

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TRABAJO DE GRADO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA CON DOS
GRADOS DE LIBERTAD”

AUTOR:

DIEGO ANDRÉS FARINANGO ENRÍQUEZ

DIRECTOR:

ING. IVÁN IGLESIAS

IBARRA, 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

La Universidad Técnica del Norte dentro del Proyecto Repositorio Digital Institucional determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual se pone a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR	
CEDULA DE IDENTIDAD	040150396-6
APELLIDOS Y NOMBRES	Farinango Enríquez Diego Andrés
DIRECCIÓN	Av. Calderón y Bolivia
E-MAIL	dafe_fari@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL	0991958117
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	DESGLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA CON DOS GRADOS DE LIBERTAD
AUTOR	Farinango Enríquez Diego Andrés
FECHA	18/ 09/ 2017
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR	MSc. Ing. Iván Iglesias Navarro

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Diego Andrés Farinango Enríquez con cédula de identidad Nro. 040150396-6, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra,

.....
Farinango Enríquez Diego Andrés

C.I.: 040150396-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Farinango Enríquez Diego Andrés con cédula de identidad Nro. 040150396-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículos 4, 5,6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA CON DOS GRADOS DE LIBERTAD, que ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....

Farinango Enríquez Diego Andrés

C.I.: 040150396-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICO

Que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica con el tema: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA CON DOS GRADOS DE LIBERTAD, ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por el Sr. Farinango Enríquez Diego Andrés, con cédula de identidad: 040150396-6, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.

.....
MSc. Ing. Iván Iglesias Navarro
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme tener sueños muy en alto, a la Universidad Técnica del Norte por ser la gran casona donde he adquirido las bases y conocimientos para formarme académicamente, como líder de la sociedad y futuro emprendedor.

A mis padres por ser el sustento y brindarme un apoyo emocional cada día, para ser mejor persona y darme la oportunidad de ser un profesional competente, a mis hermanos y amigos por ser parte de este proceso para cumplir una meta en mi vida; el ser un profesional de éxito y calidez humana.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres quienes fueron los que me acompañaron durante este proceso universitario para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ellos estuvieron apoyándome en todos los aspectos; tanto, moral, económico y psicológico.

A mis hermanos y a mi familia en general por el apoyo que me han brindado en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

Resumen

La construcción de un deslizador automático para cinematografía con dos grados de libertad, el cual permite realizar una técnica llamada *time-lapse*, muy popular en la cinematografía y fotografía para mostrar diferentes motivos o sucesos que por lo general suceden a velocidades muy lentas e imperceptibles al ojo humano. Este deslizador automático permite tener dos movimientos, traslación y rotación, a través de motores paso a paso, que se manejan mediante una pantalla táctil, en la que se visualiza un menú con cuatro opciones de movimiento, y respectivamente las variables a ser controladas: velocidad y distancia.

Algunos deslizadores actuales, tienen sus propios controladores costosos a las marcas de cada cámara, razón por la cual se quiere dar como solución proponiendo un deslizador automático cumpliendo la función de estos controladores. El aporte de esta investigación servirá como referencia en futuras innovaciones en la utilización de deslizadores automáticos; posibilitando la implementación del diseño de un deslizador automático sustentable para la producción cinematográfica.

Abstract

The construction of an automatic slider for cinematography with two degrees of freedom, which allows to make a technique called time-lapse, very popular in cinematography and photography to show different motives or events that usually happen to Very slow and imperceptible velocities to the human eye. This automatic slider allows to have two movements, translation and rotation, through stepper motors, which are handled by means of a touch screen, which displays a menu with four motion options, and respectively the variables to be controlled: speed and distance.

Some current sliders, have their own expensive controllers to the brands of each camera, which is why you want to give as a solution by proposing an automatic slider fulfilling the function of these controllers. The contribution of this research will serve as a reference in future innovations in the use of automatic slides; Enabling the implementation of the design of a sustainable automatic slider for film production.

Índice de contenido

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	I
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	III
CONSTANCIAS.....	IV
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	V
CERTIFICO	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA	VIII
Resumen.....	IX
Abstract	X
Índice de contenido	XI
Índice de tablas.....	XVII
Índice de figuras.....	XVIII
Índice de ecuaciones	XX
Introducción	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos.....	1

Alcance.....	2
Justificación.....	2
Antecedentes	3
Capítulo I. Marco teórico	5
1.1 Tipo de <i>time-lapse</i>	5
1.2 Tipo de deslizadores	6
1.2.1 Deslizador manual	7
1.2.2 Deslizador eléctrico	7
1.2.3 Deslizador automático	8
1.3 Características de los deslizadores para cinematografía.....	8
1.3.1 Tipo de deslizador	8
1.3.1.1 Sistema mecánico del deslizador.....	9
1.3.1.2 Sistema electrónico del deslizador	12
1.3.1.3 Sistema de control del deslizador	14
1.4 Equipo para realizar un <i>time-lapse</i>	17
1.5 Materiales para el sistema mecánico	20
1.5.1 Aleaciones de aluminio	21
1.5.2 Fibra de carbono	22
1.5.3 Aceros al carbono	23
1.6 Motores para el deslizamiento.....	24

1.6.1	Motores de corriente continua	24
1.6.2	Motores paso a paso	25
1.6.3	Servomotores	26
1.7	Tarjeta microcontroladora	28
1.7.1	Arduino Mega 2560.....	29
1.8	Conclusiones parciales	30
Capítulo 2. Construcción del mecanismo.....		31
2.1	Análisis cinemático y estructural del deslizador automático.....	31
2.1.1	Estudio de fuerzas axiales en el eje	31
2.1.2	Cálculo de las reacciones en el sistema mecánico.....	32
2.1.3	Cálculo de la deformación elástica en el eje del deslizador	34
2.2	Selección del material para la estructura de soporte y sujeción	36
2.2.1	Acero normalizado AISI 4340.....	36
2.2.2	Duraluminio - Prodax	37
2.3	Selección del mecanismo adecuado para el deslizador automático	39
2.3.1	Cálculos del rodamiento para el mecanismo	39
2.3.1.1	Factor de contacto.....	40
2.3.1.2	Factor de recirculaciones	40
2.3.1.3	Cálculo del factor estático as.....	41
2.3.1.4	Cálculo de la vida útil del rodamiento.....	42

2.3.1.4.1	Factor de probabilidad de rotura.....	43
2.3.1.4.2	Factor de dureza.....	43
2.3.1.4.3	Factor de temperatura	44
2.3.1.4.4	Factor de carga.....	45
2.3.1.4.5	Fórmula de la vida útil del rodamiento sobre el recorrido en km.....	46
2.3.2	Lubricación del rodamiento.....	47
2.3.3	Fuerza de fricción	47
Capítulo 3. Diseño de la tarjeta del sistema de alimentación.....		49
3.1	Tarjeta de control Arduino Mega 2560 R3.....	49
3.1.1	Características de la tarjeta de control.....	49
3.2	Controlador A4988 para motores paso.....	50
3.2.1	Configuración de micro pasos	50
3.2.2	Límite de corriente.....	52
3.2.3	Configuración del voltaje de referencia.....	53
3.2.4	Esquema de conexión del controlador A4988.....	54
3.3	Motores paso a paso	54
3.3.1	Motor paso a paso de 9 kg-cm (125 oz-in) NEMA 23	55
3.3.2	Motor paso a paso de 5 kg-cm (69 oz-in) NEMA 23	55
3.4	Pantalla TFT Touch Shield V2.....	56
3.4.1	Características de la pantalla TFT Touch	56

3.4.2	Librerías para pantalla táctil	57
3.5	Fuente de alimentación directa y recargable DC.....	57
3.5.1	Cargador de corriente directa AC-DC.....	58
3.5.2	Batería recargable Floureon Lipo.....	58
3.5.2.1	Observaciones de la batería LiPo.....	59
3.5.3	GoolRC B6 Mini cargador / descargador de balance profesional.....	59
3.6	Diagrama de conexiones del sistema de control y electrónico.....	60
3.7	Diagrama de bloques del sistema de control	61
Capítulo 4. Pruebas, conclusiones y recomendaciones.....		63
4.1	Pruebas, análisis y resultados	63
4.1.1	Pruebas.....	63
4.1.2	Análisis y resultados.....	63
4.2	Conclusiones.....	65
4.3	Recomendaciones.....	65
Bibliografía		66
Anexo 1		69
Anexo 2		70
Anexo 3		72
Anexo 4		75
Anexo 5		76

Anexo 6	77
Anexo 7	78
Anexo 8	79
Anexo 9	80
Anexo 10	81
Anexo 11	83
Anexo 12	86
Planos	87

Índice de tablas

Tabla 1. 1 Comparación de sistema guiado lienal.....	11
Tabla 1. 2 Sistema eléctrico del mecanismo.....	13
Tabla 1. 3 Sistema de control del deslizador.....	16
Tabla 1. 4 Características principales de los materiales.....	23
Tabla 1. 5 Características de motores para el deslizador	27
Tabla 2. 1 Propiedades mecánicas AISI 4340.....	37
Tabla 2. 2 Propiedades mecánicas Duraluminio.....	38
Tabla 2. 3 Factor de contacto	40
Tabla 2. 4 Factor de probabilidad de rotura	43
Tabla 2. 5 Factor de carga.....	45
Tabla 3.1 Configuración de pines Bajo/Alto de micro pasos.....	51
Tabla 4.1 Características principales de los deslizadores.....	64

Índice de figuras

Figura 1. 1 SLIDER MODULA 3 IN 1.....	9
Figura 1. 2 SLD-31	10
Figura 1. 3 Revo Camera Track Slider.....	10
Figura 1. 4 Carril motorizado para fotografía y video	12
Figura 1.5 mSlider.....	12
Figura 1. 6 MP01.....	14
Figura 1. 7 Rhino Motion.....	15
Figura 1. 8 Autpan.....	16
Figura 1. 9 OS 7D DSLR Camera.....	17
Figura 1. 10 Trípode Shutter Release Remote Control for Canon.....	17
Figura 1. 11 Trípode Sony VCT R100.....	18
Figura 1. 12 Batería Canon LP-E6.....	18
Figura 1. 13 Slider Plus Pro	19
Figura 1. 14 CN-E30-105mm T2.8 L SP.....	19
Figura 1. 15 Tripod Ball Head	19
Figura 1. 16 Camera Field Monitor.....	20
Figura 1. 17 Motor CD de dos polos con bobinas de campo	25
Figura 1. 18 Motor de reluctancia variable.....	25
Figura 1. 19 Componentes de un servomotor.....	26
Figura 1. 20 Arduino MEGA 2560 R3.....	29
Figura 2. 1 Diagrama de cuerpo libre del eje.....	32
Figura 2. 2 Factor de layout recirculaciones	41

Figura 2. 3 Factura de dureza.....	44
Figura 2. 4 Factor de temperatura	45
Figura 3. 1 Controlador A4988	50
Figura 3. 2 Esquema de pines para microstep.....	51
Figura 3. 3 Resistencia R_CS en el controlador A4988.....	52
Figura 3. 4 Tornillo de ajuste de VREF en el drive A4988	53
Figura 3. 5 Esquema de conexión de A4988.....	54
Figura 3. 6 Stepper Motor: Unipolar/Bipolar 9 kg-cm	55
Figura 3. 7 Stepper Motor: Unipolar/Bipolar 5 kg-cm	56
Figura 3. 8 2.8” TFT Touch Shield V2	56
Figura 3. 9 Adaptador SKYRC	58
Figura 3. 10 Batería Lipo 3S 30C 11.1V 4500mmAh	59
Figura 3. 11 GoolRC B6 Mini Professional Balance Charger/Discharger	60
Figura 3. 12 Esquema de conexión del sistema electrónico.....	61
Figura 3. 14 Diagrama de bloques del control.....	62

Índice de ecuaciones

Ecuación 2. 1 Condición de vigas en voladizo	31
Ecuación 2. 2 Deformación máxima en el centro de la viga.....	34
Ecuación 2. 3 Coeficiente de seguridad estático.....	39
Ecuación 2. 4 Vida útil nominal en km.....	42
Ecuación 2. 5 Fuerza de fricción.....	47
Ecuación 3.1 Corriente máxima del motor.....	52

Introducción

Reconociendo que la tecnología es de gran ayuda, en la actualidad *time-lapse*¹, es una técnica fotográfica muy popular usada en cinematografía y fotografía para mostrar diferentes motivos o sucesos que por lo general suceden a velocidades muy lentas e imperceptibles al ojo humano.

Actualmente la cinematografía ecuatoriana tiene una carencia de precisión y exactitud, que influye en la veracidad y control de la imagen antes de su edición para cortos y largometrajes de calidad. La falta de un deslizador automático debido al costo elevado que tienen los controladores de movimiento da como resultado un *time-lapse* de baja calidad audiovisual generando inexistencia de precisión y exactitud en la producción cinematográfica.

El *time-lapse* al ser realizado con el deslizador automático creará una narrativa específica con ritmos de edición dinámicos para obtener una perspectiva audiovisual de mejor calidad siendo un estatus de producción única.

Objetivo general

Construir un deslizador automático de cinematografía permitiendo su fácil transporte y manejo para la producción de cortos y largometrajes de calidad.

Objetivos específicos

- Determinar las características mecánicas, eléctricas, electrónicas y de control del deslizador automático.
- Diseñar el sistema de soporte y sujeción del deslizador automático para el deslizamiento horizontal y rotacional.

¹ *Time-lapse es una técnica que consiste en realizar un vídeo con fotografías de gran calidad unidas con una cadencia de 25 tomas por segundo.*

- Diseñar el sistema de alimentación para la tarjeta microcontroladora y elementos del deslizador.
- Construir el deslizador automático.
- Validar el dispositivo en su funcionamiento

Alcance

Este deslizador automático será utilizado para aplicar la técnica *time-lapse* en los cortos y largometrajes, teniendo una estructura versátil y resistente al traslado a lugares donde se realizará el trabajo respectivo.

El tipo de cámara y equipo cinematográfico que soportará el deslizador automático tiene un peso máximo de 8 kg, así mismo, tendrá un control de dos grados de libertad, el primero será el desplazamiento de 697mm y el segundo será la rotación de la cámara de 360°. Estos movimientos son totalmente independientes y a la vez pueden ser sincronizados siendo estos autónomos y programables para obtener un mejor resultado de la imagen respectiva.

La fuente de energía será de corriente directa y a su vez recargable para tener mayor facilidad de transporte y mayor labor en filmación.

Justificación

El cine ecuatoriano ha dado un gran salto a la vanguardia de tener mayores conocimientos respecto a la producción cinematográfica y fotográfica, teniendo que recurrir a un sistema automático que será de gran ayuda para realizar *time-lapse*.

La construcción de este prototipo ayudará al desarrollo tecnológico cinematográfico ecuatoriano y cumplirá la misión de obtener un mejor trabajo en su calidad de imagen fotográfica y videos, utilizando la técnica *time-lapse*.

El aporte de esta investigación servirá como referencia en futuras innovaciones en la utilización de deslizadores automáticos; posibilitando la implementación del diseño de un deslizador automático sustentable para la producción cinematográfica.

Antecedentes

Time-lapse es una técnica tan antigua como el cine, aunque en el siglo pasado pocos tenían medios para ejecutarla. El cineasta Hilary Harris de la ciudad de Nueva York, impacto más de 15 años (1959-1974) durante el cual fue pionero en técnicas de elaboración de películas de lapsos de tiempo para lograr una visión única de la experiencia del mundo en que vivimos. Hilary Harris es uno de los pocos cineastas muy interesantes en el país, con aguda y penetrante percepción visual, una búsqueda de la comprensión del complejo mundo que nos rodea y una rara combinación de ideas con cualidades necesarias para hacer grandes películas (budytv, 2006).

En España Luis Caldevilla, el autor del trabajo de las nubes de Movistar. Empezó, en agosto de 2007, haciendo un seguimiento de la construcción de las Torres de Madrid, creó luego su propia página para rastrear los mejores trabajos en el mundo y, entusiasmado, decidió enfocar su carrera profesional a esta forma de contar historias (Alonso & Lowe, 2012). La captación de imágenes mediante el uso de cámaras fotográficas para la creación de vídeos *time-lapse* aporta una serie de ventajas respecto a los sistemas tradicionales de grabación en vídeo. Algunas de estas ventajas son: mayor autonomía, trabajar con cámaras fotográficas permite una mayor libertad de movimiento y autonomía a la hora de captar imágenes (Caldevilla, Luis-; Rodríguez, Luciano; Sanmartín, Alberto, 2014).

La historia moderna de los vídeos *time-lapse* empieza hacia 2008, con los trabajos de Tom Lowe, un americano al que los aficionados consideran el máximo representante mundial de la especialidad. Lowe subió sus vídeos a Vimeo, creó esta web y empezó a difundir (Alonso & Lowe,

2012). Se ha visto algunos inventos diseñados por él para hacer *time-lapse* pero requiere de mucho dinero y tiempo para poder fabricarlos y de hecho algunos son muy rústicos y pesados. Ciertos dispositivos tienen un elevado costo para alquilar y sobre todo adquirir (Torres, 2009).

Durante los últimos tres años, se ha investigado y experimentado profundamente en la técnica de la fotografía *time-lapse*. Gracias a la tecnología actual y su accesible precio, se requiere de un trípode para la sujeción de la cámara, sean ligeros y de carbono (mSlider, 2015). El más ligero temblor o balanceo entre tomas debido al viento puede resultar un vídeo totalmente desestabilizado (Pab12).

La empresa Edelkrone, en la investigación “en el campo de la cámara DSLR (sistema digital réflex de un solo lente)”, lanza el diseño de un dispositivo deslizador automático (*slider*) el cual proporciona fijación a la cámara y movilidad para poder obtener fotografías con mayor exactitud y precisión de fotos para obtener un *time-lapse* a la visión del ojo humano (edelkrone, 2014).

El valor de este deslizador automático que ofrece la empresa Edelkrone (Torres, 2009) es de alto costo, razón por la cual se propone realizar un deslizador autónomo y programable, para el control del motor y la posición del carro a través de los sensores, cumpliendo la necesidad de precisión, exactitud y control de velocidad del motor, omitiendo los controladores propios que tienen este deslizador para las cámaras. La otra alternativa son los deslizadores que funcionan con motores eléctricos que no tienen ningún control de velocidad, pero no cumplen la exigencia que se plantea para este dispositivo autónomo – programable (Jos10; Shootools, 2016).

Capítulo I. Marco teórico

La tecnología es de gran ayuda para cualquier área que necesite de una precisión al momento de realizar un movimiento o acción por un mecanismo para obtener un resultado de mejor calidad. La cinematografía años atrás tenía poco desarrollo tecnológico para realizar las diferentes escenas de una cinta o video, es por ello que se ve la necesidad de crear ciertos instrumentos mecánicos o automáticos para mejorar este arte de producción de filmes. Una de las técnicas que ha evolucionado la cinematografía es el *time-lapse*, que consta de un sistema guiado lineal mecánico o automatizado para perfeccionar su aplicación como técnica, denominado deslizador.

Un deslizador automático, es un sistema lineal guiado programable, que está formado por dos partes: un sistema mecánico y un electrónico, que sirve para realizar *time-lapse* con una cámara reflex², permitiendo tener el control de velocidad para el deslizamiento de la base de soporte con la cámara adquiriendo una mejor calidad de las fotografías o videos realizados. El requerimiento de este mecanismo ha hecho que con el tiempo se realicen varios tipos de deslizadores permitiendo un avance de ello para llegar al mejor con tecnología actual y detallando sus características principales.

1.1 Tipo de *time-lapse*

Los *time-lapse*, de acuerdo a la narrativa y percepción al ojo humanos, son los siguientes:

- ***Time-lapse tradicional***, consiste en tomar un cierto número de fotografías durante un tiempo determinado para luego ser editando en programas para video y mirar el tiempo que transcurre el evento lentamente. (Jiménez, Daniel, 2015)

² *Cámara Réflex o DSLR (Digital Single Lens Reflex)*, se les conoce como *Réflex* porque utilizan un sistema de espejos que refleja la imagen del objetivo hacia el visor y cuando se oprime el botón de obturación, el espejo gira y deja pasar la luz hacia el sensor.

- ***Time-slice***, es una técnica donde se toma las fotografías de un objeto en el mismo cuadro u enfoque en el transcurso del tiempo, que luego servirá para ser editada en el programa *Photoshop*³, de preferencia se harán tiras verticales de la gama de colores siendo de preferencia de blanco al negro o escala de grises, dependiendo del editor del *time-slice*.
- ***Hyper-lapse***, en esta técnica el movimiento de la cámara tendrá una perspectiva diferente a los sucesos a ser enfocados para después ser editados y permitir observar a una mayor velocidad con el propósito de mostrar lo más relevante y tener mayor atención a lo más imprescindible al ojo humano (Jiménez, Daniel, 2015).
- ***Flow-motion***, es la combinación del *time-lapse* e *hyper-lapse*, este será de mayor dificultad al realizarlo debido a los sucesos fotografiados que se quieren conjugar a menor y mayor velocidad para darle una mayor perspectiva y atención del tiempo que transcurre cada suceso (Jiménez, Daniel, 2015).

Los diferentes *time-lapse* que se mencionan anteriormente, se desarrollan de acuerdo a la necesidad del cineasta para expresar lo más espontáneo para el corto o largometraje, permitiendo demostrar los detalles menos susceptibles a simple vista con el fin de tener una percepción adecuada de los sucesos o fotogramas

1.2 Tipo de deslizadores

Estos deslizadores son de gran ayuda para los cineastas o directores de producción cinematográfica con el objetivo de tener una mayor precisión y exactitud en el deslizamiento de la cámara en el carro guía, esta tomará una secuencia de fotogramas en cierto tiempo, con el enfoque deseado para luego ser editados y tener un trabajo final de mayor calidad.

³ *Adobe Photoshop, editor de gráficos que se utiliza para crear, editar y retocar imágenes, tanto gráficas como fotografías.*

1.2.1 Deslizador manual

Estos deslizadores son de fácil manejo, debido a que tienen un sistema de guiado lineal totalmente mecánico donde se coloca la cámara en la base del deslizador, este se deslizará por el riel con la fuerza aplicada por el ser humano a través de un vástago o eslabón que se adapta al soporte de la cámara para ser deslizado a lo largo del riel.

Estos deslizadores son de bajo costo que pueden adquirir o construir fácilmente, pero el inconveniente es el control de velocidad que no permite tener un constante deslizamiento del carro con la cámara el deslizador, además la posición del cineasta para poder aplicar la fuerza para mover puede ser cansada y esto haría menos horas de trabajo consecutivas (Gear, Rhino Camera, 2016).

1.2.2 Deslizador eléctrico

La adaptación de un motor eléctrico en este deslizador ayudará al carro guía a tener una velocidad manipulable, que puede ser aumentada o disminuida pero no tendrá un mayor control de la posición del deslizador con una precisión y exactitud.

Las fotografías o video cintas adquieren una mayor calidad al ser realizadas con este deslizador, tendrán diferentes direcciones o posiciones que se puede colocar la cámara adapta a un mecanismo llamado rótula para un encuadre con mejor captación del evento o suceso a trabajar. La posición de la cámara que desee el cineasta llevará cierto tiempo para posicionar y dejar listo, esto proceso será repetitivo y tendrá un mayor tiempo de trabajo para obtener las fotografías deseadas, dando cabida a tener movimientos independientes realizando primero el de deslizamiento y luego el de rotación o viceversa (mSlider, 2015).

1.2.3 Deslizador automático

El control automático en este deslizador tiene como ventaja el tiempo que el cineasta programa para que el motor se deslice, permitiendo así mayor precisión y exactitud en la fluidez del movimiento.

