

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Mecatrónica

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DESLIZADOR GIRATORIO CON CONTROL BLUETOOTH  
PARA MEJORAR LA CAPTURA AUDIOVISUAL DE  
BARRIDO EN LA EMPRESA CP PRODUCCIONES  
AUDIOVISUALES S.A.C. LIMA - 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

**Autor:**

Pedro Arturo Pacherez Mamani

**Asesor:**

Mg. Eliseo Juan Zarate Perez

Lima - Perú

2021

## DEDICATORIA

El presente documento está dedicado a mi familia, por ser motivo de mi empeño constante, tanto en la etapa universitaria como a lo largo de la vida. Además, por los consejos y las recomendaciones con las que logré culminar este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis docentes por las enseñanzas en la etapa universitaria. A la Universidad Privada del Norte por recibirme y ser mi casa de estudios, por brindarme los conocimientos necesarios para formarme profesionalmente. A los docentes que me guiaron en el proceso de investigación; a la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C que brindó las facilidades para aplicar este proyecto de investigación y a mis amigos, por el apoyo mutuo.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 Realidad problemática.....	14
1.2 Formulación del problema.....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	19
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	19
1.4 Antecedentes .....	20
1.4.1 <i>Antecedentes Nacionales</i> .....	20
1.4.2 <i>Antecedentes Internacionales</i> .....	20
1.5 Hipótesis.....	22
1.5.1 <i>Hipótesis General</i> .....	22
1.5.2 <i>Hipótesis Específicas</i> .....	22
1.6 Marco Teórico .....	22
1.6.1 <i>Audiovisuales y técnicas fotográficas</i> .....	22
1.6.2 <i>Automatización de procesos</i> .....	23
1.7 Justificación.....	24
1.7.1 <i>Justificación Académica</i> .....	24
1.7.2 <i>Justificación Práctica</i> .....	24
1.7.3 <i>Justificación Valorativa</i> .....	25
1.7.4 <i>Justificación Legal</i> .....	25
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
2.1 Tipo de Investigación .....	26
2.2 Materiales, instrumentos y métodos. Población y Muestra.....	27
2.2.1 <i>Población</i> .....	27
2.2.2 <i>Muestra</i> .....	28
2.2.3 <i>Materiales</i> .....	29
2.2.4 <i>Instrumentos</i> .....	30
2.2.5 <i>Métodos</i> .....	30
2.2.6 <i>Técnicas de recolección y análisis de datos</i> .....	32

2.3 Procedimiento .....	34
2.3.1 <i>Determinación de Situación Actual</i> .....	34
2.3.2 <i>Estudio estructural y mecánico</i> .....	35
2.3.3 <i>Estudio de circuito electrónico</i> .....	64
2.3.4 <i>Diseño del control de movimiento</i> .....	87
2.3.5 <i>Costos del diseño y fabricación del sistema automático</i> .....	93
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>99</b>
3.1 Contrastación de hipótesis.....	99
3.1.1 <i>Alfa de Cronbach</i> .....	99
3.1.2 <i>Prueba De Normalidad</i> .....	100
3.1.3 <i>Contrastación de hipótesis</i> .....	101
3.2 Resultados específicos: .....	107
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>120</b>
4.1 Discusión.....	120
4.2 Conclusiones.....	121
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>126</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la variable 1. ....	26
Tabla 2: Operacionalización de la variable 2. ....	27
Tabla 3: Requerimientos del sistema. ....	31
Tabla 4: Ficha técnica del instrumento de recolección de datos. Variable V1. ....	32
Tabla 5: Ficha técnica del instrumento de recolección de datos. Variable V2. ....	33
Tabla 6: Características de materiales para construcción. ....	38
Tabla 7: Factor de Seguridad para pieza pitch. ....	42
Tabla 8: Deducción de cálculos de cadena. ....	63
Tabla 9: Características sistema de cadenas. ....	64
Tabla 10: Amperaje de alimentación para el deslizador. ....	68
Tabla 11: Componentes circuito electrónico deslizador. ....	70
Tabla 12: Voltaje y amperaje de base giratoria. ....	73
Tabla 13: Características fuente switching. ....	74
Tabla 14 Función lógica de base giratoria. ....	81
Tabla 15: Características transistor en saturación. ....	82
Tabla 16: Características transistor en corte. ....	83
Tabla 17: Duty Cycle para base giratoria. ....	83
Tabla 18: Componentes circuito electrónico base giratoria. ....	84
Tabla 19: Programación de Duty Cycle deslizador. ....	89
Tabla 20: Programación de Duty Cycle base giratoria. ....	89
Tabla 21: Costos de materiales. ....	96
Tabla 22: Costos de terceros. ....	97
Tabla 23: Costos generales. ....	97
Tabla 24: Costos de proyectista. ....	98
Tabla 25: Costo de venta final. ....	98
Tabla 26: Análisis de fiabilidad. ....	99
Tabla 27: Alfa de Cronbach. ....	99
Tabla 28: Prueba de normalidad V1 V2. ....	100
Tabla 29: Correlación V1 V2. ....	102
Tabla 30: Correlación D4 V1. ....	103
Tabla 31: Correlación D1 V2. ....	104
Tabla 32: Correlación D2 V2. ....	105
Tabla 33: Correlación D3 V2. ....	106
Tabla 34: Pre y post test de eficiencia. ....	107
Tabla 35: Características mecánicas de deslizador. ....	109
Tabla 36: FoS en el deslizador. ....	110

Tabla 37: Torques de movimiento de deslizador. ....	111
Tabla 38: Código motores Nema usados.....	111
Tabla 39: Características mecánicas de base giratoria. ....	113
Tabla 40: Características motor base giratoria.....	114
Tabla 41: Duty cycle para deslizador. ....	116
Tabla 42: Datos finales microcontroladores. ....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Funcionamiento general del sistema. ....	32
Figura 2: Estructura de estudio mecánico. ....	36
Figura 3: Esfuerzo cortante sobre pieza rectangular. Hibbeler (2010). ....	38
Figura 4: Diseño deslizador. ....	39
Figura 5: Giros de cámara. ....	40
Figura 6: Diseño pieza pitch. ....	40
Figura 7: DCL de pieza pitch. ....	41
Figura 8: Simulación pieza pitch. ....	42
Figura 9: Polea secundaria. ....	43
Figura 10: Diseño pieza yaw. ....	44
Figura 11: DCL de pieza yaw. ....	44
Figura 12: Esfuerzo cortante en el tornillo AB. ....	45
Figura 13: Simulación esfuerzo tornillo AB. ....	45
Figura 14: Simulación FoS tornillo AB. ....	46
Figura 15: Simulación FoS pieza yaw. ....	47
Figura 16: Diseño pieza deslizante. ....	48
Figura 17: Rodamientos pieza deslizante. ....	48
Figura 18: DCL tornillo ED. ....	49
Figura 19: Simulación esfuerzo tornillo ED. ....	49
Figura 20: Simulación FoS tornillo ED. ....	50
Figura 21: DCL pieza deslizante. ....	50
Figura 22: Deslizador horizontal. ....	53
Figura 23: Simulación esfuerzos varilla deslizante. ....	54
Figura 24: Simulación de factor de seguridad varilla deslizante. ....	54
Figura 25: Diseño base giratoria. ....	55
Figura 26: Simulación FoS base superior. ....	56
Figura 27: Simulación FoS eje base giratoria. ....	57
Figura 28: Vista explosionada de base giratoria. ....	58
Figura 29: DCL para apoyos de base giratoria. ....	59
Figura 30: Dimensionamiento torque base giratoria. ....	60
Figura 31: Sistema de cadena y piñón. ....	61
Figura 32: Gráfico PWM (Voltaje x Tiempo). ....	66
Figura 33: Esquema de funcionamiento del deslizador. ....	67
Figura 34: Arreglo baterías para deslizador. ....	68
Figura 35: Circuito electrónico deslizador Proteus. ....	71
Figura 36: Circuito electrónico deslizador Kicad. ....	72
Figura 37: Placa electrónica deslizador. ....	72

Figura 38: Esquema de funcionamiento de la base giratoria.....	73
Figura 39: Esquema partes fuente switching. ....	74
Figura 40: Dimensiones fuente switching. ....	75
Figura 41: Circuito regulador voltaje LM78XX. Fairchild (2014). ....	76
Figura 42: Circuito térmico representativo. ....	77
Figura 43: Disipador para LM78XX. Recuperado de: Disipa.net. ....	79
Figura 44: Pines BTS7960B. ....	80
Figura 45: Simulación circuito en saturación. ....	82
Figura 46: Simulación circuito en corte. ....	83
Figura 47: Circuito electrónico base giratoria Proteus. ....	85
Figura 48: Circuito electrónico base giratoria Kicad.....	86
Figura 49: Circuito electrónico base giratoria.....	86
Figura 50: Circuito electrónico en funcionamiento base giratoria.....	87
Figura 51: Señal PWM. Microchip (2015). ....	89
Figura 52: Flujograma de base giratoria. ....	91
Figura 53: Flujograma del deslizador. ....	92
Figura 54: Aplicativo "ROTSLI". ....	93
Figura 55: EDT del proyecto. ....	94
Figura 56: Diagrama de Gantt resumido.....	95
Figura 57: Estadísticas del proyecto en Ms Project.....	95
Figura 58: Deslizador ensamblado.....	108
Figura 59: Deslizador en grabación. ....	109
Figura 60: Base giratoria ensamblada. ....	112
Figura 61: Base giratoria en grabación. ....	113
Figura 62: Amperaje de circuito deslizador.....	115
Figura 63: Amperaje Base Giratoria.....	117
Figura 64: Medición señal PWM. ....	118

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Muestra probabilística.....	31
Ecuación 2: Equilibrio de fuerzas en un cuerpo.....	39
Ecuación 3: Equilibrio de momentos en un cuerpo.....	39
Ecuación 4: Esfuerzo axial.....	39
Ecuación 5: Factor de seguridad.....	39
Ecuación 6: Esfuerzo cortante.....	40
Ecuación 7: Momento respecto a eje central de un cuerpo.....	40
Ecuación 8: Momento de inercia para perfil rectangular.....	40
Ecuación 9: Torque para fuerza axial.....	45
Ecuación 10: Potencia motor.....	53
Ecuación 11: Factor de servicio en fajas.....	54
Ecuación 12: Potencia de diseño en fajas.....	54
Ecuación 13: Largo de faja.....	54
Ecuación 14: Ratio de corrección de potencia.....	54
Ecuación 15: Cantidad de fajas requeridas.....	54
Ecuación 16: Inercia de varilla tubular.....	55
Ecuación 17: Inercia de cuerpo cilíndrico.....	60
Ecuación 18: Torque total base giratoria.....	60
Ecuación 19: Torque por inercia.....	60
Ecuación 20: Momento por inercia.....	60
Ecuación 21: Torque por fricción.....	60
Ecuación 22: Ratio de transmisión.....	62
Ecuación 23: Torque por transmisión.....	62
Ecuación 24: Eficiencia de motor.....	62
Ecuación 25: Módulo de piñón.....	63
Ecuación 26: Paso de cadena.....	63
Ecuación 27: Longitud por paso de cadena.....	63
Ecuación 28: Ángulo de contacto de cadena.....	63
Ecuación 29: Voltaje real por duty cycle.....	67
Ecuación 30: Duty cycle.....	67
Ecuación 31: Amperaje de driver A4988.....	68
Ecuación 32: Resistencia térmica de transistor.....	78

Ecuación 33: Resistencia térmica de disipador.....	78
Ecuación 34: Amperaje base transistor.....	81
Ecuación 35: Resistencia base transistor.....	81
Ecuación 36: Registro SPBRG.....	88
Ecuación 37: Registro PR2.....	89
Ecuación 38: Registro CCPR 1L y bits CCP1CON.....	89

## RESUMEN

El presente estudio trata sobre el diseño e implementación de un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Esto se logró con el uso de dos equipos complementarios, una base giratoria para el objetivo a fotografiar y un deslizador para generar movimientos y giros uniformes sobre la cámara. Se dividió el desarrollo en su parte mecánica o estructural, electrónica y de control. Para la parte mecánica se realizaron cálculos y simulaciones de las resistencias de materiales en Inventor Autodesk para la selección y diseño final. Se determinaron también los torques de movimiento y se dimensionaron los motores DC a usar. Los sistemas electrónicos requirieron el estudio, selección y uso de componentes para energizar y generar las señales correspondientes sobre los módulos. El control se basó en la programación de un microcontrolador para las regulaciones de velocidades, arranque y parada para cada motor, sentidos de giro a través de una comunicación Bluetooth con un Smartphone remoto. Con ello se logró un deslizador con 3 grados de libertad y una base giratoria, capaz de tomar capturas audiovisuales en revolución a cargas de hasta 240 kg con una velocidad máxima de 4RPM y 3cm/s para la cámara fotográfica. Finalmente, se demostró como resultado un correcto funcionamiento sincronizado de los equipos del sistema con un control remoto Bluetooth manejado por un usuario en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C, mejorando los servicios que brinda.

**Palabras clave:** Slider, base giratoria, Bluetooth, captura audiovisual, tomas de barrido.

## ABSTRACT

This project deals with the design and implementation of a slider revolving system with a Bluetooth control to improve the audiovisual rotating shots or captures in the company CP Producciones Audiovisuales S.A.C. This was achieved with the use of two complementary equipments, a spinning table for the shooting objective and an slider to generate linear and revolving movements over the camera. The study was divided on the mechanics or structural analysis, electronics and control. For the mechanics, calculus and simulations were made about the materials properties in Autodesk Inventor to select and create the final design. Torques of movements and motors DC dimensions were also calculated. The electronics systems needed the review, selections and use of components to energize and generate the correct signals to the used modules. The control was based on a programmed microcontroller to regulate speeds, start and stop each motor and spinning orientation through a Bluetooth communication with a remote Smartphone. This all result in a slider with 3 degrees of freedom and a spinning table, able to generate audiovisual spinning captures for loads up to 240kg with a maximum speed of 4RPM and 3cm/s for the camera. Finally, the result was a correct synchronized function of the system with a Bluetooth control by the user of the CP Producciones Audiovisuales S.A.C company, improving their services.

**KEY WORDS:** Slider, spinning table, Bluetooth audiovisual capture, spinning shots.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

En lo que va del siglo XXI, el área audiovisual ha generado mucho interés entre profesionales y amateurs, debido a que todos consumen y/o crean contenido multimedia diariamente. Por ende, se presentan diferentes cambios y propuestas innovadoras en el mercado audiovisual, gracias a lo cual cada usuario tiene la posibilidad de encontrar nuevos métodos para generar su contenido, lo que desemboca en un despliegue de creatividad y competitividad.

Esta evolución audiovisual también ha creado diversas técnicas de fotografía y grabación, algunas de ellas, siguiendo a Gonzáles, J. (2018), son las capturas panorámicas, el *time-lapse* (intervalos de tiempo) y tomas de barrido. Todas estas técnicas requieren de alta precisión, equilibrio y uniformidad en las velocidades de movimiento de la cámara, con trayectorias variables por cada usuario.

En la actualidad, la intervención de la ingeniería en el mundo audiovisual es notoria, dado que posibilita analizar, diseñar y generar equipos de audio y video, así como crear o mejorar herramientas y técnicas para las tomas fotográficas o de grabación (Roger, 2010). Como resultado se tienen las tecnologías audiovisuales, que parten de la evolución de las cámaras fotográficas, para lo cual pasan por equipos complementarios en la producción y finalizan en softwares de edición usados en posproducción (López, 2019).

Por supuesto, el instrumento tecnológico principal de la fotografía es la cámara. Específicamente las cámaras DSLR o réflex son las más usadas hoy en día, pues son más económicas y portables, en comparación con las cámaras de video profesionales. Sin embargo, las cámaras requieren de diferentes aditamentos de alto costo para obtener mejores grabaciones, de lo contrario, se basan únicamente en la habilidad y equilibrio del fotógrafo (Saavedra, 2017).

Como lo sostuvieron Sankar et al. (2017), estos aditamentos o complementos buscan mejorar la calidad durante la producción audiovisual, lo que logran al reducir el error humano,

como vibraciones, velocidades irregulares, esfuerzos innecesarios, etc., además de reducir las tareas repetitivas que el usuario realiza durante la producción, con el objetivo de obtener buenas tomas audiovisuales.

Un ejemplo de complemento usado en el área audiovisual es el deslizador o “*Slider*” en inglés, un equipo que, mecánica o manualmente, desliza una cámara fotográfica (u otro instrumento multimedia) sobre rieles tubulares de diferentes trayectorias, a fin de generar fotografías o videos en los que se mantenga uniformidad en los movimientos. Con el deslizador, las técnicas de fotografía se llevan a cabo de manera más sencilla y se obtienen mejores resultados, pues se preserva el detalle del objeto o la persona que está siendo enfocada.

A pesar de que el deslizador soluciona parte de los problemas, aún existen mejoras posibles para facilitar más la toma de barrido. Según Telg y Beattie (2021), además del movimiento lineal, muchas veces es necesario un movimiento angular de la cámara, como el *roll*, *pitch* y *yaw*, rotaciones en los tres ejes conocidos (X, Y y Z); o sea, es conveniente que un *slider* brinde más de un grado de libertad de movimiento para aumentar el ángulo de visión de la cámara.

Adicionalmente, para las tomas de barrido rotativo se debe girar la cámara de manera muy lenta alrededor del objetivo (Guerrero y Caballo, 2019), no obstante, este movimiento es más complicado de realizar por el usuario e imposible de hacer por un *slider* común. Por tal motivo, en este proyecto se plantea el uso de bases giratorias, que son equipos motorizados que muestran diferentes ángulos de un cuerpo sobre él, a través del giro sobre su propio eje.

A nivel internacional se han presentado diferentes soluciones. Hajjaj y Karim (2021) propusieron un dolly robótico compatible con IoT (del inglés “Internet of Things”), enfocado en la industria fílmica y de televisión. El dolly se desplaza mediante guías en el suelo de manera remota, mantiene una altura uniforme, una velocidad correcta y, por medio de encuestas, ha conseguido el agrado de los usuarios finales.

En la misma línea se encuentra el enfoque planteado por López y Pardo (2014), quienes elaboraron un sistema Mecatrónico para el cambio de orientación de una cámara. Este equipo, que se controla remotamente, se desplaza de forma libre sobre tres ruedas y permite el giro de la cámara sobre su eje, en movimiento angular pitch y en giro yaw. Sin embargo, el sistema tiene la limitación de encontrarse a un nivel bajo, por consiguiente, facilita las tomas de objetos a nivel del suelo, pero tiene dificultades para hacer tomas más abiertas y de mayor altura.

Una mejora se presenta por, Sankar et al. (2017) que crearon un *slider* de cámara automático, para el cual usaron el aluminio como material principal. El sistema de transmisión es de rieles y se complementa con una pantalla que le hace posible al usuario la visión de la captura. Esta slider trabaja de manera horizontal, aunque puede ayudarse con trípodes para elevar la altura y trabajar incluso de forma oblicua, mas no vertical, y tampoco contempla los movimientos angulares sobre su eje.

Por su parte, Casignia y Perugachi (2017) presentaron algo más cercano a lo que se quiere conseguir, pues desarrollaron un sistema con dos equipos complementarios, a saber, una base giratoria, con carga máxima de 90 kg, y un deslizador que solo permite el desplazamiento vertical del instrumento sin giros sobre su eje. En este caso el enfoque es diferente, dado que el objetivo son los escaneos 3D, así que en lugar de una cámara se utiliza un sensor Kinect de Microsoft, tras lo cual procesan las imágenes en un software para generar un archivo CAD 3D.

En consecuencia, aún puede notarse la falta de una solución ideal para las tomas de barrido en escenarios de filmación artística. Es decir, un sistema para generar visualizaciones alrededor de un mismo punto, sin perder precisión ni estabilidad, con un campo de visión suficiente y ante ello surge la posibilidad de complementar dos equipos: un deslizador y una base giratoria. Esto generará un sistema que permita las grabaciones o tomas fotográficas de revolución y que sea controlado por un usuario de manera remota. Este control se plantea por bluetooth, una tecnología ideal para el intercambio de información inalámbrica en distancias

cortas y medianas (hasta 10 metros) entre dispositivos y que requiere baja potencia (Santamaria, 2015).

En el 2007 en el Perú, el sector audiovisual incluía a más de 24,000 trabajadores y generaba un aporte de 120 millones de soles a la economía nacional; a la fecha dichas cifras se han duplicado. Por esta razón la recuperación del sector es considerada estratégica para el país. El 17 de octubre 2020 el Ministerio de Cultura. Según Resolución Ministerial N° 000266-2020-DM/MC, aprobó el protocolo sanitario para la implementación de medidas de vigilancia, prevención y control frente al COVID-19 en las producciones de obras audiovisuales publicitarias y cinematográficas; con la finalidad de prevenir y controlar la propagación de la pandemia entre las personas que trabajan en el sector del cine y el audiovisual.

En la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C, dedicada la filmación de escenas artística se contaba con una plataforma de escenario circular mecánico, y una persona tenía que girar dicho equipo de manera manual mientras que otra persona tenía que encargarse de los movimientos de la cámara. Con este proceso manual, los movimientos no eran fluidos lo que hacía el proceso de producción más lento ya que había que repetir la toma muchas veces. Esto trae como consecuencia la baja productividad, lo que ha generado el no cumplimiento de la demanda de los clientes; así mismo esta situación afecta la eficiencia, eficacia y costos de la empresa. Se notó entonces la urgencia de un mecanismo Mecatrónico fluido para la grabación en barrido de revolución de un objeto o individuo.

Para solucionar esta realidad problemática, en este proyecto se plantea el uso de un sistema con base giratoria y deslizador, equipos motorizados que permitan grabaciones de barrido para diferentes ángulos de un cuerpo a través del giro sobre su propio eje. Partiendo de todo lo anterior, se plantea el proyecto de “Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth en la captura audiovisual de barrido para mejorar la productividad en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima 2021”.

## 1.2 Formulación del problema

Teniendo en cuenta lo explicado hasta aquí, se formula la pregunta de investigación ¿De qué manera se puede mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima 2021?

De esta pregunta general se formulan los problemas específicos:

- (i) ¿De qué manera se determinaría el servicio actual de la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021?
- (ii) ¿De qué manera se diseñaría la estructura del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021?
- (iii) ¿De qué manera se diseñaría el circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021?
- (iv) ¿De qué manera se diseñaría el control del movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth que mejore la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Del objetivo general se formulan con los objetivos específicos:

- (i) Determinar el servicio actual de la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (ii) Realizar el diseño e implementación de la estructura del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (iii) Realizar el diseño e implementación del circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (iv) Realizar el diseño e implementación de control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth para mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

## **1.4 Antecedentes**

### **1.4.1 Antecedentes Nacionales**

Checa, C. (2018) en la tesis titulada "Estado de la tecnología audiovisual en las productoras de la ciudad de Chiclayo" en la universidad Señor de Sipán concluye, según encuestas, que el 53% de las productoras audiovisuales de la región de Chiclayo usan trípodes de cámara como instrumento principal durante sus grabaciones. Además, un 7% requiere el uso de Dolly y deslizadores. Así demuestran una urgencia por la estabilidad de las cámaras fotográficas y de video durante la etapa de producción audiovisual. Sin embargo, también concluye que el 32% de los encuestados aseguran que requieren entre 9 a 12 mil soles para invertir en una buena productora audiovisual. Es notable el bajo mercado y alto precio que poseen los aditamentos audiovisuales en el país.

Urbina, S. (2021) en su tesis titulada "El movimiento de cámara como generador de significado en la película Días de Santiago (2004)" por la Universidad de Piura recalca en sus conclusiones la importancia de los movimientos de cámara como medios fundamentales para generar un significado en las producciones, en el caso estudiado para la película mencionada en el título. Este movimiento esta conjugado además por otros elementos audiovisuales. Las tomas panorámicas se apoyan también de técnicas tipo travelling y panotravelling. A pesar de una preponderancia del uso de cámara al hombro se usaron otros complementos como dollys y trípodes, aunque en menor medida. Nuevamente, esto, según el autor, se puede justificar por una decisión de producción o por el bajo presupuesto de la película.

### **1.4.2 Antecedentes Internacionales**

La tesis de Lopez y Pardo (2014), titulada “Diseño y desarrollo de sistema mecatrónico para el control remoto de orientación de una cámara profesional de fotografía que permita obtener las imágenes a través de internet de forma inalámbrica”,

de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá - Colombia, Facultad de Ingeniería Mecatrónica, tiene como objetivo ofrecer una solución para el control de cámaras más dinámica e interactiva con el usuario a las existentes en el mercado. Siendo el aporte de esta investigación la eficiencia en la gestión de las imágenes, usando la técnica “TimeLapse”, obtenidas con la reorientación del dispositivo en dos grados de libertad (pan-tilt) a eventos más relevantes para el usuario.

La tesis de Casignia y Perugachi, (2017), titulada “Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo y plataforma giratoria”, de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, se tiene como objetivo optimizar la impresión 3D aplicando un sistema automático de escaneo de objetos para obtener un modelo a imprimir. Siendo el aporte de esta investigación el diseño de un soporte que permite desplazar a una altura de 1.2m un sensor Kinect de Microsoft y una base con sistema de rotación accionados por un controlador Arduino, permitiendo la sincronización de movimiento vertical y rotacional, permitiendo obtener modelos de alta calidad.

La tesis de Gonzáles, J. (2018), titulada “Diseño e implementación de deslizador motorizado para cámara fotográfica controlado mediante una aplicación remota”, de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, tiene como objetivo diseñar y fabricar un deslizador controlado por un aplicativo remoto. Siendo el aporte de esta investigación, el brindar un valor agregado al control por aplicativo móvil, convirtiendo al deslizador motorizado en una elección ideal para fotógrafos y estudiantes en búsqueda de nuevas implementaciones en ingeniería.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis General**

El diseño e implementación de un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejoraría la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

### **1.5.2 Hipótesis Especificas**

- (i) El diseño e implementación de un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejoraría el servicio actual de la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (ii) El diseño e implementación de la estructura del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejoraría la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (iii) El diseño e implementación del circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejoraría la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (iv) El diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejoraría la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

## **1.6 Marco Teórico**

### **1.6.1 Audiovisuales y técnicas fotográficas**

De acuerdo con Portillo y Caballero (2014), el término “audiovisual” empezó a usarse a partir de 1930, y en la actualidad puede definirse como la integración e interrelación entre lo visual y lo auditivo (Vega, 2017). Estos aspectos, desde su origen, crecimiento y evolución han sido impulsados por la digitalización, lo que les permite a los usuarios realizar representaciones artísticas, culturales y comerciales con fácil publicación y divulgación (Ortiz, 2018).

Dentro de las técnicas fotográficas se tiene que, las capturas panorámicas son aquellas fotografías que brindan un campo de visión significativamente mayor al de una fotografía común (Orozco, 2007). El time-lapse se basa en mostrar a gran velocidad sucesos o actos que en realidad suceden a velocidades muy lentas, por ejemplo, la puesta del sol, el movimiento de los astros o de las plantas (Felipe et al., 2016). Finalmente, la toma de barrido es una técnica en que la cámara sigue al sujeto u objetivo (de manera lineal, rotativa u otra) por un periodo determinado para generar una sensación de movimiento real.

### **1.6.2 Automatización de procesos**

Según García (1999) es “la incorporación, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento”. Se puede decir que busca reducir los costos en el proceso por mano de obra y calidad, y optimizar las etapas de un proceso en una producción.

El diseño y fabricación del sistema automático en este proyecto, consiste en la unión de dos equipos complementarios, pero que también pueden trabajar de modo independiente, los cuales están diseñados a través de softwares de ingeniería y programados para ser controlados por el usuario desde un dispositivo electrónico mediante comunicación Bluetooth. De esta manera, en la toma fotográfica se consiguen resultados estables o sin “ruido”.

El sistema automático de la presente investigación se conforma en tres diseños que se indican a continuación

- Diseño de la estructura y el mecanismo de un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth.
- Diseño de los circuitos electrónicos de un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth.
- Diseño del Programa de control del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth.

Los tres diseños que conforman el sistema automático permitirán influir en la variable dependiente que es la productividad de las sesiones audiovisuales de la empresa CP Producciones Audiovisuales

La tabla de Pre Test y Post Test, se indica en la tabla 14, en los resultados, sobre los tiempos de captura audiovisual de barrido de forma manual y con el sistema deslizador giratorio con control Bluetooth en el escenario de filmación artística de la empresa CP Producciones Audiovisual S.A.C, que nos permitirá medir las actividades filmación artística de pre test (sin el uso del sistema automático a diseñar) y medir las mismas actividades de filmación artística, pero con el uso del sistema automático (post test).

## **1.7 Justificación**

### **1.7.1 Justificación Académica**

Utilizaremos los conceptos y herramientas adquiridas en la carrera, para abrir nuevos campos de investigación aplicada en las actividades productivas de la industria, proponiendo mejoras de diseño, utilizando nuevos sistemas de automatización que integra la mecánica, la electricidad, la electrónica y lenguajes de programación, para mejorar los procesos productivos de las empresas.

### **1.7.2 Justificación Práctica**

Los nuevos sistemas de automatización mejoran los procesos productivos de las empresas, incrementando su productividad, generando más producción utilizando la menor cantidad del recurso humano, garantizando que los productos tengan mejor calidad en el menor tiempo posible.

La importancia de este trabajo consiste en la unión de conocimientos mecánicos, electrónicos y de programación, de lo que resultó un Sistema Mecatrónico, sobre el cual el autor plasmó lo aprendido durante sus años de estudio. Partiendo de la problemática para

facilitar la captura audiovisual de barrido se estudiaron diferentes soluciones, materiales e instrumentos, a fin de obtener el diseño y la construcción final de manera correcta. Además de los estudios presentados, el equipo se trabajó como un proyecto de ingeniería que comprendió factores de calidad, presupuestos y un cronograma para cumplir con las actividades en el tiempo estipulado. El sistema controlado remotamente, el cual se obtuvo como resultado, genera giros en revolución en una carga mientras se controla la ubicación y la orientación de una cámara fotográfica.

### **1.7.3 Justificación Valorativa**

La implementación del sistema deslizador giratorio con control de Bluetooth para la captura audiovisual de barrido en escenarios de filmación artística, será un proyecto, el cual puede ser comercializado para el uso en distintas empresas con el mismo fin. Y se puede implementar en varios procesos productivos con el fin de mejorar la calidad, tiempo y productividad de empresas dedicadas en filmaciones audiovisuales.

### **1.7.4 Justificación Legal**

La presente investigación toma en cuenta la Resolución Ministerial N°375-2008-TR, que permite monitorear los agentes y factores de Riesgos Di ergonómico en las diferentes áreas y puestos de trabajo, así como a sus respectivas tareas, con la finalidad de mejorar el bienestar físico, mental y social del trabajador, para mejorar la productividad de las empresas. Y también la Resolución Ministerial N° 000266-2020-DM/MC, aprobó el protocolo sanitario para la implementación de medidas de vigilancia, prevención y control frente al COVID-19 en las producciones de obras audiovisuales publicitarias y cinematográficas; con la finalidad de prevenir y controlar la propagación de la pandemia entre las personas que trabajan en el sector del cine y el audiovisual

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación fue aplicada, según Lozada (2014) porque permite transformar el conocimiento que procede de una investigación básica de conceptos. El nivel de la investigación cuasi experimental en relación a lo establecido por Hernández et al. (1991). También es correlacional, para lo cual se realizaron las Tablas 1 y 2 para cada variable.

Variable V1: Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth.

Variable V2: Captura audiovisual de barrido

*Tabla 1: Operacionalización de la variable 1.*

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de Likert	Niveles
	conceptual					
			1.1 Diseño			
			1.2 Materiales	1-4		
Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth	Sistema Mecatrónico sincronizado para movimientos de cámara y giros del objetivo con un control a distancia	1.Estructura 2.Electrónico 3.Control	1.3 Costos 1.4 Factor de Seguridad		1. Nunca 2. Alguna vez 3. Frecuentemente 4. Casi siempre 5. Siempre	Bajo Medio Alto
			2.1 Diseño			
			2.2 Componentes	5-8		
			2.3 Costos			
			2.4 Consumo de Potencia			
			3.1 Diseño			
			3.2 Software	9-11		
			3.3 Programación			

Tabla 2: Operacionalización de la variable 2.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de Likert	Niveles
Captura audiovisual de barrido	Es técnica fotográfica en la que una cámara sigue a un objetivo de manera lineal o rotativa	4.Servicio actual	4.1 Cantidad de personal 4.2 Entrega del producto 4.3 Innovación en el mercado 4.4 Tiempo productivo 4.5 Velocidad 4.6 Cargas de giro 4.7 Cantidad	12-17	1. Nunca 2. Alguna vez 3. Frecuentemente 4. Casi siempre 5. Siempre	Bajo Medio Alto

## 2.2 Materiales, instrumentos y métodos. Población y Muestra

### 2.2.1 Población

La población total de las empresas de servicio de producciones audiovisuales según el Ministerio de Cultura a través del Registro Cinematográfico Nacional en Lima es de 311. Se ha seleccionado de forma conveniente para realizar la investigación, a la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. ubicada en Jr. Pimentel Jiménez 1873 Cercado de Lima, que cuenta con un gerente y 15 trabajadores. Considerando clientes y otras partes interesadas se obtuvo una población total de 182 personas.

### 2.2.2 Muestra

Se escogió de forma aleatoria la población conformada por los clientes, trabajadores y proveedores que contratan los servicios de la empresa, y se seleccionó también aleatoriamente, una cantidad adecuada de personas

Según (Hernández, 1991) afirma que la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión. Este deberá ser representativo de dicha población. Por lo tanto, el muestreo estará conformado por 124 personas entre clientes y personal de empresa.

La muestra fue probabilística, tomada al azar, utilizando la siguiente fórmula probabilística:

$$n = \frac{(z^2)pqN}{(N - 1)(e^2) + (z^2)pq} \quad (1)$$

Donde:

N = tamaño de la población

p = proporción poblacional (0.5)

q = 1-p (0.5)

e = Error a considerar (0.05)

Z = Nivel de confianza (1.96 para  $\alpha=0.05$ )

Reemplazando se obtuvo:

$$n = \frac{(1.96^2)(0.5)(0.5)(182)}{(182 - 1)(0.05^2) + (1.96^2)(0.5)(0.5)} = 123.71$$

$$\mathbf{n = 124}$$

### 2.2.3 Materiales

El propósito de este proyecto es diseñar y desarrollar un sistema deslizador giratorio para la captura audiovisual en la técnica de barrido. Muchos de los materiales a usar deberán requerir un estudio previo, pero otros se considerarán fundamentales y se tomarán como base para el desarrollo de los equipos. La selección de estos materiales bases se explican a detalle en el Anexo B. Estos son motores paso a paso (PAP) para los movimientos del deslizador, motor DC brushless para la base giratoria, microcontroladores Microchip para los circuitos electrónicos y la comunicación Bluetooth mediante un módulo electrónico.

Para el tema mecánico y estructural, los materiales más comunes en el rubro audiovisual son el metal (aleación de acero) y el aluminio. También se estudiarán materiales como madera y plástico. Los deslidores o sliders son en su mayoría de barras deslizantes metálicas o de aluminio, roscadas o lisas, dependiendo del tipo de desplazamiento lineal contemplado. Ya que en este proyecto se desean también movimientos giratorios para la cámara, se deberán usar sistemas de transmisión de movimiento por pulea desde los motores PAP. Su preferencia de uso será por su trabajo silencioso, sin lubricante y corta distancia de ejes.

Para la base giratoria la estructura se puede dividir en 2 plataformas, una superior rotativa y otra inferior fija. El movimiento rotacional será generado por el motor DC a dimensionar, que inducirá a través de un sistema de transmisión de movimiento, un eje unido a series de rodamientos para generar el movimiento. Adicionalmente, serán necesarios puntos de apoyos para distribuir la carga y asegurar la estabilidad.

La electrónica de los equipos además del microcontrolador Microchip y módulo Bluetooth, se complementará con circuitos o drivers de control de velocidad y giro para los motores. Las fuentes de voltaje serán dimensionadas para el voltaje y amperaje necesario.

#### **2.2.4 Instrumentos**

Durante el planeamiento y ejecución del proyecto se utilizarán diferentes instrumentos, tanto de hardware como software. Para el diseño se usará el software Inventor Autodesk y para el análisis de esfuerzos se usará también dicho programa más el Workbench 2021 de Ansys. El dimensionamiento de motores se asegurará con el programa libre Control Motor Sizing.

Para los circuitos electrónicos se usará el software Proteus para simulaciones y Kicad para diseño de placas de impresión. Mientras que para el control se requerirá el entorno de MPLAB X para la programación del microcontrolador y MIT App Inventor para el desarrollo del aplicativo de Smartphone.

#### **2.2.5 Métodos**

El estudio metodológico se subdivide en tres partes: el sistema mecánico, que trató acerca del dimensionamiento estructural, de motores y de los sistemas de transmisión de movimiento; el sistema electrónico, que contempló las señales de control, los circuitos de control y potencia de los equipos; y la programación, que consistió en el software de interfaz, la lógica y código de funcionamiento.

Para los subsistemas mecánico y electrónico se empleó una metodología similar a la que Casignia y Perugachi (2017) plantearon, por tanto, se establecieron requisitos mínimos y máximos de funcionamiento para los que se buscó el mejor diseño posible. Estos requerimientos son mostrados en la Tabla 3. Además, mediante cálculos y softwares se analizaron los materiales y los dispositivos que mejor cubrieron estas necesidades.

*Tabla 3: Requerimientos del sistema.*

Mecánica	Eléctrica	Control
Soportar cargas de hasta 240kg.	Uso de Motores DC.	Uso de microcontroladores.
Tener masa menor a 20kg.	Velocidad revolución: 4RPM.	Codificar señales PWM.
Cámara de hasta 3kg.	Velocidad para cámara: 2RPM	Permitir el control Bluetooth.
Desplazamiento mínimo de 1 metro.	Velocidad deslizador: 3cm/s.	Manejo total desde dispositivo electrónico.
Factor de Seguridad mayor a 3.	Determinar señales PWM.	

El funcionamiento general del sistema se ilustra en la Figura 1, donde se muestra que los comandos enviados por el usuario pasaron por los tres subsistemas hasta llegar a los equipos respectivos. Las secuencias son parecidas, pero variaron en componentes y cantidades; para la base giratoria se envían datos como velocidad y sentido de giro, mientras que para el deslizador son movimiento y sentido de giro, debido a que este posee tres tipos de movimientos; asimismo, requirió más drivers, motores y sistemas de transmisión.

