

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Diseño de soporte motorizado con movimiento horizontal y vertical para  
cámara fotográfica con sistema de control remoto

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecánica**

Presentado por:

Luis Ernesto Heredia Aguilar.

Kevin Alberto Vera Gómez.

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

Este logro alcanzado se lo dedico primeramente a mi madre, por su apoyo incondicional y económico durante toda esta etapa de mi vida, por sus consejos y por siempre haber creído en mí. A mi padre por su apoyo económico. A mis hermanos por darme confianza, fuerza y valor.

Kevin Alberto Vera Gómez

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a todos mis familiares, con el esfuerzo de ellos he llegado hasta donde estoy, dedicó este proyecto a mi Abuelita Martha que en paz descanse, porque siempre fue mi compañera en los momentos que estaba solo. Dedico este trabajo a la universidad, porque me he formado como profesional en sus instalaciones y me ha permitido tener experiencias que jamás olvidaré.

Luis Ernesto Heredia Aguilar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por la vida, a mi papá Ernesto Heredia Quezada, a mi mamá Maritza Aguilar Santacruz, por la ayuda incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida y mi carrera profesional, además de sus consejos para ser cada día una mejor persona; a mi novia Paola Martínez por su colaboración total a lo largo de mi vida universitaria, por acompañarme muchas veces en mis horas de estudio. Agradezco a mis hermanas y hermano por el incentivo de verme crecer, a mis tíos, tías, mi abuelita, mi abuelo y a todos mis familiares que de una u otra manera me han brindado su apoyo durante muchos años. También a mis compañeros y amigos que conocí durante este tiempo. A los profesores Eloy Moncayo y Rodolfo Paz que me guiaron en el desarrollo de este proyecto, y a todos los profesores por sus experiencias y conocimientos brindados en cada una de las aulas que cursé.

Luis Ernesto Heredia Aguilar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a esta gran Universidad por haberme formado en conocimientos técnicos y haber cambiado mi visión de la vida. A mis familiares por su apoyo y esfuerzo económico. A los maestros MSc. Eloy Moncayo y MSc. Rodolfo Paz sin su guía y sus conocimientos este trabajo no hubiese sido posible.

Kevin Alberto Vera Gómez

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Kevin Alberto Vera Gómez* y *Luis Ernesto Heredia Aguilar* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL 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"

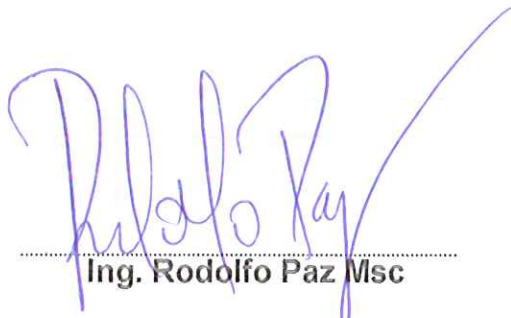
*KEVIN VERA G.*

Kevin Alberto Vera Gómez

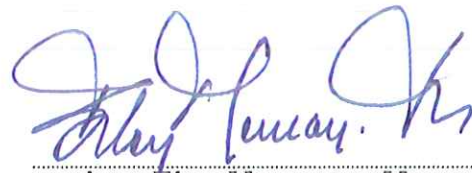


Luis Ernesto Heredia Aguilar

## EVALUADORES



.....  
Ing. Rodolfo Paz Msc  
PROFESOR DE LA MATERIA



.....  
Ing. Eloy Moncayo. Msc  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El time-lapse es una técnica que se emplea para mostrar una secuencia de imágenes en un video de corta duración, sobre eventos que se desarrollan en largos intervalos de tiempo. El objetivo final es diseñar un soporte motorizado que permita dar movimiento a una cámara fotográfica en dos planos (pan/tilt), y así tener un enfoque más amplio. Además, desarrollar un sistema de control remoto que facilite el movimiento del soporte y el trabajo del usuario, es muy difícil para los fotógrafos realizar movimientos lentos durante una captura de imágenes. Existen países que ofrecen turismo de sus ciudades con videos cortos, también hay empresas que ofertan sus trabajos con videos publicitarios. Para diseñar el soporte, se analizó las necesidades y requerimientos que tiene un fotógrafo al elaborar un time-lapse en movimiento. Este se construyó con materiales que permitan cumplir los objetivos diseño, como aluminio, acero y polímero, de modo que resista el peso de una cámara DSRL y su lente, así como, tener un costo bajo de fabricación. Se realizaron cálculos para el diseño de elementos críticos del soporte como el eje de transmisión y los engranes para transferir el movimiento de los motores. Como resultado se obtuvo el prototipo y la realización de un time-lapse dentro de las instalaciones de ESPOL. Finalmente, se construyó un soporte con una aplicación Android para dirigir los movimientos. Es muy importante la elaboración de estos soportes, y trabajar en el diseño para que se permita realizar un time-lapse en diferentes condiciones climáticas.

**Palabras Clave:** Soporte, Pan, Tilt, Time-lapse



## **ABSTRACT**

*Time-lapse is a technique used to show a sequence of images in a short video, about events that take place over long intervals of time. The final goal is to design a motorized support that allows movement to a camera in two planes (pan / tilt), and thus have a broader focus. In addition, to develop a remote-control system that facilitates the movement of the support and the work of the user, it is very difficult for photographers to perform slow movements during an image capture. There are countries that offer tourism in their cities with short videos, there are also companies that offer their work with advertising videos. To design the support, we analyzed the needs and requirements of a photographer when making a time-lapse in motion. This was built with materials that allow to meet the design objectives, such as aluminum, steel and polymer, so that it resists the weight of a DSRL camera and its lens, as well as having a low manufacturing cost. Calculations were made for the design of critical elements of the support such as the transmission shaft and the gears to transfer the movement of the motors. As a result, the prototype was obtained and a time-lapse was carried out within the ESPOL facilities. Finally, a support was built with an Android application to direct the movements. It is very important to prepare these supports, and to work on the design so that they allow a time-lapse in different climatic conditions.*

**Keywords:** Support, Pan, Tilt, Time-lapse

# ÍNDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| RESUMEN .....  | I   |
| ABSTRACT .....   | II  |
| ÍNDICE GENERAL .....   | III |
| ABREVIATURAS .....   | V   |
| SIMBOLOGÍA.....  | VI  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | IX  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | X   |
| ÍNDICE DE PLANOS.....  | XI  |
| CAPÍTULO 1 .....   | 1   |
| 1. Introducción.....   | 1   |
| 1.1 Descripción del problema .....   | 1   |
| 1.2 Justificación del proyecto .....   | 1   |
| 1.3 Objetivos .....  | 2   |
| 1.3.1 Objetivo General.....  | 2   |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....   | 2   |
| 1.4 Marco teórico .....  | 2   |
| CAPÍTULO 2.....  | 5   |
| 2. Metodología.....  | 5   |
| 2.1 Lista preliminar de las necesidades y requerimientos del cliente.....    | 5   |
| 2.2 Análisis de las necesidades del cliente.....                             | 6   |
| 2.3 Formulación de funciones y medios para los componentes del soporte ..... | 7   |
| 2.4 Generación de alternativas para el diseño del soporte .....              | 9   |
| 2.4.1 Alternativas para el diseño del movimiento del soporte.....            | 9   |
| 2.4.2 Alternativas para el diseño de la estructura del soporte .....         | 9   |
| 2.4.3 Alternativas para el diseño del sistema de control del soporte.....    | 10  |
| 2.5 Generación de importancia para los criterios de selección .....          | 10  |
| 2.6 Selección de la mejor solución .....                                     | 13  |
| 2.7 Especificaciones de diseño .....   | 14  |
| 2.8 Diseño detallado .....   | 15  |
| 2.8.1 Diseño detallado de la estructura.....                                 | 15  |
| 2.9 Selección de motores .....   | 17  |
| 2.10 Cálculo de esfuerzos .....  | 19  |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| 2.10.1          | Esfuerzos en eje de transmisión de potencia en el movimiento Pan ..... | 19 |
| 2.10.2          | Cálculo de esfuerzos en los engranes cónicos .....                     | 20 |
| 2.11            | Selección de Microcontroladores y Drivers.....                         | 22 |
| CAPÍTULO 3..... |  | 26 |
| 3.              | Resultados y Análisis .....  | 26 |
| 3.1             | Aplicación Android.....  | 26 |
| 3.1.1           | Procedimiento de uso y control del soporte .....                       | 28 |
| 3.2             | Análisis de costos.....  | 30 |
| CAPÍTULO 4..... |  | 33 |
| 4.              | Conclusiones y Recomendaciones .....                                   | 33 |
| 4.1             | Conclusiones.....  | 33 |
| 4.2             | Recomendaciones.....   | 34 |
| BIBLIOGRAFÍA    |  |    |
| APÉNDICES       |  |    |

## **ABREVIATURAS**

|       |  |
|-------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| DSRL  | Digital Single Reflex Lens               |
| PAN   | Movimiento Panorámico                    |
| TILT  | Movimiento Inclinación                   |
| AGMA  | American Gear Manufacturers Association  |

## SIMBOLOGÍA

|              |                                |
|--------------|--------------------------------|
| $m$          | Metro                          |
| $mV$         | Milivoltio                     |
| $in$         | Pulgadas                       |
| $rpm$        | Revoluciones por minuto        |
| $T$          | Torque                         |
| $d$          | Distancia                      |
| $F$          | Fuerza                         |
| $Kg$         | Kilogramo                      |
| $Lb$         | Libras                         |
| $Ncm$        | Newton -centímetro             |
| $V$          | Voltio                         |
| $A$          | Amperio                        |
| $Nm$         | Newton-metro                   |
| $lb\ in$     | Libra pulgada                  |
| $W1$         | Peso de la cámara              |
| $W2$         | Peso del motor                 |
| $W3$         | Peso de la estructura superior |
| $W$          | Peso                           |
| $M$          | Masa                           |
| $g$          | Gravedad                       |
| $W_{total}$  | Peso total que soporta el eje  |
| $N$          | Newton                         |
| $\sigma$     | Esfuerzo normal                |
| $A_r$        | Área                           |
| $\alpha$     | Ángulo CAB del eje             |
| $\Delta ABC$ | Área del triángulo ABC         |
| $mm$         | Milímetro                      |
| $A_t$        | Área de la sección transversal |
| $A_c$        | Área del círculo               |
| $A_{sc}$     | Área del segmento circular     |
| $S_y$        | Resistencia a la fluencia      |

|             |   |
|-------------|---|
| $Pa$        | Pascal  |
| $n$         | Factor de seguridad                             |
| $f$         | Ancho de cara del engrane                       |
| $r_p$       | Radio de paso del piñón                         |
| $d_p$       | Diámetro de paso del piñón                      |
| $\alpha_p$  | Ángulo de paso del piñón                        |
| $d_g$       | Diámetro de paso del engrane                    |
| $\alpha_g$  | Ángulo de paso del engrane                      |
| $\emptyset$ | Ángulo de presión                               |
| $m_G$       | Razón del engrane                               |
| $\omega_p$  | Velocidad angular del piñón                     |
| $\omega_g$  | Velocidad angular del engrane                   |
| $N_p$       | Número de dientes del piñón                     |
| $N_g$       | Número de dientes del engrane                   |
| $W_a$       | Fuerza axial sobre los dientes del engrane      |
| $W_r$       | Fuerza radial sobre los dientes del engrane     |
| $W_t$       | Fuerza tangencial sobre los dientes del engrane |
| $W$         | Fuerza total sobre los dientes del engrane      |
| $d_m$       | Diámetro de paso medio                          |
| $\sigma_b$  | Esfuerzo de flexión en el engrane               |
| $P_d$       | Paso diametral                                  |
| $J$         | Factor geométrico de flexión AGMA               |
| $K_v$       | Factor dinámico                                 |
| $K_m$       | Factor de distribución de carga                 |
| $K_a$       | Factor de aplicación                            |
| $K_s$       | Factor de tamaño                                |
| $K_x$       | Factor de engranes cónicos                      |
| $T_p$       | Torque de operación del piñón                   |
| $T_D$       | Torque de diseño del piñón                      |
| $S'_{fc}$   | Resistencia a la fatiga superficial             |
| $I$         | Factor geométrico superficial AGMA              |
| $C_p$       | Coeficiente elástico                            |

|          |  |
|----------|--|
| $C_b$    | Constante de ajuste del esfuerzo                 |
| $C_a$    | Factor de aplicación                             |
| $C_m$    | Factor de distribución de carga                  |
| $C_v$    | Factor de velocidad                              |
| $C_s$    | Factor de tamaño                                 |
| $C_f$    | Factor de acabado superficial                    |
| $C_{xc}$ | Factor de abombamiento                           |
| $C_{md}$ | Factor de montaje                                |
| $C_T$    | Factor de temperatura                            |
| $C_R$    | Factor de confiabilidad                          |
| $C_H$    | Factor de dureza                                 |
| $K_L$    | Factor de vida                                   |
| $K_T$    | Factor de temperatura                            |
| $K_R$    | Factor de confiabilidad                          |
| $S_{fb}$ | Resistencia a la fatiga por la flexión corregida |
| $N_b$    | Factor de seguridad piñón                        |
| $GND$    | Puesta a tierra                                  |
| $TXD$    | Transmit Data/ transmisión de datos              |
| $RXD$    | Receive Data/ recepción de datos                 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| figura 2.1 Metodología del diseño.....                                      | 5  |
| figura 2.2 Diseño conceptual del soporte.....                               | 14 |
| figura 2.3 Estructura Superior del soporte .....                            | 15 |
| figura 2.4 Estructura inferior del soporte.....                             | 16 |
| figura 2.5 Diseño final del soporte .....                                   | 16 |
| figura 2.6 Dimensiones de ancho y altura del soporte .....                  | 17 |
| figura 2.7 Esquema posición crítica de diseño.....                          | 17 |
| figura 2.8 Motor de paso Nema 17 .....                                      | 18 |
| figura 2.9 Vista en sección del soporte .....                               | 19 |
| figura 2.10 Vista de sección del eje .....                                  | 20 |
| figura 2.11 Geometría y nomenclatura de un engrane cónico .....             | 20 |
| figura 2.12 Engrane cónico de 26 dientes .....                              | 21 |
| figura 2.13 Piñón cónico de 13 dientes.....                                 | 21 |
| figura 2.14 Arduino NANO.....   | 22 |
| figura 2.15 Modulo Bluetooth.....   | 23 |
| figura 2.16 Conexiones Driver y motor de paso con un microcontrolador ..... | 23 |
| figura 2.17 Esquema de conexiones del Hardware .....                        | 24 |
| figura 2.18 Esquema de comunicación entre la app y el soporte .....         | 25 |
| figura 3.1 Diseño de aplicación de control .....                            | 26 |
| figura 3.2 Conexion a Bluetooth .....                                       | 27 |
| figura 3.3 Programación de recorrido del soporte.....                       | 30 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1 Tabla morfológica para el diseño del movimiento del soporte.....    | 8  |
| Tabla 2.2 Tabla morfológica para el diseño de la estructura del soporte ..... | 8  |
| Tabla 2.3 Tabla morfológica para el diseño de sistema de control. ....        | 9  |
| Tabla 2.4 comparación por pares para los criterios de selección. ....         | 11 |
| Tabla 2.5 Rangos para la evaluación de alternativas. ....                     | 11 |
| Tabla 2.6 Selección del movimiento del soporte.....                           | 12 |
| Tabla 2.7 Selección de la estructura del soporte .....                        | 13 |
| Tabla 2.8 Selección del sistema de control. ....                              | 13 |
| Tabla 2.9 Especificaciones del motor de paso Nema17 .....                     | 19 |
| Tabla 3.1 Precios de los componentes del soporte .....                        | 30 |

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Vista general del soporte.
- PLANO 2 Lista de materiales, movimiento Panorámico.
- PLANO 3 Lista de materiales, movimiento Tilt.
- PLANO 4 Bevel Gear 13T/Set screw collar/ Nema 17.
- PLANO 5 Aluminum Motor Mount E/ Clamping Hub for Hub Mount Bevel Gear.
- PLANO 6 Aluminum channel 3.00"/ Clamping D-Hubs.
- PLANO 7 Flanged Ball Bearing/ Hub Mount Bevel Gear 26T.
- PLANO 8 Side Tapped Pattern Mount C/ ABS Plastic Structure.
- PLANO 9 Flanged Aluminum Clamp Collar/ Bore Side Tapped Pillow Block.
- PLANO 10 Side Tapped Pattern Mount D / Hole Reducer.
- PLANO 11 ABS Camera Plate/ Dual Side Mount A.
- PLANO 12 Hub Spacers/ Pattern Set Screw Hubs.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

Se utiliza la técnica llamada *Time-Lapse* para hacer videos de paisajes como atardeceres, amaneceres, tormentas, estrellas, relámpagos entre otros, también, videos sobre la naturaleza desde etapas de florecimiento de flores hasta la creación de un hormiguero. Para crear un time-lapse con movimiento de la cámara se debe utilizar un soporte motorizado con movimiento horizontal y vertical (pan/tilt), en tomas de barridos con intervalos de tiempos deseados. La manipulación del soporte de una cámara fotográfica Medium DSRL, con las que se encuentran los fotógrafos al desarrollar un time-lapse, es obtener el desplazamiento angular requerido en un tiempo deseado, produciendo movimientos casi imperceptibles de forma constante, para no afectar a la toma de fotografías con gran resolución. También, es difícil para una persona efectuar estos movimientos en largas jornadas, sin garantías de que estos no afecten a las fotografías captadas.

### 1.2 Justificación del proyecto

La técnica Time-lapse que está en auge en la actualidad, es utilizada por muchos medios de comunicación, agencias publicitarias y fotógrafos, donde se busca mostrar sucesos prolongados y que se los pueda observar en un video de corto tiempo. Para elaborar este tipo de fotografías, la clave está en el equipo necesario para obtener trabajos de buena calidad. Es indispensable una buena cámara para producir muchas tomas por segundo, también como requisito importante es la estabilidad de la cámara, que se puede conseguir con un trípode, soportes o bases deslizantes con movimientos en diferentes planos, de modo que se puede desplazar lineal o angularmente una cámara fotográfica para recorrer una escena. Otro aspecto importante para preparar un time-lapse es la ubicación y encuadre de la cámara; estos son aspectos que un fotógrafo los conoce muy bien, pero se necesita movimientos precisos que muy difícilmente se los consigue manipulándolos directamente.

El soporte motorizado, controlado remotamente ejecutará este tipo de movimientos sin ninguna dificultad. Ya existen algunos productos disponibles en el mercado, de diferentes configuraciones, materiales, calidades y costos. Ninguno con control desde una aplicación remota. Este proyecto integrará algunas disciplinas de diseño mecánico, accionamiento eléctrico, microcontroladores y aplicaciones Android. Se anhela construir el proyecto con fin de rediseñar el sistema de control por medio de una interfaz remota, mejorando la maniobrabilidad de este soporte.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un soporte motorizado para cámara fotográfica, controlado desde una aplicación remota, mediante una selección de productos ya existentes en el mercado, para la realización de tomas en largos intervalos de tiempo con movimientos lentos en Pan/Tilt

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Obtener movimientos lentos deseados, con motores seleccionados.
2. Diseñar estructura del soporte.
3. Seleccionar elementos mecánicos de transmisión de movimiento.
4. Desarrollar una aplicación remota para el control del soporte.

### **1.4 Marco teórico**

El **time-lapse** es una técnica que se utiliza para mostrar sucesos de larga duración en un video de corto tiempo, mediante el uso de una cámara que capta muchas fotografías en un tiempo determinado. Además, se necesita un trípode para poder fijar la cámara mientras ocurre ese suceso (Merriam-Webster, 2019). Existen time-lapse donde lo único que se mueve es el paisaje, existen otros donde se hacen ligeros cambios de posición de la cámara, haciendo capturas de una vista más amplia del paisaje. Para este último se debe utilizar un soporte motorizado de movimiento (Pan/Tilt), con movimiento en el plano vertical y en el plano horizontal (Awalt, 2018).

El soporte ajusta la dirección de una cámara fotográfica para obtener tomas de barridos en intervalos de tiempo deseados; el soporte motorizado permite ordenar y programar los movimientos mediante una aplicación remota, la cual será la interfaz de control. El soporte satisface la necesidad de los fotógrafos para poder realizar estas tomas por extensos intervalos de tiempo sin tener que operar directamente el soporte (Dev, 2013).

**Movimiento Pan:** Se lo conoce como un movimiento panorámico en su propio eje o también como un movimiento en el plano horizontal (Dev, 2013).

**Movimiento Tilt:** Se lo conoce como un movimiento de inclinación con respecto a un eje o también como un movimiento en el plano vertical (Dev, 2013).

**Trípode:** Es un dispositivo que permite soportar el peso de una cámara, además es el encargado de fijar muy bien la cámara para hacer tomas fotográficas; el trípode está compuesto por tres partes: La rotula o cabezal, las patas y la zapata (Awalt, 2018).

**La rotula o cabezal:** Es una parte muy importante del trípode, porque permite mover la cámara sin estar moviendo la estructura de un lugar a otro; hay de varios tipos, dependiendo de eso se obtiene los diferentes movimientos para la cámara.

**Las patas:** Por esta parte se da el nombre de trípode, consta de 3 patas que dan la estabilidad a la cámara y la mantiene de pie sin necesidad de sujetarla.

**La zapata:** Es el componente que permite conectar la cámara con el soporte y asegurarla mediante un tornillo o una pestaña que abre o cierra (Gunther, 2015).

**Motores de paso:** Como todo motor en esencia, es un convertidor de energía eléctrica en energía mecánica. El motor de paso al aplicarle una señal de voltaje gira un determinado ángulo de manera muy precisa. Estos ángulos pueden variar desde 90° hasta 1.8°. Para que un motor con un ángulo de paso

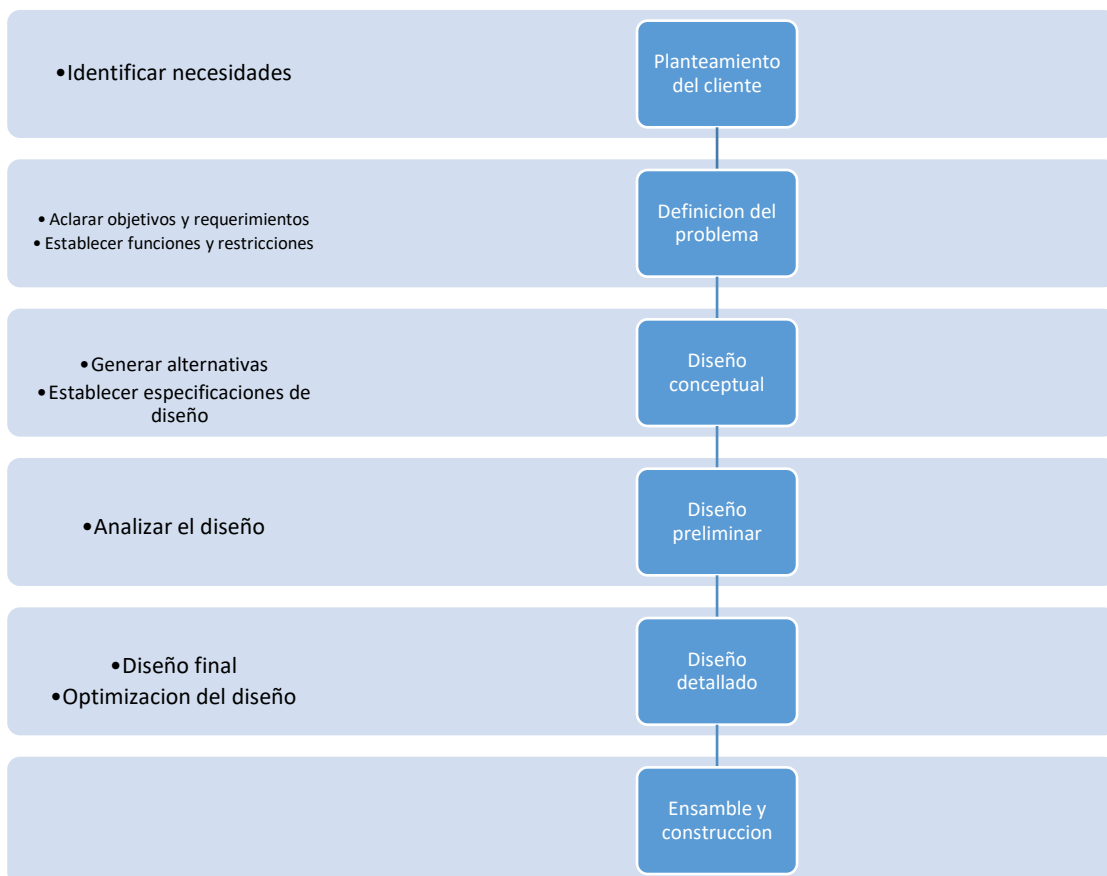
de  $1.8^\circ$  efectúe un giro de  $360^\circ$  debe ejecutar 200 pasos. Los motores de paso más utilizados son los de imán permanente y se dividen en dos tipos: unipolares y bipolares. Los motores de paso unipolares están formados por cuatro bobinas y los motores de paso bipolares están formados por dos bobinas, la corriente que circula por las bobinas cambia de sentido en función de las variaciones de voltaje (Wright, 2016).

**Holding Torque:** es el par que se debe ejercer a un motor de paso cuando los devanados están energizados, pero el rotor no está en movimiento. También conocido como torque de retención (Wright, 2016).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

El proceso de diseño que se llevó a cabo consta de seis etapas, desde definir los objetivos, criterios, restricciones y requerimientos del cliente pasando por un análisis del diseño estructural, y así culminar con el ensamble del prototipo y finalmente hacer un time-lapse con movimiento de cámara.



**figura 2.1 Metodología del diseño**  
fuente: elaboración propia

### 2.1 Lista preliminar de las necesidades y requerimientos del cliente

- Movimiento de la cámara en pan/tilt
- Ejecutar movimientos muy lentos

- Ordenar el movimiento desde una interfaz remota
- Espacio suficiente para una cámara médium size DSRL
- Facilidad de transporte (portable manualmente)
- Controlar los movimientos de la cámara.
- Velocidad mínima de 90<sup>0</sup> en 60 minutos
- Soporte liviano
- Carga máxima de 1.5 Kg
- Alto torque en motores
- Soporte pequeño
- Soporte de bajo costo
- Materiales resistentes para elaborar soporte (aluminio, polímeros)
- Movimiento a velocidad constante
- Memorizar posiciones
- Facilidad de mantenimiento
- Resistente a la corrosión
- Rango de movimiento en pan de 0<sup>0</sup> a 270<sup>0</sup>
- Rango de movimiento en tilt de 0 a 180<sup>0</sup>
- No provocar contaminación.
- Buena apariencia
- Motor de paso, motor DC, servo motor
- Encoder, micro switch, sensor de luz
- Pernos, soldadura, remaches

## **2.2 Análisis de las necesidades del cliente**

La lista de necesidades es resumida y separadas en 5 grupos principales.

### **Objetivos de diseño**

- El soporte debe realizar movimientos muy lentos.
- Debe ordenar el movimiento desde una interfaz remota
- Debe tener espacio suficiente para una cámara médium size DSRL
- Debe tener facilidad de transporte (portable manualmente)



## **Funciones**

- Movimiento de la cámara en Pan/Tilt
- Memorizar posiciones
- Movimiento a velocidad constante
- Transmisión de movimiento
- Soportar peso de la cámara y lente
- Controlar soporte

## **Medios**

- Materiales resistentes para elaborar soporte (aluminio, polímeros)
- Motor de paso, motor DC, servo motor
- Encoder, micro switch, sensor de luz, Home en App
- Pernos, soldadura, remaches

## **Criterios de selección**

- Peso (soporte liviano)
- Tamaño (soporte pequeño)
- Costo (bajo costo)
- Mantenimiento (fácil mantenimiento)
- Buena apariencia

## **Restricciones**

- Velocidad mínima de 90° en 60 minutos
- Carga máxima de 1.5 Kg
- Resistente a la corrosión
- Rango de movimiento en pan de 0° a 270°
- Rango de movimiento en tilt de 0° a 180°
- No provocar contaminación.

