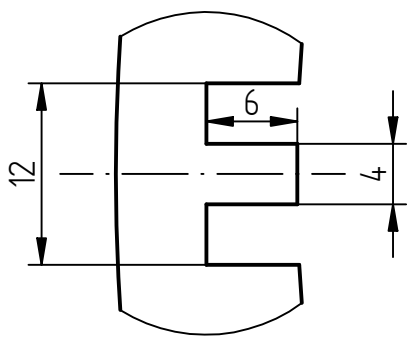
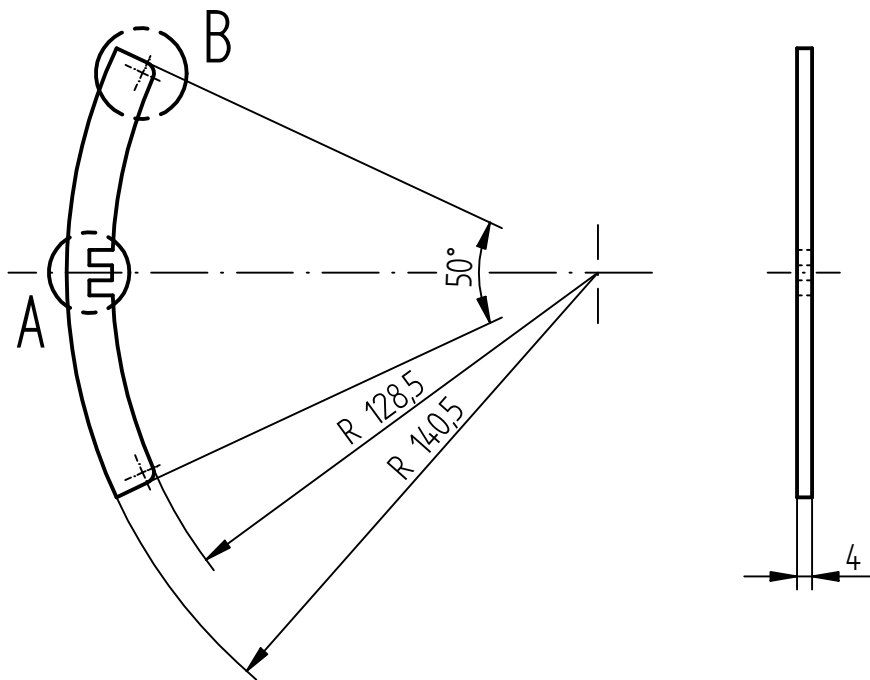
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

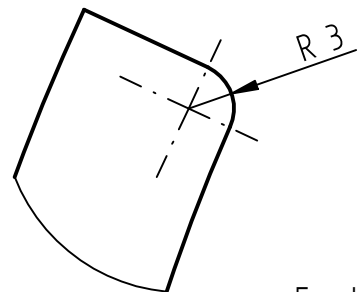
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCaneo LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA:	MATERIAL:	ENSAMBLE_GUIADOR_ANTES_INSPE		Nº DIBUJO:
1:2				11 - 4