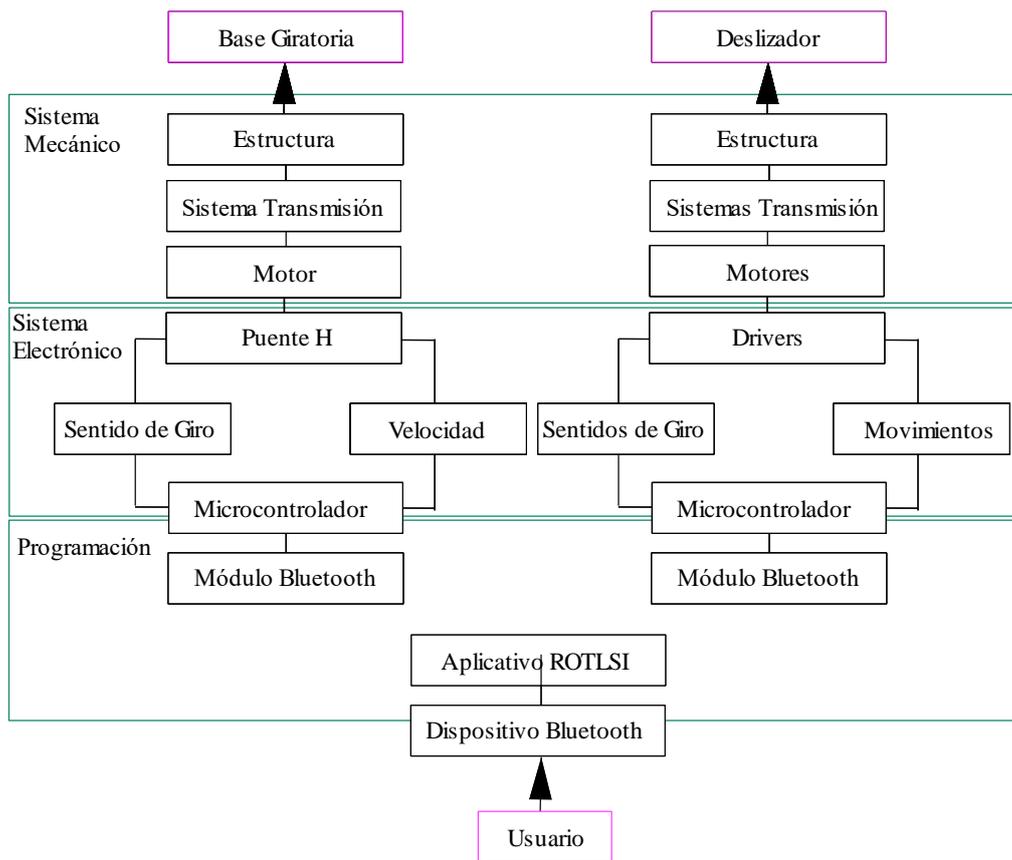


Figura 1: Funcionamiento general del sistema. (Fuente propia).

## 2.2.6 Técnicas de recolección y análisis de datos

Se utilizó como instrumento de recolección de datos, el cuestionario, indicado en el Anexo G. Este se obtuvo de los indicadores especificados en la matriz de operacionalización de la variable independiente, sistema deslizador giratorio con control Bluetooth, y la variable dependiente, captura audiovisual de barrido, lo que permitió aplicarlo en la muestra propuesta dentro de la empresa CP Producciones Audiovisuales SAC.

El cuestionario está compuesto por preguntas polinómicas, con cinco alternativas de valoración según la escala de Likert, que permitió recopilar la información de la muestra.

Tabla 4: Ficha técnica del instrumento de recolección de datos. Variable V1.

<b>Nombre Original</b>	<b>Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth.</b>
<b>Autor</b>	Pacherrez Mamani, Pedro Arturo

Año	2021
Procedencia	Lima – Perú
Tipo de instrumento	Cuestionario
Objetivo	Realizar el cuestionario para poder obtener información según los indicadores y determinar la influencia del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth en mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones SAC Lima 2021.
Administración	Individual
Duración	10 minutos como máximo
Aplicación	Directa
Estructura	11 ítems, distribuidos en tres dimensiones, con cinco alternativas <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nunca</li> <li>2. Alguna vez</li> <li>3. Frecuentemente</li> <li>4. Casi siempre</li> <li>5. Siempre</li> </ol>

*Tabla 5: Ficha técnica del instrumento de recolección de datos. Variable V2.*

<b>Nombre Original</b>	<b>Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth.</b>
Autor	Pacherrez Mamani, Pedro Arturo
Año	2021

---

Procedencia	Lima – Perú
Tipo de instrumento	Cuestionario
Objetivo	Realizar el cuestionario para poder obtener información según los indicadores y determinar la influencia del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth en mejorar la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones SAC Lima 2021.
Administración	Individual
Duración	10 minutos como máximo
Aplicación	Directa
Estructura	Seis ítems, distribuidos en dos dimensiones, con cinco alternativas <ol style="list-style-type: none"><li>1. Nunca</li><li>2. Alguna vez</li><li>3. Frecuentemente</li><li>4. Casi siempre</li><li>5. Siempre</li></ol>

---

## 2.3 Procedimiento

### 2.3.1 Determinación de Situación Actual

CP Producciones Audiovisuales S.A.C. es una empresa peruana con RUC 20608630580, y tiene como actividades económicas las siguientes:

- Actividades de producción de películas cinematográficas, video y programas de televisión.

- Actividades de fotografía.
- Publicidad.

a) Mapa de localización

La ubicación de la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. es Jr. Pimentel Jiménez 1873 Cercado de Lima.

b) Proceso del servicio

Se divide en cuatro fases

**Fase 01: Preproducción**

Que comprende contacto con el cliente, desarrollo de la idea.

**Fase 02: Producción**

Que comprende pruebas de producción, ejecución del servicio audiovisual.

**Fase 03: Postproducción**

Que comprende edición y feedback del cliente

**Fase 04: Distribución**

Que comprende la entrega final del producto al cliente.

Tras entender el proceso operativo general en la empresa, se decidió intervenir en el proceso de Producción. Se recopilaron datos como cantidad de producciones en revolución realizadas por un día de trabajo y la precisión de velocidad en los movimientos. Una vez tomados los datos actuales, se procedió a realizar la ingeniería de construcción.

### 2.3.2 Estudio estructural y mecánico

El sistema mecánico consistió en las estructuras de los equipos, determinación de torques, dimensionamiento de motores y de los sistemas de transmisión de movimiento. El análisis mecánico estructural tuvo como fin obtener un equipo que soporte las cargas requeridas, pero con una masa que no dificulte su transporte. Respecto a los motores, estos debieron generar el torque requerido para las cargas. mientras que los sistemas de transmisión tuvieron la función de inducir el movimiento rotativo o lineal que estos motores generaron. Este análisis se realizó de manera independiente para cada equipo.

El libro de ingeniería de Mecánica de Materiales de Russel Hibbeler fue fundamental para los cálculos matemáticos de la estructura, se usó en muchas ocasiones la teoría de fallas para hallar las dimensiones de los objetos requeridos. El sentido del estudio (Figura 2) fue el análisis de materiales por cálculos y en algunos casos ensayos reales, por la incertidumbre o porcentaje de error se consideró un factor de seguridad pertinente, Para ello, las ecuaciones 2 y 3 parten con la definición de equilibrio tanto de fuerzas como de momentos sobre un cuerpo para impedir su traslación y su giro, respectivamente.

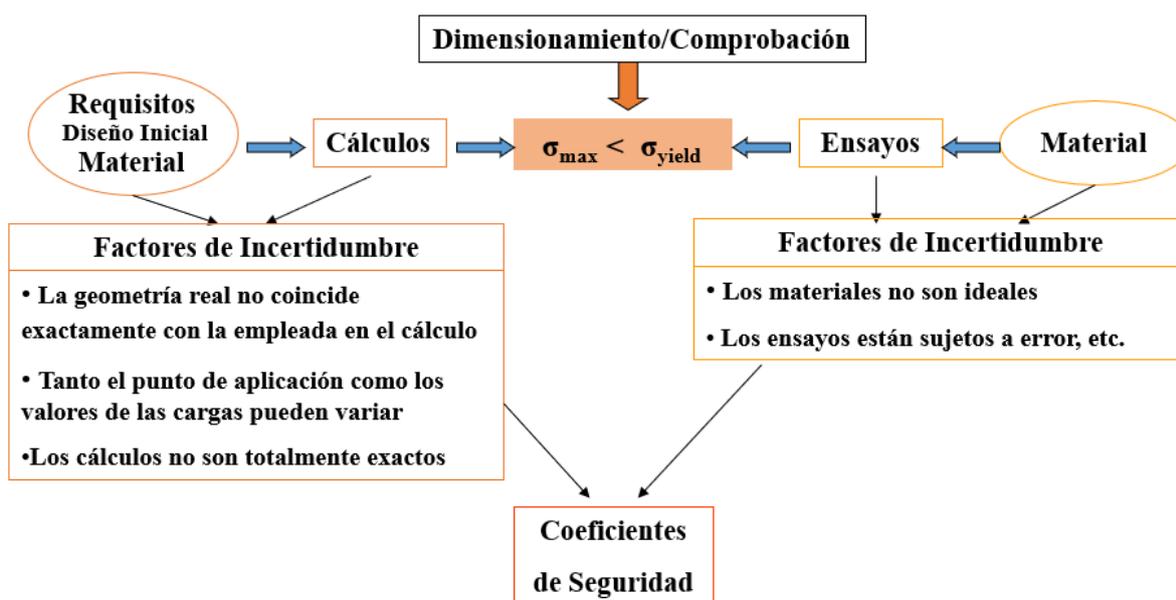


Figura 2: Estructura de estudio mecánico. (Fuente propia).

$$\sum F = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_o = 0 \quad (3)$$

Además, la variable clave fue el esfuerzo, que determina la intensidad de fuerza sobre un área específica de un cuerpo a través de un punto. Con ello, la ecuación 4 muestra la ecuación para el esfuerzo. El concepto de factor de seguridad (FoS) se relacionó con el esfuerzo real y el esfuerzo de cedencia o *yield* para cada material. El FoS tuvo un valor mínimo de 3 para la estructura, en concordancia con la norma IEC60034 y se expresa en la ecuación 5.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

$$FoS = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{real}} \quad (5)$$

Por último, se estudió la reacción de la fuerza cortante para materiales homogéneos con secciones transversales uniformes, como los usados en este proyecto, particularmente de perfiles rectangulares. Para ello la ecuación 6 muestra el valor el esfuerzo cortante de una pieza rectangular (de altura  $h$  y ancho  $b$ ) que soporta una carga  $V$  con un eje neutro AN, mostrado en la Figura 3. La variable  $Q$  (Ecuación 6) relaciona el área ( $A'$ ) de la sección transversal del elemento por encima del plano de sección donde se mide  $t$ , y  $\bar{y}'$  que es la distancia desde el eje neutro hasta el centroide de  $A'$ . La inercia ( $I$ ) de la pieza se calculará a través de la ecuación 8 para perfiles rectangulares, usados para este proyecto.

$$\tau = \frac{FQ}{It} \quad (6)$$

$$Q = \bar{y}' A' \quad (7)$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \quad (8)$$

El valor independiente de esta parte del análisis fue el esfuerzo máximo antes de la ruptura del material y el valor dependiente que se debió hallar es la altura  $h$ . El llamado esfuerzo último de ruptura varía para cada material y se muestran en la Tabla 6 para los materiales que se plantean estudiar. Estos cálculos matemáticos se verificarán con el software Inventor y su herramienta de análisis de esfuerzos, determinando el factor de seguridad mínimo, máximo y de algunos puntos de interés para cada pieza.

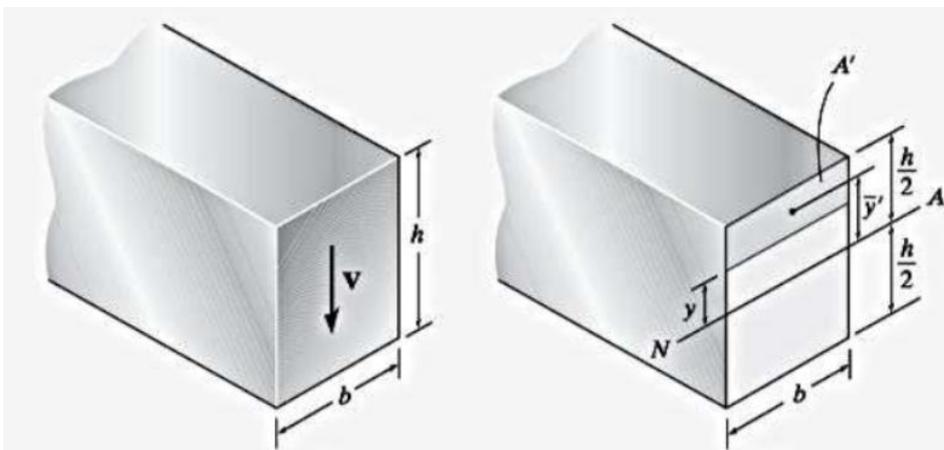


Figura 3: Esfuerzo cortante sobre pieza rectangular. Fuente: Hibbeler (2010).

Para la elección de materiales se analizaron las densidades, esfuerzos de cedencia, entre otros parámetros de los posibles materiales a utilizar. Estos datos fueron extraídos de la página Matweb y se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Características de materiales para construcción.

Parámetro	Unid	Madera Birch	Aluminio 6061	Acero A36	Acero al Carbono
Conductividad Térmica	W/mK	0.173	180	56	47.7
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	553.6	2 700	7 850	7520
Tensión de cedencia	MPa	41	240	250	206
Tensión última	MPa	82	124	400	450
Módulo de Young	Pa	29.99	68.9 E+09	200 E+09	203 E+09

Fuente: Adaptado de Matweb (2021).

**a. Deslizador:**

La Figura 4 representa el diseño base del deslizador de cámara, este contó con 3 movimientos: deslizante, giro yaw y giro pitch, los dos últimos se especifican en la Figura 5. La estructura se dividió en 3 partes: soporte de cámara, barras deslizantes y base al suelo, a su vez, el soporte de cámara se dividió en pieza 1 o pitch, pieza 2 o yaw y pieza 3 o deslizante. El estudio inició con la selección de materiales, yendo de las partes más pequeñas hasta la estructura completa.

El movimiento Pitch o de cabeceo trabajó directamente sobre la cámara, dimensionada de hasta 3kg. Para esta estructura se consideró una cámara CANON EOS 80D con unas dimensiones de 10cm de alto, 14 cm de largo y 6cm de ancho; sin contar el lente de extensión variable. El diseño para la pieza de movimiento Pitch se muestra en la Figura 6, planteando una estructura tipo L de 7cm de alto, 15cm de largo y 6cm de ancho.

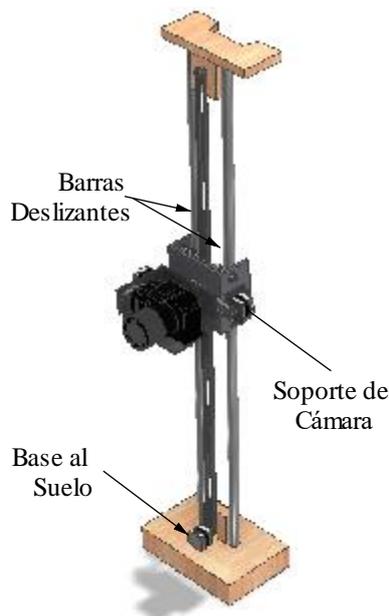


Figura 4: Diseño deslizador. (Fuente propia).

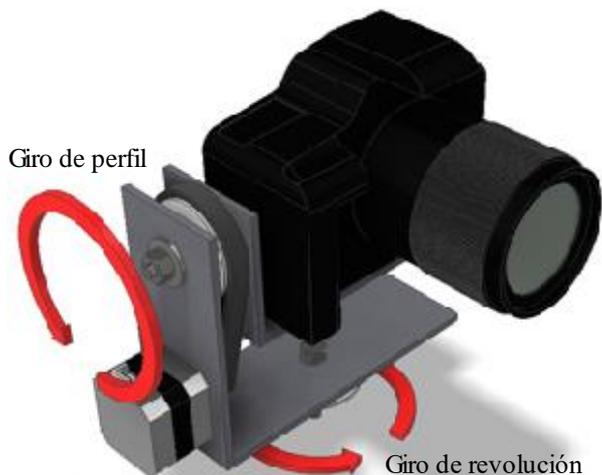


Figura 5: Giros de cámara. (Fuente propia).

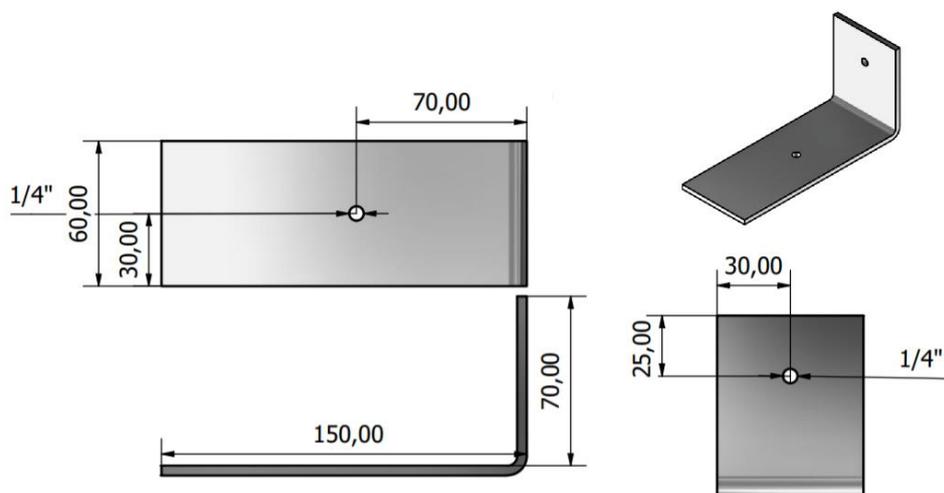


Figura 6: Diseño pieza pitch. (Fuente propia).

El análisis requirió de diagramas de cuerpo libre (DCL) en cada parte de la estructura para determinar el esfuerzo sobre las piezas. El DCL para la pieza de giro Pitch se muestra en la Figura 7. Se consideró una carga distribuida a lo largo de la pieza de 15cm generada por la cámara de hasta 3kg, de esa manera la carga fue de 196.2 N/m.

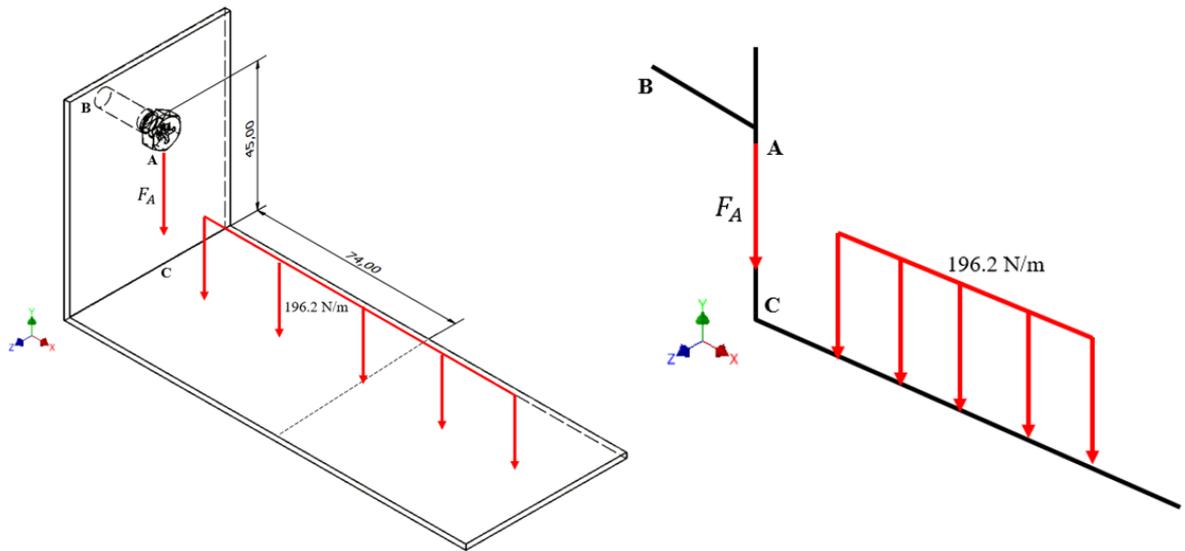


Figura 7: DCL de pieza pitch. (Fuente propia).

La carga distribuida generó una fuerza máxima para el punto de interés A de:

$$F_{yA} = 196.2 \times 0.150 = 29.43N$$

Por otro lado, en el punto de interés C por conservación de fuerzas se consideró una fuerza igual a la de A, con lo que se tiene un esfuerzo sobre el perfil rectangular expresado mediante la ecuación:

$$\tau = \frac{FQ}{It} = \frac{F \times \frac{h}{8} \times b}{\frac{1}{12}bh^3b} = \frac{12F}{8bh}$$

Considerando grosores de 4mm, 2mm y 1mm para los perfiles se tuvo:

$$\tau_{4mm} = \frac{12F}{8bh} = \frac{12 \times 29.43}{8 \times 0.06 \times 0.004} = 184 \text{ KPa}$$

$$\tau_{2mm} = \frac{12F}{8bh} = \frac{12 \times 29.43}{8 \times 0.06 \times 0.002} = 368 \text{ KPa}$$

$$\tau_{1mm} = \frac{12F}{8bh} = \frac{12 \times 29.43}{8 \times 0.06 \times 0.001} = 736 \text{ KPa}$$

Recordando que se trabajó en la zona elástica de los materiales, estos esfuerzos fueron comparados con el esfuerzo de fluencia de los materiales estudiados para la selección final. La Tabla 7 compara los FoS calculados manualmente y los simulados en Inventor.

Tabla 7: Factor de Seguridad para pieza pitch.

FoS		4 mm		2mm		1mm	
Punto	Material	Cálculo	Inventor	Cálculo	Inventor	Cálculo	Inventor
	Madera	8.8	5.4	4.4	2.72	2.2	0.33
C	Acero	14.3	7.36	6.9	3.68	3.39	1.84
	Aluminio	12.04	5.36	6.02	2.68	3.26	1.20
	Madera	4.30	3.16	2.15	1.58	1.08	0.32
A	Acero	13.40	10.5	6.70	5.24	3.35	2.22
	Aluminio	12.10	4.2	6.05	2.1	3.02	1.10

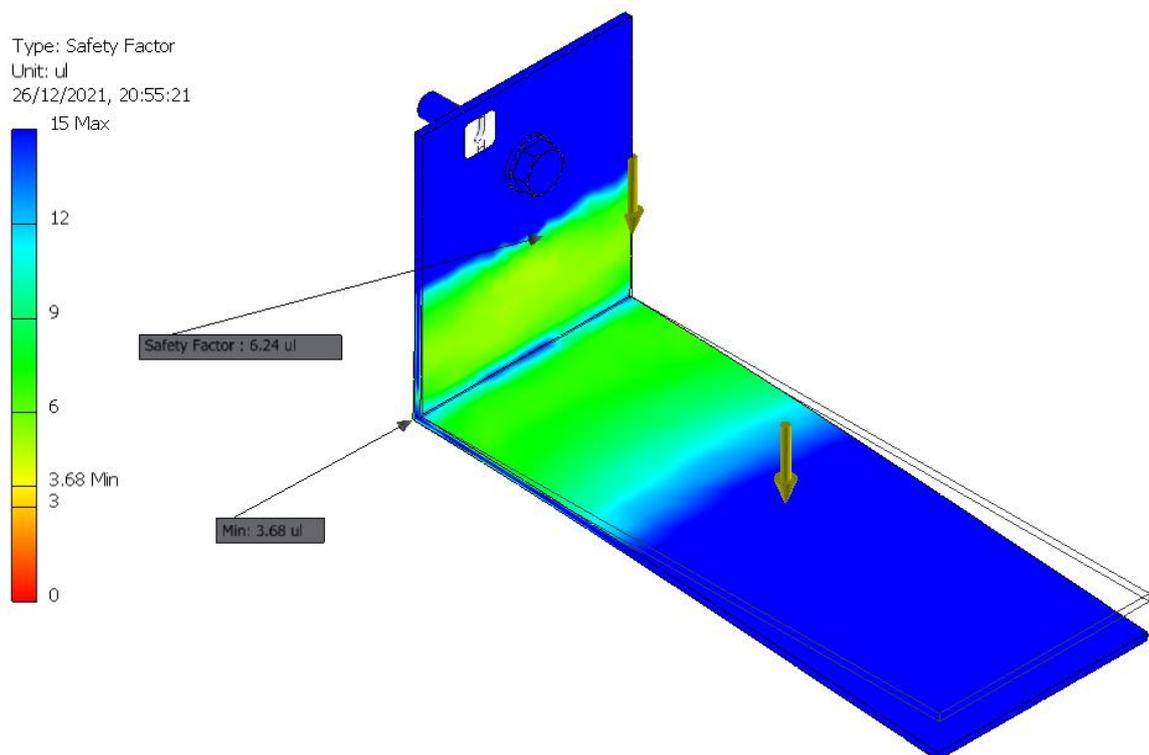


Figura 8: Simulación pieza pitch. (Fuente propia).

Como consecuencia, el material seleccionado fue el Acero A36 con 2mm de grosor para la pieza pitch generando un FoS mínimo de 3.68 (Figura 8). Con ello, la masa simulada de la

primera pieza fue 0.195 kg. Para generar el giro deseado sobre la cámara y la pieza se halló el torque, calculado con la siguiente ecuación:

$$\tau = rF\text{sen}\theta \tag{9}$$

Donde r es la distancia entre el punto del centro de gravedad de la carga y el punto donde se realiza el giro. F es la fuerza de la carga y  $\theta$  es el ángulo entre el vector de la fuerza y el eje de giro (en este caso 90°).

$$\tau = rF\text{sen}90^\circ = 0.07 \times 14.7 \times 1 = 1.03Nm$$

Utilizando una polea secundaria se buscó reducir el torque en un factor de por lo menos 4, considerando el diámetro de 12mm para la polea primaria se tuvo:

$$r > 4 \rightarrow \frac{d}{12} > 4 \rightarrow d > 48mm$$

Se creó entonces un diámetro de 50mm para la polea secundaria o inducida impresa con PLA (Figura 9). Con este arreglo el torque requerido se redujo a 0.25 Nm y se optó por el uso de un motor Nema 17 con código JK42HS34-0404 que brinda hasta 0.27 Nm. Con estos datos se procedió al análisis de la pieza para el movimiento Yaw. Sus dimensiones fueron acordes a la pieza anterior y se muestran en la Figura 10.



Figura 9: Polea secundaria. (Fuente propia).

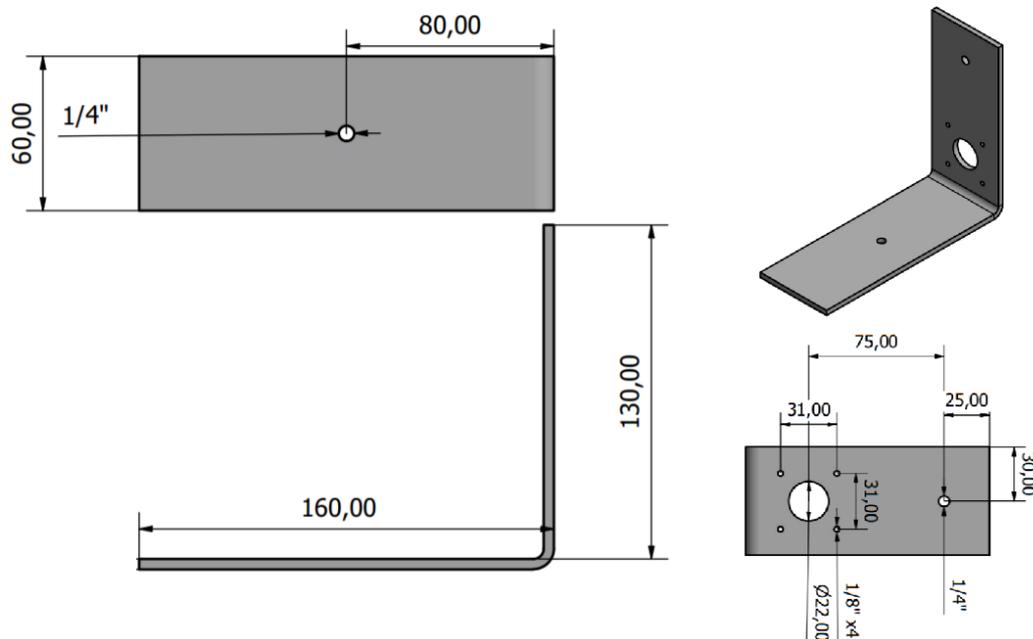


Figura 10: Diseño pieza yaw. (Fuente propia).

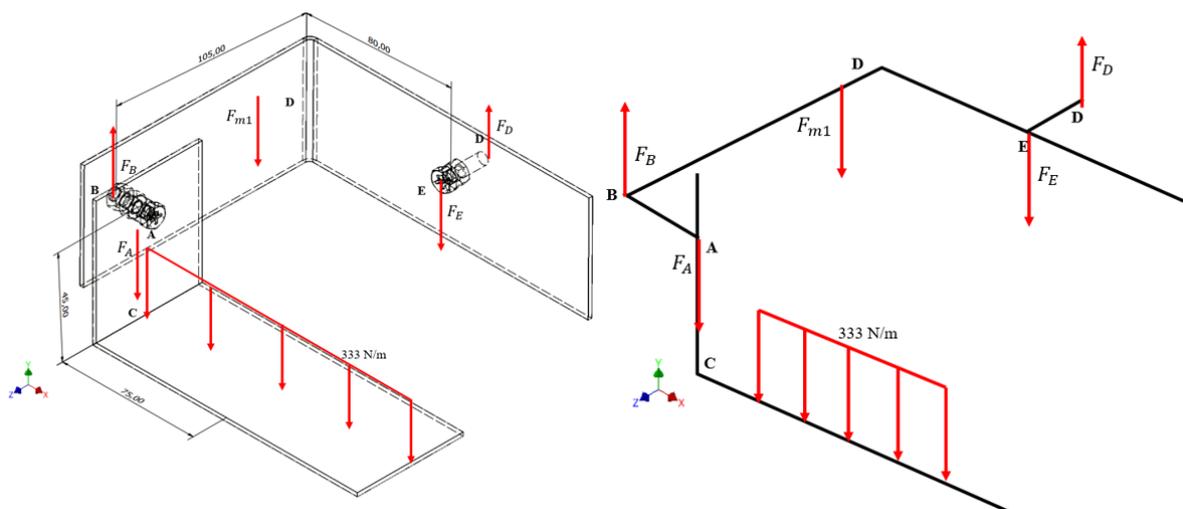


Figura 11: DCL de pieza yaw. (Fuente propia).

Para generar una uniformidad en la estructura, el material seleccionado fue nuevamente el acero al carbón con grosor de 2mm. Una vez ubicada la pieza 2 y generando su DCL (Figura 11), se pudo analizar el esfuerzo cortante sobre el tornillo pasante entre la pieza 1 y 2 (Figura 12). Se consideró la fuerza en A por la cámara ( $F_A$ ) y la fuerza por la masa de la pieza ( $F_{p1}$ )

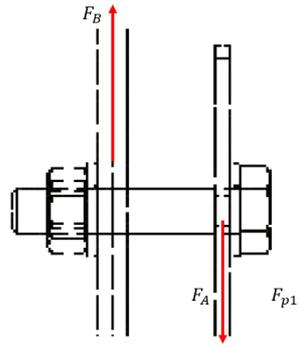


Figura 12: Esfuerzo cortante en el tornillo AB. (Fuente propia).

$$F_B = F_A + F_{p1} = 29.43 + (0.195 \times 9.81) = 31.34 \text{ N}$$

$$\sigma_B = \frac{F_B}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{31.34}{\frac{\pi}{4} 0.004^2} = 2.5 \text{ MPa}$$

Para un diámetro de 4mm el esfuerzo calculado fue de 2.5 MPa y la simulación en Inventor mostró un esfuerzo por Von Misses Stress de 2.65MPa (Figura 13). Este esfuerzo generó un FoS simulado de 5.89 (Figura 14).

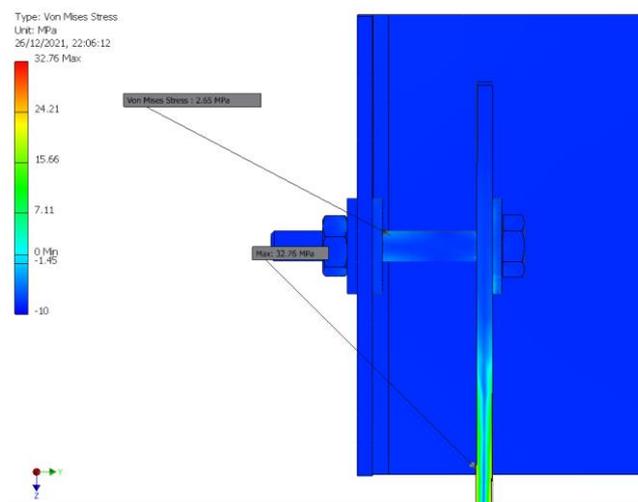


Figura 13: Simulación esfuerzo tornillo AB. (Fuente propia).

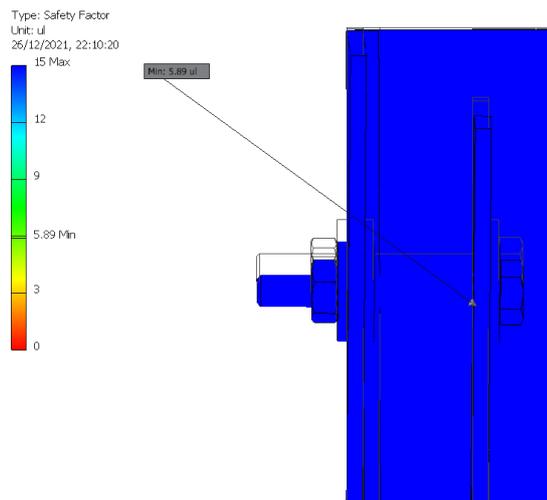


Figura 14: Simulación FoS tornillo AB. (Fuente propia).

El análisis de la pieza yaw no requirió mucho desarrollo, la principal masa a soportar seguirá siendo la de cámara y la masa simulada de la propia pieza fue de 0.245 kg. La simulación de FoS para la pieza se muestra en la Figura 15. Adicionalmente, en la pared de esta pieza se ubicó el motor para el movimiento pitch de 0.28 kg. Esta suma de masas sí se tuvo que estudiar para el esfuerzo sobre el tornillo ED de la Figura 11. Primero se determinó el momento en el punto de interés E con la suma de fuerzas por distancias.

$$M_E = F_A \times 0.105 + F_m \times 0.03 = 14.7 \times 0.105 + 0.525 \times 0.03$$

$$M_E = 1.56 \text{ Nm}$$

Nuevamente con el uso de una polea secundaria con factor de 4.17 el torque se redujo a 0.37 Nm para el eje del motor. Se seleccionó entonces el motor NEMA 17 JK42HS40-1704 que genera un torque de hasta 0.42 Nm.

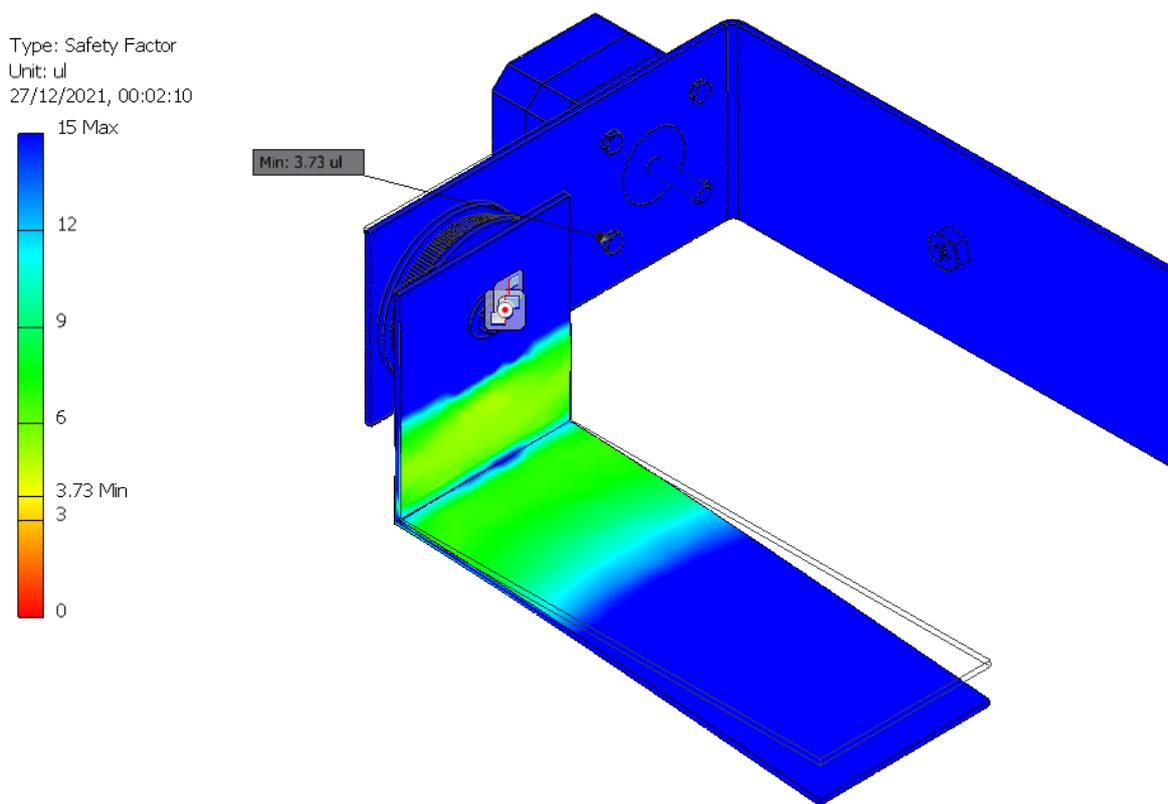


Figura 15: Simulación FoS pieza yaw. (Fuente propia).

El estudio del perno o tornillo ED continuó con el diseño de la última pieza del soporte de la cámara, la pieza deslizante. La Figura 16 muestra las dimensiones planteadas para ella.

