

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño y construcción de un brazo robótico con visión artificial

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Marcelo S. Brito Arrieta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Deo Optimo Maximo;

A la memoria del Dr. Francisco Arsenio Cobo Espinoza, quien inculcó mi gusto por los libros, el conocimiento y la autodidaxia.

A mi tía Verónica, por toda su paciencia y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo durante la realización de mis estudios.

A mis hermanos por su tiempo y confianza.

A mis abuelitas Judith y Bertita por su cariño y consejos.

A mi tía Verónica por su incondicionalidad.

Finis coronat opus

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Marcelo S. Brito Arrieta* doy mi consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



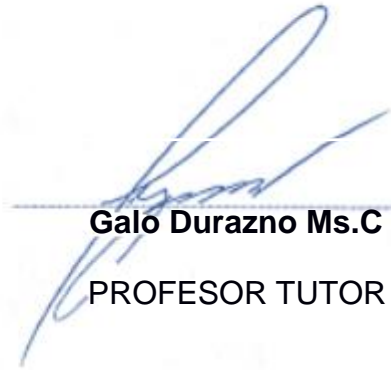
Marcelo S. Brito Arrieta

EVALUADORES

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'F' and 'L' with several vertical lines in the center.

Francis Loayza P. Ph.D

PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, sweeping 'G' and 'D'.

Galo Durazno Ms.C

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Utilizando tecnología de inteligencia artificial se puede hacer un estudio de tiempo y movimientos de manera automática. Debido a que el sistema no hace uso de sensores ni marcadores de posición, es necesario de un equipo con visión artificial que siga a la persona de interés en su zona de trabajo. Por este motivo se plantea como solución la construcción de un brazo robótico que utilice visión artificial para rastrear a la persona y seguirla.

Se utilizó OpenCV para el programa de visión artificial, la plataforma de programación fue Python mientras que el sistema de control se escribió en C++. La construcción de la estructura del prototipo se hizo utilizando manufactura aditiva y tecnología CNC para el resto de las piezas. Para los controladores se usaron motores de paso y un servo.

El equipo construido es capaz de seguir un objeto de color amarillo a una distancia máxima de 5 metros, para el movimiento azimutal se usa un servo y para el horizontal un motor de paso.

Palabras Clave: brazo robótico, visión artificial, manufactura aditiva, control automático.

ABSTRACT

Using artificial intelligence technology, a time and movement study can be done automatically. Due to the system does not use sensors or placeholders, it is necessary to have a machine with artificial vision that follows the person of interest in his work area. For this reason, the construction of a robotic arm that uses artificial vision to track and follow the person is proposed as a solution.

OpenCV was used for the artificial vision program, the programming platform was Python for and the control system was written in C ++. The construction of the prototype structure was done using additive manufacturing and CNC technology for the rest of the parts. For the controllers stepper motors and a servo were used.

The built equipment is able to follow a yellow object at a maximum distance of 5 meters, a servo is used for azimuthal movement and a step motor for the horizontal.

Keywords: robotic arm, artificial vision, 3D printing, control system

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Justificación del Problema.....	5
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específico:	6
1.4 Marco teórico.....	6
1.4.1 Ecuación de GruebleR.....	6
1.4.2 Sistemas de control por acción proporcional (PC)	7
1.4.3 Deflexión en vigas.....	8
1.4.4 Método de la doble integración	9
1.4.5 Transmisión por bandas	9
1.4.6 OpenCV	11
CAPÍTULO 2.....	13
2. METODOLOGÍA	13

2.1	Diseño conceptual.....	14
2.2	Características mecánicas del prototipo.....	16
2.3	Análisis de las alternativas de solución.....	16
2.3.1	Alternativas de solución.....	16
2.3.2	Selección de la mejor alternativa.....	18
2.4	Diseño mecánico del brazo.....	19
2.4.1	Diseño de la base del brazo.....	19
2.4.2	Diseño del brazo.....	20
2.4.3	Elección del riel.....	20
2.4.4	Diseño de los soportes para el riel.....	22
2.4.5	Diseño de las ruedas.....	22
2.4.6	Sistema eléctrico y de control.....	22
CAPÍTULO 3.....		35
3.	RESULTADO Y ANÁLISIS.....	35
3.1	Análisis de la estructura del prototipo.....	35
3.1.1	Longitud de la banda de transmisión.....	37
3.2	Control de movimiento del brazo.....	38
3.2.1	Accionamiento del motor de paso.....	38
3.2.2	Pasos del recorrido del sistema.....	39
3.2.3	Selección de velocidades para el movimiento del servo.....	42
3.3	Programa de Visión Artificial.....	43
3.3.1	Configuración del área de identificación.....	43
3.3.2	Ajuste de identificación por efecto de la iluminación ambiental.....	44
3.3.3	Configuración del programa de VA para la comunicación con Arduino.....	45
3.4	Análisis de costos.....	48
3.4.1	Análisis de la disponibilidad del mercado.....	49

CAPÍTULO 4.....	51
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
4.1 Conclusiones.....	51
4.2 Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

VA	Visión Artificial
IA	Inteligencia Artificial
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
COM3	Puerto de comunicación serial
EPP	Equipo de protección personal
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
RGB	Red Green Blue
HSV	Hue, Saturation Value
HSB	Hue Saturation Brightness
FMR	A favor de las manecillas del reloj (haciendo referencia al sentido de giro)
CMR	En contra de las manecillas del reloj (haciendo referencia al sentido de giro)

SIMBOLOGÍA

d	Vector distancia
Θ	Tetha para valores de ángulos
ω	Velocidad angular
α	Aceleración angular
v	Velocidad
a	Aceleración
A	Amperios
V	Voltios
mm	Milímetros
cm	Centímetros
m	Metros
s	Segundos
N	Newton
in	pulgada
g	gramos
Kg	kilogramos
Rad	Radianes

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1.1: Captura de movimiento usando marcadores [Galbusera,2017].....	2
Imagen 1.2: Brazo BOLT [Camera Control INC,2019]	3
Imagen 1.3: Generación de esqueleto virtual a partir de IA [Hernandez,2019]	4
Imagen 1.4: Operación rutinaria del sujeto de estudio [el autor]	5
Imagen 1.5: Diagrama de bloques para un sistema [16].....	8
Imagen 1.6: Transmisión por bandas en impresora 3D [11]	10
Imagen 1.7: Geometría de una banda abierta [9]	11
Imagen 1.8: Reconocimiento de colores usando Opencv [el autor]	11
Imagen 2.2: Boceto 1 [el autor].....	14
Imagen 2.3 Boceto 2 [el autor].....	15
Imagen 2.4 Boceto 3 [el autor].....	15
Imagen 2.5: Equipo con transmisión por engranajes [el autor]	17
Imagen 2.6: Equipo de transmisión por tornillo de potencia [el autor]	17
Imagen 2.7: Equipo con riel guía y transmisión por engranajes [el autor]	18
Imagen 2.8: Vista isométrica del boceto ganador [el autor]	19
Imagen 2.9: Diagrama de cuerpo libre del riel [skyciv.com]	21
Imagen 2.10: Curva de la deflexión del riel [ftool]	22
Imagen 2.11: Servomotor Hitec [Hitec]	23
Imagen 2.12: Cono de colores del espacio HSV [mathworks]	26
Imagen 2.13: Campo de visión de la cámara [el autor].....	27
Imagen 2.14: Diagrama de flujo del programa VA [el autor]	28
Imagen 2.15: Segunda parte del diagrama de flujo [el autor].....	29
Imagen 2.16: Última parte del diagrama de flujo de Python [el autor]	30
Imagen 2.17: Diagrama de flujo para Arduino conectado en COM3 [el autor]	31
Imagen 2.18: Diagrama de flujo para Arduino conectado a COM4 [el autor]	32
Imagen 2.19: Esquema de conexión del servo a Arduino [el autor]	33
Imagen 2.20: Esquema de conexión de motor de paso [el autor]	33
Imagen 3.1: Análisis de la deformación de la base del brazo [Autodesk].....	36
Imagen 3.2: Análisis de los esfuerzos en el riel [Autodesk]	36
Imagen 3.3: Análisis de la deformación de las ruedas [Autodesk]	37
Imagen 3.4: Esquema de montaje del equipo [el autor]	41
Imagen 3.5: Configuración de los parámetros del motor de paso [el autor]	42
Imagen 3.6: Configuración de la velocidad del servo [el autor].....	42
Imagen 3.7: Identificación de amarillos por pixeles [el autor].....	43

Imagen 3.8: Reconocimiento de áreas mayores a 1000 pixeles [el autor]	43
Imagen 3.9: Resultado al cambiar margen inferior de brillo a 50 unidades [el autor]	44
Imagen 3.10: Resultado de la identificación de color con baja iluminación [el autor]	44
Imagen 3.11: Configuración de márgenes para un ambiente oscuro [el autor]	45
Imagen 3.12: Código para la comunicación serial en Python [el autor].....	45
Imagen 3.13: Mensaje que corrobora la comunicación con el sistema de control [el autor] ..	46
Imagen 3.14: Comparativo entre imagen [iz] y área identificada [der].....	47
Imagen 3.15: Corroboración de corrección de encuadre en pantalla [el autor]	48
Imagen 3.16: Deslizador motorizado para cámara [Amazon].....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Requerimientos de diseño para el prototipo [el autor]	13
Tabla 2.2: Matriz de decisión [el autor]	18
Tabla 2.3: Propiedades mecánicas del riel [el autor]	20
Tabla 2.4: Características de Arduino MEGA [Arduino.com]	23
Tabla 2.5: Especificaciones técnicas de la cámara web [electronicabf.com].....	25
Tabla 3.1: Coeficientes de fricción para materiales comunes [Serway]	38
Tabla 3.2: Tabla de valores [el autor]	48

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Eslabón de Servomotor

PLANO 2 Base de Brazo

PLANO 3 Eslabón Inferior

PLANO 4 Soporte de Guías

PLANO 5 Riel

PLANO 6 Rueda

PLANO 7 Base de Motor

PLANO 8 Boceto

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La medición de tiempo y movimientos es un estudio que permite determinar el tiempo que un operador calificado invierte para llevar a cabo alguna tarea definida a partir de la ejecución de movimientos preestablecidos. Se encuentra dentro de las técnicas de Estudio del Trabajo que pertenece a la Ingeniería de Métodos, su finalidad es establecer un tiempo estándar para la realización de un procedimiento reduciendo al mínimo los tiempos muertos e instaurando holguras por fatiga¹, justas para el trabajador. (Benjamin Niebel, 2009).

El desarrollo tradicional para realizar el estudio implica la presencia de un observador humano que registra manualmente todas las actividades que realiza el operador durante la realización de un trabajo. Actualmente este proceso se lo puede automatizar usando técnicas de la Visión Artificial (VA) cuyo objetivo es la obtención, procesamiento y análisis de datos a partir de registros digitales en video o fotos («Qué es la visión artificial | Cognex», 2019). Para esto, se hace uso de una cámara de video que registra las actividades del operador mientras realiza su trabajo habitual, por medio de un sistema de Inteligencia Artificial (IA) se reduce el cuerpo del operador a un esqueleto virtual compuesto por eslabones y juntas cuya posición, velocidad y aceleración se puede calcular. De esta manera se relega la labor del observador humano a una cámara de video.

El método para la elaboración del esqueleto virtual se apoya en las técnicas de Captura de Movimiento asistidas por VA, un conjunto de marcadores adhesivos se colocan sobre el objeto de estudio, se registra el movimiento del sujeto en video, entonces cada fotograma se estudia como una matriz de puntos correspondiente a una función bidimensional $f(x,y)$ donde las coordenadas espaciales XY representan la posición de un marcador mientras que f representa el brillo de cada fotograma (John J. Sanabria S, 2012). Un avance considerable en la técnica de Captura de Movimiento incluye el uso de sensores de posición, sean acelerómetros o giroscopios que se adhieren en puntos clave del sujeto de estudio (generalmente las articulaciones). Posteriormente se realiza

¹ Def: adicional al tiempo básico para permitir al trabajador reponerse de los efectos fisiológicos y psicológicos causados por alguna actividad.

un cálculo de triangulación de señales de cada sensor para formar el esqueleto virtual mientras que para simular el movimiento, se vale de los datos recogidos por los sensores (C. & YAMID GARZÓN G., 2012), esta técnica prescinde de la cámara de video para el registro de datos, pero incurre en el uso de sensores adheridos al cuerpo que entorpecen los movimientos del sujeto de estudio. Aunque ambas técnicas son suficientes para abordar con eficacia las necesidades de estudio de movimiento en la medicina y en la industria de los videojuegos, aún existe el problema de la imposibilidad de realizar un seguimiento o rastreo automático de los marcadores cuando el sujeto de estudio sale del alcance del lente de la cámara.

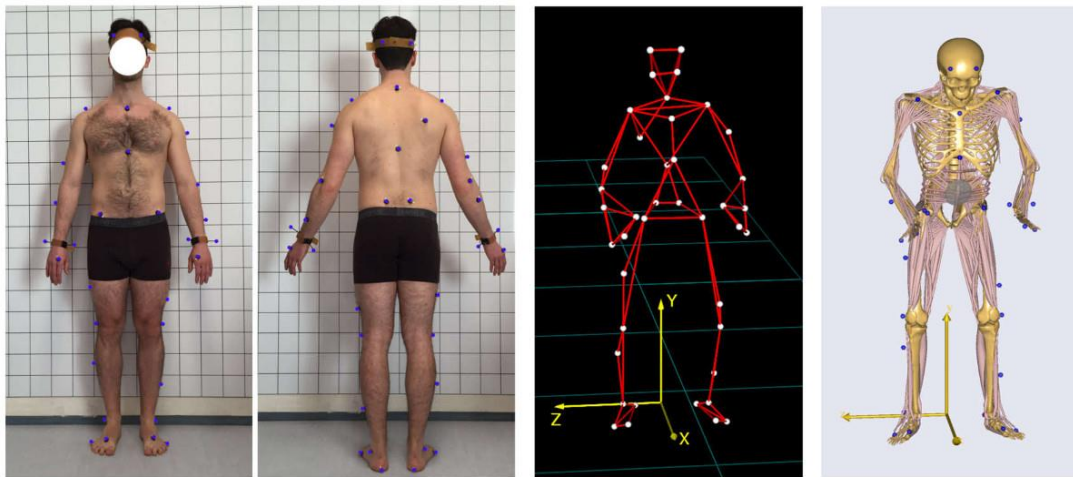


Imagen 1.1: Captura de movimiento usando marcadores [Galbusera,2017]

Una de las soluciones al inconveniente del rastreo del sujeto de estudio es la aplicación de robots mecánicos equipados con cámaras de video que son capaces de seguir un punto de referencia visual, sin la necesidad de utilizar marcadores adhesivos; en un espacio que abarca toda una circunferencia a su alrededor. Es el caso del robot BOLT desarrollado por Mark Roberts, esta máquina es capaz de cargar cámaras de hasta 38 kilos, desplazarse en menos de 0.1 segundos y girar sobre sus ejes en trayectorias imposibles de replicar por la tradicional grúa operada por humanos («El brazo robot Bolt en la alfombra roja de los Goya», 2019).

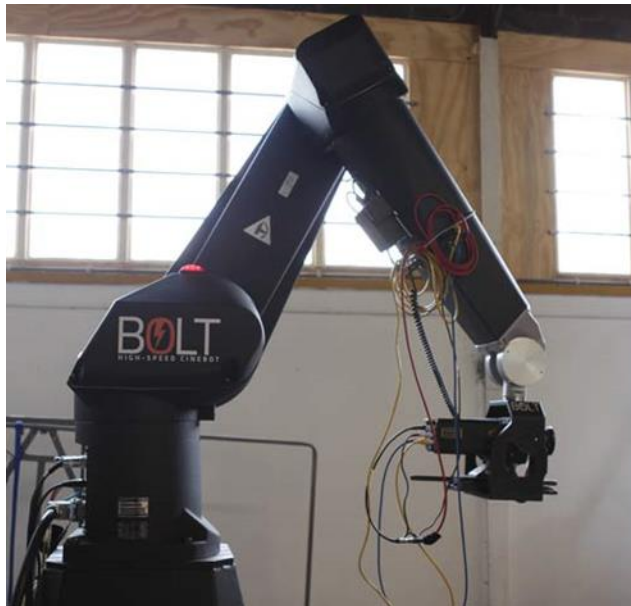


Imagen 1.2: Brazo BOLT [Camera Control INC,2019]

Al unir las tecnologías en robótica, captura de movimiento e inteligencia artificial, es posible diseñar un dispositivo como asistente en el estudio de tiempo y movimientos que agilite la técnica propuesta por Abad et al. Para esto, un algoritmo de VA identifica el cuerpo de una persona con la ayuda de una cámara de video. Posteriormente, un algoritmo de IA ensambla un esqueleto virtual a partir del cuerpo de la persona sintetizando sus extremidades y tronco en un bastidor compuesto por eslabones y juntas de 2 grados de libertad. Tanto la posición como las velocidades y aceleraciones de cada eslabón del esqueleto virtual se pueden calcular y estos datos sirven para realizar un estudio de tiempos y movimientos de manera automática.



Imagen 1.3: Generación de esqueleto virtual a partir de IA
[Hernandez,2019]

Con la intención de automatizar el estudio, se puede cambiar la cámara de video montada en un soporte estático por un equipo automatizado capaz de reemplazar al observador humano. Por la naturaleza misma del estudio, el operador debe desplazarse en el área destinada a realizar su trabajo, debido a que se prescinde del uso de marcadores y sensores de posición; es necesario que el equipo tenga un mínimo de 2 grados de libertad para seguir al operador debido a que el algoritmo de VA tiene un alcance máximo de 5 metros para elaborar el esqueleto virtual de manera eficaz.

1.1 Descripción del problema

El estudio de tiempo y movimientos se centra en el registro de las actividades físicas de un sujeto de estudio, la manera tradicional de realizarlo incluye actividades que se pueden aprender por lo que se pretende implementar un programa con inteligencia artificial que estudie los movimientos de un trabajador a partir de la síntesis de su cuerpo en un esqueleto virtual registrado por una cámara de video. Debido a que el trabajador se desplaza en un área de trabajo es posible que en cierto instante de tiempo, el trabajador se ubique en una zona muerta para el registro de la cámara, sumando el hecho de que el sistema de VA no se apoya en marcadores de posición para indicarle a la cámara donde apuntar; es imprescindible que la cámara siga al trabajador para poder sintetizar sus movimientos, es por esto que nace la necesidad de contar con un sistema

mecánico automático que permita el movimiento de la cámara de video con el fin de mantener siempre en cuadro al sujeto de estudio.

1.2 Justificación del Problema

En una primera instancia, se pretende realizar el estudio de tiempo y movimientos en una instalación destinada al fraccionamiento² de productos para distribución. Esto implica que el trabajador deba desplazarse a lo largo de una percha de seis metros de longitud ubicando los productos en gavetas. Como la resolución del sistema de IA encargada de la identificación y síntesis del cuerpo en esqueleto virtual del trabajador es de apenas 5 metros, es necesario un equipo mecánico que se desplace en el espacio automáticamente buscando siempre centrar la cámara en un cuadro limitado de pixeles. Ya que el objetivo es realizar un estudio real, el diseño y la construcción de un prototipo de 2 grados de libertad está completamente justificado dentro del campo de estudio de la Mecánica.



Imagen 1.4: Operación rutinaria del sujeto de estudio [el autor]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El diseño y construcción de un equipo mecánico automatizado con dos grados de libertad que permita montar una cámara y de esta forma encuadrar al sujeto de estudio para que

² Def: Operación donde se despieza un producto que llega en conjunto o en envase con varias unidades.

posteriormente un algoritmo de inteligencia artificial sea capaz de sintetizar el cuerpo del sujeto de estudio.

1.3.2 Objetivos Específico:

- Diseño de un mecanismo de dos grados de libertad.
- Selección de actuadores electromecánicos para permitir el movimiento del mecanismo.
- Desarrollar el sistema de control automático para el mecanismo
- Construcción del prototipo.

1.4 Marco teórico

Los brazos mecánicos automáticos para cámaras componen un amplio abanico de propuestas que van desde los prototipos estudiantiles, amateurs, comerciales y de uso cinematográfico profesional. Todos convergen en el uso de servomotores, motores de paso y tarjetas programables para la parte electrónica y de automatización; mientras que para los componentes mecánicos se hace uso de rodamientos, ruedas, bocines, tornillos, tornillos de potencia y bandas. Para iniciar el diseño es necesario determinar el número de entradas de señal para obtener una salida puntual, esto se logra a partir del cálculo del número de libertad por el método de propuesto por Gruebler:

1.4.1 Ecuación de Gruebler para el cálculo de grados de libertad de mecanismos especiales:

Es una de las herramientas para la síntesis de mecanismos. Se define como el número de entradas que se necesitan para proporcionar al mecanismo para crear una salida predecible [3].