Escala 2 : 1

DETALLE A



Escala 2 : 1

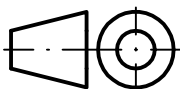
DETALLE B

ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

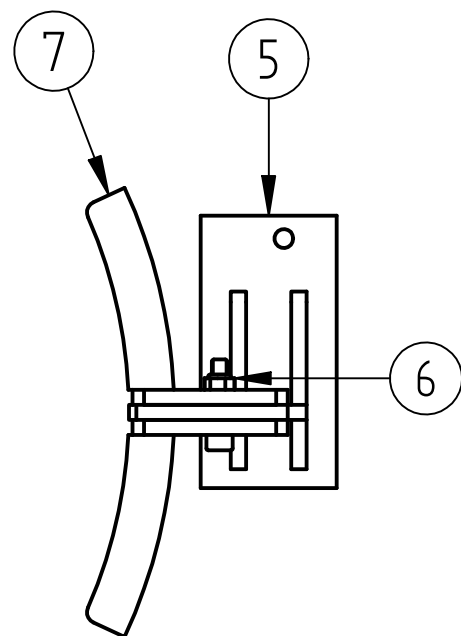
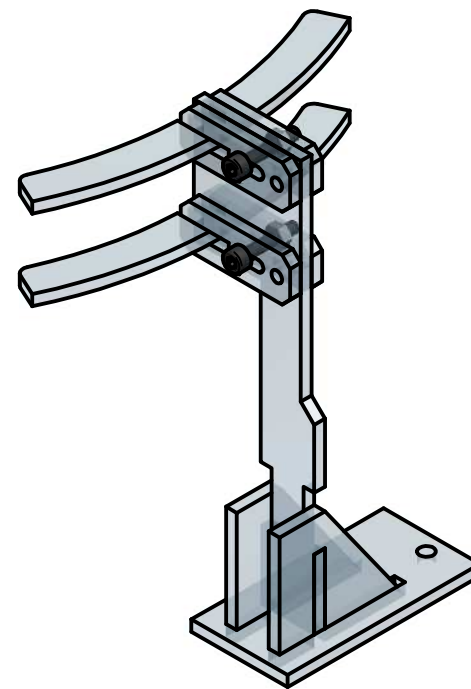
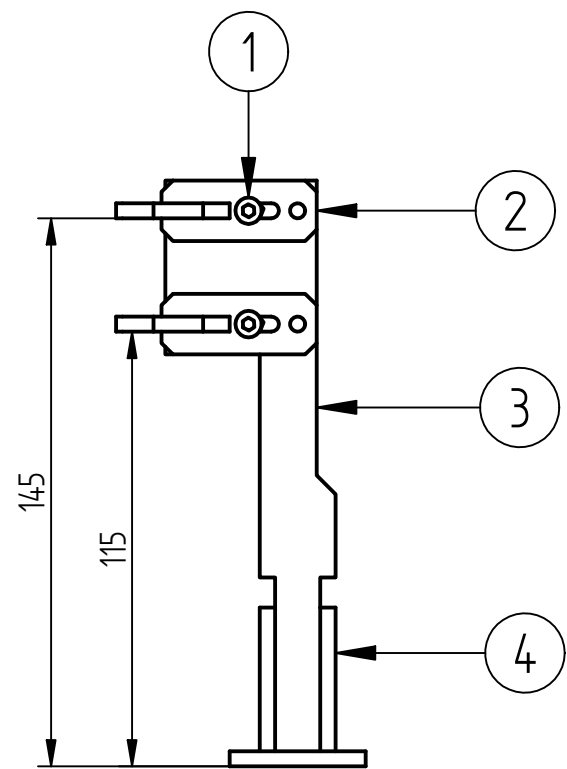
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

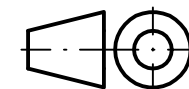
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANE0 LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 2	MATERIAL: ACRILICO	Guiador_seccionado_despues_inspe		Nº DIBUJO: 12 - 1



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	2	Perno Allen M4 x 20	DIN 912	8.8	
2	4	Sujetador_guiador_x4		Acrilico	
3	1	Soporte_guiador_mod_2		Acrilico	
4	2	Triangulo_soporte_antes_inspe		Acrilico	
5	1	Base_guiador_antes_inspe		Acrilico	
6	2	Tuerca Autoblocante M4	DIN 982	8	
7	2	Guiador_seccionado_despues_inspe		Acrilico	