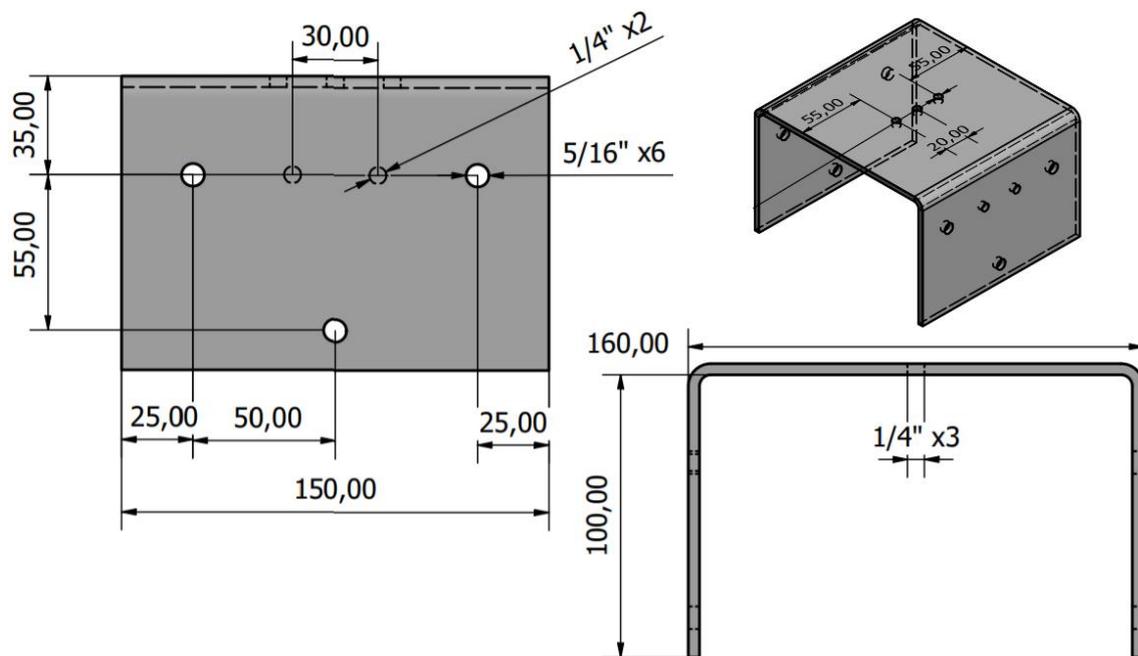


Figura 16: Diseño pieza deslizante. (Fuente propia).

El deslizamiento de esta pieza se realizó sobre dos varillas tubulares en contacto con rodamientos de 8mm de diámetro como se muestra en la Figura 17. Se usaron otros componentes como tuercas y arandelas para varillas roscadas de 6mm. La masa total simulada de esta pieza fue de 1.3 kg que sirvió de contra peso para la cámara de hasta 3kg. Con ello se pudo hallar el esfuerzo sobre el tornillo ED, a través del DCL (Figura 18) y las ecuaciones posteriores.

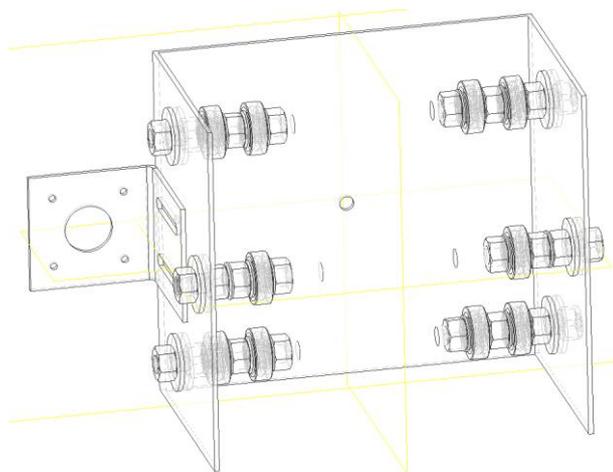


Figura 17: Rodamientos pieza deslizante. (Fuente propia).

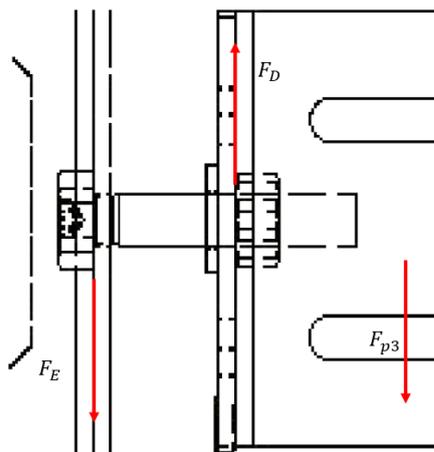


Figura 18: DCL tornillo ED.

$$F_D = F_E + F_{p3} = 36.45 + (1.3 \times 9.81) = 49.20 \text{ N}$$

$$\sigma_B = \frac{F_B}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{49.20}{\frac{\pi}{4} 0.006^2} = 1.74 \text{ MPa}$$

Con un esfuerzo cortante de 1.74MPa el tornillo ED tuvo que dimensionarse de 6mm o ¼ de pulgada. La simulación generó un esfuerzo de 1.46MPa (Figura 19) y así se obtuvo un FoS de 15 (Figura 20).

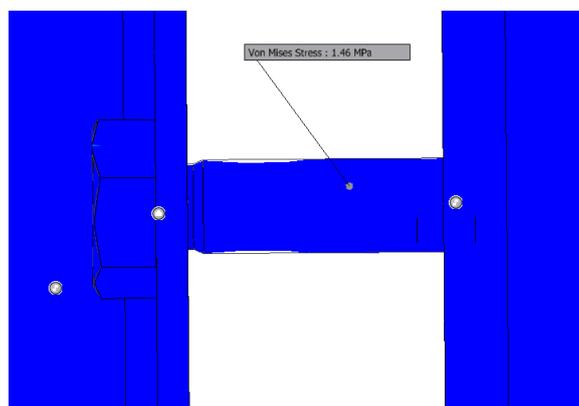


Figura 19: Simulación esfuerzo tornillo ED. (Fuente propia).

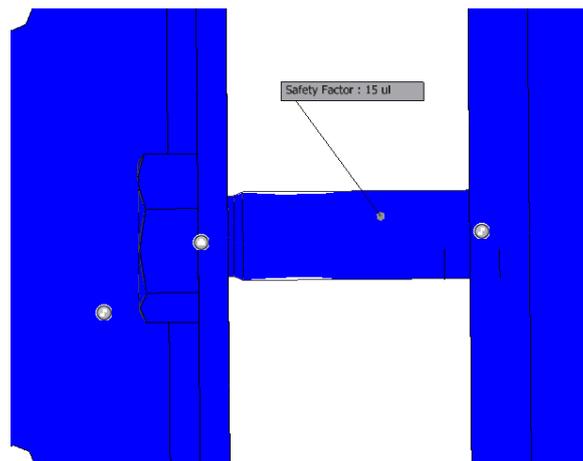


Figura 20: Simulación FoS tornillo ED. (Fuente propia).

A continuación, se dimensionó la fuerza necesaria para generar el movimiento deslizante de la base de la cámara. El DCL de esta parte de la estructura (Figura 21) contempla la fuerza en el punto D como fuerza de carga  $F_L$ , la fuerza por fricción ( $F_f$ ) entre los rodamientos y las barras tubulares, y la fuerza para el desplazamiento ( $F_d$ ) con una velocidad de 3 cm/s.

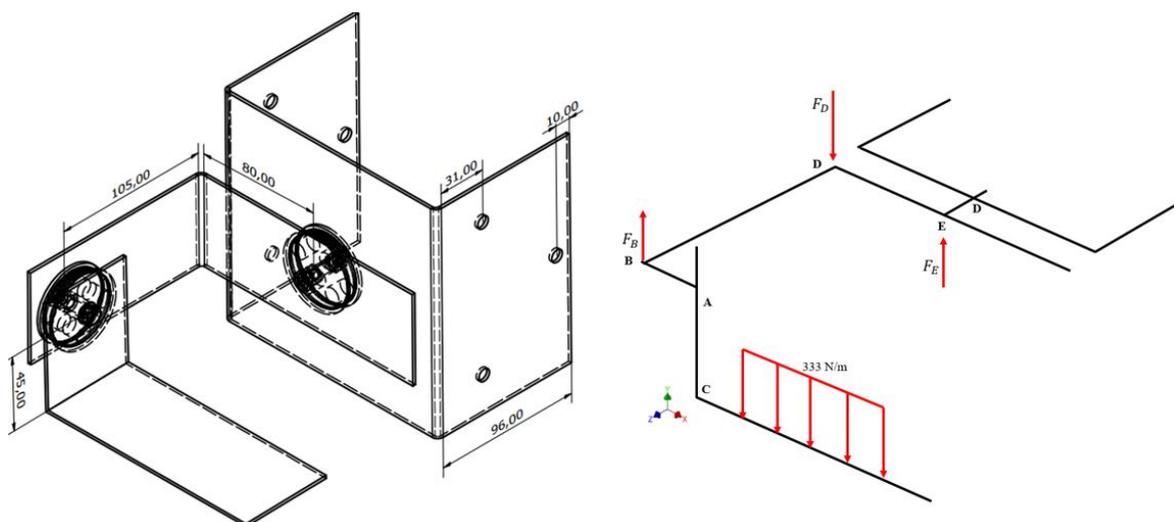


Figura 21: DCL pieza deslizante. (Fuente propia).

$$F = F_L + F_f + F_d$$

$$F_L = F_D (\text{sen}\theta + 0.1 \text{cos}\theta) = 49.2 \times 1 = 49.2 \text{ N}$$

$$F_f = \mu F_L = 0.8 \times 49.2 = 39.36 \text{ N}$$

$$F_m = m \times a = \frac{F_L}{9.81} \times \frac{0.03}{1} = 0.15 \text{ N}$$

$$F = 49.2 + 39.36 + 0.15 = 88.71N$$

$$T = F \times r = 88.71 \times 0.006 = 0.53 \text{ Nm}$$

Para este movimiento se contempló la eficiencia del motor de 0.8, con lo cual el torque buscado fue de:

$$T = \frac{0.53}{0.8} = 0.67 \text{ Nm}$$

La potencia se halló con la ecuación 10.

$$P = T \times w \quad (10)$$

$$P = 0.67 \times 5 = 3.32 \text{ W}$$

Hallada la fuerza para el movimiento se seleccionó el motor Nema JK42HS60-1704 de 0.73Nm y se pudo estimar los requerimientos para la faja del movimiento lineal del deslizador. Para esto se siguió el Manual de Diseño para Fajas de Mitsuboshi (Anexo F), en el que se hace uso de los siguientes análisis y ecuaciones.

En primer lugar, se debe entender el uso de la faja, es decir definir el tipo de máquina, la potencia de transmisión, la cantidad de horas que deberá trabajar regularmente por día, el factor de transmisión entre poleas, la distancia entre poleas y tomar en cuenta condiciones de trabajo especiales. Se tiene que:

- Se estudiará como una faja transportadora.
- La potencia es de 3.32W
- Uso útil aproximado de 3h/día.
- Velocidad lineal es 3cm/s equivalente a un angular de 5 rad/s
- Ratio velocidad 1
- Distancia de centros 120cm
- Trabajos bajo ninguna condición especial.

Como resultado se evalúa, con la ecuación 11, el Factor de Servicio ( $K_s$ ) que es la sumatoria de un Factor de corrección de Servicio ( $K_o$ ), un factor de corrección de desvió ( $K_i$ ) y un factor de condición de trabajo ( $K_e$ ). Los valores de cada variable serán tomados de las tablas ofrecidas por el manual de diseño (Anexo F). Mientras que la Potencia de Diseño ( $P_d$ ) es la multiplicación de la Potencia de transmisión ( $P_t$ ) y el Factor de Servicio, ecuación 12.

$$K_s = K_o + K_i + K_e \quad (11)$$

$$K_s = 1.1 + 0.1 + 0.2 = 1.4$$

$$P_d = P_t \times K_s \quad (12)$$

$$P_d = 3.32 \times 1.4 = 4.65 \text{ W}$$

La faja destinada a este proyecto fue la 2GT-6 usada para poleas de 6mm para motores paso a paso. Se determinó el largo total de la faja ( $L_p$ ) con la ecuación 13, considerando la distancia de poleas ( $C$ ) y los diámetros de cada polea ( $D_p$  y  $d_p$ ); tras ello se halló la cantidad de fajas necesarias ( $nb$ ) con la ecuación 15. Varios datos fueron extraídos de las características técnicas de la faja (Anexo F).

$$L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) \quad (13)$$

$$L_p = 2(1200) + 1.57(12 + 12) = 2437.68 \text{ mm}$$

$$P_c = (P_s + P_a) \times K_c \quad (14)$$

$$nb = \frac{P_d}{P_c} \quad (15)$$

$$nb = \frac{4.65}{1.71 \times 1.3} = 2.09$$

Donde:

$P_c$ : Ratio de Corrección de Potencia

$P_s$ : Ratio Básico de Potencia

$P_a$ : Ratio adicional de Potencia para velocidad inducida.

$K_C$ : Factor de corrección de Potencia

Tras el análisis se determinó el uso de 2 fajas 2GT-6 para realizar el movimiento deseado.

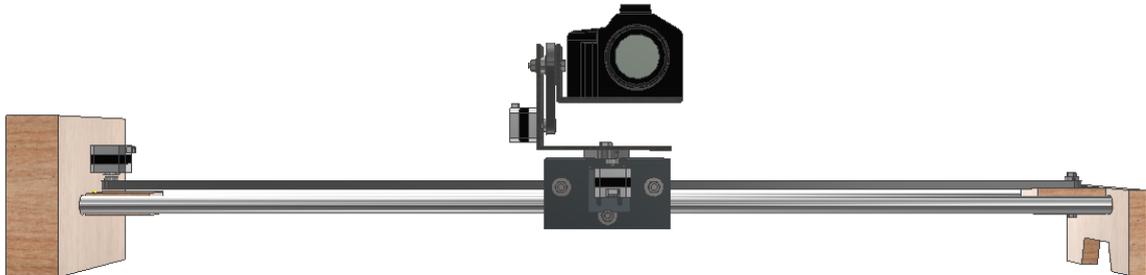


Figura 22: Deslizador horizontal. (Fuente propia).

Las barras deslizantes tuvieron su análisis de estudio crítico en posición horizontal con la cámara en un punto medio, como en la Figura 22. La masa total de la base de la cámara y la propia cámara se redondeó a 6 kg, con ello se halló el esfuerzo cortante sobre ambas varillas. Se determinó la inercia del cuerpo con la ecuación 16

$$I = \frac{1}{4}\pi(c^4 - c^4) \tag{16}$$

$$I = \frac{1}{4}\pi(0.022^4 - 0.02^4) = 5.83 \times 10^{-8}m^4$$

$$Q = \sum \bar{y}'A' = \frac{4 d_e}{3\pi} \left( \frac{\pi d_e^2}{2} \right) - \frac{4 d_i}{3\pi} \left( \frac{\pi d_i^2}{2} \right) = \frac{4 \cdot 0.022}{3\pi} \left( \frac{\pi \cdot 0.022^2}{2} \right) - \frac{4 \cdot 0.02}{3\pi} \left( \frac{\pi \cdot 0.02^2}{2} \right)$$

$$Q = 1.77 \times 10^{-6}m^3$$

$$\tau = \frac{VQ}{It} = \frac{58.86 \times 1.77 \times 10^{-6}}{5.83 \times 10^{-8} \times 0.004} = 0.45 MPa$$

Se estudió el comportamiento de varillas de 22mm de diámetro exterior y 2mm de grosor, encontrado en el mercado. El material fue de aluminio por su comercialización, ligereza y menor rugosidad para permitir el desplazamiento de rodamientos sobre él. La Figura 23 muestra la simulación de esfuerzos de Von Mises en Inventor sobre las varillas, generando un

punto máximo sobre los pernos. A pesar de ello, la Figura 24 muestra un factor de seguridad de 3 en el punto de mayor esfuerzo, por lo que, el arreglo es aceptable.

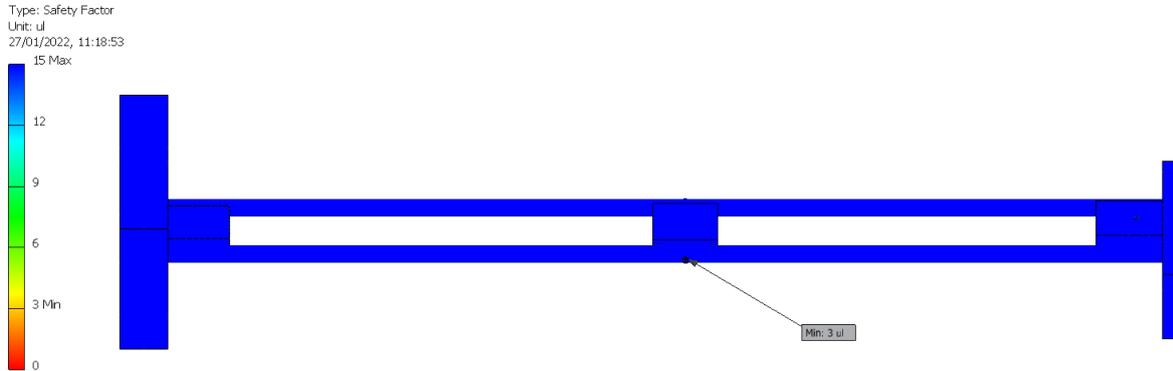


Figura 23: Simulación esfuerzos varilla deslizante. (Fuente propia).

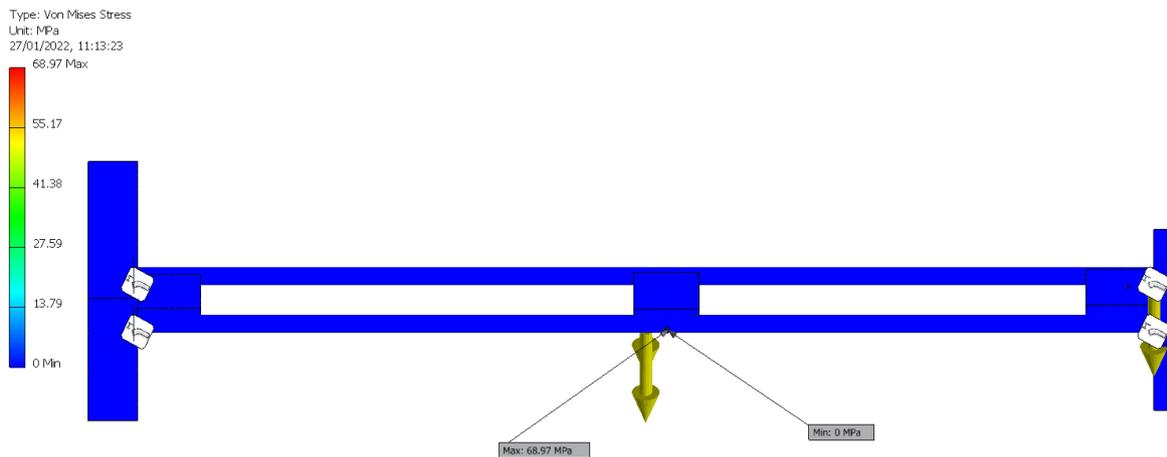


Figura 24: Simulación de factor de seguridad varilla deslizante. (Fuente propia).

Finalmente, la Base al Suelo debió soportar el mayor esfuerzo con la estructura vertical. El material planteado fue madera para generar una proporción entre su volumen y masa y además generar un centro de gravedad bajo en el equipo.

El esfuerzo sobre la base fue de :

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{70}{0.18 \times 0.285} = 1.3 \text{ KPa}$$

## b. Base Giratoria

La Figura 25 representa la estructura de la base giratoria, la cual debió soportar cargas de hasta 240 kg (alrededor de tres personas) y ser firme en cualquier punto de su área con 1 metro de diámetro. El giro de la base se realizó con un motor DC y por medio de su sistema de transmisión se buscó mantener una velocidad constante menor o igual a los 4rpm, variable por el usuario. Por todo ello se diseñó de forma que fuera desmontable para facilitar su transporte.



Figura 25: Diseño base giratoria. (Fuente propia).

El análisis más importante para este equipo fue sobre dos piezas: la base superior (material y grosor) y el eje central de giro entre la base superior y la base inferior. Para una masa de 80kg por persona y considerando 3 personas para el trabajo del equipo se tuvo sobre la base superior una fuerza de 2354.4 N. Considerando el área 1 metro de diámetro y la fuerza se halló el esfuerzo axial que generaría sobre la base superior.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2354.4}{\pi \frac{1^2}{4}} = 3 \text{ KPa}$$

Se determinó que cualquier material contemplado generaría un Factor de Seguridad mayor a 3. Por lo que la selección del material se definió por la masa que generarían, evaluando que no superen los 15 kg pues el equipo total debía tener menos de 20kg. Se estudiaron perfiles de madera de 20mm y acero de 3mm. Los resultados mostraron un beneficio al usar la madera, por lo que, este fue el material seleccionado. La Figura 26 muestra su factor de seguridad para la presión esperada.

$$W_{base\ madera} = \rho \times V = 553.6 \times \pi \frac{1^2}{4} 0.02 = 8.7\ \text{kg}$$

$$W_{base\ acero} = \rho \times V = 7850 \times \pi \frac{1^2}{4} 0.003 = 18.5\ \text{kg}$$

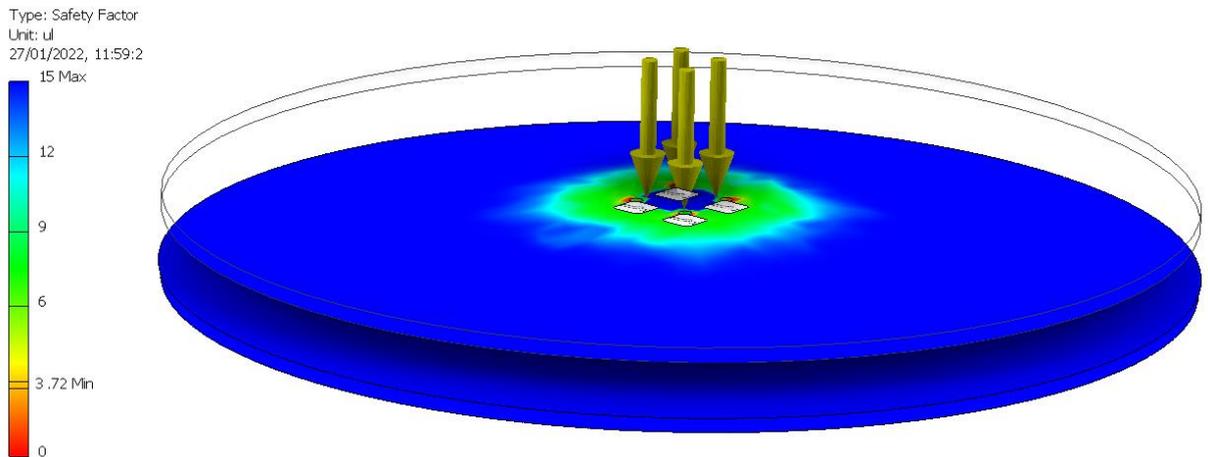


Figura 26: Simulación FoS base superior. (Fuente propia).

A continuación, se estudió el esfuerzo sobre el eje central de la base. Por el método de fallas se buscó un diámetro para un material de acero al carbón sobre el cual la carga genere un esfuerzo menor a la tercera parte del esfuerzo de cedencia del material. Es decir:

$$\sigma < \frac{\sigma_{yield\ acero\ al\ carbón}}{3}$$

$$\sigma < \frac{206\ \text{MPa}}{3} = 68.7\ \text{MPa}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2} ; d = \sqrt{\frac{P}{\frac{\pi}{4}\sigma}}$$

$$d > \sqrt{\frac{2354.4}{\frac{\pi}{4}68.7 \times 10^{-6}}}$$

$$d > 6.6\ \text{mm}$$

Con el cálculo matemático, teóricamente un diámetro de 7mm podría soportar la carga designada. Sin embargo, con el software Inventor se notó un FoS de 1.09 para una barra de ese diámetro. El arreglo se modificó hasta encontrar que con 10mm el FoS era mayor a 3. Tras la búsqueda de un perfil parecido en el mercado se encontró una varilla de acero al carbón de 13mm de diámetro y 160mm de largo. La simulación finalmente se muestra en la Figura 27.

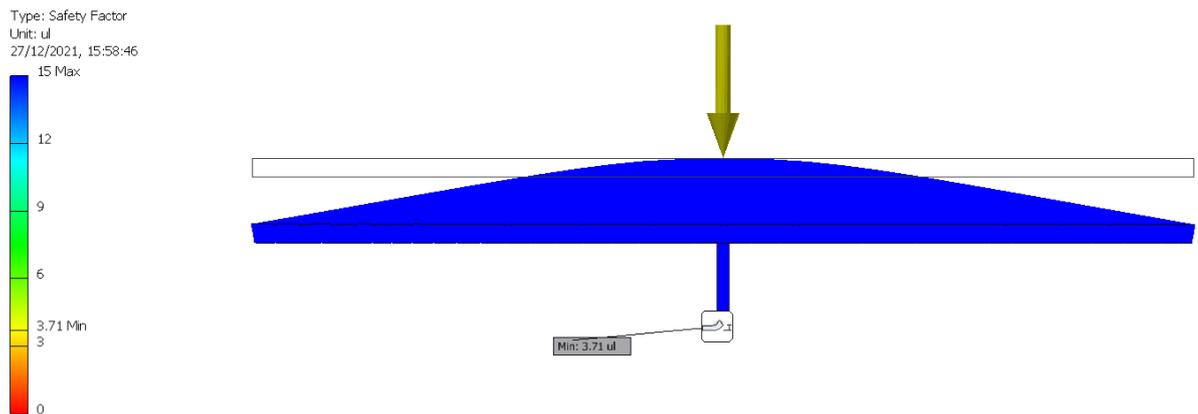


Figura 27: Simulación FoS eje base giratoria. (Fuente propia).

El FoS de 3.71 está en el rango aceptable para lo planteado, sin embargo, la carga total no generó una presión únicamente sobre el eje. Para distribuir la carga y generar estabilidad en la base superior, se usó una chumacera o rodamiento y 4 ruedas de apoyo como se muestra en la Figura 28. Las ruedas fueron colocadas a una distancia de 30cm del centro y el eje tuvo otras dos chumaceras más junto al engrane secundario. En la base inferior de la base se colocaron además el motor, la fuente electrónica y el circuito.

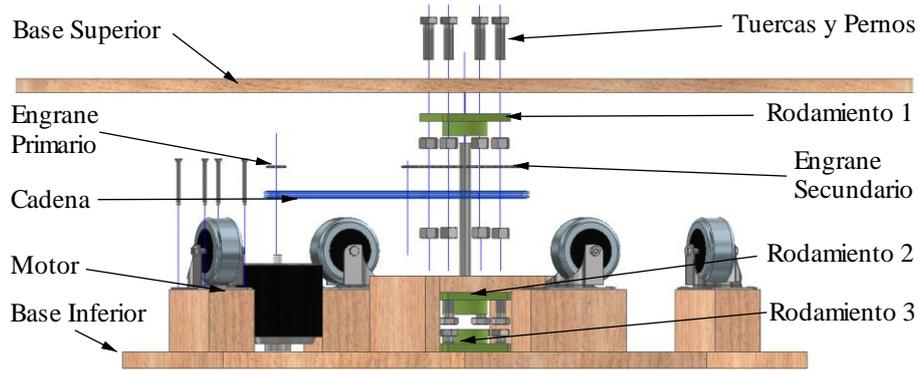


Figura 28: Vista explosionada de base giratoria. (Fuente propia).

Lo siguiente fue determinar los requerimientos para el movimiento giratorio de la carga esperada. De acuerdo con Beer et al. (2007), para este tipo de cálculo se debe idealizar el cuerpo entero de carga como parte de la base sólida rotativa, entonces se halla la inercia del objeto en  $kg\ m^2$  a través de la Ecuación 17, donde se relaciona la masa total (carga y masa de la base) en kilogramos con el radio de la base en metros. Mientras, la velocidad angular o de revolución ( $w$ ) se mide tanto en RPM como en rad/s.

$$I = \frac{1}{2} m R^2 = \frac{1}{2} (240 + 8.7) 0.5^2 = 31.08\ kg/m^2 \quad (17)$$

$$w = RPM \frac{2\pi}{60} = 4 \frac{2\pi}{60} = 0.42\ rad/s$$

En lo concerniente al torque total ( $T_T$ ), este se determina con la sumatoria del torque por inercia y por fricción respecto al centro del cilindro medidos en Nm con la Ecuación 18. El torque por inercia ( $T_I$ ) de la Ecuación 19 precisa la variación del momento angular ( $\Delta M_I$ ) desde el estado de reposo hasta la velocidad deseada en cierto tiempo ( $\Delta t$ ). El torque por fricción ( $T_F$ ), representado en la Figura 29 y ecuación 21, se da por las fuerzas de fricción en los puntos de apoyo (ruedas) de la base que se oponen al giro. La Ecuación 21 relaciona el coeficiente de fricción  $\mu$  con el peso de la carga  $m\ g$  multiplicado por la distancia  $R_r$  del centro a los apoyos.

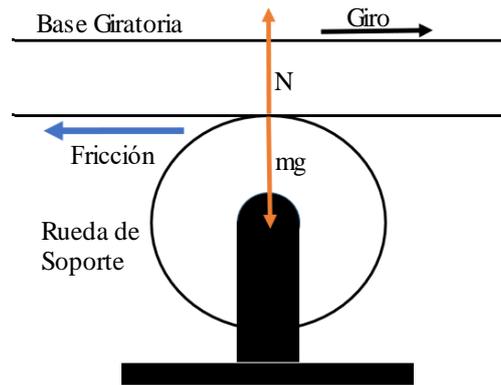


Figura 29: DCL para apoyos de base giratoria. (Fuente propia).

$$T_T = T_I + T_F \quad (18)$$

$$T_I = \frac{\Delta M_I}{\Delta t} \quad (19)$$

$$M_I = I \omega \quad (20)$$

$$T_F = (\mu m g) R_r \quad (21)$$

Con ello se tiene que:

$$T_I = \frac{31.08 \times 0.42}{3} = 4.35 \text{ Nm}$$

$$T_F = (0.8 \times 248.7 \times 9.81) 0.3 = 585.54 \text{ Nm}$$

$$T_T = T_I + T_F = 589.89 \text{ N}$$

Para asegurar el dimensionamiento del torque requerido se usó el programa Control Motor Sizing. Se incluyeron los datos requeridos y se obtuvo un resultado acorde a los cálculos, este resultado se muestra en la Figura 30.

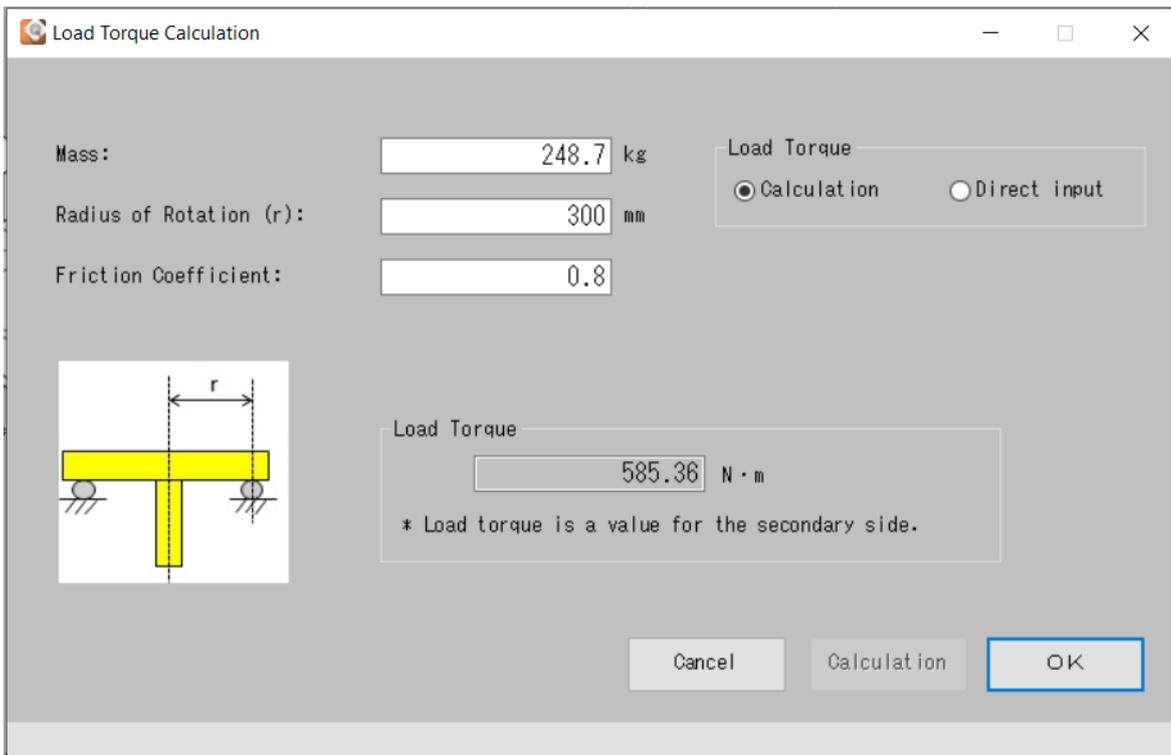


Figura 30: Dimensionamiento torque base giratoria. (Fuente propia).

Para disminuir el torque requerido se planteó el uso de un sistema de transmisión por cadena. Este arreglo de piñón y cadena generó un factor o ratio de transmisión; la Ecuación 22 asocia el ángulo de giro ( $\theta$ ) y el diámetro ( $d$ ) para el eje de entrada y salida. La Figura 31 sirve de referencia para estas ecuaciones.

Como consecuencia, el torque que el motor deberá generar se halló con la Ecuación 23; mientras que la potencia requerida ( $P$ ) se relaciona nuevamente con el torque total, y la velocidad de rotación deseada. Finalmente, en la Ecuación 24 se considera su factor de eficiencia ( $e$ ), la cual se vincula con la potencia real brindada y la potencia ideal del motor, según su ficha técnica.

$$r = \frac{\theta_e}{\theta_s} = \frac{d_s}{d_e} \quad (22)$$

$$T_T = r T_m \quad (23)$$

$$P = T_T \times w$$

$$e = \frac{P_{real}}{P_{motor}} \quad (24)$$

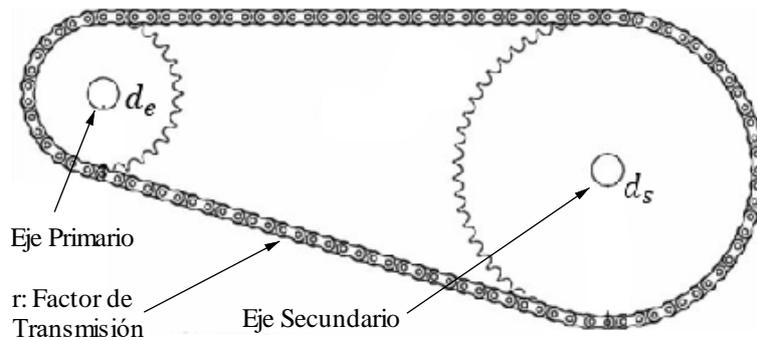


Figura 31: Sistema de cadena y piñón. (Fuente propia).

Para generar un factor de transmisión de 5, dimensionaremos el piñón inducido, partiendo de los datos del piñón primario que fue adquirido con el motor.

Dientes entrada = 11

Diámetro Externo = 2 cm = 0.02m

$$r = \frac{d_s}{d_e}$$

$$d_s = r d_e = 5 \times 2 = 10 \text{ cm}$$

El módulo del piñón primario se define como la división entre el diámetro de entrada y el número de dientes del piñón primario aumentado en dos unidades (Ecuación 25).

$$m = \frac{D_e}{z_1 + 2} \quad (25)$$

$$m = \frac{D_e}{z_1 + 2} = \frac{2}{11 + 2} = 0.15 \text{ mm}$$

El paso de la cadena se halló con la ecuación 26.

$$p = m\pi \quad (26)$$

$$p = m\pi = 0.15\pi = 0.47mm$$

Por lo que, el piñón secundario deberá tener la misma proporción.

$$m = 0.15 = \frac{D_e}{z_2 + 2}$$

$$z_2 + 2 = \frac{10}{0.15}$$

$$z_2 = 64.7 \approx 65$$

Definimos que el piñón secundario deberá tener o aproximarse a ser de 10 cm de diámetro y 65 dientes. A continuación, se determinó la distancia entre ejes con las ecuaciones 27 y 28.

$$\frac{L}{p} = \frac{(z_1 + z_2)}{2} + (z_2 - z_1)\frac{\beta}{\pi} + O_1O_2 \cdot \text{Cos}\beta \cdot \frac{2}{p} \quad (27)$$

$$\frac{L}{p} = \frac{(11 + 65)}{2} + (65 - 11)\frac{\beta}{\pi} + O_1O_2 \cdot \text{Cos}\beta \cdot \frac{2}{0.47}$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{R_2 - R_1}{O_1O_2}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{0.05 - 0.01}{O_1O_2}\right) \quad (28)$$

Donde:

L: Longitud total de la cadena (mm)

p: Paso de la cadena (mm)

$z_1$ : Número de dientes piñón primario

$z_2$ : Número de dientes piñón secundario

$O_1O_2$ : Distancia entre ejes (mm)

$\beta$ : Ángulo de contacto (rad)

$R_2$  y  $R_1$ : son los radios del piñón secundario y primario, respectivamente.

Al tener 3 variables,  $\frac{L}{p}$ ,  $\beta$  y  $O_1O_2$ , pero sólo 2 ecuaciones, se debió estimar un valor a una de las variables. La distancia entre ejes se puede parametrizar por el área disponible en la base de madera de 50cm de radio.  $\frac{L}{p}$  deber ser un número entero así que usaremos diferentes variables para  $O_1O_2$  hasta conseguir una relación que satisfaga ello (Tabla 8).

*Tabla 8: Deducción de cálculos de cadena.*

$\frac{L}{p}$	$\beta$	$O_1O_2$
201.8	9.59	0.24
200.5	9.51	0.242
200.0	9.49	0.2426

Con ello, se define que para una longitud/paso de la cadena entera (200 en este caso) se requiere una distancia entre ejes de 0.2426 m o 24.26cm. Asegurando el ratio de transmisión de 5 se pudieron desarrollar las ecuaciones de potencia:

$$r = 5$$

$$589.89 = 5 T_m$$

$$T_m = 117.98 Nm$$

$$P = 589.89 \times 0.42 = 247.75 W$$

$$e = 0.75 = \frac{250}{P_{motor}}$$

$$P_{motor} = 333.3 W$$

Considerando los valores comerciales se optó por el uso de un motor de 350W. Finalmente, se seleccionó el motor XYD-6B2 de 350W y 24VDC con 2600RPM como máximo. La Tabla 9 muestra el resumen de los componentes para el sistema transmisión:

*Tabla 9: Características sistema de cadenas.*

	Piñón primario	Piñón secundario
Diámetro exterior	2 cm	10 cm
Diámetro de paso	1.67 cm	9.73 cm
Diámetro del eje	1.66 cm	9.72 cm
Paso		0.47 mm
N de dientes	11	65
Ancho de diente		4 mm
Distancia entre ejes		24.26 cm
Número de Cadena		25H

### 2.3.3 Estudio de circuito electrónico

El sistema electrónico debió brindar la energía eléctrica adecuada, generar las señales correspondientes hacia los circuitos de motores y permitir el control Bluetooth de los equipos; debido a que estos son independientes físicamente se usó un circuito electrónico para cada uno. Asimismo, se seleccionaron componentes electrónicos pequeños, comerciales y que faciliten la producción en masa de los equipos.