### **2.3 Formulación de funciones y medios para los componentes del soporte**

El diseño de los componentes del soporte se dividió en tres grupos que son: movimiento del soporte, estructura y sistema de control. A partir del análisis de las

necesidades del cliente, se elaboró una tabla de funciones y medios para cada grupo; con esta tabla se obtuvo las alternativas de diseño, basándose en las entrevistas que se efectuaron con los especialistas en fotografía.

En la tabla 2.1 se muestra las funciones y medios para el movimiento del soporte; a partir de las entrevistas realizadas, se pudo obtener las alternativas de diseño combinando una función con un medio.

**Tabla 2.1 Tabla morfológica para el diseño del movimiento del soporte**  
fuente: elaboración propia

| Funciones                          | Medios        |                 |               |
|------------------------------------|---------------|-----------------|---------------|
|                                    | 1             | 2               | 3             |
| <b>Mover a velocidad constante</b> | Motor de paso | Motor DC        | Servo motor   |
| <b>Memorizar posiciones</b>        | encoder       | Home App        | Sensor de luz |
| <b>Transmisión del movimiento</b>  | engranes      | Bandas y poleas |               |

En la tabla 2.2 se muestra las funciones y medios para el diseño de la estructura del soporte con las posibles alternativas de diseño.

**Tabla 2.2 Tabla morfológica para el diseño de la estructura del soporte**  
fuente: elaboración propia

| Funciones                              | Medios  |  |                    |
|--|---|--|--------------------|
|  | 1   | 2  | 3                  |
| <b>Movimiento de la cámara en tilt</b> |  |  |                    |
|  | Un solo apoyo en Tilt   | Doble apoyo en Tilt  |                    |
| <b>Soportar cargas de la cámara.</b>   | Aluminio  | Polímero   | Aluminio/polímero. |
| <b>Ensamble de la estructura</b>       | soldadura   | Pernos   | Remaches           |

En la tabla 2.3 se muestra las alternativas de diseño para el sistema de control combinando las funciones para el control del soporte y los medios posibles.

**Tabla 2.3 Tabla morfológica para el diseño de sistema de control.**  
fuente: elaboración propia

| Funciones                | Medios      |                       |                      |
|--------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|
|                          | 1           | 2                     | 3                    |
| Controlar soporte        | Analógico   | Digital               |                      |
| Comunicación inalámbrica | Analógico   | Wireless              | bluetooth            |
| Interfaz de comunicación | Página HTML | Aplicación de Android |                      |
| Hardware                 | Arduino     | Raspberry Pi          | Microcontrolador Pic |

## 2.4 Generación de alternativas para el diseño del soporte

### 2.4.1 Alternativas para el diseño del movimiento del soporte.

De la tabla morfológica 2.1, para el diseño del movimiento del soporte se generaron tres alternativas, las cuales son:

- Alternativa 1: mover el soporte a velocidad constante con un motor paso a paso, un pulsador en la aplicación para memorizar posiciones y un sistema de transmisión de potencia mediante engranes.
- Alternativa 2: mover el soporte a velocidad constante con motor DC, un encoder para memorizar posiciones y un sistema de transmisión de potencia mediante bandas y poleas.
- Alternativa 3: mover el soporte a velocidad constante con un servo motor, un sensor de luz para memorizar posiciones y un sistema de transmisión de potencia mediante bandas y poleas.

### 2.4.2 Alternativas para el diseño de la estructura del soporte

De la tabla morfológica 2.2, para el diseño estructural del soporte se obtuvo tres alternativas teniendo en cuenta el tipo de apoyo, material y ensamble. Las alternativas de diseño son:

- Alternativa 1: Un solo apoyo en movimiento Tilt, con la estructura fabricada de aluminio para soportar el peso de cámara y ensamblado mediante soldadura.
- Alternativa 2: Doble apoyo en movimiento Tilt, con la estructura fabricada de polímero para soportar el peso de la cámara y ensamblado mediante pernos
- Alternativa 3: Doble apoyo en movimiento Tilt, con la estructura fabricada de aluminio y polímero; ensamblado mediante pernos.

### **2.4.3 Alternativas para el diseño del sistema de control del soporte.**

De la tabla morfológica 2.3, para el diseño del sistema de control del soporte se obtuvo las siguientes alternativas:

- Alternativa 1: control del soporte de forma digital con comunicación inalámbrica mediante bluetooth con una interfaz de aplicación Android y un controlador Arduino.
- Alternativa 2: control del soporte de forma digital, con comunicación inalámbrica mediante Wireless con interfaz de comunicación mediante una página HTML y un controlador Arduino.
- Alternativa 3: control del soporte de forma digital con comunicación inalámbrica mediante Wireless con interfaz de comunicación mediante Android y un controlador Raspberry Pi.

## **2.5 Generación de importancia para los criterios de selección**

Del análisis de las necesidades y requerimientos del cliente se establecieron los siguientes criterios de selección: peso, tamaño, costo, mantenimiento y buena apariencia. Para saber cuál criterio tiene mayor peso de importancia se desarrolló una comparación por pares de cada criterio de selección, y así tener una valoración cuantitativa que se muestra a continuación en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 comparación por pares para los criterios de selección.**  
fuente: elaboración propia

| <b>Criterios de selección</b> | <i>Peso</i> | <i>Tamaño</i> | <i>Costo</i> | <i>Mantenimiento</i> | <i>Buena apariencia</i> | <i>Calificación total</i> | <b><u>Peso relativo</u></b> |
|-------------------------------|-------------|---------------|--------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| <i>Peso</i>                   | x           | 1             | 0            | 1                    | 1                       | 3                         | <b>0.29</b>                 |
| <i>Tamaño</i>                 | 0           | X             | 0            | 1                    | 1                       | 2                         | <b>0.19</b>                 |
| <i>Costo</i>                  | 1           | 1             | x            | 1                    | 1                       | 4                         | <b>0.38</b>                 |
| <i>Mantenimiento</i>          | 0           | 0             | 0            | x                    | 1                       | 1                         | <b>0.095</b>                |
| <i>Buena apariencia</i>       | 0           | 0             | 0            | 0.5                  | X                       | 0.5                       | <b>0.045</b>                |

**Tabla 2.5 Rangos para la evaluación de alternativas.**  
Fuente: (Engineering design, G. Dieter)

| <b>Esquema de evaluación para los objetivos o alternativas de diseño</b> |   |                           |                    |
|--|---|---------------------------|--------------------|
| <b>Escala de 11 puntos</b>   | <b>Descripción</b>                        | <b>Escala de 5 puntos</b> | <b>Descripción</b> |
| 0  | Solución totalmente inútil                | 0                         | Inadecuada         |
| 1  | Solución muy inadecuada                   |                           |                    |
| 2  | Solución débil                            | 1                         | Débil              |
| 3  | Solución pobre                            |                           |                    |
| 4  | Solución tolerable                        | 2                         | Satisfactoria      |
| 5  | Solución satisfactoria                    |                           |                    |
| 6  | Buena solución con algunos inconvenientes |                           |                    |
| 7  | Buena solución                            | 3                         | Buena              |
| 8  | Muy buena solución                        |                           |                    |
| 9  | Excelente (excede el requisito)           | 4                         | Excelente          |
| 10   | Solución ideal                            |                           |                    |

En la tabla 2.5 se muestra un esquema de evaluación para las alternativas de diseño; donde se presenta un rango cualitativo de los diferentes tipos de soluciones que están asociados a una escala de 11 números con cifras de 0 a 10, esto servirá para asignar una valoración a cada alternativa de diseño.

En la tabla 2.6 se presenta una matriz de decisión para el diseño del movimiento del soporte, donde se evalúa cada alternativa de diseño en función de los cinco

criterios de selección. Cada alternativa posee 5 puntuaciones que dependen del criterio de selección evaluado. Para establecer estas puntuaciones se tomó de referencia la tabla 2.5 utilizando la escala de 11 puntos.

Luego para cada alternativa se realiza la multiplicación de cada puntuación obtenida con el factor de peso, correspondiente al criterio de selección. Y finalmente se suman los valores de estas multiplicaciones en cada alternativa.

De la tabla 2.6 se puede ver que la alternativa 1 es la más conveniente para el diseño del movimiento del soporte con un valor de 7.73.

**Tabla 2.6 Selección del movimiento del soporte**  
fuente: elaboración propia

| <b>Criterio</b>  | <b>Factor peso</b> | <b>Alternativa 1</b> |              | <b>Alternativa 2</b> |              | <b>Alternativa 3</b> |              |
|------------------|--------------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
|                  |                    | <u>Puntuación</u>    | <u>Valor</u> | <u>Puntuación</u>    | <u>Valor</u> | <u>Puntuación</u>    | <u>Valor</u> |
| Peso             | 0.29               | 9                    | 2.61         | 5                    | 1.45         | 5                    | 1.45         |
| Tamaño           | 0.19               | 5                    | 0.95         | 7                    | 1.33         | 9                    | 1.71         |
| Costo            | 0.38               | 8                    | 3.04         | 7                    | 2.66         | 5                    | 1.9          |
| Mantenimiento    | 0.095              | 10                   | 0.95         | 3                    | 0.29         | 6                    | 0.57         |
| Buena apariencia | 0.045              | 4                    | 0.18         | 8                    | 0.36         | 6                    | 0.27         |
| <b>Total</b>     | <b>1</b>           |                      | <b>7.73</b>  |                      | <b>6.09</b>  |                      | <b>5.9</b>   |

En la tabla 2.7 selección de la estructura del soporte, se muestra una matriz de decisión para el diseño estructural; luego de asignar las puntuaciones a cada alternativa y realizar las multiplicaciones correspondientes, se obtuvo que la mejor solución es la alternativa 3 con un valor de 8.63.

**Tabla 2.7 Selección de la estructura del soporte**  
fuente: elaboración propia

| Criterio         | Factor peso | Alternativa 1 |       | Alternativa 2 |       | Alternativa 3 |             |
|------------------|-------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------------|
|                  |             | Puntuación    | Valor | Puntuación    | Valor | Puntuación    | Valor       |
| Peso             | 0.29        | 7             | 2.03  | 10            | 2.9   | 8             | 2.32        |
| Tamaño           | 0.19        | 2             | 0.38  | 7             | 1.33  | 9             | 1.71        |
| Costo            | 0.38        | 2             | 0.76  | 7             | 2.66  | 9             | 3.42        |
| Mantenimiento    | 0.095       | 3             | 0.29  | 6             | 0.57  | 9             | 0.86        |
| Buena apariencia | 0.045       | 4             | 0.18  | 5             | 0.23  | 7             | 0.32        |
| Total            | 1           |               | 3.64  |               | 7.69  |               | <b>8.63</b> |

En la tabla 2.8 se muestra una matriz de decisión para el sistema de control del soporte, como resultado se obtiene que la alternativa 1 es la mejor solución, con un valor de 8.58.

**Tabla 2.8 Selección del sistema de control.**  
fuente: elaboración propia

| Criterio         | Factor peso | Alternativa 1 |             | Alternativa 2 |       | Alternativa 3 |       |
|------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------|---------------|-------|
|                  |             | Puntuación    | Valor       | Puntuación    | Valor | Puntuación    | Valor |
| Peso             | 0.29        | 9             | 2.61        | 8             | 2.32  | 7             | 2.03  |
| Tamaño           | 0.19        | 8             | 1.52        | 8             | 1.52  | 7             | 1.33  |
| Costo            | 0.38        | 9             | 3.42        | 7             | 2.66  | 8             | 3.04  |
| Mantenimiento    | 0.095       | 7             | 0.67        | 7             | 0.67  | 7             | 0.67  |
| Buena apariencia | 0.045       | 8             | 0.36        | 8             | 0.36  | 8             | 0.36  |
| Total            | 1           |               | <b>8.58</b> |               | 7.53  |               | 7.43  |

## 2.6 Selección de la mejor solución

De la tabla 2.6, selección del movimiento del soporte, se obtiene la solución final que consiste en mover el soporte a velocidad constante con un motor paso a paso, un pulsador en la aplicación de control para poder memorizar posiciones y un sistema de transmisión de potencia mediante engranes. De la tabla 2.7 para la estructura del soporte, se obtiene como solución final un doble apoyo en

movimiento Tilt con la estructura fabricada en aluminio con polímero y ensamblado mediante pernos. Finalmente, de la tabla 2.8, para el sistema de control, se obtiene como solución final una comunicación inalámbrica mediante bluetooth con una interfaz de aplicación Android y un controlador Arduino. En la figura 2.2 se puede apreciar un resumen de las características finales del soporte.

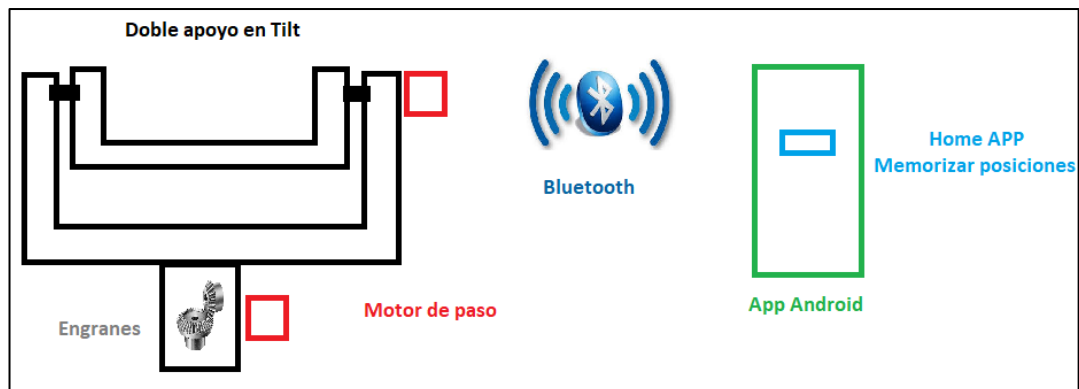


figura 2.2 Diseño conceptual del soporte  
fuente: elaboración propia

## 2.7 Especificaciones de diseño

- **Carga aproximada 1.5 Kg**

Para la carga límite que debe soportar el diseño del prototipo se ha tomado como referencia una Cámara Reflex Digital (DSLR), que tiene un peso de aproximadamente 765 gramos y una lente de 490 gramos, de estos dos elementos se obtiene un peso total de 1,255 gramos como carga neta del equipo fotográfico.

- **Mando remoto**

En el diseño del mando remoto, los movimientos del soporte se van a controlar mediante una aplicación desde un smartphone con sistema operativo Android. Las señales se envían desde el smartphone hacia un módulo bluetooth, con las ordenes de movimientos deseados por el usuario.

- **Alimentación externa**

La fuente de alimentación de los motores será de 12 V, la mayoría de estos motores funcionan con dicho voltaje. Existen muchas fuentes en el mercado que son fáciles de conseguir a precios relativamente bajos.



- **Velocidad mínima**

La velocidad mínima de operación durante la toma de fotografías será 0.004 rpm. Para determinar esta velocidad se tomó como referencia un soporte existente en el mercado, que realiza un recorrido de 90 grados en 60 minutos. Esta velocidad permite realizar cambios de posición casi imperceptibles, ideal para barridos en paisajes con la técnica time-lapse. Si se decide trabajar con velocidades más lentas a la mencionada, se tendría una mejor toma de fotografías.

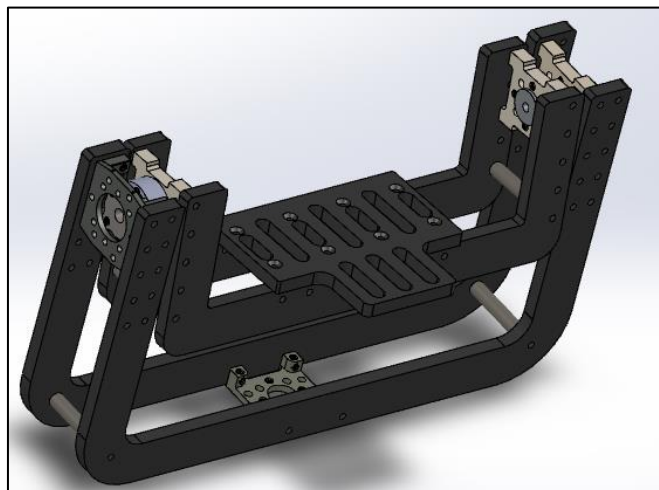
## 2.8 Diseño detallado

### 2.8.1 Diseño detallado de la estructura

Para la estructura del soporte se realizó un diseño de selección de una tienda de electrónica en línea, que ofrece una gran cantidad de piezas mecánicas para uso en robótica. La tienda posee una línea de elementos llamada Actobotics®, que consiste en un sistema de construcción de precisión; la versatilidad que ofrecen estos componentes los hace útiles para todo tipo de proyectos.

### Movimiento TILT

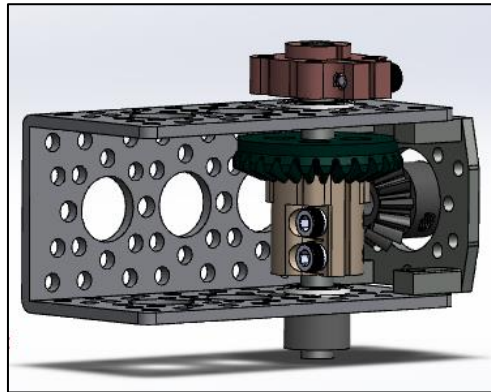
En el diseño del movimiento de inclinación o Tilt se seleccionó un kit que soporta hasta 3 lbs de carga, el cual es un conjunto de elementos prefabricados en distintos materiales. En la figura 2.3 se muestra el diseño CAD de la estructura. En la sección del Apéndice A se detalla cada uno de estos elementos.



**figura 2.3 Estructura Superior del soporte**  
fuente: elaboración propia

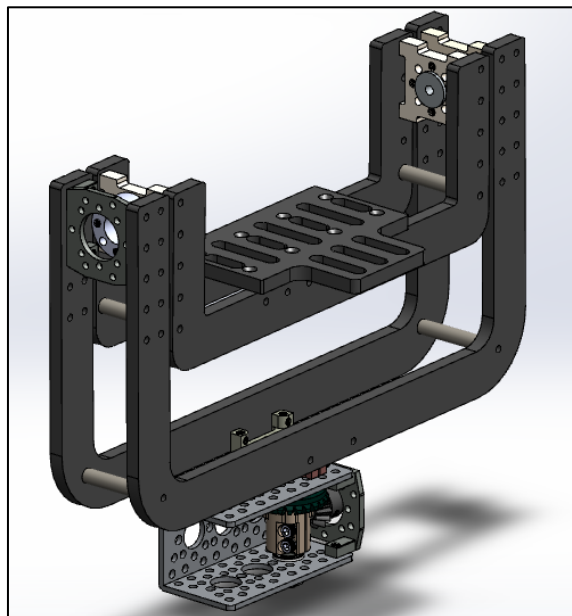
### **Movimiento Panorámico**

En el diseño de selección del movimiento panorámico, se utilizó un sistema de transmisión de engranajes cónicos con el fin de reducir la altura del prototipo, a su vez disminuir las vibraciones para evitar que las tomas fotográficas se vean afectadas. En la figura 2.4 se presenta el diseño CAD de la estructura para este movimiento.



**figura 2.4 Estructura inferior del soporte**  
fuente: elaboración propia

Finalmente, en la figura 2.5 se muestra el diseño final de la estructura del soporte, uniendo la estructura de la figura 2.3 y la estructura de la figura 2.4, obteniendo así los movimientos Pan y Tilt.



**figura 2.5 Diseño final del soporte**  
fuente: elaboración propia

## 2.9 Selección de motores

El diseño crítico del soporte está centrado en seleccionar un motor de paso que pueda vencer el torque que produce el peso de la cámara. Asumiendo que el sistema (cámara y lente) se encuentra balanceado en el soporte; existe un torque máximo provocado por el brazo del soporte, cuando la cámara se encuentra a 90 grados con respecto a la vertical. En la figura 2.6 se muestra las dimensiones de la estructura seleccionada para realizar los respectivos cálculos.

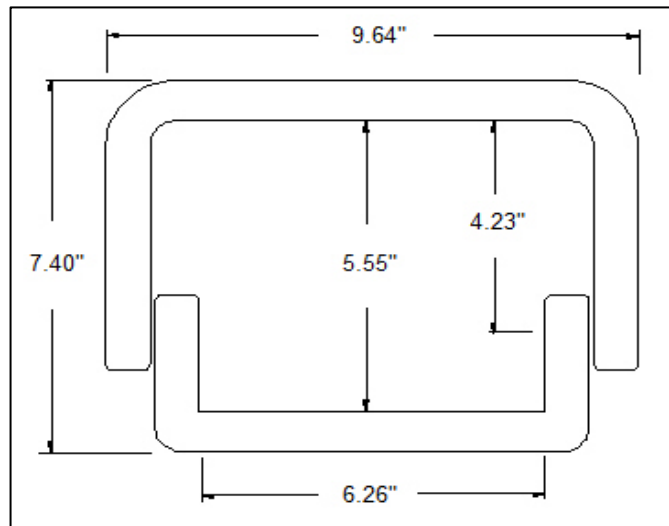


figura 2.6 Dimensiones de ancho y altura del soporte  
(Servocity, 2018)

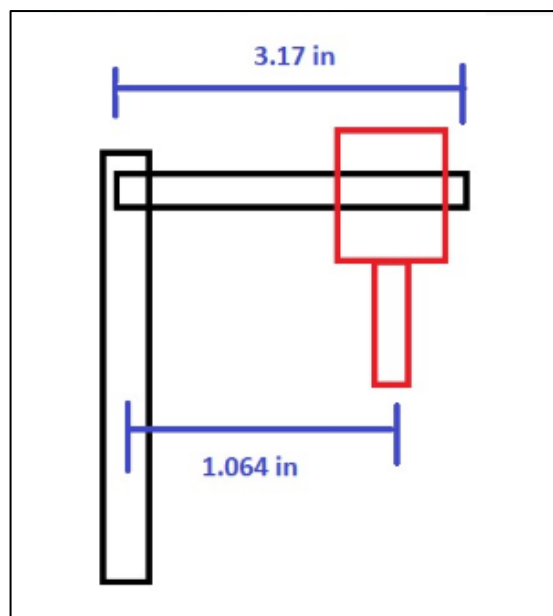


figura 2.7 Esquema posición crítica de diseño  
fuente: elaboración propia

Para calcular el torque máximo se presenta la ecuación 2.1:

$T = \text{torque}$

$d = \text{distancia}$

$F = \text{fuerza}$

$$T = d \times F \quad (2.1)$$

$$T = 1.064 \times 3\text{lbs} = 3.192\text{lbs in} \quad (2.2)$$

$$T = 36.06 \text{ Ncm} \quad (2.3)$$

En la figura 2.7 se muestra el esquema de posición crítica del soporte donde se necesita un mayor torque. Además, se muestra el brazo o distancia donde ocurre este torque. Para la selección del motor se verificó que el holding torque del motor a seleccionar sea mayor que el torque calculado en el punto crítico. El holding torque del motor debe ser mayor a los 36.06 Ncm, en el caso de que se tenga una carga de 3 lbs, la cual es la carga máxima que soporta la estructura. También se observó la cantidad de corriente necesaria, su voltaje nominal, peso del motor y dimensiones generales del motor. En la figura 2.8 se muestra el motor de paso seleccionado teniendo en cuenta los cálculos realizados. En la tabla 2.9 se muestra las especificaciones técnicas del motor seleccionado.



**figura 2.8 Motor de paso Nema 17  
(OYOSTEPPER, 2018)**

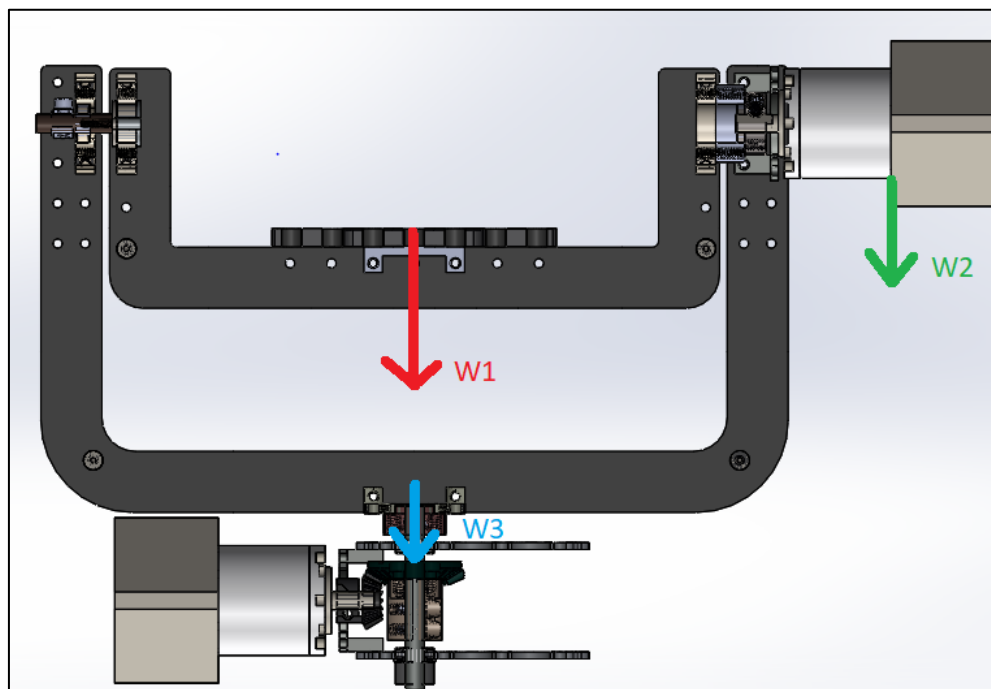
**Tabla 2.9 Especificaciones del motor de paso Nema17**  
Fuente: (Oyostepper)

| Especificaciones del motor de paso Nema 17    |                    |
|---|--------------------|
| <i>Voltaje</i>                                | 12 V               |
| <i>Corriente</i>                              | 0.4 A              |
| <i>Torque sin caja de engranes</i>            | 0.26 Nm            |
| <i>Ángulo de paso sin caja de engranes</i>    | 1.8°               |
| <i>Ángulo de paso con caja de engranes</i>    | 0.066°             |
| <i>Peso</i>                                   | 0.50 Kg            |
| <i>Caja reductora</i>                         | 27:1               |
| <i>Toque máximo permitido en la reductora</i> | 3 Nm o 26.55 Lb-in |

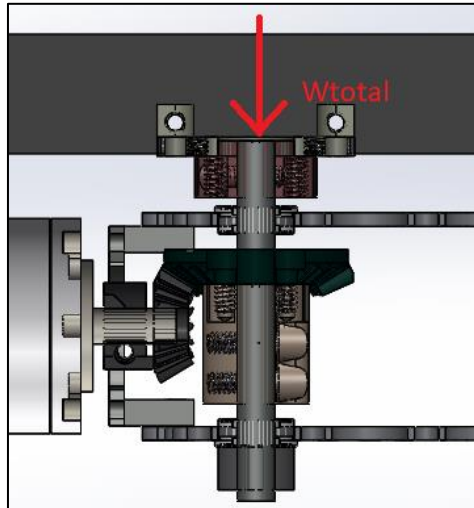
## 2.10 Cálculo de esfuerzos

### 2.10.1 Esfuerzos en eje de transmisión de potencia en el movimiento Pan

Para el cálculo de los esfuerzos que resistirá el eje de transmisión, se consideran tres fuerzas: peso del motor, peso de la cámara y peso de la estructura superior. En la figura 2.9 se representan estas tres fuerzas en el soporte. En la figura 2.10 se representa el peso total producido en el eje.