Este deslizador tiene sus propios controladores de movimiento horizontal y rotacional que facilita un mayor trabajo, primero los movimientos son totalmente independientes, es decir, se puede realizar movimiento horizontales y rotacionales, como segundo estos dos movimientos se accionan al mismo tiempo obteniendo un excelente trabajo de fotografía o filmación, para una mayor fluidez dinámica de los eventos o sucesos imperceptibles ojo humano (edelkrone, 2014).

1.3 Características de los deslizadores para cinematografía

En la actualidad los deslizadores poseen diferentes características mecánicas, electrónicas y de control, dependiendo las necesidades de los cinematógrafos y su facilidad de manejo para ser utilizados.

Las necesidades para la cinematografía son similares para cineasta, pero el diseño de construcción es una variante diferente para cada compañía que produce estos deslizadores para facilitar su manejo y obtener variantes o ventajas como puede ser la posición de la cámara, control manual o automático del deslizador, movimiento con precisión y exactitud, sincronización de movimientos, etc. Dentro de estas características podemos encontrar diferentes tipos de deslizadores.

1.3.1 Tipo de deslizador

Las características de los deslizadores son similares con algunos fabricantes, la diferencia entre estos deslizadores son los materiales que se utilizan para la construcción del sistema mecánico y el tipo de mecanismo que sirve para la movilidad del carro con la cámara sobre el riel.

1.3.1.1 Sistema mecánico del deslizador

Para estudio del sistema mecánico del deslizador tomaremos en cuenta tres deslizadores de diferentes empresas que fabrican estos mecanismos para el aporte del desarrollo de la cinematografía.

- **SLIDER MODULA 3 IN 1**, este deslizador de la figura 1.1 tiene un carro universal, que se obtiene a través del proceso CNC de un bloque de aluminio, con un sistema de freno de fricción. Las ruedas especiales son de un innovador ST-66 tecno polímero estudiado por *ShooTools*. Cada rueda se caracteriza por un cojinete de bolas de acero doble, para una fluidez máxima de movimiento. El ancho del riel es de 84 mm, cada deslizando soporta una carga de más de 20 Kg y está listo para ser motorizada o equipado con accesorios. Apto para cualquier tipo de foto o vídeo cabeza con rosca de 3/8 ", cualquier deslizando se podría instalar fácil y rápidamente también sobre trípodes y placas de 1/4" y 3/8". (Shootools, 2016)



Figura 1. 1 SLIDER MODULA 3 IN 1, (Shootools, 2016)

- **SLD-31**, el Ikan Slider 31 de fibra de carbono de la figura 1.2, es un suave deslizador ligero que soporta cámaras de hasta 5,66 Kg y ofrece un total de 660,4 mm de recorrido lineal preciso. La plataforma de la cámara se mueve sobre 4 rodillos que están en sujeción en las varillas de fibra de carbono y la corredera se puede utilizar invertida o vertical como

horizontalmente. Las patas de los estabilizadores pueden girar 360 grados para diferente montaje y las patas de goma pueden adaptarse a nivel. (ikancorp, 2015)



Figura 1. 2 SLD-31, (ikancorp, 2015)

Este deslizador trae un mecanismo con correa dentada y engrane, que se acopla a una polea con manivela para transmitir a través de esto el movimiento al deslizador.

- **Revo Camera Track Slider**, de la figura 1.3 cuenta con una construcción de aluminio, cojinetes carriles de ingeniería de precisión, y la bola que proporcionan un desplazamiento suave y silencioso a través de toda la longitud. Viene con un par de patas desmontables para montaje en suelo o de sobremesa, con pies de goma de altura regulable. Los apoyos se unen por medio de tornillos de mariposa, combinado con un nivel de burbuja integrado de ojo de buey, la corredera es fácil de nivelar, incluso en superficies planas o ligeramente irregulares. (Revo, 2016).



Figura 1. 3 Revo Camera Track Slider, (Revo, 2016)

Tabla 1. 1 Comparación de sistema guiado lineal

<i>Deslizador</i>	<i>Material</i>	<i>Mecanismo</i>	<i>Peso o Carga</i>
SLIDER MODULA 3 IN 1	Aluminio para CNC	Sistema de frenado, con rodamientos de doble bola y una rueda de polímero ST-66, movimiento fluido.	Cada deslizante puede soportar una más de 20 Kg
SLD-31	Fibra de carbono	Plataforma de la cámara se mueve sobre 4 rodillos que están en sujeción en las varillas de fibra de carbono.	El peso que puede soportar es de 5,66 Kg
Revo Camera Track Slider	Aluminio	Cojinetes carriles de ingeniería de precisión, y la bola que proporcionan un desplazamiento suave y silencioso a través de toda la longitud.	El soporte de la carga es de 70 Kg

En esta tabla 1.1 se realiza la comparación de las características mecánicas de los deslizadores y sus diferentes mecanismos con diferentes materiales empleados para su construcción, siendo un aporte para el desarrollo de este deslizador.

1.3.1.2 Sistema electrónico del deslizador

El motor eléctrico en estos deslizados dará una característica de movimiento dinámico con fluidez, pero con una carencia del control de velocidad precisa.

- **Carril motorizado para fotografía y vídeo**, en esta figura 1.4 el deslizador el riel es de aluminio y tiene un mecanismo de cojinetes, que tiene como acople para una correa dentada que es la guía de transmisión a través de un motor dc reductor 12v 6 rpm, que tendrá una caja de potencia para la alimentación del motor y los sensores de final de carrera para evitar un movimiento brusco al final del carril motorizado. Este permitirá el control de la velocidad del motor, pero no la posición del carril. (Pompa, 2012)



Figura 1. 4 Carril motorizado para fotografía y video, (Pab12)

- **mSlider**, es un slider motorizado diseñado para dotar de movimiento lineal a la cámara, es además una potente y portátil herramienta que te ayudará a sacar el máximo de rendimiento a tus planos de la manera más rápida y sencilla. Fabricado con CNC íntegramente en aluminio y ensamblado a mano. Una vez iniciado el movimiento, puede seguir funcionando incluso si se desconecta el controlador. Tanto la electrónica como el software ha sido rediseñado para exprimir aún más las capacidades del mSlider, dotándole de una extrema precisión y suavidad sin precedentes mostrado en la figura 1.5. (mSlider, 2015)



Figura 1. 5 mSlider, (mSlider, 2015)

Tabla 1. 2 Sistema eléctrico del mecanismo

<i>Deslizador</i>	<i>Transmisión</i>	<i>Control de velocidad</i>	<i>Alimentación</i>
Carril motorizado para fotografía y vídeo	Tiene como acople para una correa dentada que es la guía de transmisión a través de un motor dc reductor 12v 6 rpm	Tiene control de velocidad, pero no posición del carril	La alimentación es corriente directa de 5 a 8 V.
mSlider	Correa dentada en V	Precisión y suavidad sin precedentes en la velocidad, pero no posición	Alimentación al sistema de control de corriente directa.

La siguiente tabla 1.2, se realiza la comparación de los deslizadores que tiene un control de velocidad, pero no la posición del carro, unas de las importantes cualidades es el motor y su alimentación de corriente para ser accionado, permitiendo que el deslizamiento sea fluido y dinámico.

1.3.1.3 Sistema de control del deslizador

Algunos sistema de control, tiene un menú de opciones que permite escoger el tipo de *time-lapse* para realizar, el tiempo que se puede demorar en recorrer el deslizador, la posición requerida por el cineasta con su respectivo tiempo, variar la velocidad, tener dos movimientos a la vez, pero no todas estas funciones pueden estar en un mismo deslizador ya que cada fabricante puede realizar distintos deslizadores para ciertos *time-lapse*. Los siguientes deslizadores son los más avanzados para realizar *time-lapse* de alta calidad y una característica mucho más profesional que el cineasta puede presentar en sus trabajos finales.

- **Magic Motor for ES Series Slider (E-Image)**, de la figura 1.6 por primera vez, se incluyen tres modos de control de la cámara, permite a los usuarios lograr una calidad cinematográfica a los más altos niveles de producción de vídeo. El potente motor precisa, sin escalonamientos, la cámara se mueva en ambas posiciones vertical y horizontal. La potencia real del software de MP01, le permite capturar fácilmente hermosos videos de lapsos de tiempo y dejar imágenes en movimiento con el simple toque de un botón. La aplicación del Bluetooth, disponible tanto para iOS y Android, ofrece la opción de ajustar casi cualquier parámetro de funcionamiento de la MP01. (ikancorp, 2015)



Figura 1. 6 MP01, (ikancorp, 2015)

- **Rhino Motion**, en el diseño de la rueda de control se implementó una nueva tecnología de codificación magnética, marca que le da un control extremadamente sensible a la filmación y hace que los menús de navegación sean sencillos y eficiente. En comparación con otros codificadores ópticos basados, el codificador magnético tiene más de 100 veces la resolución, con un control suave y ultrasensible mostrado en la figura 1.7. (Gear, Rhino Camera, 2016)

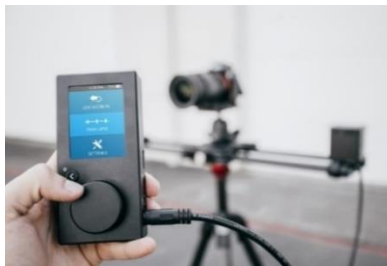


Figura 1. 7 Rhino Motion, (Gear, Rhino Camera, 2016)

- **AUTOPAN**, una herramienta electrónica revolucionaria diseñada para ser universal mostrada en la figura 1.8. Se puede instalar en cualquier equipo de movimiento en el mercado, sin tener en cuenta la marca y la longitud, manual o motorizado. Tiene un motor interno y una batería recargable, totalmente programable. No requiere calibración de medición específica ni una distancia fija. Es perfecto para las entrevistas, las cabezas parlantes y tomas macro. Ser libre para desplazar la cámara exactamente en el punto que desee, girar y estimular su creatividad con un movimiento único, nunca antes visto. (Shootools, 2016)



Figura 1. 8 Autopan, (Shootools, 2016)

Las diferencias de cada deslizador hechos por cada empresa en la tabla 1.3 permite tener una amplia visión de un diseño adecuado de este deslizador, con las respectivas características requeridas por el cineasta para su fácil manejo y traslado del mismo para ser utilizado en los diferentes tipos de *time-lapse* que se puede realizar detallando a continuación.

Tabla 1. 3 Sistema de control del deslizador

<i>Deslizador</i>	<i>Comunicación</i>	<i>Movimiento</i>	<i>Control</i>
Magic Motor for ES Series Slider (E-Image)	El controlador es por Bluetooth, disponible tanto para iOS y Android	Permite a la cámara se mueva en ambas posiciones vertical y horizontal	Opción de ajustar casi cualquier parámetro de funcionamiento de la MP01 mecánicamente
Rhino Motion	Sistema de comunicación por cable	Deslizamiento horizontal y posición del deslizador	Diseño de la rueda de control con nueva tecnología de codificación magnética, le da un control extremadamente sensible a la filmación, menú táctil
AUTOPAN	Comunicación con batería recargable	Sistema de movimiento rotación 360° y deslizamiento	Sistema de programación vía teclado con visualización de los parámetros a utilizar

1.4 Equipo para realizar un *time-lapse*

Para los diferentes *time-lapse* antes mencionados se requerirá de una cámara que permita programar el número de fotogramas en cierto tiempo, pero además los *time-lapse* de gran calidad requerirán de equipo profesional con mayor precisión y exactitud. Los *time-lapse* más sencillos o comúnmente llamados estándar como equipo de trabajo será:

- Una cámara de fotos, Reflex o cualquier cámara que permita tomar por intervalos las fotografías como la figura 1.9 (Casado, Antonio, 2009).



Figura 1. 9 OS 7D DSLR Camera, (Canon, 2016)

- Un intervalómetro de la figura 1.10, en caso de que la cámara no disponga esta función se coloca en el conector de la cámara (Casado, Antonio, 2009).



Figura 1. 10 Timer Shutter Release Remote Control for Canon, (Amazon, 2016)

- Un trípode para fijar la cámara y tener un encuadre del objeto o suceso, figura 1.11 (Casado, Antonio, 2009).



Figura 1. 11 Trípode Sony VCT R100, (Digitalbox, 2016)

- Baterías extra para la cámara debido al tiempo de trabajo con el propósito de tener una mayor duración laboral mostrada en la siguiente figura 1.12 (Casado, Antonio, 2009).



Figura 1. 12 Batería Canon LP-E6, (Digitalbox, 2016)

- Un ordenador, con el que se editará posteriormente las imágenes y se crearán vídeos de narrativa dinámica y con mayor percepción visual para el humano (Casado, Antonio, 2009).

Los *time-lapse* de mayor calidad tendrán un alcance profesional de mejor apreciación de las ediciones de videos para enfocar y encuadrar el objeto o suceso a ser tomado los fotogramas necesarios para exponer de manera dinámica la narración de dicho evento.

Las principales características de *time-lapse* profesionales son la precisión y exactitud al momento de ser realizados y editados para dar importancia al desarrollo de efectos y visión de las cosas más pequeñas que el ojo humano no puede percibir, los equipos son:

- Deslizador motorizado, que permite el movimiento de la cámara de manera horizontal y control de la velocidad como indica la figura 1.13.



Figura 1. 13 Slider Plus Pro, (edelkrone, 2014)

- Varios lentes o filtros que ayudan a la cámara a encuadrar de acuerdo con el tiempo del clima o lugar de trabajo, como la figura 1.14



Figura 1. 14 CN-E30-105mm T2.8 L SP, (Canon, 2016)

- Rótula o mecanismo, figura 1.15, que permita dejar en diferentes posiciones para tomar las fotografías.



Figura 1. 15 Tripod Ball Head, (Amazon, 2016)

- iKan, pantalla pequeña con el objetivo de verificar los fotogramas o videos que se realizan como indica la figura 1.16.



Figura 1. 16 Camera Field Monitor, (ikancorp, 2015)

La importancia de tener equipos profesionales en lugar del estándar permitirá el desarrollo de esta técnica con mayor énfasis de tener mejor captación de los más mínimos sucesos que no son simples a la vista del ser humano (Jiménez, Daniel, 2015).

Los materiales que se utilizan en los diferentes deslizadores existentes en el mercado son de gran calidad, debido a las diferentes propiedades mecánicas y ambientales donde se hace utilización de este mecanismo para realizar la técnica *time-lapse*. Las características de los materiales son importantes para el diseño y construcción, brindando una confiabilidad del deslizador al cineasta, impidiendo el daño de la cámara por su soporte y sujeción en el deslizador.

1.5 Materiales para el sistema mecánico

En la investigación de los deslizadores para cinematografía los materiales que emplean algunas empresas son aleaciones de aluminio, fibra de carbono y aceros al carbono. Estos tres materiales tienen diferentes propiedades mecánicas que permiten su utilización para la construcción del deslizador, pero también el costo de cada material es importante para desarrollar este deslizador y

que sea accesible por el cineasta. Los materiales útiles para la construcción de este deslizador se describen a continuación con sus respectivas características.

1.5.1 Aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio tienen una gran variedad para las distintas aplicaciones, pero las adecuadas para fabricar este deslizador son las series 6xxx y 7xxx, las cuales tienen diferentes propiedades mecánicas, pero las más importantes son resistentes a la corrosión, dureza para su mecanizado y soporte de carga.

Serie 7xxx, el Zn añadido en proporciones que van desde el 1 al 8 % es el elemento aleante en mayor proporción en estas aleaciones. A veces, se añaden pequeñas cantidades de Mg para hacer la aleación tratable térmicamente. También es normal añadir otros elementos aleantes como cobre Cu o cromo Cr en pequeñas cantidades. Debido a que la principal propiedad de estas aleaciones es su alta dureza se suele usar en las estructuras de los aviones, equipos móviles y otras partes altamente forzadas. Debido a que esta serie muestra una muy baja resistencia a la corrosión bajo tensión se le suele aplicar levemente un TT⁴ para conseguir una mejor mezcla de propiedades (Ortolá, 2009).

Esta aleación de aluminio de 7075 T6⁵ es la más adecuada para realizar la estructura mecánica del deslizador debido a sus propiedades mecánicas de mecanizado y es altamente resistente a la corrosión, este aluminio tiene un proceso anodizado⁶ para evitar la corrosión del aluminio y tener fallas mecánicas en el mecanismo que se quiere construir a base de este material (Toledo, y otros, 2014).

⁴ T: Denomina a materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior.

⁵ T6: Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente.

⁶ Anodizado: Proceso electrolítico por el cual se da a diversos metales un recubrimiento protector anticorrosivo.

Las propiedades que presenta este aluminio 7075 T6 son apropiadas para el deslizador, pero puede variar con otros materiales, en cuanto al precio y disponibilidad, ante esto otra opción de material es la fibra de carbono o acero AISI 4340 bonificado, esto servirá para tener un mejor panorama para elección del material.

1.5.2 Fibra de carbono

La fibra de carbono es un material polimérico generado por síntesis a partir de otros compuestos que presentan una morfología fibrosa en forma de filamentos, o una trenza por carbonización (es decir, que está formado por macromoléculas generalmente orgánicas, constituidas a su vez por la unión de moléculas más pequeñas que se le llaman monómeros, siendo estas unidades monoméricas en su caso, principalmente, poliéster y viniléster). Además, presentan un contenido muy alto de carbono, mínimo del 92% en peso (Copas, 2016).

Este material es un polímero que tiene grandes ventajas en cuanto a las propiedades mecánicas respecto a otros materiales, en especial su peso que es una cualidad requerida para el deslizador, es decir, que sea liviano y fácil de transportar, entre las propiedades mecánicas principales son:

- alta resistencia mecánica, esto respecto a su módulo elástico elevado
- alta rigidez (rango de valores de 2 – 6 en aceros)
- resistencia a la fatiga
- buena resistencia al impacto

Estas propiedades mecánicas son importante para el diseño del deslizador, va a tener una carga puntual, es decir el peso de la cámara, carro y accesorios de cámara, deslizando sobre el riel de fibra de carbono.

1.5.3 Aceros al carbono

Contenido en carbono usualmente inferior al 1%. También contienen pequeñas cantidades de manganeso. Las características del acero dependen de su composición y del tratamiento térmico al que se le someta. El recocido consiste en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (800 - 925°C) seguido de un enfriamiento lento. Este tratamiento aumenta la elasticidad, facilita en el mecanizado de las piezas, al reducir la dureza generada por el trabajo en frío y reduce las tensiones internas del material. El normalizado es un recocido a una temperatura ligeramente más alta, logra una estructura de grano fino y uniforme (González & Chuliá, 2016).

Estos aceros al carbono con el respectivo tratamiento térmico de acuerdo a la aplicación o proceso de mecanizado que se realice son de gran calidad debido a las características mecánicas y esfuerzos a los que estará sometido el metal, en este caso para el deslizador, con la principal función de soportar una carga aplicada, sea liviano y resistente a las áreas de trabajo donde se utilizará. Este deslizador con el sistema mecánico adecuado y de una dinámica fluida en sus dos grados de libertad, que son, el movimiento horizontal y rotacional, serán realizados por actuadores electrónicos que tengan precisión y exactitud en cualquiera de los dos movimientos mencionados.

Tabla 1. 4 Características principales de los materiales

<i>Material</i>	<i>Propiedades mecánicas</i>	<i>Disponibilidad</i>
Aleaciones de aluminio Serie 7075 T6	T6 espesor 6-12 mm, Carga de rotura 530 N/mm ² , Límite elástico 450 N/mm ² , Dureza Brinell (HB) 160, Módulo elástico 72000 N/mm ² ,	Este aluminio no hay en el mercado nacional, pero con similares características iguales es el Produx
Fibra de carbono	Resistencia a la tracción 3800 MPa, Módulo de Young 228 GPa utilizado para material lineal e isótropo (tiene las mismas propiedades en todas	Este material no es muy común en el mercado nacional, debido a eso no es posible utilizarlo, pero

	las direcciones) , Densidad 1,8 gtm, contenido de carbono 95 %, el	tiene una ventaja en el peso apto para el deslizador.
Aceros al carbono	AISI 1040 Resistencia a la tracción 620 MPa, Límite de elasticidad 415 MPa, Módulo elástico 190 – 210 GPa	Este material existe en el mercado pero el costo es muy elevado para adquirirlo.

La tabla 1.4 muestra las características mecánicas principales para el estudio de la estructura del deslizador, con el propósito de dar seguridad a la cámara y evitar un desequilibrio del sistema mecánico, para evitar cualquier accidente; a la vez tener un peso adecuado para poder transportar el deslizador y esto no sea un impedimento de traslado.

1.6 Motores para el deslizamiento

El movimiento del deslizador debe ser fluido y preciso, con el fin de tener una dinámica excelente cuando sean tomadas las fotografías o videos para realizar un *time-lapse* de calidad profesional, los actuadores electrónicos son la parte esencial de este deslizador, obteniendo así la precisión y exactitud de la posición del carro que transporta la cámara sobre el sistema guiado lineal y a la vez rotacional para un mejor encuadre del suceso o proceso a ser filmado. Los actuadores electrónicos que existen actualmente tienen sus ventajas y desventajas aptas para este deslizador, a continuación, será detallado con sus respectivas características.

1.6.1 Motores de corriente continua

Los motores de corriente directa son de bobinas de campo accionados por escobillas, su funcionamiento es gracias a la excitación de las bobinas por medio de las escobillas que transmiten la corriente. El par del motor será de acuerdo a la corriente con la que se alimenta al motor teniendo una gran potencia en la velocidad admitiendo una relación de potencia – peso.

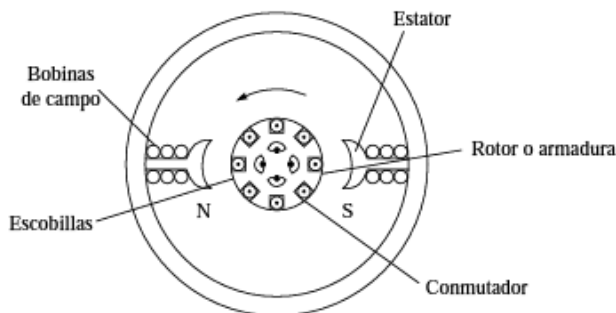


Figura 1. 17 Motor CD de dos polos con bobinas de campo, (Saha, 2010)

El control de estos motores es muy sencillo, simplemente el cambio de corriente en las bobinas del motor hará que tenga mayor o menor rpm, pero la excitación por corriente, el tiempo de respuesta es demasiado lenta produciendo menor respuesta ante la corriente que no es muy manipulable con exactitud dando lugar a utilizar motores de campos magnéticos. (Saha, 2010)

1.6.2 Motores paso a paso

Los motores paso a paso o llamados también *stepping motors*, son motores utilizados ampliamente en la robótica industrial por sus características principales que son las siguientes:

- El máximo torque en estos motores ocurre con pocos pulsos o bajas frecuencias de pulsos.
- Al adquirir una posición final el motor no necesita de fuerza externa de frenado.
- Para obtener una velocidad alta o baja se requiere de los grados de rotación para cumplir una revolución o giro completo.
- La inercia del motor al ser inducida la corriente es muy baja para romper.
- Al ser alimentados varios motores con la misma fuente se mantienen su voltaje de alimentación.

Las desventajas de este estos motores es que se debe realizar un sistema de control para su accionamiento, debido al número de bobinas que tiene y que a la vez cada uno debe de ser excitada

por corriente para su funcionamiento. Otra de las desventajas importantes es la salida y eficiencia del motor para la aplicación adecuada (Saha, 2010).