Iniciando con la selección de componentes se tuvo que elegir al microcontrolador base para los equipos, priorizando usar el mismo en ambos casos. El autor de este proyecto realizó previamente diferentes trabajos de control basándose en microcontroladores de la empresa Microchip por lo que se optó su uso. Se debió determinar el tipo de PIC y se establecieron los

requerimientos para cada equipo que fueron parecidos para ambos. Para el deslizador y para la base giratoria cada PIC requirió de un oscilador interno, contar con comunicación USART; que permite el protocolo Bluetooth, y generar una señal PWM. Además, para el deslizador y la base se necesitaron ocho salidas digitales.

El PIC16F88 de Microchip se seleccionó para el control debido a que cumple con todos los requerimientos planteados, dado que se trata de un chip compacto de gama media con 18 pines, de los cuales 16 son salidas digitales. Este chip, además, tiene un precio muy reducido, lo que facilita su comercialización.

En segundo lugar, se seleccionó el módulo para la comunicación Bluetooth. Se encontraron diferentes tipos en el mercado variando en sus rangos de trabajo, cantidades de pines, voltajes de funcionamiento y tipo de comunicación (SPI o UART). En el Anexo B se muestra la tabla de decisión para la selección del componente, finalmente se usó el HC-05.

Ambos circuitos coinciden en el uso de una señal PWM (*Pulse-Width Modulation*, modulación por ancho de pulso) para el control de motores, generada por el PIC16F88. La Figura 32 representa una señal PWM como un tren de pulsos en una gráfica de Voltaje de entrada x Tiempo, con la que se puede controlar la velocidad de un motor, pues se energiza y desenergiza repetidamente por cierto tiempo, lo cual produce un voltaje real variable ( $V_r$ ) (Ecuación 29).

La ecuación 29 muestra el valor del Voltaje Real ( $V_r$ ) de una señal PWM. Esta resulta de la multiplicación del voltaje entregado ( $V_e$ ) por el *duty cycle* ( $\delta$ ); en consecuencia, la corriente y la potencia máxima del motor también varían. Otra variante entre los circuitos es que para la base giratoria la velocidad es modulable, y para el deslizador es constante. El valor del *duty cycle* para la velocidad se debe comprobar en la práctica. Algunos datos para generar esta señal son la frecuencia, el periodo y el *duty cycle*. Este último (Ecuación 30) describe el

ciclo de trabajo de la señal, y con ello se relaciona tanto el tiempo de encendido ( $t_{on}$ ) como el tiempo total de operación o periodo (T).

$$V_r = \delta V_e \tag{29}$$

$$\delta = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \tag{30}$$

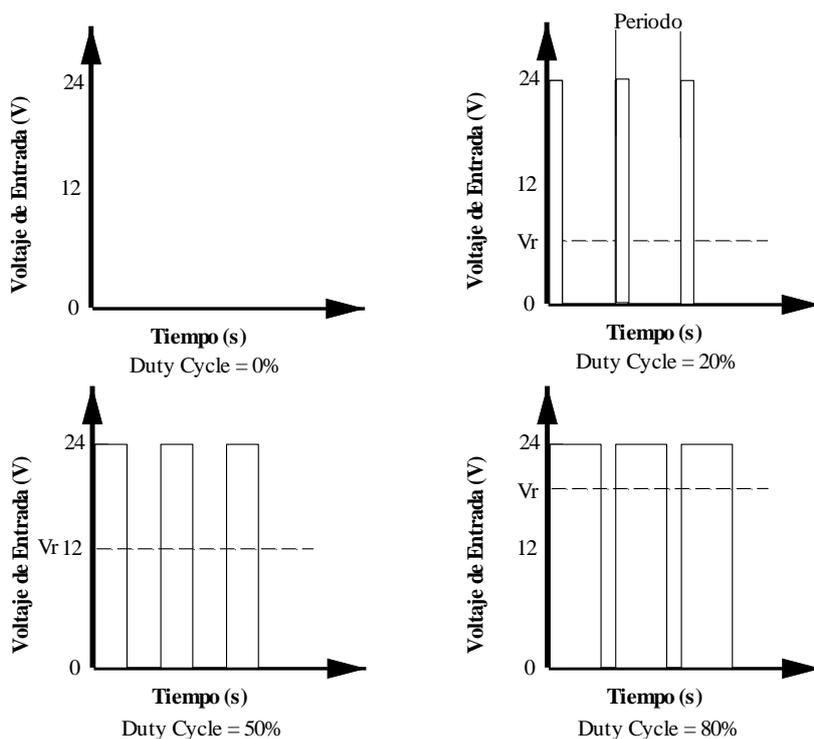


Figura 32: Gráfico PWM (Voltaje x Tiempo). (Fuente propia).

Con todo ello, la Figura 33 representa el circuito necesario para el deslizador y detalla su funcionamiento tanto eléctrico como electrónico. Este sistema debió energizar los componentes de control de bajo consumo, tales como el microcontrolador, el módulo HC-05 y los drivers. Además, energiza a los motores paso a paso Nema de amperaje acorde a los movimientos de desplazamiento lineal, en giro pitch y giro yaw.

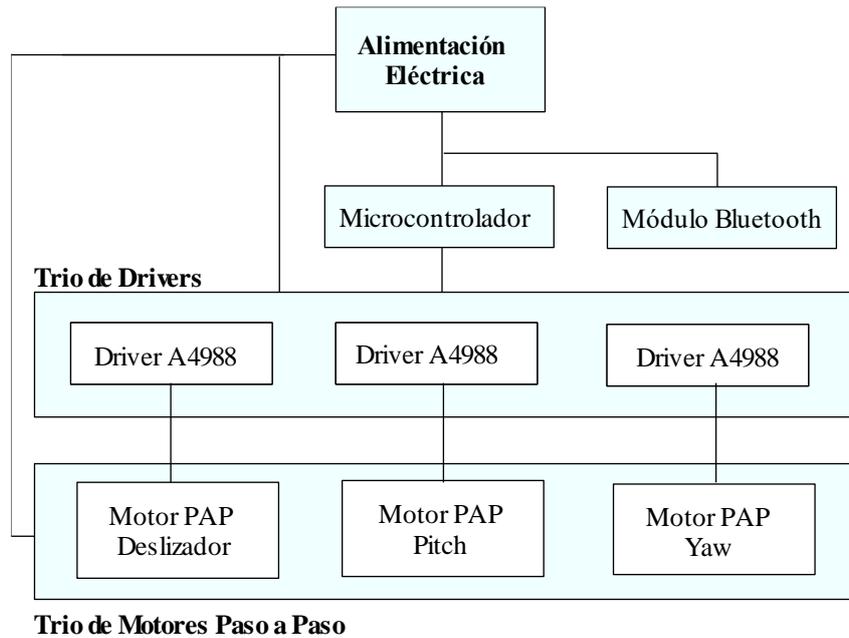


Figura 33: Esquema de funcionamiento del deslizador. (Fuente propia).

Los Drivers A4988, muy usados para motores Nema por sus rangos de corrientes, se utilizaron en este proyecto, para lo cual se necesitó la siguiente ecuación extraída del Datasheet del Driver, que permitió calibrar el voltaje de referencia ( $V_{ref}$ ) al variar la resistencia del controlador ( $R_s$ ) a partir de la corriente ( $I$ ) que consume cada motor.

$$I_{TripMAX} = V_{ref} / (8 R_s) \quad (31)$$

La resistencia de los controladores adquiridos fue de 0.1 Ohm, así que, despejando para el voltaje se tuvo:

$$V_{ref} = I_{TripMAX} \times (8 R_s) = I_{TripMAX} \times 0.8$$

En apartados anteriores se definieron los motores NEMA 17 usados de 1.7 y 0.4 A. Con ello, los voltajes configurados fueron de:

$$V_{ref} = I_{TripMAX} \times 0.8 = 1.7 \times 0.8 = 1.36 V$$

$$V_{ref} = I_{TripMAX} \times 0.8 = 0.4 \times 0.8 = 0.32 V$$

Considerando todos lo anterior, se realizó la Tabla 10 sobre el consumo de voltaje y amperaje de cada componente. Se optó por energizar por separado los componentes de control

y los motores. Con ello se tuvo un consumo de 12V y 3.8 A aproximadamente para la etapa de potencia y 5V y 105 mA para el control. El arreglo usado de baterías se muestra en la Figura 34, siendo 3 baterías de Litio (Li-ion) 18650 en serie, que ofreció 11.1 V y 2800mAh. Mientras que para los componentes de control se usó un arreglo de batería de Litio LiPo de 5V y 1200mAh.

Tabla 10: Amperaje de alimentación para el deslizador.

Etapa	Componente	Voltaje	Amperaje	Cantidad	Amperaje Total
Potencia	Motor <i>Slider</i>	12	1.7A	1	1.7A
	Motor <i>Pitch</i>	12	1.7A	1	1.7A
	Motor <i>Yaw</i>	12	0.4A	1	0.4 A
Total Potencia					3.8 A
Control	PIC16F88	3.3 - 5	78uA	1	78uA
	Módulo HC-05	3.3 – 5	1mA	1	1mA
	Driver A4988	3.3 -5	8mA	3	24mA
	Resistencia 330 ohm	-	15mA	4	60mA
	Led	3.7	10mA	2	20mA
Total Control					105mA

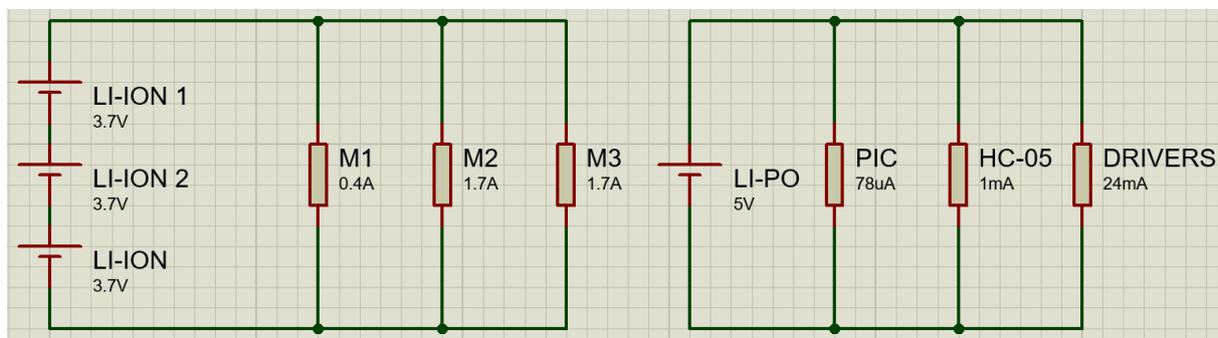


Figura 34: Arreglo baterías para deslizador. (Fuente propia).

Las baterías de los motores merecieron un análisis de autonomía, por lo que, la potencia de las baterías fue:

$$2800 \text{ mAh} \times 11.1 \text{ V} = 31.08 \text{ Wh}$$

Si se usan los 3 motores al mismo tiempo se crea una potencia de consumo de:

$$3.8 \text{ A} \times 11.1 \text{ V} = 42.18 \text{ W}$$

Con lo que, al usar los 3 motores a la vez, se tiene una autonomía de:

$$\frac{31.08 \text{ Wh}}{42.18 \text{ W}} = 0.73 \text{ h} = 44 \text{ min.}$$

Para generar una mayor autonomía y mantener el uso de baterías de litio, se consideró un arreglo en paralelo para generar 5600 mAh pero además de la cantidad de baterías requeridas (6 unidades) este arreglo dañaría a las mismas, reduciendo la vida útil de las baterías. Considerando que los 3 motores se usarán a la vez por periodos cortos de tiempo se prosiguió con el uso de 3 baterías en serie.

En lo que respecta al microcontrolador, este generó la salida PWM para los tres drivers y controló el pin “Enable” y “Sleep” de estos, con lo que evitó activar los tres drivers a la vez cuando los motores no estaban en uso. Esto es posible si el usuario envía los comandos requeridos, no obstante, causará un alto consumo de corriente, y el resultado será un movimiento más lento de los motores.

Para hallar el duty cycle requerido para los movimientos se tuvo:

$$P_{pitch} = T \times w = 1.029 \times 0.21 = 0.216 \text{ W}$$

$$P_{pitch} = \frac{V^2}{R}$$

$$V = \sqrt{P_{pitch} \times R} = \sqrt{0.216 \times 1.5} = 0.57 \text{ V}$$

$$\delta_{pitch} = \frac{V_r}{V_e} = \frac{0.57}{12} = 4.7\%$$

Realizando el mismo procedimiento para cada motor se tuvo que:

$$\delta_{yaw} = 6.7\%$$

$$\delta_{deslizador} = 25\%$$

Se encontró una similitud entre lo duty cycle del movimiento pitch y yaw por lo que se usó un promedio de 5.7 %. Mientras que el deslizador requirió de un duty cycle mayor de 25%.

La placa electrónica diseñada en Proteus (Figura 35) también contó con otros detalles como dos leds (D1 amarillo y D2 verde), uno indica que el equipo está energizado y el otro que

se recibió un comando mediante Bluetooth. Además, se incluyeron switches fines de carrera en la parte superior e inferior del equipo para incluirlo a la lógica de control. Se usaron switches de 4 pines para regular los micropasos de los drivers. De esta manera esta opción será manipulable por el usuario. Tras verificar las simulaciones, se usó el software KiCad (Figura 36) para diseñar el PCB y generar el archivo *Gerber* que fue enviado a imprimir. La placa final se presenta en la Figura 37. Todos los componentes usados se muestran en la Tabla 11.

*Tabla 11: Componentes circuito electrónico deslizador.*

<b>Símbolo</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción y Características</b>
BAT1	Batería Litio	3.7V 2200mAh
BAT2	Batería Litio	3.7V 2200mAh
BAT3	Batería Litio	3.7V 2200mAh
BAT4	Batería Lipo	5V
R1		
R2		
R3	Resistencia	330Ohm 1/4W
R4		
C1	Condensador	100uF 16V
C2		
C3		
SW1	SWITCH 4 PINES	1A máx.
SW2	SWITCH 4 PINES	1A máx.
SW3	SWITCH 4 PINES	1A máx.
SW4	Fin de Carrera	Normalmente abierto
SW5	Fin de Carrera	Normalmente abierto
U1	Microcontrolador	PIC16F88

U2		A4988 (R = )
U3	Driver	A4988
U4		A4988
U5	Módulo Bluetooth	HC-05
D1		LED verde
D2	Diodo LED	LED amarillo

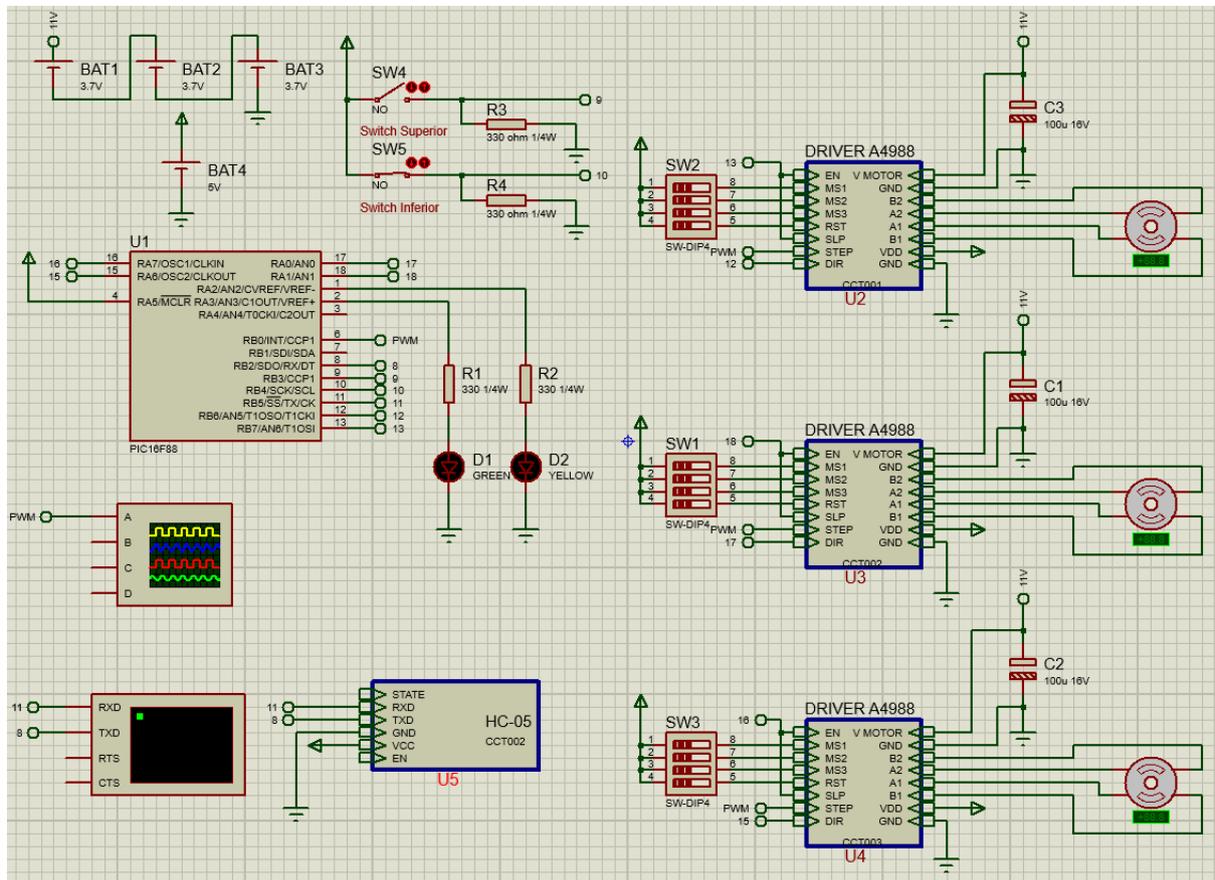


Figura 35: Circuito electrónico deslizador Proteus. (Fuente propia).

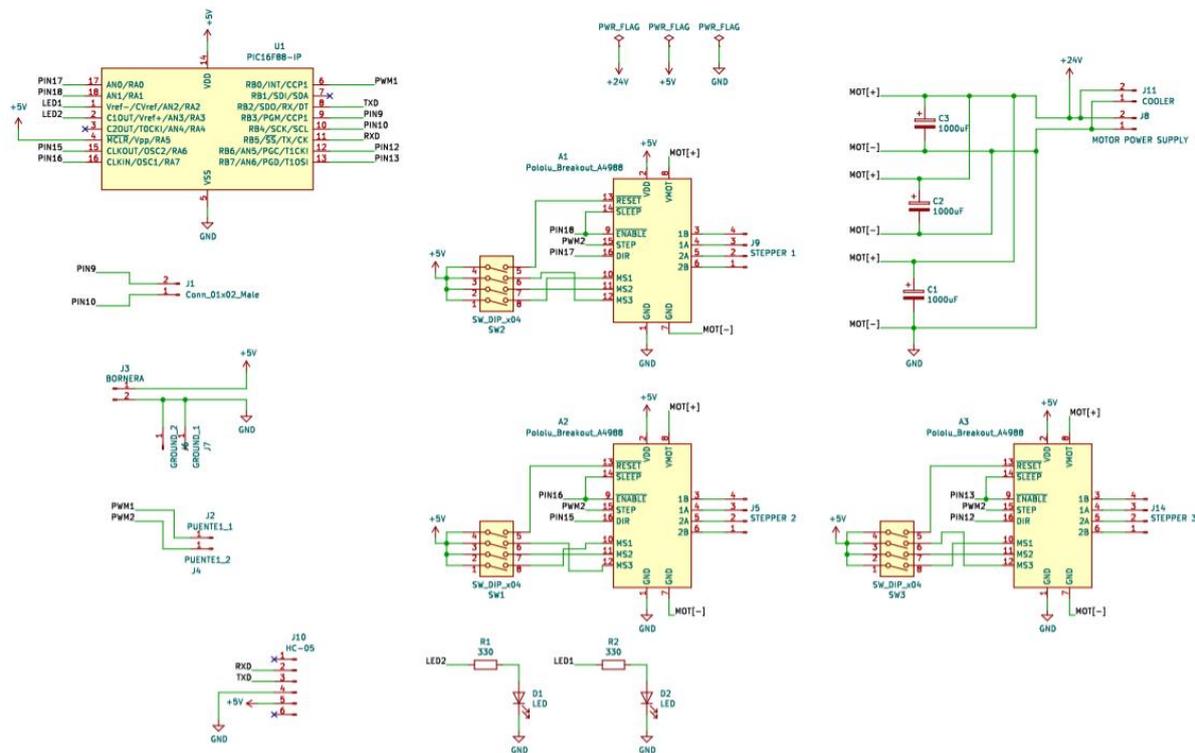


Figura 36: Circuito electrónico deslizador Kicad. (Fuente propia).

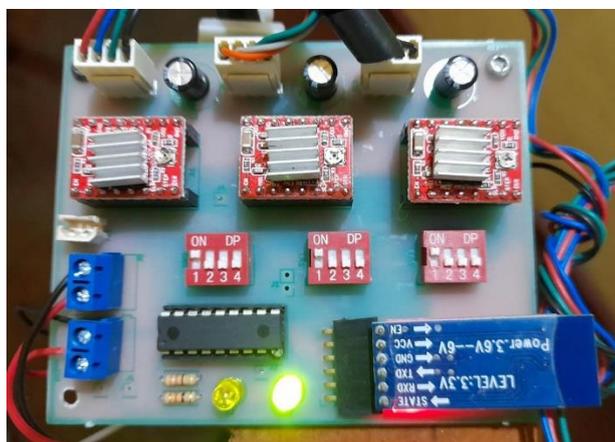


Figura 37: Placa electrónica deslizador. (Fuente propia).

La Figura 38 muestra que la base giratoria funciona de manera similar que el deslizador, con la diferencia que el motor es de tipo DC *brushless* de 24 voltios y requiere un puente H para controlar su velocidad y sentido de giro. El puente H seleccionado fue un BTS7960B

(Figura 44) y se prefirió este módulo en vez de realizar un circuito propio basado en Mosfets, por su seguridad, sus dimensiones y por asegurar una corriente estable en la salida.

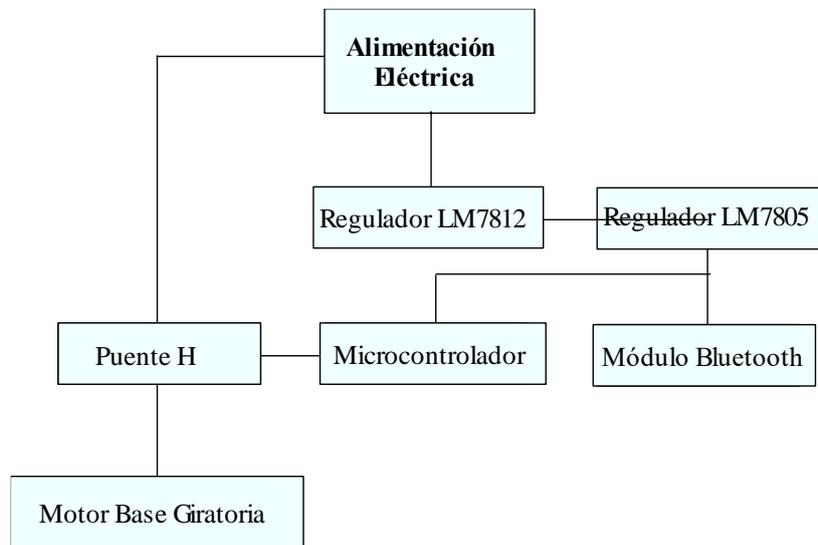


Figura 38: Esquema de funcionamiento de la base giratoria. (Fuente propia).

El circuito electrónico de la base giratoria también se basó en un microcontrolador PIC16F88 y el módulo Bluetooth HC-05. Una vez se tuvo el motor dimensionado se realizó la Tabla 12 con el voltaje y el amperaje total requerido de cada componente. Como resultado, se utilizó una fuente de alimentación tipo switching de 220V AC de entrada, 24V DC de salida y de 350W. Los voltajes necesarios de 12 y 5V DC se consiguieron a través de reguladores de voltajes en encapsulado TO-220. De esta manera, el equipo sólo trabajó con corriente alterna transformado a DC y no con baterías, pues estas requerirían un alto valor de Ah.

Tabla 12: Voltaje y amperaje de base giratoria.

Componente	Amperaje máx.	Voltaje	Cantidad	Amperaje total
PIC16F88	78uA	2-5V	1	78uA
Módulo HC-05	1mA	3.3V	1	1mA
Puente H BTS7960	8mA	3-5V	3	24mA
Motor Base	14A	24V	1	14A
Cooler	0.14A	12V	1	0.14A
Resistencia 330 Ohm	15mA	-	4	60mA
Resistencia 1k Ohm	5mA	-	2	10mA
Led	10mA	3.7 V	2	20mA
Total				14.13A

Las fuentes switching se conforman por 4 bloques principales en su funcionamiento, estos son: Rectificador, Convertidor de alta frecuencia, Rectificador de salida y Controlador (Peñañiel & Ramón, 2013). La Figura 39 muestra el esquema de partes de la fuente switching seleccionada, de 350W a 24VDC habilitada para una frecuencia de entrada de 50 o 60 Hz.

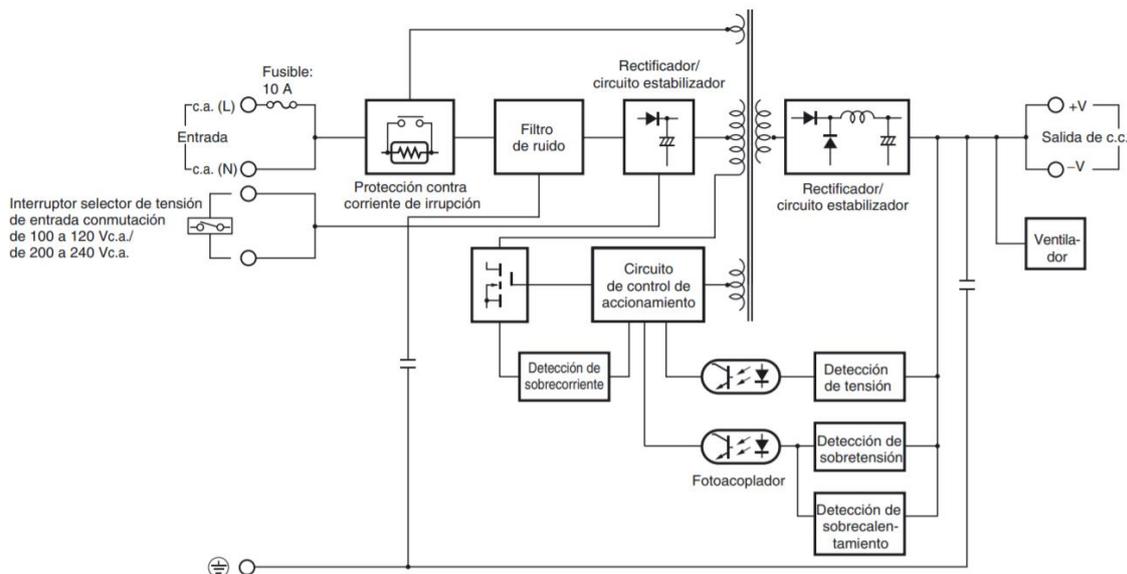


Figura 39: Esquema partes fuente switching. Fuente: Omron (2015).

La Tabla 13 muestra datos técnicos de dicha fuente. Se resalta la corriente de salida de 14.6A, suficiente para el trabajo estable a máxima potencia del motor DC seleccionado, pero para evitar los picos de consumo se inició el motor de manera progresiva, simulando un soft starter para el arranque. Además, el motor será usado a un duty cycle variable pero pequeño.

Tabla 13: Características fuente switching.

Parámetro	Valor típico o máx
Eficiencia	88%
Tensión y Frecuencia de Entrada	180-264V AC 50/60Hz
Corriente de Entrada a 220V AC	3.5A
Corriente nominal de Salida	14.6A

Tensión de rizado y ruido	120mVp-p máx.
Influencia de la variación de la carga	1.0% máx.
Influencia de la variación de temperatura	0.03%/°C máx.
Protección contra sobrecarga	Si
Temperatura de funcionamiento	-20 a 60°C
Cooler incluido	Sí

Finalmente, la Figura 40 muestra las dimensiones de la fuente switching usada, con una masa de 80gr.

**S8FS-C350□□ (350 W)**

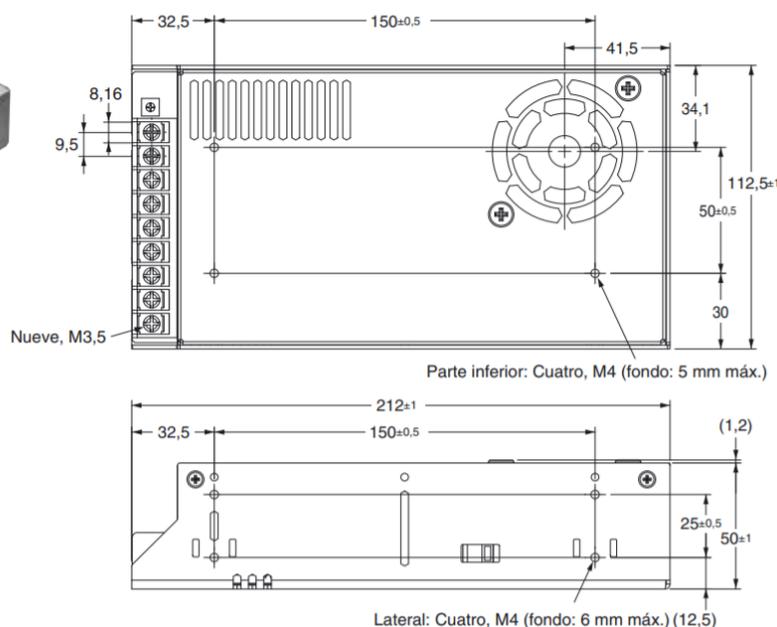


Figura 40: Dimensiones fuente switching. Fuente: Omron (2015).

Las fuentes switching pueden tener derivaciones de voltaje para otros rangos de alimentación; sin embargo, estas son más costosas y no son muy comerciales. Por ello se usaron los reguladores de voltaje de la familia LM78XX, con su datasheet (Anexo F) como guía. La Figura 41 muestra el arreglo estándar para parámetros DC, que considera 2 condensadores cerámicos de 0.33uF ( $C_I$ ) y 0.1uF ( $C_O$ ). El  $C_I$  es recomendado si existe una distancia

considerable de la fuente de voltaje hacia el regulador de voltaje, mientras que el  $C_O$  mejora la estabilidad en la salida. Se optó usar ambos condensadores para el LM7812 y para el LM7805 sólo el condensador  $C_O$ .

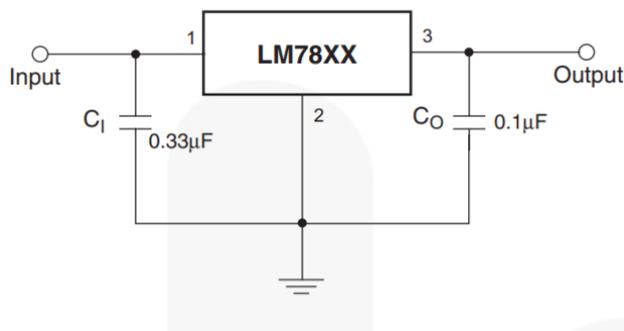


Figura 41: Circuito regulador voltaje LM78XX. Fairchild (2014).

Los disipadores en la electrónica son de uso importante cuando los semiconductores trabajan con corrientes altas generadas por la carga. Estas corrientes se transforman en calor y los disipadores favorecen la expulsión de calor hacia el exterior evitando así la destrucción del componente (Peñafiel & Ramón, 2013). La disipación generada por cada disipador depende del área que este posea, por ello, cada disipador posee un valor de Temperatura de transferencia ( $Rth_{c-b}$ ) con el cual se hace la selección.

Para hallar el disipador correcto, primero se muestra el circuito térmico representativo del componente y su disipación, en la Figura 42.

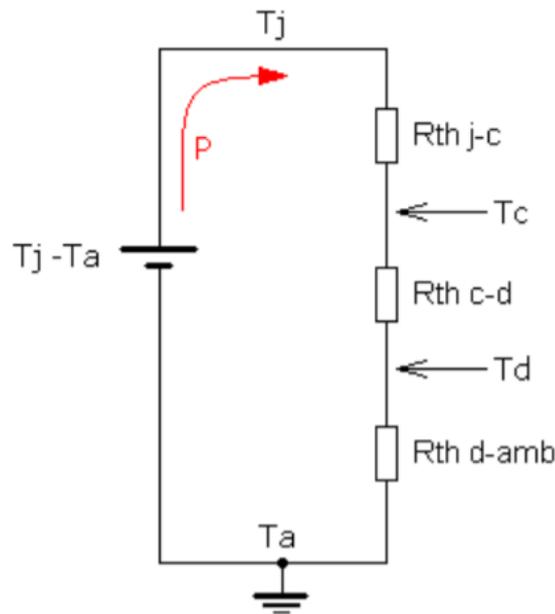


Figura 42: Circuito térmico representativo. Fuente: Disipa.net.

Donde:

$T_j$ : Temperatura de la unión semiconductor.

$T_a$ : Temperatura del aire circundante.

$T_c$ : Temperatura de la cápsula del transistor.

$T_d$ : Temperatura del disipador.

$R_{th\ j-c}$ : Resistencia térmica entre la unión y cápsula.

$R_{th\ c-d}$ : Resistencia térmica entre la cápsula y disipador.

$R_{th\ d-amb}$ : Resistencia térmica entre el disipador y aire.

$P$ : Potencia disipada en forma de calor.

Estas resistencias térmicas se relacionan en la ecuación 32 y en la ecuación 33, esto se relaciona a la potencia disipada y rangos de trabajo del componente definidos por el fabricante. En este caso el LM7812 tiene un rango de trabajo máximo de  $125^{\circ}\text{C}$  ( $T_j$ ), se consideró conveniente limitarlo al 50% de dicha cifra.

$$R_{th_t} = R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-d}} + R_{th_{d-amb}} \quad (32)$$

$$Rth_{c-b} = \frac{T_j - T_a}{P} - (Rth_{j-c} + Rth_{c-d}) \quad (33)$$

El LM7812 y LM7805 tienen como datos:

$T_j$  : 125°C máx.

$R_{jc}$ : 5°C/W

$R_{ja}$  : 65°C/W (transferencia sin disipador)

Se considerará:

$T_a$  : 25°C

$R_{cd}$ : 1 °C/W , esta resistencia térmica es dada por el uso de una mica y pasta disipadora.

Considerando una conservación de potencia, entre la entrada y salida, para el LM7812 se tiene que:

$$P_{in} = P_{out}$$

$$\Delta V I_{in} = (V_{in} - V_{out}) I_{out}$$

$$P = (24 - 12)0.154$$

$$P = 1.85 \text{ W}$$

$$T = P (R_{jc} \times R_{ja})$$

$$T = 1.85 (5 + 65)$$

$$T = 129.5^\circ\text{C}$$

La Temperatura alcanzada es por poco superior al rango determinado por el fabricante y muy superior a lo deseado para este diseño (50%). Por lo que es necesario un disipador y se proceden con los cálculos.

$$Rth_t = Rth_{j-c} + Rth_{c-d} + Rth_{c-b}$$

$$Rth_{c-b} = \frac{T_j - T_a}{P} - (Rth_{j-c} + Rth_{c-d})$$

$$Rth_{c-b} = \frac{62.5 - 25}{1.85} - (5 + 1)$$

$$Rth_{c-b} = 14.27 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Con ello, el disipador seleccionado debió tener una resistencia térmica cercana, menor o igual a 14.27 °C/W. Por ello se seleccionó el Disipador 38051 con 13.6°C/W (Figura 43).

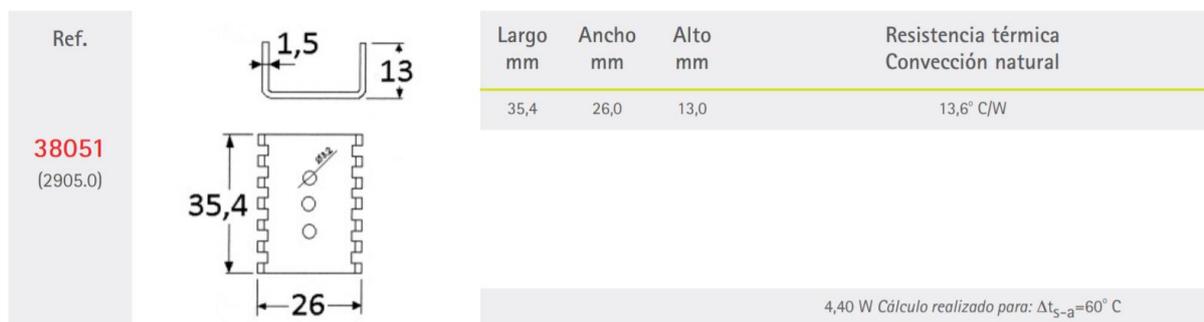


Figura 43: Disipador para LM78XX. Fuente: Disipa.net.

El mismo procedimiento se realizó para el LM7805, con lo que:

$$P = (12 - 5) 0.0091$$

$$P = 0.064 \text{ W}$$

$$T = 0.064 (5 + 65)$$

$$T = 4.48^\circ\text{C}$$

Esta temperatura es muy inferior a la máxima planteada, aún si se le suma la temperatura ambiente considerada de 25°C. A pesar de ello, se decidió utilizar el mismo disipador dimensionado para el LM7812, el Disipador 38051 con 13.6°C/W.

La Figura 44 muestra la distribución de pines para el Puente H del motor. Los pines A y B son de alimentación, los pines L EN y R EN siempre estarán activados con un bit en alto para el funcionamiento del motor. El control de giro se realizó mediante LPWM y RPWM, con

una señal PWM desde el microcontrolador que solo debe ser enviada a uno de estos dos pines para hacer un movimiento a la izquierda o derecha, respectivamente.

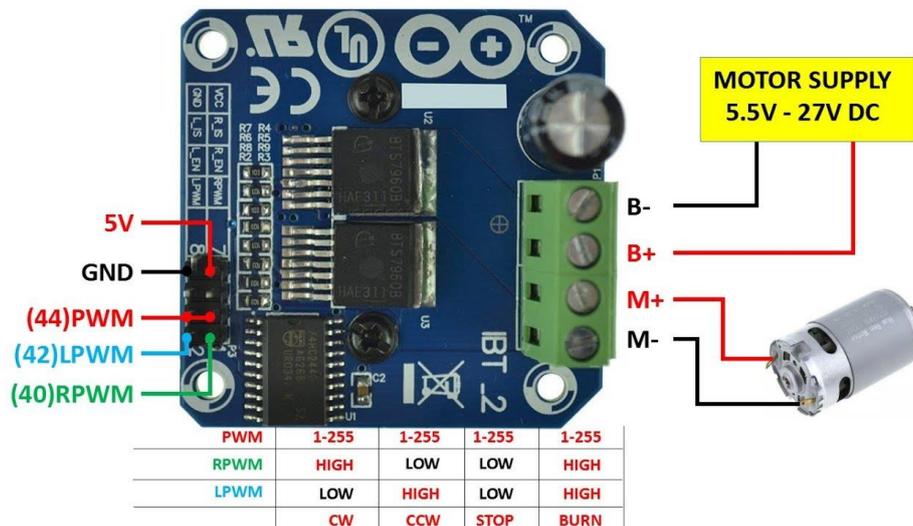


Figura 44: Pines BTS7960B. Fuente: Firebitlab.