Para el cálculo de los grados de libertad se emplea la ecuación de Gruebler para mecanismos especiales:

$$M = 6(L - 1) - 5J_1 - 4J_2 - 3J_3 - 2J_4 - J_5 \quad (1)$$

Donde:

M= grados de libertad o movilidad

L= número de eslabones

J_n= número de juntas de n grados de libertad

La ecuación (1) permite calcular el número de señales de entrada que debe tener el sistema de control para obtener un movimiento calculado y predecible de cada una de las partes del mecanismo. Debido a que el propósito del brazo es corregir el encuadre de la cámara, la señal de entrada corresponde a la posición del objeto en el campo de visión de ésta con respecto a un sistema de referencia. Para corregir el encuadre, el sistema debe moverse proporcionalmente hasta que el error en la posición se convierta en cero. Esto se puede lograr considerando el concepto de:

1.4.2 Sistemas de control por acción proporcional (PC)

Se tratan de sistema que poseen retroalimentación lineal cuya señal de salida es proporcional a una señal de error que puede calcularse como la diferencia entre un punto objetivo (SP) y la variable del proceso (PV). La salida del sistema es el resultado del producto del error por una ganancia proporcional lineal:

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2)$$

Donde:

P_{out}= es la salida del controlador PI.

K_P= valor de la ganancia proporcional.

E(t)= error del proceso en un instante de tiempo t.

La función del error se puede calcular como:

$$e(t) = PV(t) - SP \quad (3)$$

Donde:

PV(t)= es la variable del proceso en un instante del tiempo.

SP= valor de referencia fijado para el sistema.

Si el valor de $e(t)$ en la ecuación (3) es positivo, se dice que se trata de un sistema de acción directa mientras de lo contrario, se dice que el sistema es de acción inversa. De aquí que la señal de salida puede ir a favor de la variable de proceso si el error es positivo o lo contrario cuando es un sistema de acción inversa.

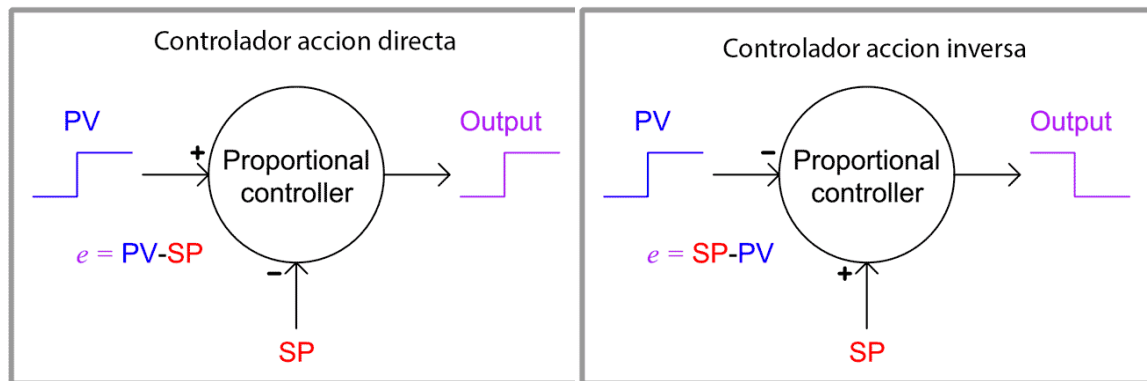


Imagen 1.5: Diagrama de bloques para un sistema de acción directa (i) y uno de acción inversa (d) [16]

Es la naturaleza del proceso la que establece el tipo de acción que ha de realizar el elemento final de control. Muchos ejemplos de este tipo de controladores se pueden encontrar en los sistemas de apertura de válvulas, control de temperatura con termostatos, entre otros.

Definido el número de señales de entrada del sistema y el tipo de sistema de control, es necesario conocer las ecuaciones que pueden modelar la estructura del equipo como su resistencia y deflexión:

1.4.3 Deflexión en vigas

La viga, como elemento mecánico rígido horizontal, destinado a soportar y transmitir las cargas hacia los elementos de apoyo [4], considera la rigidez más que la resistencia el criterio primordial para su diseño. Con esto se quiere decir que el objetivo del diseño apunta a limitar la deflexión máxima de la viga en función de las cargas de trabajo considerando siempre un factor de seguridad [14]. Una aplicación de la deflexión en vigas es la obtención de las ecuaciones de deformación (curva de la elástica) que, en conjunto

con las condiciones de equilibrio estático de la estructura; permiten obtener la solución de estructuras estáticamente indeterminadas.

1.4.4 Método de la doble integración

La deformación de una viga puede aproximarse de manera matemática a una curva elástica que se observa en el eje longitudinal. Uno de los métodos para la obtención de la ecuación de la curva es el de la doble integral y permite calcular la deformación vertical en cualquier punto de la abscisa x de la viga.

La deducción matemática parte del análisis de la variación diferencial de las deformaciones en los puntos de la viga y su aproximación a un segmento de arco s cuyo radio se puede calcular para cualquier posición x . El resultado de estas conjeturas da como resultado la ecuación 11:

$$EIy = \iint M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (4)$$

Donde:

E= módulo de Young del material [kg/s²m].

I= momento de inercia de la sección transversal de la viga [m⁴].

y= deflexión vertical de la viga [m].

M= ecuación del momento de la viga.

dx= diferencia de longitud [m]

Cn= constantes de la integración.

Las condiciones de borde definen el valor de las constantes C_1 y C_2 en la integración mientras que las cargas y los momentos establecen la ecuación del momento M que se obtiene por los criterios de Macaulay [15]

Establecidas las ecuaciones que rigen la estructura del equipo, se considera el siguiente concepto para el diseño de los sistemas mecánicos de transmisión flexibles:

1.4.5 Transmisión por bandas

Son elementos mecánicos de transmisión flexibles capaces de conectar poleas y ruedas dentadas a distancias considerables. Existe un tipo especial de bandas llamadas de sincronización que contiene ranuras o dientes que se acoplan en una catarina para poder

controlar el movimiento del sistema con precisión de décimas de milímetro, este tipo de bandas son usadas en equipos CNC como impresoras 3D, fresas y tornos ya que permite el desplazamiento controlado de las herramientas o de la pieza de trabajo sin la posibilidad de que la banda resbale.

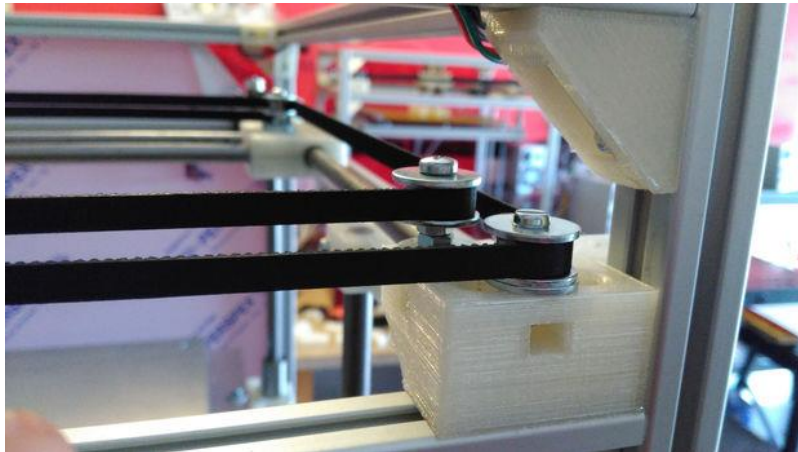


Imagen 1.6: Transmisión por bandas en impresora 3D [11]

Aunque la distancia máxima para la transmisión usando bandas se limita por la deflexión de ésta y el número de templadores, la distancia mínima para la banda viene dada por la ecuación:

$$L = \sqrt{4C^2 - (D - d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad (16)$$

Donde:

L= es la longitud de la banda [m]

C= la distancia entre los centros de las poleas o catarinas [m].

D= diámetro de la polea más grande [m]

d= diámetro de la polea más pequeña [m]

Θ = ángulo de contacto de la banda en las poleas [rad]

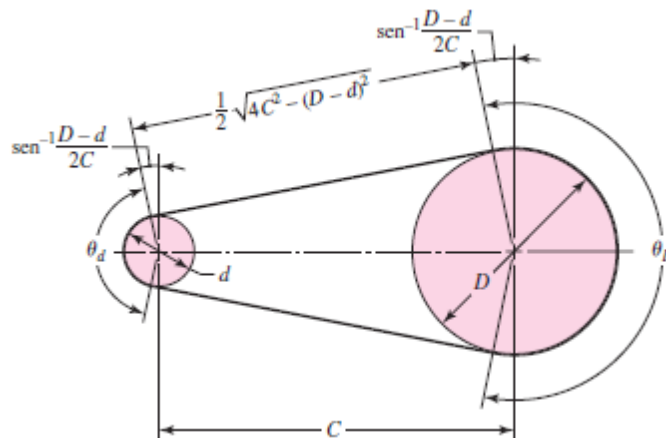


Imagen 1.7: Geometría de una banda abierta [9]

Para finalizar el estudio de los componentes necesarios para elaborar el sistema, se define:

1.4.6 OpenCV

Es una biblioteca de VA libre desarrollada por Intel que apareció a inicios de 1999. Entre las aplicaciones más difundidas se encuentran el desarrollo de sistemas de seguridad capaces de captar el movimiento, sistemas de control con reconocimiento de objetos y sistemas de control con reconocimiento de colores. La librería es multiplataforma por lo que puede ejecutarse en Python con algunas de sus 500 funciones que abarcan casi todas las técnicas de reconocimiento facial, de objetos, formas y de colores.

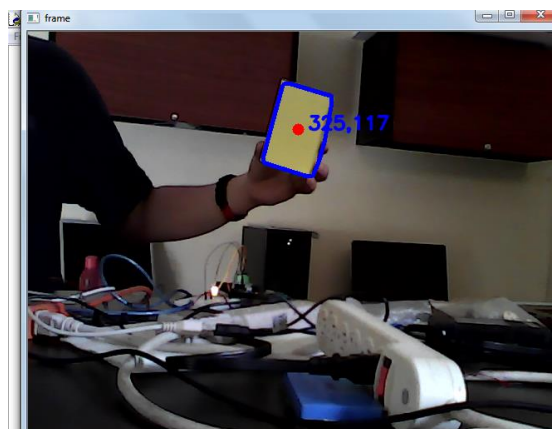


Imagen 1.8: Reconocimiento de colores usando Opencv [el autor]

El uso de OpenCV en sistemas de control de máquinas industriales y robots permite que los equipos mecánicos y electrónicos interactúen con eficiencia con los elementos presentes en el ambiente. Entre las funciones utilizadas para este fin se puede enlistar: detección de objetos por formas y colores, detección de movimiento en objetos, cálculo de velocidades y desplazamientos relativos a la cámara, etc.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El primer paso para el desarrollo del prototipo según la metodología del diseño de Shigley, consiste en la elaboración de un boceto conceptual del equipo considerando todas las restricciones planteadas por las condiciones de operación, tomando en cuenta también las necesidades en cuanto a desplazamiento y volumen del equipo.

Una vez realizada la visita técnica al centro de fraccionamiento de la empresa interesada en realizar el estudio, se pudo recolectar la siguiente información:

Tabla 2.1: Requerimientos de diseño para el prototipo [el autor]

Desplazamiento	El equipo debe moverse linealmente una distancia de 2 m.
Peso	Todo el prototipo no debe superar un peso total de 10 kg.
Cámara	El prototipo debe sostener una cámara USB de 50 gramos
Material	Debe componerse de PLA, ABS, madera, metal o nylon.
Controladores	Tanto el software como el hardware deben ser de código abierto.

Teniendo en cuenta las limitantes y requerimientos del diseño, se procede a elegir la mejor metodología para la elaboración del prototipo, la misma que se detalla a continuación:

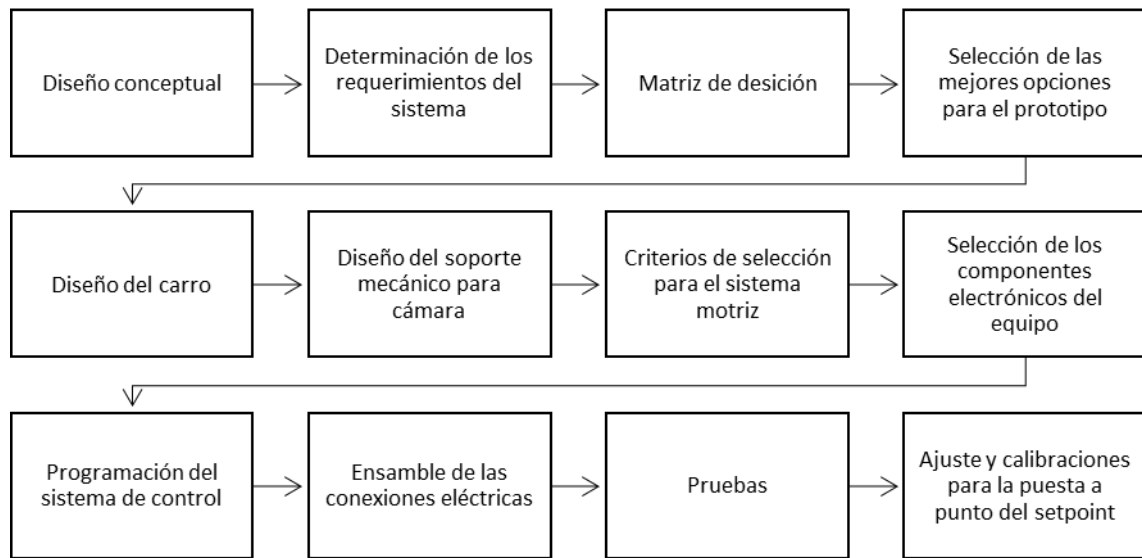


Figura 2.1: Estructura de la metodología del proyecto [el autor]

2.1 Diseño conceptual

A partir de las condiciones establecidas en la Tabla 2.1, se elaboraron un conjunto de bocetos donde se detallan algunas soluciones para el sistema motriz del equipo. Las opciones son: tren de engranajes, transmisión por tornillo de potencia y transmisión por banda.

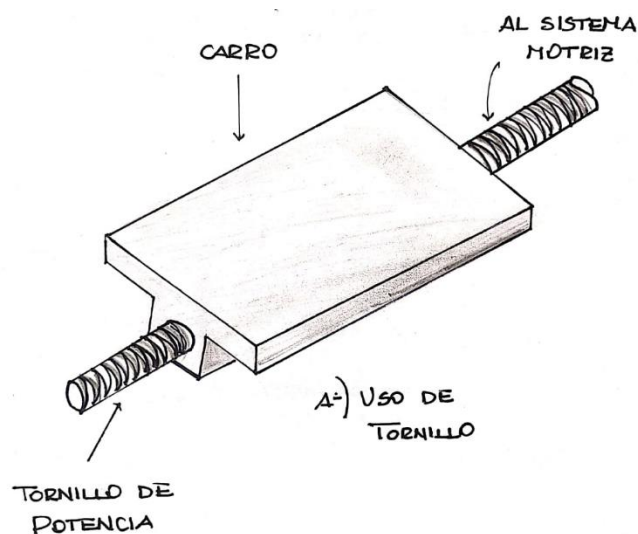


Imagen 2.1: Boceto 1 [el autor]

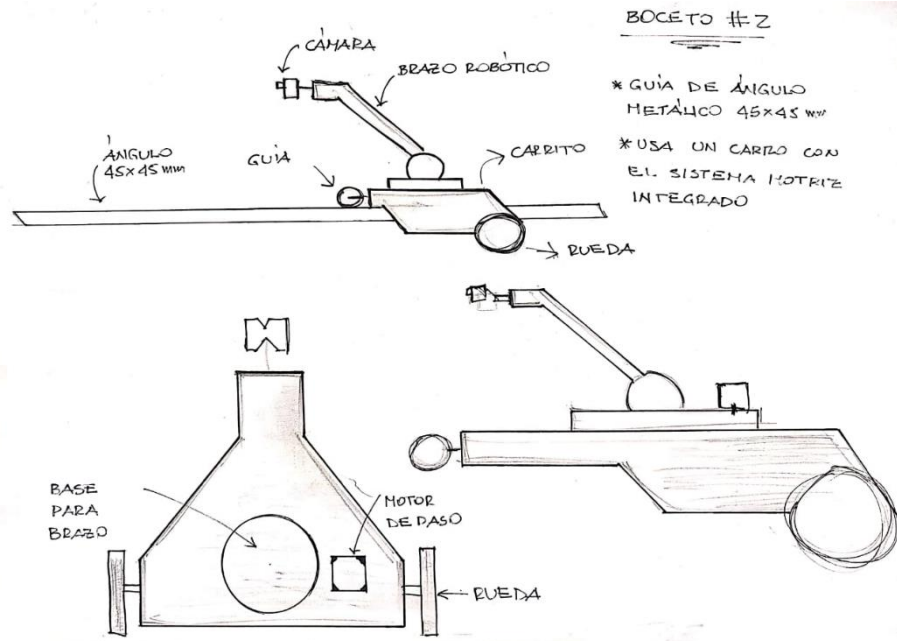


Imagen 2.2 Boceto 2 [el autor]

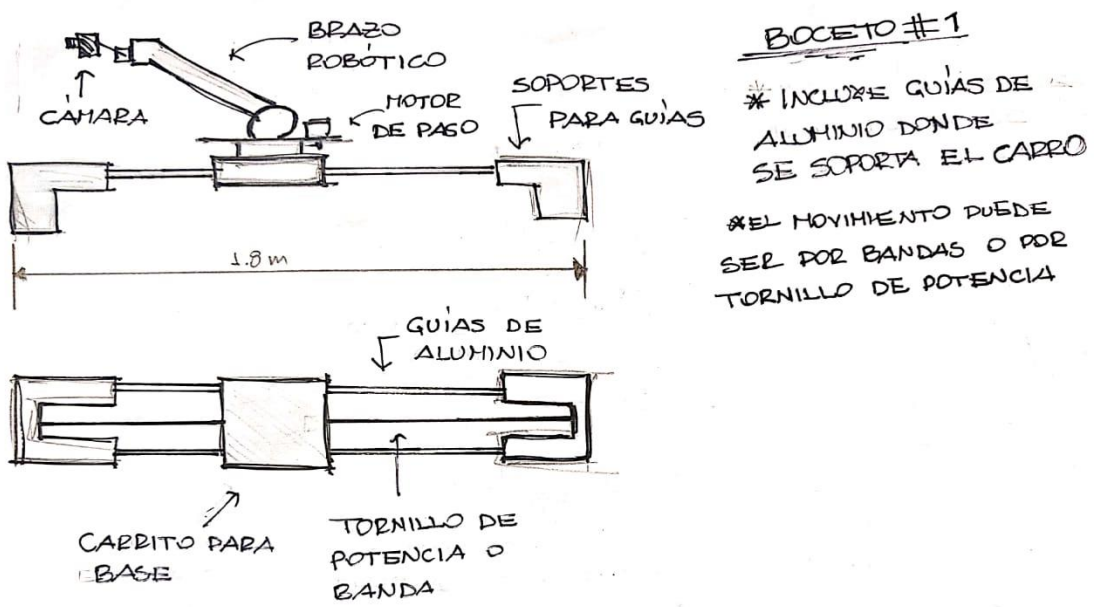


Imagen 2.3 Boceto 3 [el autor]

2.2 Características mecánicas del prototipo

Los componentes mecánicos de cada boceto presentados en la sección 2.1 se detallan a continuación:

Boceto 1: El equipo se mueve por medio de un tornillo de potencia accionado por motor de paso, esto hace que sea necesario contar con una estructura de apoyo sobre la cual debe asentarse el tornillo de potencia y las guías. La cámara y los elementos auxiliares se colocan sobre una base plana que puede ser acrílico o aglomerado. Tanto la alimentación como las señales de control se transmiten con cables desde una caja de control que se ubica cerca de una de las esquinas de la estructura base.

Boceto 2: Se compone de un carro elaborado en ABS y acrílico, posee cuatro ruedas, con tracción posterior alimentada por un conjunto de engranajes que transmiten la potencia desde un motor de paso. El sistema de control y la fuente de poder del equipo se guardan dentro de la estructura del carro ya que es hueco. Para el movimiento de la cámara se hace uso de un servo para el ángulo azimutal y un motor de paso para el giro sobre un eje.

Boceto 3: El diseño último hace uso de una banda para la transmisión del movimiento que se produce en un motor de paso. Nuevamente la cámara y los elementos de apoyo se asientan sobre una base plana que se moviliza sobre dos rieles de baja fricción por medio de llantas especiales asistidas por rodamientos. La alimentación y las señales de control se transmiten por cables desde un computador y un panel de control hasta los elementos electromecánicos.

Para todas las alternativas de solución, se propone el uso de Arduino para el control de los equipos, la visión artificial se hace con una librería de OpenCV para Python cuyo enlace con Arduino es por medio de la librería PySerial.

2.3 Análisis de las alternativas de solución

2.3.1 Alternativas de solución

En las alternativas de diseño se buscó optimizar la relación costo-beneficio de cada una de las opciones disponibles, se estudió la disponibilidad de los materiales en el mercado local y la eficiencia y suavidad con la que se logra los movimientos de todo el sistema.

Los bocetos ya digitalizados y más detallados se presentan en las imágenes 2.5, 2.6 y 2.7.