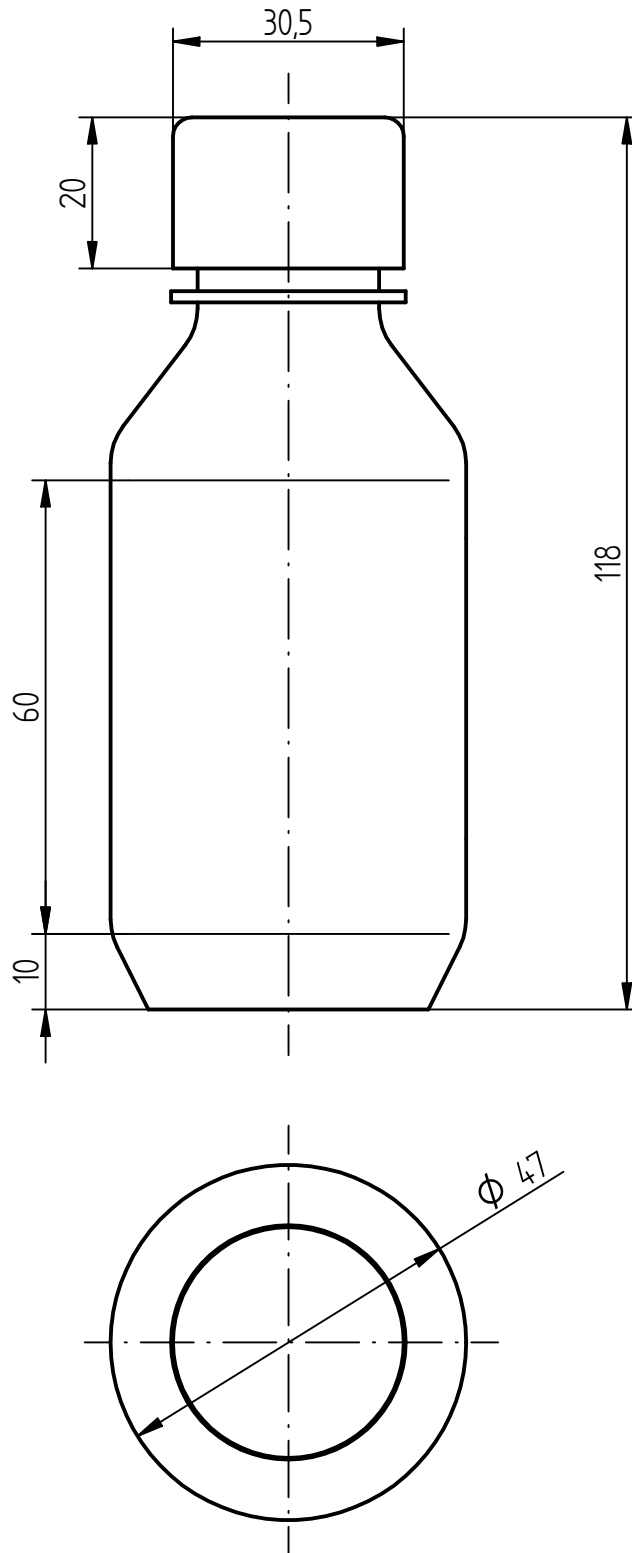
METODO DE PROYECCION:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCaneo LINEAL	A3
APROBADO:				
ESCALA 1:2	MATERIAL:	ENSAMBLE_GUIADOR_DESPUES_INSPE		Nº DIBUJO: 12 - 2

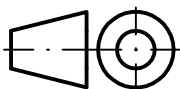


ACABADO SUPERFICIAL:

TOLERANCIA GENERAL:

DIN ISO 2768 - MEDIO

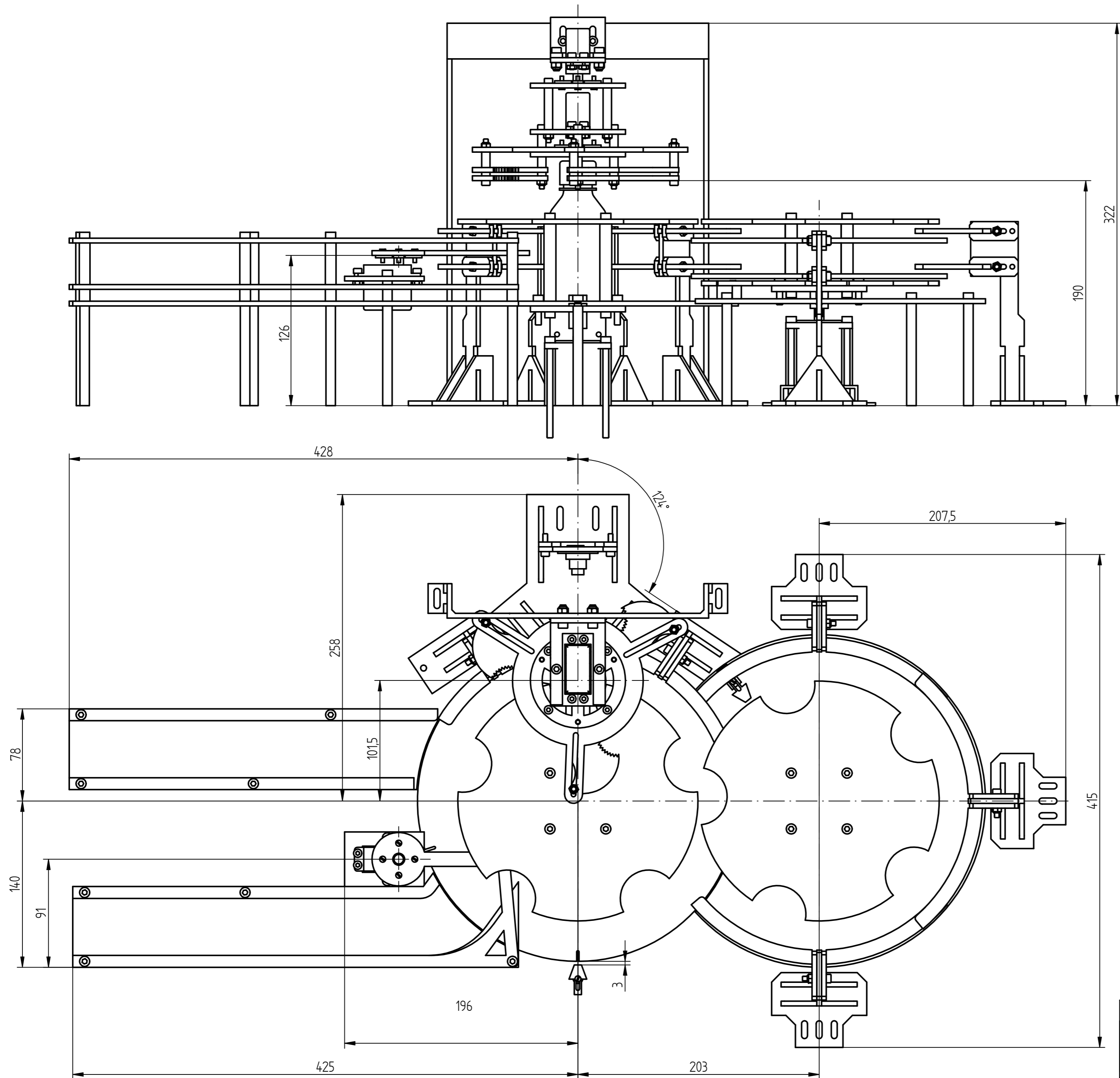
METODO DE PROYECCION:



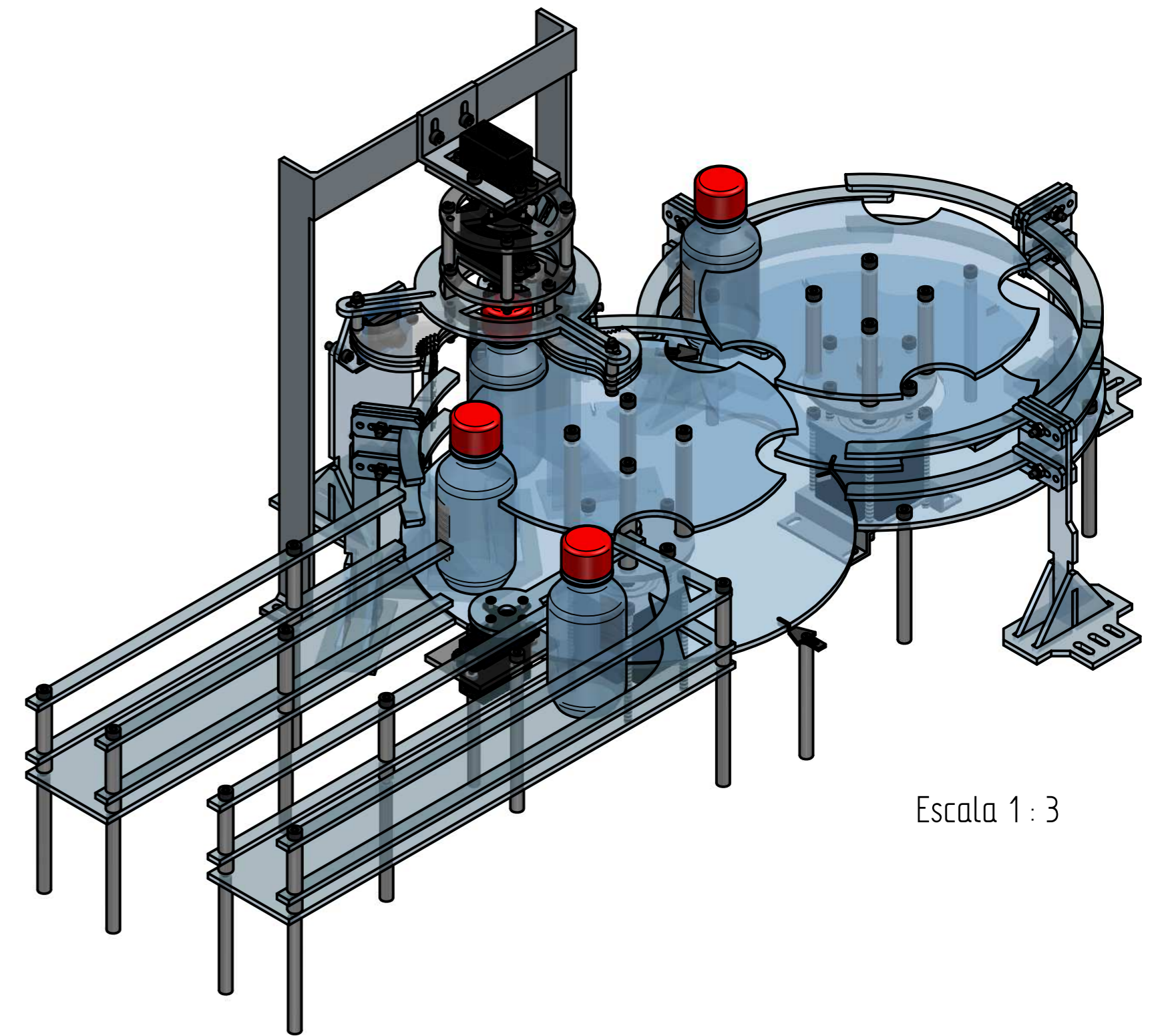
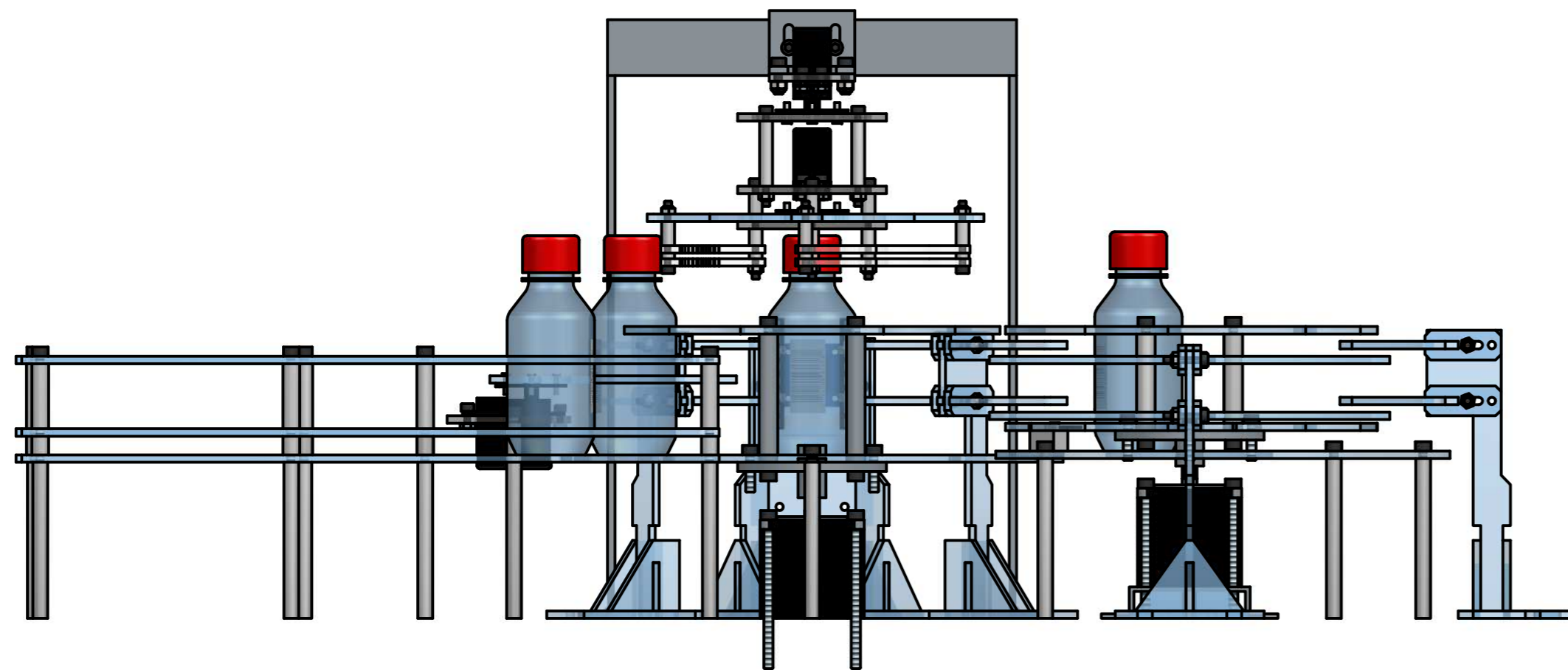
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