Ya que el microcontrolador solo posee una salida PWM se optó por usar transistores en modo switch. Por ello se incluyeron transistores 2N2222, los cuales permitieron el cambio de giro del motor, y dos diodos leds: uno para indicar que el circuito está encendido (led amarillo) y otro que cambia de estado (on-off) cuando recibe una señal por Bluetooth (led verde). Para el uso de este transistor se determinó el valor de la resistencia de la base. Esta resistencia tuvo la función de limitar la corriente en la base del transistor y de evitar el corto circuito entre la señal del microcontrolador y GND.

$$I_B = I_{R_1} = \frac{I_C}{hFE} \quad (34)$$

$$R_1 = \frac{V_{In} - V_{BE}}{I_{R_1}} \quad (35)$$

Se tomaron datos del datasheet del transistor y de la carga que fue el puente H (Anexo F) y se tuvo que:

$$I_B = I_{R_1} = \frac{170mA}{40} = 4.25mA$$

$$R_1 = \frac{5 - 0.6}{4.25 \times 10^{-3}} = 1035.3 \approx 1k \text{ Ohm}$$

Ya que se usaron dos transistores, lo hallado para  $R_1$  sería el mismo valor que tomaría  $R_2$  en el segundo transistor.  $R_3$  y  $R_4$  tuvieron un valor de 330 ohm que es un valor comercial bajo para no afectar la señal, no elevar la corriente, pero evitar el cortocircuito entre la fuente de voltaje y tierra. Este valor también se usó para  $R_5$  y  $R_6$ .

El programa online Falstad fue usado para simular de manera sencilla el funcionamiento de los transistores en su estado de corte y saturación. La señal cuadrada simula la señal PWM del PIC y el led indican los pines LPWM y RPWM antes mencionados. La Figura 45 muestra al transistor polarizado en su base con un bit en alto, generando un diferencial de voltaje C-E de 1.3V que no permite que la señal llegue al pin respectivo (LED en la simulación). Mientras la Figura 46, muestra al transistor con un 0 lógico en la base, generando un diferencial negativo entre Emisor y Colector, con lo cual la señal PWM generada por el PIC llega al pin del puente H. La Tabla 14 muestra la lógica de funcionamiento.

*Tabla 14 Función lógica de base giratoria.*

PIC16F88		BTS7960B		Motor DC
PIN 15	PIN 16	LPWM	RPWM	Giro
0	0	Señal PWM	Señal PWM	Error
0	1	Señal PWM	GND	Izquierda
1	0	GND	Señal PWM	Derecha
1	1	GND	GND	Stop

La Figura 45 muestra la simulación del circuito en estado de saturación. El programa permite conocer corrientes y voltajes entre los pines del transistor. Estos datos son repetidos en

la Tabla 15. De manera similar, la Figura 46 muestra el circuito en corte y la Tabla 16 los datos para esta función.

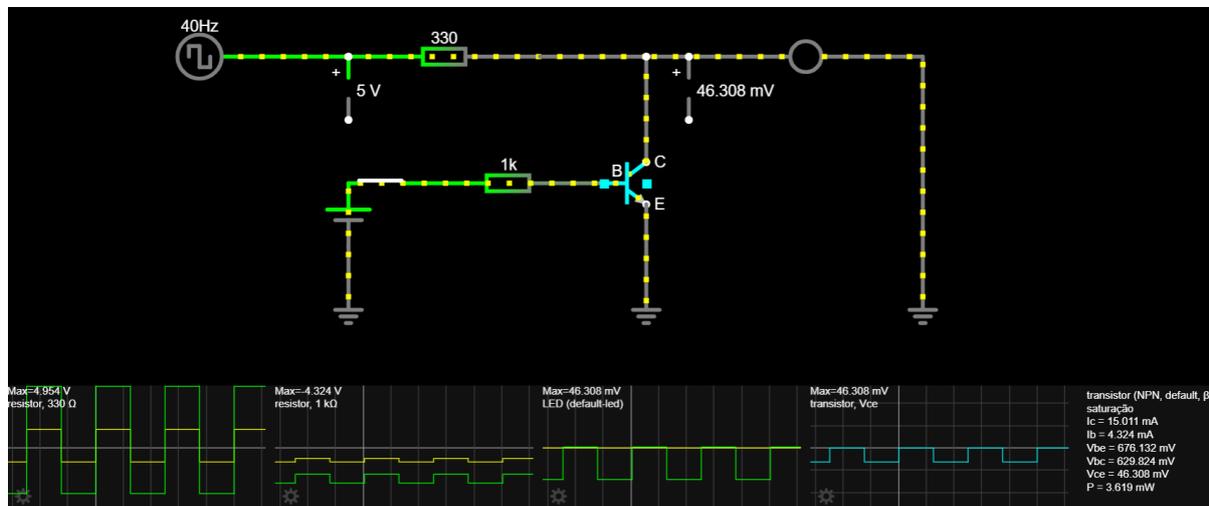


Figura 45: Simulación circuito en saturación. (Fuente propia).

Tabla 15: Características transistor en saturación.

Parámetro	Magnitud	Unidad
$I_c$	15.011	mA
$I_b$	4.324	mA
$V_{be}$	676.132	mV
$V_{bc}$	629.824	mV
$V_{ce}$	46.308	mV
$P$	3.619	mW

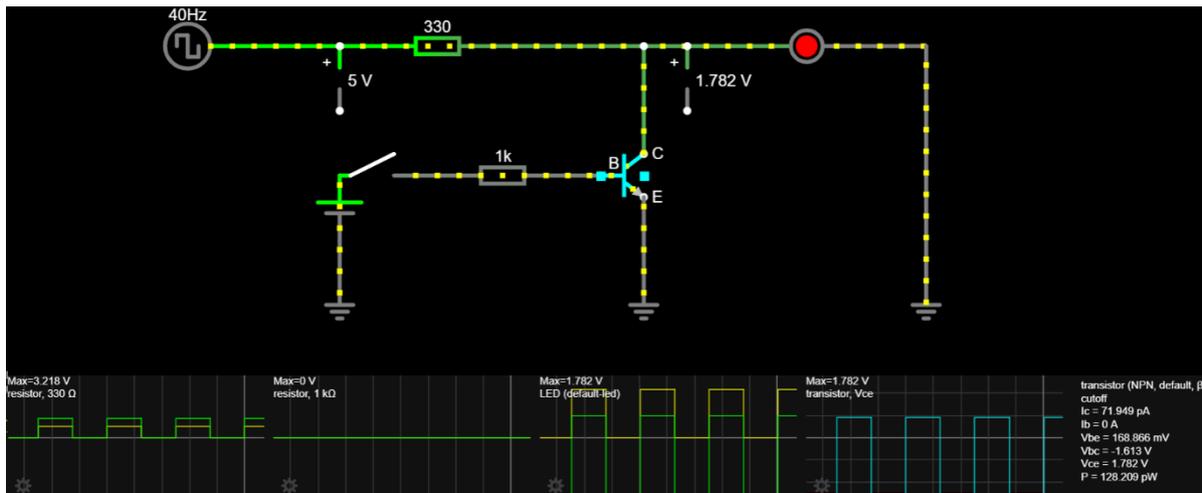


Figura 46: Simulación circuito en corte. (Fuente propia).

Tabla 16: Características transistor en corte.

Parámetro	Magnitud	Unidad
$I_c$	71.949	pA
$I_b$	0	A
$V_{be}$	168.866	mV
$V_{bc}$	-1.613	V
$V_{ce}$	1.782	V
$P$	128.209	pW

Para definir el duty cycle se seccionó el análisis por rango de cargas y velocidades como se muestra en la Tabla 17 nuevamente con las ecuaciones 31 y 31. Los datos variables entonces fueron la carga (240 kg máx.), la velocidad (4RPM máx.) y, por ende, los torques. Los datos bases fueron el voltaje de ingreso de 24V y la resistencia del motor de 0.8 Ohm.

Tabla 17: Duty Cycle para base giratoria.

Carga	Velocidad (RPM)	Torque requerido (Nm)	Potencia requerida (W)	Ciclo de trabajo (%)
40-90 kg	2	168.42	37.02	23
	4		74.17	32
	2	365.09	76.30	33

120-170 kg	4		152.90	46
190- 240 kg	2		111.88	40
	4	535.34	224.20	56

De igual manera que para el deslizador, el software Proteus se utilizó para simular el funcionamiento del circuito (Figura 47), y el software KiCad exclusivamente para diseñar el circuito impreso o PCB (Figura 48), resultando en la placa final de la Figura 49 y 50. Los componentes usados para este equipo se enlistan en la Tabla 18.

*Tabla 18: Componentes circuito electrónico base giratoria.*

<b>Símbolo</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción y Características</b>
R1		1K Ohm 1/4W
R2		1K Ohm 1/4W
R3	Resistencia	330 Ohm 1/4W
R4		330 Ohm 1/4W
R5		330 Ohm 1/4W
R6		330 Ohm 1/4W
C1		0.33uF (334)
C2	Condensador cerámico	0.1uF (104)
C3		0.1uF (104)
U1	Microcontrolador	PIC16F88
U2		LM7812 TO-220 con disipador
U3	Regulador de Voltaje	LM7805 TO-220 con disipador
U4	Módulo Bluetooth	HC-05
Q1		2N2222 TO-92
Q2	Transistor	2N2222 TO-92

D1 Diodo LED

LED Verde

D2

LED Amarillo

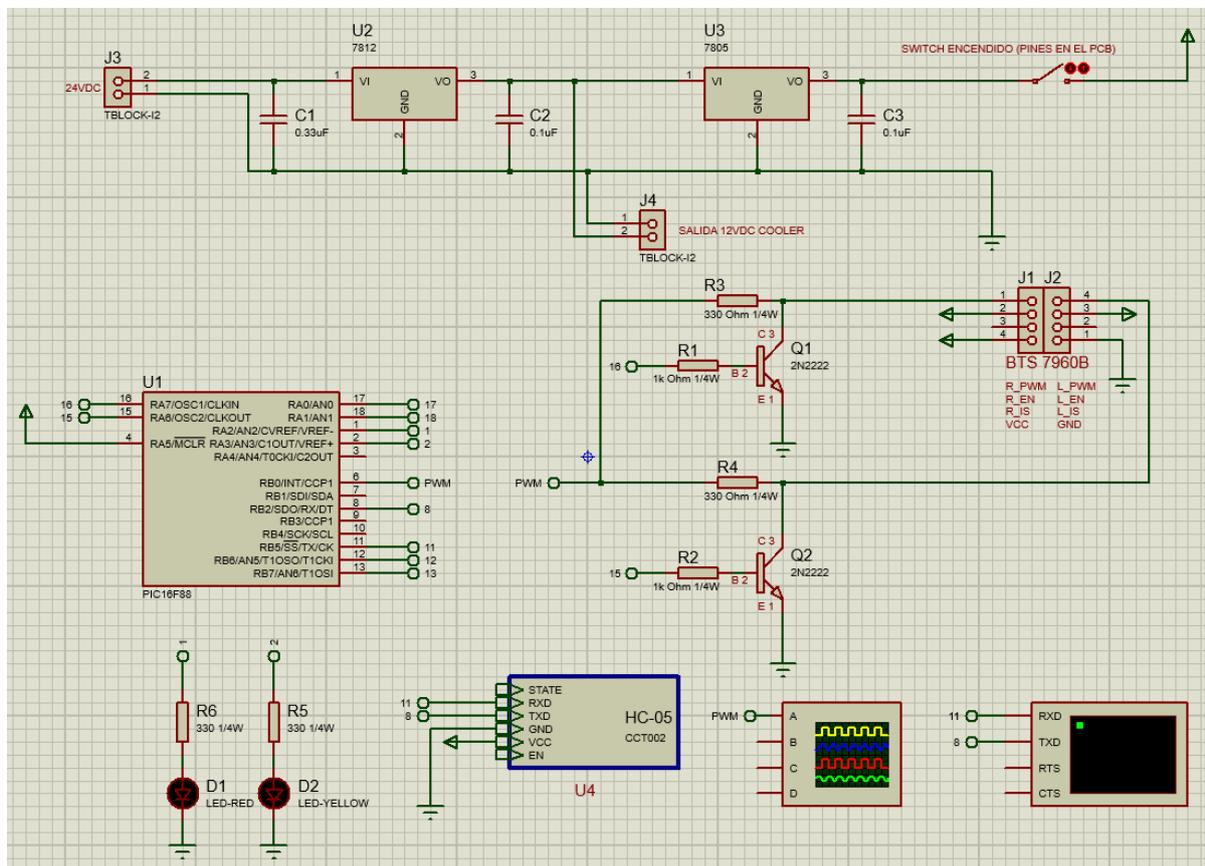


Figura 47: Circuito electrónico base giratoria Proteus. (Fuente propia).

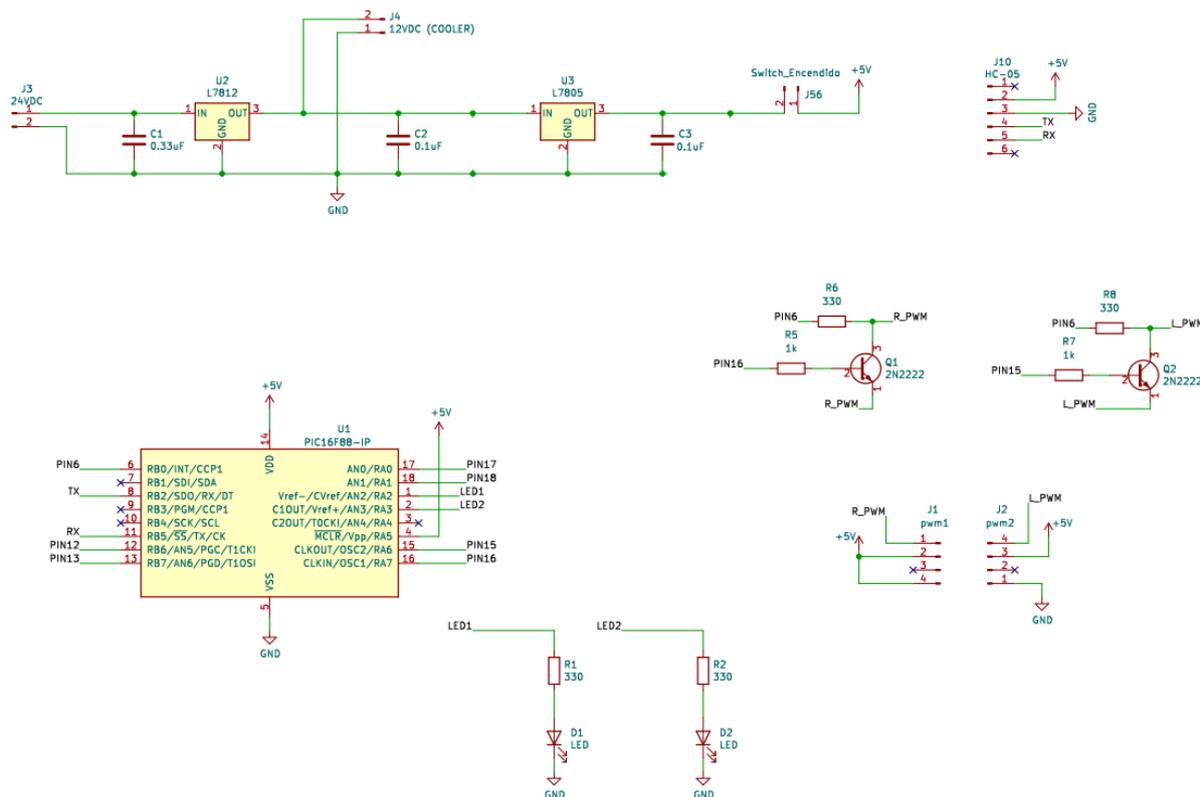


Figura 48: Circuito electrónico base giratoria Kicad. (Fuente propia).

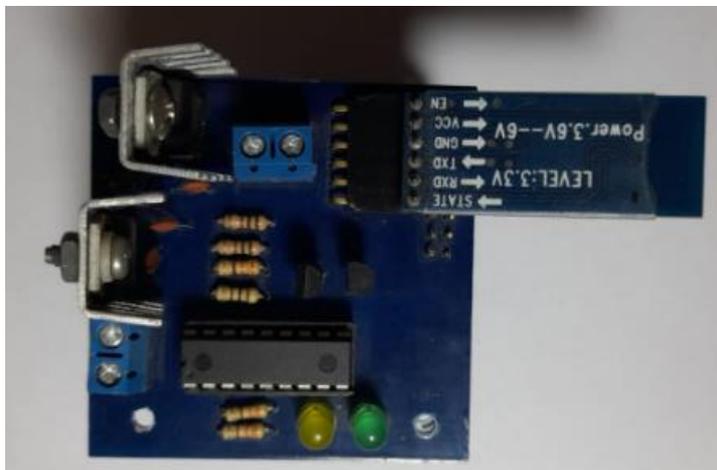


Figura 49: Circuito electrónico base giratoria. (Fuente propia).

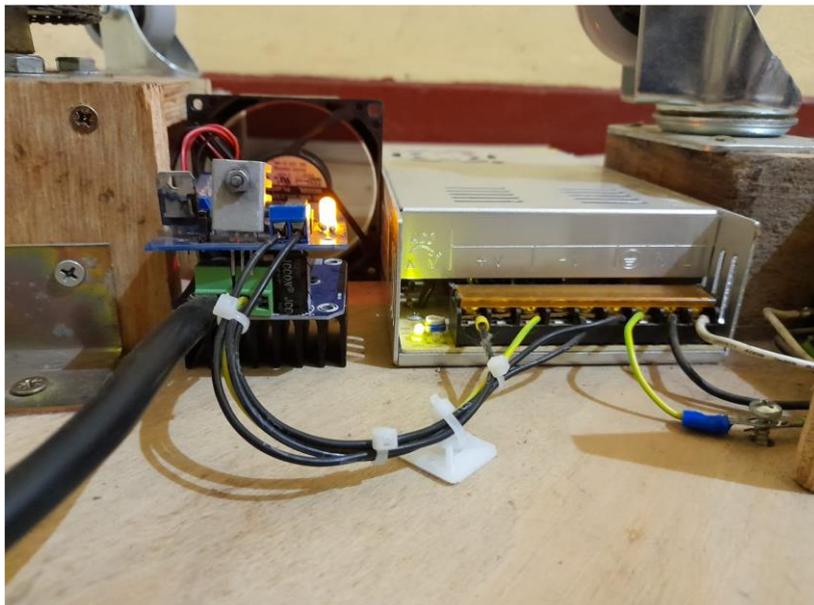


Figura 50: Circuito electrónico en funcionamiento base giratoria. (Fuente propia).

#### 2.3.4 Diseño del control de movimiento

Los microcontroladores PIC son la base para el control de movimiento de los equipos, por lo que debieron cumplir con funciones y poseer periféricos específicos. Para habilitar dichas funciones se siguió el datasheet del fabricante Microchip. La programación se hizo en el entorno de MPLAB X en lenguaje C++, tras lo cual se generó un archivo “hex.” que se cargó a los chips. Por otro lado, fue necesario crear un aplicativo para smartphone, denominado “ROTSLI”, que permitió la comunicación bluetooth desde el dispositivo electrónico del usuario hacia los equipos. Para ello se usó el programa MIT App de programación iconográfica.

La comunicación Bluetooth se generó con el protocolo USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*), para el que el microcontrolador tiene un módulo AUSART y pines designados. Se deben definir tanto el bit SPEN (bit 7 del registro RCSTA) como los bits 5 y 2 del registro TRISB, los cuales configuran los pines RB5 y RB2 del puerto B como receptor y transmisor. También es necesario hacer lo propio con el Generador de Tasa de Baudios o *Baud Rate Generator* (BRG). Esta indica la cantidad de unidades de señal (cantidad de bits) transmitidos o recibidos por segundo.

Para iniciar la comunicación Bluetooth se establecieron los bits para el registro TXSTA (transmisor) y RCSTA (receptor). El TXSTA tuvo un valor de 0x24 o 0010 0100 en binario siendo los únicos bits positivos el de TXEN (habilitar transmisor) y el BRGH (modo Asíncrono a alta velocidad). El RCSTA tuvo un valor de 0x90 o 1001 0000 en binario teniendo como bits altos al SPEN (habilitar puerto serial) y CREN (habilitar receptor).

Tras ello se definió el registro SPBRG con la siguiente formula, deseando un baud rate de 9600. Este valor es el predeterminado para los módulos Bluetooth y se consideró mantenerlo para este proyecto. La frecuencia del oscilador ( $F_{osc}$ ) fue de 4MHz.

$$SPBRG = \frac{F_{osc}}{Ratio\ de\ Baudios * 16} - 1 \quad (36)$$

$$SPBRG = \frac{4 \times 10^6}{9600 * 16} - 1 = 25 \equiv 0x19$$

A continuación, se programó el Módulo CCP del chip, que se utilizó para los dos equipos en su modo PWM. La Modulación por Ancho de Pulsos se representa en la Figura 51, donde se observa que para esta señal se debió especificar tanto el periodo (segundos) y el *Duty Cycle* o ciclo de trabajo (%), que es el tiempo ON entre el tiempo total.

Para programar la señal PWM primero se estableció el periodo de la señal escribiendo en el registro PR2 con la ecuación 37. Este valor se pensó en ser estándar para todos los movimientos, pero se encontró en la práctica que para el movimiento de la base giratoria se requería oscilar este valor.

$$PR2 = \frac{F_{osc}}{(F_{pwm} \times 4 \times PRE)} - 1 \quad (37)$$

En segundo lugar, se estableció el duty cycle de la señal escribiendo sobre el registro CCPR1L y los bits 5 y 4 del registro CCP1CON, usando la siguiente ecuación. El duty cycle variaría para controlar las velocidades y fueron hallados en el apartado 2.2.

$$(CCPR1L: CCP1CON < 5: 4 >) = (PR2 + 1) \times \frac{Duty\ Cycle}{100} \quad (38)$$

A continuación, se estableció el bit TRISB en bajo para habilitar la salida de señal. Finalmente se dio un valor al registro T2CON de 0x06 o 0000 0110 en binario donde los bits altos son para un prescaler de 16 y para el TMR2ON (Timer 2 encendido) y el registro CCP1CON tuvo un valor de 0x1C o 0001 1100 donde se habilita el modo PWM y se completa el resultado del duty cycle de la ecuación 36.

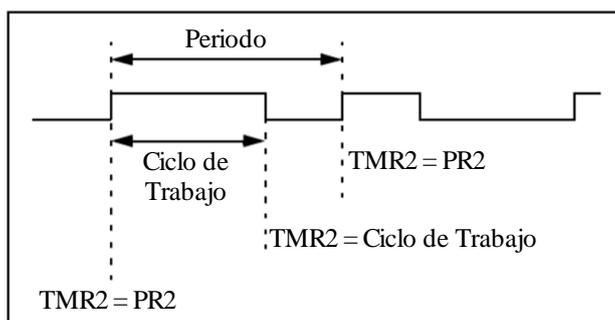


Figura 51: Señal PWM. Fuente: Microchip (2015).

Las tablas 19 y 20 relacionan estos valores obtenidos con los registros PR2, en hexadecimal, y CCPR1L, en decimal, los cuales se incluirán en la programación para el deslizador y la base giratoria, respectivamente. Cabe recalcar que, gracias al oscilador interno del chip, ambos PIC trabajaron a 4 MHz como frecuencia de trabajo.

Tabla 19: Programación de Duty Cycle deslizador.

Frecuencia	Valor PR2 (hex)	Ciclo de trabajo	CCPR1L (dec)
400 Hz	9B	6%	9.36
400 Hz	9B	25%	39

Tabla 20: Programación de Duty Cycle base giratoria.

Carga	Velocidad	Frecuencia	PR2 (hex)	Ciclo de Trabajo	CCPR1L (dec)
-------	-----------	------------	-----------	------------------	--------------

40-90kg	2 RPM	700 Hz	58	23 %	20
	4 RPM			32 %	28
90-170kg	2 RPM	400 Hz	9B	33 %	51
	4 RPM			46 %	72
170- 240kg	2 RPM	400 Hz	9B	40 %	62
	4 RPM			56 %	87

Tras la programación de los microcontroladores (Anexo C), las señales de salida fueron medidas con el instrumento Beamex MC-2. Este dispositivo permitió verificar la frecuencia de las señales y el porcentaje del duty cycle. Las Figuras referentes se encuentran en el Anexo E.

Adicionalmente, para el funcionamiento de la base giratoria y el deslizador se diseñaron Flujogramas para definir la secuencia de pasos, como se muestra en las figuras 52 y 53, respectivamente. En estas secuencias se involucra el PIC, el Módulo HC-05 y el aplicativo ROTSLI desde el dispositivo electrónico del usuario; las funciones de cada componente se representan en color azul, rojo y naranja respectivamente, y cada una tendrá un número entre 0 a 9, que fue enviado como carácter por el dispositivo electrónico hacia el módulo Bluetooth.

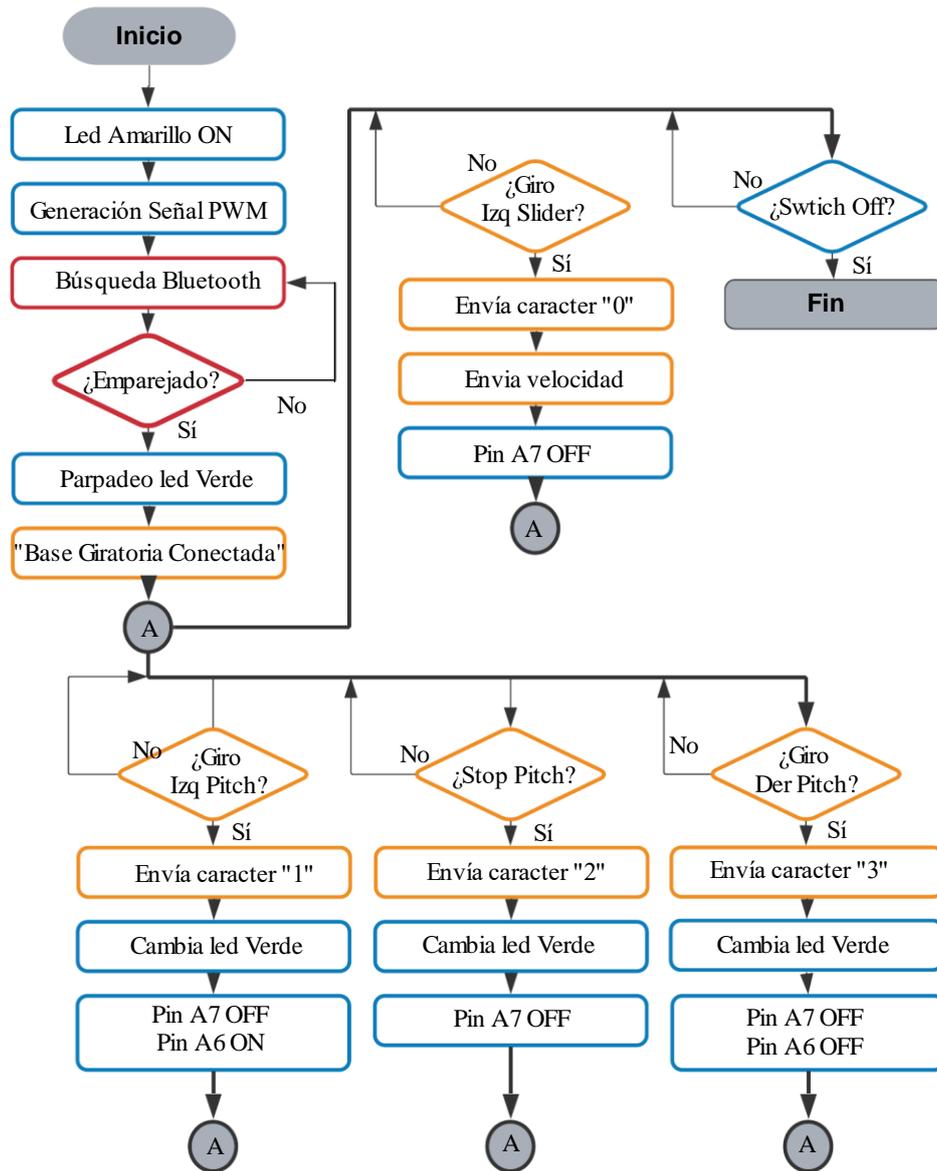


Figura 52: Flujograma de base giratoria. (Fuente propia).

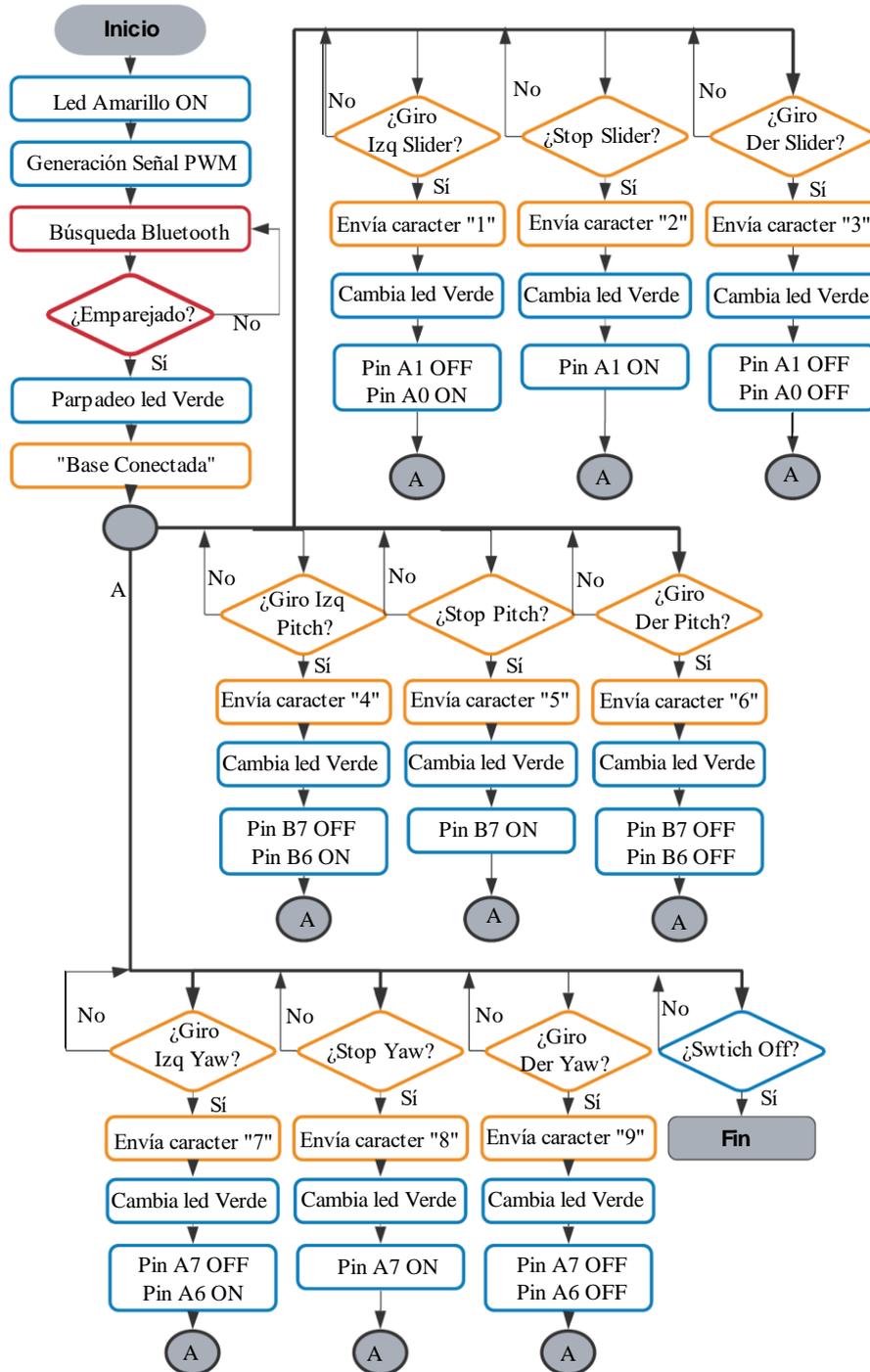


Figura 53: Flujoograma del deslizador. (Fuente propia).



Figura 54: Aplicativo "ROTSLI". (Fuente propia).

Por último, se programó el aplicativo de celular “ROTSLI” desde el software MIT APP Inventor (Anexo C). A través de él, el usuario puede definir el sentido de giro de cada motor y la velocidad para la base giratoria. El celular requirió tener una conexión Bluetooth con las placas electrónicas para enviar la información y, así, el microcontrolador realizó la acción correspondiente. La Figura 54 muestra a la aplicación mencionada.

### 2.3.5 Costos del diseño y fabricación del sistema automático

Para determinar los costos del diseño y fabricación del sistema automático primero se elaboró la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), según los requerimientos del cliente de la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Tras lo cual, se pudo elaborar el cronograma o diagrama de Gantt, diseñado en Ms Project. Con él se determinó el tiempo referencial de la ejecución del proyecto, los costos de los componentes y mano de obra utilizada en el pre test y el post test.

La EDT del proyecto se muestra en la Figura 55 y se realizó aplicando las etapas de mejora continua; es decir, Planificar, Ejecutar, Verificar y Actuar.

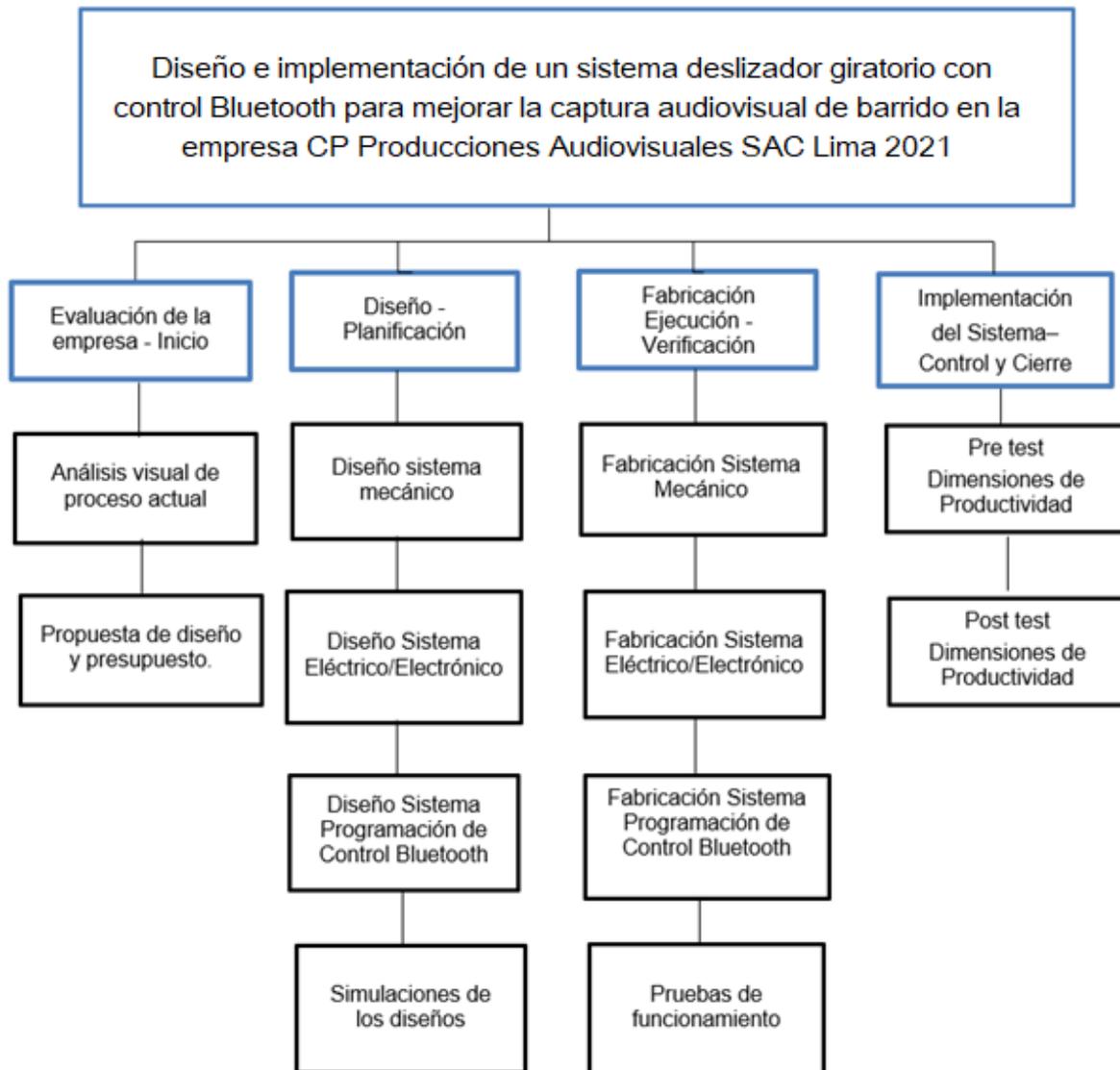


Figura 55: EDT del proyecto. (Fuente propia).

Inherentemente, también se analizaron los peligros y riesgos consecuentes en el uso del sistema, se trabajaron sobre aquellos riesgos de nivel alto o muy alto, esto se muestra en el Anexo A. Por otro lado, el Diagrama de Gantt resumido se muestra en la Figura 56 y su visualización extendida, realizada en MS Project, se muestra también en el Anexo A. Según este, el proyecto tuvo una duración total de 192 días (Figura 57).



Figura 56: Diagrama de Gantt resumido. (Fuente propia).