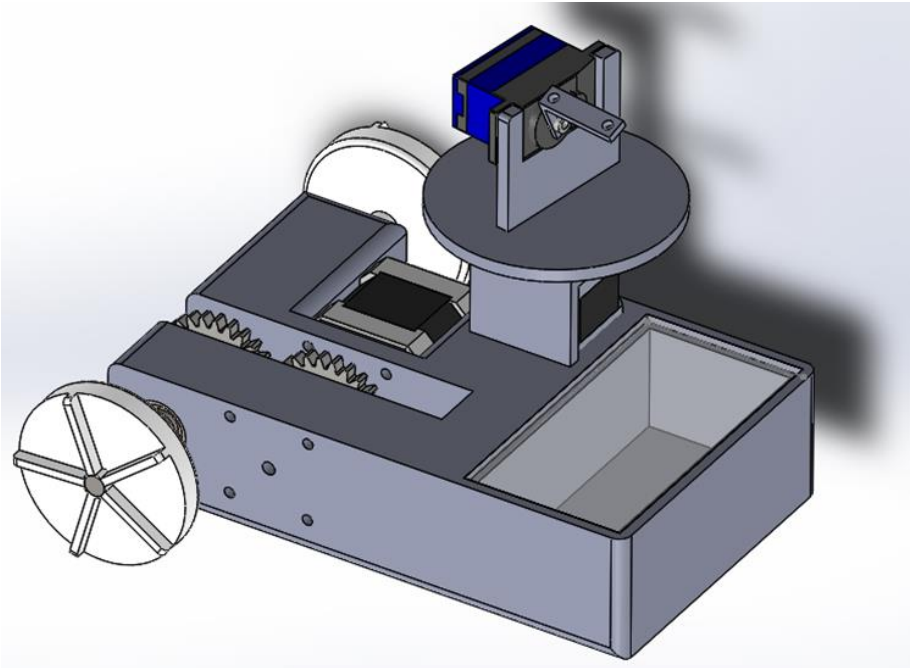


Imagen 2.4: Equipo con transmisión por engranajes [el autor]

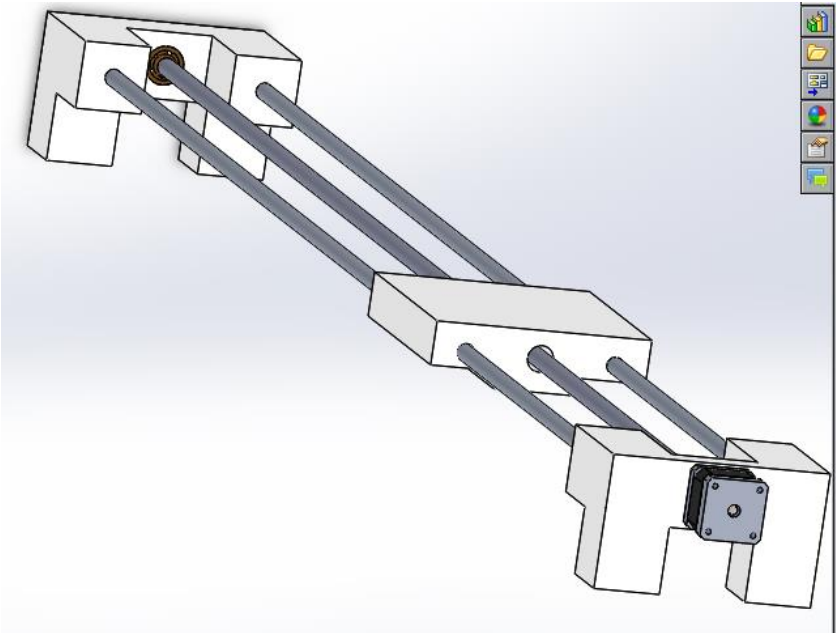


Imagen 2.5: Equipo de transmisión por tornillo de potencia [el autor]

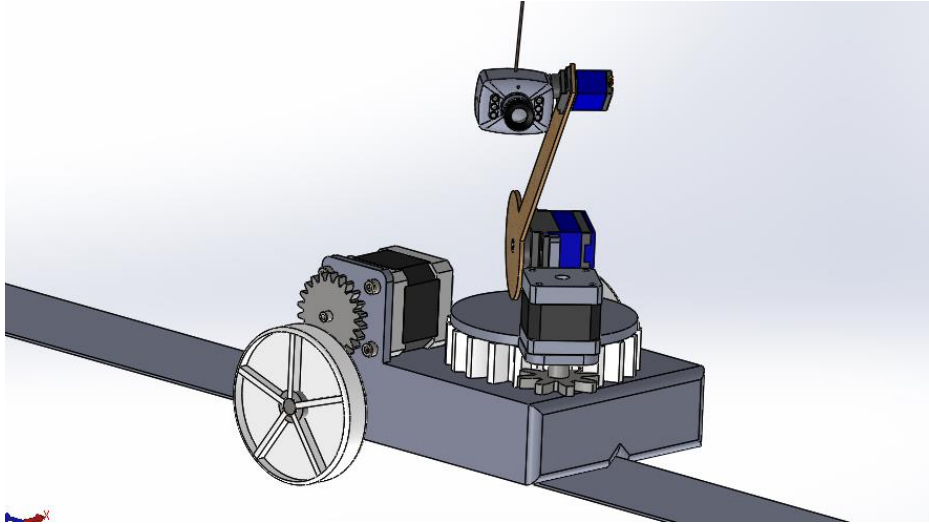


Imagen 2.6: Equipo con riel guía y transmisión por engranajes [el autor]

2.3.2 Selección de la mejor alternativa

Los métodos de motricidad del equipo se compararon en una matriz de decisión cuyos aspectos considerados fueron: **costo**, porque el prototipo debe ser económico; **eficiencia**, en el movimiento del sistema; **complejidad**, debido a que ahorra tiempo y esfuerzos durante el montaje y la facilidad con la que se pueden hacer **mantenimiento** cuando sea necesario desarmar, cambiar y rediseñar los componentes.

Tabla 2.2: Matriz de decisión [el autor]

Alternativas	Costo (10%)	Eficiencia (40%)	Complejidad (30%)	Mantenimiento (20%)	Total
Bandas	7	9	8	7	8.1
Tornillo de potencia	3	8	4	9	6,5
Engranajes	5	5	8	7	6.3

En la Tabla 2.2 se puede observar que la mayor puntuación la obtuvo la alternativa de la transmisión por banda. Las bandas para máquinas CNC son comunes en el mercado

local y se componen de caucho vulcanizado con filamentos de acero internos como refuerzo. El sistema de transmisión por engranajes obtuvo la menor puntuación ya que prescindía del uso de rieles para el desplazamiento lineal por lo que existía la posibilidad de que el equipo se desvíe sobre la superficie y pierda el objetivo. Finalmente, el uso de tornillo de potencia se descartó en la matriz por su alto costo de implementación ya que no es posible encontrar en el mercado un tornillo de rosca cuadrada de 2000 mm de longitud lo que suponía fabricar el elemento en un taller de máquinas herramientas, elevando así su costo.

De esta manera, se llega al diseño definitivo del equipo que se detalla en la siguiente imagen con vista isométrica:

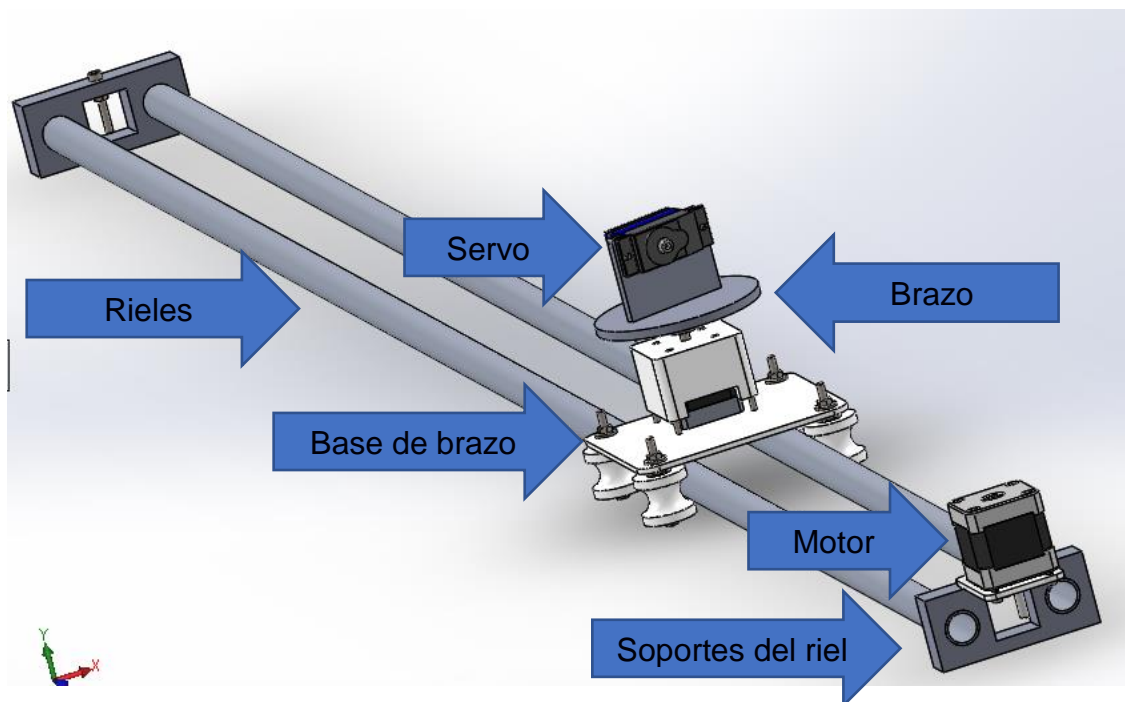


Imagen 2.7: Vista isométrica del boceto ganador [el autor]

2.4 Diseño mecánico del brazo

2.4.1 Diseño de la base del brazo

La base del brazo que se desliza sobre los rieles se conforma de cartón prensado cuyas medidas son 120x120x6 mm. Para el diseño se consideró las limitaciones geométricas y de espacio que implican la colocación de un motor de paso sobre la base,

el soporte del motor y las ruedas. La base se dibujó en SolidWorks desde donde se obtuvieron los archivos en código G para proceder al corte de la pieza en una cortadora láser. Poder cortar con láser el cartón prensado es una ventaja en cuanto a tolerancias y ajustes ya que el láser tiene una precisión de ± 0.01 mm lo que asegura un ajuste óptimo en los agujeros para los ejes del motor y los pernos.

2.4.2 Diseño del brazo

Para el diseño de los eslabones del brazo se utilizó Solidworks. Tanto el eslabón que se sujeta sobre el motor de paso como aquel destinado a soportar el servomotor están diseñados en función de la geometría de los actuadores electromecánicos disponibles en el mercado local. Por este motivo es necesario que la fabricación de las piezas tenga una tolerancia mínima de 0.1 mm que se logra por medio de la manufactura aditiva (impresión 3D). Ambos eslabones del brazo se imprimieron en un equipo Creality Ender 3 Pro usando CURA como software de vinculación.

2.4.3 Elección del riel

Con el fin de disminuir al máximo la fricción entre las ruedas y los rieles de desplazamiento, se eligió utilizar tubos de aluminio debido al acabado superficial del tubo y al bajo peso de éstos. Su diámetro exterior fue de 19 mm y un espesor de 1.35 mm y son fabricados por la empresa Cedal. La elección de la geometría del tubo responde al análisis de deflexión que se hizo a los rieles considerando que cámara, servo, motor de paso, y ruedas pueden modelarse como una carga puntual ubicada en el centro del riel con una masa de 348 gramos. Para el estudio de la deflexión se hace uso de la ecuación (4) y los resultados son los siguientes:

Considerando las propiedades del material:

Tabla 2.3: Propiedades mecánicas del riel [el autor]

Propiedad	Magnitud
Longitud (L)	2 [m]
Densidad lineal (μ)	0.19 [Kg/m]
Módulo de elasticidad (E)	70 [GPa]
Momento de Inercia (I)	2.75E3 [mm ⁴]

Con estos datos, se procede a calcular la deflexión máxima del riel según el siguiente diagrama de fuerzas que representa el caso crítico de aplicación de peso:

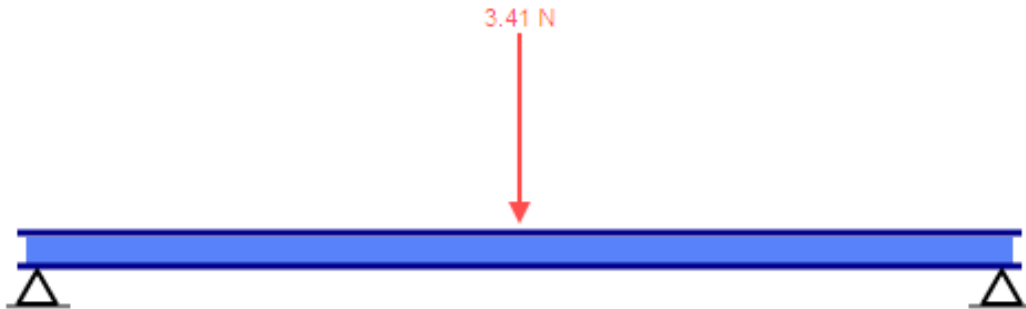


Imagen 2.8: Diagrama de cuerpo libre del riel sometido al peso del brazo
[skyciv.com]

De aquí que la ecuación del momento es:

$$EI \frac{d^2x}{dx^2} = M = 1.71x - 3.41\langle x - 1 \rangle$$

Que al integrarse se obtiene:

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{1.71}{2}x^2 - \frac{3.41}{2}\langle x - 1 \rangle^2 + C_1$$

$$EIy(x) = \frac{1.71}{6}x^3 - \frac{3.41}{6}\langle x - 1 \rangle^3 + C_1x + C_2$$

Debido a las condiciones de frontera, se sabe que la deflexión en el punto $x=0$ es 0, se puede descartar la constante C_1 , de la misma manera se elimina la constante C_2 sabiendo que la deflexión en el empotramiento es 0 por lo que la ecuación de la deflexión del riel queda finalmente como:

$$y(x) = \frac{1}{EI} \left(\frac{1.71}{6}x^3 - \frac{3.41}{6}\langle x - 1 \rangle^3 \right)$$

Que reemplazando los valores para encontrar la deflexión en el punto medio se obtiene:

$$y(1) = \frac{1}{(70E9)(2.75E-4)} \left(\frac{1.71}{6}(1)^3 - 0 \right)$$

$$y(1) = 3.10 \text{ [mm]}$$

Lo que es satisfactorio para el uso que se le va a dar al equipo por lo que se puede decir que la elección fue acertada. La siguiente figura muestra la deflexión de la viga:

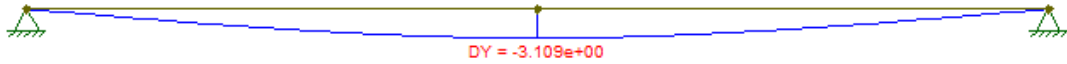


Imagen 2.9: Curva de la deflexión del riel [ftool]

2.4.4 Diseño de los soportes para el riel

Considerando que debe existir un ajuste por presión entre los rieles y soportes, se eligió diseñar las piezas para que puedan ser fabricadas en una fresa CNC en material duralón. Este material es auto lubricante, se puede maquinar con poco esfuerzo y tiene buena resistencia a los esfuerzos por flexión y fatiga.

2.4.5 Diseño de las ruedas

La base de la cámara se soportará sobre 4 ruedas que se deslizan sobre los rieles, las ruedas se diseñaron de tal manera que sean capaces de contener rodamientos de 8mm de diámetro para disminuir la fuerza de fricción durante el desplazamiento de la cámara. Para disminuir la fuerza de fricción en el riel, se buscó que exista la mínima área posible de contacto entre las ruedas y el riel por lo que su contorno no es del todo circular, sino elíptico.

2.4.6 Sistema eléctrico y de control

2.4.6.1 Sistema electrónico

Los componentes electrónicos para el proyecto son:

- Arduino
- Servomotor
- Motores de paso
- Controladores
- Fuente de Poder

Para establecer la comunicación entre el programa de visión artificial y los actuadores electromecánicos se utilizó un Arduino Mega con las siguientes características:

Tabla 2.4: Características de Arduino MEGA [Arduino.com]

Características	Especificación
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje Operativo	5 [V]
Voltaje de Entrada	7-12 [V]
Voltaje límite de entrada	6-20 [V]
Pines digitales (Entrada/Salida)	54 con 15 salida PWM
Pines analógicos de entrada	16
Corriente DC por cada pin (entrada)	40 [mA]
Corriente DC entregada en pines (a 3.3V)	[50 mA]
Memoria flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del cristal de oscilación	16 MHz

El servomotor del equipo es de marca HiTec con serie HS-645MG, la elección responde al hecho de que el servo puede alimentarse con 5 Volts directamente los pines de Arduino MEGA.



Imagen 2.10: Servomotor Hitec [Hitec]

2.4.6.2 Criterios para la selección del motor

Para deslizar la base del brazo sobre los rieles se utilizó un motor eléctrico disponible en el mercado local que es de fácil programación y cuyo control por medio de Arduino se realiza implementando un módulo de control especial. Para disminuir el torque necesario en el motor se tomó la precaución de utilizar rodamientos de bolas en las llantas, además se diseñaron las llantas de tal manera que solo exista contacto en dos puntos de la superficie del riel. Tomando en consideración que la aceleración no es un factor determinante para las necesidades del diseño, se decidió por utilizar motores de paso NEMA normalizados porque presentan la mejor relación costo-beneficio.

Este tipo de motores permiten el control de la velocidad en función del número de pulsos que se envían desde el controlador con lo que se logra un buen control en el frenado. Esto permite movimientos de arranque y parada suaves que no generan ruidos en las tomas de video que realiza la cámara.

Usando el boceto de la imagen 2.8 de donde se pueden extraer dimensiones para la banda y las poleas, se puede hacer una primera aproximación del sistema motriz como un conjunto de dos poleas y una banda que debe transportar una carga neta de 3.41 [N] que agrupa los pesos de: el servo, el motor de paso, los componentes del brazo, la base, ruedas y tornillos.

Para el suministro eléctrico se utilizó una fuente de voltaje de 12 Volts a 20 A conmutada. Estas fuentes poseen el amperaje suficiente para alimentar los motores de paso y el servo, posee tres salidas que se van a utilizar para alimentar los servos, al Arduino y una fuente de voltaje variable de 5 Volts para el circuito paralelo que alimenta las señales digitales.

2.4.6.3 Selección de la cámara

La cámara web es clave en el sistema de control como objeto encargado de adquisición instantáneo de datos. Es necesario que la cámara posea una estructura que permita fijarla en el último eslabón del brazo, tenga una excelente resolución visual y un enfoque manual para poder controlar la profundidad de campo ya que el objeto de estudio podría alejarse o acercarse a la cámara. Estos motivos llevaron a la elección de una cámara Genius Web FaceCam 1000X que presenta las siguientes características técnicas:

Tabla 2.5: Especificaciones técnicas de la cámara web [electronicabf.com]

Tipo de conexión	USB 2.0
Resolución	720 p HD
Zoom digital	3X
Procesador	1.8 Ghz
Tarjeta gráfica	512 MB
Formato del archivo	MJPEG/ WMV

Una de las características destacables de la cámara es que puede hacer reconocimiento facial mediante un software que se puede instalar en el equipo desde la página web del fabricante, aunque no se vaya a usar esta función en el programa de VA, asegura que la resolución es suficiente como para responder de manera satisfactoria a las necesidades del proyecto.

2.4.6.4 Sistema de control

Como el objetivo del mecanismo es centrar el campo de visión de la cámara en un objeto de interés, es imperativo utilizar un programa con VA para este fin por lo que se decidió implementar las librerías de OpenCV 3.0 disponibles para Python 2.7 ya que ambos programas son de código abierto y en la web existe información que sirven como base para la programación.

Para establecer el sistema de control, fue necesario establecer un punto de interés en el operador que pueda ser rastreable por el sistema de VI, tomando en consideración que los trabajadores a los que se les va a realizar el estudio de tiempo y movimientos utilizan como parte de su equipo de protección personal (EPP) un casco de color amarillo fosforescente, se escribió un programa que identifica los amarillos en el cuadro de la cámara, contornea la forma del objeto de color amarillo y luego le calcula el centro de masa de la figura supuesta; finalmente obtiene las coordenadas del punto del centro de masa con respecto al cuadro de la cámara y lo presenta en pantalla.

Para identificar y contornear el color amarillo del casco del operador, se partió del hecho de que el color del casco puede variar dependiendo de la iluminación del lugar de estudio, la antigüedad del casco, el material, entre otros. Por este motivo, filtrar los colores con el enfoque RGB que representa un color por la mezcla de tres colores de luz primarios [17]

no es suficientemente clasificatorio a la hora de establecer el rango de variedades de amarillo que se desea contornear ya que se debería guardar un arreglo de tres valores para cada una de las variedades de amarillo disponible en el haz de luz visible. Por este motivo se decidió utilizar el modelo de color HSV que permite limitar el rango de colores a estudiarse como una matriz que pertenece a una sección circular de un cono limitado por un matiz, una saturación y valor o brillo.

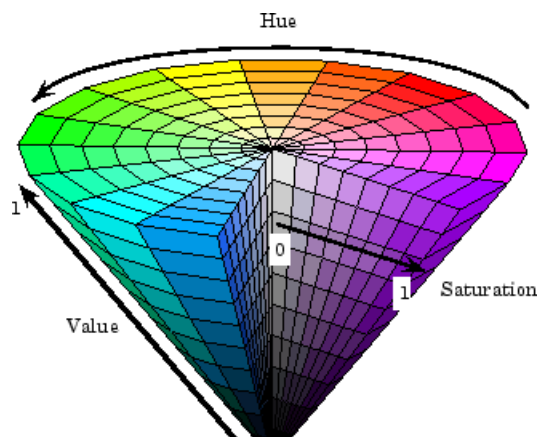


Imagen 2.11: Cono de colores del espacio HSV [mathworks]

De esta manera es posible abarcar un abanico de amarillos que varían por el grado de iluminación del ambiente.