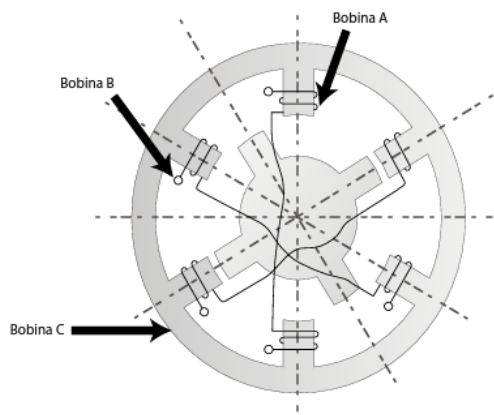


Figura 1. 18 Motor de reluctancia variable, (Ramírez, Jiménez, & Carreño, 2014)

1.6.3 Servomotores

El servomotor es un actuador utilizado en sistema de precisión, pero no para altas velocidades, está conformado por un motor acoplado una caja reductora de engranes para regular la velocidad y fuerza, un sistema controlador de pulsos PWM. El ángulo de giro de estos servomotores es de 180° , para obtener un giro de 360° se puede modificar el motor, su alimentación es de corriente directa. (Ramírez, Jiménez, & Carreño, 2014)

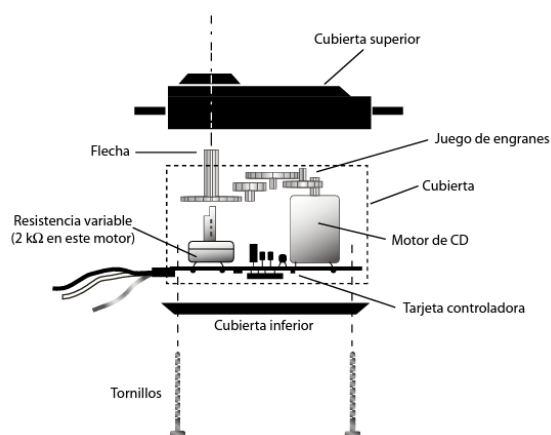


Figura 1. 19 Componentes de un servomotor, (Ramírez, Jiménez, & Carreño, 2014)

Este servomotor tienes tres cables, los cuales dos son la alimentación de corriente directa y el tercer cable sirve para el control de pulsos para que se pueda mover el motor, este controlador utiliza una señal de onda cuadrada para enviar los pulsos, PWM (*Pulse Width Modulation*), que permite tener la posición deseada. Estos motores tienes un rango de operación que especifican el máximo y mínimo ancho de pulso para poder mover el eje del servomotor, es decir, de 0° a 90° y de 90° a 180° , en estos dos rangos de ancho de pulso permite posicionar el servomotor en rangos intermedios.

Todos los dispositivos como actuadores, sensores y controladores se manipulan a través de un tarjeta micro controladora, está tarjeta permiten enviar las señales análogas o digitales que necesita cada elemento que forma parte de un proceso automático. Las características de estas estas tarjetas de desarrollo tienes sus respectivas particularidades que permiten que el proceso o sistema a ejecutar sea preciso.

Tabla 1. 5 Características de motores para el deslizador

<i>Motor</i>	<i>Funcionamiento</i>	<i>Ángulo de giro</i>	<i>Control</i>
Motor de corriente continua	Estos motores tienes bobinas que son accionadas por la excitación de las escobillas que reciben la corriente.	El ángulo de giro son 360° , pero no tiene el control de posicionamiento del rotor.	Para estos motores no existe un control exacto de la corriente, puede controlarse pero no tiene precisión.
Servomotor	Los servomotores tienen precisión pero no altas velocidades, además posee una caja reductora acoplada, para regular la velocidad y fuerza.	Para el ángulo de giro de los servomotores, su alcance de giro es de 45° , 90° y 180° , ya que no permite tener un giro completo.	Para controlar la posición, existe un pin que permite controlar el PWM, para tener una posición.

Motor paso a paso	Estos motores trabajan con corriente directa, tienen una facilidad para obtener el torque y se activan las bobinas de acuerdo al orden de excitación de las mismas para su funcionamiento.	Los motores paso a paso tienen las bobinas que permiten tener control de la posición angular del rotor, para cualquier ángulo o posición necesaria.	Un circuito aparte, sirve para el control del orden de excitación de las bobinas para obtener el ángulo requerido en la aplicación.
-------------------	--	---	---

Las características presentadas en la tabla 1.5 respecto a los motores, todos funcionan con corriente continua, pero las principales características del motor para el deslizador son: tener un buen torque, tener altas velocidades y un control de la posición del rotor, como mejor opción son los motores paso a paso.

1.7 Tarjeta microcontroladora

Las tarjetas microcontroladoras son importante ya que de estas depende el proceso de ejecución del comando realizado para producir una acción y tener la respuesta adecuada para esa necesidad del proceso o sistema a ejecutar.

Las características principales de la tarjeta de desarrollo se basan en cuanto al tiempo de respuesta del proceso, las señales de entrada y salida que pueden ser analógicas o digitales deben ser las suficientes para el sistema respectivo, la memoria interna del microprocesador para guardar los comandos de programación y una interfaz de programación de fácil maneja y mayor entendimiento para el usuario.

Todas estas propiedades que deben tener cada tarjeta microcontroladora, hacen que muchas empresas fabriquen tarjetas de desarrollo con mayor capacidad de almacenamiento y rápida

respuesta al ejecutar el programa, las empresas más reconocidas son Arduino, Atmel AVR, Raspberry Pi, entre otras marcas reconocidas mundialmente.

1.7.1 Arduino Mega 2560

El Mega 2560 es un tablero del microcontrolador basado en el ATmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador. Simplemente conectar a un ordenador con un cable USB o conectar a un adaptador AC-DC o una batería. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Uno y las tablas anteriores *Duemilanove* o *Diecimila* (Arduino, 2016).



Figura 1. 20 Arduino MEGA 2560, (Arduino, 2016)

Esta tarjeta de control tiene los pines suficientes tanto analógicos como digitales para el deslizador automático, tal que, los motores paso a paso tienen señal digital, los sensores señal analógica, los controladores para los motores paso a paso son digital y una pantalla GLCD de igual manera pines digitales. En cuanto a su velocidad de respuesta es de 16MHz y una memoria de 256KB para almacenamiento. Esta tarjeta microcontroladora es compatible para cualquier sistema operativo de Windows y tiene su propia plataforma de interfaz de fácil manejo para el usuario.

1.8 Conclusiones parciales

La opción adecuada para el sistema mecánico del deslizador a realizar es la segunda detalla en la tabla 1.1, debido al peso que soportará es de 8 Kg, pero en cuanto al material para soportar está carga es el aluminio y de igual manera está de fácil acceso en el mercado nacional, además los rodamientos son similares en cada deslizador, pero diferentes en cuanto a su funcionamiento por tal razón se utilizará rodamientos lineales para ejes de acero AISI4340.

Como elección en el accionamiento del sistema eléctrico para del deslizador tomamos como referencia la tabla 1.2, teniendo motores reductores donde se controla la velocidad pero no la posición, debido a este inconveniente la sugerencia de accionamiento es utilizar motores paso a paso, debido a su posición precisa en cuanto a los diferentes grados de giro que se puede programar y la velocidad de avance con la que puede deslizarse, esto tiene un parámetro en común que es la alimentación del sistema electrónico con corriente directa y ayudará a realizar un sistema recargable de las baterías, teniendo dos opciones, corriente recargable y directa.

El sistema de control, de acuerdo a cada empresa que produce estos artículos para cinematografía, tiene diferentes opciones para presentar el mejor entorno de manejo para el usuario, con estas opciones de control presentadas en la tabla 1.3, la que se sugiere para este deslizador se realizará con un controlador Arduino Mega 2560 R3, acompañado de una pantalla táctil para este Arduino de gran calidad y resolución.

Capítulo 2. Construcción del mecanismo

De acuerdo con los objetivos trazados para el desarrollo de esta investigación se utilizarán las metodologías cualitativa y experimental. El deslizador desarrollado consta de tres partes fundamentales que son las siguientes: sistema mecánico, sistema electrónico y de control.

El estudio del sistema mecánico para este prototipo empezará por el análisis de la estructura y el mecanismo, tomando en consideración para su diseño lo siguiente: debe soportar un peso de 80 N y permitir una dinámica fluida del movimiento al deslizarse, dando como lugar a fotogramas de calidad para ser editadas y tener mejoras en los *time-lapse*.

2.1 Análisis cinemático y estructural del deslizador automático

El proceso del análisis cinemático del sistema mecánico, comenzará con el estudio de las fuerzas axiales existente sobre el eje, ya que es la parte principal debido al peso que soportará, con el propósito de evitar la deflexión de la viga y los rodamientos lineales realicen el recorrido sin problema alguno.

2.1.1 Estudio de fuerzas axiales en el eje

La deflexión en la viga es de gran importancia, debido al peso que el eje debe soportar para evitar la fractura del mismo, o evitar el deslizamiento de los rodamientos lineales sobre el eje debido a la deformación provocada por el peso. La curva elástica, es el principio para el estudio de la deformación del eje, que es conocida como la distancia que tiene del eje hasta la curva de deformación que se forma y se denomina flecha, dando lugar a la condición de la ecuación 2.1 (Goldenhorn, 2015) que sirve para ejes con apoyos en voladizos.

$$f \leq \frac{L}{500}$$

Ecuación 2. 1 Condición de vigas en voladizo

f : flecha o distancia de deformación

L : longitud del eje

Esta condición de la ecuación 2.1 debe de cumplir el eje, ya que este valor calculado debe de ser menor o igual para verificar el requerimiento del peso a soportar y evitar la deflexión en la viga.

$$f \leq \frac{697\text{mm}}{500}$$

$$f \leq 1.394 \text{ mm}$$

2.1.2 Cálculo de las reacciones en el sistema mecánico

El cálculo de las reacciones en los apoyos voladizos se realizó teniendo en cuenta una carga concentrada con un peso de 78,4 N, situado en el centro de la placa de soporte, este peso se divide para dos, debido a que será apoyado en dos ejes, esto permite que la carga se distribuya y obtengamos la mitad del peso que va a soportar el eje guía del deslizador.

Datos

$\text{masa} = 8 \text{ kg}$

$\text{gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$

$L = 0.722 \text{ m}$

$l1 = 0.361 \text{ m}$

$l2 = 0.722 \text{ m}$

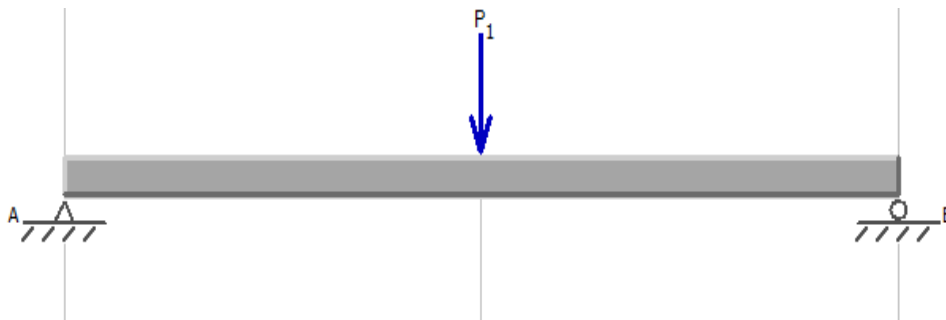


Figura 2. 1 Diagrama de cuerpo libre del eje, Autor

El peso que ejercerá sobre el eje, hay que calcular, multiplicando la masa total por la gravedad y se presenta a continuación.

$$\begin{aligned} \text{masa} &= 8 \text{ kg} \\ \text{gravedad} &= 9.8 \text{ m/s}^2 \\ L &= 0.722 \text{ m} \\ l1 &= 0.361 \text{ m} \\ l2 &= 0.722 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= m * g \\ P &= 8 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 \\ P &= 78.4 \text{ N} \end{aligned}$$

Este peso calculado, es el total de la carga que va a soportar cada eje del deslizador automático, para el estudio de las cargas axiales hay que dividir este peso para dos, porque son dos ejes en los que descansa este peso total.

$$\begin{aligned} P_1 &= P/2 \\ P_1 &= 78.4 \text{ N}/2 \\ P_1 &= 39.2 \text{ N} \end{aligned}$$

Con el peso que va a soportar cada eje, ahora se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y del plano, para calcular las fuerzas de reacción en los soportes de apoyos que se encuentran en los extremos de los ejes guías del deslizado se observa en el anexo 7.

$$\begin{aligned} \sum F_Y &= 0 \\ R_{Ay} + R_{By} - P1 &= 0 \\ R_{Ay} &= P1 - R_{By} \\ R_{Ay} &= 19.6 \text{ N} \end{aligned}$$

Con la anterior ecuación de las sumatorias de fuerzas en el eje Y del plano, tenemos una ecuación con dos variables, para resolver la ecuación se realiza la sumatoria de torques en el punto A del diagrama de cuerpo de la figura 2.1.

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ R_{By} * l2 - P1 * l1 &= 0 \\ R_{By} &= \frac{l1}{l2} P1 \end{aligned}$$

$$R_{By} = 19.6 \text{ N}$$

Las reacciones en los apoyos del deslizador serán de 19.6 N, estas reacciones en los cuatro apoyos que se asentará el deslizador, sumará el peso total que soportarán los ejes.

2.1.3 Cálculo de la deformación elástica en el eje del deslizador

El diámetro y material del eje para este deslizador, debe cumplir con la condición de la ecuación 2.1, donde el valor de 1.394 mm debe ser el límite de la deformación del eje para soportar el peso, pero es preferible que la deformación sea lo mínimo posible para evitar la fractura de los ejes o el incorrecto deslizamiento de los rodamientos lineales para obtener una velocidad fluida en el recorrido del carro. Para este cálculo de la deformación elástica se hace uso de la siguiente ecuación 2.2 (Gere & Goodno, 2009, pág. 692; 695), que tiene como condición $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ cuando el cálculo de la curvatura de deformación se encuentra en la mitad de la viga, en este caso del eje.

$$y_{\text{máx}} = \frac{P * L^3}{48 * E * I}$$

Ecuación 2. 2 Deformación máxima en el centro de la viga

$y_{\text{máx}}$ = Deformación elástica de la curva
 P = Peso o fuerza axial
 L = Longitud de la barra
 E = Módulo de elasticidad del material eje
 I = Inercia de la sección del eje

La fórmula de la ecuación 2.2 permite calcular la máxima deformación en el centro del eje, con el peso de 78,4N. A continuación, se presenta el cálculo de la deformación elástica con el material de acero bonificado AISI 4340 (Bohman, 2016, págs. 26,27) y el valor de las variables que intervienen en la ecuación 2.2 antes mencionada.

$$y_{\text{máx}} = \frac{P * L^3}{48 * E_{\text{AISI4340}} * I}$$

Datos

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 39.2 \text{ N} \\
 L &= 0.697 \text{ m} \\
 E_{AISI4340} &= 210 \text{ GPa} \\
 I &= 7.854 * 10^{-9} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{(39.2 \text{ N}) * (0.697\text{m})^3}{48 * 210 \text{ GPa} * 7.854 * 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 1.677 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.168 \text{ mm}$$

Este valor de la deformación máxima es menor respecto a la condición inicial de la flecha $f = 1.394 \text{ mm}$, debido a que es una carga axial en un solo punto. En esto caso el peso será apoyado en dos rodamientos lineales que aliviana la carga debido a que está apoyado en dos puntos.

Datos

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 19.6 \text{ N} \\
 L &= 0.697 \text{ m} \\
 E_{AISI4340} &= 210 \text{ GPa} \\
 I &= 7.854 * 10^{-9} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{(19.6 \text{ N}) * (0.697\text{m})^3}{48 * 210 \text{ GPa} * 7.854 * 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 8.383 * 10^{-5} \text{ m}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.084 \text{ mm}$$

El valor de la fuerza que soporta la placa está distribuido en cuatro puntos, que vienen a ser los rodamientos lineales que permiten el deslizamiento sobre el eje. Como resultado, la deformación máxima de la curva elástica es menor a la condición de vigas apoyadas en voladizo, con una fuerza axial de 19.6 N en cada rodamiento lineal que es el punto de apoyo de la placa que soportará el peso total de 78.4 N.

2.2 Selección del material para la estructura de soporte y sujeción

La simulación del deslizador a través del software SolidWorks en el anexo 9, permite seleccionar el material de estudio y corroborar los datos que se obtienen de los cálculos anteriormente realizados, comparando el valor de la deformación que es 0.084mm.

La estructura del deslizador automático se puede construir con los materiales ya descrito que son: aceros al carbono livianos similares a las estructuras de las bicicletas; aluminio 7075 en eje; los tubos de fibra de carbono para la base guía del deslizador. La principal observación respecto a la selección del material para el eje del deslizador es que, exista en el mercado nacional. Con esta observación respecto a los materiales adecuados para la construcción del deslizador con relación al eje del sistema guiado por los rodamientos se utilizará acero normalizado AISI⁷ 4340 (Bohman, 2016, págs. 26,27), respecto a la estructura de sujeción de los ejes y soporte de la carga propuesta se utilizará duraluminio 7075-T6 (Bohman, 2016, pág. 19;21). Las características de los materiales definidos para la construcción del deslizador se realizan a continuación.

2.2.1 Acero normalizado AISI 4340

Este acero normalizado AISI 4340 (705) en el anexo 2, es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente. AISI 4340, combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es

⁷ *AISI* es el acrónimo en inglés de *American Iron and Steel Institute* (Instituto americano del hierro y el acero).

suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado. (Bohman, 2016, págs. 26,27)

Las características mecánicas de este acero normalizado para los ejes guías del deslizador se presentan en la tabla 2.1 (Bohman, 2016, págs. 26,27) y son las siguientes:

Tabla 2. 1 Propiedades mecánicas AISI 4340

<i>Propiedades mecánicas AISI 4340</i>	
Resistencia a la tracción	<i>90 – 110 kg/mm²</i>
Esfuerzo de cedencia	<i>70 kg/mm²</i>
Elongación, A5	<i>min 12%</i>
Reducción de área, Z	<i>min 45%</i>
Resistencia al impacto, KU	<i>aprox. 20J</i>
Dureza	<i>270 -330 HB</i>

Los parámetros de referencia para los cálculos anteriormente hechos con respecto a la resistencia a la fluencia que es de 686 MPa, y el módulo de elasticidad de 210 GPa. Estos valores son referentes para la selección del material en cuanto la deflexión de la viga que soportará el peso de 78.4 N. Además, la dureza Rockwell HRC⁸ de este acero está dentro del rango de vida útil del rodamiento lineal que se usará como mecanismo. Las fuerzas de apoyo que soportará el deslizador y su aplicación dan como resultado el uso de aluminio debido a su peso liviano y buena propiedad mecánica para soportar la carga en el deslizador.

2.2.2 Duraluminio - Prodax

Prodax anexo 1, es una aleación de aluminio de alta resistencia, laminado en caliente, que se hacen barras redondas y placas, tratadas térmicamente. Las mismas son sometidas a una operación

⁸ *HRC: La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwell es un método para determinar la dureza, es decir, la resistencia de un material a ser penetrado.*

especial de estiramiento en frío para el máximo alivio de tensiones. Prodax posee las siguientes características, que lo hacen apropiado para distintos tipos de herramientas, especialmente moldes para plásticos:

- Excelente mecanizado
- Bajo Peso
- Alta Conductividad térmica
- Buena estabilidad
- Buena resistencia a la corrosión
- Apropiado para tratamientos superficiales

Las características mecánicas antes mencionadas son de gran importancia para la estructura mecánica del deslizador, debido al peso que debe de tener la misma para ser transportado con facilidad, las más importantes son: buen mecanizado, bajo peso y buena resistencia a la corrosión. A continuación, se presenta la tabla 2.2 de las propiedades mecánicas del duraluminio o también llamado prodax. (Bohman, 2016, pág. 19)

Tabla 2. 2 Propiedades mecánicas Duraluminio

<i>Propiedades mecánicas Duraluminio</i>		
<i>Resistencia a la tracción a temperatura ambiente</i>		
Placas espesor	Resist. a la tracción N/mm ²	Límite de fluencia N/mm ²
> 10 – 50	590	550
> 50 – 100	570	520
> 100 - 150	550	500
> 150 - 200	535	485
> 200 - 300	430	365

2.3 Selección del mecanismo adecuado para el deslizador automático

El mecanismo seleccionado para este deslizador estará formado por un sistema guiado lineal; para funcionamiento del mismo se utilizarán cuatro rodamientos lineales de bola de 20 mm de diámetro, a través de los ejes de acero inoxidable de AISI 4340 se deslizarán los rodamientos que llevarán sujeto a ellos la placa base donde se asentará la carga, los ejes guías serán sujetos a un soporte con el diámetro requerido y pernos para evitar la inestabilidad del mecanismo. Además, tendrá dos apoyos metálicos sobre los cuales descansará todo el mecanismo y demás elementos que forma parte del peso útil para realizar los *time-lapse*.

2.3.1 Cálculos del rodamiento para el mecanismo

Para el cálculo del rodamiento se requiere de ciertos criterios y parámetros para su correcto funcionamiento detallados por el fabricante anexo 6. Las principales características o condiciones que se deben considerar para el correcto trabajo del rodamiento son las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometido.

Se denomina capacidad de carga estática a C_o o; “Coeficiente de carga estática, con intensidad y dirección constantes, que determinan, en el punto máximo esfuerzo entre las partes a contacto, una deformación permanente equivalente 1/1000 del diámetro del elemento rodante” (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 59). Este factor de seguridad para el rodamiento se denomina como coeficiente de seguridad estático a_s , que viene expresado en la siguiente ecuación 2.3 (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 59):

$$a_s = \frac{f_C * f_B * C_o}{P}$$

Ecuación 2. 3 Coeficiente de seguridad estático

a_s : Coeficiente de seguridad estático

f_C : Factor de contacto

f_B : Coeficiente de layout recirculaciones

C_o : Capacidad de carga estático [N]

P : Carga máxima aplicada [N]

Cada variable de la ecuación del coeficiente de seguridad estático se detallará a continuación.

2.3.1.1 Factor de contacto

Para el factor de contacto f_c , la condición es “si se montan dos o más casquillos es un mismo eje, la durabilidad podría verse afectada por la falta de uniformidad en la distribución de las cargas aplicadas sobre los casquillos” (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 78). Con esta condición sobre el factor de contacto respecto a los rodamientos lineales o casquetes que estarán en el eje, se basa en la siguiente tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Factor de contacto

<i>Factor de contacto f_c</i>	
Número de casquillos por eje	f_c
1	1.0
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61

Para el deslizador el número de rodamientos en cada eje son dos, basando en la tabla 2.3 tenemos que el $f_c = 0.81$.

2.3.1.2 Factor de recirculaciones

Otra de las variables que se utiliza para calcular el coeficiente de seguridad estático es el coeficiente de layout recirculaciones, “para sistemas de guiado lineal del tipo eje-casquillo, la capacidad de carga de carga estática C_o podrá ser aumentada en función de la posición de la carga F respecto a la posición de las bolas, esto resulta posible gracias a una mejor distribución de la carga sobre los elementos rodantes” (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 78). La siguiente figura presenta el coeficiente f_B respecto a la posición del rodamiento y el número de recirculaciones.