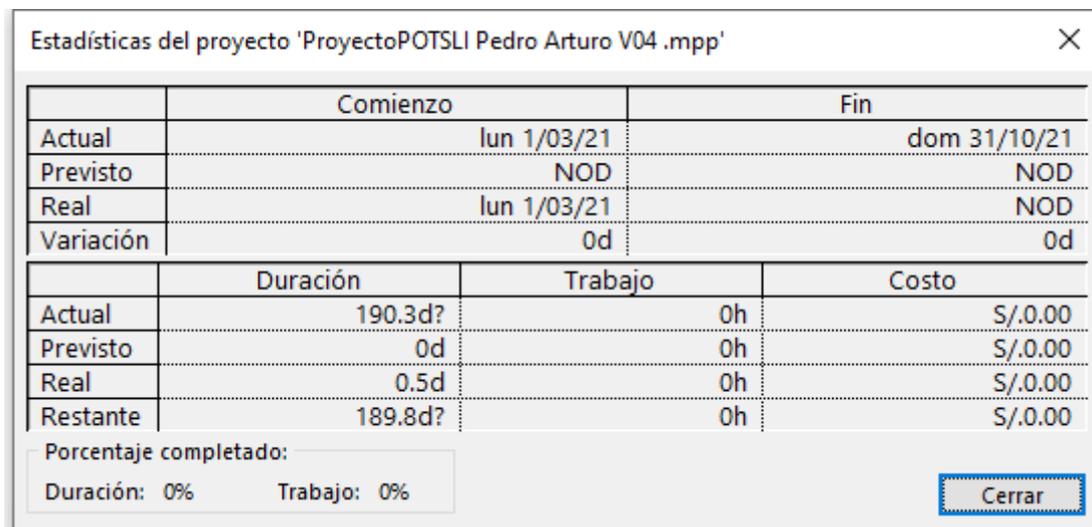


Figura 57: Estadísticas del proyecto en Ms Project. (Fuente propia).

Tras la ejecución del proyecto se realizó el análisis de costos finales del proyecto para asegurar el cumplimiento del presupuesto inicial de S/. 2 000. Se incluyeron costos de material (Tabla 21), mano de obra por terceros (Tabla 22), insumos fijos durante la realización del proyecto (Tabla 23) y costos del ejecutor (Tabla 24). Finalmente, para obtener el precio final de venta se consideró una ganancia del 20% como se ve en la Tabla 25.

*Tabla 21: Costos de materiales.*

Costos Materiales				
Item	Nombre	Cantidad	Unidad	Costo Total
1	Madera	2	m2	S/85.00
2	Metal	0.25	m2	S/10.00
3	Barras Aluminio	2.5	m	S/8.00
4	Motor 350W	1	und	S/390.00
5	Cadena de Transmisión	1	m	S/20.00
6	Motor PAP 1.7A 0.73Nm	1	und	S/70.00
7	Motor PAP 1.7A 0.42Nm	1	und	S/48.00
8	Motor PAP 0.4A 0.28Nm	1	und	S/46.00
9	Accesorios Motor PAP			S/36.00
10	Polea 2GDL	3	m	S/6.00
11	Microcontrolador	2	und	S/36.00
12	Componentes Electrónicos varios			S/40.00
13	Fuente Voltaje 24V DC	1	und	S/35.00
14	Baterías Litio 18950	3	und	S/27.00
15	Batería LiPo 5v	1	und	S/15.00
16	Cable de control 20 AWG	3	m	S/3.60
Total Costo de Materiales				S/ 875.60

Tabla 22: Costos de terceros.

<b>Tercerización</b>						
<b>Nombre</b>	<b>Tasa/hora</b>	<b>Duración</b>	<b>Unid</b>	<b>Horas/día</b>	<b>Total horas</b>	<b>Costo</b>
Carpintero Mario Gómez	S/4.00	9	días	4	36	S/144.00
Soldador Freddy Sánchez	S/3.00	1	días	5	5	S/15.00
Servicio Delivery		2	horas			S/15.00
Impresión 3D PLA	S/0.50	6	horas			S/3.00
PCB Perú		10	días			S/37.00
<b>Total</b>						<b>S/214.00</b>

Tabla 23: Costos generales.

<b>Insumos Generales</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Costo</b>
Electricidad	100
Recursos de oficina (papel, lápiz, impresiones)	30
Recursos de taller (protoboard, multímetro, caufín)	50
<b>Total</b>	<b>180</b>

*Tabla 24: Costos de proyectista.*

<b>Costo Proyectista</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Horas/día</b>	<b>Horas</b>	<b>Tasa/hora</b>	<b>Costo</b>
192	día	4	768	S/0.50	S/384.00

*Tabla 25: Costo de venta final.*

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Total Final	1653.6
Margen de ganancia	20%
Costo venta final	1984.32

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Contratación de hipótesis

#### 3.1.1 Alfa de Cronbach

##### Validación y Confiabilidad

En este trabajo se utilizó el coeficiente “Alfa de Cronbach” que trabaja también con la escala Likert. Según Sampieri et al. (2018) si se obtiene un coeficiente de 0.25 indica baja confiabilidad, si es 0.50 indica una fiabilidad media o regular; si supera el 0.75 se dice que es aceptable, y si es mayor a 0.90 la fiabilidad es muy elevada. Este coeficiente fue estimado con el paquete estadístico SPSS 25. Como lo indica Welch & Comer (1988) cuanto más cerca se encuentre el valor del alfa a 1, mayor será la consistencia interna de los ítems analizados.

*Tabla 26: Análisis de fiabilidad.*

<b>Resumen de procesamiento de casos</b>			
		N	%
Casos	Válido	124	100,0
	Excluido	0	,0
	Total	124	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

*Tabla 27: Alfa de Cronbach.*

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,933	18

De acuerdo con el resultado obtenido, el valor del estadístico de fiabilidad para este instrumento arroja un Coeficiente Alfa de Cronbach de 0.933; este valor indica que el

coeficiente es excelente y refleja también la fiabilidad y consistencia interna de cada uno de los ítems del instrumento.

### 3.1.2 Prueba De Normalidad

Para el desarrollo de este trabajo se trabajó con 124 personas dentro de los involucrados (trabajadores, gerente, clientes y proveedores) de la empresa CP PRODUCCIONES AUDIOVISUALES S.A.C. a quienes se les realizó la encuesta. Con los resultados de la encuesta con la escala tipo likert se procedió a realizar la prueba de normalidad para determinar qué estadístico de prueba utilizaremos (prueba paramétrica o no paramétrica). Para ello es necesario determinar si las variables provienen de una distribución normal o no, con la prueba de la normalidad de Kolmogorov-Smirnov por tratarse de una muestra de 124. Así mismo, también se determina esta prueba de normalidad de manera gráfica con los Q-Q Plots, que también nos indica si nuestras variables provienen de una distribución normal.

#### Prueba de Normalidad de V1 y V2

Pruebas de normalidad del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth (V1) y captura audiovisual de barrido (V2).

*Tabla 28: Prueba de normalidad V1 V2.*

	<b>Pruebas de normalidad</b>					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
V1	,152	124	,000	,939	124	,000
V2	,213	124	,000	,929	124	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo con los resultados que arroja el SPSS 25, se aprecia que el p valor es de 0,000 menor que 0,05, por lo que, no permite concluir que la V1 y la V2 no provengan de una distribución normal.

Este resultado nos permitió determinar la prueba estadística no paramétrica, prueba que no requiere que las variables provengan de una distribución normal como condición, es decir en este tipo de prueba no paramétrica se puede emplear distribución libre. En consecuencia, la prueba no paramétrica a utilizar fue la Correlación de rho de Spearman.

### 3.1.3 Contrastación de hipótesis

#### **Análisis Correlacional de las Variables**

En esta etapa de la prueba se realizó la prueba estadística no paramétrica con el coeficiente rho de Spearman. Según Sampieri et al. (2018) esta es una medida *de* correlación para variables en un nivel de medición ordinal, para dicho propósito se empleó nuevamente el paquete estadístico SPSS 25.

La valoración del coeficiente rho de Spearman, se realizó con la escala cuyo valor va de -1.0 a + 1.0. Según Sampieri et al. (2018) los intervalos para asignar un valor son: De 0 a 0.19; muy baja correlación; de 0.20 a 0.39 baja correlación; de 0.40 a 0.59 moderada correlación; de 0.60 a 0.79 buena correlación y de 0.80 a 100 muy buena correlación. De acuerdo a esta escala se determinó el valor exacto de los resultados analizados, según los objetivos trazados que nos permitió tomar una decisión final.

#### **ANÁLISIS CORRELACIONAL DE VARIABLES:**

(V1): Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y

(V2): Captura audiovisual de barrido.

Se planteó la siguiente Hipótesis:

**H<sub>0</sub>**: No existe correlación entre el sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

**H<sub>1</sub>**: Existe correlación entre el sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y

Captura audiovisual de barrido.

*Tabla 29: Correlación V1 V2.*

		<b>Correlaciones</b>		
			V1	V2
Rho de Spearman	V1	Coeficiente de correlación	1,000	,722**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	124	124
	V2	Coeficiente de correlación	,722**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	124	124

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Con los resultados obtenidos, se observa el p valor de 0.00 es menor que 0.05, este resultado nos permite rechazar la hipótesis nula. Por otro lado, el Coeficiente de Correlación de Spearman de 0.722 nos indica que, existe una correlación positiva y muy buena.

Este resultado estadístico permite confirmar nuestra hipótesis sobre la existencia de una correlación entre el sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

### **ANÁLISIS CORRELACIONAL DE VARIABLES:**

(D4): Situación actual de la captura audiovisual de barrido. y (V1): El diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth

Se planteó la siguiente Hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** No existe correlación entre el diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y la mejora de la situación actual de la captura audiovisual de barrido.

**H<sub>1</sub>:** Existe correlación entre el el diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y la mejora de la situación actual

de la captura audiovisual de barrido.

Tabla 30: Correlación D4 V1.

		D4	V2
Rho de Spearman	D4	Coefficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	,836**
		N	. 124
Rho de Spearman	V1	Coefficiente de correlación	,836**
		Sig. (bilateral)	1,000
		N	. 124

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Con los resultados obtenidos, se observa que el p valor de 0.00 es menor que 0.05, este resultado nos permite rechazar la hipótesis nula. Por otro lado, el Coeficiente de Correlación de Spearman de 0.836 nos indica que, existe una correlación positiva muy buena. El resultado permite confirmar nuestra hipótesis sobre la existencia de una correlación entre el diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y la mejora de la situación actual de la Captura audiovisual de barrido.

### **ANÁLISIS CORRELACIONAL DE VARIABLES:**

(D1): Diseño e implementación de la estructura del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y

(V2): Captura audiovisual de barrido.

Se planteó la siguiente Hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** No existe correlación entre el diseño e implementación de la estructura del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

**H<sub>1</sub>:** Existe correlación entre el diseño e implementación de la estructura del deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

*Tabla 31: Correlación D1 V2.*

		D1	V2
Rho de Spearman	D1	1,000	,556**
V2		,556**	1,000

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Con los resultados obtenidos, se observa el p valor de 0.00 es menor que 0.05, este resultado nos permite rechazar la hipótesis nula. Por otro lado, el Coeficiente de Correlación de Spearman de 0.556 nos indica que, existe una correlación positiva moderada. Este resultado estadístico permite confirmar nuestra hipótesis sobre la existencia de una correlación entre el diseño e implementación de un sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

### **ANÁLISIS CORRELACIONAL DE VARIABLES:**

(D2): Diseño e implementación del circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth

(V2): Captura audiovisual de barrido.

Se planteó la siguiente Hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** No existe correlación entre el diseño e implementación del circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

**H<sub>1</sub>:** Existe correlación entre el diseño e implementación del circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

*Tabla 32: Correlación D2 V2.*

			D2	V2
Rho de Spearman	D2	Coeficiente de correlación	1,000	,510**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	124	124
	V2	Coeficiente de correlación	,510**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	124	124

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Con los resultados obtenidos, se observa el p valor de 0.00 es menor que 0.05, este resultado nos permite rechazar la hipótesis nula. Por otro lado, el Coeficiente de Correlación de Spearman de 0.510 nos indica que, existe una correlación positiva moderada. Este resultado estadístico permite confirmar nuestra hipótesis sobre la existencia de una correlación entre el diseño e implementación del circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

### **ANÁLISIS CORRELACIONAL DE VARIABLES:**

(D3): El diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y

(V2): Captura audiovisual de barrido.

Se planteó la siguiente Hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** No existe correlación entre el diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

**H<sub>1</sub>:** Existe correlación entre el diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

*Tabla 33: Correlación D3 V2.*

<b>Correlaciones no paramétricas</b>			D3	V2
Rho de Spearman	D3	Coefficiente de correlación	1,000	,818**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	124	124
	V2	Coefficiente de correlación	,818**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	124	124

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Con los resultados obtenidos, se observa el p valor de 0.00 es menor que 0.05, este resultado nos permite rechazar la hipótesis nula. Por otro lado, el Coeficiente de Correlación de Spearman de 0.818 nos indica que, existe una correlación positiva muy buena. Este resultado permite confirmar nuestra hipótesis sobre la existencia de una correlación entre el diseño e implementación del control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth y Captura audiovisual de barrido.

### 3.2 Resultados específicos:

#### 3.2.1 Situación Actual

Tras realizar el sistema, se midieron los tiempos de producción programados y empleados tanto para el método manual como para el proceso mecanizado, para así medir la eficiencia de la empresa durante el pre test y el post test (Tabla 15). El tiempo útil programado fue el tiempo que la empresa esperó requerir para realizar las grabaciones asignadas. El tiempo total empleado real fue el tiempo que finalmente requirieron los camarógrafos y directores para aceptar las tomas como correctas. El incremento en la eficiencia fue del 40%.

*Tabla 34: Pre y post test de eficiencia.*

<b>FECHA</b>	<b>A</b> <b>Tiempo útil</b> <b>programado disponible</b> <b>(Horas)</b>	<b>B</b> <b>Tiempo total</b> <b>empleado real</b> <b>(Horas)</b>	<b>E = A/B</b> <b>EFICIENCIA</b>
1/09/2021	5	6	0.83
8/09/2021	6	7	0.86
15/09/2021	6	8	0.75
22/09/2021	7	8	0.88
29/09/2021	6	7	0.86
7/10/2021	5	4	1.25
13/10/2021	6	5	1.20
20/10/2021	6	5	1.20
27/10/2021	5	4	1.25
3/11/2021	5	4	1.25
Incremento de la eficiencia			40%

### 3.2.2 Sistema mecánico

Los resultados del análisis mecánico se constataron principalmente con el software Inventor y su herramienta análisis estático, con la cual se pudo obtener el desplazamiento máximo y el factor de seguridad de las estructuras. Iniciando con el Deslizador (Figura 58 y 59) se tiene la Tabla que resumen los resultados de resistencia de materiales de dicho equipo.



*Figura 58: Deslizador ensamblado. (Fuente propia).*



Figura 59: Deslizador en grabación. (Fuente propia).

Tabla 35: Características mecánicas de deslizador.

Resultado	Magnitud Min.	Magnitud Máx.
Volumen		5068 cm <sup>3</sup>
Masa		6.58 kg
Centro de gravedad		1787 Kg cm <sup>2</sup>
Estrés de Von Misses	0	739MPa
Esfuerzo	0	41.6 MPa
Deformación	0	20.28 mm
Factor de Seguridad	3.02	15

Para el desarrollo del deslizador, este se dividió en tres partes mostradas en la Tabla. También muestra las cargas a las que se somete, variando principalmente por la dimensión

de la cámara (de hasta 3kg.). Se verificó que el factor de seguridad mínimo no es menor a 3 en ningún caso.

*Tabla 36: FoS en el deslizador.*

<b>Parte</b>	<b>Carga Aplicada</b>	<b>Factor de Seguridad Mínimo</b>	<b>Desplazamiento Máximo</b>
Soporte de cámara	1.5 kg	4.84	2.35 mm
	2 kg	4.22	2.82 mm
	3 kg	3.17	3.04 mm
Riel del deslizador	3 kg	4.07	1.18 mm
	3.5 kg	3.84	1.82 mm
	4.5 kg	3.02	2.54 mm
Base al Suelo	8.5 kg	5.1	0.58 mm
	9 kg	4.3	0.8 mm
	10 kg	3.5	1.2 mm

La madera tipo *Birch* se utilizó para la base al suelo, de modo que sirvió como punto de estabilidad y firmeza si el equipo se usa de manera vertical u horizontal; su baja tensión de ruptura se complementó con un grosor de 20 mm en la parte inferior y de 5 mm en la parte superior. Además, se usaron tubos de aluminio de 22 mm de diámetro y 1,2 metros como rieles para el deslizador, estos fueron capaces de soportar el peso de la carga móvil de hasta 6 kg (sumando la cámara y el soporte de esta), siendo aún un material liviano.

Para la estructura en contacto con la cámara fotográfica se empleó un perfil de acero A36 de 2 mm de espesor, que, según la simulación, resiste el peso para una cámara de hasta 3 kg. Con estos materiales, el software calculó una masa total de 6.58 kg, y finalmente se construyó de 7.5 kg. Con estos datos se determinaron valores como el torque y la potencia requerida de los motores paso a paso, desarrollados en la Tabla 37, de donde se extrajeron los

torques para cada movimiento y con ellos se seleccionaron los motores NEMA que se indican en la Tabla 38.

*Tabla 37: Torques de movimiento de deslizador.*

<b>Movimiento</b>	<b>Velocidad</b>		<b>Torque</b>	<b>Potencia</b>
Pitch	3 RPM	0.31 rad/s	0.25 Nm	0.07 W
Yaw	3 RPM	0.31 rad/s	0.37 Nm	0.08 W
Deslizador	2 cm/s	3.33 rad/s	0.67 Nm	3.32 W

*Tabla 38: Código motores Nema usados.*

<b>Código</b>	<b>Longitud de eje</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Torque</b>	<b>Masa</b>
JK42HS34-0404	40 mm	1.5 Ohm	2.7 kg.cm	0.28 kg
JK42HS40-1704	40 mm	1.5 Ohm	4.2 kg.cm	0.28 kg
JK42HS60-1704	60 mm	3 Ohm	7.3 kg.cm	0.5 kg

En la parte superior se colocó el motor paso a paso NEMA JK42HS60-1704, con dos poleas de 21 dientes en su eje, y en el extremo opuesto se puso otras dos poleas de las mismas dimensiones, la cual le permitió a las dos fajas de 6 mm de ancho desplazar a la cámara. Los otros dos motores NEMA 17 con código JK42HS34-0404 y JK42HS40-1704 generaron el movimiento *pitch* y *yaw*, respectivamente. Ambos con una polea de 21 dientes y 12 mm de diámetro externo junto al motor, así como una polea inducida de 70 dientes y 50 mm de diámetro externo. Como resultado, el factor de transmisión para ambos fue de 4,16.

El diseño final de la base rotatoria se muestra en la Figura 60 y 61. Tras el estudio y simulación de diferentes materiales, la elección se basó en la diferencia de densidades

seleccionando la madera tipo Birch. La masa resultante era mucho menor a la simulada con acero u otros derivados. Por tanto, se prefirió utilizar dicha madera de 20 mm de espesor, que permitió una carga máxima de 240 kg, con un factor de seguridad de 3.02. Además, la madera permitió amortiguar vibraciones, reducir la rugosidad sobre las ruedas y evita deformaciones con su espesor.



*Figura 60: Base giratoria ensamblada. (Fuente propia).*



Figura 61: Base giratoria en grabación. (Fuente propia).

El estudio de materiales se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39: Características mecánicas de base giratoria.

Resultado	Magnitud Min.	Magnitud Máx.
Volumen		0.24 m <sup>3</sup>
Masa		15.92 kg
Centro de Gravedada		739.08 kg cm <sup>2</sup>
Estrés de Von Misses	0	386.8 MPa
Esfuerzo	0	48.2MPa

Deformación	0	40.5mm
Factor de Seguridad	3.02	15

La base superior tuvo un diámetro de 1 m con 8.5 kg, y la inferior tuvo la forma de un octágono circunscrito a un círculo de 50 cm y 6 kg. En la base inferior descansan el motor, la fuente electrónica, el circuito y cuatro ruedas de reposo de 7 cm de diámetro a 30 cm del centro de la base.

El eje central de rotación es una barra de metal maciza de 16 mm de diámetro, la cual es guiada por tres rodamientos que permiten su rotación. El rodamiento 3 está atornillado a la madera inferior, el rodamiento 1 está atornillado a la base superior y el otro es intermedio. En el eje también se colocó el engrane inducido o secundario de 10 cm de diámetro. Todas las uniones se realizaron mediante tornillos y tuercas M13, lo que hace posible que la base se desmonte fácilmente. Finalmente, dentro del estudio se seleccionó el motor XYD-6B2 de 350W y 24VDC con 2600RPM como máximo (Tabla 40).

*Tabla 40: Características motor base giratoria.*

<b>Característica</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Momento de inercia	31.13	<i>kg m<sup>2</sup></i>
Velocidad máx. de rotación	0.42	<i>rad/s</i>
Torque motor	81.4	<i>Nm</i>
Potencia del motor	220	<i>W</i>

El sistema de transmisión constó de un engrane primario de 2 cm de diámetro con 11 dientes, el cual se ubicó unido al motor seleccionado. El engrane inducido o secundario fue de 10 cm de diámetro y 65 dientes. La cadena es tensada por ambos engranes ubicados a una

distancia de 24.26 cm entre uno y otro, lo que genera un factor de transmisión de 5 entre entrada y salida.

### 3.2.3 Sistema electrónico

El circuito electrónico del *slider* se basó en un PIC16F88 que trabajó junto a tres drivers A4988 y al módulo Bluetooth HC-05. Todo el circuito fue alimentado por un arreglo de batería tipo lipo de 5v y los motores fueron alimentados con tres baterías de litio 18950 en serie, otorgando un total de 11.1V y 2800mAh. Los cables de energía usados fueron de 16AWG.

En lo que respecta al microcontrolador, este generó una única salida PWM para los tres drivers, pero fue capaz de controlar el pin “Enable” de estos, con lo que evitó activar los tres drivers a la vez. Esto es posible si el usuario envía los comandos requeridos, no obstante, causará un alto consumo de corriente, y el resultado será un movimiento más lento de los motores. Se calculó una duración de 44 minutos como tiempo efectivo de movimiento de los tres motores simultáneamente. La Figura 62 muestra el amperaje medido del circuito al activar 1, 2 o 3 motores.

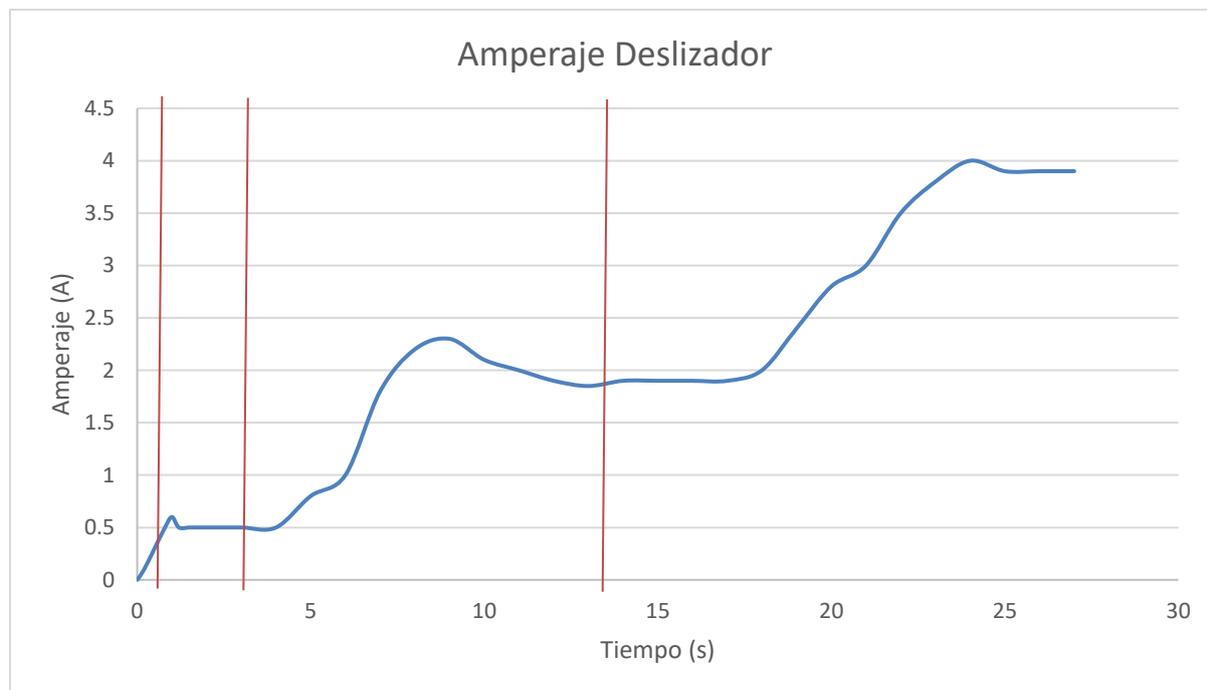


Figura 62: Amperaje de circuito deslizador. (Fuente propia).

Se hallaron los duty cycles requeridos para cada movimiento. La Tabla 41 muestra dichos valores a partir de los torques requeridos y las resistencias de los motores.

*Tabla 41: Duty cycle para deslizador.*

<b>Datos</b>	<b>Deslizador</b>	<b>Pitch</b>	<b>Yaw</b>
Resistencia motor	1.5	2	2
Torque requerido	0.42	0.23	0.27
Periodo de trabajo	12 %	15 %	16 %

El circuito electrónico de la base giratoria también se basó en un microcontrolador PIC16F88, junto a un puente H BTS7960B para el motor. Para este equipo se utilizó una fuente de alimentación de 220V AC de entrada a 60Hz, 24V DC y 350W de potencia de salida. Después de la fuente se incluyó un regulador de voltaje LM7812 para el cooler de refrigeración y el LM7805, destinado a alimentar los componentes digitales del circuito electrónico. Los reguladores de voltaje necesitaron un disipador de Disipador 38051 con 13.6°C/W de la empresa Disipa. Los cables de energía para el motor y su alimentación fueron de 10AWG, mientras que para el resto se usaron cables de 16AWG. En la placa también se incluyeron transistores 2N2222, los cuales permitieron el cambio de giro del motor, y dos diodos leds: uno para indicar que el circuito está encendido (led amarillo) y otro que cambia de estado (on-off) cuando recibe una señal por Bluetooth (led verde).

El amperaje medido en este equipo se muestra en la Figura 63. Las medidas se hicieron usando un multímetro y una pinza amperimétrica. Cada 15 segundos (línea vertical verde) se aumentó la capacidad del motor por rangos. Es decir, a partir del segundo cero el motor trabaja con carga de una persona (80 kg aprox.), a partir del segundo 15 la carga aumentó a dos personas (160 kg aprox.) y en el segundo 30 se aumentó al límite de tres personas (240 kg

aprox.). Con cada aumento de nivel, una persona más se ubicaba en la plataforma. Ya que la velocidad máxima es de 4RPM, no existen problemas para subir a la plataforma aún en movimiento.

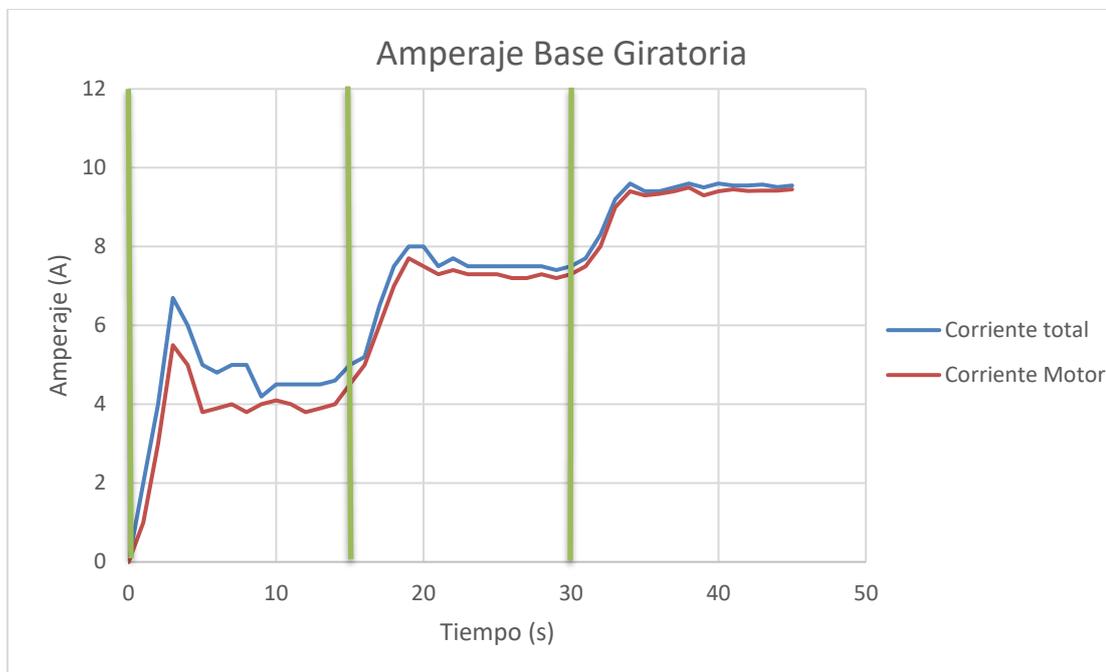


Figura 63: Amperaje Base Giratoria. (Fuente propia).

### 3.2.4 Programación de control

La programación se basó en el microcontrolador PIC16F88 con código en lenguaje C++ en el entorno de MPLAB X. Principalmente se necesitó verificar la señal PWM generada por el microcontrolador. Esta medición se realizó con un calibrador Beamex MC-2, como muestra la Figura 64 referencial al medir la salida del microcontrolador para la señal del driver A4988 del motor Pitch.

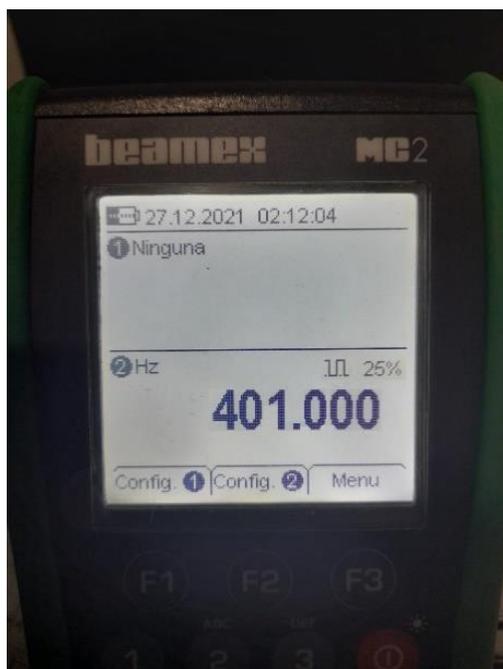


Figura 64: Medición señal PWM. (Fuente propia).

La Tabla muestra valores generales del microcontrolador de ambos equipos.

Tabla 42: Datos finales microcontroladores.

Equipo	Parámetro	Valor total	Valor en uso
Base Giratoria	Memoria de Programa	7168 bytes	39%
	Memoria Data	368 bytes	21%
Deslizador	I/O	16	12
	Memoria de Programa	7168 bytes	36%
Deslizador	Memoria Data	368 bytes	20%
	I/O	16	14

---

	Frecuencia de	4 MHz
Ambos	Trabajo	
	Baudrate bluetooth	9600

---

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

A partir de los resultados de funcionamiento del sistema deslizador giratorio se observó que este facilita las tomas de barrido en el área audiovisual, lo cual se logró porque el sistema le evita al fotógrafo tareas repetitivas o incómodas, así como movimientos a velocidades irregulares y pérdidas de tiempo entre grabaciones. Esto le brinda control total al usuario que envía las instrucciones para ambos equipos desde un dispositivo móvil a través de Bluetooth.

Gracias a esto se logró un trabajo coordinado y correcto entre los sistemas mecánicos y electrónicos del sistema. De esta manera, la estructura fue capaz de soportar cargas máximas de 240 kg para el movimiento de revolución, y el motor generó velocidades de hasta 4 RPM en sentido horario o anti horario; mientras que para el deslizador se consiguió estabilidad en el movimiento uniforme de 3cm/s de la cámara fotográfica en orientación vertical u horizontal y giros *pitch* y *yaw* a 3RPM, lo cual se debió a la utilización de motores Nema.

Los autores López y Pardo (2014) propusieron estos giros en la cámara, de revolución de perfil (*pitch*) y alrededor de su eje (*yaw*). Cabe resaltar que en este proyecto se logró aumentar el área de trabajo, sobre todo por permitir un desplazamiento en posición vertical con 1 metro como máximo sobre el suelo, de modo que se pueden generar vistas desde diferentes ángulos (altura media y baja), lo que favorece la versatilidad del equipo.

Además, el diseño de la lógica de programación muestra mejoras respecto a lo que Casignia y Perugachi (2017) plantearon, dado que el sistema deslizador giratorio permite trabajar con diferentes cargas; es decir, la programación del microcontrolador es diferente para cada rango de carga con la que se trabaja. Asimismo, el *Duty Cycle* de la señal PWM es diferente para cada caso, lo que genera torques distintos para mantener la velocidad deseada en todas las situaciones. En busca de conseguir esto se hicieron pruebas con diferentes cargas, en las cuales se variaron los valores de programación hasta encontrar los adecuados en cada caso.

## 4.2 Conclusiones

Con los resultados obtenidos se demostró que el sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejoró la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

- (i) Se logró determinar que el servicio de la captura audiovisual de barrido mejoró al aplicar el sistema deslizador giratorio con control Bluetooth en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (ii) Se diseñó e implementó la estructura del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejorando la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.
- (iii) Se diseñó e implementó el circuito electrónico del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejorando la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

- (iv) Se diseñó e implemento el control de movimiento del sistema deslizador giratorio con control Bluetooth mejorando la captura audiovisual de barrido en la empresa CP Producciones Audiovisuales S.A.C. Lima, 2021.

## REFERENCIAS

- Beer, F., Russell, E., & Eisenberg, E. (2007). *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. [https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/52831/mod\\_resource/content/2/000-mecnica-vectorial-paraingenieros-8-edicion.pdf](https://frh.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/52831/mod_resource/content/2/000-mecnica-vectorial-paraingenieros-8-edicion.pdf)
- Casignia, M., & Perugachi. (2017). *Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo y plataforma giratoria*. <https://docplayer.es/123924059-Escuela-superior-politecnica-del-litoral-facultad-de-ingenieria-en-mecanica-y-ciencias-de-la-produccion.html>
- Castillo, J., Espinoza, G. (2019). *Automatización en el traslado de sacos de la línea de ensaque para la reducción de tiempos en el proceso de fabricación de harina de pescado*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2770>
- Checa, C. (2018) "Estado de la tecnología audiovisual en las productoras de la ciudad de Chiclayo". Recuperado de: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4703/Checa%20Llontop.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Felipe, A., Mendieta, M., Antonio, J., Echeverry, P., Tecnológica, U., Pereira, D. E., & De Tecnologías, F. (2016). *Diseño slider motorizado para time-lapse*.
- García, E. (1999). *Automatización de Procesos Industriales Robótica y Automatica*. Recuperado de: [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/ba85b785-46cb-49e6-a006-a8626d4177e1/TOC\\_4116\\_01\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/ba85b785-46cb-49e6-a006-a8626d4177e1/TOC_4116_01_01.pdf?guest=true)
- González, J. (2018). *Diseño e implementación de deslizador motorizado para cámara fotográfica controlado mediante una aplicación remota*.
- Guerrero, B., & Caballo, D. (2019). *Fundamentos Básicos de la Fotografía*. [https://repositorioinstitucional.ceu.es/bitstream/10637/10296/1/Fundamentos\\_BeatrizGuerrero%26DanielCaballo\\_USPCEU\\_2019.docx.pdf](https://repositorioinstitucional.ceu.es/bitstream/10637/10296/1/Fundamentos_BeatrizGuerrero%26DanielCaballo_USPCEU_2019.docx.pdf)
- Hajjaj, S. S. H., & Karim, N. K. A. (2021). *Adoption of robotics in the TV film industry: The IoT-enabled robotic camera dolly*. 2021 30th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2021, 1256–1261. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN50785.2021.9515414>
- Hernández, R., Fernandez, C., Baptista, P. (2010) *Metodología de la Investigación*: [https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)
- Hibbeler, R. (2010) *Ingeniería Mecánica Estática*. Recuperado de: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/estc3a1tica-de-russel-hibbeler-12va-edici3b3n.pdf>
- Ledesma, H., Ortega, J. (2017). *Automatización del proceso de dosificación, molienda y gestión de materias primas de alimentos balanceados*. Recuperado de: <https://red.uao.edu.co/handle/10614/9702>
- López, F. (2019, January). *Tecnología de los medios audiovisuales I*. [https://www.researchgate.net/publication/41459199\\_Tecnologia\\_de\\_los\\_medios\\_audiovisuales\\_I](https://www.researchgate.net/publication/41459199_Tecnologia_de_los_medios_audiovisuales_I)

- López, J., & Pardo, C. (2014). *Diseño y desarrollo de sistema Mecatrónico para el control remoto de orientación de una cámara profesional de fotografía que permita obtener las imágenes a través de internet de forma inalámbrica.*
- Loyola, M., Chávez, B. (2015). *Automatización del Sistema de dosificación del líquido de gobierno en la producción de conservas para empresas agroindustriales para reducir los tiempos de llenado y pérdida en el proceso.*  
<https://dspace.untru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/1126/LOYOLA%20BETANCURT-CHAVEZ%20TERRONES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lozada, J. (2014). *Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria.* Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6163749.pdf>
- Ministerio de Cultura, (2016) *Informe panorámico de las artes y las industrias culturales en el Perú.* Recuperado de: [http://www.infoartes.pe/wp-content/uploads/2017/03/Boletin-Infoartes\\_n2\\_2016.pdf](http://www.infoartes.pe/wp-content/uploads/2017/03/Boletin-Infoartes_n2_2016.pdf)
- OIT Oficina Internacional del Trabajo (2016) *Mejore su negocio: el recurso humano y la productividad.* Recuperado de: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---emp\\_ent/---ifp\\_seed/documents/instructionalmaterial/wcms\\_553925.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/instructionalmaterial/wcms_553925.pdf)
- Orozco, E. (2007). *Formación de imágenes panorámicas para aplicaciones arqueológicas.* <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/638/1/OrozcoGEE.pdf>
- Ortiz, M. (2018). *Producción y realización en medios audiovisuales.* [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/73827/1/2018\\_Ortiz\\_Produccion-y-realizacion-en-medios-audiovisuales.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/73827/1/2018_Ortiz_Produccion-y-realizacion-en-medios-audiovisuales.pdf)
- Peñañiel, D. & Ramón, P. (2013) *Diseño y montaje de fuente conmutada para alimentación de convertidor multinivel.* Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4287/1/UPS-CT002620.pdf>
- Perez, D. (2020). *Propuesta de Automatización en la Línea de Producción para mejorar la Productividad de una Empresa de las Velas.* <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2955>
- Portillo García, A. de, & Caballero Gálvez, A. A. (2014). *Redefiniendo el videoarte: orígenes, límites y trayectorias de una hibridación en el panorama de la creación audiovisual española contemporánea.* Recuperado de: <https://doi.org/10.7195/ri14.v12i2.707>
- Resolución Ministerial N° 000266-2008-TR (2020). *Protocolo Sanitario Sectorial para la implementación de medidas de vigilancia, prevención y control frente al COVID-19 en las actividades de realización de Producciones Audiovisuales.* Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/cultura/normas-legales/1282643-266-2020-dm-mc>
- Resolución Ministerial N° 375-2008-TR (2008). *Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico.* Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/mtpe/normas-legales/394457-375-2008-tr>
- Roger, V. (2010). *Nuevas tecnologías aplicadas a la realización de la información audiovisual y retransmisiones deportivas.* <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8440/tesisUPV3312.pdf>
- Saavedra, H. (2017). *Diseño e implementación de un dolly automatizado de bajo costo para cámaras dslr.*
- Sampieri, R. & Mendoza, C. (2018) *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.*

- Sankar, D. S., Ganesh, S. C., Kannan, S. S., & Senthil Kumar, A. (2017). *Manufacturing of Low Cost Semi Automatic Camera Slider*.
- Santamaria, J. (2015). *Control remoto usando Bluetooth*.  
[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/35182/Santamaría Velázquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/35182/Santamaría_Velázquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Telg, R., & Beattie, P. (2021). *Video Equipment and Video Shot Composition I*.  
<https://doi.org/10.32473/edis-wc125-2021>
- Urbina, S. (2021) "El movimiento de cámara como generador de significado en la película *Días de Santiago* (2004)". Recuperado de:  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4951/INF\\_CA\\_2101.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4951/INF_CA_2101.pdf?sequence=1)
- Valderrama, S. (2015) Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Cuantitativa, cualitativa y mixta.
- Vega, E. (2017). *01. Definición y orígenes del audiovisual*.
- Welch & Comer (1988). *Coefficiente de Alpha de Cronbach*. Recuperado de <http://www.uv.es/~friasnav/AlfaCronbach.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A: Documentos del Proyecto

#### ANALISIS DE RIESGOS

PELIGROS EXISTENTES			
TIPO	N°	PELIGRO	EVENTO PELIGROSO
P O T E N C I A L	1	Suelo en mal estado/ irregular	Caída al mismo nivel
	2	Objetos en el suelo	Caída al mismo nivel
	3	Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel
	4	Uso de soportes /apoyos de madera o metal	Caída de objetos
	5	Colocación inadecuada de carga	Caída de objetos
	6	Elementos de montaje mal asegurados	Caída de objetos
	7	Exceso de carga	Colapso
	8	Fallas mecánica y estructurales de equipos	Caída de objetos/ colapso de estructuras del equipo.
TIPO	N°	PELIGRO	EVENTO PELIGROSO
MECÁNICA	9	Maquina/objetos en movimiento	Atrapamiento/Contacto indeseado con maquinaria u objetos en movimiento
	10	Manipulación de herramientas y objetos varios.	Contacto con herramientas y objetos varios.
	11	Desprendimiento de fragmentos	Proyección de partículas
	12	Estructuras inestables	Caída de estructuras.
TIPO	N°	PELIGRO	EVENTO PELIGROSO
ELÉCTRICO	13	Lineas eléctricas/Puntos energizados en baja tensión.	Contacto con energía eléctrica en baja tensión.
	14	Descarga eléctrica estática	Contacto con energía eléctrica
	15	Instalaciones eléctricas en baja/media/ alta tensión	Cortocircuito/falso contacto eléctrico.
	16	Falso contacto eléctrico	Contacto con energía eléctrica
	17	Fallas eléctricas de equipos	Contacto con energía eléctrica/ incendio.
TIPO	N°	PELIGRO	EVENTO PELIGROSO
SONIDO/ VIBRACIÓN	18	Ruido debido a máquinas o equipos en niveles	Exposición a niveles superiores al límite permitido
	19	Vibración debido a máquinas o equipos	Exposición a vibraciones por uso de máquinas o equipos.
TIPO	N°	PELIGRO	EVENTO PELIGROSO
ERGONÓMICO	20	Movimiento de objetos	Esfuerzos por empujar o tirar objetos
	21	Objetos pesados	Carga o movimiento de materiales o equipos.
	22	Uso de pantalla celular, PC.	Exposición a movimientos repetitivos.

**EVALUACIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS - CONTROLES**

PELIGRO	EVENTO PELIGROSO	NIVEL DE RIESGO			Indice de PROBABILIDAD (Sumatoria)	Indice de SEVERIDAD	PROBABILIDAD X SEVERIDAD	TOTAL GRADO	RIESGO SIGNIFICATIVO	MEDIDAS DE CONTROL RECOMENDADAS
		Indice de personas expuestas	Perjudicación sobre el equipo	Exposición al riesgo						
Suelo en mal estado/ irregular	Caída al mismo nivel	2	1	2	5	1	5	Bajo	No	
Objetos en el suelo	Caída al mismo nivel	2	1	2	5	1	5	Bajo	No	
Falta de orden y limpieza	Caída al mismo nivel	2	1	2	5	1	5	Bajo	No	
Uso de soportes /apoyos de madera o metal	Caída de objetos	2	2	1	5	1	5	Bajo	No	
Colocación inadecuada de carga	Caída de objetos	0	2	2	4	1	4	Bajo	No	
Elementos de montaje mal asegurados	Caída de objetos	3	2	2	7	2	14	Alto	Sí	Manual de uso que detalle explícitamente el testeado previo al uso real y asegurar principalmente el atornillamiento correcto las 4 tuercas de la base (de haber sido desmontado). Los equipos contarán con piezas de recambio (pernos y tuercas).
Exceso de carga	Colapso	0	3	2	5	1	5	Bajo	No	
Fallas mecánica y estructurales de equipos	Caída de objetos/ colapso de estructuras del equipo.	3	3	2	8	2	16	Muy Alto	Sí	Asegurar estructuras con un Factor de Seguridad de 3. Informar en el manual y oralmente al usuario las cargas máximas de funcionamiento y de
Maquina/objetos en movimiento	Atrapamiento/Contacto indeseado con maquinaria u objetos en movimiento	2	2	3	7	2	14	Alto	Sí	Ubicar los objetos en movimiento de la base (motor y cadena) fuera del alcance del usuario. Análisis de Riesgo según Norma ISO 12100:2010.
Manipulación de herramientas y objetos varios.	Contacto con herramientas y objetos varios.	1	0	1	2	1	2	Bajo	No	
Desprendimiento de fragmentos	Proyección de partículas	0	2	1	3	1	3	Bajo	No	
Estructuras inestables	Caída de estructuras.	1	2	2	5	1	5	Bajo	No	

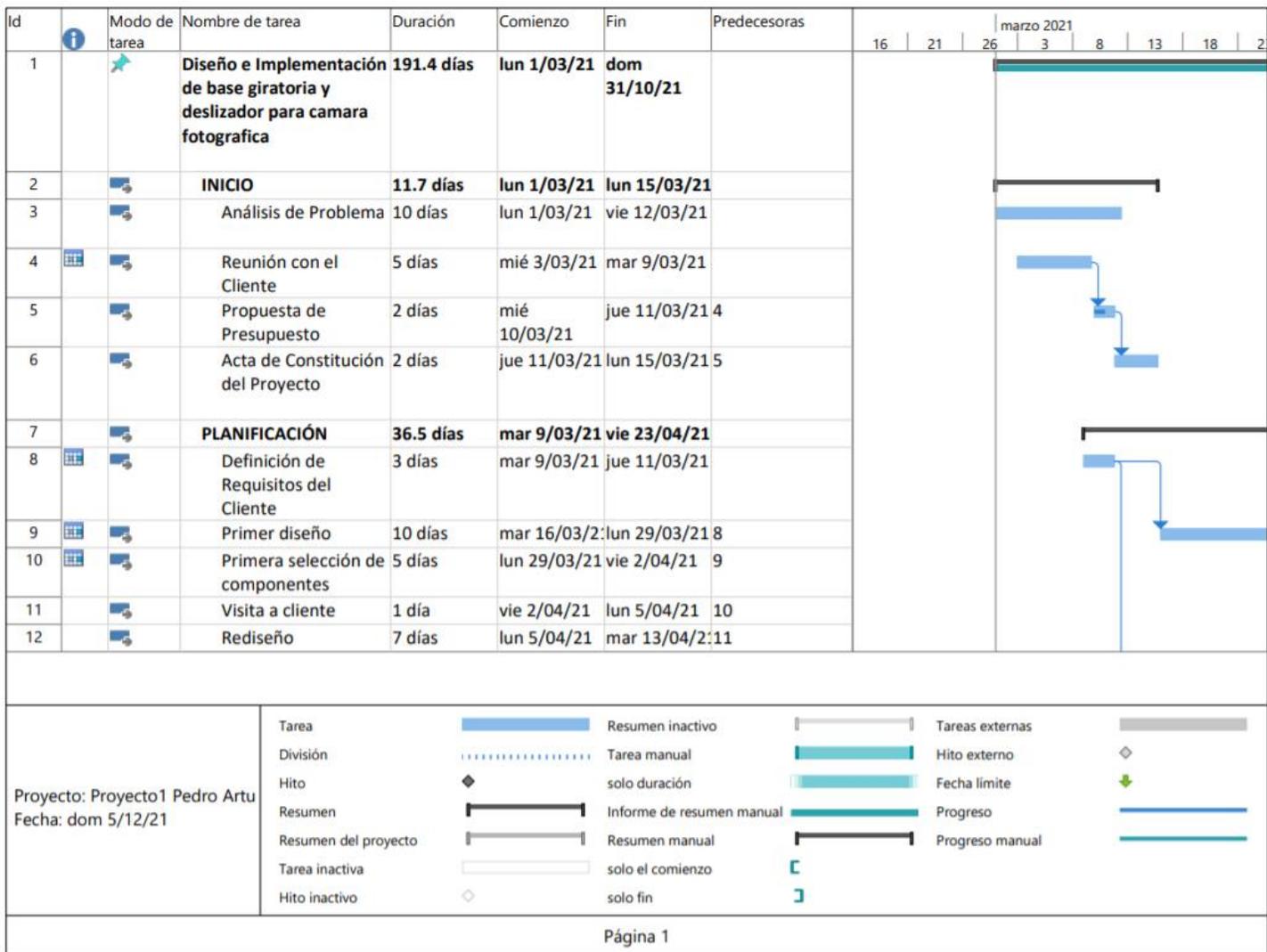
Lineas eléctricas/Puntos energizados en baja tensión.	Contacto con energía eléctrica en baja tensión.	2	1	3	6	2	12	Alto	Sí	Delimitar los cables eléctricos a una zona que requiera un desmontaje para su acceso.
Descarga eléctrica estática	Contacto con energía eléctrica	2	1	1	4	1	4	Bajo	No	
Instalaciones eléctricas en baja/media/ alta tensión	Cortocircuito/falso contacto eléctrico.	3	2	3	8	1	8	Medio	No	
Fallas eléctricas de equipos	Contacto con energía eléctrica/ incendio.	3	3	2	8	2	16	Muy Alto	Sí	Uso de fusibles para el aislamiento de fases (en caso de la base). Manual de mantenimiento de equipos.
Ruido debido a máquinas o equipos en niveles superiores a los permitidos	Exposición a niveles superiores al límite permitido	2	1	2	5	1	5	Bajo	No	
Vibración debido a máquinas o equipos	Exposición a vibraciones por uso de máquinas o equipos.	2	1	2	5	1	5	Bajo	No	
Movimiento de objetos	Esfuerzos por empujar o tirar objetos	2	0	2	4	1	4	Bajo	No	
Objetos pesados	Carga o movimiento de materiales o equipos.	3	1	2	6	2	12	Alto	Sí	Diseñar a los equipos con una masa menor a 20kg, de superar los 15kg asegurar una parte que facilite su carga y transporte.
Uso de teclado, pantalla de PC, laptop, mouse del computador	Exposición a movimientos repetitivos.	1	0	3	4	1	4	Bajo	No	

<b>Criterio de Nivel de Riesgo</b>	
<b>Indice de personas expuestas</b>	
0	Ninguna persona se ve afectada en absoluto.
1	Una a tres personas son afectadas por una molestia menor, sin resultar heridas en absoluto.
2	Una a tres personas son afectadas con alguna lesión leve o inseguridad al usar el equipo.
3	Dos a tres personas son afectadas gravemente o experimentan situaciones con consecuencias que hagan al equipo indeseado de ser usado nuevamente.

<b>Perjudicación sobre el equipo</b>	
0	El equipo no sufre ningún efecto.
1	El equipo sufre un efecto superficial, totalmente solucionable. Puede seguir trabajando.
2	El equipo sufre un daño que requiere cambio de algún componente. Está en una situación en que puede trabajar parcialmente.
3	El equipo sufre un daño considerable, cuya solución requeriría grandes reparaciones. Está en una situación en la que no puede trabajar.

<b>Exposición al riesgo</b>	
0	Situación demasiado improbable que ocurra.
1	Situación posible en grado bajo.
2	Situación que puede presentarse regularmente.
3	Situación que siempre existe.
<b>Indice de Severidad</b>	
1	Posible molestia al usuario y daños minimos o intermedios al equipo.
2	Posible daño al usuario y/o al equipo, imposibilitando su funcionamiento.
<b>Total Grado</b>	
0-6	Bajo
7-10	Medio
11-14	Alto
15-18	Muy Alto

**DIAGRAMA DE GANTT – MS PROJECT**



Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	marzo 2021										
							16	21	26	31	5	10	15	20			
13		Selección de materiales de construcción	7 días	lun 5/04/21	mar 13/04/21	11											
14		Primera Selección de Principales Componentes	5 días	mar 13/04/21	mar 20/04/21	13											
15		Definición del Presupuesto	3 días	mar 20/04/21	vie 23/04/21	14											
16		Realización de EDT	2 días	jue 11/03/21	lun 15/03/21	8											
17		Definición de Cronograma	3 días	lun 15/03/21	jue 18/03/21	16											
18		<b>EJECUCIÓN</b>	<b>123.2 días</b>	<b>lun 26/04/21</b>	<b>mié 29/09/21</b>												
19		Revisión de Antecedentes	10 días	lun 26/04/21	vie 7/05/21	15											
20		Revisión del Diseño	5 días	lun 3/05/21	vie 7/05/21												
21		Análisis Matemático del Diseño	10 días	mié 28/04/21	mar 11/05/21												
22		Planteamiento de Objetivos	3 días	mar 11/05/21	jue 13/05/21	21											
23		Planteamiento de Hipótesis	3 días	jue 13/05/21	mar 18/05/21	22											
24		Definición de Factores de Calidad	5 días	mar 18/05/21	mar 25/05/21	23											

Proyecto: Proyecto1 Pedro Artu Fecha: dom 5/12/21	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas
	División		Tarea manual		Hito externo
	Hito		solo duración		Fecha limite
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual
	Tarea inactiva		solo el comienzo		
	Hito inactivo		solo fin		

Página 2

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	marzo 2021										
							16	21	26	31	5	10	15	20			
25		Definición Materiales Requeridos	7 días	mar 25/05/21	mié 2/06/21	24											
26		Compra y Recepción de Motor	23 días	mié 2/06/21	jue 1/07/21	25											
27		Compra de Madera	4 días	mié 2/06/21	mar 8/06/21	25											
28		Diseño Base Rotatoria	7 días	mar 25/05/21	mié 2/06/21	24											
29		Análisis de Esfuerzo Base Rotatoria	2 días	mié 2/06/21	vie 4/06/21	28											
30		Generación de Planos Base Rotatoria	4 días	vie 4/06/21	mié 9/06/21	29											
31		Cortes de Madera	7 días	mié 9/06/21	vie 18/06/21	30											
32		Compra de Accesorios Mecánicos	7 días	mié 2/06/21	jue 10/06/21	28											
33		Ensamblaje de Base Rotatoria	11 días	jue 1/07/21	jue 15/07/21	31;26											
34		Diseño Lógica de Funcionamiento Base	7 días	jue 15/07/21	vie 23/07/21	33											

Proyecto: Proyecto1 Pedro Artu Fecha: dom 5/12/21	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas
	División		Tarea manual		Hito externo
	Hito		solo duración		Fecha limite
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual
	Tarea inactiva		solo el comienzo		
	Hito inactivo		solo fin		

Página 3

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	marzo 2021									
							16	21	26	3	8	13	18	2		
35		Programación de Microcontrolador Base	7 días	vie 23/07/21	mié 4/08/21	34										
36		Simulación de Circuito Electrónico	5 días	mié 4/08/21	mar 10/08/21	35										
37		Compra de Componentes Electrónicos	3 días	mar 10/08/21	vie 13/08/21	36										
38		Compra de Microcontroladores	1 día	mar 10/08/21	mié 11/08/21	36										
39		Prueba de Circuito y Mejoras	10 días	mié 11/08/21	mar 24/08/21	38										
40		Diseño de Placas PCB	5 días	mar 24/08/21	mar 31/08/21	39										
41		Fabricación de PCB	9 días	mar 31/08/21	vie 10/09/21	40										
42		Soldadura de PCB	2 días	vie 10/09/21	mar 14/09/21	41										
43		Test electrónico	7 días	vie 10/09/21	lun 20/09/21	41										
44		Elaboración de Diseño Deslizador	13 días	mar 18/05/21	jue 3/06/21	23										
45		Análisis de Esfuerzos	2 días	jue 3/06/21	lun 7/06/21	44										
46		Compra de perfil metálico	2 días	lun 7/06/21	mar 8/06/21	45										
47		Corte CNC del metal	7 días	mié 9/06/21	jue 17/06/21	46										
48		Soldadura	3 días	jue 17/06/21	mar 22/06/21	47										

Proyecto: Proyecto1 Pedro Artu  
Fecha: dom 5/12/21

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas
División		Tarea manual		Hito externo
Hito		solo duración		Fecha limite
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual
Tarea inactiva		solo el comienzo		
Hito inactivo		solo fin		

Página 4

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	marzo 2021									
							16	21	26	3	8	13	18	2		
49		Diseño CAD de piezas	7 días	mar 18/05/21	mié 26/05/21	23										
50		Impresión 3D	2 días	mié 26/05/21	vie 28/05/21	49										
51		Ensamblaje de Deslizador	10 días	jue 17/06/21	mié 30/06/21	47										
52		Compra de Cables Eléctricos	2 días	mar 31/08/21	mié 1/09/21											
53		Compra de Fuente de Alimentación	2 días	mar 31/08/21	mié 1/09/21											
54		Compra de Baterías Lito	2 días	mar 31/08/21	mié 1/09/21											
55		Ensamble eléctrico electrónico de Base Giratoria	7 días	lun 20/09/21	mié 29/09/21	43										
56		Ensamble eléctrico electrónico de Deslizador	7 días	lun 20/09/21	mié 29/09/21	43										
57		Programación y Mejora de Aplicativo Móvil	59.4 días	jue 15/07/21	mié 29/09/21											
58		<b>CONTROL</b>	<b>17 días</b>	<b>mié 29/09/21</b>	<b>jue 21/10/21</b>											
59		Puebas de Funcionamiento	5 días	mié 29/09/21	mar 5/10/21	51										
60		Puebas de Seguridad	5 días	vie 1/10/21	jue 7/10/21											

Proyecto: Proyecto1 Pedro Artu  
Fecha: dom 5/12/21

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas
División		Tarea manual		Hito externo
Hito		solo duración		Fecha limite
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual
Tarea inactiva		solo el comienzo		
Hito inactivo		solo fin		

Página 5

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	marzo 2021								
							16	21	26	3	8	13	18	2	
61		Puesta en Marcha para Cliente	4 días	jue 7/10/21	jue 14/10/21	60									
62		Conformación de Cliente	2 días	jue 14/10/21	vie 15/10/21	61									
63		<b>CIERRE</b>	<b>13.2 días</b>	<b>vie 15/10/21</b>	<b>dom 31/10/2</b>										
64		Conformidad del Presupuesto	3 días	lun 18/10/21	mié 20/10/21	62									
65		Finalización de Informe	10 días	vie 15/10/21	jue 28/10/21										

Proyecto: Proyecto1 Pedro Artu Fecha: dom 5/12/21	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha limite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin				

Página 6

## ANEXO B: CUADROS DE DECISIÓN

Tras el alcance propuesto se evaluaron alternativas con las siguientes tablas para cada elemento a considerar.

### Sistemas de transmisión de movimiento.

	Cadenas	Por Bandas	Engranajes
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad en los factores de reducción y aumento de velocidad.</li> <li>• Constante Factor de Transmisión</li> <li>• Facilidad de ensamblar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión a distancias grandes</li> <li>• Trabajo silencioso</li> <li>• No requiere lubricación</li> <li>• Versatilidad en la posición de ejes y sentido de giro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor de transmisión constante</li> <li>• Seguridad en funcionamiento y larga vida funcional</li> <li>• Dimensiones menores</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de Ruido</li> <li>• Necesidad de Lubricación</li> <li>• Necesidad de ejes paralelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación en Factor de Transmisión</li> <li>• Tensado inicial</li> <li>• Material afectado por temperatura y humedad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruido a grandes velocidades</li> <li>• Desgaste en dientes</li> <li>• Costo elevado por material</li> <li>• Necesidad de lubricante</li> </ul>

Resultado: Para el movimiento de giro en revolución se eligió un sistema de transmisión por cadena. El torque se considera alto para las cargas deseadas por lo que el ratio de transmisión ayudará a reducir las exigencias del motor. La generación de ruido no presentará un problema grave, se resalta el bajo costo que tiene y la facilidad de recambio. Quedará en comprobar su desempeño a bajas velocidades.

### Sistemas de desplazamiento lineal.

	Sistema Piñón - Cremallera	Riel y Ruedas
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmite potencias elevadas</li> <li>• Transmisión suave y precisa</li> <li>• Pocas partes móviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca necesidad de mantenimiento</li> <li>• Soporta mayores cargas</li> <li>• Menor Costo</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de lubricante</li> <li>• Necesidad de mantenimiento</li> <li>• Mayor Costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmite potencias menores</li> <li>• Posible deslizamiento a altas velocidades</li> </ul>

Resultado: Para el movimiento lineal de la cámara se prefirió el sistema riel y ruedas. Estas serán acondicionadas con rodamientos y rieles de una medida acorde a los requisitos del cliente. Destaca su bajo costo y la poca carga que deberá soportar.

### Motores DC

Tipo	Características	Usos Comunes
Motor Paso a Paso	Funciona a base de serie de impulsos eléctricos Giros en números de grados exactos Desplazamiento de paso o medio paso Alta Precisión	Robots, Drones, Impresoras
Brushed	Uso de escobillas de cobre o carbón Control de giro de manera mecánica	Alternadores, Aplicaciones de domótica, antenas
Brushless	No usa escobillas para cambio de polaridad Mayor vida útil que un Brushed Necesidad de circuito controlador electrónico	

Resultado: Al tener diferentes movimientos, se eligieron diferentes motores. Los motores PAP se ajustan a los requerimientos de los movimientos de cámara. Estos deben ser

son muy usados. Además, son fáciles de programar en velocidad y ángulos de giro. Para el giro en revolución se decidió usar motores brushless, considerando el uso un circuito controlador. Esta decisión se basó en la necesidad de cambiar el sentido de giro constantemente, evitando el uso de escobillas para la polaridad se evita su desgaste y necesidad de mantenimiento.

### Control de motor PAP

Modelo de Driver	A4988	DVR8825
Max. Corriente	2A	2.5A
Max. Micro pasos	16	32
Max. Voltaje	35v	45v
Valor Rs típico	0.1 o 0.2 ohm	0.1 ohm
Fórmula Vref (*)	$I\_TripMax = Vref / (8 * Rs)$	$I\_TripMax = Vref / (5 * Rs)$
Precio	s./ 8.00	s./ 14.00

Resultado: Aspecto definido por el torque para los movimientos y amperajes de los motores seleccionados. Por costo y semejanza se considera en principio el driver A4988.

### Familia de microcontroladores

Familia	Gama	ROM	RAM	Pines	Oscilador Interno	Frec. Reloj (MHz)	Entradas A/D	Comunicación Serial	Salidas PWM
PIC12FXXX	Media	1.75- 3.5	64-128	8	No	20	0-4	-	0-1
PIC16FXXX	Media	1.75-14	14-64	14-64	Si	20	0-13	USART SPI	I2C 0-3
PIC18FXXX	Alta	4-128	256- 3936	18-80	Si	32-48	4-16	USB2.0 CAN2.0 USART SPI	I2C 0-5

Resultado: La elección de microcontroladores PIC para el proyecto fue por la comercialización que tienen, las dimensiones y facilidad de programación. Dentro de esta familia de PICs se notó como suficiente a la familia 16, aún teniendo pendiente definir la cantidad de entradas y salidas requeridas (se busca el menor tamaño de PIC). Con eso en mente, se iniciará el trabajo planteando el uso del PIC16F88, usado anteriormente en otros proyectos.

Módulo Comunicación	Ventajas	Desventajas
NRF24	Rapidez por usar comunicación SPI y no UART. Cobertura de hasta 700m con antena.	Baja potencia sin antena. Requiere más pines para comunicación con controlador. Muy sensible al ruido. Alimentación de 3.3V.
HC 12	Cobertura de hasta 1.8km. Alimentación de 3.3 a 5.5V. Consumo de 100mA como máximo.	Poca rapidez en la comunicación. Escasez de librerías para su programación.
HC-05	Facilidad para conexión con smartphone con bluetooth. Comunicación por UART requiere solo de 2 pines. Alimentación de 5V. Posibilidad de ser master o slave.	Cobertura de hasta 10m.
HC-06	Facilidad para conexión con smartphone con bluetooth. Comunicación por UART requiere solo de 2 pines. Alimentación de 5V	Cobertura de hasta 10m. Solo trabaja como slave.

Resultado: Se prefirió el uso del módulo HC-05 por su facilidad de programación y conexión, compatibilidad sencilla con smartphones y su dualidad de poder ser master o slave. El rango de hasta 10m fue aceptable considerando que un operario aún deberá estar presente en el desempeño de los equipos.

## ANEXO C: PROGRAMACIÓN.

### Programación MPLAB X Base Giratoria:

```
#include "Config.h"
#include <xc.h>
#include "USART_PIC16.h"
#include <pic16f88.h>
#define _XTAL_FREQ 4000000
#define LED PORTAbits.RA2
void Salida_pwm(void);

void main(void) {
    char data_in;
    char data_in2;
    char data_in3;
    OSCCON = 0x66;
    ANSEL = 0x00;
    TRISA = 0;           //PUERTO A OUTPUT
    TRISB = 0;          //PUERTO B OUTPUT
    PORTA = 0;
    PORTB = 0;
    PORTAbits.RA7=1;
    PORTAbits.RA6=1;
    PR2 =0x58;
    USART_Init(9600);   //INICIO USART 9600 BAUD RATE
    __delay_ms(100);
    CCPR1L = 14;        //DUTY CYCLE INICIAL 16%
    Salida_pwm();       //INICIO SALIDA

    int cant_perso=1;
    while(1){
        PORTAbits.RA3=1; //LED ENCENDIDO
        bucle1:
        data_in=USART_ReceiveChar();

        if(data_in=='1'){ //IZQ BASE
            LED=~LED;
            PORTAbits.RA7=0;
            PORTAbits.RA6=1;
        }
        else if(data_in=='2'){ //STOP BASE
```

```

        LED=~LED;
        PORTAbits.RA7=1;
        PORTAbits.RA6=1;
    }
    else if(data_in=='3'){          //DER BASE
        LED=~LED;
        PORTAbits.RA6=0;
        PORTAbits.RA7=1;
    }
    /*-----CAMBIO DE CANT PERSONAS-----*/
    else if(data_in=='9'){
        bucle3:
        data_in3=USART_ReceiveChar();
        if(data_in3=='1'){ cant_perso = 1; LED=~LED ; goto bucle1;}
        else if(data_in3=='2'){ cant_perso = 2; LED=~LED; goto bucle1;}
        else if(data_in3=='3'){ cant_perso = 3; LED=~LED; goto bucle1;}
        else {goto bucle3;}
    }
    /*-----CAMBIO DE DUTY CYCLE-----*/
    else if(data_in=='0')
    {
        bucle2:
        data_in2=USART_ReceiveChar();
        bucle2_1:
        switch(cant_perso){
        case 1:
            PR2 =0x58;
            if(data_in2=='1'){ CCPR1L = 15; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='2'){ CCPR1L = 18; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='3'){ CCPR1L = 20; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='4'){ CCPR1L = 22; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='5'){ CCPR1L = 24; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='6'){ CCPR1L = 26; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='7'){ CCPR1L = 28; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='8'){ CCPR1L = 30; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='9'){ CCPR1L = 32; goto bucle1;}//31

        else {goto bucle2;}

        case 2:
            PR2 =0x9B;
            if(data_in2=='1'){ CCPR1L = 45; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='2'){ CCPR1L = 49; goto bucle1;}
            else if(data_in2=='3'){ CCPR1L = 53; goto bucle1;}

```

```
else if(data_in2=='4'){CCPR1L = 57; goto bucle1;}
else if(data_in2=='5'){CCPR1L = 61; goto bucle1;}
else if(data_in2=='6'){CCPR1L = 65; goto bucle1;}
else if(data_in2=='7'){CCPR1L = 69; goto bucle1;}
else if(data_in2=='8'){CCPR1L = 73; goto bucle1;}
else if(data_in2=='9'){CCPR1L = 76; goto bucle1;}

case 3:
PR2 =0x9B;
if(data_in2=='1'){CCPR1L = 60; goto bucle1;}
else if(data_in2=='2'){CCPR1L =64; goto bucle1;}
else if(data_in2=='3'){CCPR1L = 68; goto bucle1;}
else if(data_in2=='4'){CCPR1L = 72; goto bucle1;}
else if(data_in2=='5'){CCPR1L = 76; goto bucle1;}
else if(data_in2=='6'){CCPR1L = 80; goto bucle1;}
else if(data_in2=='7'){CCPR1L = 84; goto bucle1;}
else if(data_in2=='8'){ CCPR1L = 88; goto bucle1;}
else if(data_in2=='9'){ CCPR1L = 92; goto bucle1;}
}
}
}
return;
}

void Salida_pwm(void){
    TRISBbits.TRISB1 = 0;           // PIN B0 como salida CCP1 para PWM
    T2CON = 0x06;                  // 0000 0110 / 6-3 1 Postscale/ 2 Timer 2 on/ 1-0 1x Prescaler 16
    CCP1CON = 0x1C;                //bin 0001 1100 / Registro definido para PWM
}
```

## Programación MPLAB X Deslizador:

```
#include <xc.h>
#include "Config.h"
#define _XTAL_FREQ 4000000
#include <pic16f88.h>
#include "USART_PIC16.h"
#define LED PORTAbits.RA2
void Salida_pwm(void);
void main(void) {
    char data_in;
    char data_in2;
    OSCCON = 0x66;
    ANSEL = 0x00;
    TRISA = 0;           //PUERTO A OUTPUT
    TRISB = 0;           //PUERTO B OUTPUT
    PORTA = 0;
    PORTB = 0;
    USART_Init(9600);    //INICIO USART 9600 BAUD RATE
    __delay_ms(100);
    Salida_pwm();        //INICIO SALIDA PWM

    PORTAbits.RA1=1;     //ENABLES ON (NEGADOS)
    PORTBbits.RB7=1;
    PORTAbits.RA7=1;
    while(1){
        PORTAbits.RA3=1; //LED ENCENDIDO
    bucle1:
        data_in=USART_ReceiveChar();
        /*-----SLIDER-----*/
        if(data_in=='7') //BOTON IZQ SLIDER
        {
            CCPR1L = 39;
            LED = ~LED; //Cambia estado LED
            PORTAbits.RA1=0; //EN
            PORTAbits.RA0=1; //DIR
        }

        else if(data_in=='8') //BOTON STOP SLIDER
        {
            LED = ~LED; //Cambia estado LED
            PORTAbits.RA1=1; //EN

            PORTAbits.RA0=0; //DIR
        }
    }
}
```

```

    }
else if(data_in=='9')           //BOTÓN DER SLIDER
{
  CCPR1L = 39;
  LED = ~LED;
  PORTAbits.RA1=0;           //EN
  PORTAbits.RA0=0;           //DIR
}
/*-----PITCH-----*/
else if(data_in=='1')           // BOTÓN IZQ PITCH
{
  CCPR1L = 10;
  LED = ~LED;               //Cambia estado LED
  PORTBbits.RB7=0;           //EN
  __delay_ms(100);
  PORTBbits.RB6=1;           //DIR
}
else if(data_in=='2')           //BOTON STOP PITCH
{
  LED = ~LED;               //Cambia estado LED
  PORTBbits.RB7=1;           //EN
  __delay_ms(100);
  PORTBbits.RB6=0;           //DIR
}
else if(data_in=='3')           //BOTON DER PITCH
{
  CCPR1L = 10;
  LED = ~LED;               //Cambia estado LED
  PORTBbits.RB7=0;           //EN
  __delay_ms(100);
  PORTBbits.RB6=0;           //DIR
}
/*-----YAW-----*/
else if(data_in=='4') /           //BOTON IZQ YAW
{
  CCPR1L = 10;
  LED = ~LED;               //Cambia estado LED
  PORTAbits.RA7=0;           //EN
  __delay_ms(100);
  PORTAbits.RA6=1;           //DIR
}
else if(data_in=='5')           //BOTON STOP YAW
{
  LED = ~LED;               //Cambia estado LED
  PORTAbits.RA7=1;           //EN
  __delay_ms(100);

  PORTAbits.RA6=0;           //DIR
}

```

```
else if(data_in=='6') //BOTÓN DER YAW
{
  CCPR1L = 10;
  LED = ~LED; //Cambia estado LED
  PORTAbits.RA7=0; //EN
  __delay_ms(100);
  PORTAbits.RA6=0; //DIR
}
}
}

void Salida_pwm(void){
  PR2 =0xFF; //PWM Periodo de 0.0025 seg, 400 pulsos en 1 seg
  //CCPR1L = 10; // Duty cycle inicial de 6%
  TRISBbits.TRISB0 = 0; // PIN B0 como salida CCP1 para PWM
  T2CON = 0x06; // bin 0000 0110 / 6-3 1 Postscale/ 2 Timer 2 on/ 1-0 1x Prescaler 16
  CCP1CON = 0x1C; //bin 0001 1100 / Registro definido para PWM
```

## Programación MPLAB X Comunicación USART para Bluetooth.

```
#include "USART_PIC16.h"
/*-----INICIO-----*/
void USART_Init(long baud_rate)
{
    float temp;
    TRISB5=0;           //Pin de salida Tx
    TRISB2=1;           //Pin de entrada Rx
    temp=Baud_value;
    TXSTA=0x24;         //Habilitar transmisión
    RCSTA=0x90;         //Habilitar recepción y Puerto serial
    SPBRG = 0x19;
}
/*-----FUNCIONES-----*/
void USART_TransmitChar(char out)
{
    while(TXIF==0);     //Espera por flag de interrupción
    TXREG=out;          //Envía datos del flag
}
char USART_ReceiveChar()
{
    while(RCIF==0);     //Espera por flag de recepción
    return(RCREG);      //Datos recibidos almacenados en RCREG
}
}
```

## SET DE CONFIGURACIÓN DE PIC

```
#pragma config FOSC = INTOSCIO // Oscillator Selection bits (INTRC oscillator; port I/O function on both
RA6/OSC2/CLKO pin and RA7/OSC1/CLKI pin)
#pragma config WDTE = OFF // Watchdog Timer Enable bit (WDT enabled)
#pragma config PWRTE = OFF // Power-up Timer Enable bit (PWRT disabled)
#pragma config MCLRE = OFF // RA5/MCLR/VPP Pin Function Select bit (RA5/MCLR/VPP pin function
is MCLR)
#pragma config BOREN = ON // Brown-out Reset Enable bit (BOR enabled)
#pragma config LVP = OFF // Low-Voltage Programming Enable bit (RB3/PGM pin has PGM function,
Low-Voltage Programming enabled)
#pragma config CPD = OFF // Data EE Memory Code Protection bit (Code protection off)
#pragma config WRT = OFF // Flash Program Memory Write Enable bits (Write protection off)
#pragma config CCPMX = RB0 // CCP1 Pin Selection bit (CCP1 function on RB0)
#pragma config CP = OFF // Flash Program Memory Code Protection bit (Code protection off)
// CONFIG2
#pragma config FCMEN = ON // Fail-Safe Clock Monitor Enable bit (Fail-Safe Clock Monitor enabled)
#pragma config IESO = ON // Internal External Switchover bit (Internal External Switchover mode enabled)
```

```

when Screen1.Initialize
do
  if
    call BluetoothClient1.Connect
    address "00:19:10:09:1D:49"
  then
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Deslizador Conectado"
    set CheckBox2.Checked to true
  else
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Deslizador no encontrado"
  if
    call BluetoothClient2.Connect
    address "00:19:10:09:07:F8"
  then
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Base Conectada"
    set CheckBox1.Checked to true
  else
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Base no encontrada"

```

```

when Screen1.ErrorOccurred
component functionName errorNumber message
do
  if
    get errorNumber = 516 and BluetoothClient2.DisconnectOnError
  then
    set CheckBox2.Checked to false
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Base Desconectada"
  if
    get errorNumber = 516 and BluetoothClient1.DisconnectOnError
  then
    set CheckBox2.Checked to false
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Deslizador Desconectado"

```

```

when Button13.Click
do
  if
    call BluetoothClient1.Connect
    address "00:19:10:09:1D:49"
  then
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Deslizador Conectado"
    set CheckBox2.Checked to true
  if
    call BluetoothClient2.Connect
    address "00:19:10:09:07:F8"
  then
    call Notifier1.ShowAlert
    notice "Base Conectada"
    set CheckBox1.Checked to true

```

```

when Screen1.BackPressed
do
  call BluetoothClient1.Disconnect
  call BluetoothClient2.Disconnect
  close application

```

```

when Spinner1.AfterSelecting
selection
do
  call BluetoothClient2.SendText
  text "9"
  call BluetoothClient2.SendText
  text get selection

```

```

when Button1 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraPitchv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 1 "

when Button2 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraPitchv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 2 "

when Button3 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraPitchv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 3 "

when Button4 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 4 "

when Button5 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 5 "

when Button6 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 6 "

when Button7 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 7 "

when Button8 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 8 "

when Button9 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 9 "

when Button10 .Click
do
  call BluetoothClient2 .SendText
  text " 1 "

when Button11 .Click
do
  call BluetoothClient2 .SendText
  text " 2 "

when Button12 .Click
do
  call BluetoothClient2 .SendText
  text " 3 "

when Slider1 .PositionChanged
  thumbPosition
do
  if BluetoothClient2 .IsConnected
  then
    set TextBox1 . Text to Slider1 . ThumbPosition
    call BluetoothClient2 .SendText
    text " 0 "
    call BluetoothClient2 .SendText
    text format as decimal number Slider1 . ThumbPosition
    places 0
  