Otro de los problemas encontrados con las primeras versiones del programa de VA es el hecho de que se reconocían y se contorneaban todos los objetos de color amarillo captados por la cámara por lo que fue necesario hacer ciertos cambios en el código para que se rastreen los objetos con un número mínimo en los píxeles del área. Estas mejoras en cuanto a la captación de los colores y formas se desarrollan con más detalle en el capítulo de resultados.

2.4.6.5 Establecimiento del intervalo de confianza para el sistema de control

La cámara utilizada tiene un campo de visión que abarca 640x480 píxeles, para centrar a una persona de 1,7 metros de altura a una distancia mínima de 2 metros se estableció como margen mínimo un área que está entre (145:485) para los píxeles en X y (145:415) para los píxeles en Y. de esta manera, el intervalo de confianza que puede ubicarse el

punto de interés sin que el sistema realice alguna acción para corregir el encuadre es de:

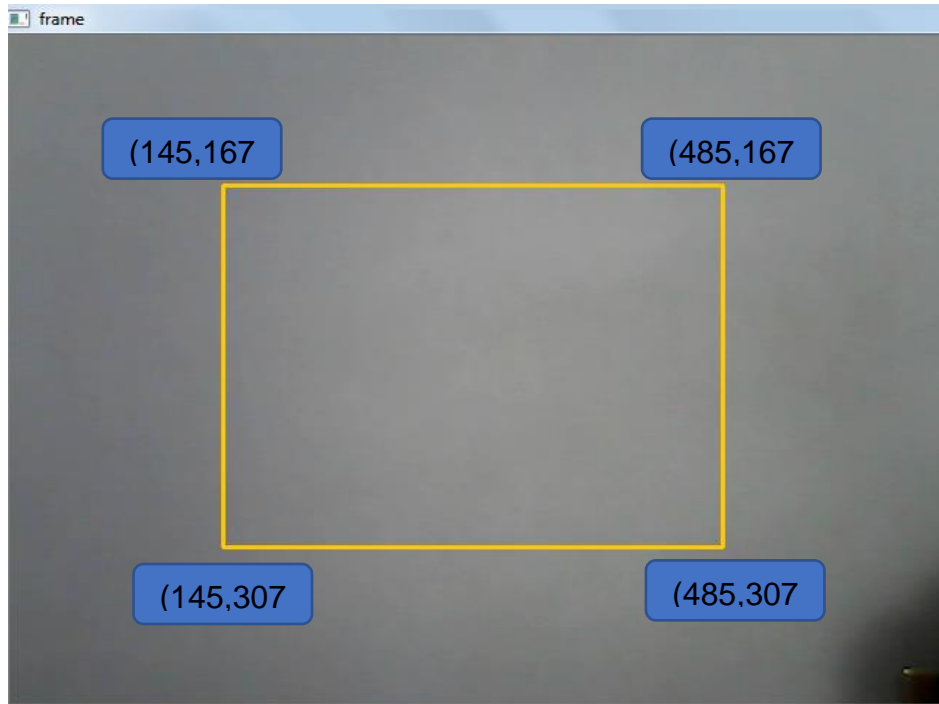


Imagen 2.12: Campo de visión de la cámara con las coordenadas del intervalo de confianza [el autor]

Para explicar el programa de VA se esquematizó el siguiente diagrama de flujo:

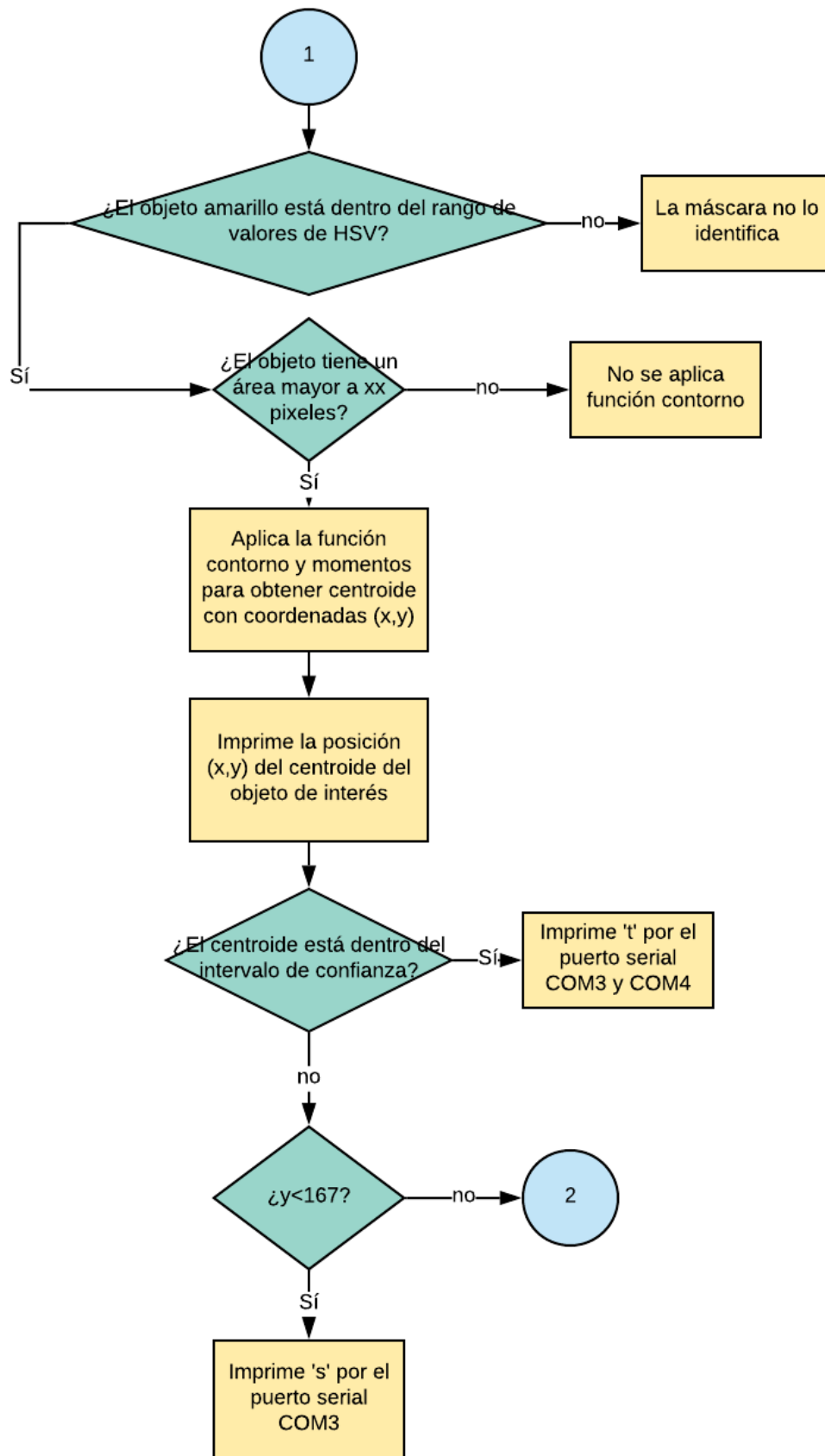


Imagen 2.13: Diagrama de flujo del programa VA [el autor]

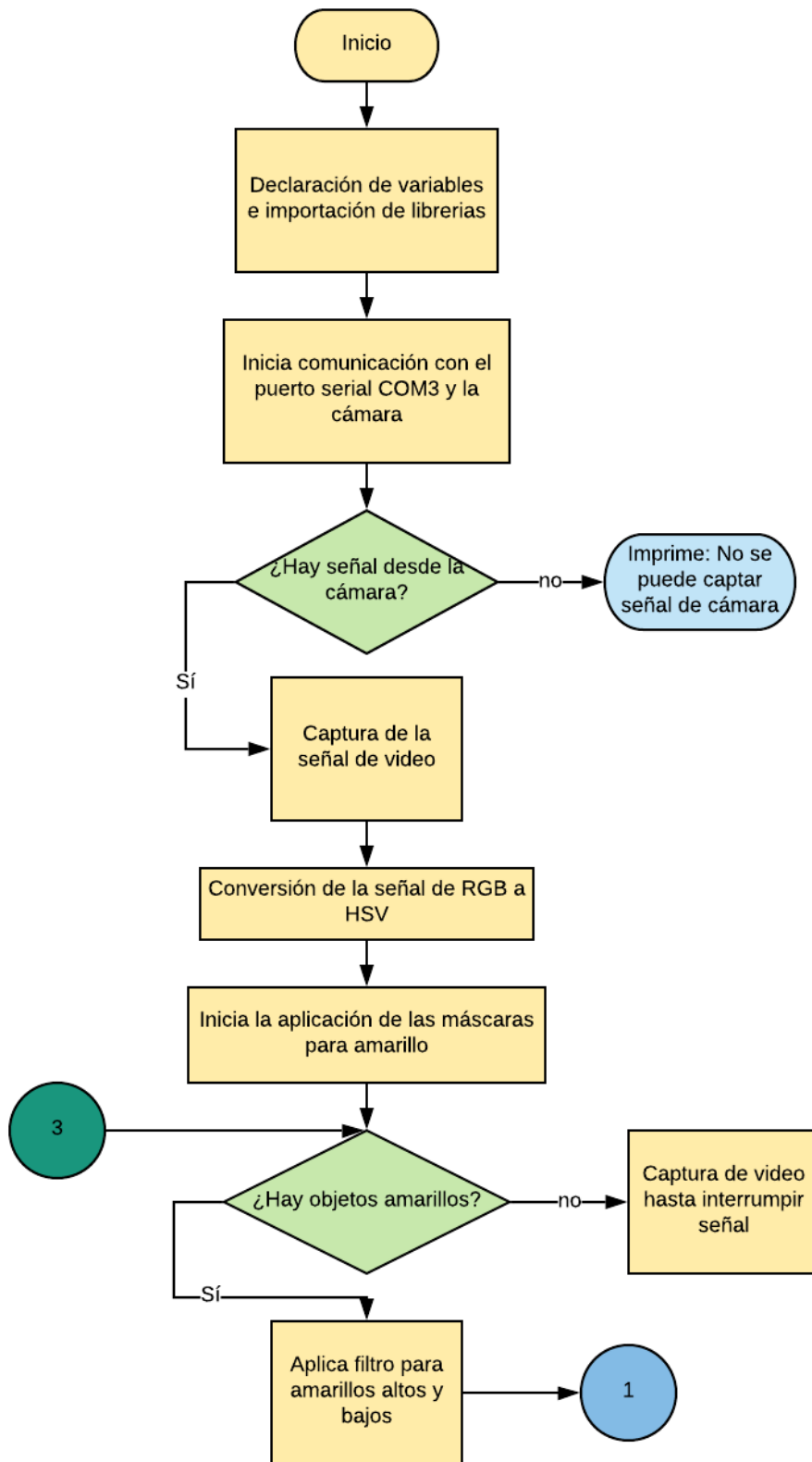


Imagen 2.14: Segunda parte del diagrama de flujo [el autor]

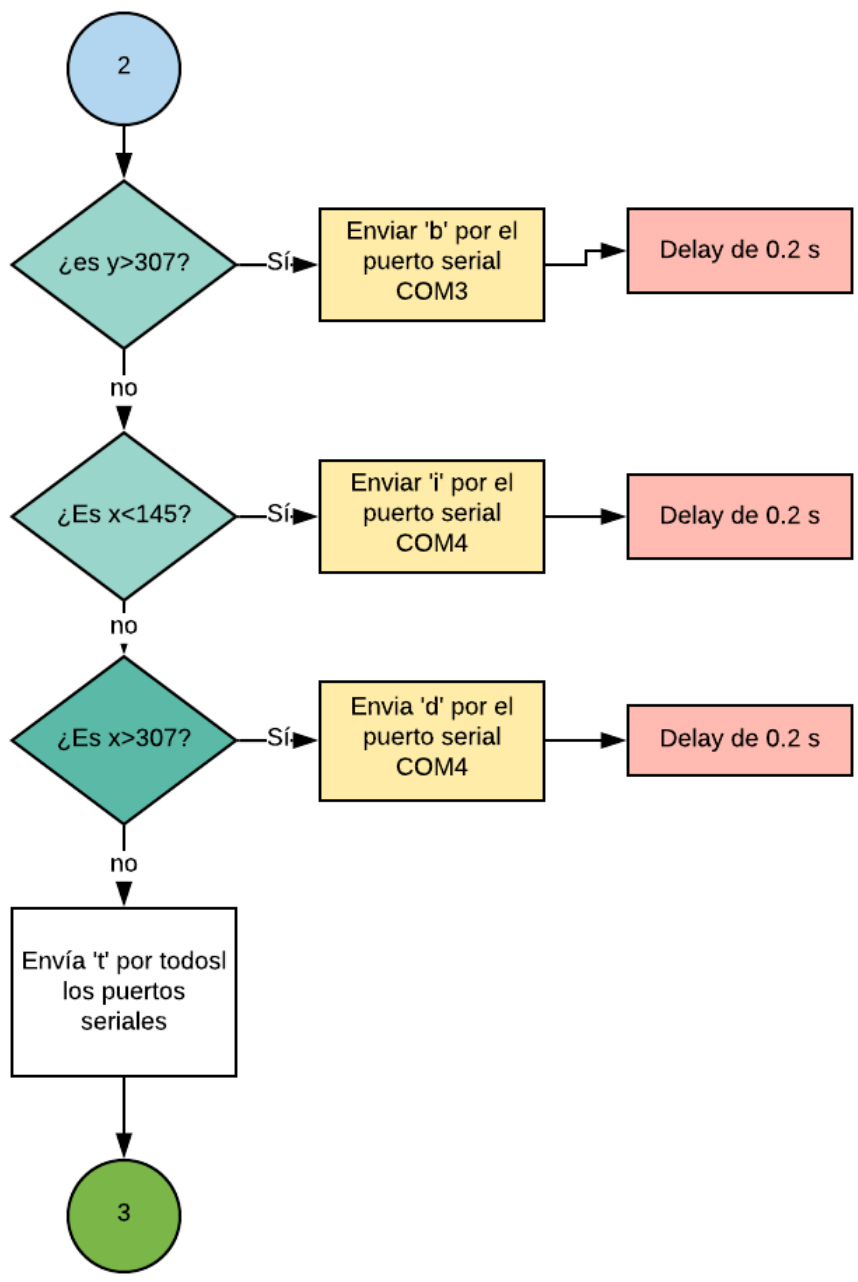


Imagen 2.15: Última parte del diagrama de flujo de Python [el autor]

Debido a que la comunicación entre el ejecutable de Python y Arduino se hace por medio de un puerto serial, el tipo de datos que se pueden enviar corresponden a caracteres. Arduino recibe el paquete de datos, convierte a texto la información y posteriormente compara la variable recibida con una serie de supuestos condicionales para la ejecución de los movimientos. El diagrama de flujo del programa de Arduino es el siguiente:

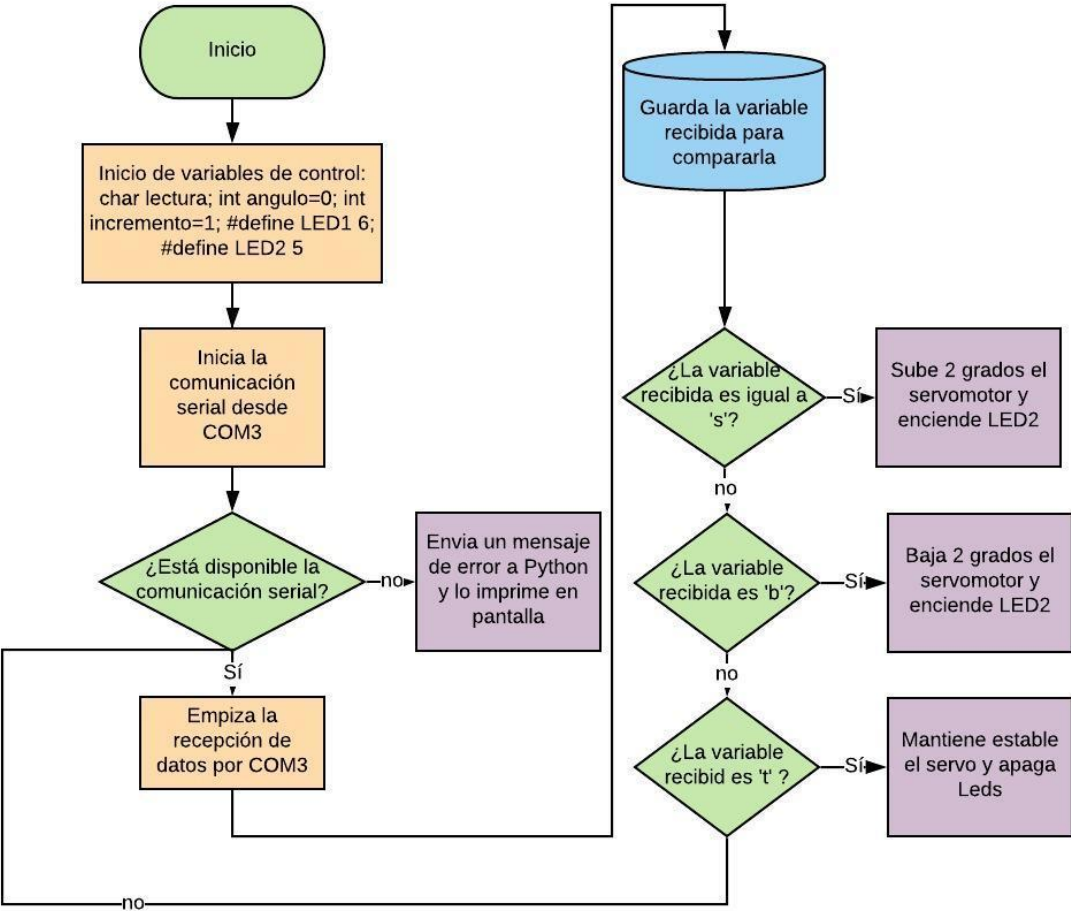


Imagen 2.16: Diagrama de flujo para Arduino conectado en COM3 [el autor]

Mientras que para el Arduino encargado del sistema movimiento horizontal de la cámara, el diagrama de flujo es el siguiente:

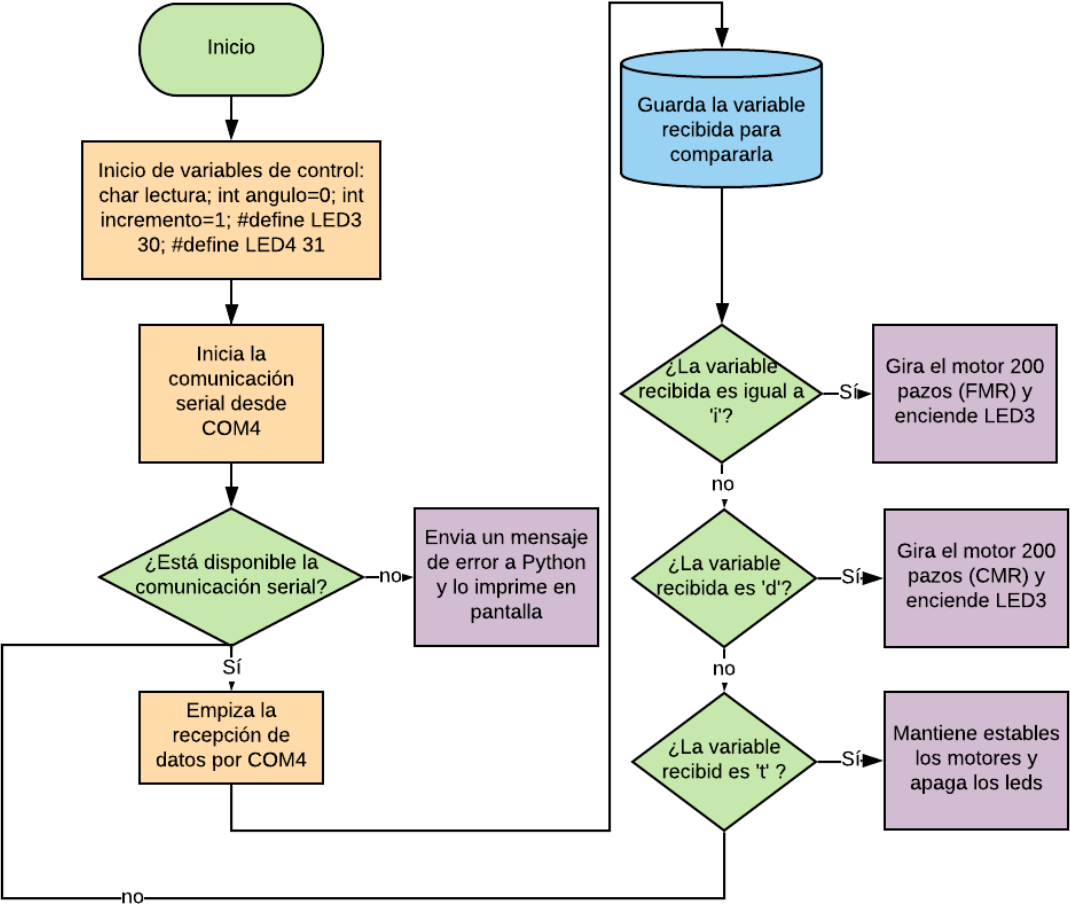


Imagen 2.17: Diagrama de flujo para Arduino conectado a COM4 [el autor]

Con la intención de evitar que exista una sobre escritura en los datos enviados desde Python hasta Arduino por medio del puerto serial, se decidió utilizar dos Arduinos independientes conectados a COM3 y COM4. Con esto se logra enviar buses se datos independientes para la corrección de la cámara en cada eje.