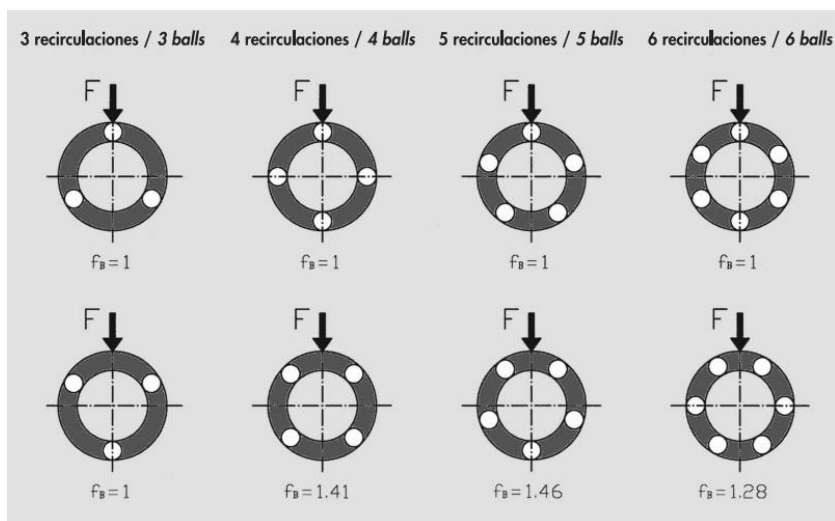


Figura 2. 2 Factor de layout recirculaciones, (NBS, Sistemas lienes, 2012)

El rodamiento a utilizar en el deslizador es de 5 recirculaciones, la opción de respecto a figura 2.2 es la tercera opción, con un factor $f_B = 1.46$, debido a la posición del rodamiento que estará la línea central de recirculación hacia abajo.

2.3.1.3 Cálculo del factor estático a_s

“La necesidad de contar con un coeficiente de seguridad estático $a_s > 1$ está determinada por la posibilidad de eventuales impactos y/o vibraciones, momentos de arranque y de parada, cargas accidentales, elementos que si no se tuvieran en cuenta podría afectar la capacidad del sistema” (NBS, Sistemas lienes, 2012, pág. 60). Cada variable de la ecuación 2.3 (NBS, Sistemas lienes, 2012, pág. 60) que se detalló anteriormente y una vez conocido el valor de las mismas ahora se calculará el factor estático.

Datos conocidos anteriormente

$$\begin{aligned} f_c &= 0.81 \\ f_B &= 1.46 \\ C_o &= 1400 [N] \\ P &= 19.6 [N] \end{aligned}$$

$$a_s = \frac{0.81 * 1.46 * 1400N}{19.6 N}$$

$$a_s = 84.47$$

El coeficiente de seguridad estático calculado es mayor a 1, ofreciendo una fiabilidad de un buen desempeño de los rodamientos lineales en el eje del deslizador, este valor calculado es alto debido al peso que es de 78.4 N, si el peso fuese en el rango de los kilo newton, se obtendría el valor mayor o igual a uno.

Los rodamientos tienen su vida útil al ser utilizados, por lo cual el enfoque en la carga dinámica que va a tener el sistema mecánico al momento de deslizarse el carro sobre los ejes, es parte fundamental para el cálculo de la vida útil de los casquillos.

2.3.1.4 Cálculo de la vida útil del rodamiento

Para la vida útil del rodamiento se puede calcular el recorrido en km, con este valor se puede obtener el servicio del casquete en horas, siempre que cumpla dos condiciones que son: la primera que debe tener velocidad constante y la segunda velocidad variable. Pero para el cálculo del recorrido en horas se necesita del número de ciclos del rodamiento, como es desconocido; la ecuación 2.4 es útil para encontrar el recorrido en km.

$$L = a_1 * \left(\frac{f_H * f_T * f_C * f_B * C}{f_W * P} \right)^3 * 50$$

Ecuación 2. 4 Vida útil nominal en km

L: vida útil nominal [km]

a₁: factor de probabilidad de rotura

f_H: factor de dureza

f_T: factor de temperatura

f_C: factor de contacto

f_B: factor de layout recirculaciones

f_W: factor de carga

C: capacidad de carga dinámica [N]

P: carga equivalente aplicada [N]

A continuación, se detallan los factores de la fórmula para calcular el recorrido en km.

2.3.1.4.1 Factor de probabilidad de rotura

Este factor se basa en la temperatura a la que se encuentra trabajando el rodamiento, por lo que la tabla 2.4 presenta el valor del factor de rotura de acuerdo a la condición de temperatura que el rodamiento debe operar.

Tabla 2. 4 Factor de probabilidad de rotura

<i>Factor de probabilidad de no rotura a_1</i>									
C%	80	82	90	92	95	96	97	98	99
a_1	1.96	1.48	1.00	0.81	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

En este caso el factor de rotura a_1 se tomará en cuenta al 90 C%, dando como resultado el factor de 1, tomando este valor como ideal para el rodamiento. (NBS, Sistemas lienes, 2012, pág. 81)

2.3.1.4.2 Factor de dureza

“Una dureza de la superficie de contacto inferior a 58 HRC favorece al desgaste penalizado por lo tanto la vida útil del sistema” (NBS, Sistemas lienes, 2012, pág. 81).

En este factor de dureza f_H se toma el valor más alto al contacto del rodamiento lineal con el eje del deslizador debido a que el contacto debe ser el más alto por la carga que va a soportar el mecanismo eje-rodamiento, siendo uno este valor como ideal al valor de 58 HRC. Este factor de dureza se hace referencia a la siguiente figura 2.3 dureza Rockwell HRC vs factor dureza f_H . Anteriormente la dureza del eje AISI 4340 es de 52 HRC, por lo tanto, entre eje-rodamiento, el factor de dureza es $f_H = 0.7$

Factor de dureza f_H
Hardness factor f_H

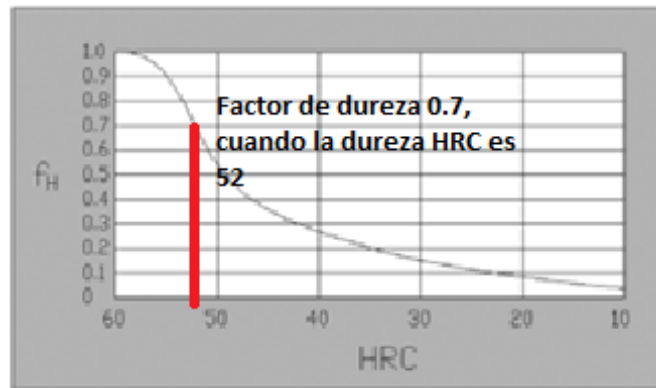


Figura 2. 3 Factor de dureza, (NBS, Sistemas lineales, 2012)

2.3.1.4.3 Factor de temperatura

El factor de temperatura f_T se refiere al funcionamiento del rodamiento, que tiene un rango permitido de trabajo comprendido entre -20°C a 100°C , ya que si es mayor a este rango puede cambiar o alterar las propiedades del material dando como resultado una menor vida útil del casquete en el sistema guía lineal. (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 81)

La siguiente figura 2.4 indica la relación factor de carga vs factor de temperatura. En función de la temperatura de trabajo se escoge el valor del factor de temperatura; en este caso el valor que se toma es 1, para garantizar que el rodamiento en el mecanismo no exceda la temperatura de 100°C .

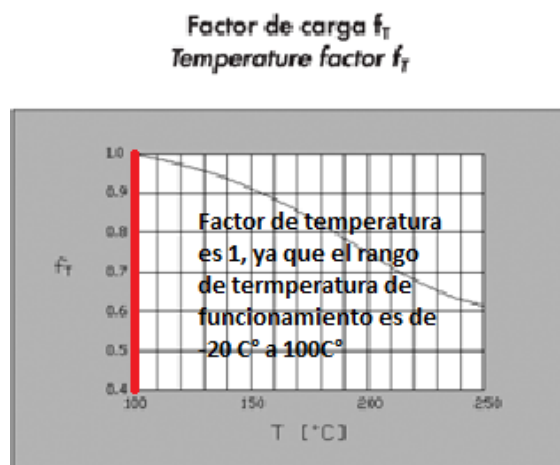


Figura 2. 4 Factor de temperatura, (NBS, Sistemas lienes, 2012)

2.3.1.4.4 Factor de carga

“Si no resultara posible calcular con exactitud todas las cargas dinámicas aplicadas, como por ejemplo las fuerzas de inercia y los respectivos pares, las vibraciones y los eventuales impactos que se producen sobre todo a altas velocidades, se deberá tener en cuenta todas estas variables utilizando este factor de carga f_W ” (NBS, Sistemas lienes, 2012, pág. 82). La tabla 2.5 (NBS, Sistemas lienes, 2012, pág. 82) indica el factor que se debe utilizar respecto al factor de carga en el mecanismo con el rodamiento lineal.

Tabla 2. 5 Factor de carga

<i>Factor de carga f_W</i>	
Condiciones de trabajo	f_W
Ausencia de impactos y vibraciones y/o velocidad baja	1.0 ÷ 1.5
Impactos y vibraciones leves y/o velocidad media	1.5 ÷ 2.0
Impactos y vibraciones leves y/o velocidad media	2.0 ÷ 3.5

Este factor de dureza respecto a la ausencia de impactos y vibraciones o velocidades bajas de 6,82 cm/s será menores por la cual el factor de dureza f_W será de 0.666, debido a que las

velocidades del motor serán menores a las estipuladas en la figura porque el *time-lapse* requiere de velocidades pequeñas para captar los fotogramas con mayor enfoque a las objetos o sucesos con mayor captación y visibilidad de lo que sucede.

2.3.1.4.5 Fórmula de la vida útil del rodamiento sobre el recorrido en km

Una vez revisado los parámetros de la ecuación 2.4 para obtener el valor de recorrido en km, ahora conociendo los valores respectivos se puede conocer el valor de la vida útil del rodamiento.

Datos conocidos

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 \\ f_H &= 0.7 \\ f_T &= 1 \\ f_C &= 0.81 \\ f_B &= 1.46 \\ f_W &= 0.666 \\ C &= 900[N] \\ P &= 19.6 [N] \end{aligned}$$

$$L = 1 * \left(\frac{0.7 * 1 * 0.81 * 1.46 * 900}{0.666 * 19.6} \right)^3 * 50$$

$$L = 9,296,390.86 \text{ km}$$

Este valor calculado en km es la vida útil del rodamiento lineal para el deslizador, es un valor alto en cuanto a la aplicación donde se va utilizar estos casquetes para tener un deslizamiento fluido en el eje. La vida útil del rodamiento nominal puede variar con la calculada debido a diferentes factores que pueden ser:

- Flexión del eje
- Presencia de polvo y/o agentes oxidantes
- Lubricación
- Montaje de las guías
- Precarga

Estos son los factores más perceptibles que pueden percibir los rodamientos lineales en el deslizador. (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 82) Los rodamientos como principal característica para su funcionamiento adecuado es la lubricación que tienen las esferas pequeñas en las recirculaciones del casquete para su fácil deslizamiento sobre el eje.

2.3.2 Lubricación del rodamiento

La importación del lubricante a colocar en el eje-rodamiento es de gran importancia debido a la vida útil del casquete con el fin de cumplir la función del deslizamiento del carro en el sistema guiado lineal, permitiendo tener una menor fuerza de fricción evitando y el correcto funcionamiento del deslizador. (NBS, Sistemas lineales, 2012)

Para la elección del lubricante del rodamiento se considera dos aspectos:

- Una carrera horizontal y velocidades medidas: lubricante a base de jabón de litio 2
- Cuando se tenga de velocidades elevadas: aceites con baja viscosidad

El tipo de lubricante que se elija, la cantidad necesaria y las características depende lo que necesita el rodamiento bajo las condiciones de trabajo, además si se usa en sistemas de ambientes corrosivos de debe prever una protección adicional. (NBS, Sistemas lineales, 2012, págs. 83,84)

2.3.3 Fuerza de fricción

Los ambientes de trabajo donde hay polvo, agentes oxidantes impide el deslizamiento del rodamiento a través del eje existiendo una fuerza de fricción. Esta fuerza de fricción se calcula con la siguiente ecuación 2.5 (NBS, Sistemas lineales, 2012, pág. 83) con sus respectivas variables.

$$S = (\mu * F) + (f * n^{\circ})$$

Ecuación 2. 5 Fuerza de fricción

S: Fuerza de fricción [N]

μ : Coeficiente de fricción ($0.002 \leq \mu \leq 0.005$ con $\frac{P}{C} > 0.2$)

F: Carga aplicada [N]

f: Fricción supeditada a: obturaciones, viscosidad del lubricante, precarga, etc ($2 \leq f \leq 5$ por cada casquillo)[N]
*n*º: Número de casquillos

$$S = (0.002 * 78.4 N) + (2 N * 2)$$

$$S = 4.16 N$$

La fuerza de fricción que da como resultado es pequeña en los rodamientos de cada eje para su deslizamiento al peso que va a soportar y trasladar sobre las guías, dentro de los parámetros en el coeficiente de fricción se toma como el más bajo para evitar o suponer que se tiene un valor pequeño, la fuerza sujeta de cada casquillo se considera un valor de 2 N, con estos valores se obtiene una fuerza de fricción menor con los parámetros anteriormente expuestos.

Los parámetros calculados anteriormente son de gran ayuda, para tener una mejor perspectiva del sistema mecánico que tendrá el deslizador para su correcto funcionamiento y así evitar contratiempos con el deslizamiento de los rodamientos en el eje.

Capítulo 3. Diseño de la tarjeta del sistema de alimentación

El sistema mecánico del deslizador es la parte fundamental para el correcto funcionamiento, con el fin de evitar una caída de la cámara y demás equipos que conforman para realizar el respectivo *time-lapse*, siendo este de gran calidad cinematográfica. Pero dentro de la precisión y exactitud del deslizamiento de la cámara sobre el sistema guiado lineal, se requiere de la parte de control y electrónica.

3.1 Tarjeta de control Arduino Mega 2560 R3

La parte principal del deslizador es la precisión y exactitud de movimiento del carro con la cámara, esto se logrará a través de la tarjeta de control Arduino Mega 2560 R3, este microcontrolador tiene los pines digitales y análogos necesarios, para conectar la pantalla TFT LCD Shield y los controladores para motores paso a paso.

3.1.1 Características de la tarjeta de control

El Arduino Mega 2560 está basado en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 pines digitales de entrada / salida, de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Sencillamente se puede conectarlo a un ordenador con un cable USB, con un adaptador AC-DC o una batería. (Arduino, 2016)

Esta tarjeta microcontroladora será de gran ayuda para desarrollar el deslizador automático, siendo compatible con el controlador A4988 que permite tener control de la dirección y velocidad de los motores paso a paso para su aplicación y de igual manera la pantalla TFT LCD Shield para Arduino teniendo una interfaz con el usuario con el fin de tener un fácil manejo del deslizador.

3.2 Controlador A4988 para motores paso

El controlador de motores paso a paso bipolar, A4988 de Allegro anexo 3, se utiliza para el control de paso y dirección del motor, pero además se puede dar cinco resoluciones de paso hasta 1/16 pasos, cuenta con limitación de corriente ajustable, protección contra sobre corriente de 2.5 A y sobre temperatura. Funciona desde 8 V hasta 35 V y puede suministrar hasta aproximadamente 1 A por fase sin un disipador de calor o flujo de aire forzado, la corriente es de 2 A por bobina con suficiente enfriamiento adicional. (Pololu, 2001) Una ventaja de utilizar este controlador de la figura 3.1, son las librerías propias, que permite ser cargadas al software del Arduino Mega 2560.



Figura 3.1 Controlador A4988, (Pololu, 2001)

3.2.1 Configuración de micro pasos

Los motores paso a paso tienen una especificación de tamaño de paso, por ejemplo, 1,8° o 200 pasos por revolución, es decir un giro completo. Un controlador tal como el A4988, permite resoluciones más altas al permitir ubicaciones de pasos intermedios, que se consigue energizar las bobinas con niveles de corriente intermedios. Por ejemplo, accionar un motor en modo de cuarto de paso dará al motor de 200 pasos por revolución 800 microsteps⁹ por revolución utilizando cuatro niveles de corriente diferentes.

⁹ *Microsteps: Tamaño de paso o ángulo de giro del rotor, para ser energizadas las bobinas del motor.*

Los pines (MS1, MS2 y MS3) de la figura 3.2, permiten la selección de las cinco resoluciones de pasos, colocando a 5V cada pin, como se observa en la siguiente figura.



Figura 3.2 Esquema de pines para microstep, (Pololu, 2001)

Tabla 3.1 Configuración de pines Bajo/Alto de micro pasos

<i>Configuración de pines</i>			
MS1	MS2	MS3	Resolución de micro pasos
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso
Bajo	Alto	Bajo	Cuarto de paso
Alto	Alto	Bajo	Octavo paso
Alto	Alto	Alto	Decimosexto paso

Para que los modos de micro pasos funcionen correctamente mostrados en la tabla 3.1 (Pololu, 2001), el límite de corriente debe establecerse lo suficientemente bajo, para que la limitación de corriente se active. De lo contrario, los niveles intermedios de corriente no se mantendrán correctamente, y el motor saltará los microsteps más finos. (Pololu, 2001)

3.2.2 Límite de corriente

El controlador A4988 trae un tornillo para configurar la corriente de excitación de las bobinas del motor, para esto se calcula el voltaje de referencia en este pin REF y la resistencia que se encuentra en el mismo. Se utiliza la siguiente ecuación 3.1 (Pololu, 2001, pág. 9):

$$I_{MAX} = \frac{V_{REF}}{8 * R_{CS}}$$

Ecuación 3. 1 Corriente máxima del motor

V_{REF} = el voltaje a ser calculado

I_{MAX} = corriente que consume el motor

R_{CS} = resistencia del pin REF en el controlador

$$V_{REF} = 8 \times I_{MAX} \times R_{CS}$$

$$V_{REF} = 8 \times 2A \times 0.1$$

$$V_{REF} = 1.6 V$$

Para la resistencia R_{CS} del controlador, se mira en la siguiente figura 3.3.

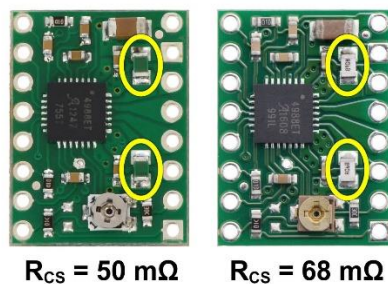


Figura 3.3 Resistencia R_{CS} en el controlador A4988, (Pololu, 2001)

En el controlador a utilizar, el valor de la resistencia R_{CS} es 100 mΩ como muestra la figura 3.3, el resultado de esta resistencia al emplear en la ecuación 3.1 se coloca 0.1Ω, obteniendo así el voltaje de referencia $V_{REF} = 1.6 V$. Este valor se configura en el A4988 a través del tornillo que

se mira en la figura 3.4 para configurar los diferentes tamaños de paso o microstep para el motor.
(Pololu, 2001)

3.2.3 Configuración del voltaje de referencia

El V_{REF} se debe ajustar en el tornillo que tiene el driver A4988 que muestra la figura 3.4. Con la ecuación 3.1 anterior, se debe de calcular siempre este voltaje de referencia para cada configuración de resolución de los pasos como muestra la tabla 3.1 y evitar que se quemé controlador y funcione correctamente el motor.

Además, con este valor de voltaje, según la configuración de la tabla 3.1, de acuerdo al número de pasos o microstep que se quiera configurar al motor, se debe obtener el porcentaje respectivo para cada resolución de pasos que se encuentra en el catálogo del driver, con el propósito de tener mayor o menor velocidad, claro que cada configuración disminuye el torque y vibración del motor.



Figura 3.4 Tornillo de ajuste de V_{REF} en el drive A4988, (Pololu, 2001)

Lo recomendable por la empresa Pololu, es trabajar hasta $\frac{1}{4}$ de paso, para evitar pérdida en el torque y fuerza del motor. Recordar que cuando el motor trabaja en paso completo, es decir, todos pines de microstep están en bajo, un giro es 200 pasos, pero cuando se configura cualquier microstep va duplicando los pasos para completar el giro de 360° . (Pololu, 2001)

3.2.4 Esquema de conexión del controlador A4988

El esquema de conexión del controlador para motor paso a paso bipolar junto con la tarjeta Arduino Mega 2560 R3 en la figura 3.5 es el siguiente:

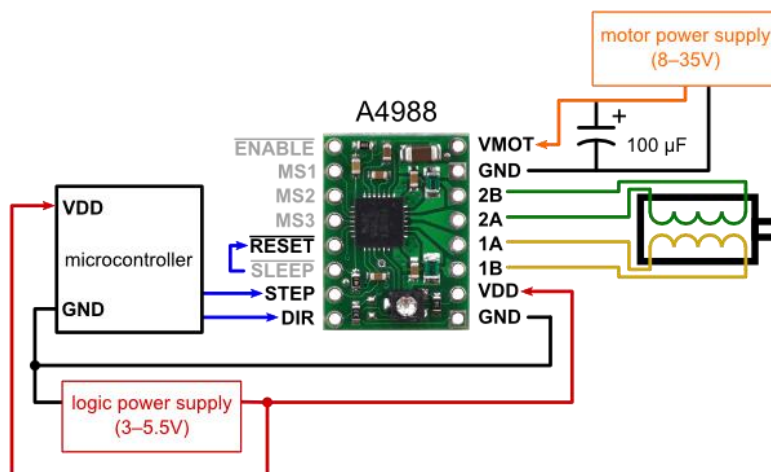


Figura 3.5 Esquema de conexión de A4988, (Pololu, 2001)

3.3 Motores paso a paso

Los motores paso a paso son precisos en cuanto al control de posición y ángulo de giro que tienen, cuando las bobinas son excitadas con la corriente necesaria para su funcionamiento. Esta precisión, es necesaria para el deslizador automático, ya que se necesita de cierta distancia para recorrer el deslizador con una velocidad constante y precisa, para realizar las fotografías al espacio u objeto que se requiere observar con la técnica *time-lapse*.

Estos motores son unipolares y bipolares, la utilización de un motor paso bipolar, tiene como importancia utilizar el controlador A4988 que permite controlar la dirección de giro y los pulsos digitales o PWM, para que la excitación de las bobinas tenga la secuencia respectiva y funcione correctamente.

3.3.1 Motor paso a paso de 9 kg-cm (125 oz-in) NEMA 23

Este motor híbrido de alto par tiene un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos / revolución) anexo 5. Cada fase de 2 A y 3.6 V, permite un par o torque de 9 kg-cm (125 oz-in). El motor tiene seis cables, utilizando cuatro de ellos respectivamente de cada bobina y así configurando al motor como bipolar. El controlador A4988 permite conectar un motor paso a paso bipolar, los dos cables de toma central pueden dejarse desconectados, el primer par es la bobina A y el segundo par es bobina B. Se recomienda su uso como motor paso a paso bipolar debido a que se mantiene el torque y existe mayor anclaje debido a los bobinados. (Pololu, 2001)



Figura 3.6 Stepper Motor: Unipolar/Bipolar 9 kg-cm, (Pololu, 2001)

El torque de este motor es de 9 kg-cm, debido al peso que tiene todo el conjunto cinematográfico antes mencionado, que es de 8 kg, incluido el peso de los rodamientos lineales de bola y la placa base donde será ubicado el equipo fotográfico, este motor de la figura 3.6 cumplirá la función de arrastre de sistema guía lineal y todo el equipo.

3.3.2 Motor paso a paso de 5 kg-cm (69 oz-in) NEMA 23

El segundo motor híbrido, de par o torque de 5 kg-cm, tiene un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos / revolución) anexo 4. Cada fase de 2 A y 3.6 V, permite un par o torque de 5 kg-cm (70 oz-in). La conexión de este motor es la misma que el anterior y se recomienda su uso como motor paso a paso bipolar debido a que se mantiene el torque y existe mayor anclaje debido a los embobinados.