**figura 2.9 Vista en sección del soporte**  
fuente: elaboración propia

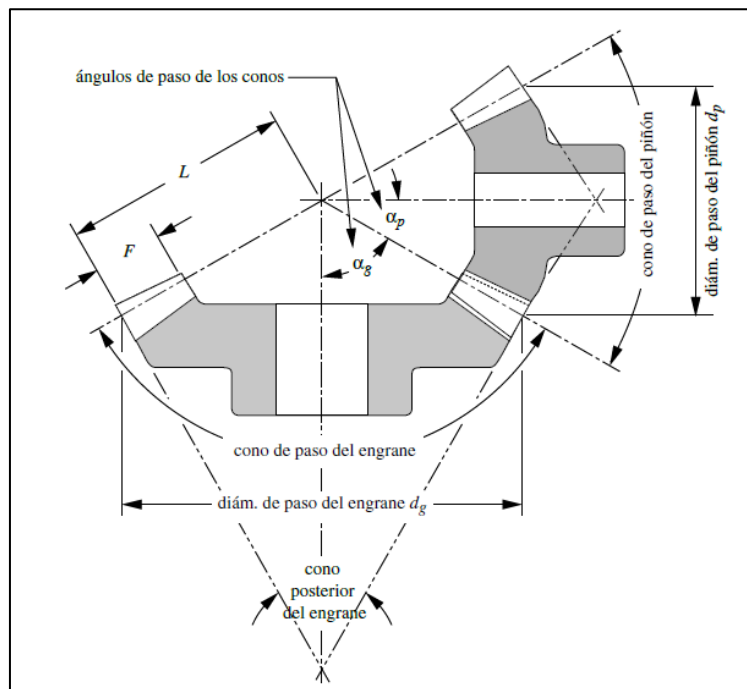


**figura 2.10 Vista de sección del eje**  
fuente: elaboración propia

En el Apéndice B se presentan los cálculos respectivos del eje, el cual da como resultado un factor de seguridad de  $n = 355$  y revela que el eje resistirá la carga establecida.

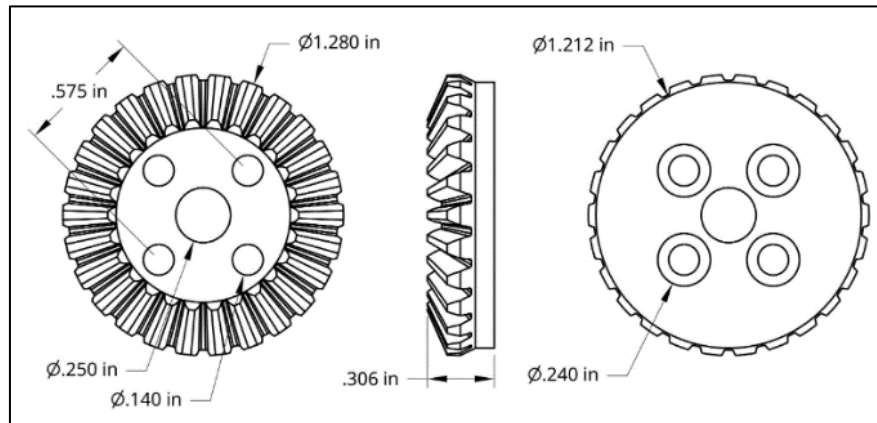
### 2.10.2 Cálculo de esfuerzos en los engranes cónicos

Para el cálculo de los esfuerzos se tendrá en consideración la nomenclatura y geometría de los engranes cónicos mostrados en la siguiente figura 2.12.

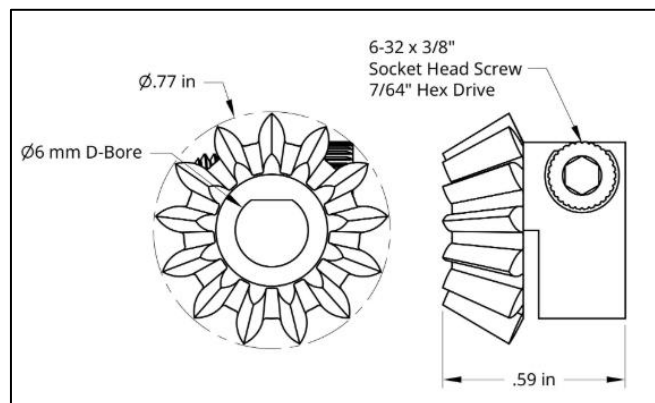


**figura 2.11 Geometría y nomenclatura de un engrane cónico**  
[estándar 2005-B88 de la AGMA. Robert L. Norton]  
(Norton, 2011)

En este diseño se ha seleccionado dos engranes cónicos, con un número de 26 y 13 dientes respectivamente, como se puede observar en las figuras 2.13 y 2.14.



**figura 2.12 Engrane cónico de 26 dientes  
[Servocity]**



**figura 2.13 Piñón cónico de 13 dientes.  
[Servocity]**

En el Apéndice B se presentan los cálculos detallados. Después de realizar los cálculos del esfuerzo de flexión en el piñón y la resistencia a la fatiga en el material, se puede determinar el factor de seguridad y saber si el material va a fallar. El cual muestra el siguiente resultado:

$$N_{bpiñón} = 1.27$$

Con este resultado se puede concluir que los engranes resistirán los esfuerzos producidos.

## 2.11 Selección de Microcontroladores y Drivers

Para realizar el control de los motores mediante una aplicación vía bluetooth, se utilizará un Arduino NANO mostrado en la figura 2.14, el cual, es básicamente una placa con un microcontrolador. El microcontrolador es un circuito integrado programable que almacena en su memoria un código para después ejecutarlo. La placa Arduino más común en el mercado es el Arduino UNO, el cual cumple con los requisitos necesarios. Se necesita que el hardware sea lo más pequeño posible para tener una mejor portabilidad de nuestro prototipo, por lo que se eligió el Arduino NANO, el cual posee unas dimensiones mucho más pequeñas (1.85 x 4.32 cm) y es considerado la versión pequeña del Arduino UNO.

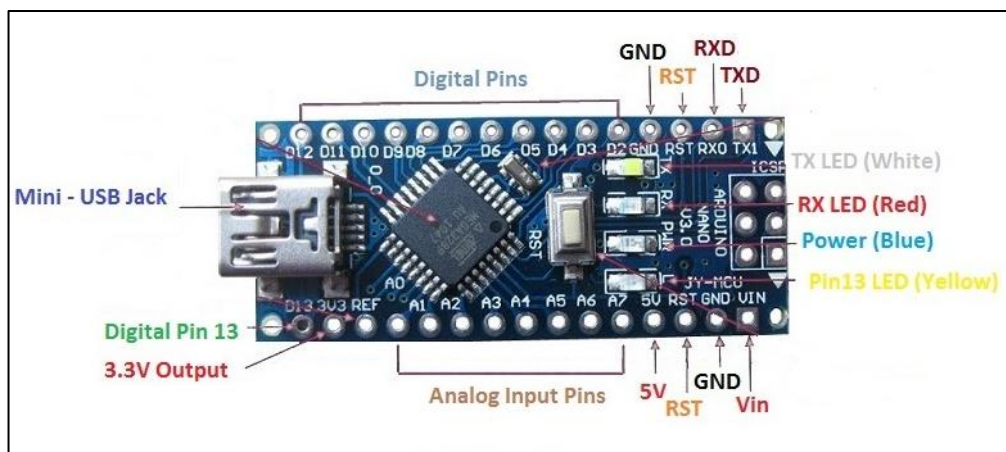


figura 2.14 Arduino NANO  
(the engineering projects, 2018)

### Modulo Bluetooth HC-05

Para que la comunicación entre el Arduino y la App se haga efectiva, se requiere un módulo bluetooth mostrado en la figura 2.15, para recibir y transmitir datos. El módulo bluetooth más utilizado en el mercado es el módulo bluetooth HC-05. Consta de 4 pines los cuales tienen la siguiente función:

VCC: Voltaje 3.6V a 6V

GND: Puesta a tierra

TXD: Transmit Data

RXD: Receive Data



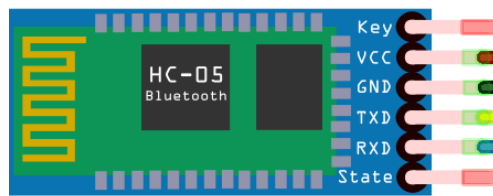


figura 2.15 Modulo Bluetooth [Fritzing]

Los pines GND y VCC del módulo bluetooth van a ser conectados a los pines de GND y 5V del Arduino, nano dado que el módulo bluetooth necesita entre 3.6V a 6V para funcionar. Los pines TXD y RXD del módulo bluetooth van a ser conectados a sus respectivos pines TXD y RXD en el Arduino nano; con estos pines se logra la comunicación entre ambos, para recibir y transmitir datos.

### Driver A4988

Para controlar un motor de paso y simplificar su manejo se debe utilizar un controlador (driver), que permita manejar los 12 V que necesita el motor de paso, además de comunicarse con el Arduino que requiere un voltaje mucho menor, por lo tanto, se utilizará un driver A4988. POLOLU es el fabricante del driver; en su sitio web oficial, ofrece una guía para realizar las conexiones del driver al controlador y al motor de paso. En la figura 2.16 se muestran las conexiones para este driver.

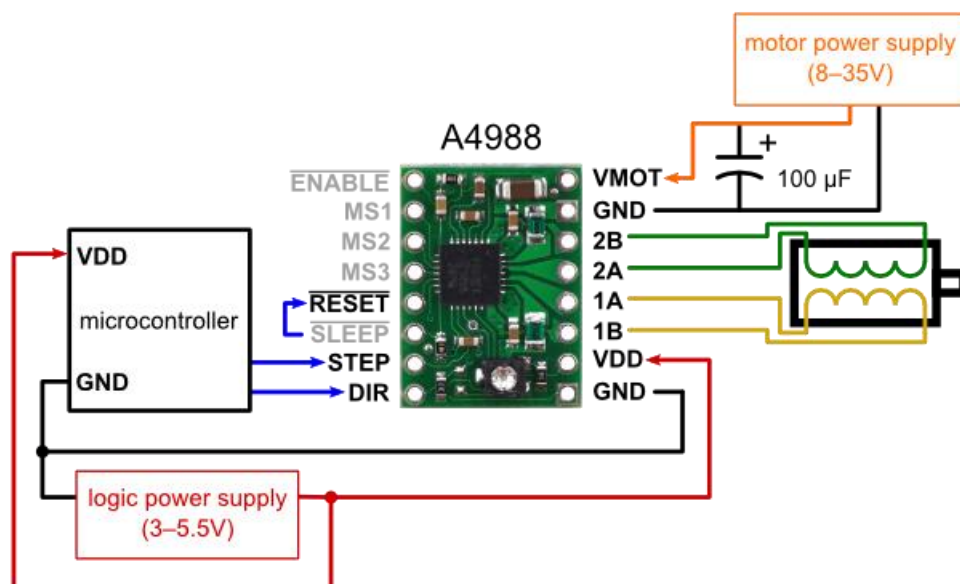


figura 2.16 Conexiones Driver y motor de paso con un microcontrolador (POLOLU, 2018)

## Conexiones

En la figura 2.17 se muestra las conexiones finales utilizando dos drivers A4988, ya que se debe utilizar un driver por cada motor de paso.

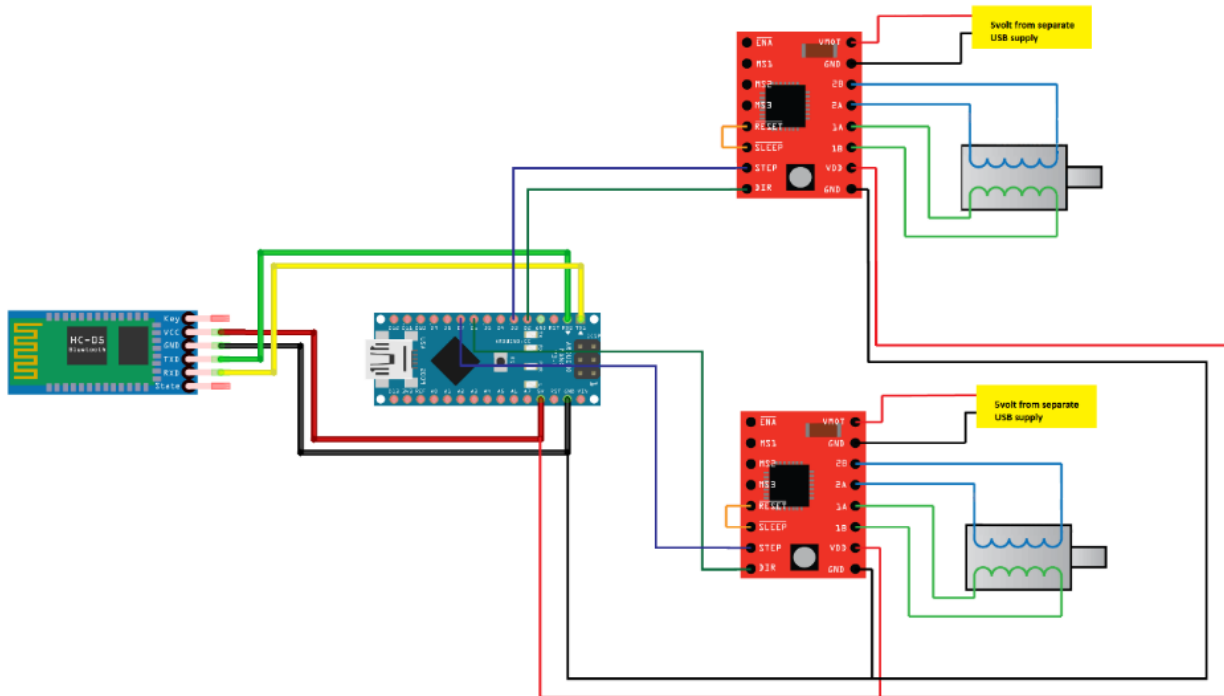
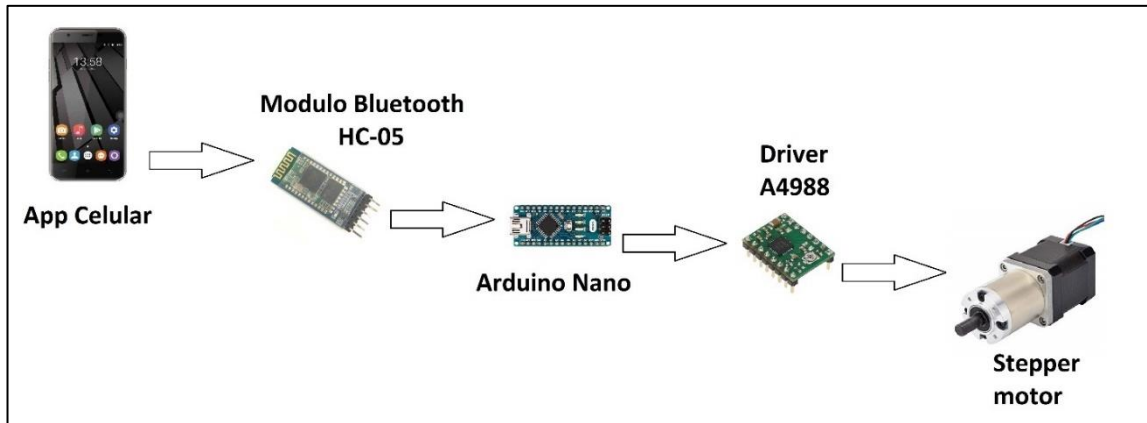


figura 2.17 Esquema de conexiones del Hardware  
Fuente. elaboración propia

## Esquema de comunicación

La comunicación de la aplicación a los motores de paso ocurre de la siguiente forma: por medio de los botones en la aplicación celular, el smartphone envía una señal bluetooth, la cual es recibida por el módulo bluetooth HC-05 y es transmitida al Arduino NANO por el pin RX, el cual es el pin de entrada de datos. El Arduino procesa esta señal, y les envía una respuesta a los pines STEP y DIR del driver A4988, y este a su vez haga mover los motores según se lo haya especificado en el código. En la figura 2.18 se muestra una representación de esta comunicación.



**figura 2.18 Esquema de comunicación entre la app y el soporte**  
[elaboración propia]

### **Diseño de aplicación de control**

Para realizar la aplicación Android se utilizará App Inventor, que es un entorno de desarrollo para aplicaciones Android, el software se compone básicamente de dos pestañas designer y blocks. En la pestaña designer se realiza las configuraciones necesarias para la parte grafica (visual) de la aplicación, seleccionando los elementos y componentes que utilizará la aplicación, como lo son: botones, cuadros de textos, imágenes y demás. En la pestaña de blocks se configura el comportamiento de estos elementos y componentes seleccionados. El código de programación se realizará en la plataforma de Arduino sketch.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El prototipo de soporte motorizado se desarrolló cumpliendo las necesidades y requerimientos del usuario, cumpliendo las especificaciones de diseño y las restricciones establecidas. El diseño del soporte contempló el desarrollo de una aplicación Android mediante la plataforma de App Inventor, permitiendo un rediseño a partir de soportes existentes en el mercado. Se realizó la construcción del soporte, el cual resultó relativamente más barato en comparación con productos existentes en el mercado, cumpliendo con los parámetros básicos para la realización de un time-lapse, con movimiento en la cámara.

### 3.1 Aplicación Android

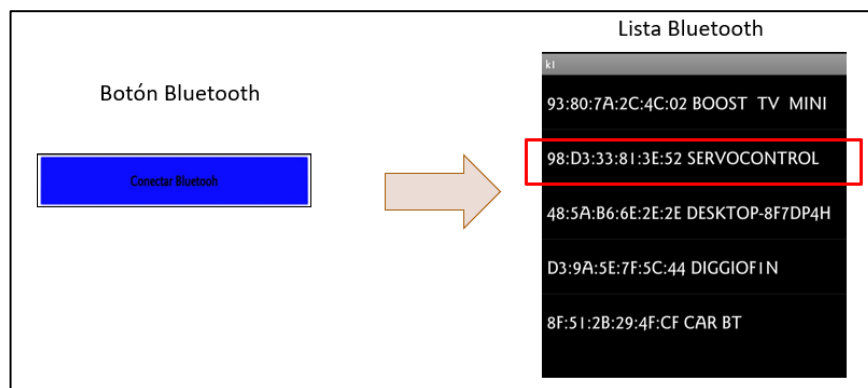
Para el control del soporte se desarrolló una aplicación Android mostrada en la figura 3.1, la cual consta de algunos comandos que permite el movimiento y programación de un recorrido, como resultado final la aplicación de control contiene algunos parámetros que se detallarán a continuación.



figura 3.1 Diseño de aplicación de control  
Elaboración propia

## Conectar Bluetooth

Este comando permite la conexión del smartphone con el módulo Bluetooth que se implementó en el circuito de control de los motores, cabe recalcar que el smartphone que se utilice debe contener un sistema operativo Android. En la figura 3.2 se muestra la lista de dispositivos bluetooth que aparece luego de presionar este botón, se debe escoger el que lleve como nombre SERVOCONTROL.



**figura 3.2 Conexion a Bluetooth**  
Elaboración propia

## Control de movimiento Tilt

- **Up** es el comando que permite darle movimiento al motor ubicado en la estructura superior, pulsar este comando le da movimiento hacia arriba a la cámara.
- **Down** es el comando que permite darle movimiento hacia abajo a la cámara.

## Control de movimiento Pan

- **Right** es el comando que permite darle movimiento hacia la derecha a la cámara.
- **Left** es el comando que permite darle movimiento hacia la izquierda a la cámara.

## Home

Este comando permite dar una referencia a los motores de paso, pulsando este comando se puede contar los pasos del motor y así poder dar una orden de realizar un recorrido de un determinado número de pasos.

### **Velocidad de movimiento**

Este comando permite aumentar y disminuir la velocidad de giro de los motores de paso, cabe recalcar que esta velocidad de giro solo cambia, en el control de los motores con el modo JOG

### **Set punto inicial**

Con este comando se puede definir un punto inicial en la posición de cada uno de los motores, en el movimiento en Tilt y movimiento Pan. Este punto inicial se lo define como parte del recorrido que hará el soporte. Se puede marcar en punto inicial en el mismo punto marcado como HOME, o se puede marcar delante del punto de referencia.

### **Set punto final**

Con este comando se logra definir el punto final del recorrido para los dos motores. Es necesario que este punto final este delante del punto de referencia marcado con el HOME

### **Tiempo**

En este espacio se marca el tiempo, que se desea, que dure el recorrido marcado con el punto inicial y final. En este campo se debe ingresar el tiempo en minutos.

### **Run**

Al pulsar este comando se dará inicio al recorrido con el tiempo establecido.

### **Stop**

Este comando permite detener el recorrido programado y dejarlo al soporte para poder controlar el modo JOG otra vez.

#### **3.1.1 Procedimiento de uso y control del soporte**

Para tener un correcto manejo del soporte se han desarrollado pasos, que se deben seguir, teniendo en cuenta que el usuario no necesita tener conocimientos

ingenieriles para el correcto manejo. Lo que se desea, es que el usuario pueda realizar su trabajo con facilidad de transporte y facilidad de montaje.

## **Transporte**

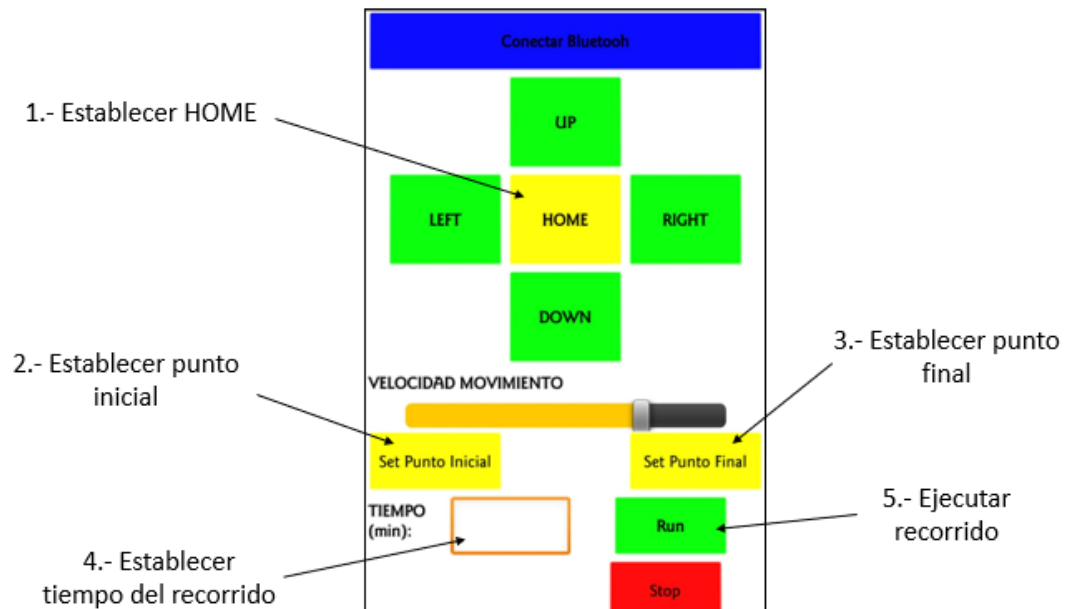
El soporte consta de 3 elementos generales que son: el sistema de alimentación de energía, el cual es una fuente con un voltaje de salida de 12V, además consta de una caja pequeña donde se encuentra todo el Hardware que permite el control de los motores, y como elemento final el soporte.

Estos elementos son desmontables, lo que permite que el soporte se fácil de transportar.

## **Pasos para realizar la programación del soporte**

1. Montar el soporte correctamente en el trípode, se debe asegurar que el trípode este equilibrado.
2. Conectar la caja con cada uno de los motores del soporte.
3. Conectar la fuente de energía con la caja.
4. Conectar la fuente con un tomacorriente.
5. Entrar a la aplicación desde un smartphone con sistema operativo Android.
6. Pulsar el comando **conectar bluetooth** y realizar la conexión con el módulo que se encuentra en la caja.
7. Utilizar los comandos **Left, Right, Up y Down** individualmente, para verificar el movimiento del soporte, y tener una idea clara del rango establecido para las tomas que se van a realizar.
8. Mover el soporte en Pan y en Tilt donde se desea marcar con punto de referencia con **HOME**.
9. Utilizar el comando **Set punto inicial** para marcar el punto inicial del recorrido.
10. Mover el soporte en Pan y en Tilt a la posición que se desea fijar el punto final.
11. Utilizar el comando **set punto final** para marcar el punto final del recorrido.
12. Ingresar en el campo de **tiempo** la cantidad con la que se desea realizar el recorrido, este valor representa el tiempo en minutos. Por ejemplo, si se desea 2 horas se debe ingresar 120 minutos.

13. Pulsar el comando **Run** y esperar que el soporte realice el recorrido establecido por el usuario.
14. Si se desea detener el recorrido, se debe pulsar el comando **stop** para cancelar el recorrido.



**figura 3.3 Programación de recorrido del soporte**  
Elaboración propia

### 3.2 Análisis de costos

Finalmente, se detalla en tabla 3.1 cada uno de los costos de los diferentes elementos del soporte, incluyendo los precios locales de elementos electrónicos para el diseño del sistema de control.

**Tabla 3.1 Precios de los componentes del soporte**  
Elaboración propia

| DESCRIPCION                             | PRECIO | CANTIDAD | SUBTOTAL |
|---|--------|----------|----------|
| ABS Plastic Structure<br>200 mm, 245 mm | \$8.15 | 2        | \$16.30  |
| ABS Camera Plate Mount                  | \$2.00 | 1        | \$2.00   |
| Side Tapped Pattern Mount D             | \$5.99 | 2        | \$11.98  |
| Hub Spacers<br>Thickness 0.375"         | \$1.39 | 1        | \$1.39   |



|  |         |   |          |
|--|---------|---|----------|
| 0.770" Pattern Set Screw Hubs, 6 mm Bore                                     | \$4.99  | 1 | \$4.99   |
| Round Aluminum Standoffs<br>6-32 Thread, 1/4" OD<br>(4 Pack)                 | \$3.39  | 2 | \$6.78   |
| 1/4" Flanged Aluminum Clamp Collar, (2 Pack)                                 | \$4.99  | 1 | \$4.99   |
| 90° Dual Side Mount A<br>(2 Pack)  | \$5.99  | 1 | \$5.99   |
| 1/4" Bore Side Tapped Pillow Block   | \$6.49  | 1 | \$6.49   |
| 1/2" - #6 Hole Reducer<br>(4 Pack)   | \$1.99  | 1 | \$1.99   |
| Side Tapped Pattern Mount C  | \$5.99  | 1 | \$5.99   |
| Aluminum Motor Mount E   | \$5.99  | 2 | \$11.98  |
| 3.00" Aluminum channel   | \$3.99  | 1 | \$3.99   |
| Clamping D-Hubs (Tapped),<br>0.770" Pattern, 0.25 in Bore                    | \$6.99  | 1 | \$6.99   |
| D-Shafting 0.25 in x 2.5 in,   | \$1.79  | 1 | \$1.79   |
| Aluminum Set Screw Collars<br>1/4" D Bore                                    | \$4.50  | 1 | \$4.50   |
| Shaft Mount Bevel Gear Hardened Steel<br>13 Tooth, 6mm D-Bore, 20 Pitch      | \$8.99  | 1 | \$8.99   |
| Hub Mount Bevel Gear,<br>26 Tooth, 1/4" Bore, 20 Pitch                       | \$9.99  | 1 | \$9.99   |
| Clamping Hub for Hub Mount Bevel Gear, 1/4 in D- Bore                        | \$6.99  | 1 | \$6.99   |
| Flanged Ball Bearing<br>1/4" ID X 1/2" OD<br>(2 Pack)                        | \$2.49  | 1 | \$2.49   |
| Shafting and Tubing Spacers (12 Pack), 0.25 in Bore                          | \$1.69  | 1 | \$1.69   |
| Nema 17 Stepper Motor Bipolar L=33mm W/ Gear Ratio<br>27:1 Planetary Gearbox | \$32.66 | 2 | \$65.32  |
| Arduino Nano   | \$3.00  | 1 | \$3.00   |
| Driver A4988   | \$2.5   | 2 | \$5.00   |
| Modulo Bluetooth HC-05   | \$7.00  | 1 | \$7.00   |
| Cable Dupont-Jumper, 40 cables x 1m  | \$3.00  | 1 | \$3.00   |
| Conector de 4 Pines Macho a Hembra   | \$0.40  | 2 | \$0.80   |
| Caja plástica para circuitos electrónicos                                    | \$3.75  | 1 | \$3.75   |
| Jack 12 V DC, Power Supply Socket  | \$1.75  | 1 | \$1.75   |
| Total  |         |   | \$217.91 |

Con el fin de reducir costos en la fabricación del prototipo se ha seleccionado solo elementos necesarios y con características específicas, uno de los criterios de selección es el costo, por lo tanto, se obtuvo un prototipo con un precio de fabricación relativamente más bajo comparado con un soporte profesional que bordea los 1,300 euros. El soporte fabricado cumple las mismas características de un soporte motorizado profesional, incluso con una mejora en su sistema de control.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El time-lapse es una técnica fotográfica muy usada en la actualidad, la cual permite mostrar una secuencia de imágenes con situaciones que transcurren muy lentamente en el tiempo, pero gracias a esta técnica se puede apreciar a una velocidad óptima. Por lo general, muchos de los fotógrafos emplean cámaras profesionales y técnicas minuciosas aplicando time-lapse dedicados a la naturaleza, pero también, existen otros en el que el tema principal es el turismo. En la actualidad, existen países que ofertan sus lugares turísticos mediante videos de time-lapse, haciendo una publicidad rápida de lo que ofrece sus ciudades. Es una herramienta muy importante para ofrecer turismo a las personas, ya que en la actualidad las personas están sumergidas en el mundo del video y la tecnología, los mismos a los que se pueden acceder por redes sociales o alguna otra plataforma digital. Además, se puede utilizar como una buena herramienta de marketing, existen empresas en el mundo que ofrecen su trabajo con videos publicitarios de time-lapse.