El diagrama de conexión de Arduino con los motores y el servo es el siguiente:

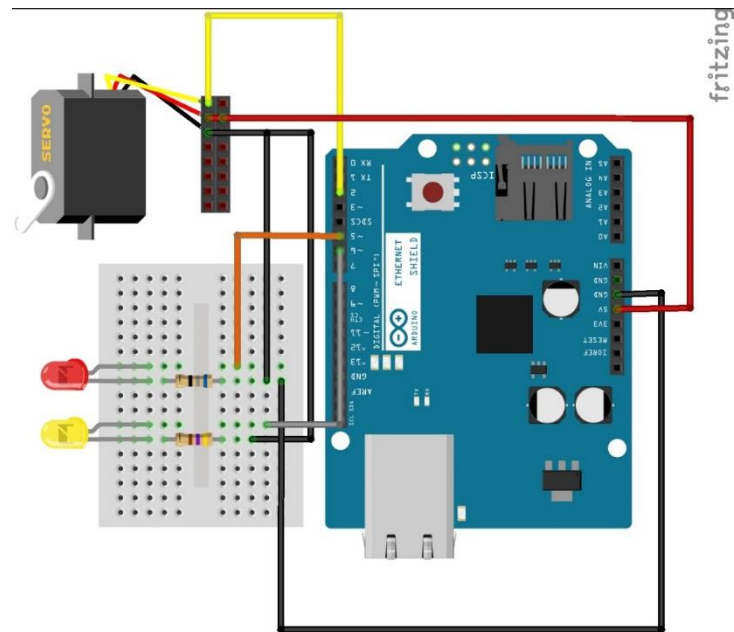


Imagen 2.18: Esquema de conexión del servo a Arduino [el autor]

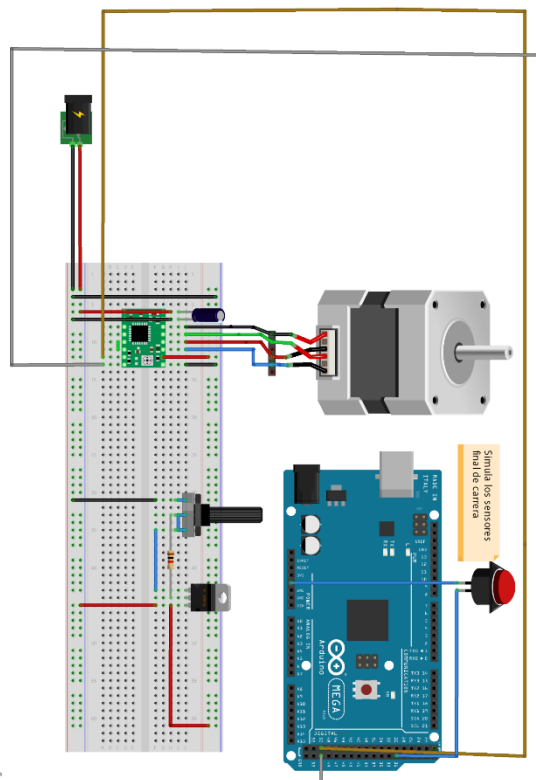


Imagen 2.19: Esquema de conexión de motor de paso [el autor]

El ensamblaje de los componentes eléctricos y electrónicos se realiza sobre un tablero protoboard ya que se puede realizar conexiones paralelas para diagnosticar y probar el funcionamiento del equipo. Las conexiones de cables de control y alimentación para el

motor de paso y los servos se hacen por medio de un conector macho-hembra de 4 pines con una guía. Esto debido a que posibilita la conexión de los motores sin tener que revisar el orden del cableado.

Se instalaron diodos LEDS en el tablero para poder hacer un seguimiento de las señales que llegan a Arduino desde el programa de visión artificial, cada foco corresponde a una dirección de corrección (arriba, abajo, derecha, izquierda) y mientras el sistema envíe señales de corrección los LEDS deberían encenderse.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADO Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de la estructura del prototipo

Para comprobar la elección del material y la geometría de los tubos de aluminio que componen los rieles del prototipo, se realizó un estudio de esfuerzos y deformación suponiendo la ubicación de la carga en el centro del claro. El resultado numérico que se puede observar en la sección 2.4.3 indica que la deformación equivale a un 0.15% del total longitudinal del tubo por lo que se da por aceptado debido a que la deformación del riel no afecta en lo más mínimo el campo de visión de la cámara. Por otro lado, el hecho de que la banda sea flexible permite amortiguar la deflexión y evita un posible fallo del sistema motriz.

Con respecto a los soportes de los rieles, las cargas aplicadas son de naturaleza estática y corresponden a los pesos de los tubos y los motores eléctricos. Estas cargas están lejos de producir esfuerzos de deformación en el material por lo que no se hace un análisis detallado de esta parte del sistema.

Con respecto a la base del brazo, se hizo una simulación de deformación y esfuerzos considerando el peso de los eslabones y la cámara como una carga de naturaleza estática puntual ubicada en el centroide. El análisis de esfuerzos por el criterio de Von Misses se muestra a continuación:

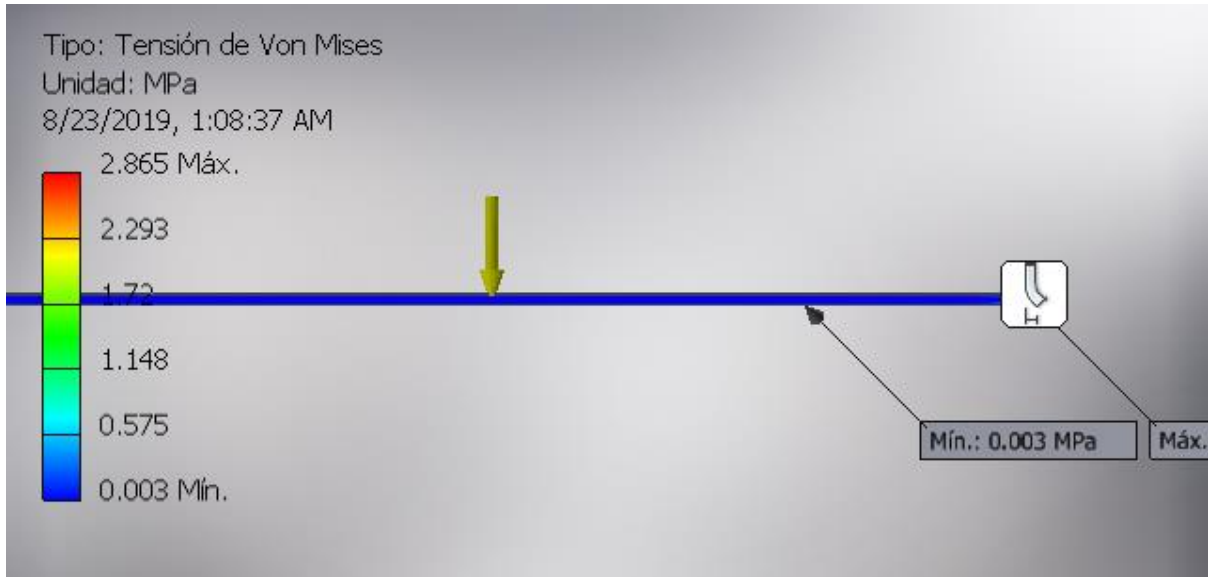


Imagen 3.1: Análisis de los esfuerzos en el riel [Autodesk]

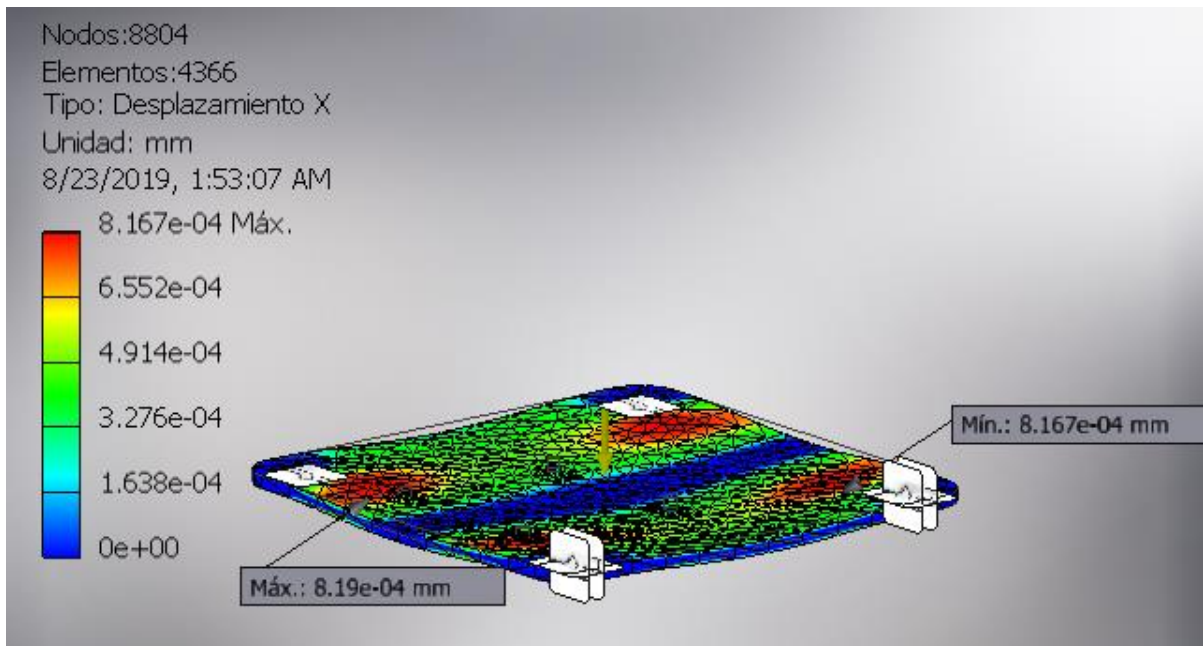
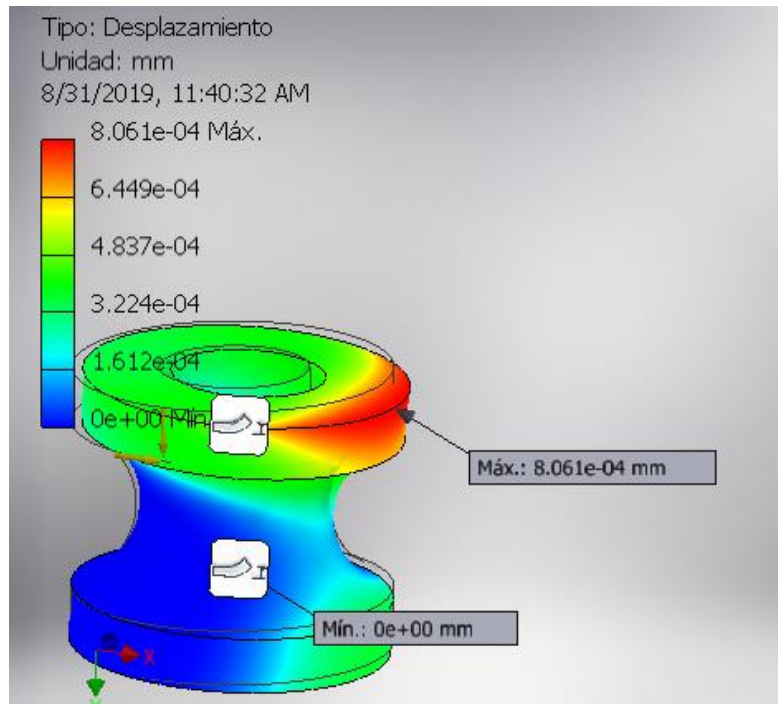


Imagen 3.2: Análisis de la deformación de la base del brazo [Autodesk]



**Imagen 3.3: Análisis de la deformación de las ruedas
[Autodesk]**

3.1.1 Longitud de la banda de transmisión

La banda disponible en el mercado se comercializa por metros, el cálculo de la longitud necesaria considerando la distancia entre las poleas y el diámetro entre poleas es el siguiente:

$$L = \sqrt{4C^2 - (D - d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad (16)$$

Debido a que el diámetro de las poleas es el mismo, y considerando que existe un ángulo de contacto de π radianes en cada una, la ecuación (16) se resume a:

$$L = \sqrt{4C^2} + \frac{1}{2}(2D)\pi$$

Donde:

C es la distancia entre centros y

D el diámetro de la polea

$$L = \sqrt{4(2000)^2 + \frac{1}{2}(2(19))\pi}$$

$$L = 4059 \text{ mm} = 4.05 \text{ m}$$

3.2 Control de movimiento del brazo

3.2.1 Accionamiento del motor de paso

Para obtener un estimado del torque mínimo necesario para contrarrestar los efectos de la inercia del brazo se realizó un estudio dinámico de la base del brazo en movimiento a velocidad constante. El diagrama de cuerpo libre es como sigue:

(DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE)

Cuyo análisis de fuerzas es:

$$\sum F_x = F - f = 0$$

Donde:

F representa la fuerza necesaria para el movimiento y

f la fricción entre las ruedas y el riel

$$f = \mu_k N$$

Del eje Y:

$$\sum F_y = N - mg = 0$$

$$N = mg$$

$$N = (348E - 3) * (9.81)[N]$$

$$N = 3.14 [N]$$

De la siguiente tabla se extrae el coeficiente de fricción cinética del aluminio que compone los rieles:

Tabla 3.1: Coeficientes de fricción para materiales comunes [Serway. Physics for Scientists and Engineers]

Materiales	Coef. de Fricción Estática μ_s	Coef. de Fricción Cinética μ_k
Acero - Acero	0.74	0.57
Aluminio - Acero	0.61	0.47

Cobre - Acero	0.53	0.36
Latón - Acero	0.51	0.44
Cinc - Hierro colado	0.85	0.21
Caucho - Concreto	1.0	0.8
Madera - Madera	0.25-0.5	0.2

Con lo que el cálculo de la fuerza de fricción da como resultado:

$$f = (0.47) * (3.41)$$

$$f = 1.60 [N]$$

Por lo que la fuerza necesaria para mantener en movimiento el equipo es de:

$$F = 1.60 [N]$$

Esta fuerza se trasmite a la polea de la banda y por ende al motor de paso, de esta manera el torque necesario para mover el equipo viene dado por:

$$\tau = Fd$$

$$\tau = (1.60) * (9e - 3)$$

$$\tau = 1.44 [Ncm]$$

De los motores disponibles en el mercado, un NEMA 17 entrega 44 Ncm lo que supone un torque más de lo esperado para el tipo de tarea que va a realizar en el prototipo.

3.2.2 Pasos del recorrido del sistema

Sabiendo que el recorrido requerido por el equipo es de 2000 mm, y considerando el diámetro de la polea, el desplazamiento en revoluciones que debe ejecutar el motor de paso es el siguiente:

Al motor le toma 200 pasos hacer una vuelta completa ya que su avance es de 1.8° por paso, sabiendo que el radio de la polea es de 7.5 mm; es desplazamiento lineal de la banda es de:

$$1 \text{ rev} = 2\pi r$$

$$1 \text{ rev} = 2\pi(7.5)$$

$$1 \text{ rev} = 47.12 [mm]$$

Para calcular el número de revoluciones que debe hacer el motor basta dividir el desplazamiento total para el desplazamiento de revolución:

$$\#rev = \frac{\text{desplazamiento total}}{\text{desplazamiento por revolución}}$$

$$\#rev = \frac{2000}{47.12}$$

$$\#rev = 42.44 \text{ revoluciones de motor}$$

Que si traducen a número de pasos:

$$\#pasos = \#rev * 200$$

$$\#pasos = 42.44 * 200$$

$$\#pasos = 195000 \text{ pasos}$$

Si se configura una velocidad de 1000 pasos por segundo, lo que le tomaría en segundos hacer el recorrido continuo de todo el riel corresponde a 195 segundos o 3.25 minutos. Esto puede traducirse a que, para las condiciones iniciales del equipo, la persona podría mover a un máximo de 0.61 m/minuto sin que el equipo lo pierda de en el cuadro de la cámara.

Para optimizar el espacio del programa y para facilitar el control del motor de paso, se hizo uso de la librería **AccelStepper** que es de dominio público y está disponible en el gestor de librerías de Arduino.

De la visita técnica realizada a las instalaciones donde labora las personas a las que se les va a realizar el estudio, se determinó que se movían entre la percha de 6 metros en un tiempo de 15 minutos. Esto quiere decir que la velocidad lineal mínima de la base del brazo debe ser de:

$$v = \frac{d}{t} \left[\frac{m}{min} \right]$$

$$v = \frac{6}{15}$$

$$v = 0.4 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Las pruebas realizadas con el equipo en funcionamiento muestran que la mejor velocidad de respuesta para el accionamiento del motor de paso es de 100 pasos por segundo, lo que equivale a media vuelta. Sabiendo que el diámetro de la polea es de 15 mm, la velocidad lineal del carro se calcula de la siguiente manera:

El cálculo del periodo del motor:

$$T = 2 [s]$$

Con lo que la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$\omega = \frac{2\pi}{2}$$

$$\omega = \pi$$

Sabiendo que el radio de la polea es de 7.5 mm, la velocidad lineal que la polea transmite a la base del brazo es de:

$$v = r\omega$$

$$v = 7.5(\pi) \left[\frac{mm}{s} \right]$$

$$v = 23.55 \left[\frac{mm}{s} \right]$$

Que, convertida a metros por minuto, la velocidad del carro queda:

$$v = 1.2 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Con esto se asegura que la velocidad del equipo sea **300%** más alta que la de la persona caminando entre las perchas, por lo que el resultado es más que satisfactorio.

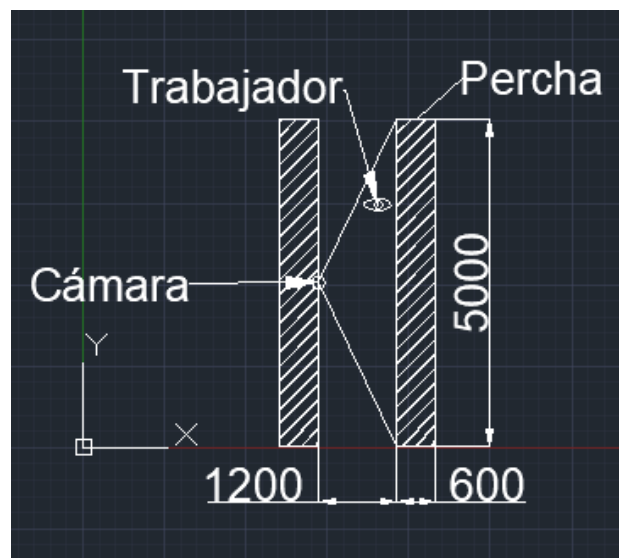


Imagen 3.4: Esquema de montaje del equipo
[el autor]

Con esto, los parámetros para la operación del motor de paso se establecen en:

```
pinMode(30, OUTPUT);  
pinMode(31, OUTPUT);  
pinMode(dirPin, OUTPUT);  
pinMode(stepPin, OUTPUT);  
stepper.setMaxSpeed(4000);  
stepper.setSpeed(4000); //  
stepper.setAcceleration(100);
```

**Imagen 3.5: Configuración de los parámetros del motor de paso
[el autor]**

3.2.3 Selección de velocidades para el movimiento del servo

La corrección de la posición en vertical se logra por medio de un servo, las pruebas con personas indican que los movimientos verticales que salen del intervalo de confianza pueden corregirse con la velocidad estándar del servo que corresponde a 30 grados por segundo.

El movimiento es tan fluido y suave al punto que la imagen que captura la cámara se mantiene bien definida.

```
}  
servo.write(angulo, 30);  
//delay(10); //mientras má
```

Imagen 3.6: Configuración de la velocidad del servo [el autor]

En cuanto a la corrección del encuadre, las pruebas mostraron que el aumento o disminución de 1 grado por cada 5 pixeles fuera del encuadre, es suficiente para corregir al error cuando la persona se ubica a 2 metros de la cámara

3.3 Programa de Visión Artificial

El desarrollo del programa de VA necesita una plataforma de programación que soporte operaciones numéricas y vectoriales, además de permitir un envío de datos para la comunicación entre el sistema de control y el programa de visión.

El primer requerimiento se satisface usando la librería **Numpy** y **Matplotlib**, para el análisis numérico y matricial, mientras que para poder establecer la comunicación entre el programa y el sistema de control se utilizó la librería **PySerial**.

3.3.1 Configuración del área de identificación

Los primeros resultados de utilizar el programa de reconocimiento de colores presentaban el inconveniente de que identificaban todos los pixeles coloreados en la gama de amarillos establecidos, para limitar el número de objetos identificables se configuró el programa para que contornee y rastree los objetos cuya área sean mayores a 1000 pixeles. Los resultados se pueden ver en las figuras 3.3 y 3.4.