Figura 3.7 Stepper Motor: Unipolar/Bipolar 5 kg-cm, (Pololu, 2001)

Este motor de la figura 3.7 tendrá menor peso que soportar para el movimiento rotacional, debido a la suma de la masa de todos los elementos para realizar los *time-lapse* es de 5 kg. Estos motores son NEMA 23, es decir las dimensiones son proporcionales tanto el ancho como el largo, y se denominan así cuando tienen un torque mayor o igual a los 5 kg-cm.

3.4 Pantalla TFT Touch Shield V2

Esta pantalla táctil de la figura 3.8 es compatible con el Arduino Mega 2560 R3, a través de esta interfaz se puede crear un menú de selección para el movimiento que va a realizar el deslizar automático, definiendo los parámetros de velocidad, posición o distancia para que se mueva el sistema guía lineal. Esta pantalla será de mayor utilidad para el cineasta debido a la facilidad de seleccionar cada variable y movimiento.



Figura 3.8 2.8" TFT Touch Shield V2, (Adafruit, 2016)

3.4.1 Características de la pantalla TFT Touch

Esta pantalla es compatible con Arduino UNO, Mega 2560 R3 y Leonardo, a continuación se detallan las principales características:

- Pantalla TFT táctil de 2.8" resistiva
- Resolución 240x320, 18-bit (262,000) color
- Controlador ILI9341
- Controlador táctil STMPE610
- Display SPI de alta velocidad con driver táctil digital SPI
- El voltaje de alimentación es de 5v

3.4.2 Librerías para pantalla táctil

Como controlador de la pantalla tenemos ILI9341, para este controlador se requiere de tres librerías, Adafruit_GFX.h anexo 10; que sirve para los gráficos, Adafruit_TFTLCD.h anexo 11; que sirve para activar la LCD y TouchScreen.h que activa la tactilidad de la pantalla. Todas estas librerías son compatibles con la tarjeta microcontroladora a utilizar para su respectivo funcionamiento. Esta pantalla se conecta a 5V y 3.3V directamente al Arduino Mega 2560 R3, por la importancia de la fuente alimentación para todo el sistema electrónico.

3.5 Fuente de alimentación directa y recargable DC

La principal observación, es la alimentación de los controladores A4988 y la pantalla táctil, que será a través del Arduino con un voltaje de 5V. Luego la alimentación de los motores a través del controlador pololu, que tiene un rango de voltaje de 8V a los 35V. Con los voltajes que trabajan los drivers A4988, la pantalla táctil, el Arduino Mega 2560 R3 y los motores, la alimentación eléctrica de todo el sistema electrónico es posible ser alimentada por dos opciones: la primera por un adaptador AD - DC como se muestra en la figura 3.9; y como segunda alternativa una batería Lipo recargable que se observa en la figura 3.10.

3.5.1 Cargador de corriente directa AC-DC

Este cargador de alimentación AC-DC tiene las características eléctricas de entrada: AC 100-240V 50/60Hz 1.5A, y una salida: DC 15V 4A 60W, que permite conectar directamente al Arduino, y a la salida del cargador realizar una conexión en paralelo para la alimentar al motor en a través de los pines del controlador A4988 y conectar también la tarjeta microcontroladora. Este adaptador de la figura 3.9, sirve para la alimentación del GoolRC B6 Mini cargador / descargador de balance profesional para LiPo Lilon LiFe NiCd NiMh Pb Batería RC, que será utilizado para cargar la batería LiPo, más adelante se detallará su funcionamiento.



Figura 3.9 Adaptador SKYRC, (Amazon, 2016)

3.5.2 Batería recargable Floureon Lipo

La batería recargable de la figura 3.10, tiene la capacidad eléctrica para usarle en el deslizador automático, este será utilizado cuando no haya toma corriente para conectar el cargador AC-DC.



Figura 3.10 Batería Lipo 3S 30C 11.1V 4500mmAh, (Floureon, 2005)

La carga total del sistema electrónico del deslizador automático es de 3A, esto valor comprende la carga de cada motor, la pantalla, los controladores A4988. Tiene la suficiente capacidad eléctrica para alimentar el circuito, con una tolerancia de 1.5A, permitiendo un mayor tiempo de duración de la batería. En esta batería se debe tener su cuidado al ser utilizada, respecto al voltaje de descarga de cada celda.

3.5.2.1 Observaciones de la batería LiPo

Como se mencionó anteriormente, la batería LiPo tiene un rango de descarga y carga para su adecuado funcionamiento. Las baterías LiPo tienen varias celdas conectadas en serie o paralelo para obtener mayor voltaje o mayor corriente. Esta batería tiene tres celdas (3S), conectadas en serie, con el voltaje de 11.1 V y corriente de 4500 mAh que tiene como denominación esta batería. Las siguientes advertencias, usos comunes y observaciones para el uso adecuado de la batería LiPo y evitar cualquier inconveniente en el anexo 1.

3.5.3 GoolRC B6 Mini cargador / descargador de balance profesional

Este cargador / descargador, se utiliza para algunos tipos de batería como son: LiPo, Lilon, LiFe, NiCd, NiMh y Pb, para su utilidad nos permite conectar la batería LiPo de 3S celdas, 11.1V y 4500mAh. La batería con estas características tiene la capacidad de carga necesaria para la alimentación del sistema electrónico del deslizador automático, para lo cual se requiere de este

balanceador para poderla cargar o cuando no se use la batería, cada celda dejarle en un voltaje de 3.3 V para evitar el daño de la batería.

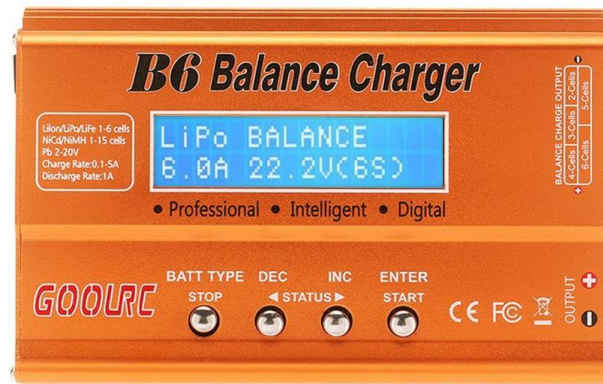


Figura 3.11 GoolRC B6 Mini Professional Balance Charger/Discharger, (Amazon, 2016)

El adaptador de la figura 3.9, sirve para la alimentación de este balanceador de baterías LiPo, y que a la vez sirve para conectar al sistema electrónico del deslizador automático a toma corriente, teniendo así las dos alternativas de alimentación: directa y batería recargable. Este mini balanceador de la figura 3.11, trae sus diferentes tipos de cables para conectar las baterías y poder cargar, además el respectivo manual para su uso adecuado.

3.6 Diagrama de conexiones del sistema de control y electrónico

En la figura 3.12 se observa la conexión de la pantalla y los drivers A4988, con los pines correspondientes para el correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos.

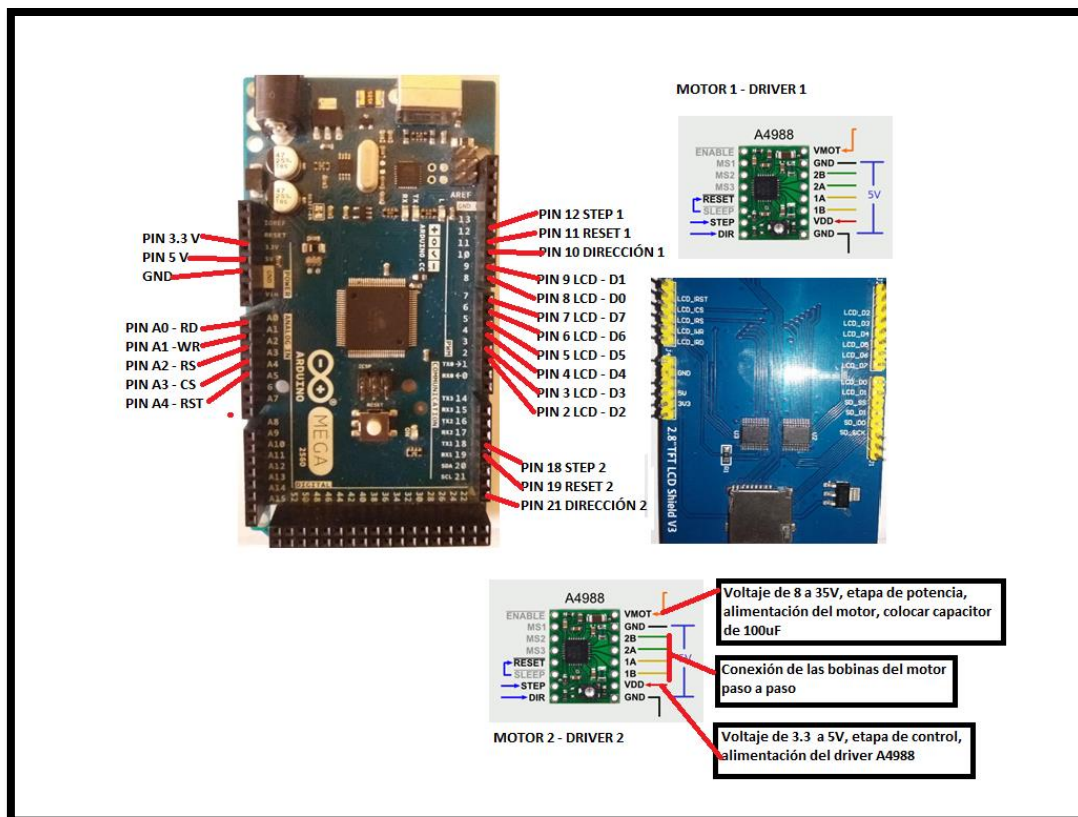


Figura 3. 12 Esquema de conexión del sistema electrónico, Autor

La alimentación del Arduino Mega 2560 y del driver A4988, comprende la etapa de control, que se conecta a 9V el Arduino y a 5 v los controladores A4988; la otra parte del diagrama presenta las bobinas conectadas al driver y la alimentación del motor es de 8 a 35V, esto se conoce como la etapa de potencia. Se observa también los pines correspondientes a cada driver para su respectivo motor, que son: dirección, step, reset.

3.7 Diagrama de bloques del sistema de control

El diagrama de bloques presentado en la figura 3.13, indica las dos etapas: control y potencia; indicando como los voltajes de alimentación para cada etapa, luego indicando como seleccionar el movimiento, ingresar las variables y por último dar click en la palabra del movimiento seleccionado.

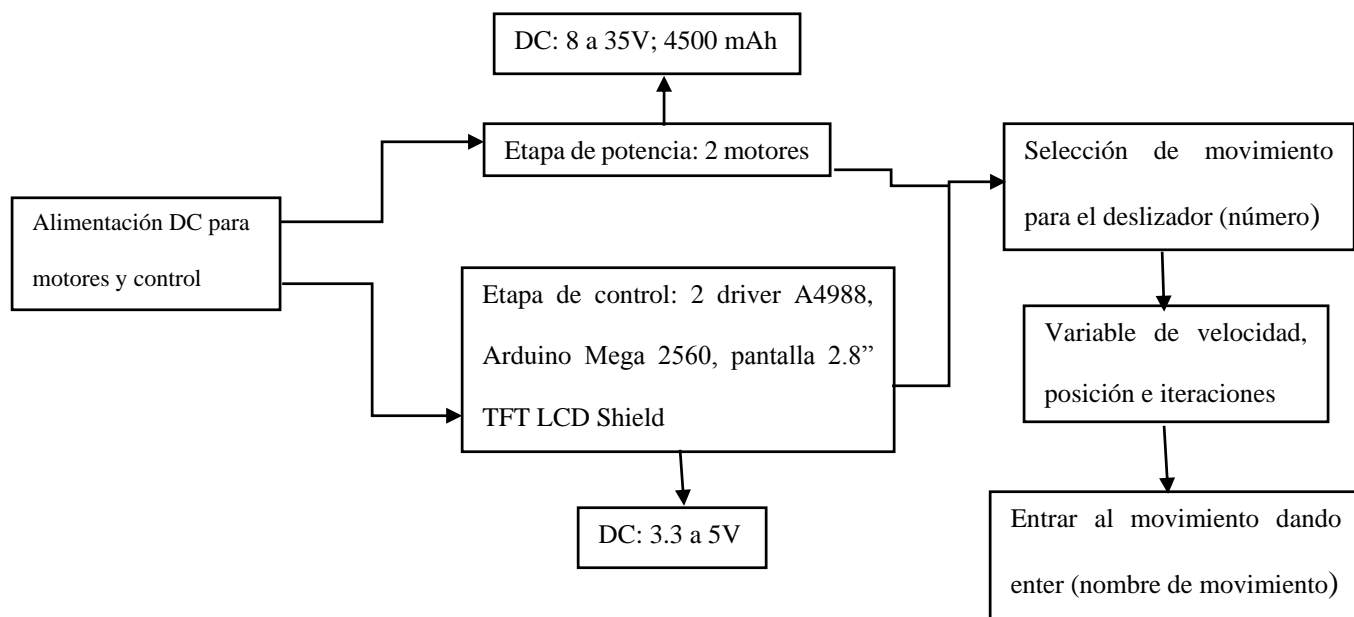


Figura 3. 13 Diagrama de bloques del control, Autor

En el anexo 12 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control del deslizador automático.

Capítulo 4. Pruebas, conclusiones y recomendaciones

4.1 Pruebas, análisis y resultados

Las pruebas, análisis y resultados de este deslizador permitirán tener una visión global del correcto funcionamiento y comparación con el deslizador que tiene la empresa. Además los resultados de los videos, se realiza un análisis subjetivo de las tomas realizadas respecto a la calidad visual que ofrecerá el trabajo final para la percepción del ser humano, además tener menor vibración o inestabilidad de la que se tiene en el trípode.

4.1.1 Pruebas

En las pruebas hechas con el deslizador automático, se obtuvieron los aspectos principales que se relacionan a continuación:

- Precisión al finalizar el movimiento
- Fluidez del carro que transporta la cámara para realizar el trabajo
- Varios tipos de velocidades para los dos movimientos que realizan los motores
- Exactitud en la posición del deslizador en los ejes guías
- Gran calidad de fotografías y videos terminados con la respectiva edición del trabajo hecho


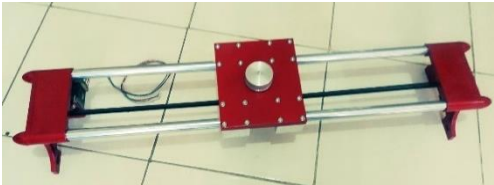
Los parámetros de comparación con el deslizador de la empresa, permite tener una comparación respecto al mecanismo, control y forma de alimentación para la parte de potencia que son los dos motores y la parte de control que comprende la tarjeta microcontroladora y los controladores A4988.

4.1.2 Análisis y resultados

Para el análisis del deslizador automático diseñado y construido, se hace una comparación con el deslizador de la empresa HOMO DEMENS FILM, en cuanto a los resultados de los trabajos de fotografía y video, es respecto a la velocidad para la toma de fotogramas. Esta tabla 4.1 de

comparación del deslizador de la empresa con el deslizador diseñado representa la diferencia de las características principales para su correcto funcionamiento, cumpliendo así la calidad de trabajos de cinematografía.

Tabla 4. 1 Características principales de los deslidores

Deslizador de la empresa (Movo WMS80 37")	Deslizador diseñado
<ul style="list-style-type: none"> - Tiene control manual para mover el deslizador, siempre presionando la palanca de dirección - Para poner la velocidad, se realiza girando una perilla y así se selecciona la velocidad - Tienes pocas velocidades para mover el deslizador - No tiene un control de posición automático - Tiene alimentación de corriente directa y batería. - Estructura pesada 	<ul style="list-style-type: none"> - Dos tipos de control, manual y automático - Interfaz con pantalla táctil para mejor manejo del cineasta - Cuatro movimientos que son: deslizarse, ciclos repetitivos en sentido horizontal, rotacional y combinado (deslizarse y rotar) - Posición manual y automática del carro en los ejes - Varias velocidades, que corresponde desde las más bajas hasta la más rápida - Tiene dos motores paso a paso para precisión de los movimientos - Alimentación de corriente directa y batería recargable con mayor duración - Control de voltaje para la batería recargable - Fluidez del carro sobre los ejes guías - Estructura más liviana 

Estas fotografías hechas por el deslizador automático son en el circo social de Quito de la Fundación Reina de Quito. Luego de ser editadas y utilizadas en un video, se tiene una visión del proceso de *time-lapse*, teniendo la calidad requerida para los trabajos realizados por el deslizador y editados por la empresa HOMO DEMENS FILM.

4.2 Conclusiones

- La precisión y exactitud es lo primordial en el deslizador, ya que los rodamientos de bola lineal se deslizan por los ejes guías con facilidad, la carga de 80 N soporta el eje seleccionado; evitando una deflexión del eje.
- Los soportes de apoyo son fundamentales para el equilibrio del deslizador para evitar una caída del mismo y sobre todo darle una certeza de seguridad para la cámara con la cual trabajan las empresas de cinematografía.
- El control del deslizador se realizó con la tarjeta Arduino Mega 2560 junto con la plataforma de programación y para cada motor se utilizó un driver A4988, estos dos elementos electrónicos sirven para el control de la dirección y los micro pasos que requiere el motor para su movimiento.
- La alimentación del sistema electrónico se divide en dos etapas: etapa de control y potencia; para esto se construyó una tarjeta para conectar la alimentación de los motores 8 a 35V y el control comprendido por: Arduino Mega 2560, driver A4988 y pantalla 2.8" TFT LCD Shield.
- La funcionalidad del deslizador automático, es adecuada para el propósito construido de realizar *time-lapse*, se tiene una velocidad fluida del carrete sobre los ejes y permite tener varios movimientos donde el cineasta puede tener varias opciones para realizar los trabajos de fotografía y video.

4.3 Recomendaciones

- El peso que soporta el deslizador automático es de 80 N, no se puede colocar un peso mayor a este debido a que el mecanismo está diseñado para estas características.

- Para los controladores A4988 de los motores paso a paso, siempre regular el voltaje de referencia para el paso de la corriente con el fin de evitar quemar el microchip y así tener un mejor control del motor.
- Evitar golpes bruscos o caídas fuertes de la batería LiPo, debido a que afecta a su funcionamiento y no permitir el contacto los pines para cargar la batería, ya que puede producirse un corto circuito, explotando la batería debido a la carga que posee.
- Separar la etapa de potencia y la etapa de control en el deslizador automático, para evitar pérdidas de ciertos elementos electrónicos.

Bibliografía

Adafruit. (2016). *Adafruit*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/1651>

Alonso, J. F., & Lowe, T. (2012). *Time lapse: la técnica que ha revolucionado la forma de ver el mundo*.

Amazon. (2016). Obtenido de https://www.amazon.com/Neewer-Shutter-Release-Remote-Control/dp/B003Q9RERY/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1478637256&sr=8-1&keywords=intervalometro

Arduino. (2016). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

- Bohman, I. (2016). Catálogo de productos. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Caldevilla, Luis-; Rodríguez, Luciano; Sanmartín, Alberto. (2014). *timelapses.tv*. Obtenido de <http://timelapses.tv/nosotros/>
- Canon. (2016). Obtenido de <https://www.usa.canon.com/internet/portal/us/home/products/details/cameras/dslr/eos-7d>
- Casado, Antonio. (24 de Mayo de 2009). *TIMELAPSES.ES*. Obtenido de <http://www.timelapses.es/blog/2009/05/introduccion-a-los-timelapses/>
- Copas, J. A. (2016). La Fibra de Carbono. *Academia*, 10.
- Digitalbox. (2016). Obtenido de <http://www.digitalbox.com.ec/fotografia-video/accesorios/tripodes>
- edelkrone. (2014). <https://www.edelkrone.com/>.
- Floureon. (2005). *Floureon*. Obtenido de <http://www.floureon.com/>
- Gear, Rhino Camera. (23 de Marzo de 2016). *Rhino Camera Gear*. Obtenido de <https://rhinocameragear.com/products/rhino-slider-core>
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de materiales*. México: Cengage Learning.
- Goldenhorn, S. (2015). *CALCULISTA DE ESTRUCTURAS. Hormigón armado, hierro, madera*. Buenos Aires: S.E.
- Gonzálvez, A. J., & Chuliá, F. V. (2016). *Diseño de máquinas*. Valencia, España: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA .
- ikancorp. (2015). Obtenido de <http://ikancorp.com/Downloads/SLD-31/SLD-31-OS.pdf>
- Jiménez, Daniel. (15 de Abril de 2015). *Xakata*. Obtenido de <http://www.xataka.com/fotografia-y-video/guia-completa-para-el-creador-de-time-lapses>
- mSlider. (2015). Obtenido de <http://www.mslider.com/es/>

- NBS, Sistemas lineales. (1 de Agosto de 2012). Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/2623/Sistemas-Lineales_NBS.pdf
- Ortolá, S. (17 de Abril de 2009). *INGENIERIADEMATERIALES*. Obtenido de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- Pololu. (2001). *Pololu Robotics & Electronics*. Obtenido de <https://www.pololu.com/product/1182>
- Pompa, P. (Febrero de 2012). *Supertobotica*. Obtenido de <http://www.superrobotica.com/slider.htm>
- Ramírez, e. G., Jiménez, G. S., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y actuadores*. México: Patria.
- Revo. (2016). Obtenido de https://www.bhphotovideo.com/spanish/c/product/1204480-REG/revo_rs_850af_v2_camera_track_slider_v2.html
- Saha, S. K. (2010). *Introducción a la robótica*. México: Mc Graw Hill.
- Shootools. (2016). Obtenido de <http://www.shootools.it/slider-pro-80-magnetic/9044>
- Sumit. (2016). Obtenido de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>
- Toledo, M., Arenas, M. M., Galán, J. J., Ramírez, L., Borja, S. M., Conde, A., & Monsalve, A. (2014). RESISTENCIA A FATIGA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075-T6 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ENSAYO Y ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO . *ResearchGate*, 1,2.