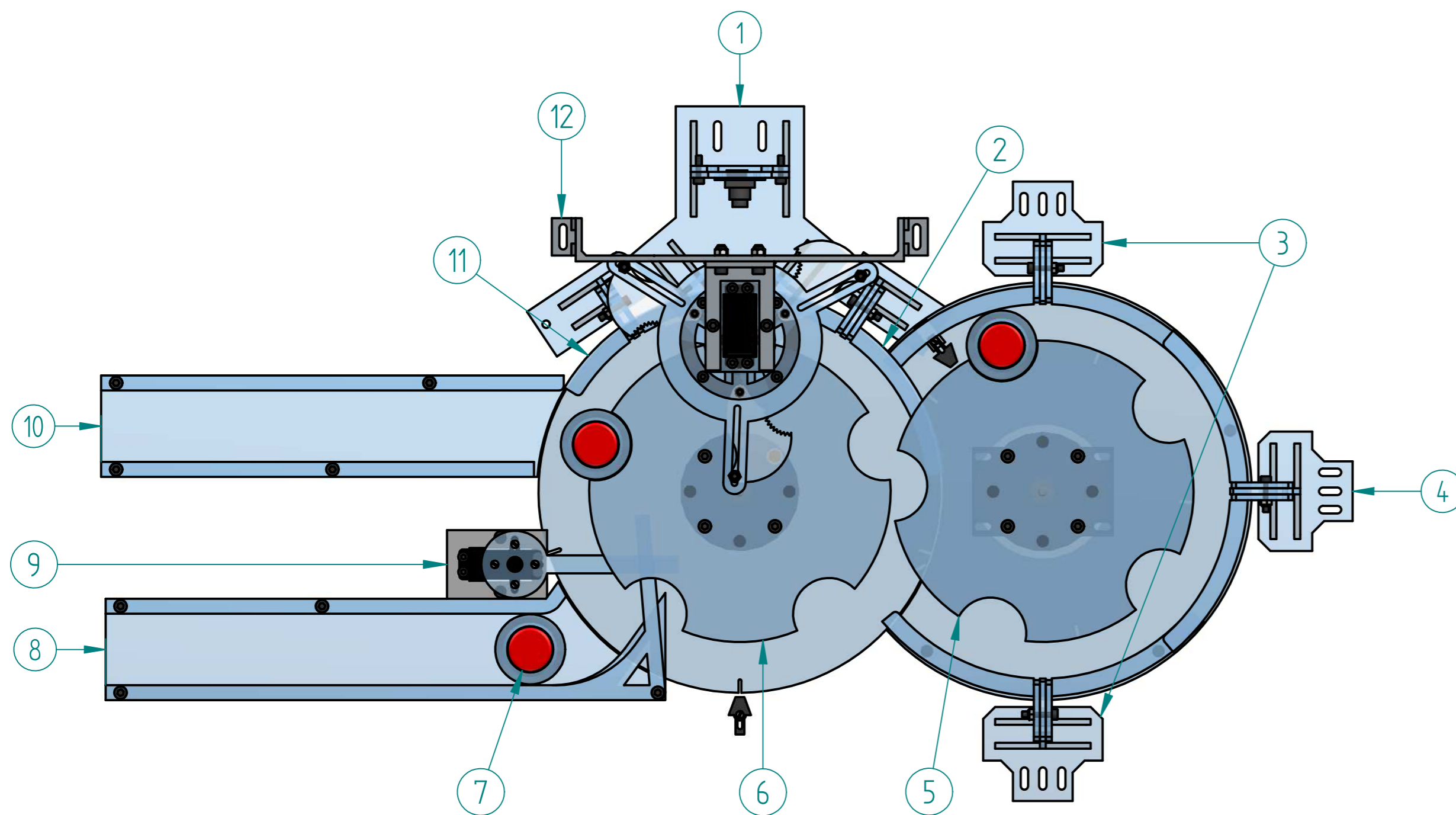
	FECHA	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA	LAMINA:
DIBUJADO:	09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEO LINEAL	A4
APROBADO:				
ESCALA 1 : 1	MATERIAL: PLASTICO	Envase		Nº DIBUJO: 13 - 1



ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIA GENERAL: DIN ISO 2768 - MEDIO		
METODO DE PROYECCION:		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA		
				
DIBUJADO:	FECHA:	NOMBRE:	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCANEEO LINEAL	LAMINA:
APROBADO:	09/11/18	Christian V. H.		A2
ESCALA:	SUB-ENSAMBLES LINE SCAN			Nº DIBUJO:
1:25				13 - 2



Escala 1:3



IT	QT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACION
1	1	MONTAJE DE CAMARA E ILUMINACION			SUB-ENSAMBLE
2	1	ENSAMBLE_GUIADOR_ANTES_INSPE			SUB-ENSAMBLE
3	2	ENSAMBLE_GUIADOR_1			SUB-ENSAMBLE
4	1	ENSAMBLE_GUIADOR_2			SUB-ENSAMBLE
5	1	ALIMENTADOR 1			SUB-ENSAMBLE
6	1	ALIMENTADOR 2			SUB-ENSAMBLE
7	4	ENVASE			OBJ. INSPECC.
8	1	SEPARADOR_DOS			SUB-ENSAMBLE
9	1	BARRA_SEPARADOR			SUB-ENSAMBLE
10	1	SEPARADOR_1			SUB-ENSAMBLE
11	1	ENSAMBLE_GUIADOR_DESPUES_INSPE			SUB-ENSAMBLE
12	1	ENSAMBLE SISTEMA SUJECION ENVASE			SUB-ENSAMBLE

METODO DE PROYECCION:		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		
		FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES		
FECHA:	NOMBRE:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECATRONICA		LAMINA:
DIBUJADO: 09/11/18	Christian V. H.	SISTEMA DE VISION CON CAMARA ESCaneo LINEAL		A2
APROBADO:	MATERIAL:	ENSAMBLE LINE SCAN		Nº DIBUJO:
ESCALA: 1:3				13 - 3