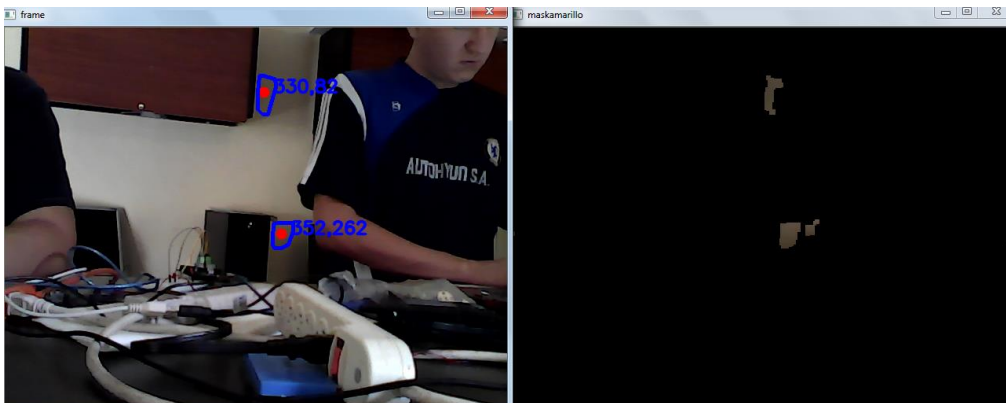


Imagen 3.7: Identificación de amarillos por pixeles [el autor]

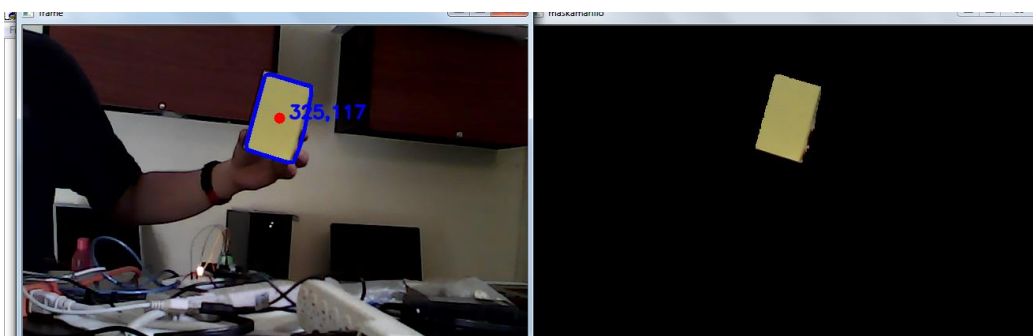


Imagen 3.8: Reconocimiento de áreas mayores a 1000 pixeles [el autor]

3.3.2 Ajuste de identificación por efecto de la iluminación ambiental

Otro de los inconvenientes presentados en el programa de VA es el efecto de la luz ambiental sobre los objetos amarillos. Cuando la luz ambiental es muy baja, el programa no identifica correctamente el objeto por lo que es necesaria cambiar el valor del brillo a un mínimo de 100 unidades. El efecto en el cambio de parámetro se observa a en las figuras 3.3 y 3.4:

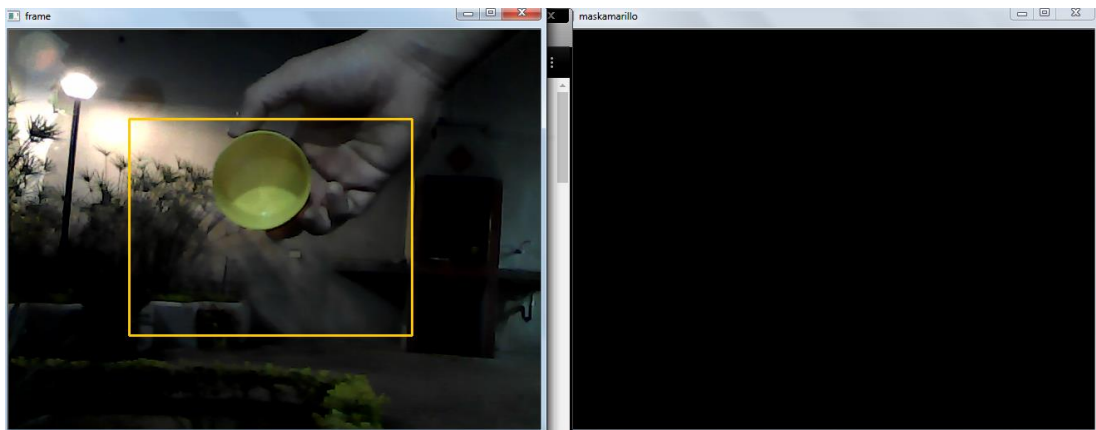


Imagen 3.10: Resultado de la identificación de color con baja iluminación ambiental [el autor]

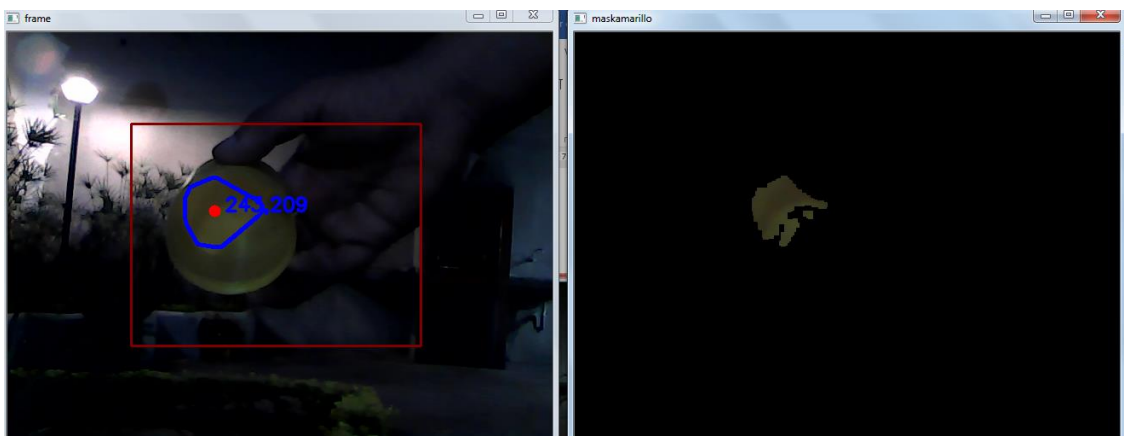


Imagen 3.9: Resultado al cambiar margen inferior de brillo a 50 unidades [el autor]

De estos resultados se puede decir que:

Para ambientes iluminados por el sol, con objetos de alto brillo en los alrededores, se debe modificar el área mínima de píxeles para el contorno.

Para ambientes iluminados con objetos opacos, es necesario subir el límite superior en el rango de brillo para que el efecto de la luz no incida sobre la identificación del color.

En un ambiente oscuro, con objetos o paredes de fondo de color amarillo, mantener margen inferior para el brillo de 100 y establecer un área de entre 20000 y 3000 píxeles para formar el contorno.

En ambientes oscuros y opacos, cambiar el margen inferior del brillo a 50 unidades, modificar el área mínima de píxeles a 300.

```
#Amarillos:
amarillo_bajos = np.array([16,80,50], dtype=np.uint8) # Se
amarillo_altos = np.array([30, 255, 210], dtype=np.uint8)
```

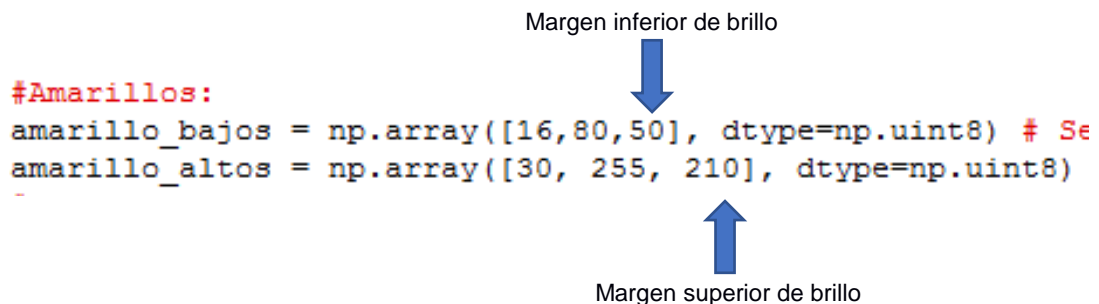


Imagen 3.11: Configuración de márgenes para un ambiente oscuro [el autor]

En la figura 3.5 se puede observar que mientras el centroide del objeto de interés se encuentra fuera del intervalo de confianza de la cámara, el recuadro se mantiene de color amarillo, cuando el objeto ingresa al intervalo, el rectángulo cambia de color a rojo oscuro.

3.3.3 Configuración del programa de VA para la comunicación con Arduino

El envío de señales para la corrección del encuadre en Y se hace por medio de un Arduino UNO conectado al puerto serial COM4 mientras que el control del encuadre en X se hace por medio del puerto serial COM3 por medio de un Arduino MEGA. La configuración del envío y recepción de datos se logra establece se la siguiente manera:

```
uno=serial.Serial('COM4', 9600)
mega=serial.Serial('COM3', 9600)
```

Imagen 3.12: Código para la comunicación serial en Python [el autor]

El valor de 9600 corresponde al número de bits por segundo configurados para el envío y recepción de datos. Por defecto, el tiempo máximo de espera para establecer la comunicación es de 1 segundo, lo que quiere decir que una vez que el programa empieza a correr, de no lograr comunicación con los Arduinos en más de 1 segundo; enviaría un mensaje de error.

Para comprobar que el programa está enviando y recibiendo los comandos encargados de corregir el encuadre de la cámara hacia el sistema de control, se instalaron 4 luces LEDS como testigo, de manera que; se enciendan cada vez que existe un envío de señal para producir movimiento en los equipos.

Por otro lado, se configuró el programa de VA para que presente un mensaje en pantalla una vez que se logra la comunicación con el sistema de control por medio del puerto serial, el resultado es el siguiente:

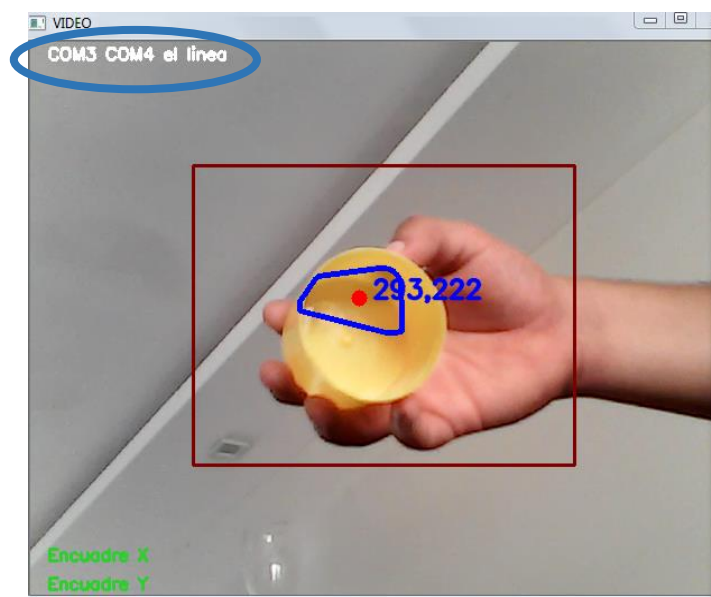


Imagen 3.13: Mensaje que corrobora la comunicación con el sistema de control [el autor]

Mientras que el programa de VA no identifica un área de píxeles amarillos que supere el área mínima establecida, no envía datos por el puerto de comunicación para evitar que el buffer de datos se llene de datos basura capaces de producir un movimiento errático al equipo.

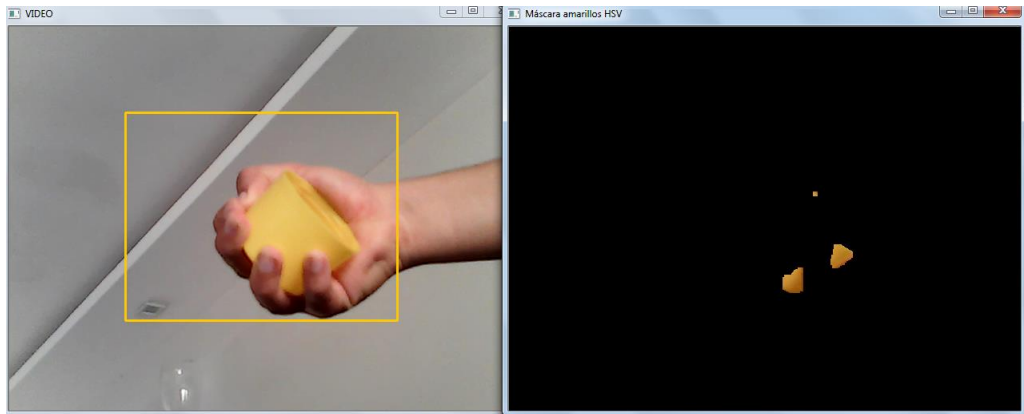


Imagen 3.14: Comparativo entre imagen [iz] y área identificada [der]

Como puede observarse en la imagen 3.10, no se establece el envío de datos a los sistemas de control mientras no exista un objeto capaz de cumplir con las características seleccionadas para el rastreo.

Con el fin de poder atestiguar el envío de datos para la corrección simultánea del encuadre de la cámara, se presenta un mensaje en la pantalla que indica el tipo de movimientos que está haciendo el sistema para volver a cuadrar el objeto.

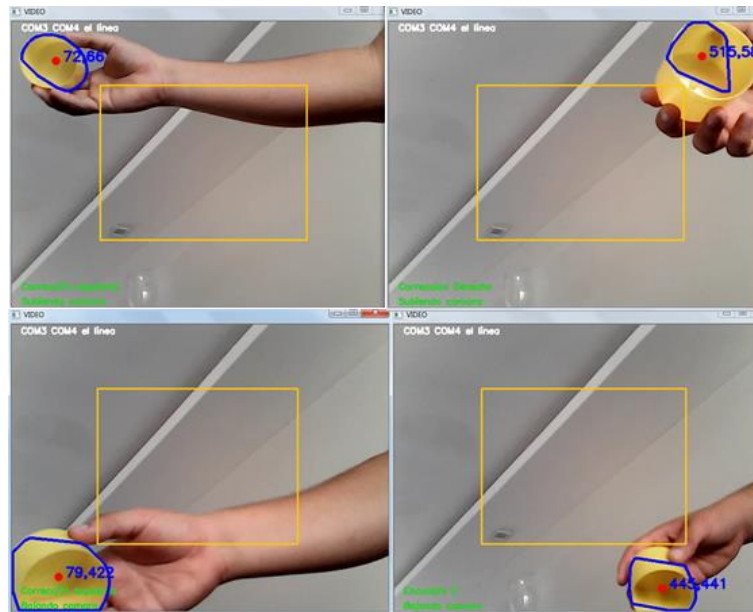


Imagen 3.15: Corroboración de corrección de encuadre en pantalla [el autor]

3.4 Análisis de costos

Para diseñar el equipo, se consideró utilizar los componentes que la empresa auspiciante tenía a disposición. Debido al cambio de bocetos y prototipos, los requerimientos en cuanto a materia prima y equipos fueron cambiando en las fases de diseño. La lista de materiales, equipos y servicios utilizados durante la fase de construcción e implementación se detallan a continuación:

Tabla 3.2: Tabla de valores [el autor]

Rubro	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cinta M automotriz	Unidad	1	\$ 0,66	\$ 0,66
Pintura SP Negra	Unidad	1	\$ 1,74	\$ 1,74
Pintura SP Amarilla	Unidad	1	\$ 1,74	\$ 1,74
Tubo S/c 40-1/2" (mts)	Metros	4	\$ 2,04	\$ 6,60
SERVICIO: Corte 1/2"	Unidad	2	\$ 0,27	\$ 0,58
Fuente Conmutada 12v 20 A	Unidad	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Sensor final de carrera	Unidad	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Cartón Prensado A3	Unidad	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Servicio de corte láser	Minuto	60	\$ 0,50	\$ 30,00
Servicio de torno	Hora	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Material Duralón	Unidad	1	\$ 7,90	\$ 7,90
Servicio de impresión llantas	Hora	8	\$ 2,00	\$ 16,00

Servicio de impresión de brazos	Hora	10	\$ 5,00	\$ 50,00
Banda GT2-6	Metros	5	\$ 3,50	\$ 17,50
Templadores de banda	Unidad	0,5	\$ 2,00	\$ 1,00
Servicio de encomienda	Flete	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Webcam Genius	Unidad	1	\$ 21,00	\$ 21,00
Cable 124	metros	3	\$ 0,80	\$ 2,40
Rollo estaño	Unidad	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Tira de Jumpers	Paquete	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Driver A4988	Unidad	2	\$ 2,85	\$ 5,70
Terminales ojo	Unidades	3	\$ 0,10	\$ 0,30
Cable comunicación	Metros	16	\$ 0,25	\$ 4,00
Conectores MM 3 pines	Unidad	2	\$ 0,80	\$ 1,60
Interruptor	Unidad	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Terminales ojo cangrejo	Unidad	4	\$ 0,10	\$ 0,40
Jack chasis de poder	Unidad	1	\$ 0,70	\$ 0,70
Cable de poder	Unidad	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Ventilador UN-2350	Unidad	1	\$ 2,00	\$ 2,00
JA-145	Unidad	2	\$ 1,00	\$ 2,00
PL-145	Unidad	2	\$ 1,00	\$ 2,00
Plug 3.5 metálico	Unidad	2	\$ 0,30	\$ 0,60
Funda termofundible #3	Metros	2,5	\$ 0,25	\$ 0,63
Nema 17	Unidad	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Nema 14	Unidad	1	\$ 13,99	\$ 13,99
Servomotor	Unidad	1	\$ 29,89	\$ 29,89
Tornillo M4x40mm	Unidad	11	\$ 0,18	\$ 1,98
Tornillo M4x20mm	Unidad	7	\$ 0,10	\$ 0,70
Rodamiento 4x13x5 mm	Unidad	8	\$ 6,63	\$ 53,04
Tuercas M4	Unidad	14	\$ 0,02	\$ 0,28
Cobre M3x6x5	Unidad	4	\$ 0,50	\$ 2,00
Tornillo M3x16mm	Unidad	6	\$ 0,08	\$ 0,48
Tornillo M3x10mm	Unidad	4	\$ 0,07	\$ 0,28
Arandelas M4	Unidad	8	\$ 0,02	\$ 0,16
Tuercas M3	Unidad	2	\$ 0,02	\$ 0,04
Arandelas M3	Unidad	6	\$ 0,02	\$ 0,12
TOTAL				\$ 386,01

De los cuales, \$165,18 fueron financiados por la empresa auspiciante TÍA S.A.

3.4.1 Análisis de la disponibilidad del mercado

A excepción de los motores de paso, el servo, rodamientos y elementos de sujeción, los componentes y materiales fueron encontrados en el mercado local.

Debido a que un equipo de esta naturaleza puede compararse en cuanto a forma a un deslizador, cuyo costo en el mercado internacional ronda los \$300.00 se puede afirmar que el valor del equipo construido está dentro de los valores aceptables para un prototipo experimental que puede mejorarse a largo plazo.

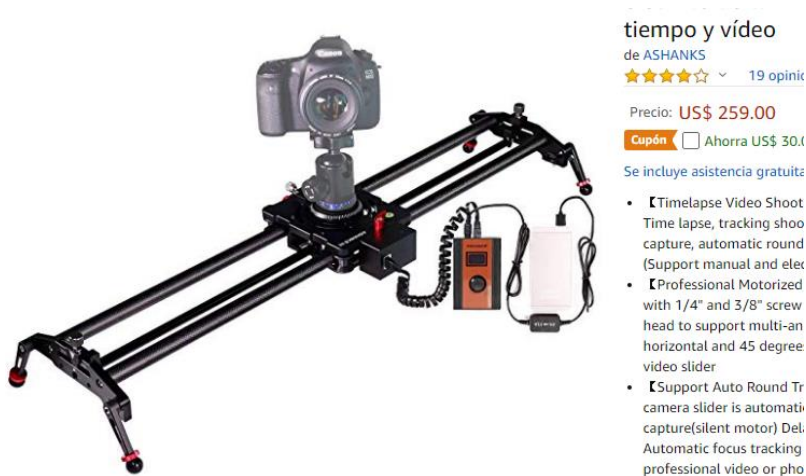


Imagen 3.16: Deslizador motorizado para cámara [Amazon]

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El análisis del cuerpo sólido correspondiente a los rieles del equipo dio como resultado una deformación tan baja que poco probable que afecte al registro en video de la cámara.
- El análisis de esfuerzos sobre la base del brazo muestra valores por debajo de los considerables como para pensar una falla por fatiga.
- La elección de los motores de paso para el control horizontal de los brazos fue acertada ya que la naturaleza de su movimiento permite hacer una corrección milimétrica del movimiento, lo que no se logra con un motor DC.
- El sistema de control basado en visión artificial identifica correctamente los objetos de interés en base a su color, y el código permite realizar las correcciones necesarias en los parámetros de color para adaptar el equipo a diferentes grados de luz ambiental.
- La corrección de la posición por medio de un sistema de control simplificado ON/OFF proporcional, es suficiente para el objetivo del proyecto ya que no es necesaria mucha precisión en el encuadre debido a que el objeto de estudio es grande y no está a más de 5 metros de la cámara.