Anexo 1

DURALUMINIO

Duraluminio para moldes plásticos

► Cód. IBCA: PRODAX

Información general	Propiedades																																								
<p>Prodax es una aleación de aluminio de alta resistencia, laminado en caliente, que se entrega en barras redondas y placas, tratadas térmicamente. Las mismas son sometidas a una operación especial de entramiento en frío para el máximo alivio de tensiones. Dado su alta resistencia y buena estabilidad, Prodax se ha convertido en un material ampliamente utilizado en la industria de moldes y matrices. Condición de entrega: Tratado térmicamente a 150 - 160 Anel.</p> <p>Prodax posee las siguientes características, que lo hacen apropiado para distintos tipos de herramientas, especialmente moldes para plásticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Excelente mecanizado Altas velocidades de corte, tiempos de mecanizado reducidos, menor costo de herramienta, entregas más rápidas. ■ Bajo Peso Su bajo peso (aproximadamente la tercera parte del peso del acero), hace el manejo del herramienta más fácil y sencillo. Su baja inercia hace posible acelerar el tiempo de cierre y apertura de los moldes. ■ Alta Conductividad Térmica Se reduce el tiempo de los ciclos y se pueden utilizar sistemas de entramiento menos complicados. ■ Buena estabilidad La operación especial de alivio de tensiones garantiza una deformación mínima durante y luego del mecanizado. ■ Buena resistencia a la corrosión Buena resistencia contra ataques corrosivos en los plásticos habitualmente usados. ■ Adecuado para herramientas superficiales Prodax es adecuado para realizar acabado duro, cromado duro o níquelado, para incrementar su dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión. 	<p>Propiedades Fisicas</p> <p>Valores a temperatura ambiente, salvo donde se indique específicamente lo contrario.</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Densidad kg/m³ lbs/pulg³</td> <td>2900 0.102</td> </tr> <tr> <td>Módulo de elasticidad N/mm² PSI</td> <td>71 600 10.3 x 10⁶</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de expansión térmica por °C de 20 °C a 100 °C por °F (68 - 212 °F)</td> <td>23 x 10⁻⁶ 12.8 x 10⁻⁶</td> </tr> <tr> <td>Conductividad térmica W/m °C Btu pulg/pie °F</td> <td>166 1.152</td> </tr> <tr> <td>Coeficiente de expansión térmica J/Kg °C Btu/lb °F</td> <td>890 0.20</td> </tr> </tbody> </table> <p>Propiedades Mecánicas</p> <p>Resistencia a la tracción a temperatura ambiente</p> <p>Los valores de resistencia a la tracción, que por motivos prácticos se pueden comparar con los valores de resistencia a la compresión, deben tomarse como típicos.</p> <p>Valores a temperatura ambiente para distintos espesores de placa.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Placas (espesor) mm</th> <th>Resistencia a la tracción N/mm²</th> <th>Límite de fluencia N/mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>>10 - 50</td> <td>690</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td>>50 - 100</td> <td>670</td> <td>530</td> </tr> <tr> <td>>100 - 150</td> <td>660</td> <td>520</td> </tr> <tr> <td>>150 - 200</td> <td>658</td> <td>518</td> </tr> <tr> <td>>200 - 300</td> <td>650</td> <td>515</td> </tr> <tr> <td>barras redondas (diámetro) mm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>690</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>660</td> <td>520</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>670</td> <td>510</td> </tr> </tbody> </table> <p>Debe hacerse notar que las placas han sido testeadas transversalmente, mientras que las barras redondas lo han sido en forma longitudinal.</p>	Densidad kg/m ³ lbs/pulg ³	2900 0.102	Módulo de elasticidad N/mm ² PSI	71 600 10.3 x 10 ⁶	Coefficiente de expansión térmica por °C de 20 °C a 100 °C por °F (68 - 212 °F)	23 x 10 ⁻⁶ 12.8 x 10 ⁻⁶	Conductividad térmica W/m °C Btu pulg/pie °F	166 1.152	Coeficiente de expansión térmica J/Kg °C Btu/lb °F	890 0.20	Placas (espesor) mm	Resistencia a la tracción N/mm ²	Límite de fluencia N/mm ²	>10 - 50	690	550	>50 - 100	670	530	>100 - 150	660	520	>150 - 200	658	518	>200 - 300	650	515	barras redondas (diámetro) mm			20	690	550	100	660	520	200	670	510
Densidad kg/m ³ lbs/pulg ³	2900 0.102																																								
Módulo de elasticidad N/mm ² PSI	71 600 10.3 x 10 ⁶																																								
Coefficiente de expansión térmica por °C de 20 °C a 100 °C por °F (68 - 212 °F)	23 x 10 ⁻⁶ 12.8 x 10 ⁻⁶																																								
Conductividad térmica W/m °C Btu pulg/pie °F	166 1.152																																								
Coeficiente de expansión térmica J/Kg °C Btu/lb °F	890 0.20																																								
Placas (espesor) mm	Resistencia a la tracción N/mm ²	Límite de fluencia N/mm ²																																							
>10 - 50	690	550																																							
>50 - 100	670	530																																							
>100 - 150	660	520																																							
>150 - 200	658	518																																							
>200 - 300	650	515																																							
barras redondas (diámetro) mm																																									
20	690	550																																							
100	660	520																																							
200	670	510																																							
<p>Áreas de aplicación</p> <p>Las propiedades y características que ofrece Prodax lo hacen un material ideal para prototipos y para el molde de series cortas a medianas que estén expuestas a presiones altas o plásticos abrasivos. La considerable reducción en los tiempos de preparación de un molde, el menor costo de herramienta y los ciclos más cortos, significan valiosos ahorros tanto para el fabricante del molde, como para el usuario final, cuando se utiliza Prodax.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Áreas de aplicación</th> <th>Prototipos</th> <th>Serie cortas</th> <th>Serie Medianas</th> <th>Serie Largas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moldes de aplado</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>Fernado al vacío</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>Moldado de espuma</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>00</td> </tr> <tr> <td>Moldes</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>00</td> </tr> <tr> <td>Moldes de inyección de termoplásticos</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Moldes de goma</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Placas contenedoras y de apoyo, guía y sujetadores</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Áreas de aplicación	Prototipos	Serie cortas	Serie Medianas	Serie Largas	Moldes de aplado	x	x	x	x	Fernado al vacío	x	x	x	x	Moldado de espuma	x	x	x	00	Moldes	x	x	x	00	Moldes de inyección de termoplásticos	x	x	00		Moldes de goma	x	x			Placas contenedoras y de apoyo, guía y sujetadores					
Áreas de aplicación	Prototipos	Serie cortas	Serie Medianas	Serie Largas																																					
Moldes de aplado	x	x	x	x																																					
Fernado al vacío	x	x	x	x																																					
Moldado de espuma	x	x	x	00																																					
Moldes	x	x	x	00																																					
Moldes de inyección de termoplásticos	x	x	00																																						
Moldes de goma	x	x																																							
Placas contenedoras y de apoyo, guía y sujetadores																																									

Anexo 2

ACEROS

Aceros bonificados para maquinaria

► Cód. IBCA: 705 ≅ 34 CrNiMo6 ≅ AISI 4340 ≅ AISI 4337



Información general

705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templeabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templeabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requiere luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrado.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
34 CrNiMo6	0.30 - 0.36	≤ 0.30	0.60 - 0.80	0.025	0.025	1.30 - 1.70	1.30 - 1.70	0.15 - 0.30
AISI 4337	0.35 - 0.40	0.20 - 0.35	0.60 - 0.80	0.04	0.04	1.65 - 2.00	0.70 - 0.90	0.20 - 0.30
AISI 4340	0.35 - 0.45	0.15 - 0.35	0.60 - 0.80	0.03	0.04	1.65 - 2.00	0.70 - 0.90	0.20 - 0.30
Código de color	Dorado / Azul							
Equivalencias	AISI / SAE (4337 - 4340) Din (34CrNiMo6)			W.Nr (1.6562) JIS (SNCM1)		ARNOR (36NCD6)		

Aplicaciones

1.-Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes.
- Cardanes.
- Cigüeñales.
- Ejes de leva Tornillería de alta resistencia.

2.-Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árboles para trituradoras.
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones.
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitración.
- Barras de torsión.
- Mandriles.
- Puntaleros/mantas.

3.-Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

Propiedades mecánicas

En condición de suministro

Resistencia a la tracción	90 - 110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12 %
Reducción de área, Z	min 45 %
Resistencia al Impacto, EU	aprox. 20 J
Dureza	270 - 330 HB

Tratamiento térmico

Recocido blando

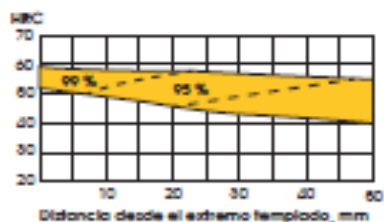
(650 - 700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

Alivio de tensiones

(550 - 650 °C): El acero templado fino deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

Temple

(830 - 880 °C). Con enfriamiento en aceite. El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y luego revenir inmediatamente.



► Cód. IBCA: 705 ≅ 34 CrNiMo6 ≅ AISI 4340 ≅ AISI 4337



Propiedades	Tratamiento térmico
<p>Revenido</p> <p>(500 - 700 °C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podrá ser de 1 - 2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. engranajes, deberán ser revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250 °C, lo que dará dureza de aproximadamente 500 HB.</p> <p>El gráfico muestra la dureza (HRC) en función de la temperatura de revenido (°C). El eje Y representa HRC de 0 a 70. El eje X representa la temperatura de revenido de 0 a 600 °C. La curva comienza en 62 HRC a 100 °C, se mantiene constante hasta 200 °C, y luego desciende hasta 45 HRC a 600 °C.</p>	<p>Nitruración</p> <p>Se pueden lograr durezas de alrededor de 63 - 66 HRC. El proceso duró entre 28 y 72 horas, por lo cual la planeación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.</p>

Medidas en stock			
Redondo			
Díámetro (mm)	Peso (kg/m)	Díámetro (mm)	Peso (kg/m)
20	2.8	90	81.0
22	3.0	100	89.8
25	3.9	110	99.2
28	4.9	115	103.3
30	5.7	120	107.7
32	6.5	125	112.1
35	7.7	130	116.8
38	9.1	135	121.8
40	10.1	140	126.8
45	12.8	150	141.8
50	16.8	160	161.3
55	19.1	170	182.1
60	22.7	180	204.1
65	26.6	200	282.0
70	30.9	230	333.3
75	35.4	250	390.8
80	40.3	300	567.0
85	45.8	350	771.8

* Medidas y pesos son teóricos. IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte.

Anexo 3



A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

Features and Benefits

- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full, $1/2$, $1/4$, $1/8$, and $1/16$

Package:

28-contact QFN
with exposed thermal pad
5 mm × 5 mm × 0.90 mm
(ET package)



Approximate size

Description

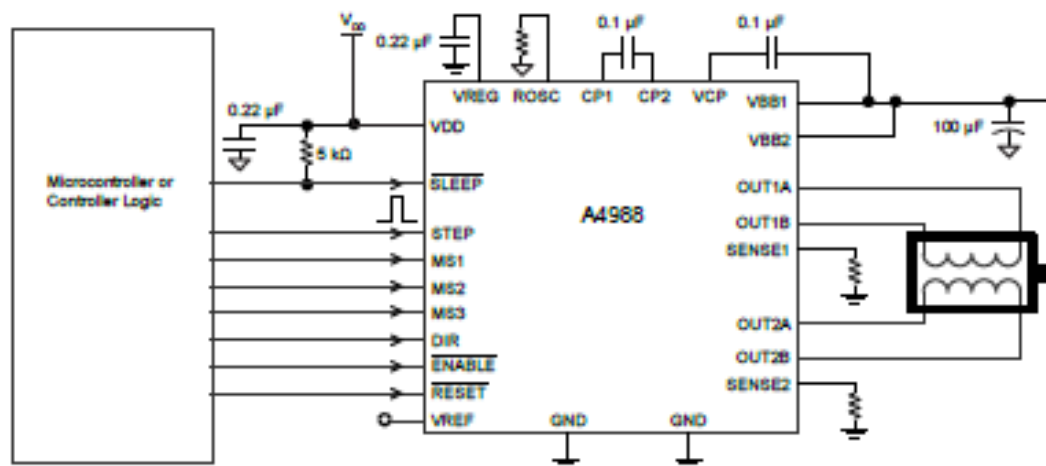
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and ≈ 2 A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

Continued on the next page...

Typical Application Diagram



A4988***DMOS Microstepping Driver with Translator
And Overcurrent Protection*****Description (continued)**

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

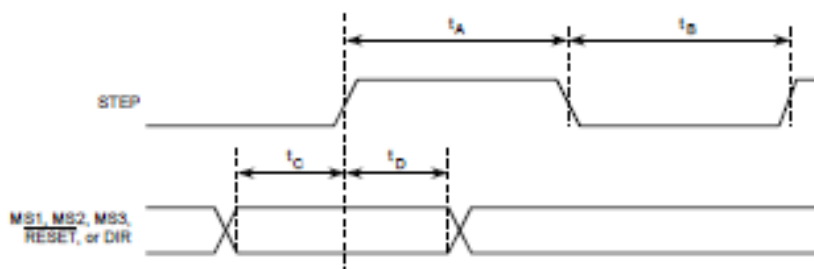
Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{DD}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		-0.3 to 5.5	V
Motor Outputs Voltage			-2.0 to 37	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		-0.5 to 0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range B	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-55 to 150	°C



A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection



Time Duration	Symbol	Typ.	Unit
STEP minimum, HIGH pulse width	t_A	1	μs
STEP minimum, LOW pulse width	t_B	1	μs
Setup time, input change to STEP	t_C	200	ns
Hold time, input change to STEP	t_D	200	ns

Figure 1: Logic Interface Timing Diagram

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northwest Court
Worcester, Massachusetts 01615-0026 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

Anexo 4

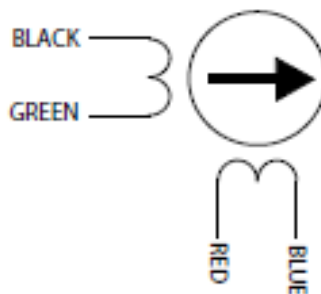
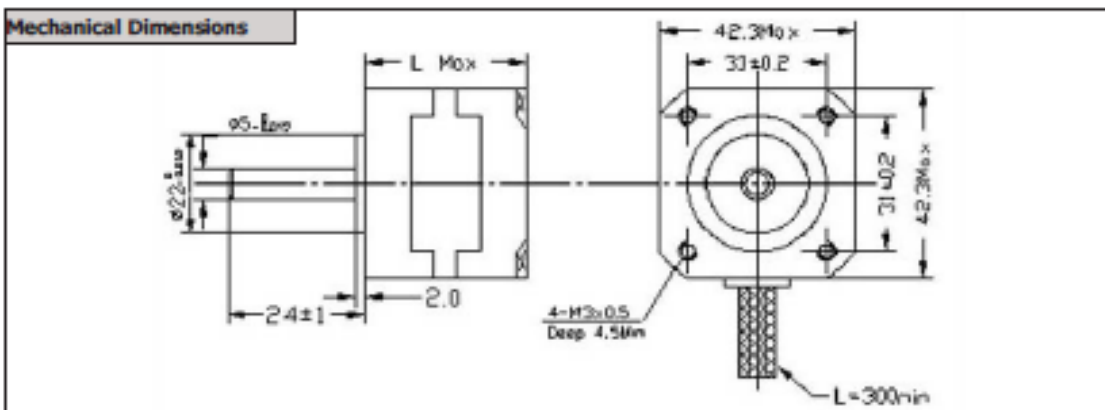
Wantai Mini Stepper Product Specifications

42BYGHW811

General Specifications	
Item	Specification
Step Accuracy	5%
Temperature Rise	80°C Max
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100MΩ Min., 500VDC
Dielectric Strength	500 VAC for one minute



Electrical Specifications											
Model No.	Step Angle	Motor Length	Rated Voltage	Rated Current	Phase Resistance	Phase Inductance	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Detent Torque	Weight
	°	mm	V	A	Ω	mH	g-cm		g-cm ²	g-cm	kg
42BYGHW811	1.8	48	3.1	2.5	1.25	1.8	4800	4	68	280	0.34



Anexo 5

DIMENSIONS

SPECIFICATIONS unit=mm

PHASE	相数	2 PHASE	COMMENT
STEP ANGLE	步距角	1.8±5% ° /STEP	
VOLTAGE	静电压	3.2V	
CURRENT	电流	2.0 A/PHASE	
RESISTANCE	电阻	1.6±10% Ω/PHASE	
INDUCTANCE	电感	5.5±20% mH/PHASE	
HOLDING TORQUE	静转矩	120 N.cm Min	
DETENT TORQUE	定位转矩	3.5 N.cm Max	
INSULATION CLASS	绝缘等级	B	
LEAD STYLE	引出线规格	AWG22 UL1007	
ROTOR TORQUE	转动惯量	280 g.cm ²	

图号											
图名											
日期											

更改号							
姓名							
日期							
设计	ANDY	2015.5.7					
审核							
工艺							
标准化							
批准							

57BYGH420-2		WANTAI MOTOR	
等级	标志	重量	比例
		1	共 张
技术规格书		www.wantmotor.com	

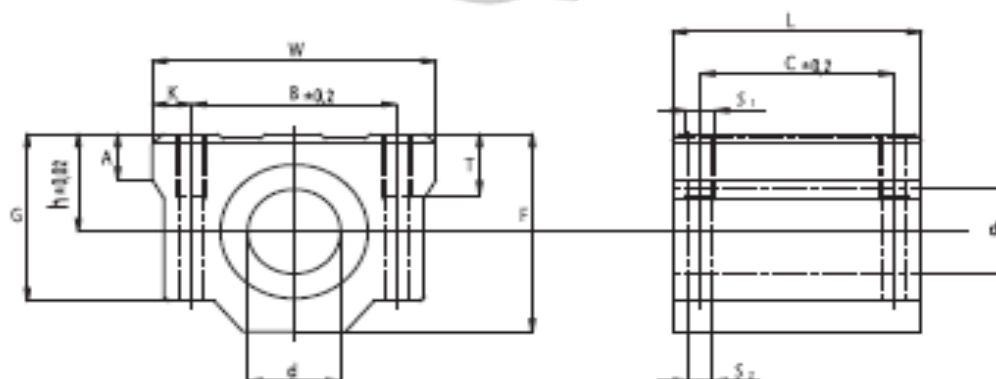
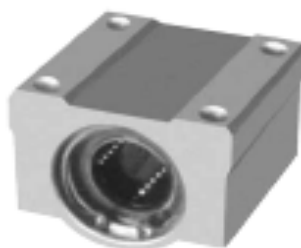
格式 (1)
制图: _____
审核: _____
数量: 34

Anexo 6



Soportes = Linear case units

SC



Tipo/legia Type	Peso Weight (kg)	d (mm)	W (mm)	F (mm)	L (mm)	h (mm)	G (mm)	T (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	K (mm)	S ₁ (mm)	S ₂ (mm)	Capacidad de Carga Load capacity rating (N)	
															C	C ₀
SC 08	0,056	8	34	22	30	11	18	6	5	24	18	5	M 4	3,4	280	400
SC 10	0,090	10	40	26	35	13	21	8	6	28	21	6	M 5	4,3	380	560
SC 12	0,112	12	44	30	36	15	25	12	8	33	26	5,75	M 5	4,3	420	610
SC 13	0,123	13	44	30	39	15	24,5	8	5,5	33	26	5,5	M 5	4,3	520	800
SC 16	0,189	16	50	38,5	44	19	32,5	9	7	36	34	7	M 5	4,3	790	1200
SC 20	0,237	20	54	42	50	21	35	11	7	40	40	7	M 6	5,2	900	1400
SC 25	0,555	25	76	51,5	67	26	42	12	11	54	50	11	M 8	6,8	1000	1600
SC 30	0,685	30	78	59,5	76	30	49	18	10	58	58	10	M 8	6,8	1600	2800
SC 35	1,100	35	90	68	80	34	54	18	10	70	60	10	M 8	6,8	1700	3200
SC 40	1,600	40	102	78	90	40	62	20	11	80	60	11	M10	8,6	2200	4100
SC 50	3,350	50	122	102	110	52	80	25	11	100	80	11	M10	8,6	3900	8100
SC 60	4,270	60	132	114	122	58	94	30	21	108	90	12	M12	10,7	4800	10200

Sigla de orden/Specification number:

SC - d - UU

[obturaciones a ambos lados / seals on both sides].

Sigla de orden/Specification number:

SC - d

[sin obturaciones / without seals].

SC - d - UU AS

[obturaciones a ambos lados et trou de lubrification / seals on both sides and oil hole].

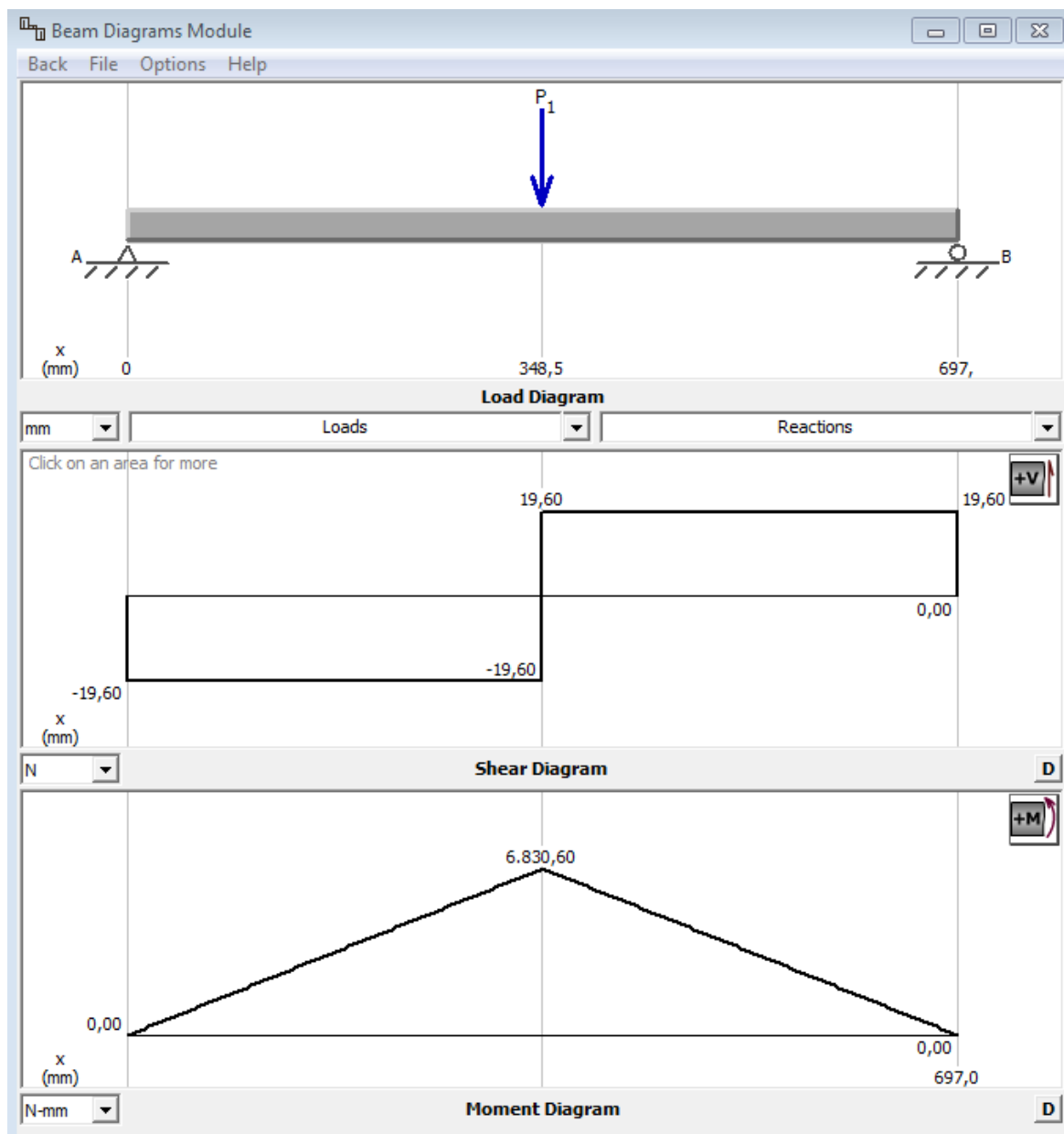
SC - d - AS

[sin obturaciones, avec trou de lubrification / without seals, with oil hole].