Para realizar un time-lapse de calidad la estabilidad de la cámara es indispensable, para ello los equipos que permitan esta condición son muy importantes. Existen diferentes tipos de time-lapse, para este caso se desarrolló un time-lapse en movimiento.

Dentro de esos equipos importantes esta un trípode que básicamente se utiliza en la mayoría de los trabajos fotográficos, donde elementalmente se coloca una cámara en el soporte para mantenerla fija.

### 4.1 Conclusiones

- Se logró realizar un time-lapse en movimiento, mediante el prototipo de soporte motorizado, diseñado con formatos parecidos a los existentes en el mercado, teniendo en cuenta los criterios de diseño establecidos como: peso, tamaño, costo, mantenimiento y buena apariencia, cumpliendo con los requerimientos del usuario y los objetivos de diseño.

- Además, se logró desarrollar una aplicación de control remota, la cual elimina cualquier conexión analógica con el soporte, con comandos fáciles de manejar, ofreciendo al usuario posibilidades de elección en posición y tiempo para el recorrido.
- La importancia de este proyecto se ve reflejada en el desarrollo de nuevas técnicas publicitarias para vender o hacer turismo, de manera que ya no basta con fijar una cámara para fotografías y realizar un time-lapse, lo que se busca es darle un panorama más amplio al time-lapse, por esto el soporte le da movimiento a la cámara en dos planos, teniendo así un rango de enfoque mucho más amplio de lo normal. Además, le da facilidad al fotógrafo para que pueda realizar movimientos controlados desde una aplicación de su smartphone Android. Esto simplificaría el trabajo de muchos fotógrafos que requieran hacer un time-lapse con un enfoque más amplio.
- El diseño de este soporte aporta al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 9, industria, innovación e infraestructura, a través del desarrollo de un soporte para cámara con control de aplicación remota.
- Con el desarrollo del soporte se incentiva a la industria de la fotografía a realizar trabajos, que den a conocer muchos eventos en corto tiempo.
- Se desarrollo el prototipo con partes prefabricadas y materiales de bajo costo, consiguiendo un prototipo de alta calidad a un costo accesible en comparación de soportes motorizados existentes en el mercado.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda sincronizar el movimiento del soporte con la captura de imágenes de la cámara, para así lograr una mejor toma de fotografías.
- Desarrollar un estuche para guardar el soporte, trasladarlo con facilidad y evitar alguna avería por caída, manipulación o golpe contra algún objeto sólido.
- Desarrollar un sistema de anclaje para fijar la caja donde se encuentra el hardware, al trípode y evitar que cuelgue del soporte.
- Se recomienda lubricar los engranes cada vez que se utilice el soporte para reducir el desgaste progresivo con el uso del soporte.

- Por ahora, las debilidades de este soporte, es que no se puede utilizar bajo la lluvia, debe realizarse trabajos posteriores para el desarrollo de nuevos prototipos que permitan hacer un time-lapse sin importar las condiciones del clima.

# BIBLIOGRAFÍA

- Awalt, T. (20 de 11 de 2018). *Bridgewater Photographic Society*. Obtenido de Bridgewater Photographic Society Web Site: <https://bridgewaterphotographicsociety.files.wordpress.com/2015/04/introduction-to-time-lapse-photography-v1-2-april-14-2015-trevor-awalt.pdf>
- Dev, D. (2013). *Timelapse, An Introduction to Still Photographs in Motion*. San Diego: Craft&Vision.
- Gunther, W. (2015). *timelapse Shooting and Procesing*. San Francisco: GW editorials.
- Merriam-Webster. (02 de 01 de 2019). *Merriam-Webster*. Obtenido de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/time-lapse#h1>
- Norton, R. L. (2011). Engranés helicoidales, cónicos y de tornillo sin fin. En *Diseño de máquinas* (pág. 623). Mexico D.F.: Pearson.
- OYOSTEPER. (13 de 11 de 2018). Obtenido de Oyostepper: <https://www.oyostepper.com/goods-301-Nema-17-Stepper-Motor-Bipolar-L%3D48mm-w-Gear-Ratio-27-1-Planetary-Gearbox.html>
- POLOLU. (03 de 11 de 2018). Obtenido de Pololu: <https://www.pololu.com/product/1182/pictures#lightbox-picture0J3360>
- Servocity. (02 de 11 de 2018). Obtenido de Servocity: <https://www.servocity.com>
- the engineering projects. (1 de 12 de 2018). Obtenido de theengineeringprojects Web site: <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-nano.html>
- Wright, M. (2016). *How to Control Stepper Motors*. Boston: CreateSpace Independent Publishing Platform.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA LA ESTRUCTURA DEL SOPORTE

### MOVIMIENTO TILT

- ABS Plastic structure

Está compuesto de dos estructuras de 245 mm y 200 mm, diseñado para poder montar una cámara de hasta 6 in de longitud, la estructura posee un espesor de 1/4 in.

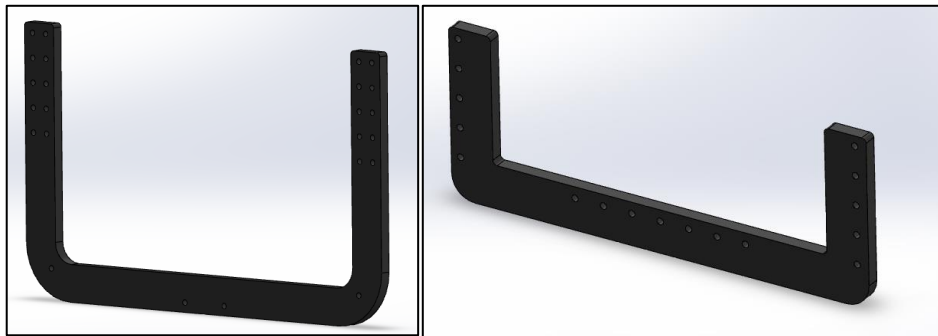


Imagen 1

- ABS Camera Plate Mount

Diseñado para poder montar una cámara, posee ranuras para equilibrar una cámara en caso se monte una lente telefoto.

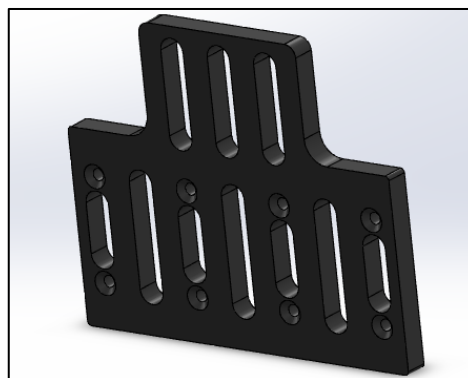


Imagen 2



- Side Tapped Pattern Mount D

Material: aluminio

Compatibilidad de patrón de agujeros: 0.77 in y 1.5 in

Patrón de agujeros: 0.77 in

Tamaño del tornillo: 6-32 UNC



**Imagen 3**

- Hub Spacers

Material: aluminio

Espesor del espaciador: 0.375 in

Patrón de agujeros: 0.77 in



**Imagen 4**

- Set Screw Hubs

Material: aluminio

Patrón de agujeros: 0.77 in

Tamaño del tornillo: 6-32 UNC

Llave hexagonal: 3/32 in



**Imagen 5**

- Round Aluminum Standoffs

Material: aluminio

Diámetro: 0.2497 in

Tamaño del tronillo: 6-32 UNC

Longitud: 1.32 in

Diseñado para trabajar con rodamientos de bolas de 1/4 in



**Imagen 6**

- Flanged Aluminum Clamp Collar

Material: aluminio 6061-T6

Tamaño de tornillo: 6-32 UNC

Llave hexagonal: 7/64 in



**Imagen 7**

- 90° Dual Side Mount A

Material: aluminio

Tamaño del tornillo: 6-32 UNC



**Imagen 8**

- Side Tapped Pillow Block

Material del elemento: aluminio

Material del rodamiento: acero cromado 52100

Diámetro interior del rodamiento: 1/4 in

Carga estática: 84 lb

Carga dinámica: 186 lb

Velocidad máxima: 50,000 rpm



**Imagen 9**

- Hole Reducer

Material: aluminio

Se utiliza para reducción de agujeros de diámetro de 0.5 in a 0.14 in

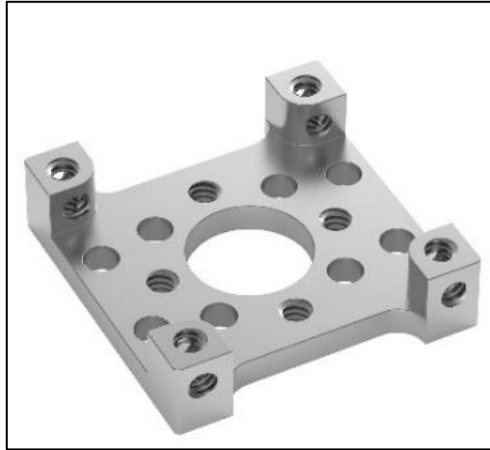


**Imagen 10**

- Side Tapped Pattern Mount C

Material: aluminio

Compatibilidad de patrón de agujeros: 0.77 in y 1.5 in



**Imagen 11**

- Aluminum Motor Mount E

Material: aluminio 6061-T6

Es compatible con motores que poseen una caja de engranes planetaria



**Imagen 12**

## MOVIMIENTO PAN

- Aluminum Channel

Material: aluminio

Patrón de agujeros: 0.77 in y 1.5 in

Acabado: anodizado claro

Patrón de repetición: 3 veces por cara



Imagen 13

- Aluminum Motor Mount E

Material: aluminio 6061-T6

Es compatible con motores que poseen una caja de engranes planetaria



Imagen 14

- Clamping D-Hubs (Tapped)

Material: Aluminio

Patrón de agujeros: 0.77 in

Posee un agujero en D para que se pueda adaptar al eje en D de 1/4 in y proporcionar una condición antideslizante entre ambas piezas.



**Imagen 15**

- D-Shafting

Diámetro: 1/4 in

Material: Acero inoxidable 303

Acabado nominal de 10 micras RMS.



**Imagen 16**

- Aluminum Set Screw Collars

Diámetro del agujero: 1/4 in

Tamaño del tornillo: 10-32 UNC (#10 – 32 hilos por pulgada)

Llave hexagonal: 3/32 in

Material: aluminio



**Imagen 17**

- Shaft Mount Bevel Gear

Material: Acero Endurecido

Número de dientes: 13

Paso (ángulo de presión): 20°

Diámetro del agujero: 6 mm

Posee un agujero en D para que el motor se acople en una conexión antideslizante, en la cual el eje motor no se desliza.



**Imagen 18**



- Hub Mount Bevel Gear

Material: Acero endurecido revestido con zinc

Número de dientes: 26

Paso (ángulo de presión): 20°

Diámetro del agujero: 1/4 in

Está diseñado para poder acoplarse con un engranaje cónico de 13 dientes. Para tener una relación de 2:1.



**Imagen 19**

- Clamping Hub for Hub Mount Bevel Gear

Material: aluminio

Está diseñado para adaptarse con el engranaje cónico de 26 dientes, posee un agujero interior en D para que se pueda acoplar con un eje en D. de 1/4 in.



**Imagen 20**

- Flanged Ball Bearing

Material: acero inoxidable

Espesor de brida: 0.044 in

Diámetro de brida: 0.546 in

Rodamiento con brida para poder acoplarse en un canal con agujero de 1/2 in y a un eje de 1/4 in.



**Imagen 21**

- Shafting and Tubing Spacers

Material: Acetil

Se utilizan para separar varios componentes, como canales de aluminio con rodamientos y demás.



**Imagen 22**

## APÉNDICE B

### CÁLCULOS

#### Esfuerzos en eje de transmisión de potencia en el movimiento Pan

Para el cálculo de los esfuerzos que resistirá el eje de transmisión, se considera las 3 fuerzas producidas, por el peso del motor, el peso de la cámara y el peso de la estructura superior. En la figura 1 se representan estas tres fuerzas en el soporte. En la figura 2 se representa el peso total producido en el eje.

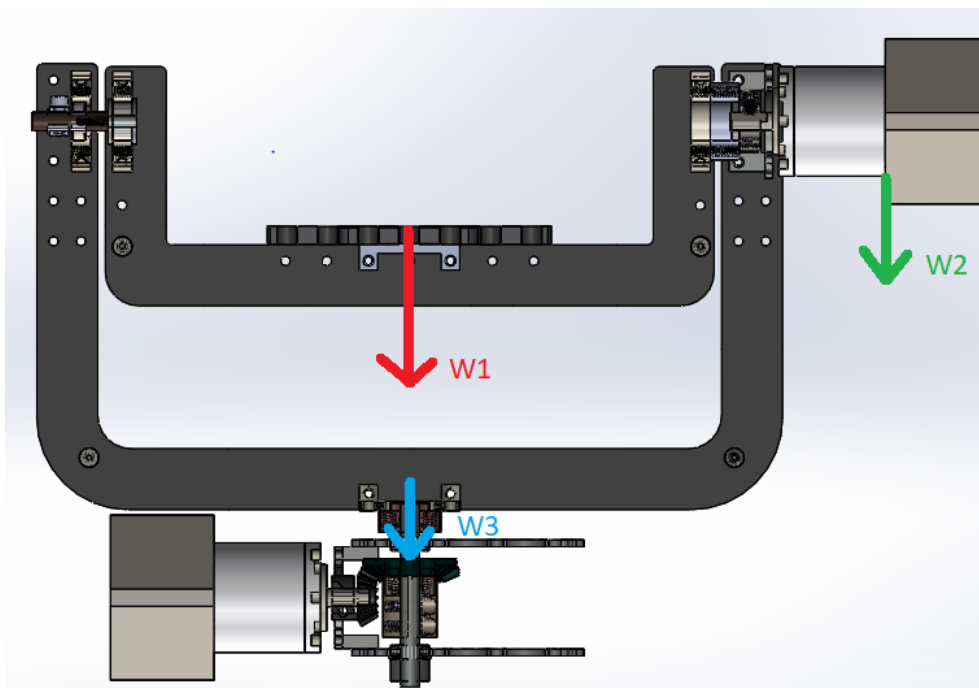


figura 1 Vista en sección del soporte  
fuente: elaboración propia

*Donde:*

*W1: Peso de la cámara*

*W2: Peso del motor*

*W3: Peso de la estructura superior.*

$$W = m \times g \quad (\text{ec.1})$$

*Donde:*

*W = Peso*

*m = Masa*

*g = Gravedad*

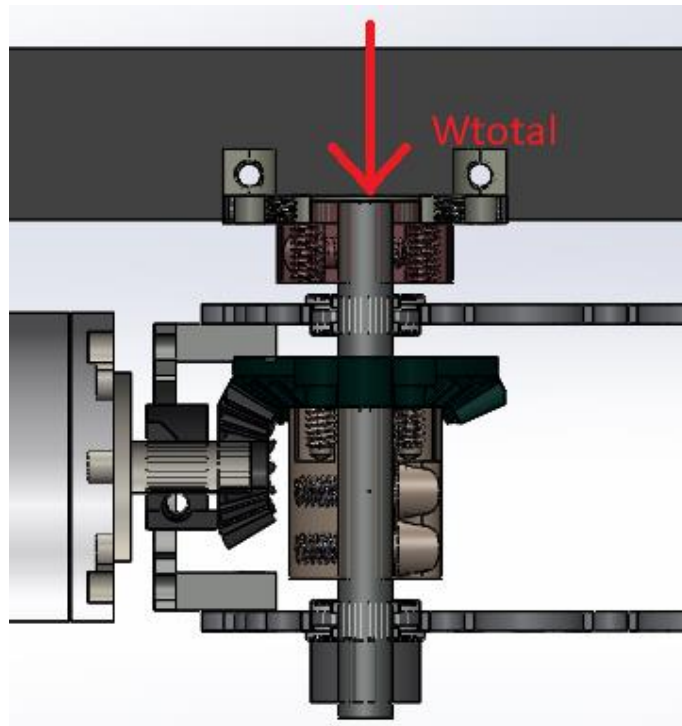
$$W1 = 1.255 \text{ Kg} \times 9.81 = 12.31 \text{ N}$$

$$W2 = 0.5 \text{ Kg} \times 9.81 = 4.9 \text{ N}$$

$$W3 = 0.33 \text{ Kg} \times 9.81 = 3.23 \text{ N}$$

$$W_{total} = W1 + W2 + W3$$

$$W_{total} = 20.44 \text{ N}$$



**figura 2 Vista de sección del eje**  
fuente: elaboración propia

Se estima que el peso total estará en dirección normal a la sección transversal del eje. Además, se considera un análisis con material dúctil bajo carga estática.

Para el cálculo del esfuerzo normal, se utiliza la ecuación 2, mostrada a continuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{ec.2})$$

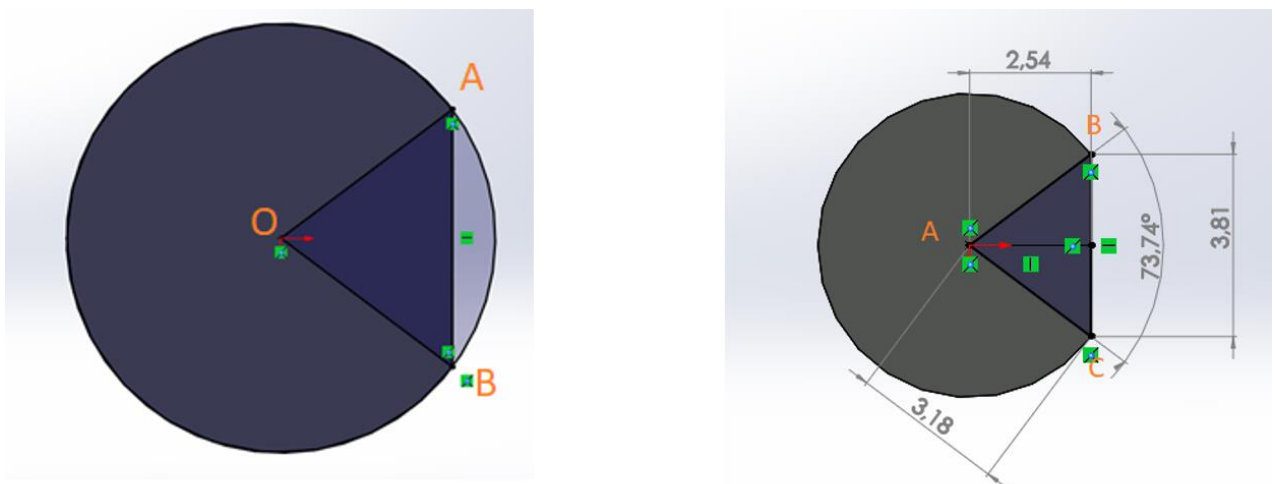
Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal

$F$  = Fuerza

$A$  = Área

Para el cálculo del área, en la figura 3 se muestra la sección transversal con sus respectivas dimensiones.



**figura 3 Sección transversal del eje**  
fuente: elaboración propia

El área de la sección transversal mostrada en la figura 3 no es un círculo entero, en segunda instancia hay que restarle el área del segmento circular que está comprendido

por el arco AB. Para encontrar el área del segmento circular se presenta la ecuación 3 presentada a continuación:

$$A_{sc} = \frac{r^2 \times \pi \times \alpha}{360^\circ} - \Delta ABC \quad (\text{ec.3})$$

*Donde:*

$r = \text{radio}$

$\alpha = \text{ángulo } < CAB$

$\Delta ABC = \text{área del triángulo } ABC$

Por lo tanto, el área del segmento circular es:

$$A_{sc} = \frac{3.18^2 \times \pi \times 73.74^\circ}{360^\circ} - 4.84 \text{ mm}^2$$
$$A_{sc} = 1.67 \text{ mm}^2$$

El área de la sección transversal del eje es el resultado de la diferencia entre el área del círculo y el área del segmento circular.

Para el área del círculo se presenta la ecuación 4 a continuación:

$$A_c = \pi \times r^2 \quad (\text{ec.4})$$

*Donde:*

$A_c = \text{área del círculo}$

$r_c = \text{radio del círculo.}$

$$A_c = \pi \times 3.18^2 = 31.77 \text{ mm}^2$$

El área de la sección transversal del eje se obtiene de la ecuación 5 y da como resultado:

$$\begin{aligned}A_t &= A_c - A_{sc} && \text{(ec.5)} \\A_t &= 31.77 \text{ mm}^2 - 1.67 \text{ mm}^2 = 30.1 \text{ mm}^2 \\A_t &= 3.01 \times 10^{-5} \text{ m}^2\end{aligned}$$

De la ecuación (ec.2) se reemplaza los valores obtenidos de área y de fuerza, para poder calcular el valor el esfuerzo normal en el eje.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde la fuerza F es el resultado de la suma de los 3 pesos  $W_1$ ,  $W_2$  y  $W_3$ .

$$\sigma = \frac{20.44 \text{ N}}{3.01 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 679.07 \times 10^3 \text{ Pa}$$

El material del eje es acero inoxidable 303, el cual tiene un valor de resistencia a la fluencia de:

$$S_y = 241 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Por lo tanto, el factor de seguridad se puede calcular con la ecuación 6 presentada a continuación:

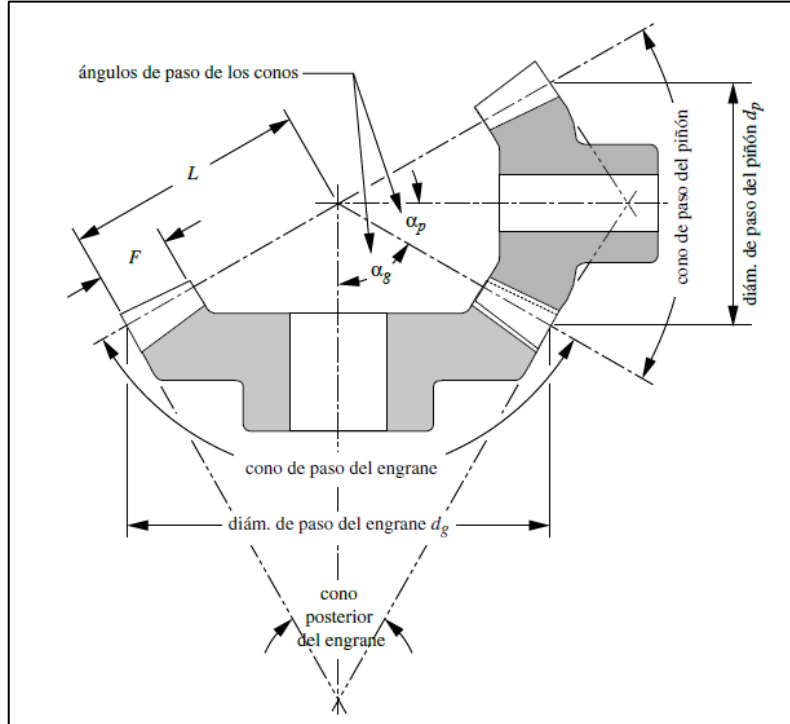
$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{(ec. 6)}$$

$$n = \frac{241 \times 10^6 \text{ Pa}}{679.07 \times 10^3 \text{ Pa}} = 355$$

Este resultado revela que el eje resistirá la carga establecida.

## Cálculo de esfuerzos en los engranes cónicos

Para el cálculo de los esfuerzos se tendrá en consideración la nomenclatura y geometría de los engranes cónicos mostrados en la siguiente figura.



**figura 4 Geometría y nomenclatura de un engrane cónico**  
 [estándar 2005-B88 de la AGMA. Robert L. Norton]  
 (Norton, 2011)

La figura 4 muestra dos engranes cónicos acoplados y vistos en una sección transversal, donde  $F$  es el ancho de cara y limitada generalmente a  $L/3$ . Además, sus ángulos de paso en el cono están denotados por  $\alpha_g$  y  $\alpha_p$ , para el engrane y el piñón, respectivamente. La longitud  $L$  queda definida por la ecuación 7.

$$L = \frac{r_p}{\sin \alpha_p} = \frac{d_p}{2 \sin \alpha_p} = \frac{d_g}{2 \sin \alpha_g} \quad (\text{ec. 7})$$

La razón de engrane  $m_G$  para un acople de engranes cónicos a  $90^\circ$  se representa mediante la ecuación 8 y está definido en términos de los ángulos de paso de cono.

$$m_G = \frac{\omega_p}{\omega_g} = \frac{N_g}{N_p} = \frac{d_g}{d_p} = \tan \alpha_g = \cot \alpha_p \quad (\text{ec. 8})$$



## Fuerzas sobre engranes cónicos

Para un engrane cónico de dientes rectos, existen las componentes de fuerza radial, tangencial y axial, como se expresan en la ecuación 9, 10, y 11 respectivamente.

$$W_a = W_t \tan \phi \sin \alpha \quad (\text{ec. 9})$$

$$W_r = W_t \tan \phi \cos \alpha \quad (\text{ec. 10})$$

$$W = \frac{W_t}{\cos \phi} \quad (\text{ec. 11})$$

En las ecuaciones (ec. 9), (ec. 10), (ec. 11) se debe emplear el ángulo de cono de paso  $\alpha_p$  del piñón o  $\alpha_g$  del engrane en lugar de  $\alpha$ . La carga tangencial  $W_t$  se determina a partir del torque aplicado a cualquier elemento en combinación, ya sea en el piñón o en el engrane, con su diámetro de paso medio  $d_m$ . La carga tangencial se puede calcular mediante la ecuación 12.

$$W_t = \frac{2T}{d_m} \quad (\text{ec. 12})$$

Donde el torque que actúa sobre el engrane o el piñón y su diámetro respectivamente, se usan para obtener la fuerza transmitida común.