4.2 Recomendaciones

- Antes de utilizar el equipo es necesario hacer la calibración del brillo en los rangos de amarillos ya que este factor depende de la iluminación ambiental.
- Revisar el estado de las bandas, tornillos y poleas antes de hacer correr el equipo.
- Para evitar errores durante el registro en video de la posición del objeto de interés, se recomienda buscar un ambiente con colores neutros y

donde no existan más objetos del mismo color que el requerido para el estudio.

- Se puede hacer el cambio de los Arduino MEGA y UNO por controladores con mejores capacidades que permitan el control simultáneo de ambos motores con un solo equipo.
- El equipo está diseñado para ser de uso modular, esto quiere decir que se puede utilizar el riel con el motor de banda para el movimiento horizontal. Si el espacio es reducido, se retira la base del brazo del riel y se conecta la alimentación del motor a la otra entrada para permitir la corrección horizontal.
- En un diseño posterior, se debería considerar el uso de baterías, un Raspberry y una pantalla portátil para suplir el uso de una PC laptop.
- Para mejorar los tiempos de respuesta del equipo se recomienda utilizar un procesador multitareas que permita la recepción de los datos desde el programa de VA mientras se sigue corrigiendo la posición en simultáneo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C., V. A. C. P. E. C., & YAMID GARZÓN G. (2012). Sistema portátil de captura de movimiento para el análisis cinemático de la marcha humana. *Universidad Distrital de Francisco José de Caldas*, 18.
- [2] El brazo robot Bolt en la alfombra roja de los Goya. (2019). Recuperado 2 de julio de 2019, de <https://www.cameraandlightmag.com/noticias/el-brazo-robot-bolt-en-la-alfombra-roja-de-los-goya/1#>
- [3] Innovación en los estudios de métodos y tiempos para el análisis de la productividad - Julen Galarza Badiola - *tecnicaindustrial.es*. (2003). Recuperado 2 de junio de 2019, de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-1773-innovacion-estudios-metodos-tiempos-analisis-productividad.aspx>
- [4] John J. Sanabria S, J. F. A. D. (2012). Detección y análisis de movimiento utilizando visión artificial. *Universidad Industrial de Santander*, 10.
- [5] Qué es la visión artificial | Cognex. (2019). Recuperado 2 de julio de 2019, de <https://www.cognex.com/es-ar/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
- [6] Waldron K & Sreenivasan S. (1996) *A Study of the Solvability of the Position Problem for Multi-Circuit Mechanism*. *Journal of Mechanical Design*, 118(3), p390.
- [7] Guía definitiva para comprar motores. Qué hay que saber. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2019, de [staticboards.es website: https://www.staticboards.es/blog/motores-paso-paso/](https://www.staticboards.es/blog/motores-paso-paso/)
- [8] Motor paso a paso 28BYJ-48 5V más driver compatible arduino. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2019, de Ruyman Guanche Luján website: <http://k-electronica.es/complementos/341-motor-paso-a-paso-28byj-48-5v-mas-driver-compatible-arduino-en-tenerife-canarias-la-laguna-8436545520444.html>
- [9] Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 1092.

- [10] Recalfreno - Proverepuestos - Prohinsa, Repuestos automotrices e industriales en Quito Ecuador. (s. f.). Recuperado 2 de julio de 2019, de <https://www.recalfreno.com/es/productos/1>
- [11] Vulcanus MAX - impresora 3D ampliar el marco de aluminio de CoreXY / Paso 8: COREXY teniendo actualizaciones - askix.com. (s. f.). Recuperado 3 de julio de 2019, de https://www.askix.com/vulcanus-max-impresora-3d-ampliar-el-marco-de-aluminio-de-corexy_9.html
- [12] John J. Sanabria S, J. F. A. D. (2012). Detección y análisis de movimiento utilizando visión artificial. *Universidad Industrial de Santander*, 10.
- [13] Lin, I.-C., & Ouhyoung, M. (2005). Mirror MoCap: Automatic and efficient capture of dense 3D facial motion parameters from video. *The Visual Computer*, 21(6), 355-372. <https://doi.org/10.1007/s00371-005-0291-5>
- [14] Andrew Pytel, F. S. (1997). *Resistencia de Materiales* (4.^a ed., Vol. 1). Francisco Paniagua.
- [15] Ejemplos Doble Integracion CON Macaulay - IT313: Mecánica de sólidos II. (s. f.). Recuperado 12 de agosto de 2019, de StuDocu website: <https://www.studocu.com/en/document/universidad-de-guadalajara/mecanica-de-solidos-ii/lecture-notes/ejemplos-doble-integracion-con-macaulay/2974703/view>
- [16] El control proporcional: Definiciones prácticas y precisas – Instrumentacion, Control y Automatizacion Industrial. (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2019, de <https://instrumentacionycontrol.net/el-control-proporcional-definiciones-practicasyprecisas/>
- [17] Kueppers teoria del color: Homepage. (2008, febrero 9). Recuperado 18 de agosto de 2019, de <https://web.archive.org/web/20080209023216/http://www.ipsi.fraunhofer.de/Kueppersfarbe/es/index.html>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Detalle de construcción de la base de los rieles usando una fresa CNC ROLAND

La construcción de las bases para los rieles del carro se hizo en duralón, debido a que la alineación entre los rieles debe ser de alta tolerancia, se decidió utilizar una fresa CNC con una fresa de 6 mm de diámetro cuya tolerancia es de 0,01 mm. Con esto se asegura un paralelismo casi perfecto en los rieles. El número de pases fue 50 y se detalla el contorno de la figura continuación:

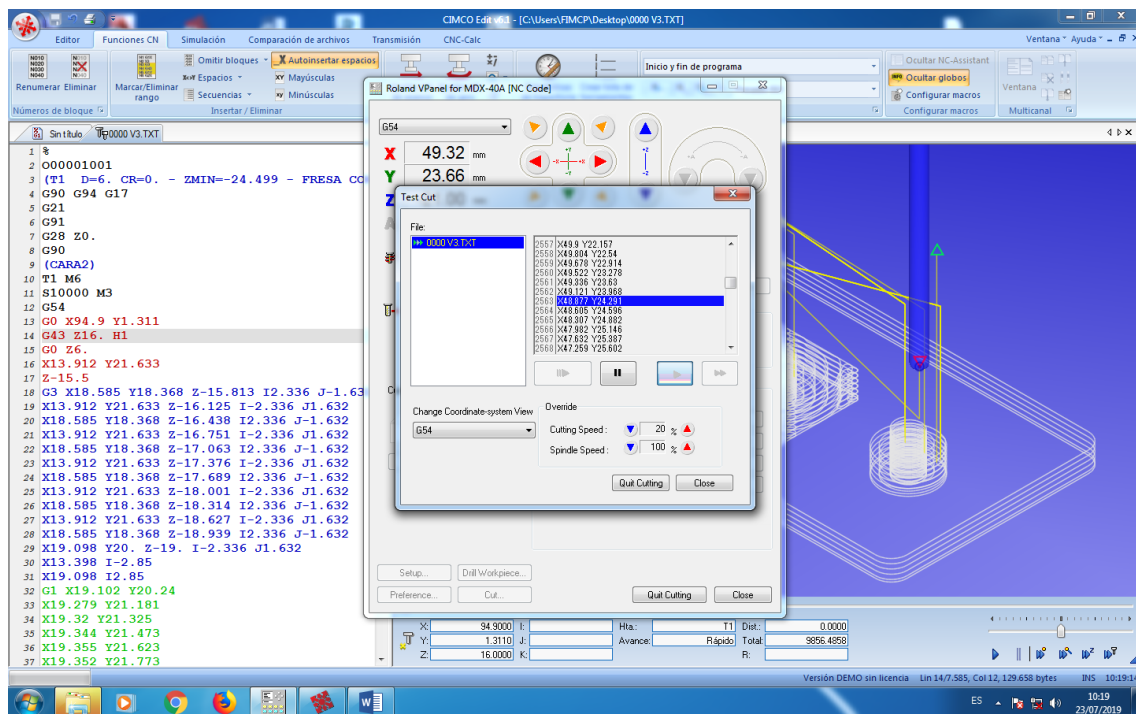


Imagen A.1: Velocidades de maquinado [el autor]

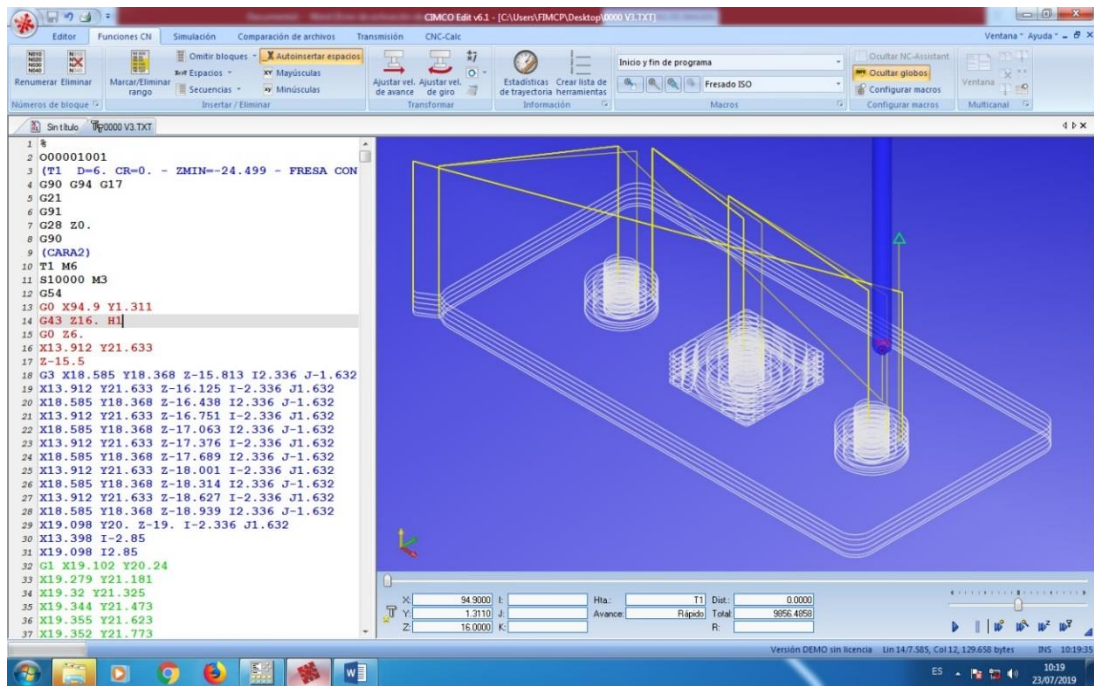


Imagen A.2: Desplazamiento de la fresa durante el maquinado [el autor]



Imagen A.3: Fabricación de la pieza en CNC



Imagen A.4: Bases maquinadas

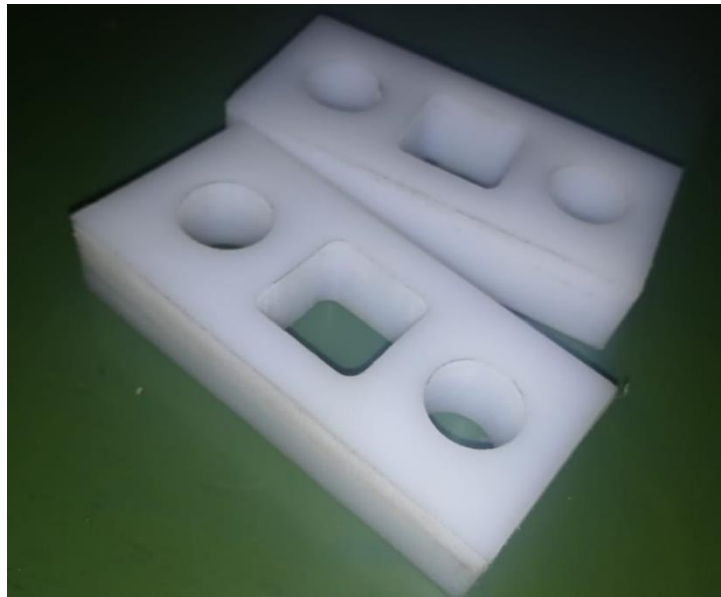


Imagen A.4: Piezas terminadas

Construcción de los eslabones del brazo

Debido a que los eslabones del brazo deben adaptarse a los componentes electromecánicos con ajuste de presión, además de poseer los agujeros en la posición precisa para permitir que los pernos pasen hasta las roscas en los motores; se decidió fabricar las piezas por medio de manufactura aditiva. La materia prima fue PLA y el resultado de la fabricación se detalla en las siguientes imágenes:

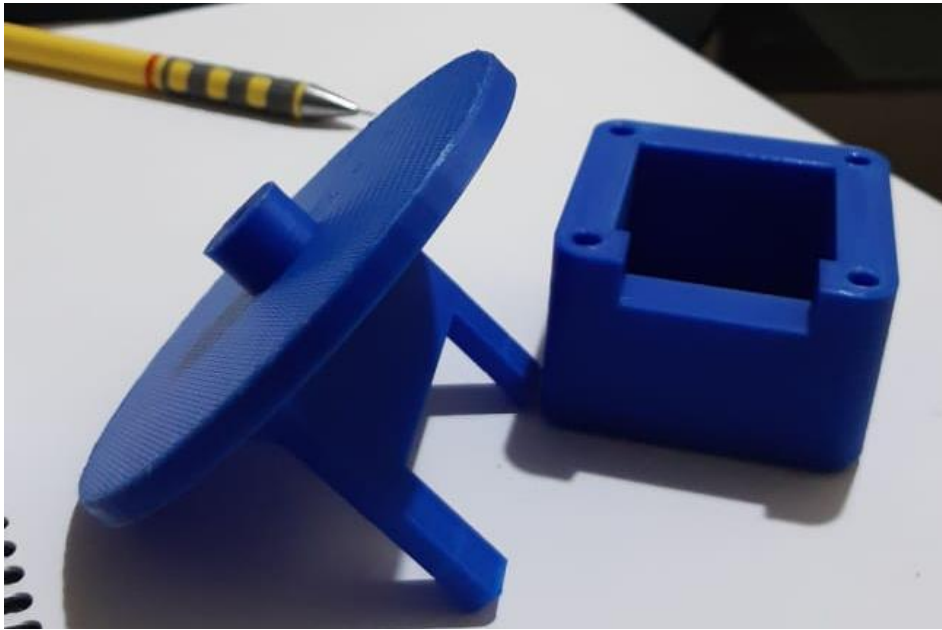


Imagen A.5: Eslabones fabricados por manufactura aditiva

Para poder roscar pernos dentro del eslabón inferior, se utilizaron roscar ciegas de cobre que se insertan dentro de la pieza y se fijan usando un adhesivo líquido. Esto permite formar una junta segura entre la base del motor y el eslabón.

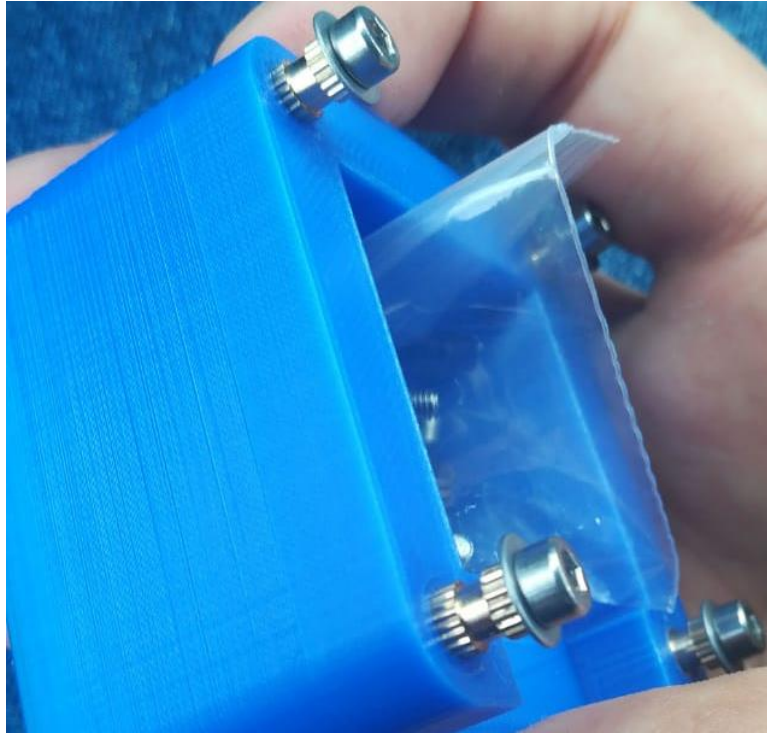


Imagen A.6: Detalle de las roscas ciegas

Una vez armados los eslabones sobre la base del brazo y adjuntando las llantas y rodamientos el resultado es:

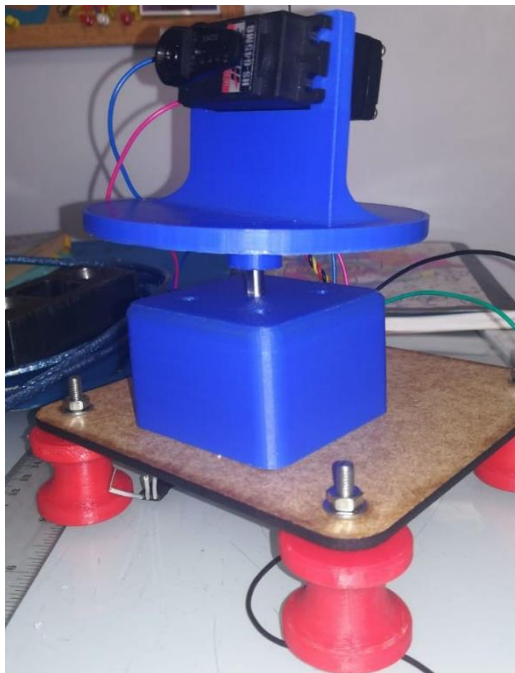


Imagen A.7: Brazo sobre base

APÉNDICE B

Planos de construcción

4

3

2

1

F

F

E

E

D

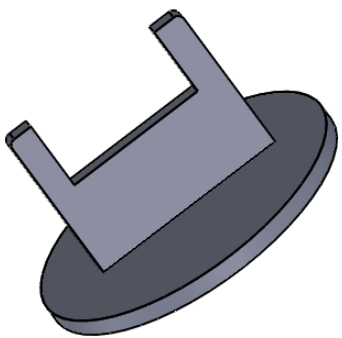
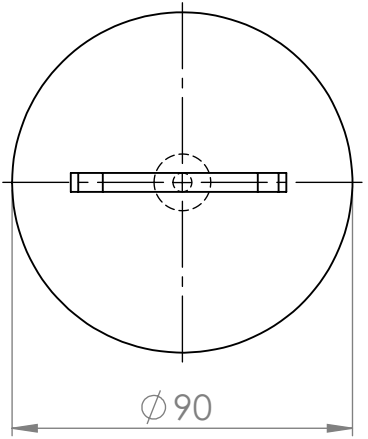
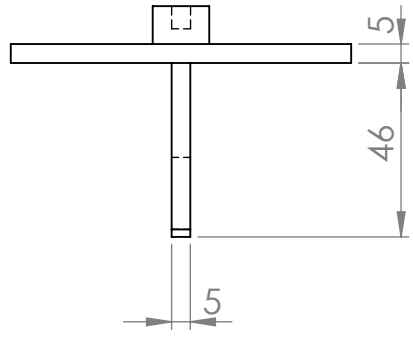
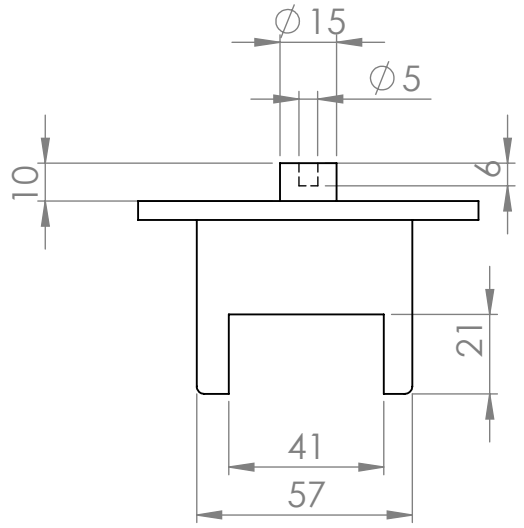
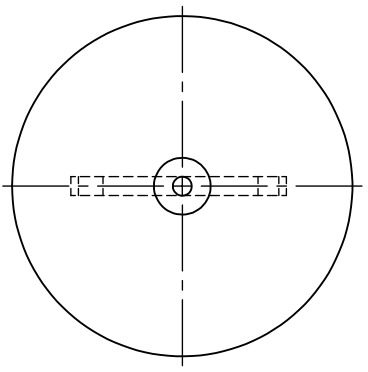
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. Briño		
VERIF.	G. Durazno		
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Brazo robótico