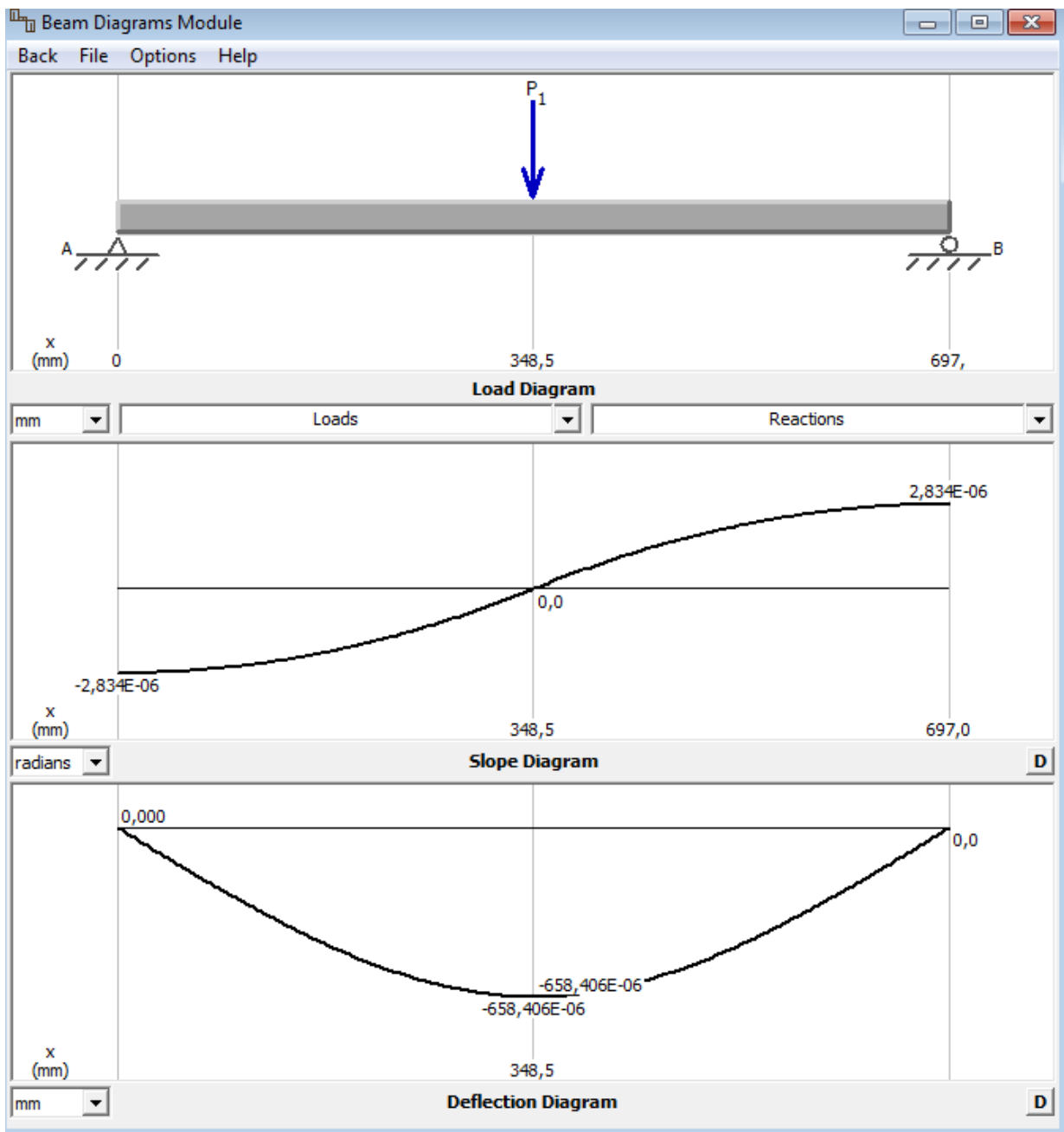
Ejemplo: SC 20 UU AS (modelo SC, diámetro eje 20 mm, obturaciones a ambos lados, agujero de lubricación).

Example: SC 20 UU AS (SC model, shaft diameter 20 mm, seals on both sides, with oil hole).

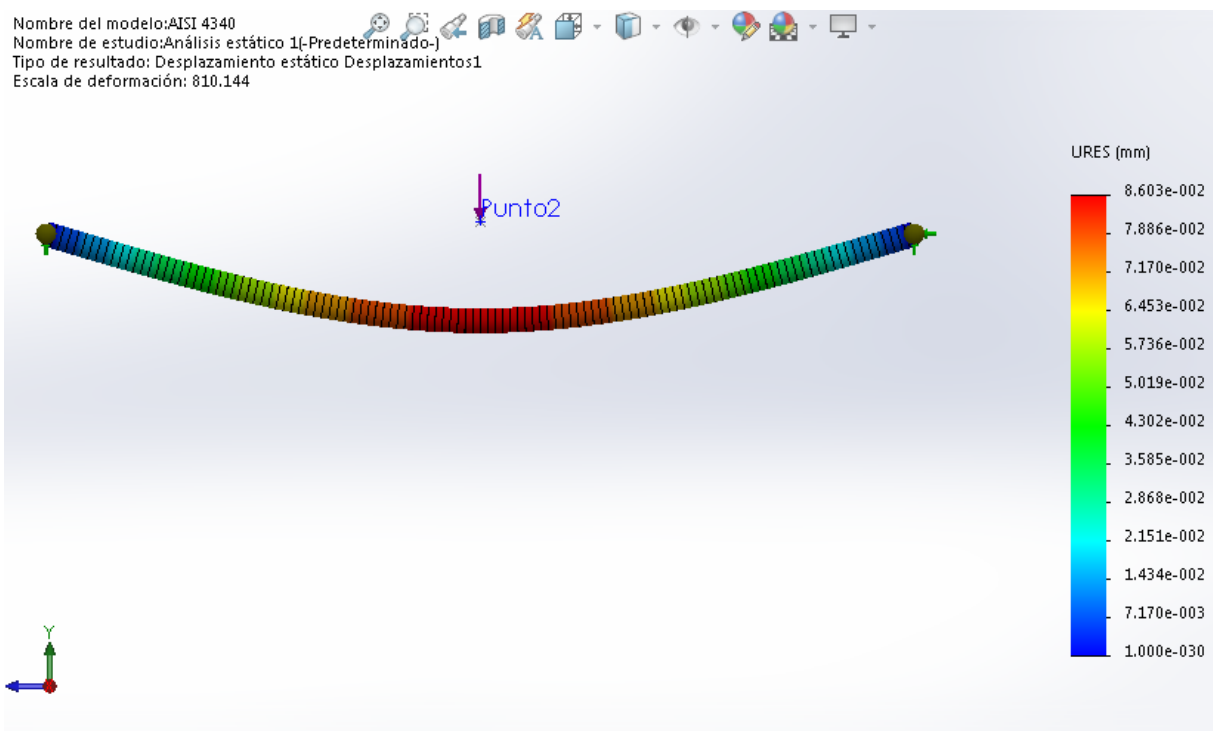
Anexo 7



Anexo 8



Anexo 9



En este anexo se observa como la deformación del eje es mínima, es decir a lo calculado que es de 0.084 mm, pero se observa rojo por lo que el valor está como carga concentrada en un punto.

Anexo 10

```

#ifndef _ADAFRUIT_GFX_H
#define _ADAFRUIT_GFX_H

#if ARDUINO >= 100
  #include "Arduino.h"
  #include "Print.h"
#else
  #include "WProgram.h"
#endif

#define swap(a, b) { int16_t t = a; a = b; b = t; }

class Adafruit_GFX : public Print {

public:

  Adafruit_GFX(int16_t w, int16_t h); // Constructor

  // This MUST be defined by the subclass:
  virtual void drawPixel(int16_t x, int16_t y, uint16_t color) = 0;

  // These MAY be overridden by the subclass to provide device-
  // specific
  // optimized code. Otherwise 'generic' versions are used.
  virtual void
    drawLine(int16_t x0, int16_t y0, int16_t x1, int16_t y1, uint16_t
color),
    drawFastVLine(int16_t x, int16_t y, int16_t h, uint16_t color),
    drawFastHLine(int16_t x, int16_t y, int16_t w, uint16_t color),
    drawRect(int16_t x, int16_t y, int16_t w, int16_t h, uint16_t
color),
    fillRect(int16_t x, int16_t y, int16_t w, int16_t h, uint16_t
color),
    fillScreen(uint16_t color),
    invertDisplay(boolean i);

  // These exist only with Adafruit_GFX (no subclass overrides)
  void
    drawCircle(int16_t x0, int16_t y0, int16_t r, uint16_t color),
    drawCircleHelper(int16_t x0, int16_t y0, int16_t r, uint8_t
cornername,
    uint16_t color),
    fillCircle(int16_t x0, int16_t y0, int16_t r, uint16_t color),
    fillCircleHelper(int16_t x0, int16_t y0, int16_t r, uint8_t
cornername,
    int16_t delta, uint16_t color),
    drawTriangle(int16_t x0, int16_t y0, int16_t x1, int16_t y1,
    int16_t x2, int16_t y2, uint16_t color),
    fillTriangle(int16_t x0, int16_t y0, int16_t x1, int16_t y1,

```

```

    int16_t x2, int16_t y2, uint16_t color),
drawRoundRect(int16_t x0, int16_t y0, int16_t w, int16_t h,
    int16_t radius, uint16_t color),
fillRoundRect(int16_t x0, int16_t y0, int16_t w, int16_t h,
    int16_t radius, uint16_t color),
drawBitmap(int16_t x, int16_t y, const uint8_t *bitmap,
    int16_t w, int16_t h, uint16_t color),
drawBitmap(int16_t x, int16_t y, const uint8_t *bitmap,
    int16_t w, int16_t h, uint16_t color, uint16_t bg),
drawXBitmap(int16_t x, int16_t y, const uint8_t *bitmap,
    int16_t w, int16_t h, uint16_t color),
drawChar(int16_t x, int16_t y, unsigned char c, uint16_t color,
    uint16_t bg, uint8_t size),
setCursor(int16_t x, int16_t y),
setTextColor(uint16_t c),
setTextColor(uint16_t c, uint16_t bg),
setTextSize(uint8_t s),
setTextWrap(boolean w),
setRotation(uint8_t r);

#if ARDUINO >= 100
    virtual size_t write(uint8_t);
#else
    virtual void    write(uint8_t);
#endif

    int16_t height(void) const;
    int16_t width(void) const;

    uint8_t getRotation(void) const;

protected:
    const int16_t
        WIDTH, HEIGHT;    // This is the 'raw' display w/h - never changes
    int16_t
        _width, _height, // Display w/h as modified by current rotation
        cursor_x, cursor_y;
    uint16_t
        textcolor, textbgcolor;
    uint8_t
        textsize,
        rotation;
    boolean
        wrap; // If set, 'wrap' text at right edge of display
};

#endif // _ADAFRUIT_GFX_H

```

Anexo 11

```
// IMPORTANT: SEE COMMENTS @ LINE 15 REGARDING SHIELD VS BREAKOUT
BOARD USAGE.

// Graphics library by ladyada/adafruit with init code from Rossum
// MIT license

#ifndef _ADAFRUIT_TFTLCD_H_
#define _ADAFRUIT_TFTLCD_H_

#if ARDUINO >= 100
#include "Arduino.h"
#else
#include "WProgram.h"
#endif

#include <Adafruit_GFX.h>

// **** IF USING THE LCD BREAKOUT BOARD, COMMENT OUT THIS NEXT LINE.
****
// **** IF USING THE LCD SHIELD, LEAVE THE LINE ENABLED:
****

//#define USE_ADAFRUIT_SHIELD_PINOUT 1

class Adafruit_TFTLCD : public Adafruit_GFX {

public:

  Adafruit_TFTLCD(uint8_t cs, uint8_t cd, uint8_t wr, uint8_t rd,
uint8_t rst);
  Adafruit_TFTLCD(void);

  void      begin(uint16_t id = 0x9325);
  void      drawPixel(int16_t x, int16_t y, uint16_t color);
  void      drawFastHLine(int16_t x0, int16_t y0, int16_t w, uint16_t
color);
  void      drawFastVLine(int16_t x0, int16_t y0, int16_t h, uint16_t
color);
  void      fillRect(int16_t x, int16_t y, int16_t w, int16_t h,
uint16_t c);
  void      fillScreen(uint16_t color);
  void      reset(void);
  void      setRegisters8(uint8_t *ptr, uint8_t n);
  void      setRegisters16(uint16_t *ptr, uint8_t n);
  void      setRotation(uint8_t x);
  // These methods are public in order for BMP examples to work:
  void      setAddrWindow(int x1, int y1, int x2, int y2);
  void      pushColors(uint16_t *data, uint8_t len, boolean first);
```

```

uint16_t color565(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b),
    readPixel(int16_t x, int16_t y),
    readID(void);
uint32_t readReg(uint8_t r);

private:

void    init(),
        // These items may have previously been defined as macros
        // in pin_magic.h.  If not, function versions are declared:
#ifdef write8
    write8(uint8_t value),
#endif
#ifdef setWriteDir
    setWriteDir(void),
#endif
#ifdef setReadDir
    setReadDir(void),
#endif
#ifdef writeRegister8
    writeRegister8(uint8_t a, uint8_t d),
#endif
#ifdef writeRegister16
    writeRegister16(uint16_t a, uint16_t d),
#endif
    writeRegister24(uint8_t a, uint32_t d),
    writeRegister32(uint8_t a, uint32_t d),
#ifdef writeRegisterPair
    writeRegisterPair(uint8_t aH, uint8_t aL, uint16_t d),
#endif
    setLR(void),
    flood(uint16_t color, uint32_t len);
uint8_t driver;

#ifdef read8
    uint8_t read8fn(void);
    #define read8isFunctionalized
#endif

#ifdef USE_ADAFRUIT_SHIELD_PINOUT

    #ifdef __AVR__
        volatile uint8_t *csPort    , *cdPort    , *wrPort    , *rdPort;
        uint8_t csPinSet  , cdPinSet  , wrPinSet  , rdPinSet
    ,
        csPinUnset, cdPinUnset, wrPinUnset,
rdPinUnset,
        _reset;
    #endif
    #if defined(__SAM3X8E__)
        Pio *csPort    , *cdPort    , *wrPort    , *rdPort;
        uint32_t csPinSet  , cdPinSet  , wrPinSet  , rdPinSet ,

```



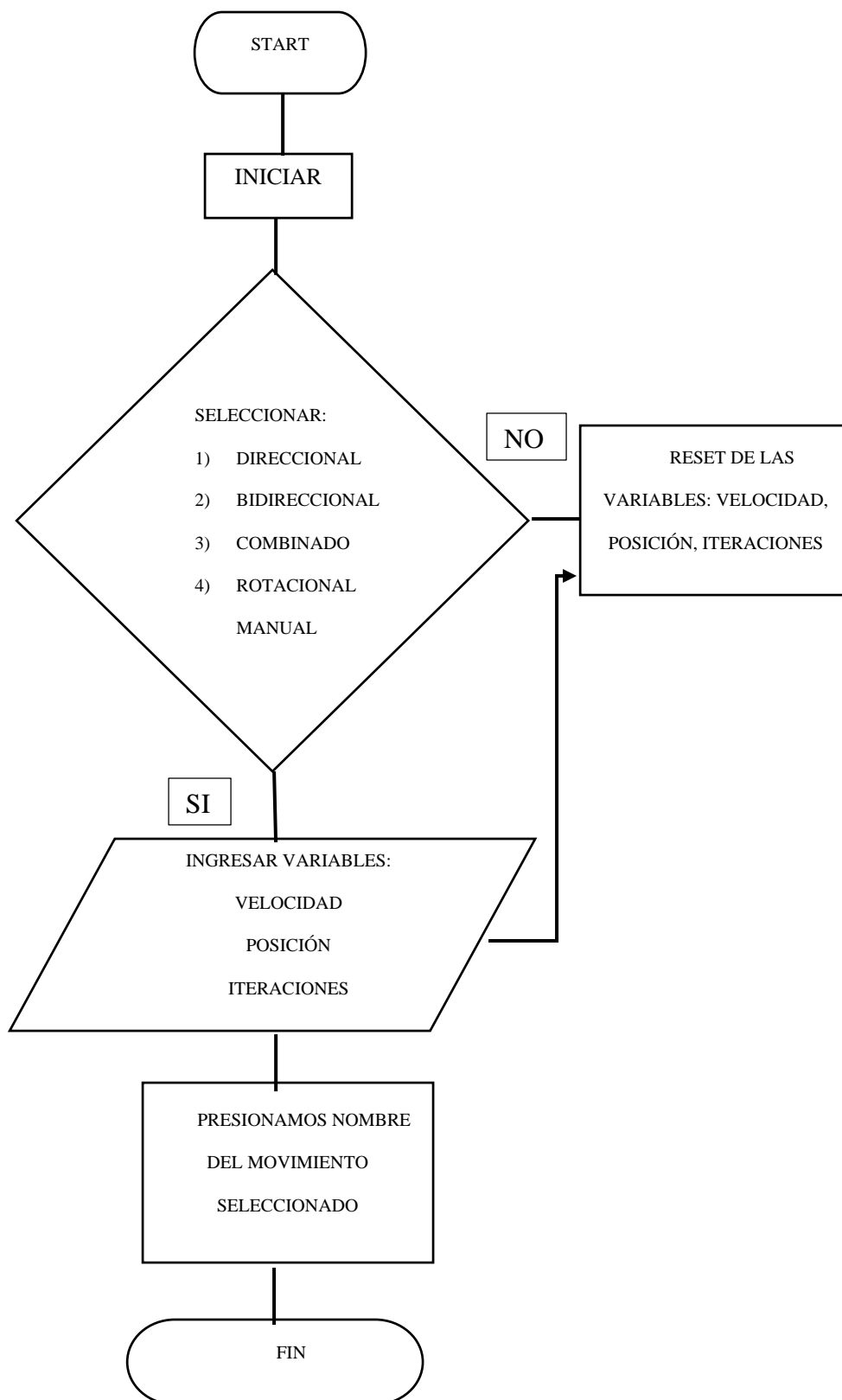
```
        csPinUnset, cdPinUnset, wrPinUnset, rdPinUnset,
        _reset;
#endif

#endif
};

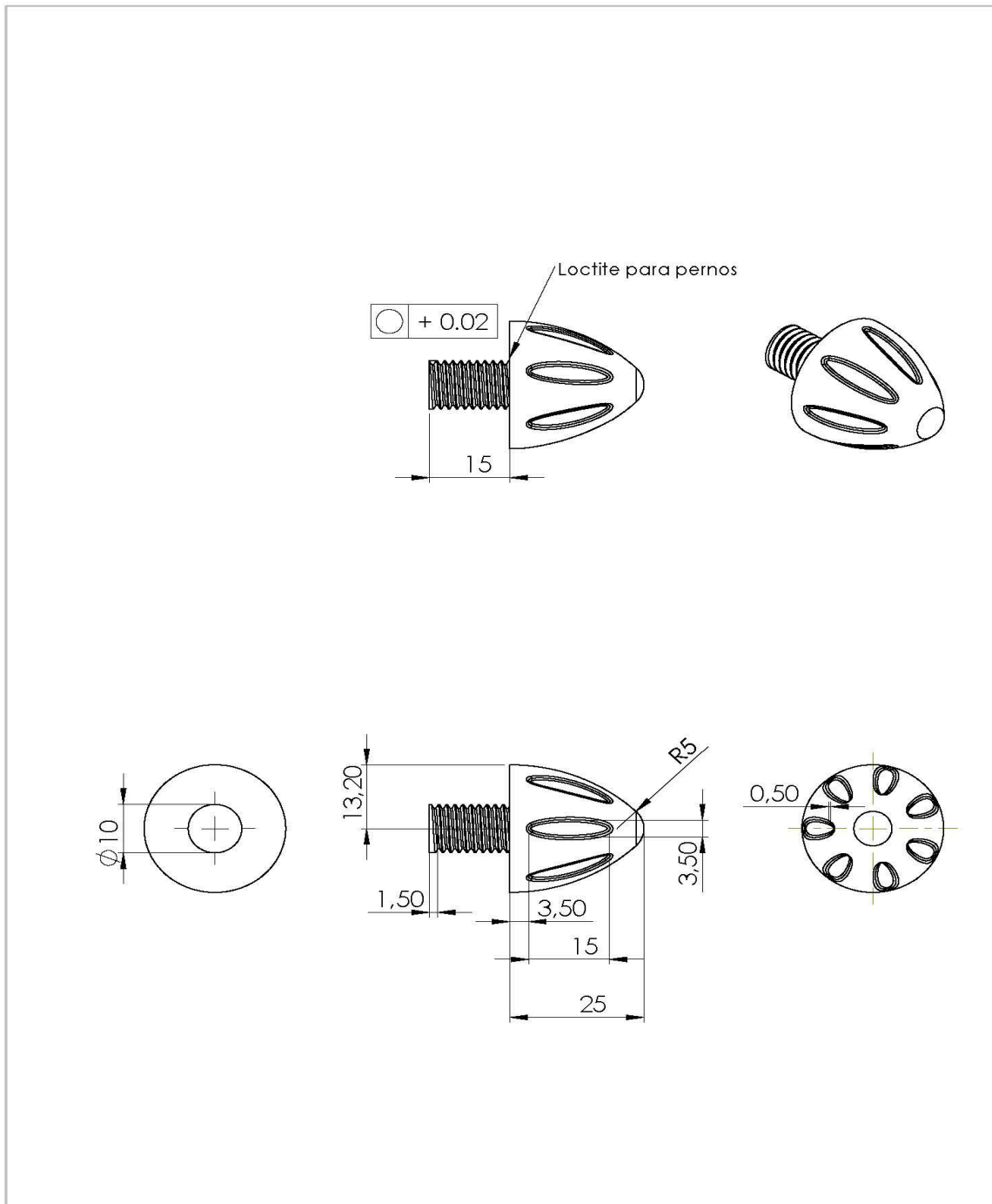
// For compatibility with sketches written for older versions of
// library.
// Color function name was changed to 'color565' for parity with 2.2"
LCD
// library.
#define Color565 color565

#endif
```