## Esfuerzo de flexión en engranes cónicos

El esfuerzo de flexión en engranes cónicos rectos se calcula con la ecuación 13 de la AGMA, que se utiliza para los engranes rectos o helicoidales, con la diferencia que se toma en cuenta en valor del factor J.

$$\sigma_b = \frac{2T_p p_d K_a K_m K_s}{d F J K_v K_x} \quad \text{psi} \quad (\text{ec. 13})$$

## Esfuerzo superficial en engranes cónicos

El esfuerzo superficial en engranes cónicos de dientes rectos, se calcula mediante la ecuación 14, al igual que en el cálculo de esfuerzos superficiales para engranes rectos o helicoidales.

$$\sigma_c = C_p C_b \sqrt{\frac{2T_D}{F l d^2} \left(\frac{T_p}{T_D}\right)^2 \frac{C_a C_m}{C_v} C_s C_f C_{xc}} \quad (\text{ec. 14})$$

Los términos de torque  $T_D$  y  $T_p$  se refieren a torque de diseño del piñón y torque de operación del piñón respectivamente. El torque de diseño se estima a partir de la ecuación 15.

$$T_D = \frac{F}{2} \frac{I C_v}{C_s C_{md} C_a C_f C_{xc}} \left( \frac{S'_{fc} d^{0.774} C_H}{C_p C_b C_T C_R} \right)^2 \quad lb - in \quad (\text{ec. 15})$$

En este diseño se ha seleccionado dos engranes cónicos con un número de 26 y 13 dientes respectivamente, como se puede observar en las figuras 5 y 6.

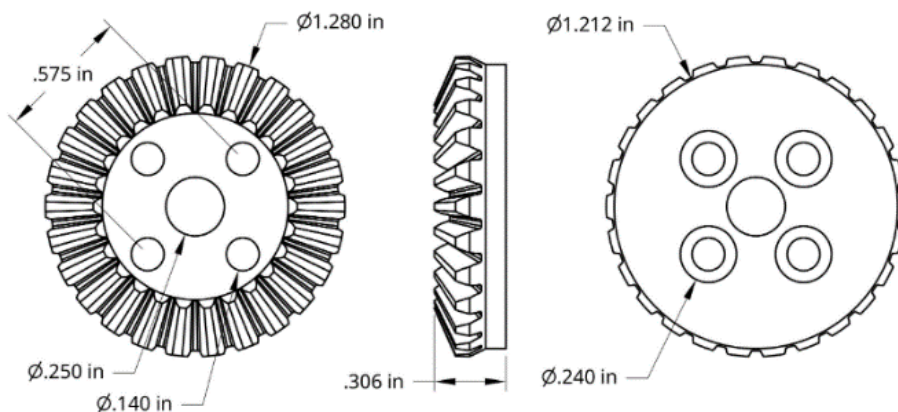
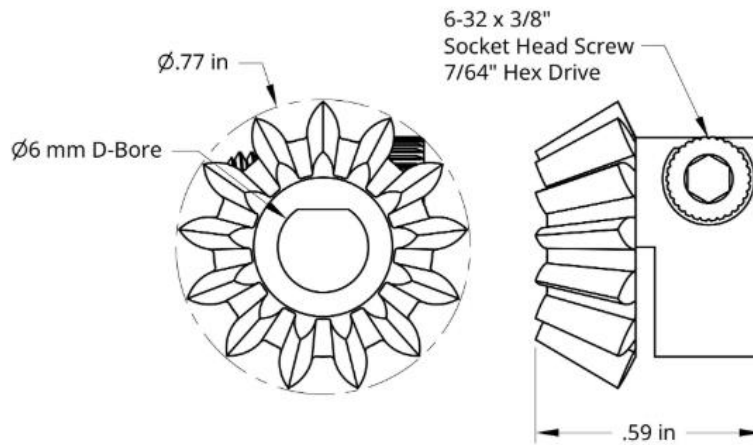


figura 5 Engrane cónico de 26 dientes  
[Servocity]



**figura 6 Piñón cónico de 13 dientes.**  
[Servocity]

### Cálculo del esfuerzo de flexión del piñón

De la ecuación (ec. 8), se determinan los valores de ángulo de paso de cono del piñón y el engrane.

$$\alpha_g = \tan^{-1} \left( \frac{N_g}{N_p} \right)$$

$$\alpha_g = \tan^{-1} \left( \frac{26}{13} \right) = 63.43^\circ$$

$$\alpha_p = 90^\circ - 63.43^\circ = 26.57^\circ$$

El diámetro de paso del piñón queda expresado por la ecuación 16.

$$d_p = \frac{N_p}{P_d} \tag{ec. 16}$$

$$d_p = \frac{13}{20} = 0.65 \text{ in}$$

De la ecuación (ec. 7) el valor de L es igual a:

$$L = \frac{d_p}{2 \sin \alpha_p}$$

$$L = \frac{0.65}{2 \times \sin 26.57^\circ} = 0.73 \text{ in}$$

El ancho de cara se expresa en la siguiente ecuación

$$F = \frac{L}{3} = \frac{0.73}{3} = 0.24 \text{ in}$$

De la ecuación (ec. 13) el esfuerzo de flexión en el piñón es:

$$\sigma_b = \frac{2T_p p_d K_a K_m K_s}{d F J K_v K_x} \text{ psi}$$

Donde los valores de  $K_a, K_m, K_s, K_v, K_x, J$ , son encontrados mediante tablas y figuras de la normativa AGMA, que se encuentran en el libro de *Diseño de máquinas* de Robert L. Norton. Estos factores se los encuentra en las tablas que se indican en el Apéndice C.  $K_a$  es el factor de aplicación,  $K_m$  es el factor de distribución de carga,  $K_s$  es el factor de tamaño,  $K_v$  es el factor dinámico,  $K_x$  es igual a uno para engranes cónicos de dientes rectos. El valor de  $T_p$  es el valor de toque máximo permisible en la caja reductora del motor, por lo que se ha seleccionado como el valor de cálculo.

$$\sigma_b = \frac{2 \times 26.55 \times 20 \times 1 \times 1.6 \times 1}{0.65 \times 0.24 \times 0.210 \times 1 \times 1} = 51,868.13 \text{ psi}$$

La fórmula de corrección para la resistencia a la fatiga por flexión en engranes está representada mediante la ecuación 17:

$$S_{fb} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb'} \quad (\text{ec. 17})$$

$K_L$  es el factor de vida,  $K_T$  es el factor de temperatura, el cual para valores menores a 250 °F es igual a 1,  $K_R$  es el factor de confiabilidad. Estos valores son encontrados mediante la normativa AGMA en el mismo libro ya mencionado.

El valor  $S_{fb'}$  se consideró el valor más bajo de la tabla 8-20 mostrada en el Apéndice D del libro de diseño de máquinas [R. L Norton].

$$S_{fb} = \frac{2}{1 \times 1} 33 \times 10^3 = 66 \times 10^3 \text{ psi}$$

### **Factor de seguridad**

Después de calcular el esfuerzo de flexión en el piñón y la resistencia a la fatiga en el material, se puede determinar si el material va a fallar con el cálculo del factor de seguridad. El cual queda de la siguiente forma en la ecuación 18:

$$N_{bpiñón} = \frac{S_{fb}}{\sigma_{bpiñón}} \quad (\text{ec. 18})$$

$$N_{bpiñón} = \frac{66000 \text{ psi}}{51,868.13 \text{ psi}} = 1.27$$

# APÉNDICE C

## APP INVENTOR

Se presenta el código de bloques para la aplicación Android:

En esta sección del código de bloques es donde aparece una lista de los dispositivos bluetooth, disponibles en los alrededores y se establece comunicación con el módulo bluetooth HC-05.

```
when ListPicker1 .BeforePicking
do set ListPicker1 .Elements to BluetoothClient1 .AddressesAndNames

when ListPicker1 .AfterPicking
do set ListPicker1 .Selection to call BluetoothClient1 .Connect
address ListPicker1 .Selection
```

En la siguiente sección de la aplicación Android pertenece a los botones y la acción que se debe realizar al presionarlos, la aplicación envía una señal (carácter) a el módulo bluetooth, con esta señal el código de programación cargado en el Arduino ejecuta órdenes para hacer girar los motores.

```
when Button1 .TouchDown
do call BluetoothClient1 .SendText
text "1"

when Button2 .TouchDown
do call BluetoothClient1 .SendText
text "2"

when Button3 .TouchDown
do call BluetoothClient1 .SendText
text "3"

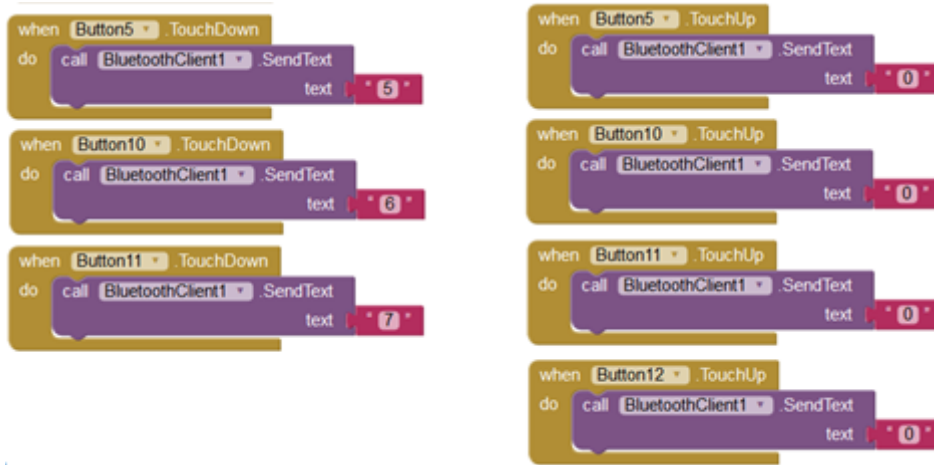
when Button4 .TouchDown
do call BluetoothClient1 .SendText
text "4"

when Button1 .TouchUp
do call BluetoothClient1 .SendText
text "0"

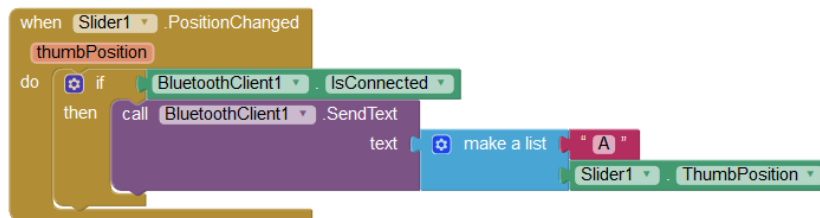
when Button2 .TouchUp
do call BluetoothClient1 .SendText
text "0"

when Button3 .TouchUp
do call BluetoothClient1 .SendText
text "0"

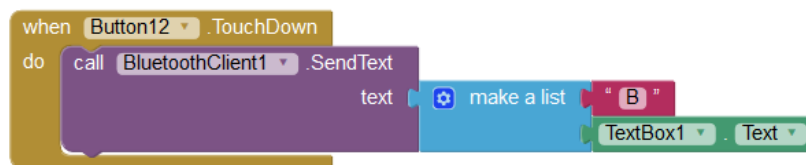
when Button4 .TouchUp
do call BluetoothClient1 .SendText
text "0"
```



Esta sección pertenece a la acción que debe hacer la barra slider en la aplicación, en este caso la barra slider envía una cadena de caracteres al módulo bluetooth, esta cadena de caracteres representa la posición del scroll en la barra slider.



En la última sección de la cadena de bloques, se presenta las configuraciones del botón que realiza la función de ejecutar, en este caso las ordenes se envían como una cadena de caracteres bajo una orden B hacia el módulo bluetooth.



# APÉNDICE D

## TABLAS DE REFERENCIA

### Propiedades mecánicas de los aceros inoxidable

**Tabla E-8 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable**  
 Datos de INCO.\* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de material para mayor información

| Aleaciones de<br>acero inoxidable | Condición           | Resistencia a la fluencia<br>por tensión (0.2% de<br>deformación remanente) |       | Resistencia última<br>a la tensión |       | Elongación<br>en 2 in<br>% | Dureza<br>Rockwell<br>o Brinell |
|-----------------------------------|---------------------|---|-------|------------------------------------|-------|----------------------------|---------------------------------|
|                                   |                     | kpsi  | MPa   | kpsi                               | MPa   |                            |                                 |
| Tipo 301                          | recocido en tiras   | 40  | 276   | 110                                | 758   | 60                         | 85HRB                           |
|                                   | rolado en frío      | 165   | 1 138 | 200                                | 1 379 | 8                          | 41HRC                           |
| Tipo 302                          | recocido en láminas | 40  | 276   | 90                                 | 621   | 50                         | 85HRB                           |
|                                   | rolado en frío      | 165   | 1 138 | 190                                | 1 310 | 5                          | 40HRC                           |
| Tipo 304                          | recocido en láminas | 35  | 241   | 85                                 | 586   | 50                         | 80HRB                           |
|                                   | rolado en frío      | 160   | 1 103 | 185                                | 1 276 | 4                          | 40HRC                           |
| Tipo 314                          | recocido en barras  | 50  | 345   | 100                                | 689   | 45                         | 180HB                           |
| Tipo 316                          | recocido en láminas | 40  | 276   | 90                                 | 621   | 50                         | 85HRB                           |
| Tipo 330                          | rolado en caliente  | 55  | 379   | 100                                | 689   | 35                         | 200HB                           |
|                                   | recocido            | 35  | 241   | 80                                 | 552   | 50                         | 150HB                           |
| Tipo 410                          | recocido en láminas | 45  | 310   | 70                                 | 483   | 25                         | 80HRB                           |
|                                   | tratamiento térmico | 140   | 965   | 180                                | 1 241 | 15                         | 39HRC                           |
| Tipo 420                          | recocido en barras  | 50  | 345   | 95                                 | 655   | 25                         | 92HRB                           |
|                                   | tratamiento térmico | 195   | 1 344 | 230                                | 1 586 | 8                          | 500HB                           |
| Tipo 431                          | recocido en barras  | 95  | 655   | 125                                | 862   | 25                         | 260HB                           |
|                                   | tratamiento térmico | 150   | 1 034 | 195                                | 1 344 | 15                         | 400HB                           |
| Tipo 440C                         | recocido en barras  | 65  | 448   | 110                                | 758   | 14                         | 230HB                           |
|                                   | T y R @ 600 °F      | 275   | 1 896 | 285                                | 1 965 | 2                          | 57HRC                           |
| 17-4 PH (AISI 630)                | endurecido          | 185   | 1 276 | 200                                | 1 379 | 14                         | 44HRC                           |
| 17-7 PH (AISI 631)                | endurecido          | 220   | 1 517 | 235                                | 1 620 | 6                          | 48HRC                           |

\* Propiedades de algunos metales y aleaciones, International Nickel Co., Inc., Nueva York.



## Factores dinámicos $K_v$ de la AGMA

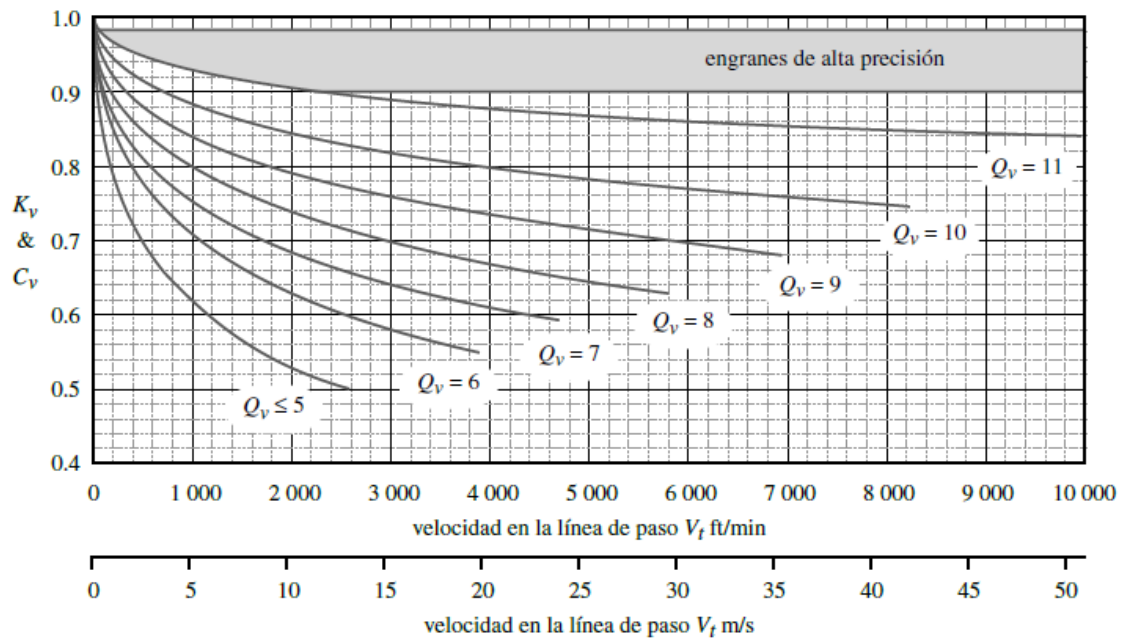


FIGURA 8-22

Factores dinámicos  $K_v$  y  $C_v$  de la AGMA

## Factores $K_m$ de distribución de carga

**Tabla 8-16**

Factores  $K_m$  de distribución de carga

| Ancho de cara<br>in (mm) | $K_m$ |
|--------------------------|-------|
| <2 (50)                  | 1.6   |
| 6 (150)                  | 1.7   |
| 9 (250)                  | 1.8   |
| ≥20 (500)                | 2.0   |

## Factores de aplicación

Tabla 8-17 Aplicación de factores  $K_a$

| Máquina impulsora                            | Máquina impulsada |                  |                |
|--|-------------------|------------------|----------------|
|  | Uniforme          | Impacto moderado | Impacto fuerte |
| Uniforme<br>(motor eléctrico, turbina)       | 1.00              | 1.25             | 1.75 o mayor   |
| Impacto suave<br>(motor de varios cilindros) | 1.25              | 1.50             | 2.00 o mayor   |
| Impacto medio<br>(motor de un solo cilindro) | 1.50              | 1.75             | 2.25 o mayor   |

## Factor de vida $K_L$ de resistencia a la flexión de la AGMA

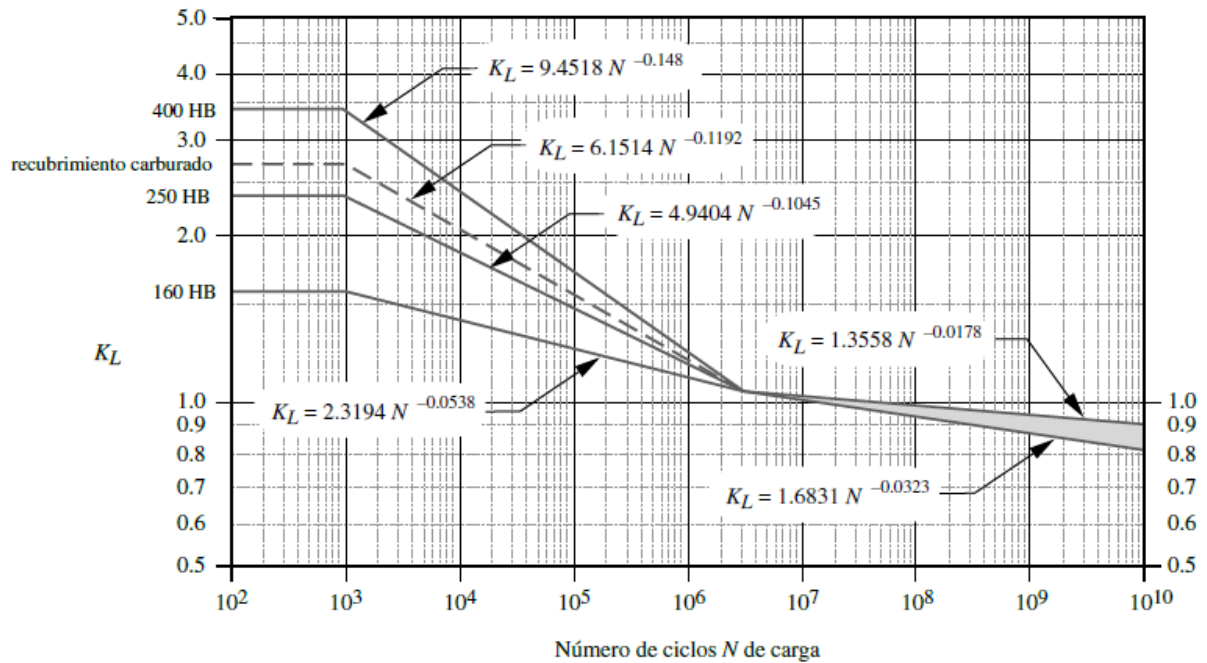


FIGURA 8-24\*

Factor de vida  $K_L$  de resistencia a la flexión de la AGMA

## Factor de confiabilidad

**Tabla 8-19**  
Factor  $K_R$  de la AGMA

| % de confiabilidad | $K_R$ |
|--------------------|-------|
| 90                 | 0.85  |
| 99                 | 1.00  |
| 99.9               | 1.25  |
| 99.99              | 1.50  |

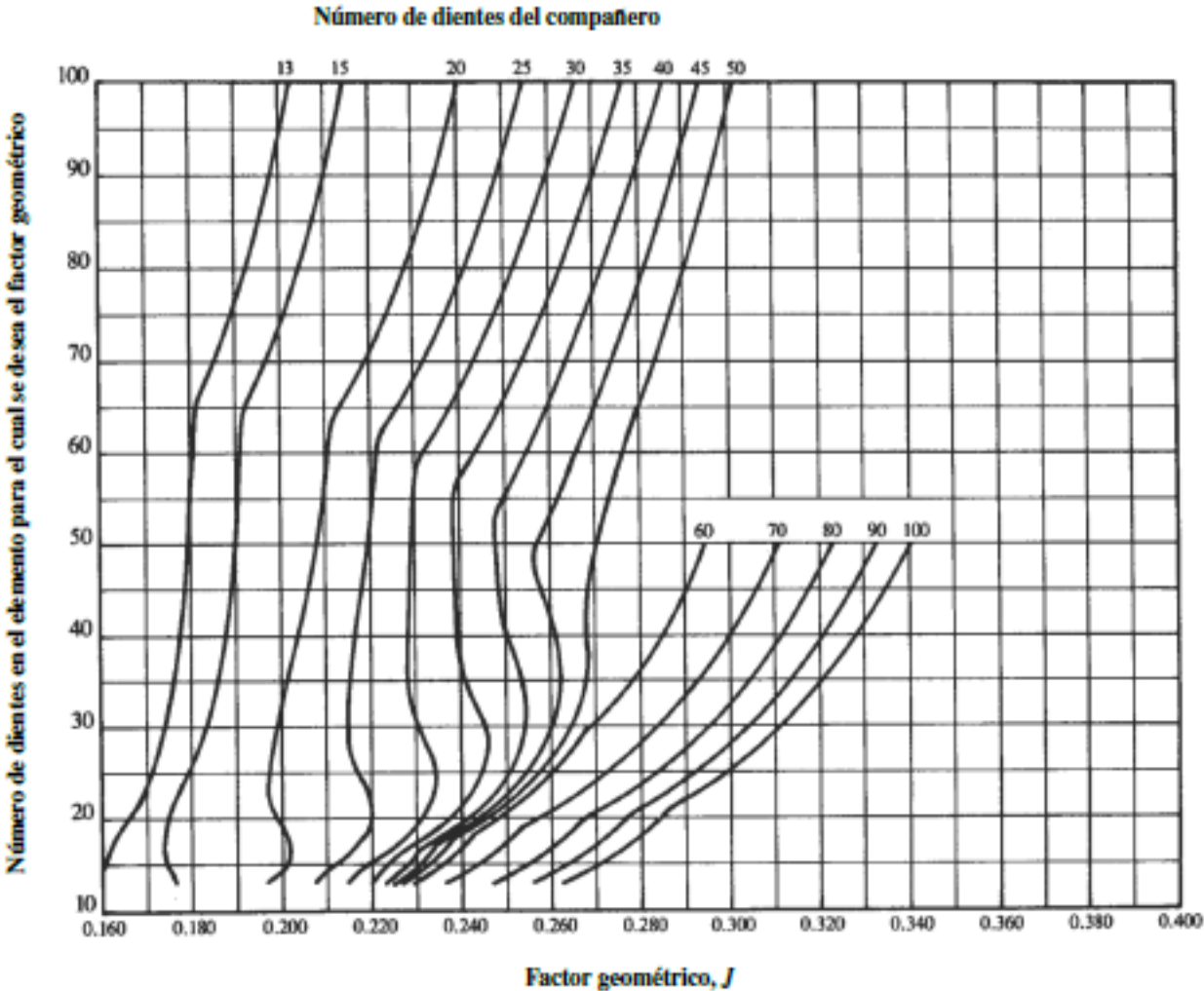
## Resistencia a la fatiga de los aceros endurecidos

**Tabla 8-20** Resistencias de fatiga por flexión  $S_{fb}'$  de la AGMA, para un grupo de materiales para engranes\*

| Material                    | Clase AGMA         | Designación del material      | Tratamiento térmico                  | Dureza superficial mínima            | Resistencia a la fatiga por tensión |         |         |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|
|                             |                    |                               |                                      |                                      | psi x 10 <sup>3</sup>               | MPa     |         |
| Acero                       | A1-A5              |                               | Endurecido totalmente                | ≤ 180 HB                             | 25-33                               | 170-230 |         |
|                             |                    |                               | Endurecido totalmente                | 240 HB                               | 31-41                               | 210-280 |         |
|                             |                    |                               | Endurecido totalmente                | 300 HB                               | 36-47                               | 250-325 |         |
|                             |                    |                               | Endurecido totalmente                | 360 HB                               | 40-52                               | 280-360 |         |
|                             |                    |                               | Endurecido totalmente                | 400 HB                               | 42-56                               | 290-390 |         |
|                             |                    |                               | Endurecido por llama o por inducción | Patrón tipo A 50-54 HRC              | 45-55                               | 310-380 |         |
|                             |                    |                               | Endurecido por llama o por inducción | Patrón tipo B                        | 22                                  | 150     |         |
|                             |                    |                               | Carburado y recubrimiento endurecido | 55-64 HRC                            | 55-75                               | 380-520 |         |
|                             |                    |                               | AISI 4140                            | Nitrurado                            | 84.6 HR15N <sup>†</sup>             | 34-45   | 230-310 |
|                             |                    |                               | AISI 4340                            | Nitrurado                            | 83.5 HR15N                          | 36-47   | 250-325 |
|                             | Nitroaleación 135M | Nitrurado                     | 90.0 HR15N                           | 38-48                                | 260-330                             |         |         |
|                             | Nitroaleación N    | Nitrurado                     | 90.0 HR15N                           | 40-50                                | 280-345                             |         |         |
|                             | Cromo al 2.5%      | Nitrurado                     | 87.5-90.0 15N                        | 55-65                                | 380-450                             |         |         |
| Hierro colado               | 20                 | Clase 20                      | Como está fundido                    |                                      | 5                                   | 35      |         |
|                             | 30                 | Clase 30                      | Como está fundido                    | 175 HB                               | 8                                   | 69      |         |
|                             | 40                 | Clase 40                      | Como está fundido                    | 200 HB                               | 13                                  | 90      |         |
| Hierro nodular (dúctil)     | A-7-a              | 60-40-18                      | Recocido                             | 140 HB                               | 22-33                               | 150-230 |         |
|                             | A-7-c              | 80-55-06                      | Templado y revenido                  | 180 HB                               | 22-33                               | 150-230 |         |
|                             | A-7-d              | 100-70-03                     | Templado y revenido                  | 230 HB                               | 27-40                               | 180-280 |         |
|                             | A-7-e              | 120-90-02                     | Templado y revenido                  | 230 HB                               | 27-40                               | 180-280 |         |
| Hierro maleable (perlítico) | A-8-c              | 45007                         |                                      | 165 HB                               | 10                                  | 70      |         |
|                             | A-8-e              | 50005                         |                                      | 180 HB                               | 13                                  | 90      |         |
|                             | A-8-f              | 53007                         |                                      | 195 HB                               | 16                                  | 110     |         |
|                             | A-8-l              | 80002                         |                                      | 240 HB                               | 21                                  | 145     |         |
| Bronce                      | Bronce 2           | AGMA 2C                       | Fundido en arena                     | 40 ksi resistencia a la tensión mín. | 5.7                                 | 40      |         |
|                             | Al/Br 3            | ASTM B-148<br>78 aleación 954 | Tratado térmicamente                 | 90 ksi resistencia a la tensión mín. | 23.6                                | 160     |         |