N.º DE DIBUJO
Eslabón servo

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 8

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

120

3

E

E

R2

4

R2

D

D

38.45

43.10

120

43.10

C

C

$\phi 4 \times 2$

$\phi 3 \times 4$

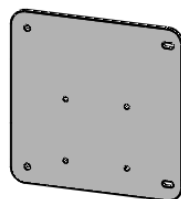
19

9.50

11.50

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS: 0.01
 LINEAL:
 ANGULAR: 0.01 rad

ACABADO: Para ser cortado con láser

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. Briño		
VERIF.	G. Durazno		
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Brazo Robótico

MATERIAL:
 Acrílico

N.º DE DIBUJO
Base de Brazo

A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 2 DE 8

4

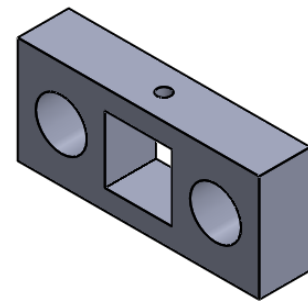
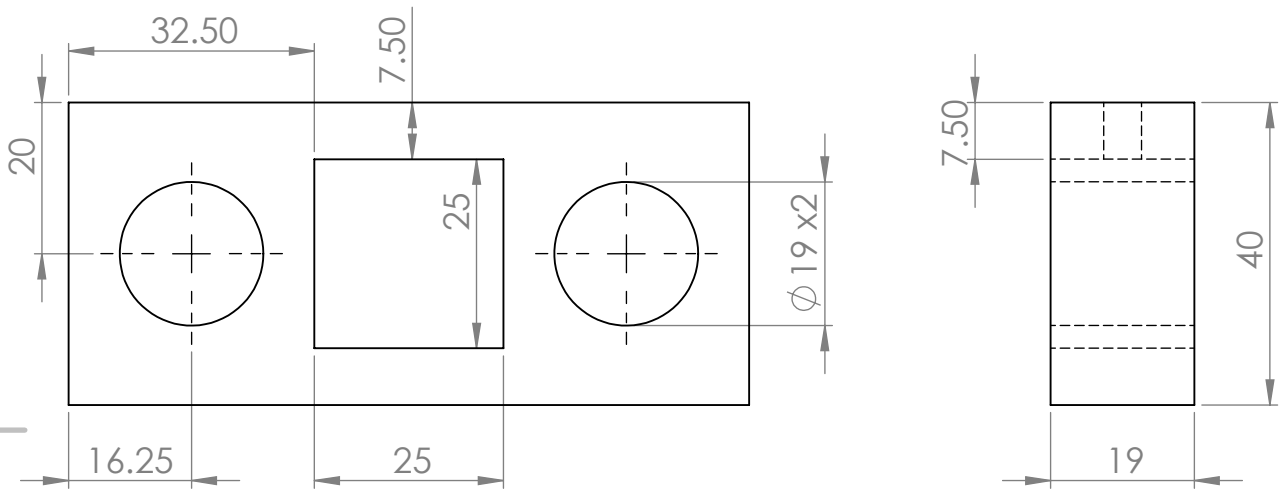
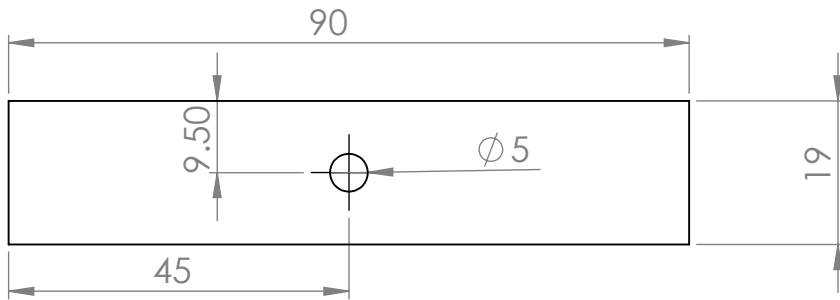
3

2

1

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL: 0.01 mm
ANGULAR: 0.01 rad

ACABADO: Para ser maquinado
en fresa CNC

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. Briño		
VERIF.	G. Durazno		
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:

Brazo Robótico

N.º DE DIBUJO

Soporte de guías

A4

MATERIAL:

Duralón

PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 4 DE 8

4

3

2

1

F

F

E

E

D

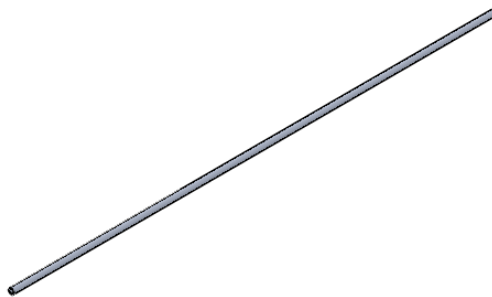
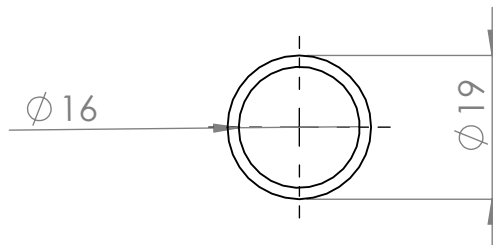
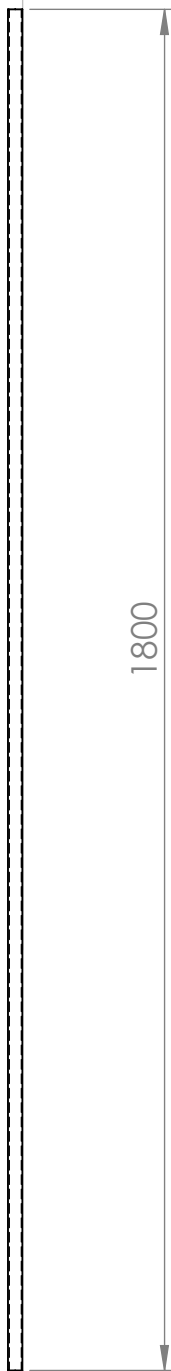
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL: 0.01 mm
 ANGULAR: 0.01 rad

ACABADO: Por extrucción

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	M. Briño				
VERIF.	G. Durazno				
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	
				Aluminio	
				PESO:	

TÍTULO:		<h1>Brazo Robótico</h1>	
N.º DE DIBUJO			
Riel		A4	
ESCALA:1:20		HOJA 5 DE 8	

4

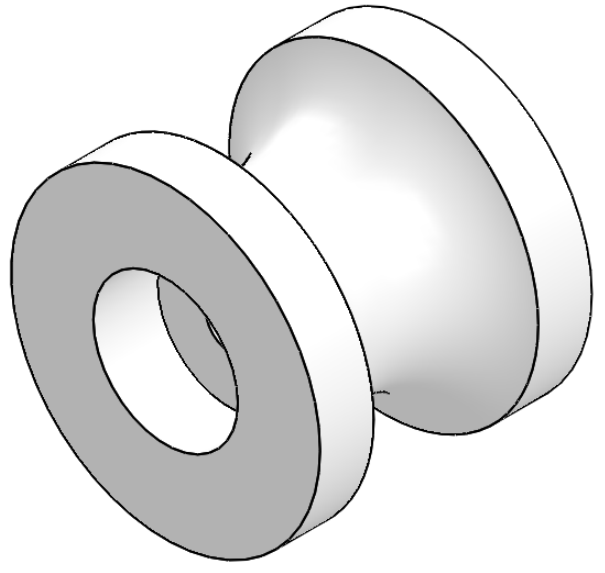
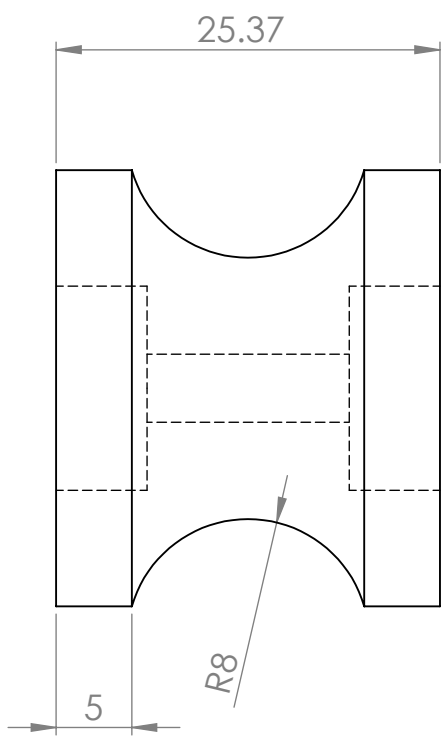
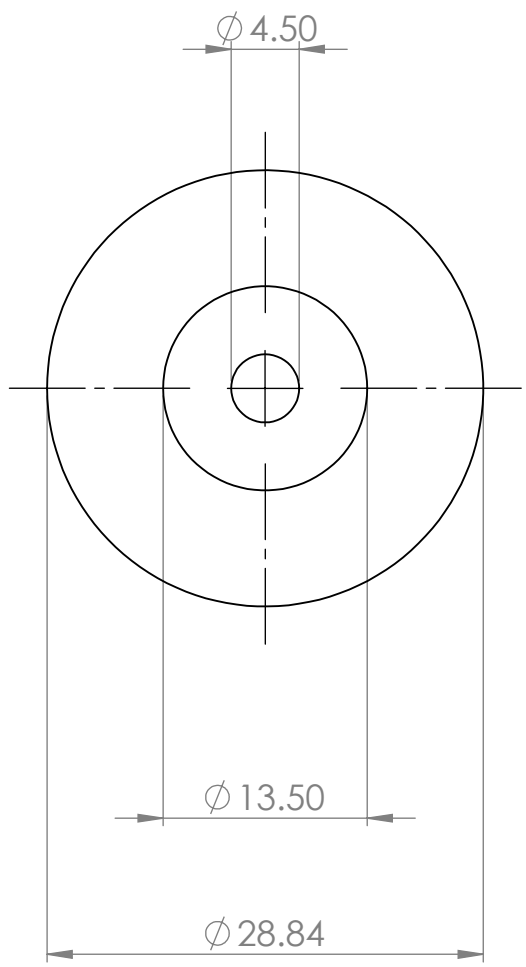
3

2

1

A

A

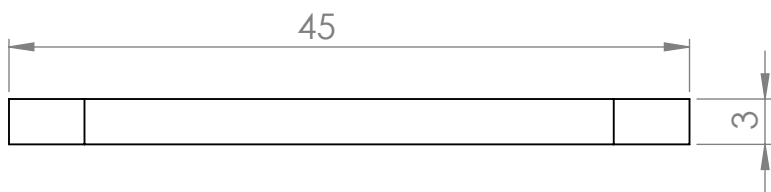


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: 0.01 mm ANGULAR: 0.01 rad		ACABADO: Impreso 3D		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: Brazo Robótico			
DIBUJ. M. Briño						N.º DE DIBUJO Rueda			
VERIF. G. Durazno									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL: PLA		ESCALA:2:1		HOJA 6 DE 8	
				PESO:				A4	

4 3 2 1

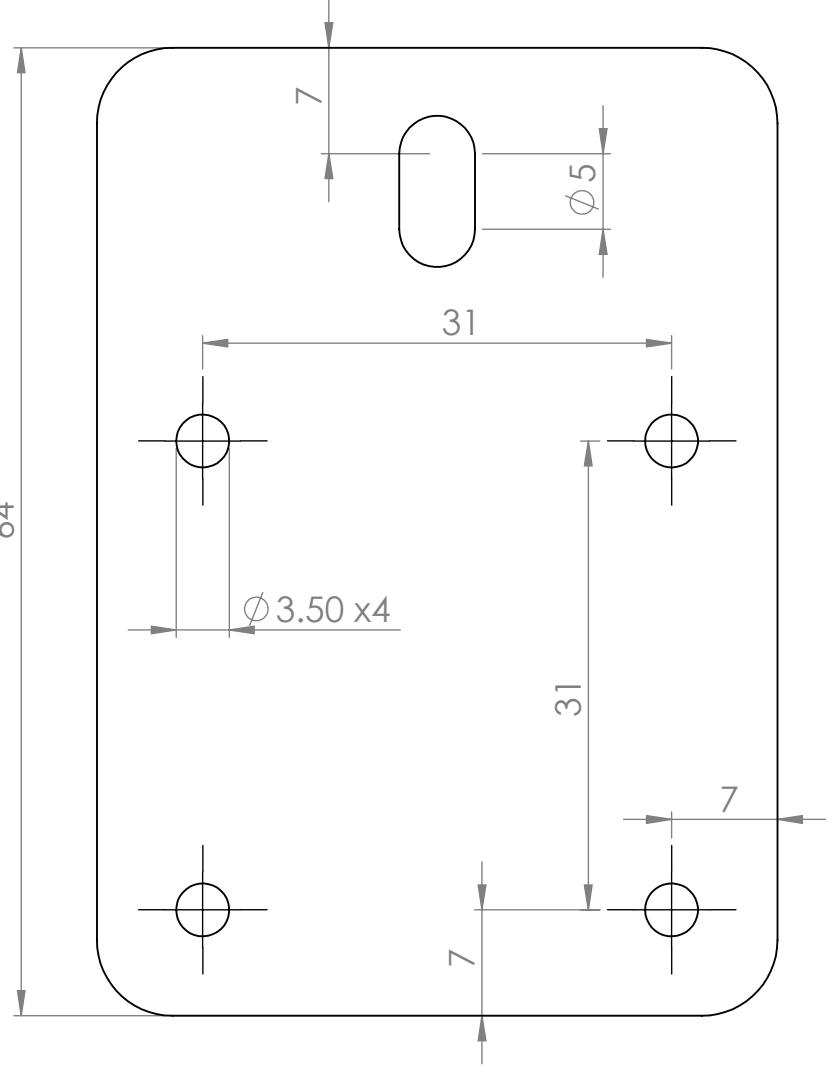
F

F



E

E



D

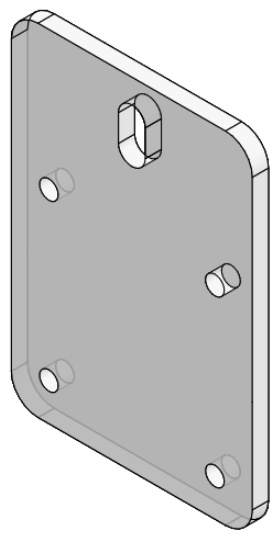
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL: 0.01 mm
ANGULAR: 0.01 rad

ACABADO: Corte con láser

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	M. Briño		
VERIF.	G. Durazno		
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Brazo Robótico

N.º DE DIBUJO
Base de Motor

A4

ESCALA:2:1

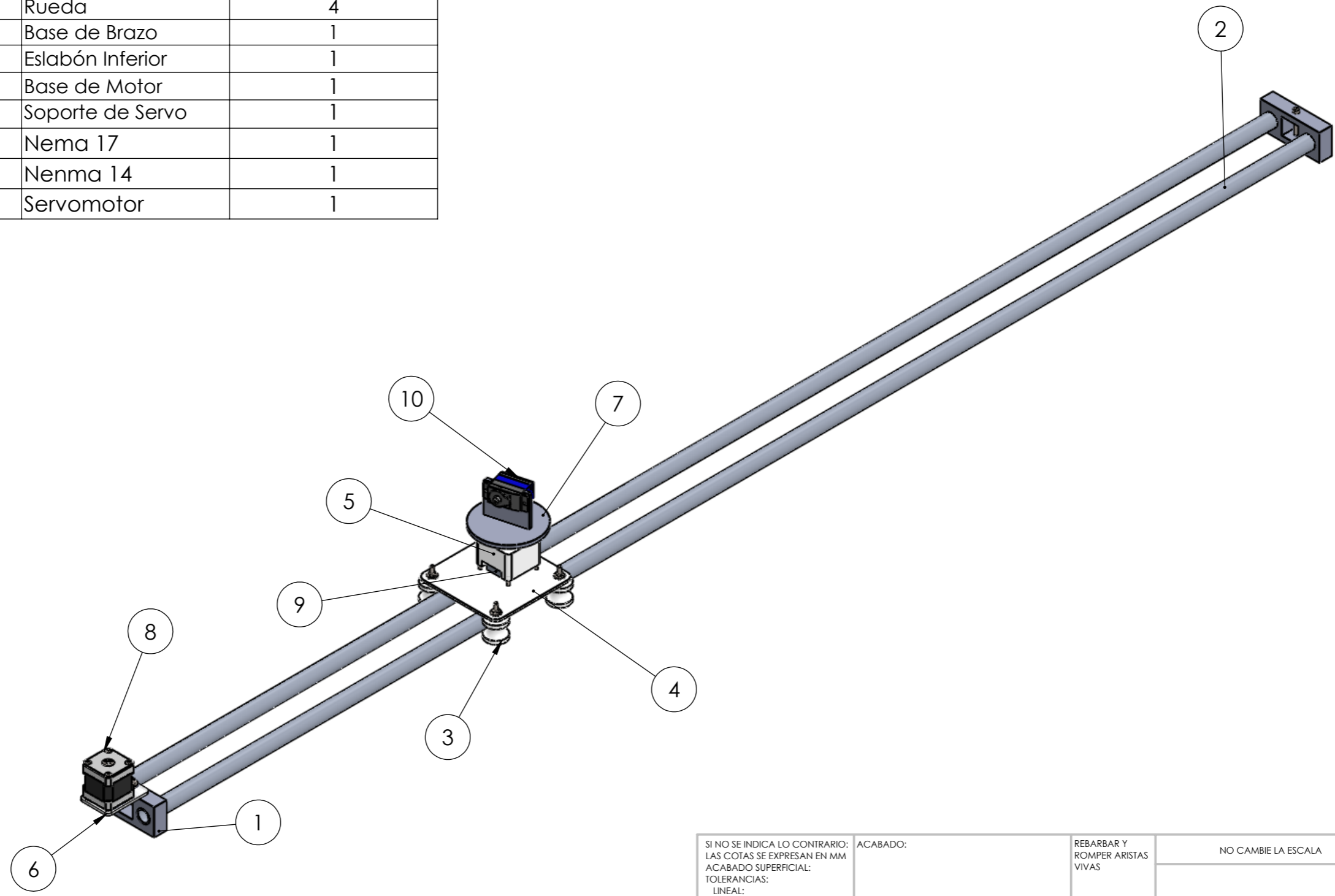
HOJA 7 DE 8

A

A

4 3 2 1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Guías para Rieles	2
2	Riel	2
3	Rueda	4
4	Base de Brazo	1
5	Eslabón Inferior	1
6	Base de Motor	1
7	Soporte de Servo	1
8	Nema 17	1
9	Nenma 14	1
10	Servomotor	1



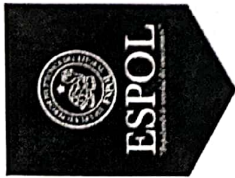
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	M. Brito	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Brazo Robótico	
VERIF.	G. Durazno			N.º DE DIBUJO Boceto	
APROB.				A3	
FABR.				ESCALA:1:20	
CALID.			MATERIAL: Varios	HOJA 8 DE 8	
			PESO:		



Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2019 - Termino I
Registro de Reuniones del Proyecto

Paralelo: #1
Profesor Coordinador: FRANCIS R. LOAYZA P. Ph.D.
Proyecto: DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO CON V.A

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Profesor Tutor	Retroalimentación del Tutor
01	13/05	M. BRITO	Gabo Durango	PROPUESTA DEL PROYECTO INDICACIONES GENERALES
02	20/05	M. BRITO	Gabo Durango	NECESIDADES MECÁNICAS DEL PROTOTIPO
03	27/05	M. BRITO	Gabo Durango	CAMBIAR LA INTRODUCCION - KICKAR DESCRIPCION DEL PROBLEMA.
04	17/06	M. BRITO	Gabo Durango	- CAMBIAR ESTADO DE ARTE - EL EQUIPO DEBE SER LIGERO
05	24/06	M. BRITO	Gabo Durango	NO HABLAR DEL BRAZO EN LA DEFINICION DEL PROBLEMA
06	31/07	M. BRITO	Gabo Durango	ACLARACION EN LOS OBJETIVOS SECUNDARIOS



FIMCP
Facultad de Ingeniería en Mecánica
y Ciencias de la Producción

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2019 - Termino I
Registro de Reuniones del Proyecto

Paralelo: ~~#1~~
Profesor Coordinador: FRANCIS R. LOARZA P. Ph.D
Proyecto: DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO CON V.A

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Profesor Tutor	Retroalimentación del Tutor
07	10/07	M. BRITO	Gabo Durango	DISEÑAR LOS SOPORTES PARA LOS DISEÑOS DEL EQUIPO.
08	17/07	M. BRITO	Gabo Durango	CAMBIA DE BOQUETE #4 AL BOQUETE #5 DISEÑAR TODO EL EQUIPO
09	24/07	M. BRITO	Gabo Durango	CAMBIA TODA LA INTRODUCCIÓN PARA HABLAR DE I.A Y ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS
10	22/08	M. BRITO	Gabo Durango	CAMBIA SISTEMA DE RUEDAS USAR OTRO TIPO DE TÍTULO SIN IMPORTAR DE CUANTO SE DEFLECTE
11	26/08	M. BRITO	Gabo Durango	UTILIZAR DOS ARDUINOS PARA CONTROLAR INDEPENDIEMENTE EL SERVO Y EL MOTOR DE PASA-
12	30/08	M. BRITO	Gabo Durango	CAMBIA LOS DIAGRAMAS DE CONEXIÓN EN EL DOCUMENTO.