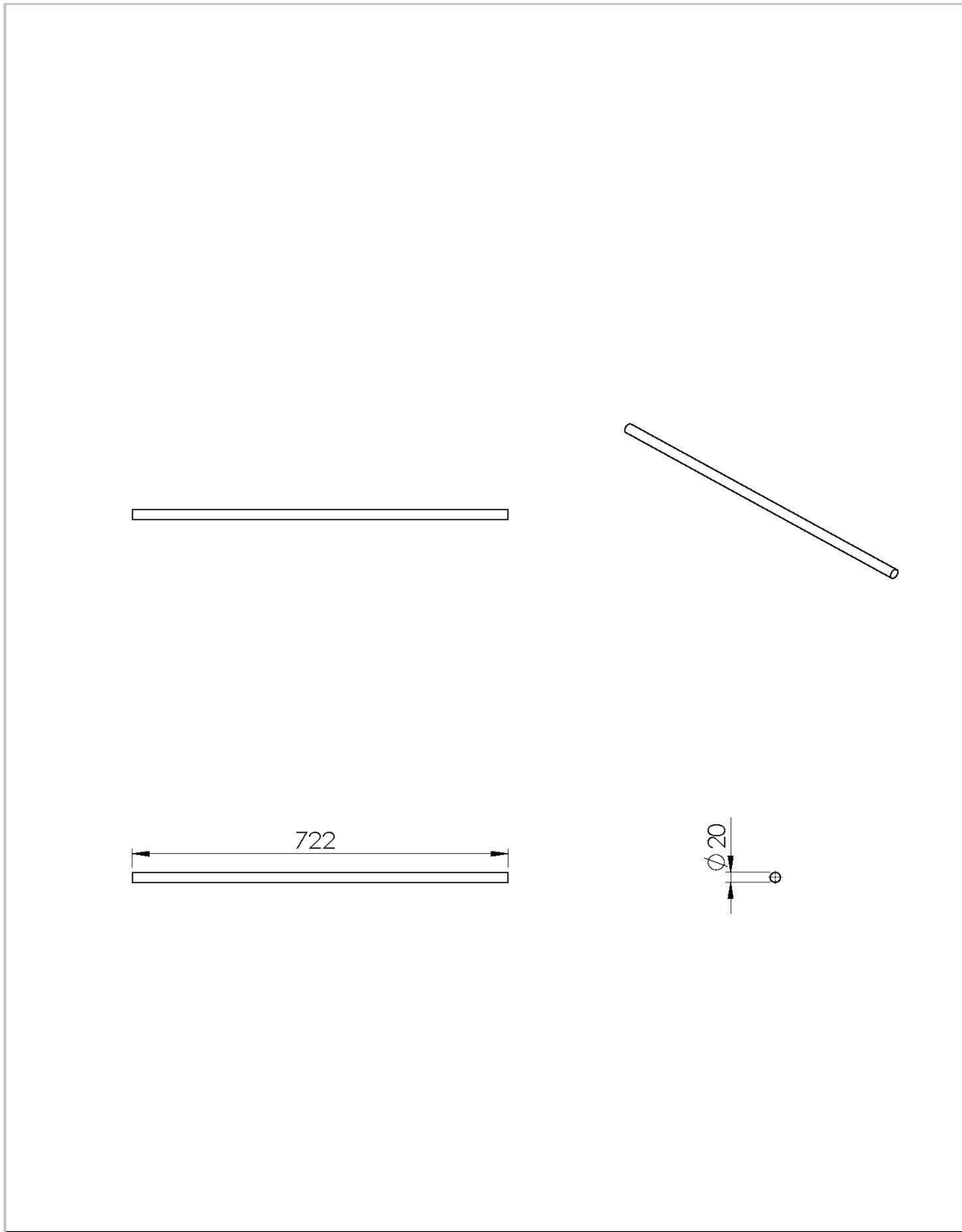
Anexo 12



Planos

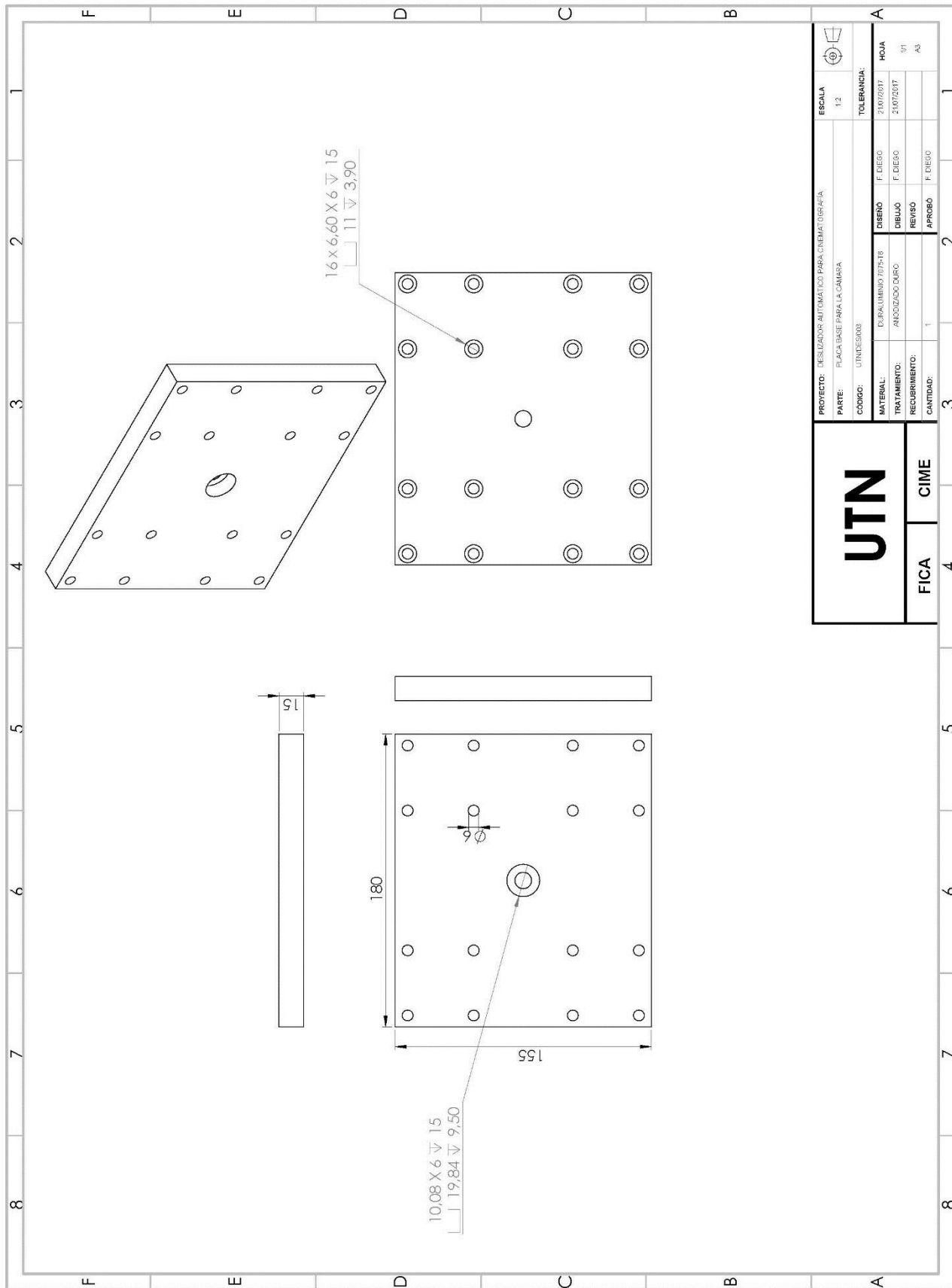


<h1>UTN</h1>	PROYECTO: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA				ESCALA	
	PARTE: PERNO DE SUJECIÓN				1:1	
CÓDIGO: UTN/DES/001				TOLERANCIA:		
MATERIAL:	DURALUMINIO 7075-T6	DISEÑO	F. DIEGO	19/07/2017	HOJA	
TRATAMIENTO:	ANODIZADO DURO	DIBUJÓ	F. DIEGO	19/07/2017	1/1	
RECUBRIMIENTO:		REVISÓ			A4	
CANTIDAD:	4	APROBÓ				
FICA	CIME					

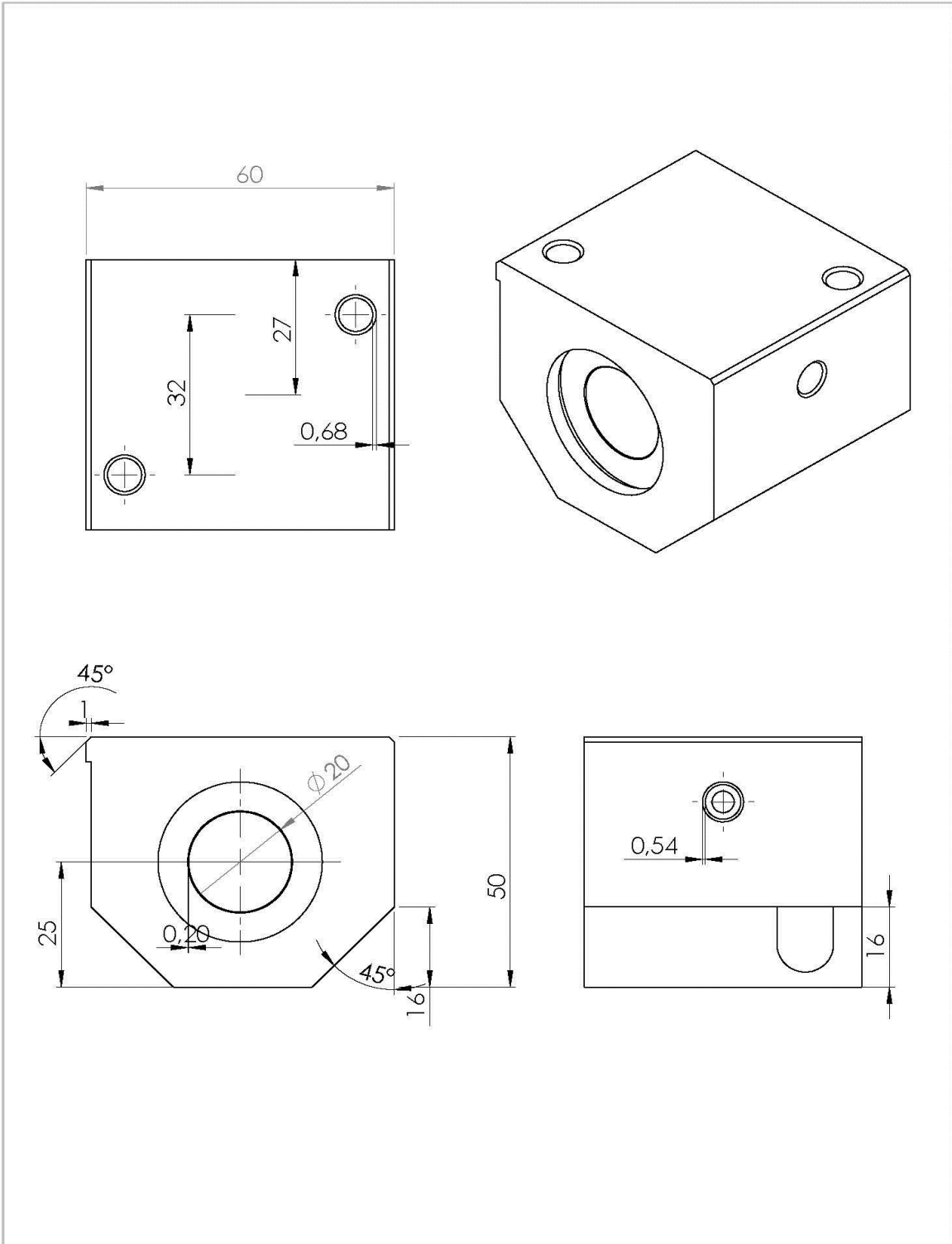


<h1>UTN</h1>	PROYECTO: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA				ESCALA	
	PARTE: EJE				1:10	
	CÓDIGO: UTN/DES/002				TOLERANCIA:	
	MATERIAL:	AISI 4340	DISEÑO	F. DIEGO	20/07/2017	HOJA
TRATAMIENTO:	TEMPLE - RECOCIDO	DIBUJÓ	F. DIEGO	20/07/2017		
RECUBRIMIENTO:		REVISÓ				
CANTIDAD:	2	APROBÓ				
FICA	CIME					1/1
						A4

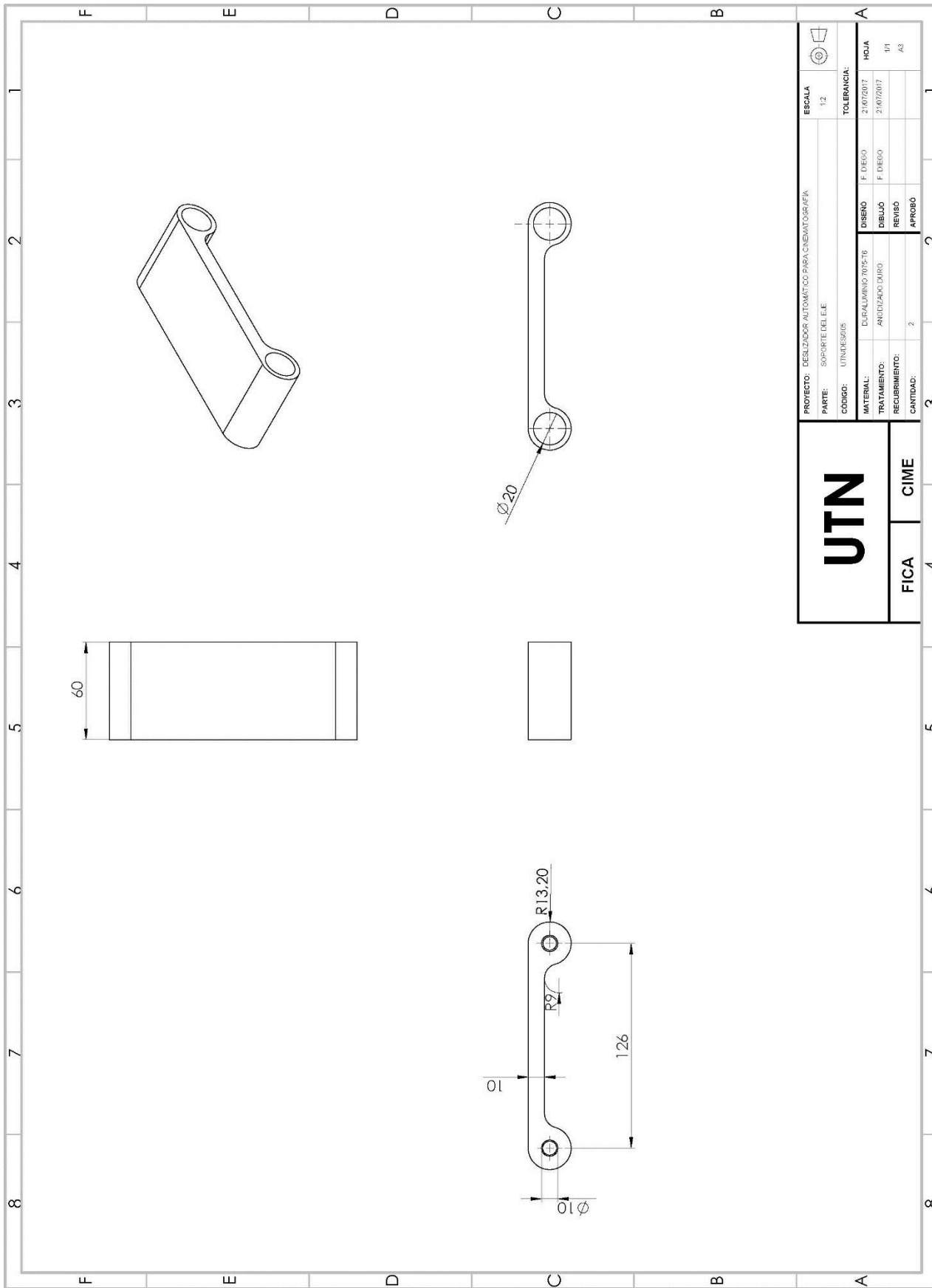


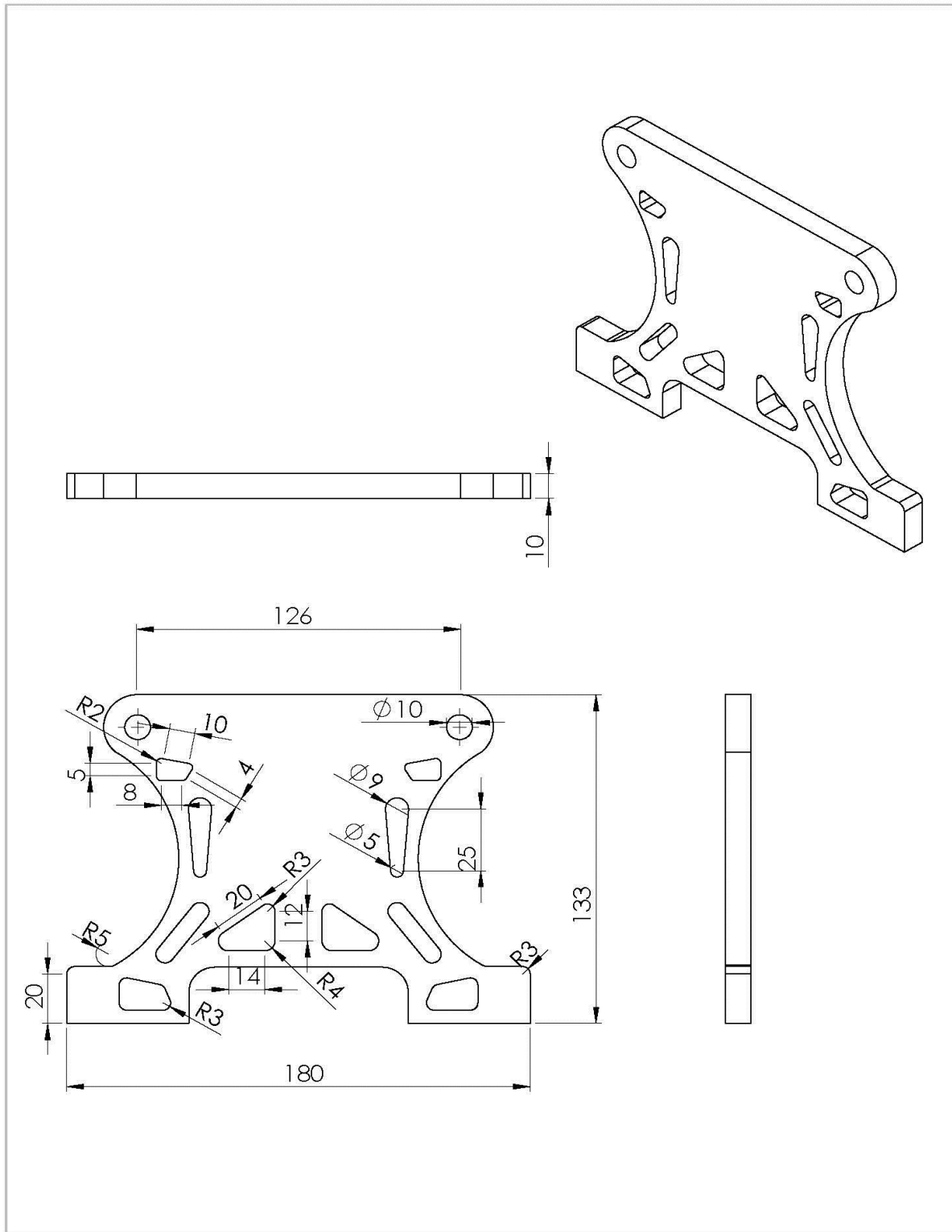


UTN		PROYECTO: RESULADOR AUTOMÁTICO PARA CÁMARA GRIFFIA		ESCALA: 1:2	
		PARTE: PLACA BASE PARA LA CÁMARA		TOLERANCIA: 21072017	
FICA		CÓDIGO: UTNDES003		HOJA	
		MATERIAL: ALUMINIO 7050-B		21072017	
CIME		TRATAMIENTO: ANODIZADO DURO		1/1	
		RECURRIMIENTO:		AS	
4		CANTIDAD: 1		APROBADO	
		3		2	

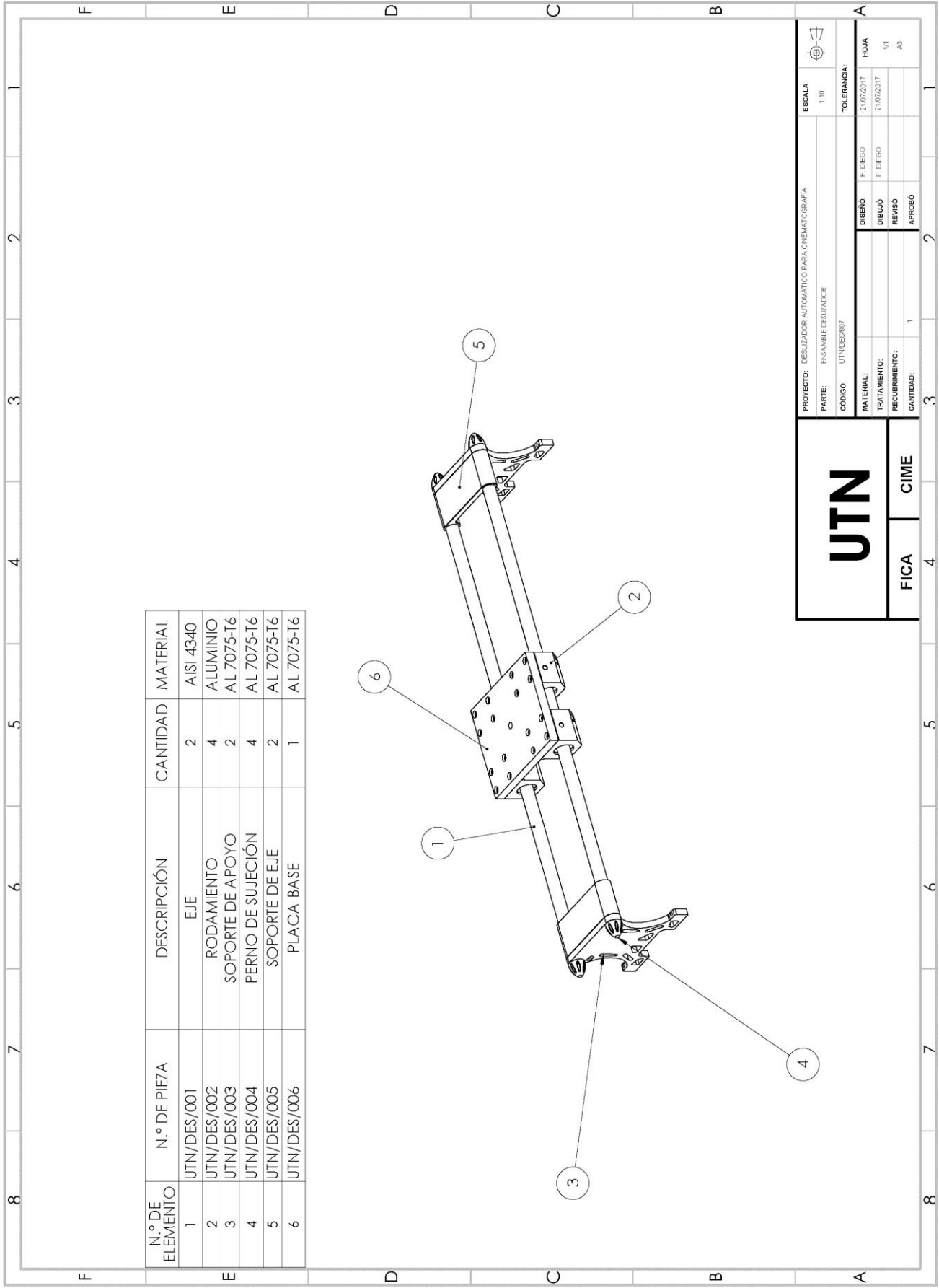


<h1>UTN</h1>		PROYECTO: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA			ESCALA		
		PARTE: RODAMIENTO LINEAL DE BOLA			1:1		
		CÓDIGO: UTN/DES/004			TOLERANCIA:		
		MATERIAL:	ALUMINIO	DISEÑO	F. DIEGO	21/07/2017	HOJA 1/1 A4
		TRATAMIENTO:		DIBUJÓ	F. DIEGO	21/07/2017	
		RECUBRIMIENTO:		REVISÓ			
		CANTIDAD:	4	APROBÓ	F. DIEGO		
FICA	CIME						





<h1>UTN</h1>	PROYECTO: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CINEMATOGRAFÍA				ESCALA	
	PARTE: SOPORTE DE APOYO				1:2	
CÓDIGO: UTN/DES/006				TOLERANCIA:		
MATERIAL: DURALUMINIO 7075-T6		DISEÑO	F. DIEGO	21/07/2017	HOJA	
TRATAMIENTO: ANODIZADO DURO		DIBUJÓ	F. DIEGO	21/07/2017	1/1	
RECUBRIMIENTO:		REVISÓ			A4	
CANTIDAD: 2		APROBÓ				
FICA	CIME					



UTN		PROYECTO: DESLIZADOR AUTOMÁTICO PARA CERMATOGRAFIA		ESCALA: 1:10
		PARTE: ENSAMBLE DESLIZADOR		TOLERANCIA: 1:10
FICA CIME		CODIGO: UTNDES007		DISEÑO: F. DIEGO
		MATERIAL: 21/07/2017		DIBUJO: F. DIEGO
1		RECUBRIMIENTO:		REVISO: 1/1
		CANTIDAD: 1		APROBÓ: AS