<sup>†</sup> Escala de Rockwell 15N usada para materiales con recubrimiento endurecido; véase la sección B.4

# Factor geométrico J



# APÉNDICE E

## CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <AccelStepper.h> //libreria stepper
SoftwareSerial miBT(0, 1); // pin 0 como RX, pin 1 como TX

AccelStepper stepper1(1,3,2); //nombre simbolico pines
AccelStepper stepper2(1,5,4);
int ledState2 = LOW;
unsigned long previousMillis2 = 0; //numero tipo long sin signo
const long interval2 = 1;

char DATO = 0;

long count_home1=0; //contador 1
long count_home2=0;
long PinitialM1=0; //posicion inicial motor 1
long PfinalM1=0; //posicion final motor 1
long PinitialM2=0; //posicion inicial motor 2
long PfinalM2=0; //posicion final motor 2

int vel = 750;
int temp = 0;
int pos = 0;
int pos1 = 0;
int pos2 = 0;
String readString;
int i=0;

void setup() {

  stepper2.setAcceleration(1500); //aceleracion pasos por segundos
  stepper1.setAcceleration(1500);

  miBT.begin(38400);
  Serial.begin(9600); // comunicacion de monitor serial a 9600 bps
  Serial.println("Listo"); // comunicacion serie entre Arduino y el modulo a 38400 bps
}

void loop() {
  if (miBT.available()) {
    DATO = miBT.read();
    Serial.println(count_home1);
    Serial.println(count_home2);

    if ( DATO == '1' ) // si el caracter recibido es el numero 2
      JOG_MOTOR_1() ;
    if ( DATO == '2' )
      JOG_MOTOR_1() ;

    if ( DATO == '3' )
      JOG_MOTOR_2();
    if ( DATO == '4' )
      JOG_MOTOR_2();
  }
}
```

```

if ( DATO == '5' ) {
  stepper1.setCurrentPosition(0); //establece la posicion actual como posicion cero
  stepper2.setCurrentPosition(0);
  count_home2=stepper2.currentPosition ();
  count_home1=stepper1.currentPosition ();
  }

if ( DATO == '7' ){
  stepper1.setCurrentPosition(0);
  stepper2.setCurrentPosition(0);
  count_home2=stepper2.currentPosition ();
  count_home1=stepper1.currentPosition ();

  PicialM1=stepper1.currentPosition ();//punto inicial motor 1 igual a posicion actual
  PicialM2=stepper2.currentPosition ();
  }

if ( DATO == '6' ){

  PfinalM1=stepper1.currentPosition ();
  PfinalM2=stepper2.currentPosition ();
  }

  if ( DATO == 'B' ){
    TIEMPO();
    delay(500) ;
    Serial.println(temp);
    Mpuntos ();
  //  Mpuntos2 ();
  }

  if ( DATO == 'A' )
  VELOCIDAD();

  }
}

void VELOCIDAD(){
  delayMicroseconds(300);
  while(miBT.available()){
    char c1 =miBT.read();
    readString+= c1;
  }
  vel=8.5*readString.toInt();
  readString="";
}

```

```

void TIEMPO() {
  delayMicroseconds(300);
  while(miBT.available()){
    char c2 =miBT.read();
    readString+= c2;
  }
  temp=readString.toInt();
  readString="";
}

void JOG_MOTOR_1() {

  long c=count_home1;
  stepper1.setMaxSpeed(vel);
  while((DATO == '1')||(DATO == '2')){

if(DATO == '1'){

  if (stepper1.distanceToGo() == 0)
    stepper1.moveTo(c);
  stepper1.run();
  c=c+10;
}

if(DATO == '2'){
  if (stepper1.distanceToGo() == 0)
    stepper1.moveTo(c);
  stepper1.run();
  c=c-10;
}

  if (miBT.available())
  {
  count_home1=stepper1.currentPosition ();
stepper1.setCurrentPosition(count_home1) ;

  return;

  }

  }

  Serial.println(count_home1);
}

```

```

void JOG_MOTOR_2(){
  stepper2.setMaxSpeed(vel);
  long c=count_home2;
  while((DATO == '3') || (DATO == '4')){

  if(DATO == '3'){

    if (stepper2.distanceToGo() == 0){

      stepper2.moveTo(c);

    }

    stepper2.run();
    c=c+10;
  }

  if(DATO == '4'){

    if (stepper2.distanceToGo() == 0){

      stepper2.moveTo(c);

    }
    stepper2.run();
    c=c-10;
  }

  if (miBT.available()) {
    count_home2=stepper2.currentPosition ();
    stepper2.setCurrentPosition(count_home2) ;

    return;

  }

  }

  Serial.println(count_home2);
}

```

```

void Mpuntos() {
  Serial.println("aa");
  Serial.println(count_home1);
  Serial.println(count_home2);
  Serial.println(PinicialM1);
  Serial.println(PinicialM2);
  Serial.println(PfinalM1);
  Serial.println(PfinalM2);
}

```



```

while((stepper1.currentPosition() != PinicialM1)|| (stepper2.currentPosition() != PinicialM2)){

    stepper1.moveTo(PinicialM1);
    stepper2.moveTo(PinicialM2);
    if (stepper1.distanceToGo() == 0)
        stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
    if (stepper2.distanceToGo() == 0)
        stepper2.moveTo(-stepper2.currentPosition());
    stepper1.run();
    stepper2.run();

}

delay(2000);
stepper1.setMaxSpeed((3.4*(abs(PfinalM1-PinicialM1)/200))/temp);
stepper2.setMaxSpeed((3.4*(abs(PfinalM2-PinicialM2)/200))/temp);

while((stepper1.currentPosition() != PfinalM1)|| (stepper2.currentPosition() != PfinalM2)){

    stepper1.moveTo(PfinalM1);
    stepper2.moveTo(PfinalM2);
    if (stepper1.distanceToGo() == 0)
        stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
    if (stepper2.distanceToGo() == 0)
        stepper2.moveTo(-stepper2.currentPosition());
    stepper1.run();
    stepper2.run();

}

delay(2000);
stepper1.setMaxSpeed((3.4*(abs(PfinalM1-PinicialM1)/200))/temp);
stepper2.setMaxSpeed((3.4*(abs(PfinalM2-PinicialM2)/200))/temp);

while((stepper1.currentPosition() != PfinalM1)|| (stepper2.currentPosition() != PfinalM2)){

    stepper1.moveTo(PfinalM1);
    stepper2.moveTo(PfinalM2);
    if (stepper1.distanceToGo() == 0)
        stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
    if (stepper2.distanceToGo() == 0)
        stepper2.moveTo(-stepper2.currentPosition());
    stepper1.run();
    stepper2.run();

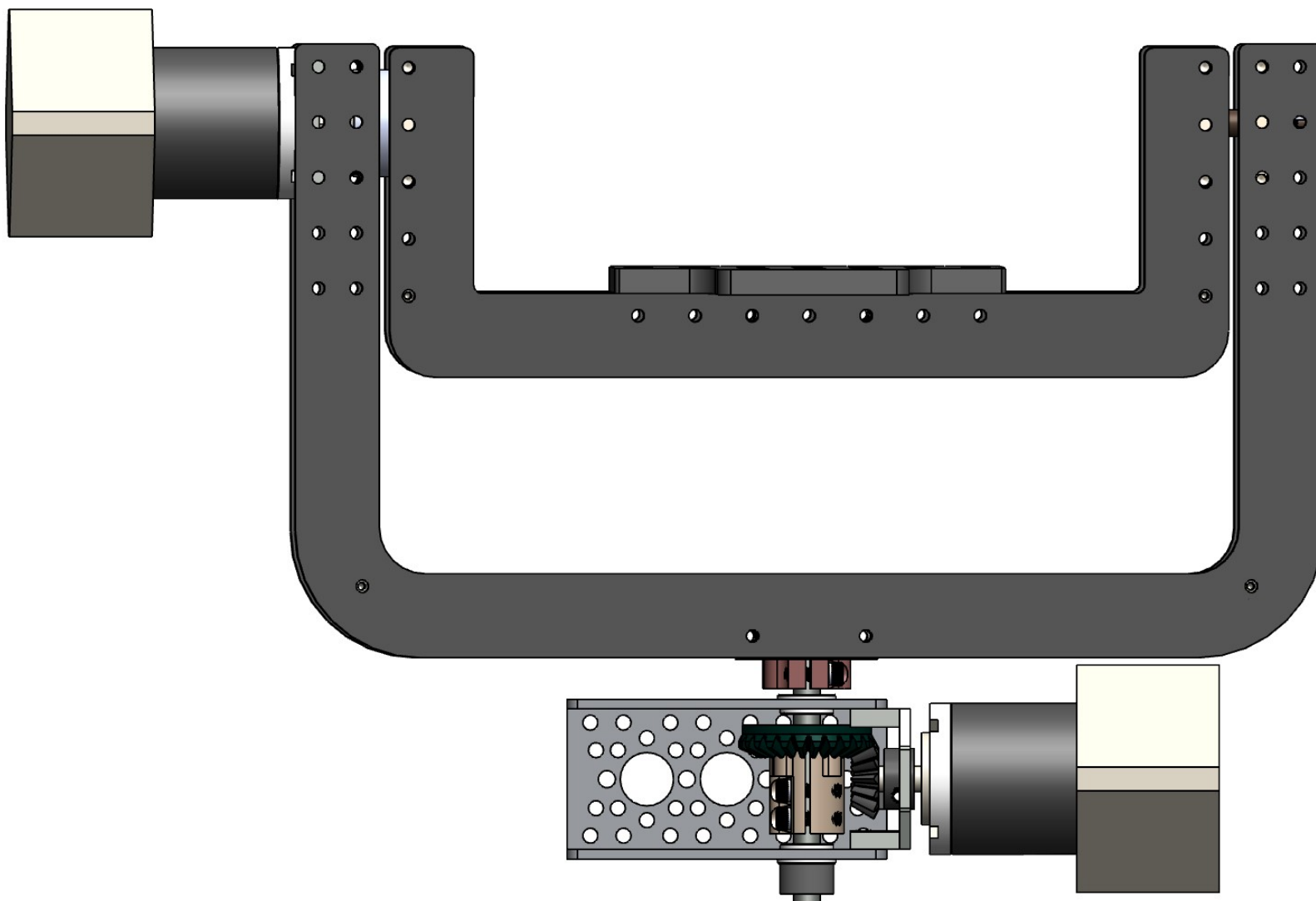
}

if (miBT.available() ) {
    DATO = miBT.read();
    if ( DATO == '9' )
        return;
}

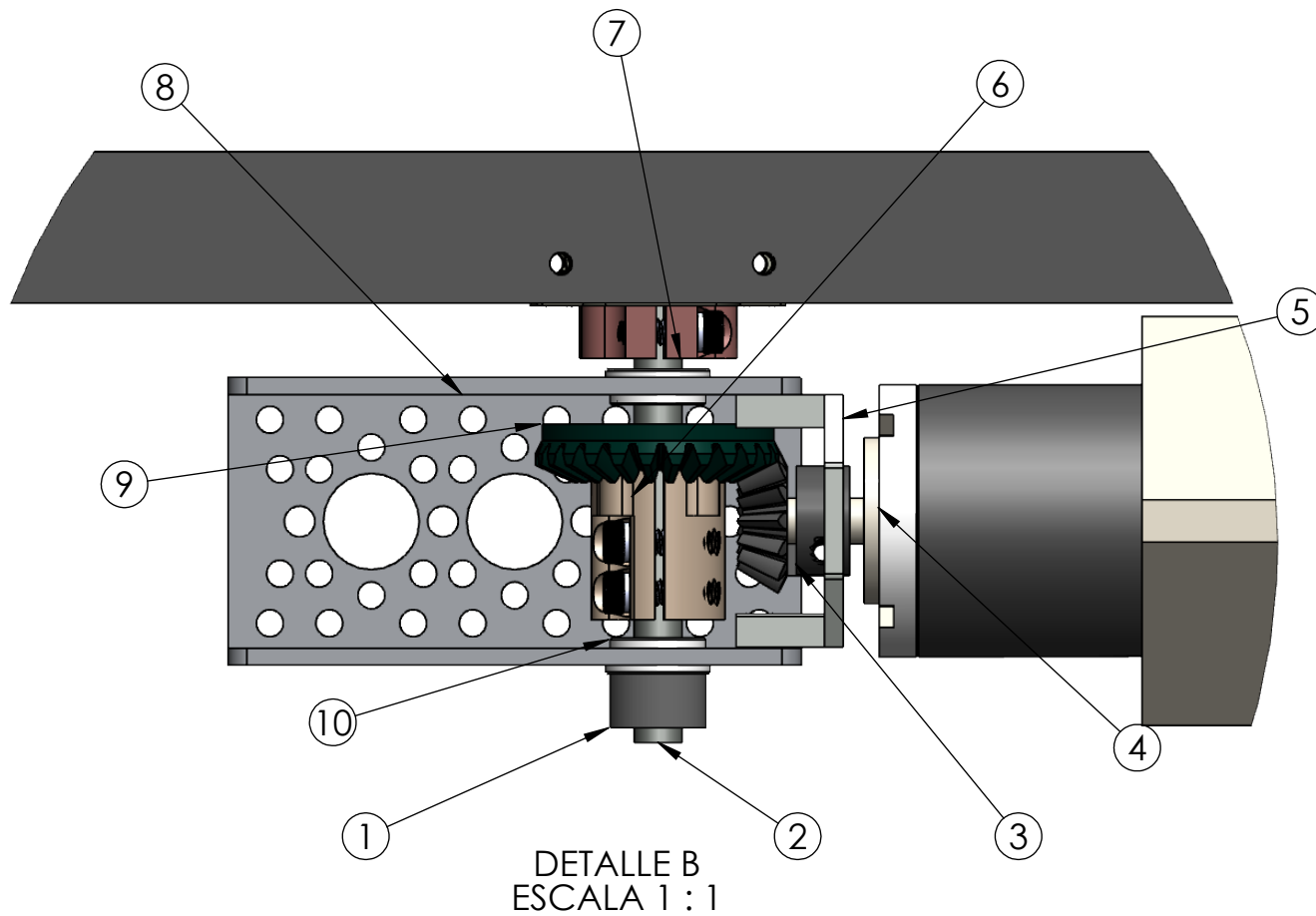
if((stepper1.currentPosition() == PfinalM1)|| (stepper2.currentPosition() == PfinalM2)){
    stepper1.setMaxSpeed(vel);
    stepper2.setMaxSpeed(vel);
    return;
}

```

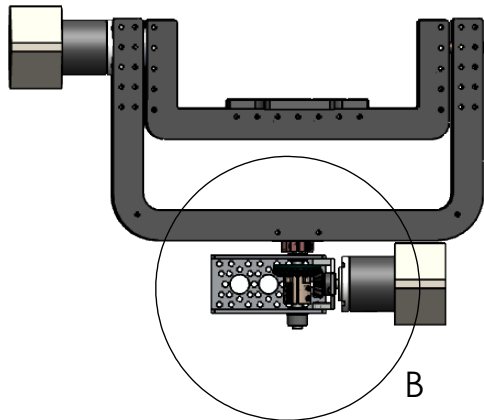
**APÉNDICE F**  
**PLANOS**



|  |            |  |              |
|--|------------|--|--------------|
| OBSERVACIONES:                           |            | TÍTULO:                                  |              |
| DIBUJADO POR:                            | FECHA:     | <h1>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</h1> |              |
| Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | 20-01-2019 |  |              |
| REVISADO POR:                            | FECHA:     |  |              |
| Ing Eloy Moncayo Triviño                 | 20-01-2019 | N.º DE DIBUJO: 1                         | HOJA 1 DE 12 |
| <b>ESPOL - FIMCP</b>                     |            | ESCALA: 1:1.5                            | A4           |

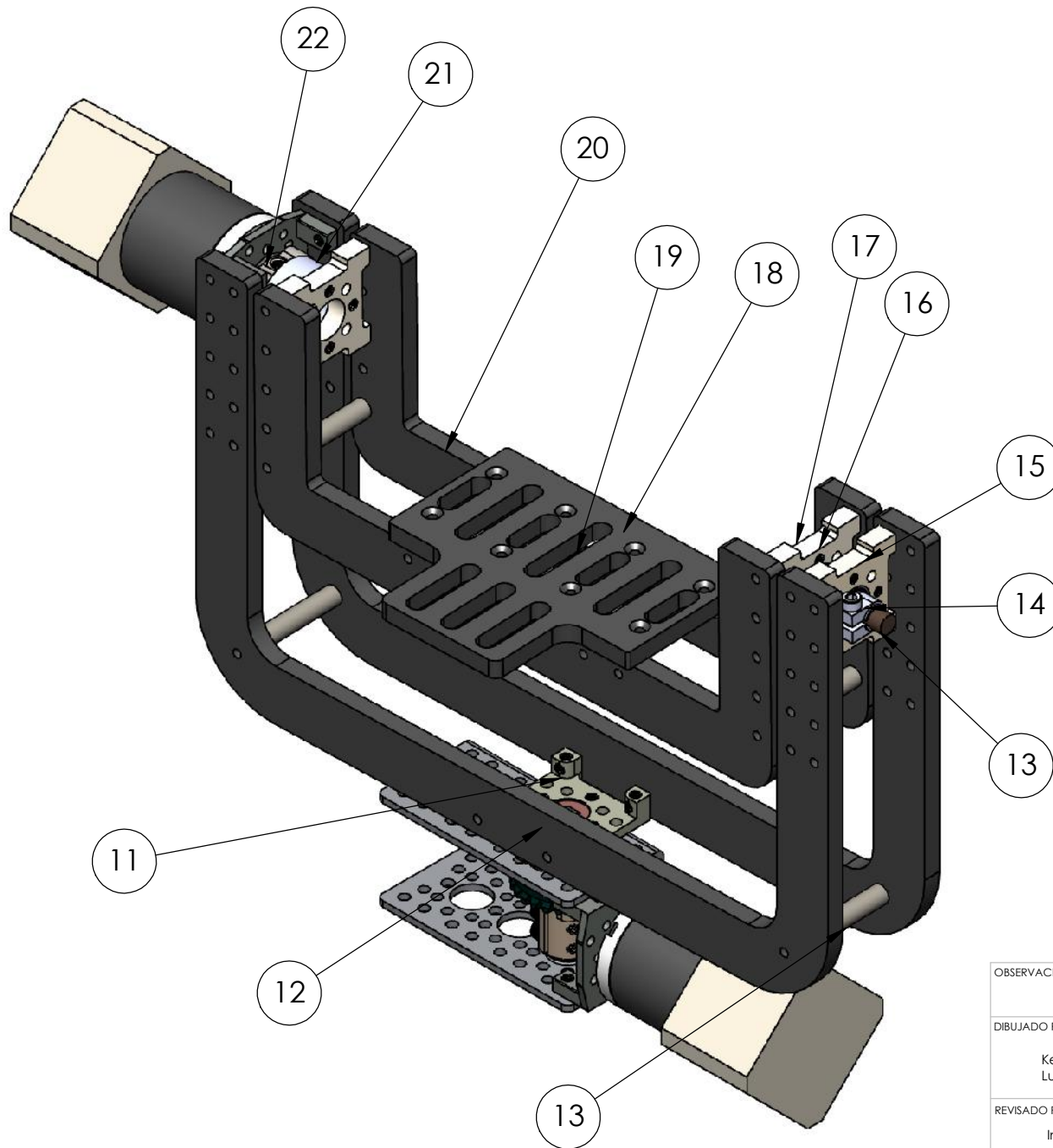


DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



| N.º | DESCRIPCIÓN   | CANT. |
|-----|---|-------|
| 1   | Set screw collar, 1/4" D-Bore                           | 1     |
| 2   | 1/4" Stainless Steel D-Shafting                         | 1     |
| 3   | Shaft Mount Bevel Gear, 13 Tooth, 1/4" D-Bore, 20 Pitch | 1     |
| 4   | Nema 17 Stepper Motor Bipolar                           | 2     |
| 5   | Aluminum Motor Mount E                                  | 2     |
| 6   | Clamping Hub for Hub Mount Bevel Gear, 1/4" D-Bore      | 1     |
| 7   | Clamping D-Hubs (Tapped), 0.770" Pattern                | 1     |
| 8   | Aluminum Channel, 3"                                    | 1     |
| 9   | Hub Mount Bevel Gear, 26T, 1/4" Bore, 20 Pitch          | 1     |
| 10  | Flanged Ball Bearing 1/4" ID x 1/2" OD                  | 2     |

|  |            |  |             |
|--|------------|--|-------------|
| OBSERVACIONES:                           |            | TÍTULO:                                |             |
| DIBUJADO POR:                            | FECHA:     | <b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |             |
| Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | 14-02-2019 |  |             |
| REVISADO POR:                            | FECHA:     |  |             |
| Eloy Moncayo Triviño                     | 14-02-2019 | N.º DE DIBUJO                          |             |
| <b>ESPOL - FIMCP</b>                     |            | ESCALA:1:5                             | HOJA 1 DE 1 |



| N.º | DESCRIPCIÓN                                    | CANT. |
|-----|--|-------|
| 11  | Side Tapped Pattern Mount C                    | 1     |
| 12  | ABS Plastic Structure 245 mm                   | 2     |
| 13  | Round Aluminum Standoffs, 6-32 Thread, 1/4" OD | 5     |
| 14  | Flanged Aluminum Clamp Collar 1/4"             | 1     |
| 15  | Side Tapped Pillow Block 1/4" Bore             | 1     |
| 16  | Side Tapped Pattern Mount D                    | 2     |
| 17  | #6 Hole Reducer - 1/2"                         | 1     |
| 18  | ABS Camera Plate                               | 1     |
| 19  | 90° Dual Side Mount A                          | 1     |
| 20  | ABS Plastic Structure 200 mm                   | 2     |
| 21  | Hub Spacers - Thickness 0.375"                 | 1     |
| 22  | 0.770" Pattern Set Screw Hubs                  | 1     |

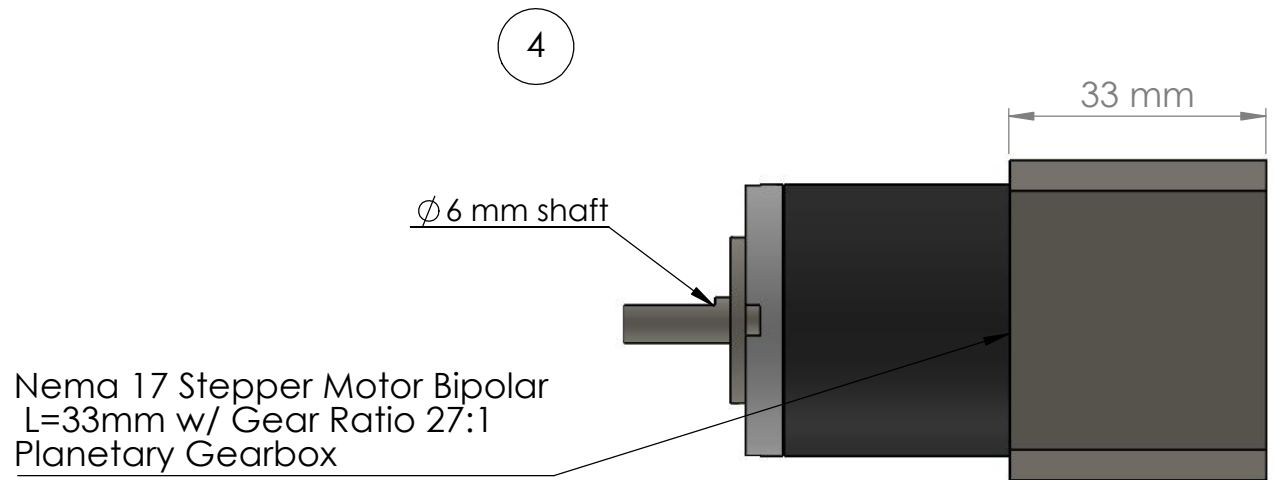
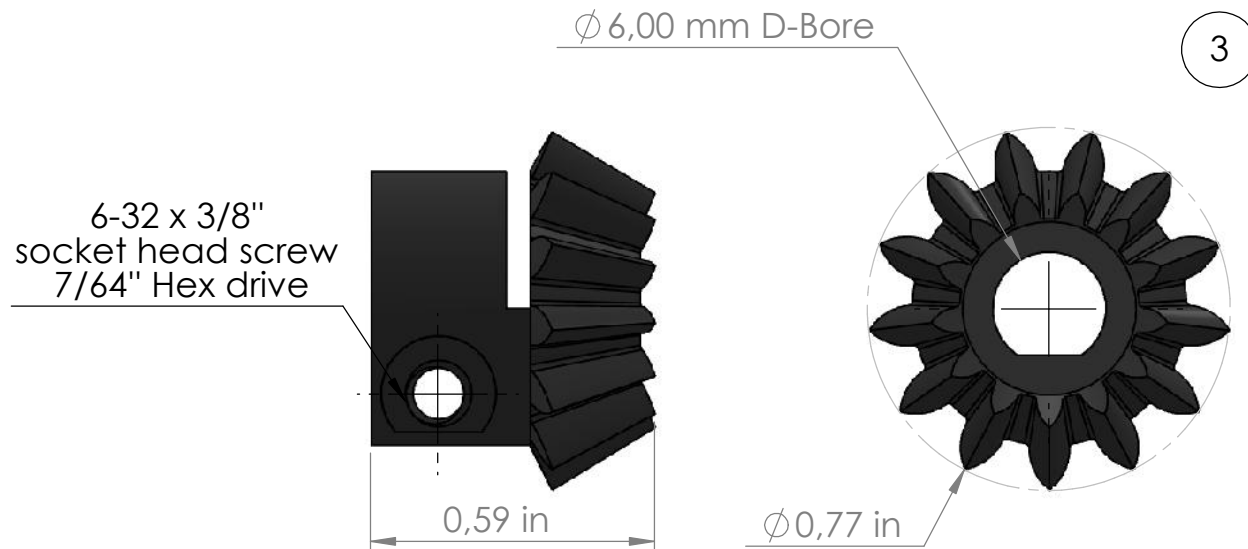
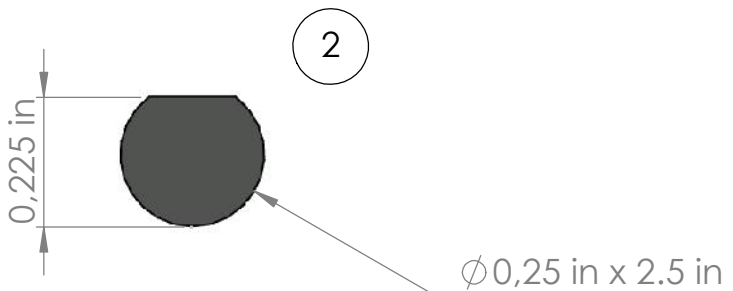
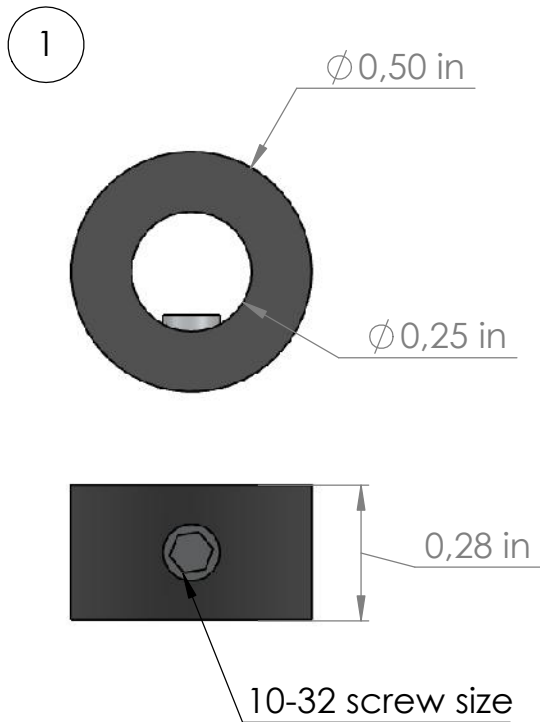
|  |            |  |  |
|--|------------|--|--|
| OBSERVACIONES:                           |            | TÍTULO:                                  |  |
| DIBUJADO POR:                            | FECHA:     | <h1>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</h1> |  |
| Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | 20-01-2019 |  |  |
| REVISADO POR:                            | FECHA:     |  |  |
| Ing Eloy Moncayo Triviño                 | 20-01-2019 | N.º DE DIBUJO: 3                         |  |

**ESPOL - FIMCP**

ESCALA:

HOJA 3 DE 12

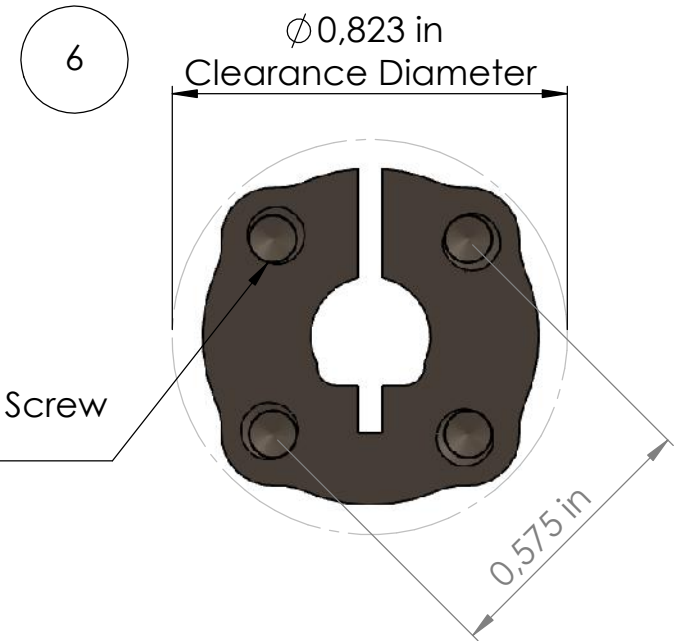
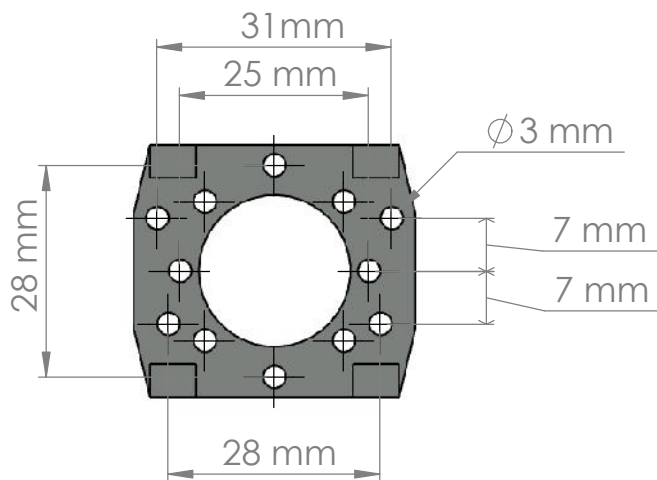
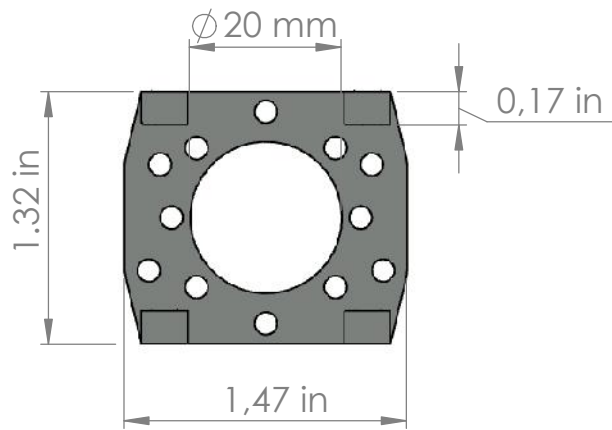
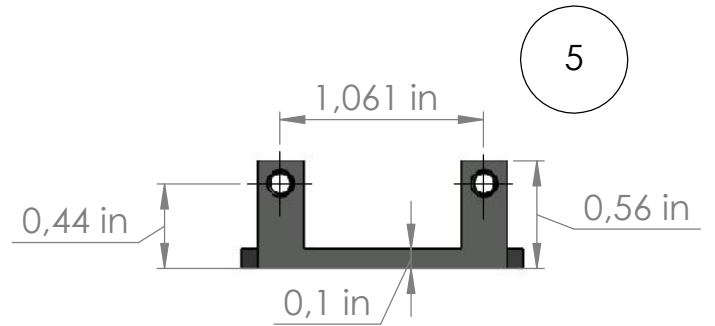
A4



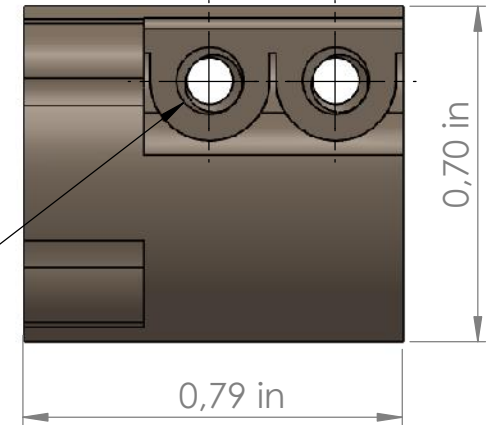
|  |                          |
|--|--------------------------|
| OBSERVACIONES:<br>Ver datasheet del motor NEMA 17<br>17HS13-0404S-PG27 |                          |
| DIBUJADO POR:<br><br>Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar          | FECHA:<br><br>20-01-2019 |
| REVISADO POR:<br><br>Ing Eloy Moncayo Triviño                          | FECHA:<br><br>20-01-2019 |

|   |
|---|
| TÍTULO:<br><br><b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |
| N.º DE DIBUJO: 4                                      |

**ESPOL - FIMCP**



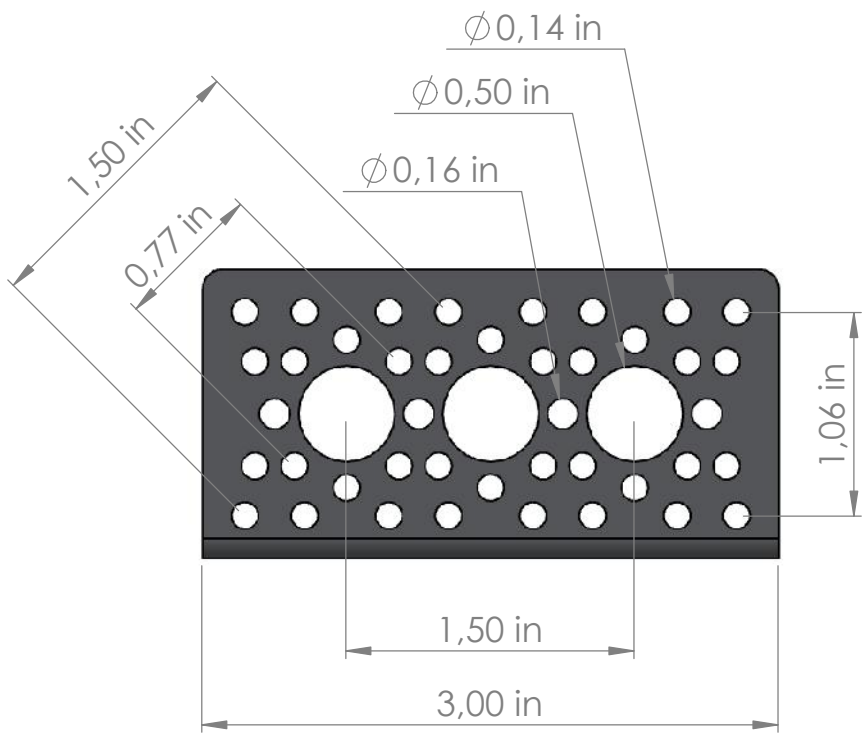
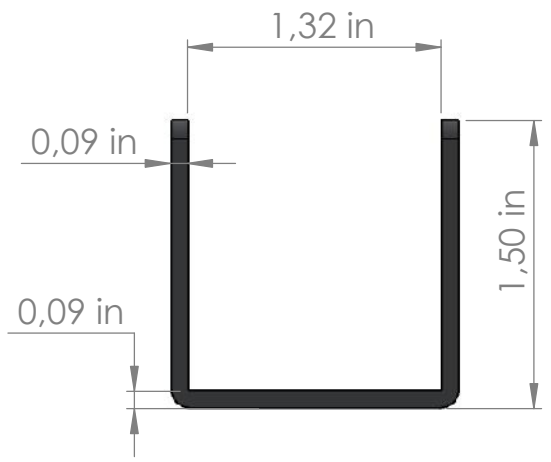
6-32 x 7/16" Socket Head Screw  
(7/16 Hex Drive)



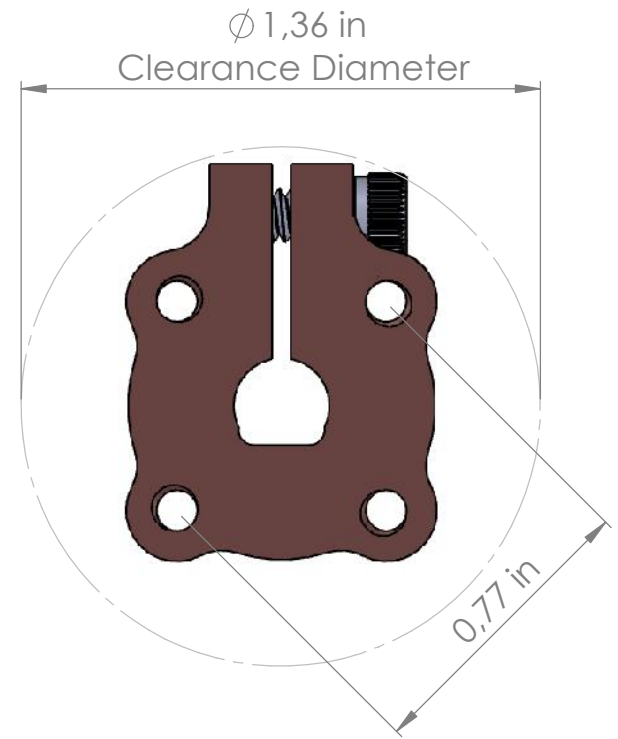
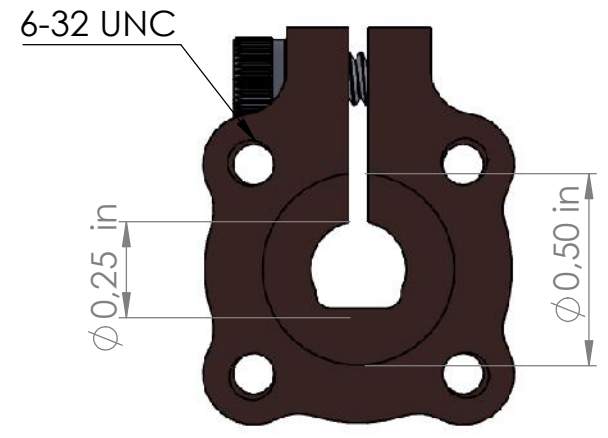
|  |  |                  |  |
|--|--|------------------|--|
| OBSERVACIONES:                           |  | TÍTULO:          |  |
| DIBUJADO POR:                            |  | FECHA:           |  |
| Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar |  | 20-01-2019       |  |
| REVISADO POR:                            |  | FECHA:           |  |
| Ing Eloy Moncayo Triviño                 |  | 20-01-2019       |  |
| <b>ESPOL - FIMCP</b>                     |  | N.º DE DIBUJO: 5 |  |
| ESCALA:                                  |  | HOJA 5 DE 12     |  |
|  |  | A4               |  |

# SOPORTE MOTORIZADO PAN/TILT

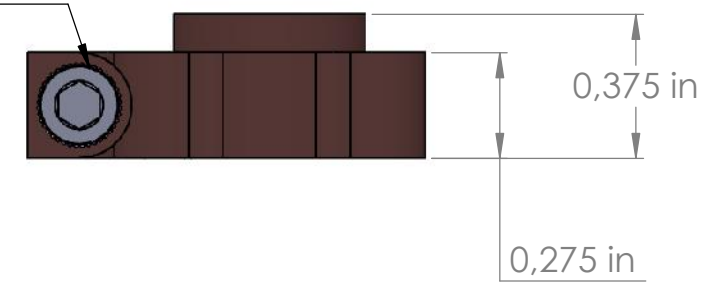
8



7



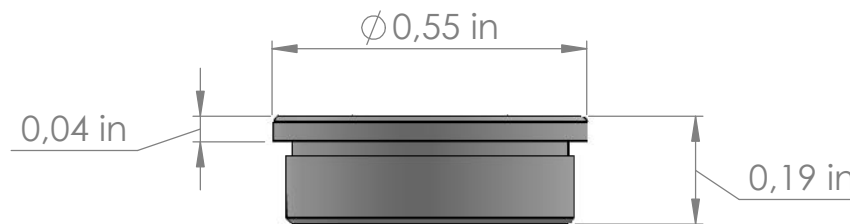
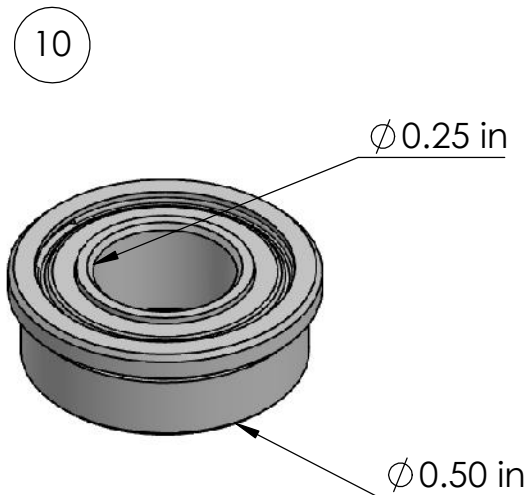
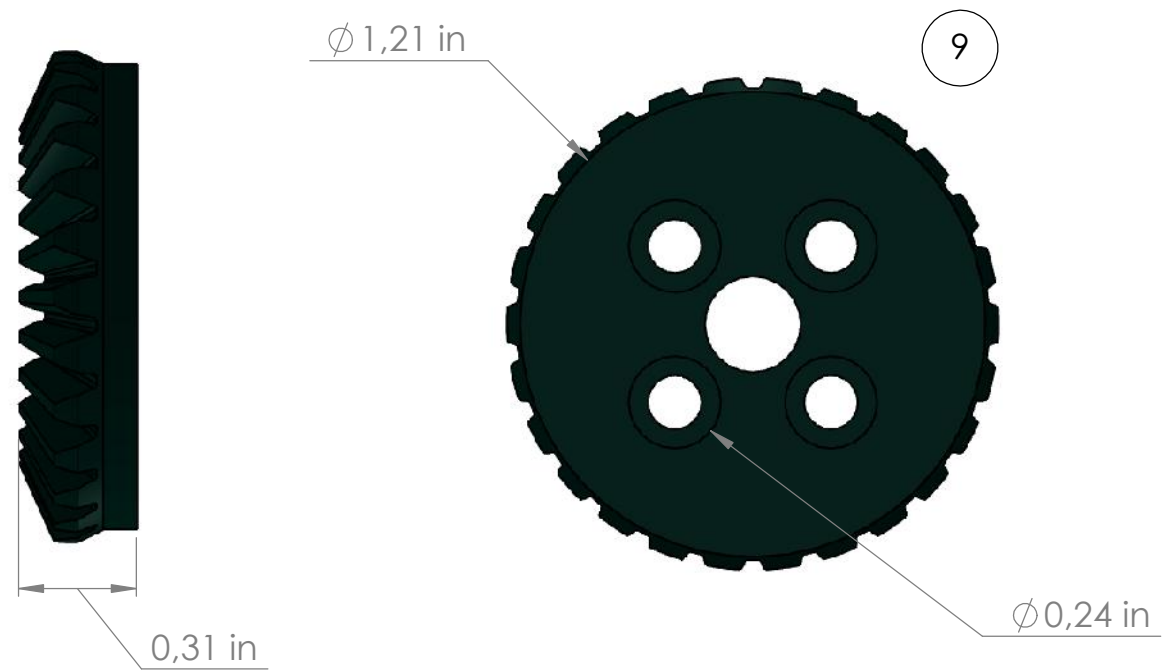
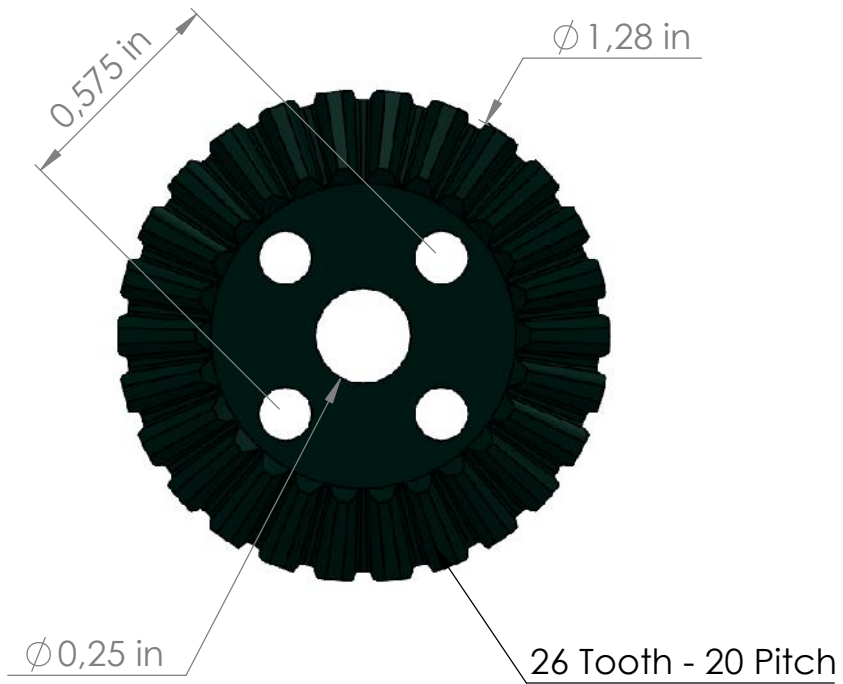
6-32 x 0.375" Socket Head Screw (7/64 Hex Drive)



|   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| OBSERVACIONES:  |                          | TÍTULO:<br><br><b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |
| DIBUJADO POR:<br><br>Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | FECHA:<br><br>20-01-2019 |   |
| REVISADO POR:<br><br>Ing Eloy Moncayo Triviño                 | FECHA:<br><br>20-01-2019 |   |
| N.º DE DIBUJO: 6  |                          |   |

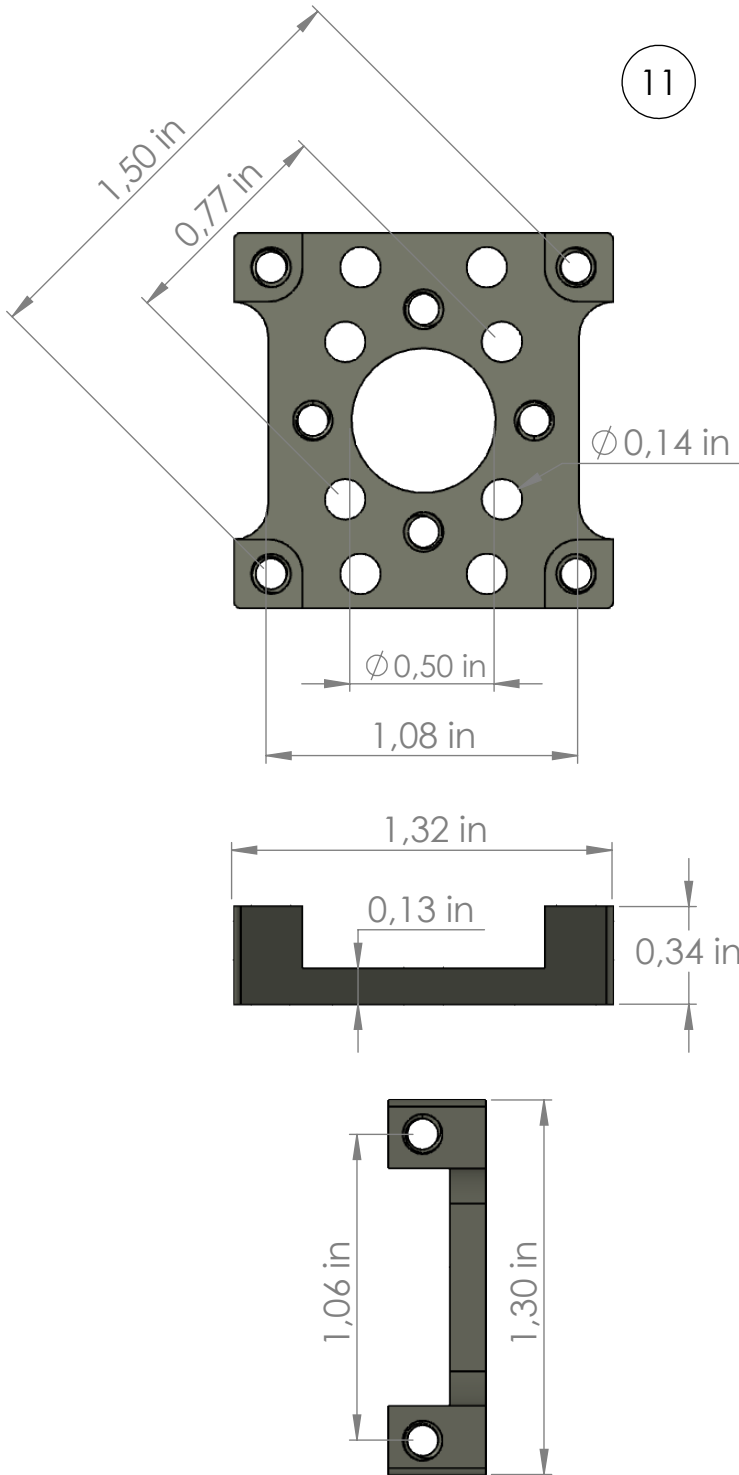
ESPOL - FIMCP



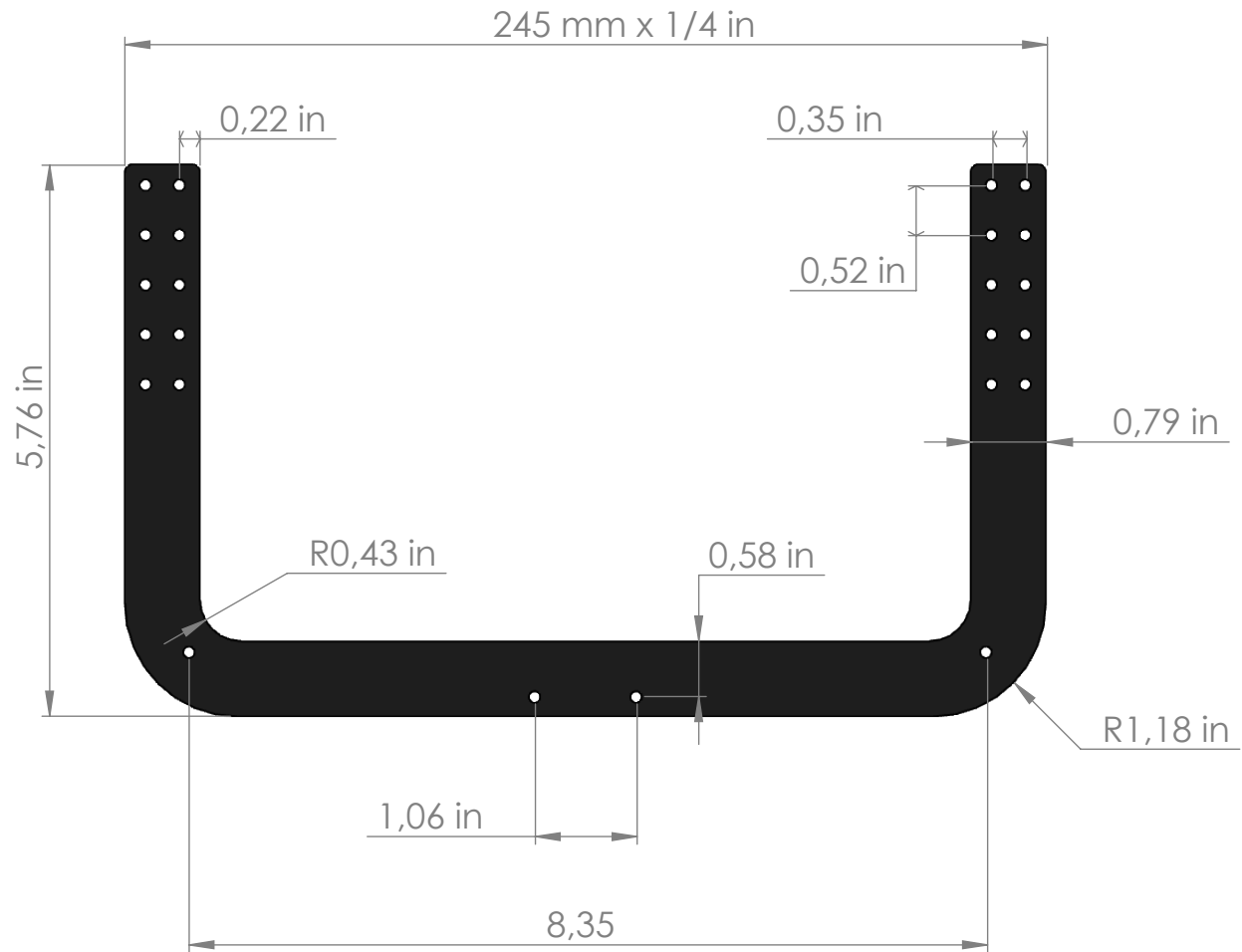


|   |  |                      |  |
|---|--|----------------------|--|
| OBSERVACIONES:  |  | TÍTULO:              |  |
| DIBUJADO POR:<br>Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar |  | FECHA:<br>20-01-2019 | <b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b>             |
| REVISADO POR:<br>Ing Eloy Moncayo Triviño                 |  | FECHA:<br>20-01-2019 |  |
| <b>ESPOL - FIMCP</b>                                      |  |                      | N.º DE DIBUJO: 7                                   |
| ESCALA:   |  |                      | HOJA 7 DE 12 <span style="float: right;">A4</span> |

11



12



|   |                      |   |
|---|----------------------|---|
| OBSERVACIONES:  |                      | TÍTULO:<br><br><b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |
| DIBUJADO POR:<br><br>Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | FECHA:<br>20-01-2019 |   |
| REVISADO POR:<br><br>Ing Eloy Moncayo Triviño                 | FECHA:<br>20-01-2019 |   |
| N.º DE DIBUJO: 8  |                      |   |

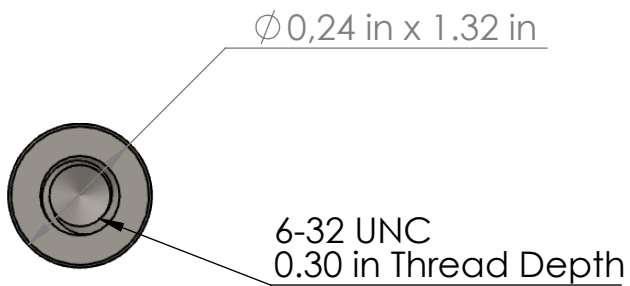
**ESPOL - FIMCP**

ESCALA:

HOJA 8 DE 12

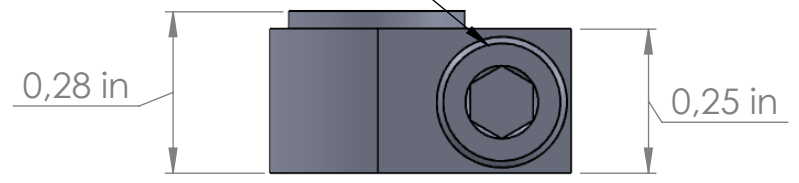
A4

13

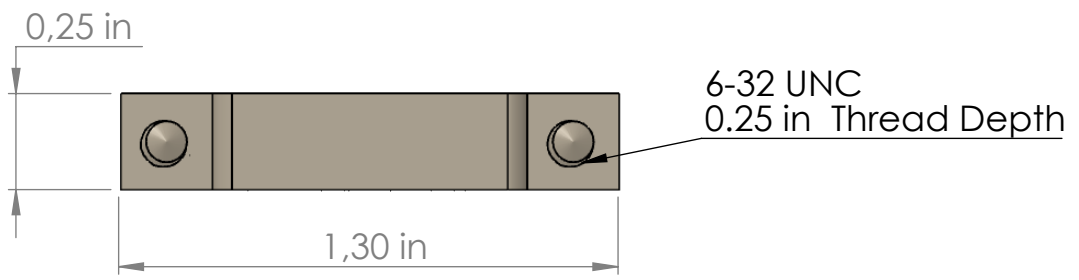
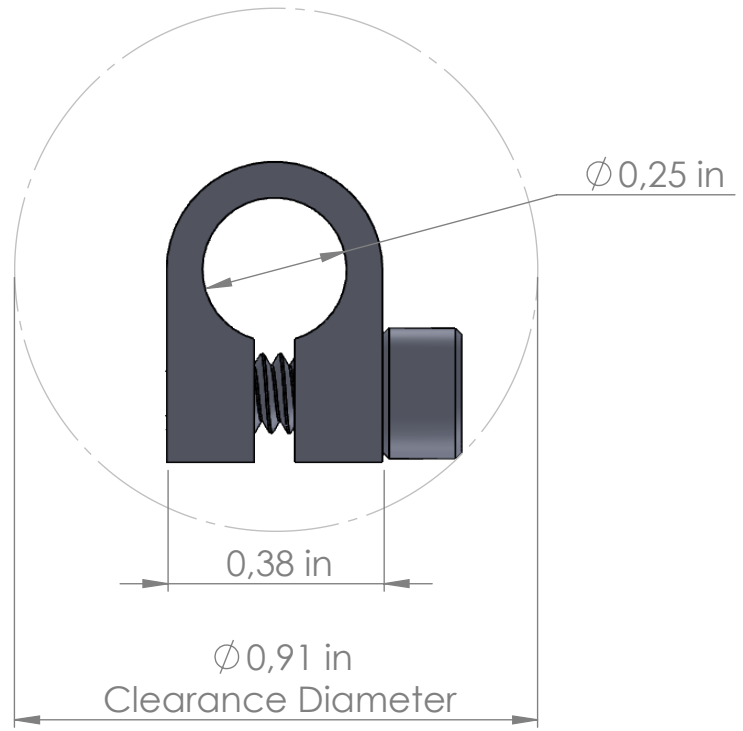
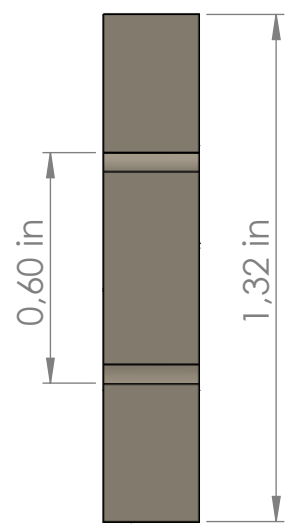
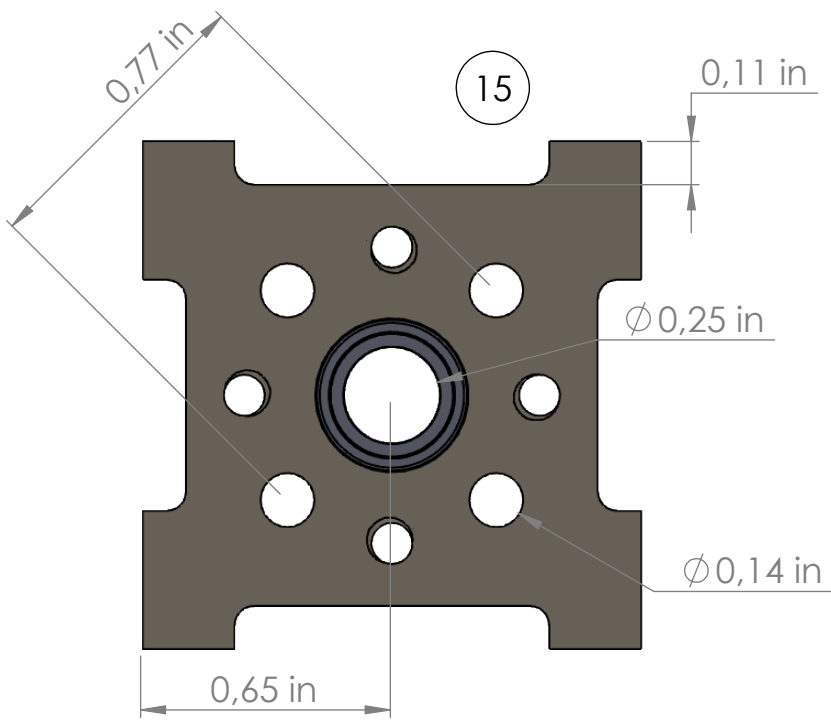


6-32 X 3/8" Socket Head Screw  
7/64" Hex Drive

14



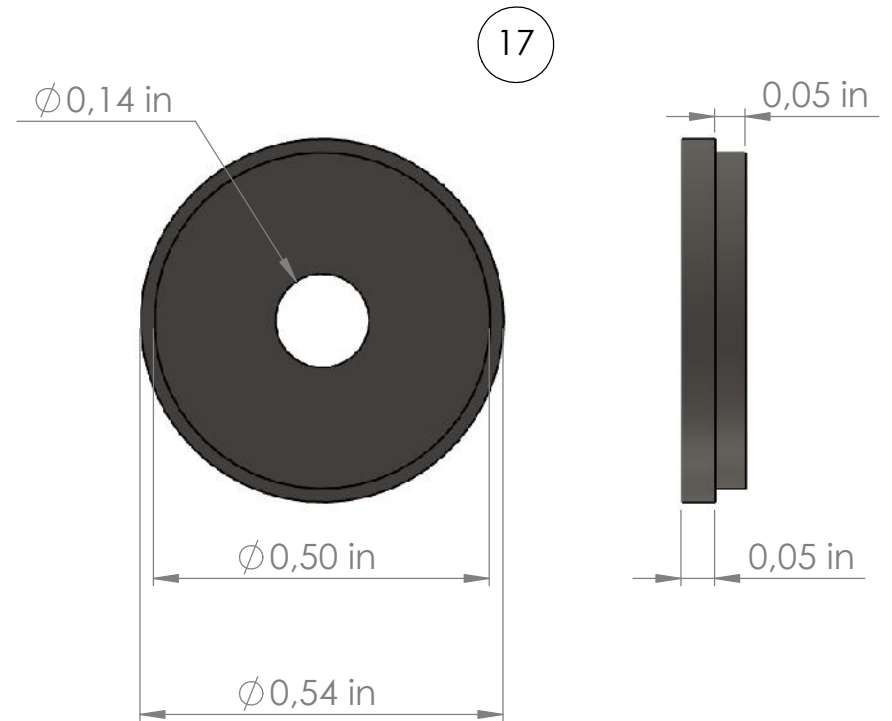
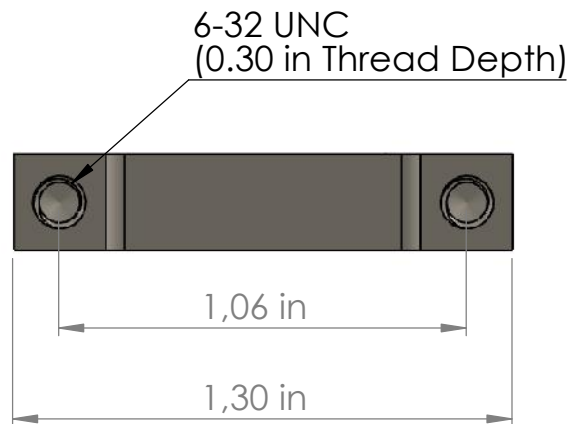
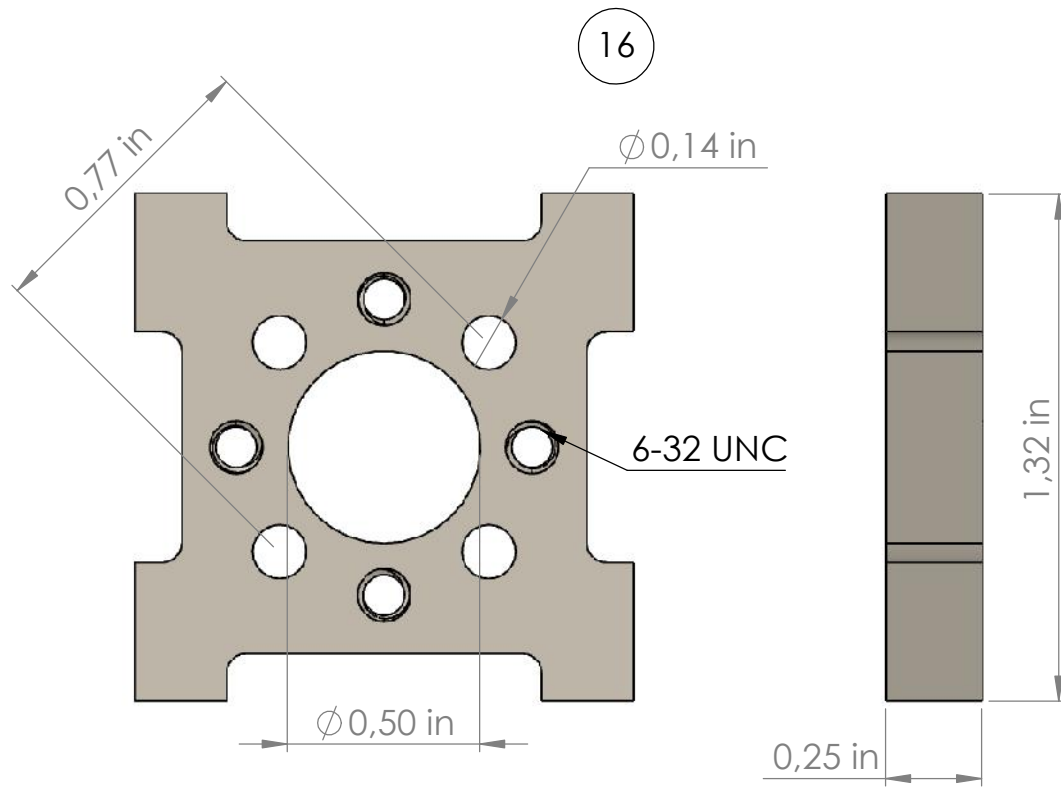
15



|   |                      |
|---|----------------------|
| OBSERVACIONES:  |                      |
| DIBUJADO POR:<br>Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | FECHA:<br>20-01-2019 |
| REVISADO POR:<br>Ing Eloy Moncayo Triviño                 | FECHA:<br>20-01-2019 |

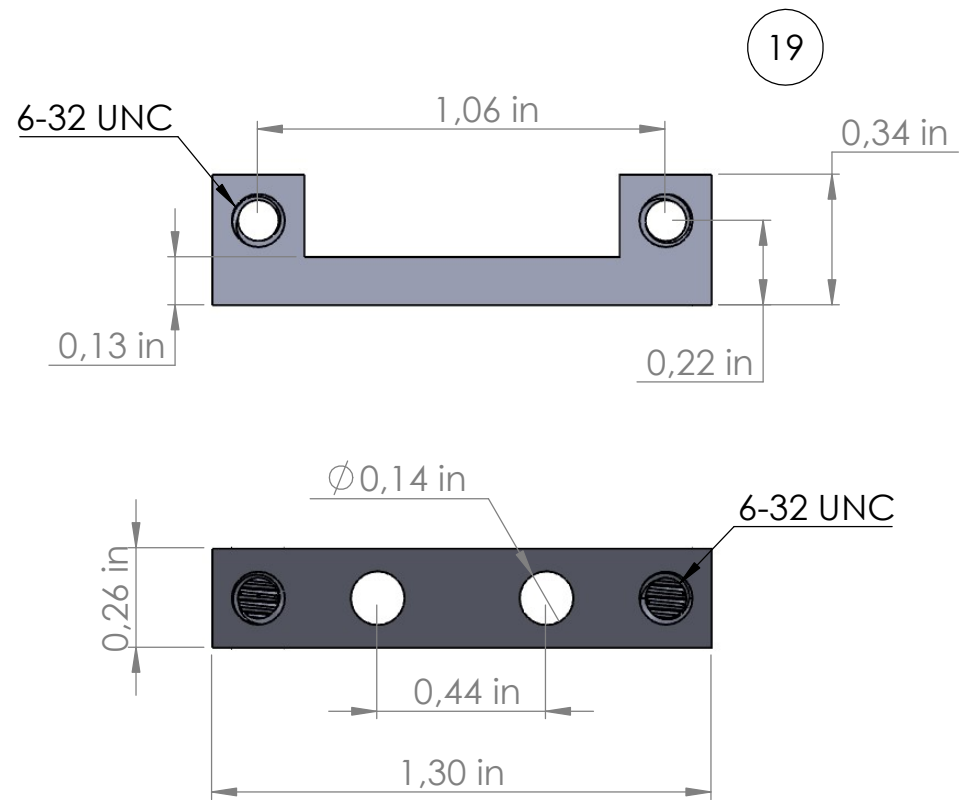
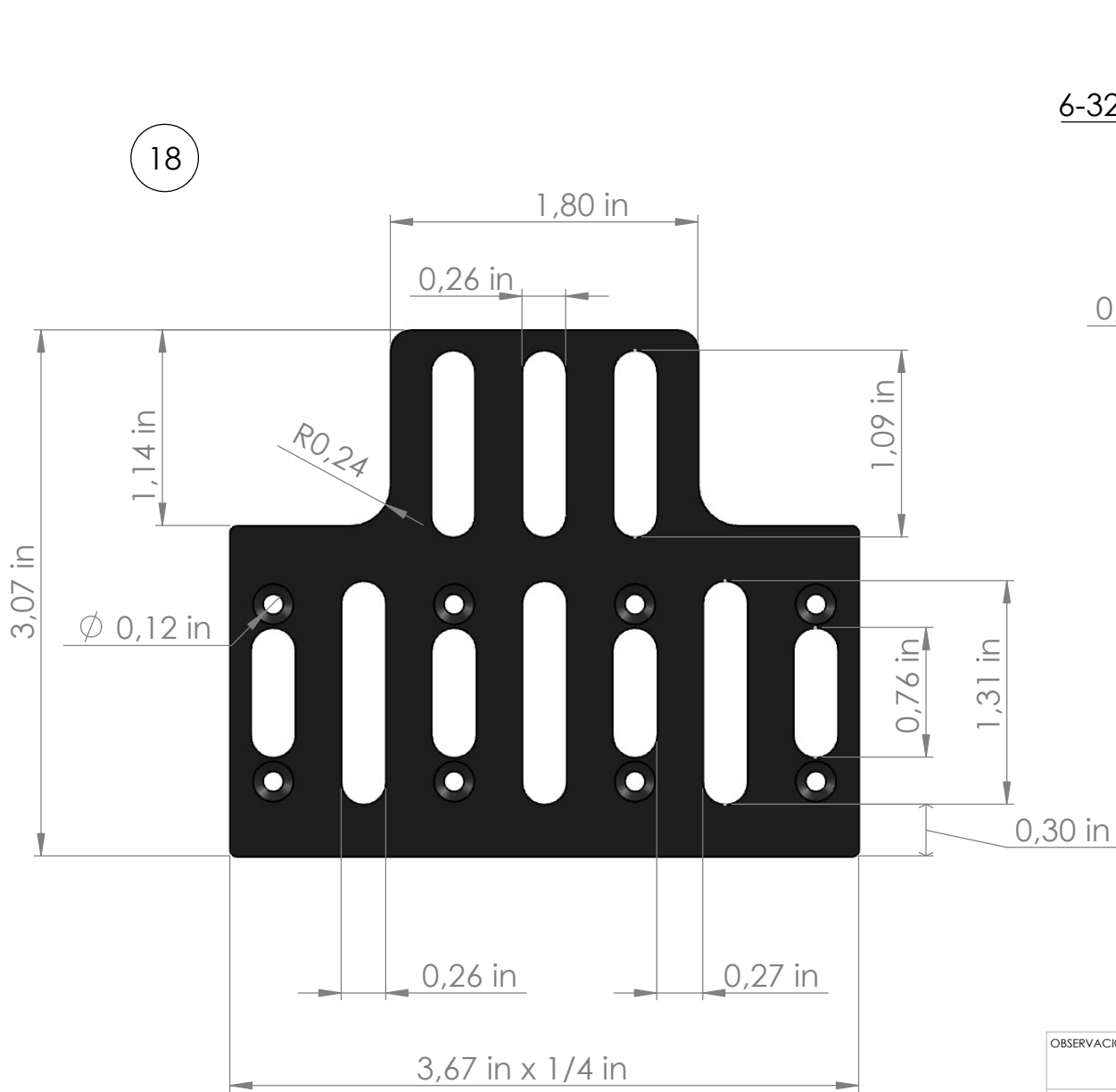
|   |
|---|
| TÍTULO:<br><b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |
| N.º DE DIBUJO: 9                                  |

**ESPOL - FIMCP**

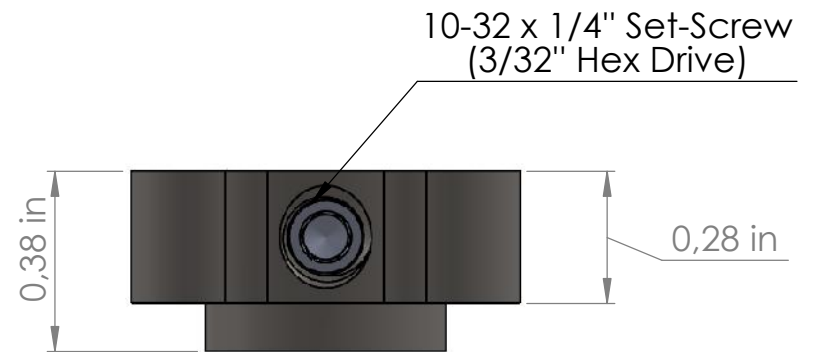
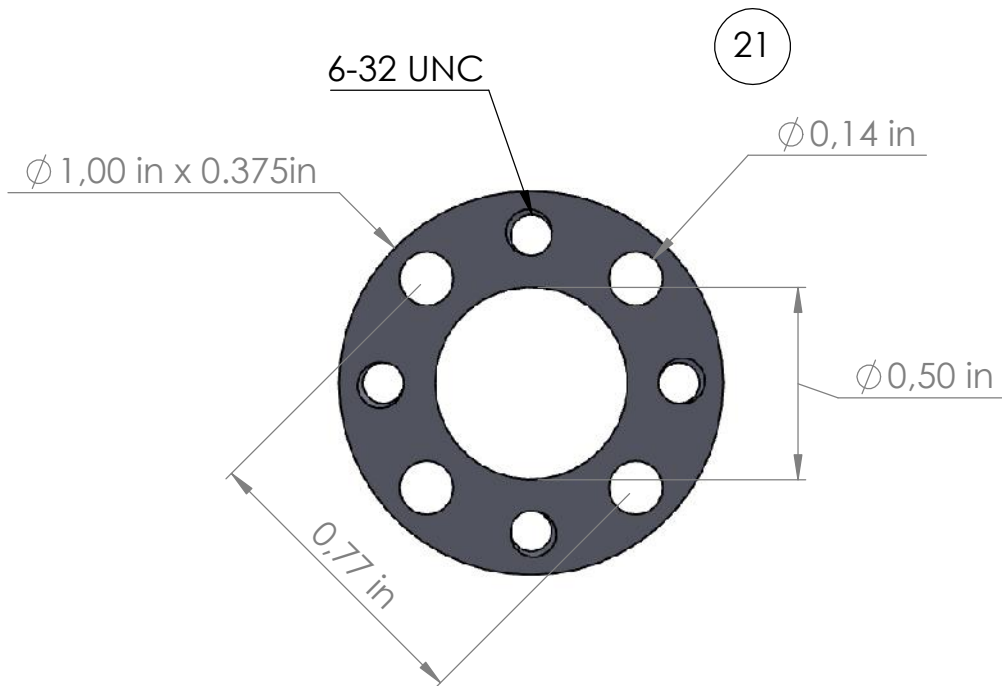
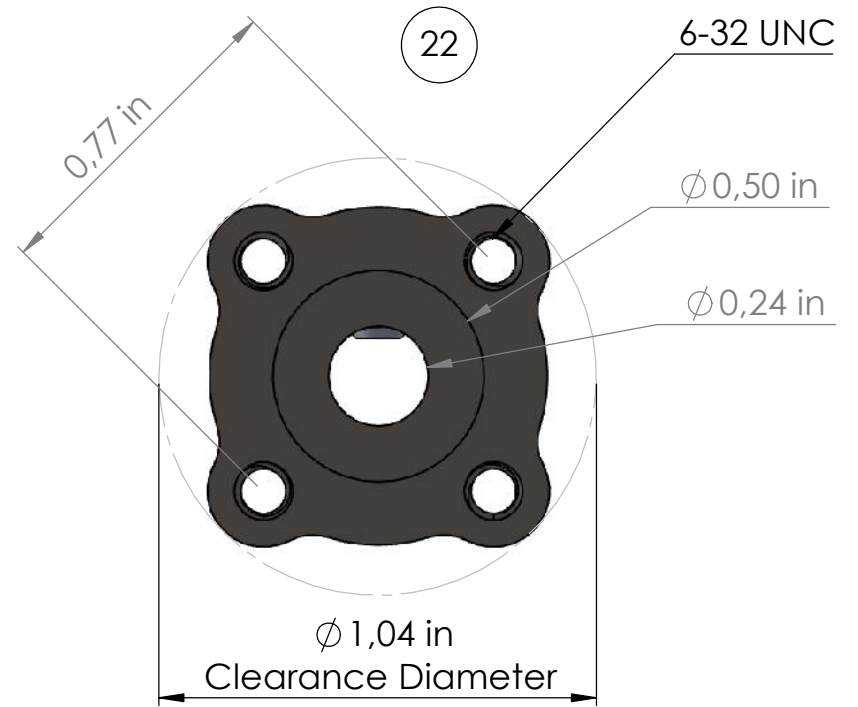
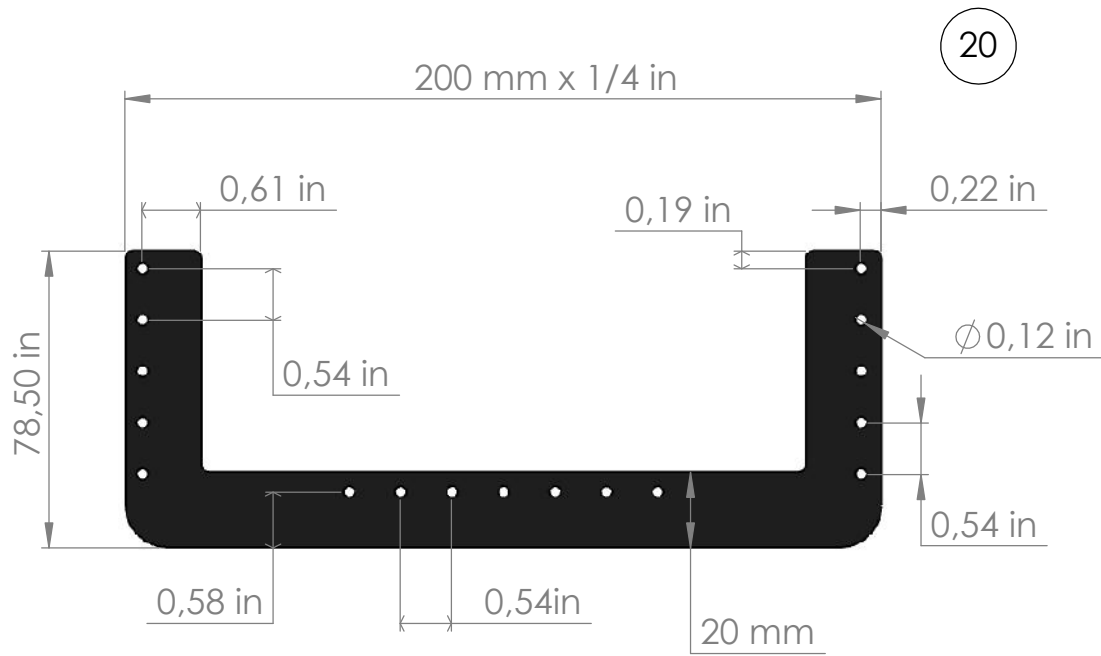


|  |  |                   |  |
|--|--|-------------------|--|
| OBSERVACIONES:                           |  | TÍTULO:           |  |
| DIBUJADO POR:                            |  | FECHA:            |  |
| Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar |  | 20-01-2019        |  |
| REVISADO POR:                            |  | FECHA:            |  |
| Ing Eloy Moncayo Triviño                 |  | 20-01-2019        |  |
| <b>ESPOL - FIMCIP</b>                    |  | N.º DE DIBUJO: 10 |  |
| ESCALA:                                  |  | HOJA 10 DE 12     |  |
|  |  | A4                |  |

# SOPORTE MOTORIZADO PAN/TILT



|   |  |                      |  |
|---|--|----------------------|--|
| OBSERVACIONES:  |  | TÍTULO:              |  |
| DIBUJADO POR:<br>Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar |  | FECHA:<br>20-01-2019 | <b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |
| REVISADO POR:<br>Ing Eloy Moncayo Triviño                 |  | FECHA:<br>20-01-2019 |  |
| <b>ESPOL - FIMCP</b>                                      |  | N.º DE DIBUJO: 11    |  |
| ESCALA:   |  | HOJA 11 DE 12        | A4                                     |



|  |            |  |           |
|--|------------|--|-----------|
| OBSERVACIONES:                           |            | TÍTULO:                                |           |
| DIBUJADO POR:                            | FECHA:     | <b>SOPORTE MOTORIZADO<br/>PAN/TILT</b> |           |
| Kevin Vera Gomez<br>Luis Heredia Aguilar | 20-01-2019 |  |           |
| REVISADO POR:                            | FECHA:     |  |           |
| Ing Eloy Moncayo Triviño                 | 20-01-2019 | N.º DE DIBUJO                          | ESCALA:   |
| <b>ESPOL - FIMCP</b>                     |            | HOJA 12 DE 12                          | <b>A4</b> |