```

```

when Button1 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraPitchv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 1 "

when Button2 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraPitchv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 2 "

when Button3 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraPitchv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 3 "

when Button4 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 4 "

when Button5 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 5 "

when Button6 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 6 "

when Button7 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 7 "

when Button8 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 8 "

when Button9 .Click
do
  set Image2 . Picture to CapturaCamaraFlechasv2.jpg
  call BluetoothClient1 .SendText
  text " 9 "

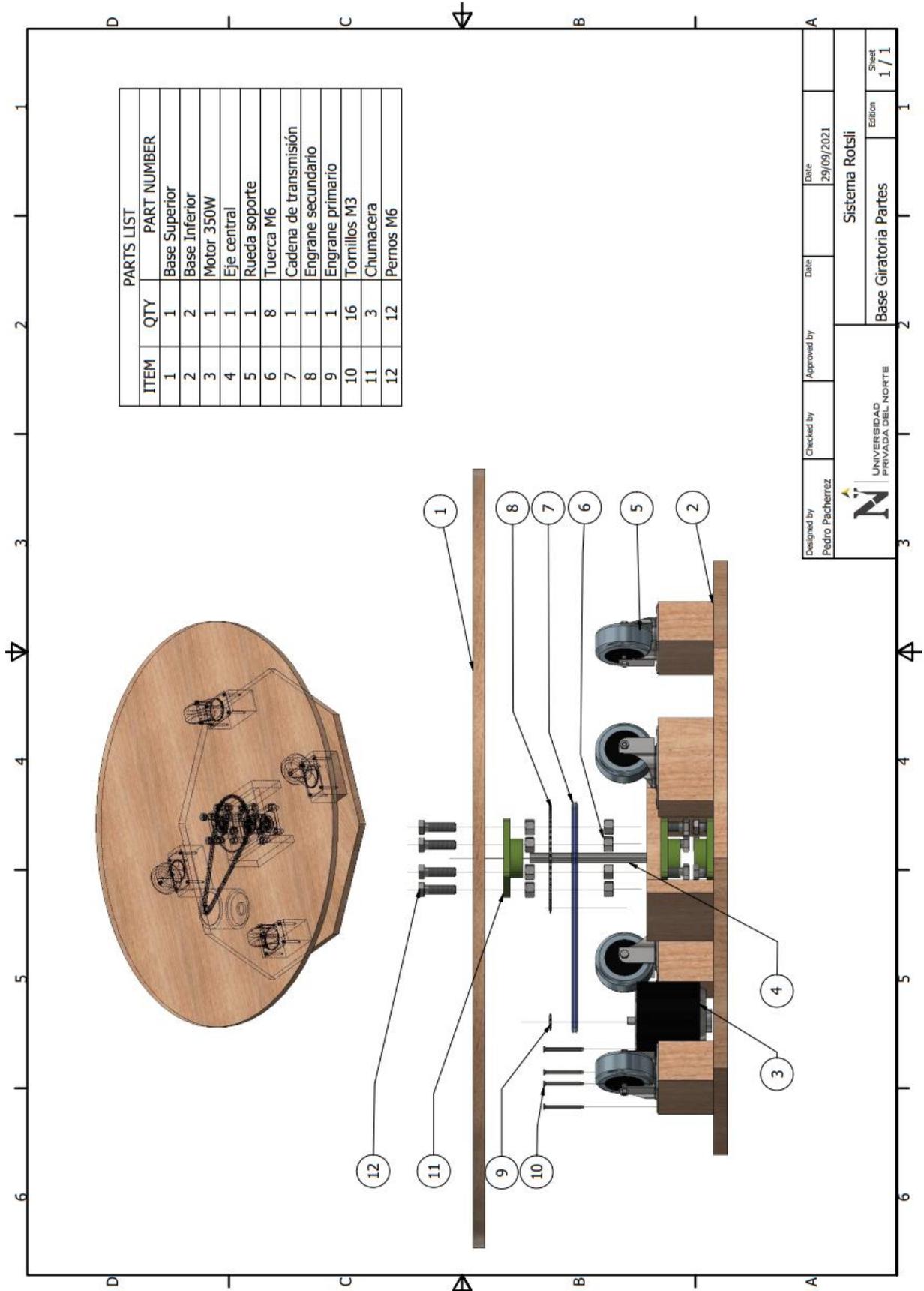
when Button10 .Click
do
  call BluetoothClient2 .SendText
  text " 1 "

when Button11 .Click
do
  call BluetoothClient2 .SendText
  text " 2 "

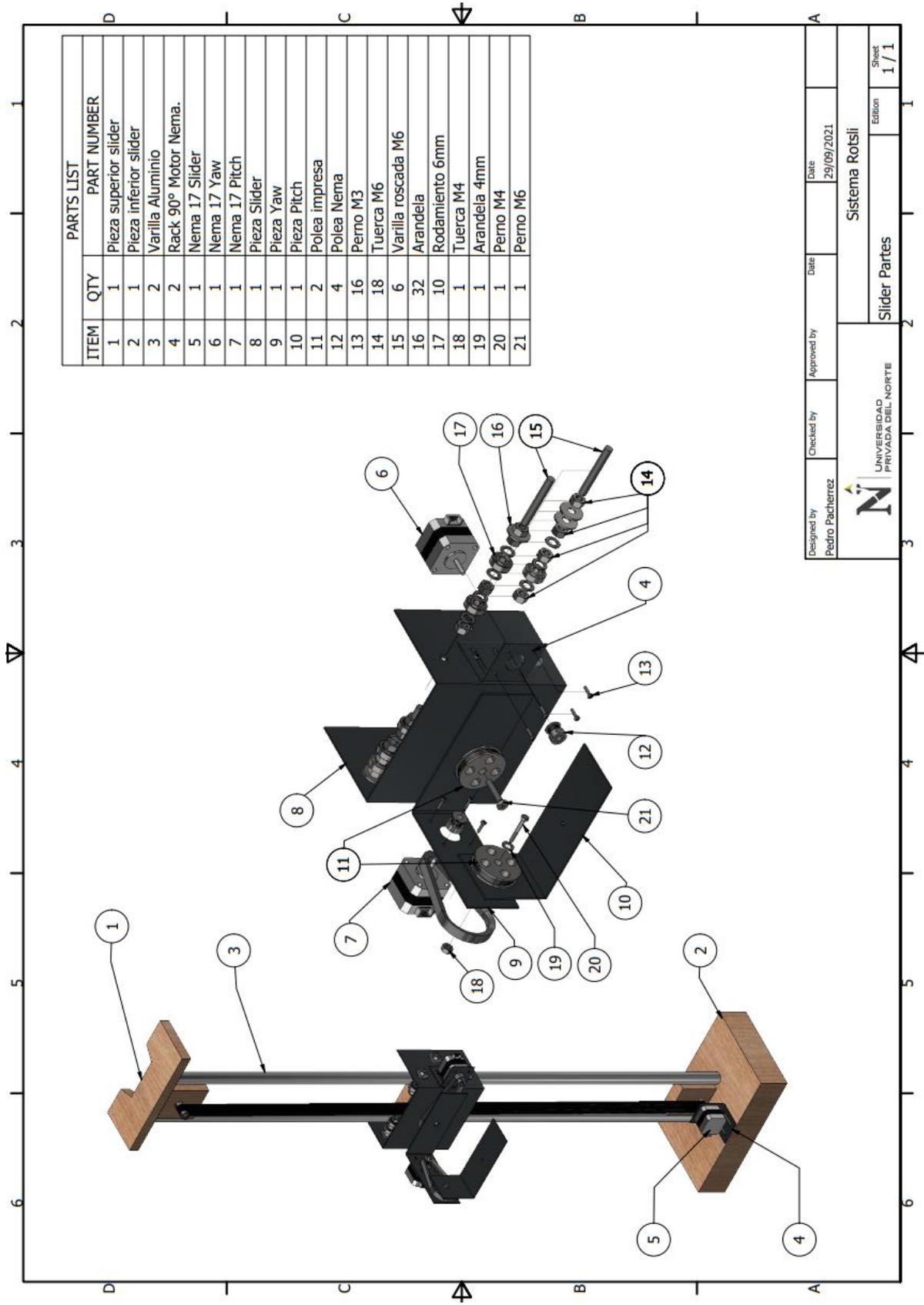
when Button12 .Click
do
  call BluetoothClient2 .SendText
  text " 3 "

when Slider1 .PositionChanged
  thumbPosition
do
  if BluetoothClient2 .IsConnected
  then
    set TextBox1 . Text to Slider1 . ThumbPosition
    call BluetoothClient2 .SendText
    text " 0 "
    call BluetoothClient2 .SendText
    text format as decimal number Slider1 . ThumbPosition
    places 0
  
```

**ANEXO D: PLANOS.**



Designed by Pedro Pacherez	Checked by	Approved by	Date 29/09/2021
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Sistema Rotsli	
		Base Giratoria Partes	
			Sheet 1 / 1



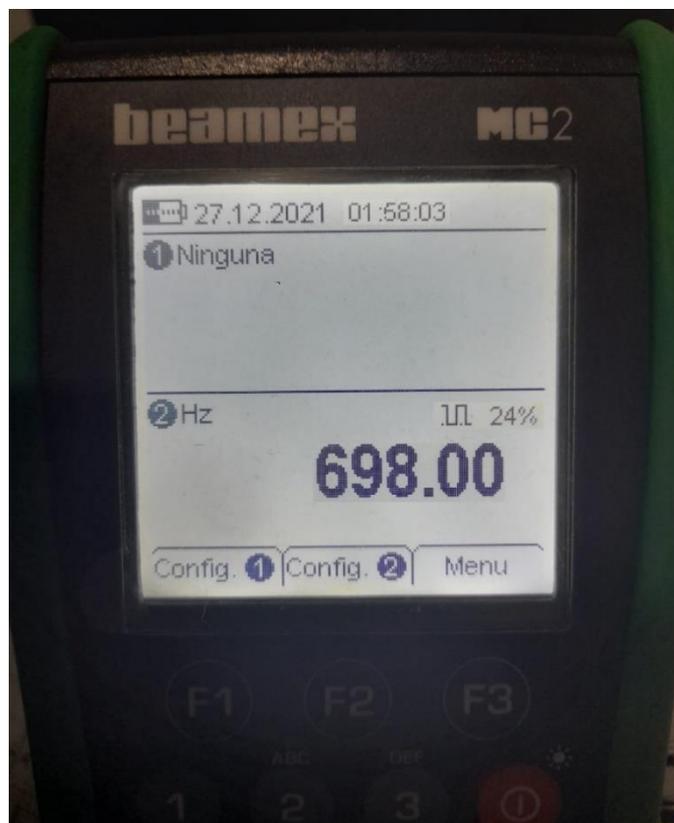
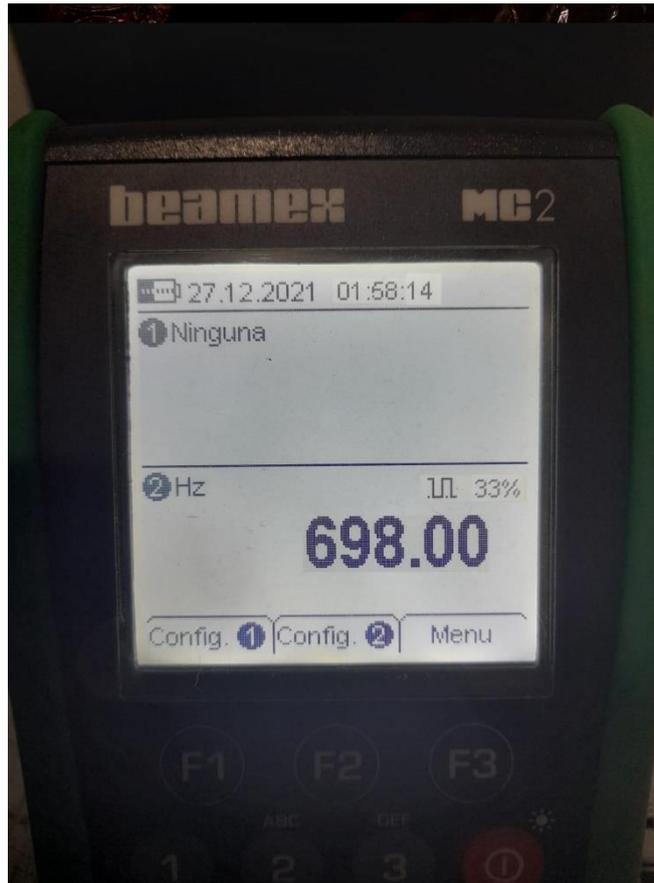
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Pieza superior slider
2	1	Pieza inferior slider
3	2	Varilla Aluminio
4	2	Rack 90° Motor Nema.
5	1	Nema 17 Slider
6	1	Nema 17 Yaw
7	1	Nema 17 Pitch
8	1	Pieza Slider
9	1	Pieza Yaw
10	1	Pieza Pitch
11	2	Polea impresa
12	4	Polea Nema
13	16	Perno M3
14	18	Tuerca M6
15	6	Varilla roscada M6
16	32	Arandela
17	10	Rodamiento 6mm
18	1	Tuerca M4
19	1	Arandela 4mm
20	1	Perno M4
21	1	Perno M6

Designed by Pedro Pachterrez	Checked by	Approved by	Date 29/09/2021
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		Slider Partes	
Sistema Rotsli		Edition 1 / 1	

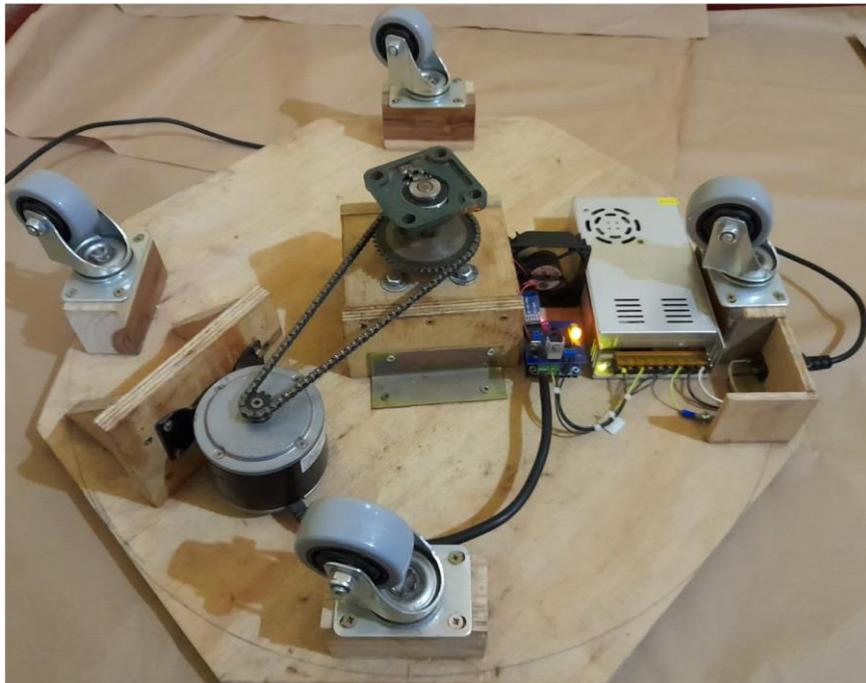
## ANEXO E: IMÁGENES

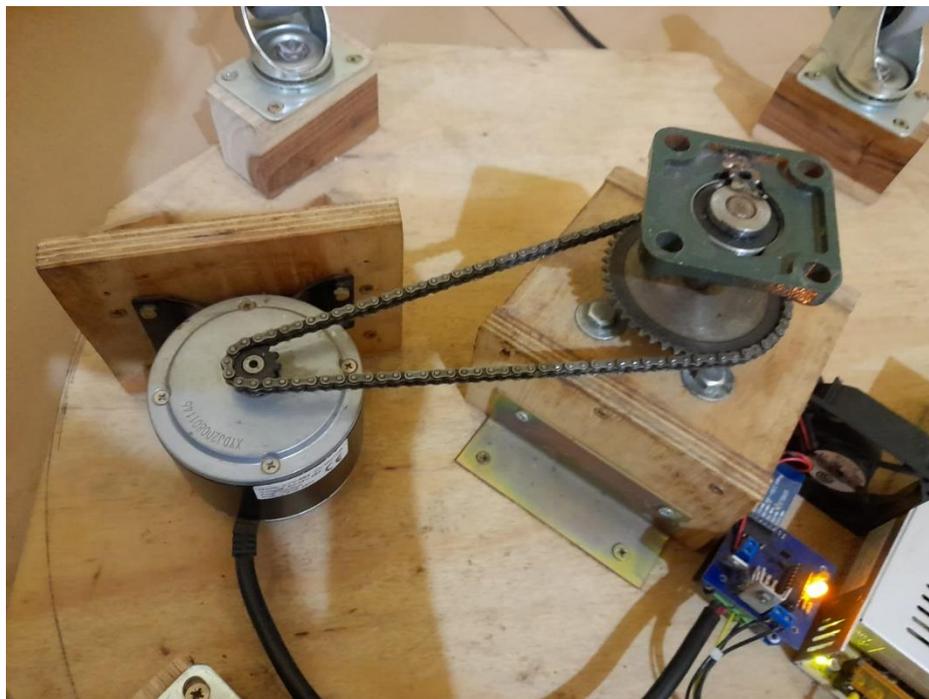
### Medición de señales PWM





## Equipos Finales





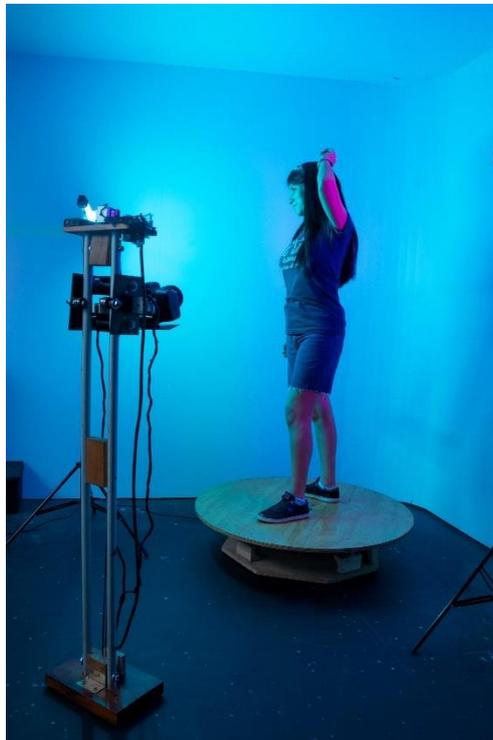


### Pruebas Post Test









## **ANEXO F: DATASHEETS**

# PIC16F87/88

## 9.3 PWM Mode

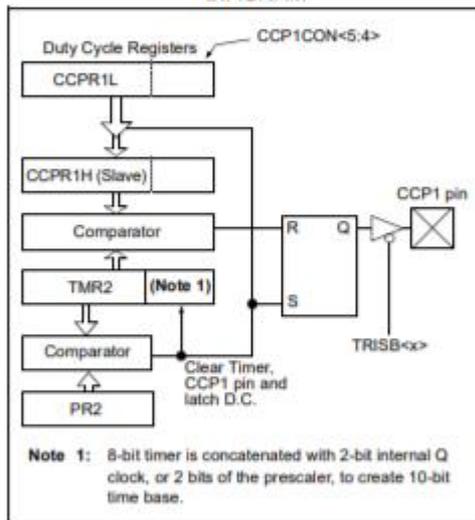
In Pulse-Width Modulation (PWM) mode, the CCP1 pin produces up to a 10-bit resolution PWM output. Since the CCP1 pin is multiplexed with the PORTB data latch, the TRISB<x> bit must be cleared to make the CCP1 pin an output.

**Note:** Clearing the CCP1CON register will force the CCP1 PWM output latch to the default low level. This is not the PORTB I/O data latch.

Figure 9-3 shows a simplified block diagram of the CCP module in PWM mode.

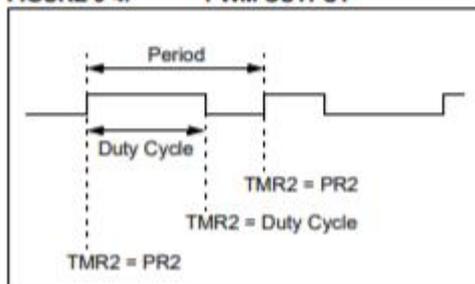
For a step-by-step procedure on how to set up the CCP module for PWM operation, see **Section 9.3.3 “Setup for PWM Operation”**.

**FIGURE 9-3: SIMPLIFIED PWM BLOCK DIAGRAM**



A PWM output (Figure 9-4) has a time base (period) and a time that the output stays high (duty cycle). The frequency of the PWM is the inverse of the period (1/period).

**FIGURE 9-4: PWM OUTPUT**



### 9.3.1 PWM PERIOD

The PWM period is specified by writing to the PR2 register. The PWM period can be calculated using the following formula.

**EQUATION 9-1:**

$$\text{PWM Period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 Prescale Value})$$

PWM frequency is defined as 1/[PWM period].

When TMR2 is equal to PR2, the following three events occur on the next increment cycle:

- TMR2 is cleared
- The CCP1 pin is set (exception: if PWM duty cycle = 0%, the CCP1 pin will not be set)
- The PWM duty cycle is latched from CCPR1L into CCPR1H

**Note:** The Timer2 postscaler (see **Section 8.0 “Timer2 Module”**) is not used in the determination of the PWM frequency. The postscaler could be used to have a servo update rate at a different frequency than the PWM output.

### 9.3.2 PWM DUTY CYCLE

The PWM duty cycle is specified by writing to the CCPR1L register and to the CCP1CON<5:4> bits. Up to 10-bit resolution is available. The CCPR1L contains the eight MSBs and the CCP1CON<5:4> bits contain the two LSBs. This 10-bit value is represented by CCPR1L:CCP1CON<5:4>. The following equation is used to calculate the PWM duty cycle in time.

**EQUATION 9-2:**

$$\text{PWM Duty Cycle} = (\text{CCPR1L:CCP1CON<5:4>}) \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 Prescale Value})$$

CCPR1L and CCP1CON<5:4> can be written to at any time, but the duty cycle value is not latched into CCPR1H until after a match between PR2 and TMR2 occurs (i.e., the period is complete). In PWM mode, CCPR1H is a read-only register.

The CCPR1H register and a 2-bit internal latch are used to double-buffer the PWM duty cycle. This double-buffering is essential for glitchless PWM operation.

When the CCPR1H and 2-bit latch match TMR2, concatenated with an internal 2-bit Q clock or 2 bits of the TMR2 prescaler, the CCP1 pin is cleared.

## PIC16F87/88

The maximum PWM resolution (bits) for a given PWM frequency is given by the following formula.

**EQUATION 9-3:**

$$\text{Resolution} = \frac{\log\left(\frac{F_{OSC}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

**Note:** If the PWM duty cycle value is longer than the PWM period, the CCP1 pin will not be cleared.

### 9.3.3 SETUP FOR PWM OPERATION

The following steps should be taken when configuring the CCP module for PWM operation:

1. Set the PWM period by writing to the PR2 register.
2. Set the PWM duty cycle by writing to the CCP1L register and CCP1CON<5:4> bits.
3. Make the CCP1 pin an output by clearing the TRISB<x> bit.
4. Set the TMR2 prescale value and enable Timer2 by writing to T2CON.
5. Configure the CCP1 module for PWM operation.

**Note:** The TRISB bit (0 or 3) is dependant upon the setting of configuration bit 12 (CCPMX).

**TABLE 9-3: EXAMPLE PWM FREQUENCIES AND RESOLUTIONS AT 20 MHz**

PWM Frequency	1.22 kHz	4.88 kHz	19.53 kHz	78.12 kHz	156.3 kHz	208.3 kHz
Timer Prescaler (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
PR2 Value	0xFF	0xFF	0xFF	0x3F	0x1F	0x17
Maximum Resolution (bits)	10	10	10	8	7	6.6

**TABLE 9-4: REGISTERS ASSOCIATED WITH PWM AND TIMER2**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other Resets
0Bh,8Bh 10Bh,18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	—	ADIF <sup>(1)</sup>	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	-000 0000	-000 0000
8Ch	PIE1	—	ADIE <sup>(1)</sup>	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	-000 0000	-000 0000
86h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
11h	TMR2	Timer2 Module Register								0000 0000	0000 0000
92h	PR2	Timer2 Period Register								1111 1111	1111 1111
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	-000 0000
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register 1 (LSB)								x000 x000	uuuu uuuu
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register 1 (MSB)								x000 x000	uuuu uuuu
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	--00 0000

**Legend:** x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PWM and Timer2.

**Note 1:** This bit is only implemented on the PIC16F88. The bit will read '0' on the PIC16F87.

## PIC16F87/88

### 11.0 ADDRESSABLE UNIVERSAL SYNCHRONOUS ASYNCHRONOUS RECEIVER TRANSMITTER (AUSART)

The Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (AUSART) module is one of the two serial I/O modules. (AUSART is also known as a Serial Communications Interface or SCI.) The AUSART can be configured as a full-duplex asynchronous system that can communicate with peripheral devices, such as CRT terminals and personal computers, or it can be configured as a half-duplex synchronous system that can communicate with peripheral devices, such as A/D or D/A integrated circuits, serial EEPROMs, etc.

The AUSART can be configured in the following modes:

- Asynchronous (full-duplex)
- Synchronous – Master (half-duplex)
- Synchronous – Slave (half-duplex)

Bit SPEN (RCSTA<7>) and bits TRISB<5,2> have to be set in order to configure pins, RB5/ $\overline{SS}$ /TX/CK and RB2/SDO/RX/DT, as the Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter.

The AUSART module also has a multi-processor communication capability, using 9-bit address detection.

#### REGISTER 11-1: TXSTA: TRANSMIT STATUS AND CONTROL REGISTER (ADDRESS 98h)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R-1	R/W-0	
CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	
bit 7								bit 0

- bit 7 **CSRC:** Clock Source Select bit  
Asynchronous mode:  
 Don't care.  
Synchronous mode:  
 1 = Master mode (clock generated internally from BRG)  
 0 = Slave mode (clock from external source)
- bit 6 **TX9:** 9-bit Transmit Enable bit  
 1 = Selects 9-bit transmission  
 0 = Selects 8-bit transmission
- bit 5 **TXEN:** Transmit Enable bit  
 1 = Transmit enabled  
 0 = Transmit disabled  
**Note:** SREN/CREN overrides TXEN in Sync mode.
- bit 4 **SYNC:** AUSART Mode Select bit  
 1 = Synchronous mode  
 0 = Asynchronous mode
- bit 3 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 2 **BRGH:** High Baud Rate Select bit  
Asynchronous mode:  
 1 = High speed  
 0 = Low speed  
Synchronous mode:  
 Unused in this mode.
- bit 1 **TRMT:** Transmit Shift Register Status bit  
 1 = TSR empty  
 0 = TSR full
- bit 0 **TX9D:** 9th bit of Transmit Data, can be Parity bit

#### Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared    x = Bit is unknown

## PIC16F87/88

### REGISTER 11-2: RCSTA: RECEIVE STATUS AND CONTROL REGISTER (ADDRESS 18h)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R-x
SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
							bit 7
							bit 0

- bit 7 **SPEN:** Serial Port Enable bit  
1 = Serial port enabled (configures RB2/SDO/RX/DT and RB5/ $\overline{SS}$ /TX/CK pins as serial port pins)  
0 = Serial port disabled
- bit 6 **RX9:** 9-bit Receive Enable bit  
1 = Selects 9-bit reception  
0 = Selects 8-bit reception
- bit 5 **SREN:** Single Receive Enable bit  
Asynchronous mode:  
Don't care.  
Synchronous mode – Master:  
1 = Enables single receive  
0 = Disables single receive  
This bit is cleared after reception is complete.  
Synchronous mode – Slave:  
Don't care.
- bit 4 **CREN:** Continuous Receive Enable bit  
Asynchronous mode:  
1 = Enables continuous receive  
0 = Disables continuous receive  
Synchronous mode:  
1 = Enables continuous receive until enable bit CREN is cleared (CREN overrides SREN)  
0 = Disables continuous receive
- bit 3 **ADDEN:** Address Detect Enable bit  
Asynchronous mode 9-bit (RX9 = 1):  
1 = Enables address detection, enables interrupt and load of the receive buffer when RSR<8> is set  
0 = Disables address detection, all bytes are received and ninth bit can be used as parity bit
- bit 2 **FERR:** Framing Error bit  
1 = Framing error (can be updated by reading RCREG register and receive next valid byte)  
0 = No framing error
- bit 1 **OERR:** Overrun Error bit  
1 = Overrun error (can be cleared by clearing bit CREN)  
0 = No overrun error
- bit 0 **RX9D:** 9th bit of Received Data (can be Parity bit, but must be calculated by user firmware)

**Legend:**

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared    x = Bit is unknown



September 2014

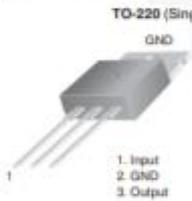
## LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

### Features

- Output Current up to 1 A
- Output Voltages: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24 V
- Thermal Overload Protection
- Short-Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

The LM78XX series of three-terminal positive regulators is available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down, and safe operating area protection. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components for adjustable voltages and currents.



TO-220 (Single Gauge)  
GND  
1 Input  
2 GND  
3 Output

---

### Ordering Information<sup>(1)</sup>

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature	Packing Method
LM7805CT	±4%	TO-220 (Single Gauge)	-40°C to +125°C	Rail
LM7806CT				
LM7808CT				
LM7809CT				
LM7810CT				
LM7812CT				
LM7815CT				
LM7818CT				
LM7824CT				
LM7805ACT				
LM7809ACT				
LM7810ACT				
LM7812ACT				
LM7815ACT				

**Note:**  
1. Above output voltage tolerance is available at 25°C.

© 2006 Fairchild Semiconductor Corporation  
LM78XX / LM78XXA Rev. 1.3.1

www.fairchildsemi.com

LM78XX / LM78XXA — 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

### Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuit,  $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500 \text{ mA}$ ,  $V_I = 10 \text{ V}$ ,  $C_I = 0.1 \mu\text{F}$ , unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.80	5.00	5.20	V
		$I_O = 5 \text{ mA to } 1 \text{ A}$ , $P_O \leq 15 \text{ W}$ , $V_I = 7 \text{ V to } 20 \text{ V}$	4.75	5.00	5.25	
Regline	Line Regulation <sup>(2)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7 \text{ V to } 25 \text{ V}$	4.0	100.0	mV
			$V_I = 8 \text{ V to } 12 \text{ V}$	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation <sup>(2)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5 \text{ mA to } 1.5 \text{ A}$	9.0	100.0	mV
			$I_O = 250 \text{ mA to } 750 \text{ mA}$	4.0	50.0	
$I_Q$	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5	8	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$I_O = 5 \text{ mA to } 1 \text{ A}$ $V_I = 7 \text{ V to } 25 \text{ V}$		0.03	0.50	mA
				0.30	1.30	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift <sup>(3)</sup>	$I_O = 5 \text{ mA}$		-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_N$	Output Noise Voltage	$f = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		42		$\mu\text{V}$
RR	Ripple Rejection <sup>(3)</sup>	$f = 120 \text{ Hz}$ , $V_I = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$	62	73		dB
$V_{DROP}$	Dropout Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ , $I_O = 1 \text{ A}$		2		V
$R_O$	Output Resistance <sup>(3)</sup>	$f = 1 \text{ kHz}$		15		m $\Omega$
$I_{SC}$	Short-Circuit Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ , $V_I = 35 \text{ V}$		230		mA
$I_{PK}$	Peak Current <sup>(3)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A

**Notes:**

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

### Electrical Characteristics (LM7812)

Refer to the test circuit,  $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500 \text{ mA}$ ,  $V_I = 19 \text{ V}$ ,  $C_I = 0.33 \mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1 \mu\text{F}$ , unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V
		$I_O = 5 \text{ mA to } 1 \text{ A}$ , $P_O \leq 15 \text{ W}$ , $V_I = 14.5 \text{ V to } 27 \text{ V}$	11.4	12.0	12.6	
Regline	Line Regulation <sup>(12)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5 \text{ V to } 30 \text{ V}$	10	240	mV
			$V_I = 16 \text{ V to } 22 \text{ V}$	3	120	
Regload	Load Regulation <sup>(12)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5 \text{ mA to } 1.5 \text{ A}$	11	240	mV
			$I_O = 250 \text{ mA to } 750 \text{ mA}$	5	120	
$I_Q$	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5.1	8.0	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$I_O = 5 \text{ mA to } 1 \text{ A}$		0.1	0.5	mA
		$V_I = 14.5 \text{ V to } 30 \text{ V}$		0.5	1.0	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift <sup>(13)</sup>	$I_O = 5 \text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_N$	Output Noise Voltage	$f = 10 \text{ Hz to } 100 \text{ kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		76		$\mu\text{V}$
RR	Ripple Rejection <sup>(13)</sup>	$f = 120 \text{ Hz}$ , $V_I = 15 \text{ V to } 25 \text{ V}$	55	71		dB
$V_{DROP}$	Dropout Voltage	$I_O = 1 \text{ A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance <sup>(13)</sup>	$f = 1 \text{ kHz}$		18		m $\Omega$
$I_{SC}$	Short-Circuit Current	$V_I = 35 \text{ V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		230		mA
$I_{PK}$	Peak Current <sup>(13)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A

**Notes:**

12. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
13. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

## Design process for Classical V-Belts / Narrow V-Belts

### Design Flow

1

Set conditions required in design work.

a. Type of machine

b. Transmission power

It is ideal to use the actual load applied to the belt as the value of the transmission power, but the rated power of the motor is commonly used for calculation.

c. Running hours in a single day

d. Small pulley speed

e. Speed ratio

$$\text{Speed ratio} = \frac{\text{Large pulley pitch diameter}}{\text{Small pulley pitch diameter}}$$

f. Interim center distance

g. Special uses and environmental conditions

Contact us for the case of exposure to high or low temperature, water, oil, acid or alkali.

### Design Flow

2

Set the design power.

1. How to calculate the service factor (Ks)

$$K_s = K_o + K_i + K_e$$

Wherein, Ks : Service factor

Ko : Service correction factor >> (Table 2-1)

Ki : Idler correction factor >> (Table 2-2)

Ke : Environment correction factor >> (Table 2-3)

2. How to calculate the design power (Pd)

$$P_d = P_t \times K_s$$

Wherein, Pd : Design power (kW)

Pt : Transmission power (kW)

Ks : Service factor

The value of transmission power used in designing is the power requirement of the driven machine, if obtained, or the power of driving unit (engine or motor).

Convert the value from torque (Tq) or horse power (PS) into kW with the formula below.

$$P_t = \frac{T_q \times n}{9.55 \times 10^3}$$

Wherein, Pt : Transmission power (kW)

Tq : Torque (N·m)

n : Shaft speed (rpm)

$$1 \text{ PS} = 0.7355 \text{ kW}$$

## 1. Ko

Service correction factor (Ko)

Table 2-1

Driven Machine	Driving unit / Motor					
	Max power $\leq$ 300% of rated power			Max power > 300% of rated power		
	AC motors, single-and three-phase with star-delta start. DC shunt-wound motors, Multiple cylinder internal combustion engines.			AC motors, single and three-phase, series wound, slip-ring motors with direct start. DC motors, series and compound wound. Single cylinder internal combustion engines.		
	Running time (hrs./day)			Running time (hrs./day)		
	3 ~ 5	8 ~ 12	16 ~ 24	3 ~ 5	8 ~ 12	16 ~ 24
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Agitator for liquid</li> <li>● Small centrifugal blower</li> <li>● Fan up to 7.5 kW</li> <li>● Light-duty conveyor</li> </ul>	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Belt conveyor (for sand, grain, etc.)</li> <li>● Dough mixer ● Fan over 7.5 kW</li> <li>● Generator ● Machine tool</li> <li>● Punching machine ● Pressing machine</li> <li>● Shearing machine ● Printing machine</li> <li>● Positive displacement rotary pump</li> <li>● Vibrating and rotary screen</li> </ul>	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Brick-making machinery</li> <li>● Bucket elevator ● Piston compressor</li> <li>● Screw conveyor ● Hammer mill</li> <li>● Hollander ● Piston pump</li> <li>● Positive displacement blower</li> <li>● Crusher ● Woodworking machinery</li> <li>● Textile machinery</li> </ul>	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gyrotary and jaw-roll crusher</li> <li>● Mill (ball/rod) ● Hoist (heavy load)</li> <li>● Rolling mill, calender etc, for the rubber and plastic industry</li> </ul>	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

## 2. Ki

Idler correction factor (Ki)

Table 2-2

Location of Idler	Ki
Belt slack side, inside of belt	0.0
Belt slack side, outside of belt	0.1
Belt tight side, inside of belt	0.1
Belt tight side, outside of belt	0.2

## 3. Ke

Environment correction factor (Ke)

Table 2-3

Environmental condition	Ke
Frequent start and stop of machine	0.2
Hard to conduct maintenance checkup	0.2
Dusty environment	0.2
High temperature	0.2
Oil or water splashing	0.2

● Avoid oil and water splash by cover to prevent belt slipping.

## P2N2222A

### Amplifier Transistors

#### NPN Silicon

##### Features

- These are Pb-Free Devices\*

##### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	$V_{CE0}$	40	Vdc
Collector - Base Voltage	$V_{CBO}$	75	Vdc
Emitter - Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0	Vdc
Collector Current - Continuous	$I_C$	600	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	W mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

##### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$

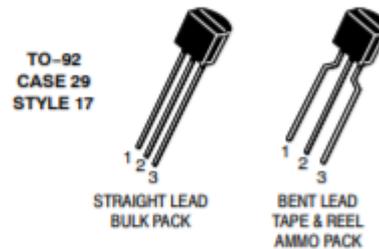
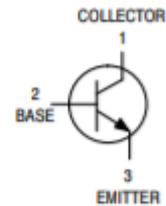
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

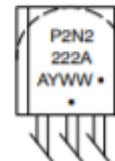


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



##### MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location  
Y = Year  
WW = Work Week  
• = Pb-Free Package  
(Note: Microdot may be in either location)

##### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P2N2222AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units/Bulk
P2N2222ARL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000/Tape & Ammo

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.

**P2N2222A**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector – Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $I_B = 0$ )	$V_{(BR)CEO}$	40	–	Vdc
Collector – Base Breakdown Voltage ( $I_C = 10\ \mu\text{Adc}$ , $I_E = 0$ )	$V_{(BR)CBO}$	75	–	Vdc
Emitter – Base Breakdown Voltage ( $I_E = 10\ \mu\text{Adc}$ , $I_C = 0$ )	$V_{(BR)EBO}$	6.0	–	Vdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{CEX}$	–	10	nAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 60\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $T_A = 150^\circ\text{C}$ )	$I_{CBO}$	–	0.01 10	$\mu\text{Adc}$
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 3.0\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ )	$I_{EBO}$	–	10	nAdc
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 10\text{ V}$ )	$I_{CEO}$	–	10	nAdc
Base Cutoff Current ( $V_{CE} = 60\text{ Vdc}$ , $V_{EB(off)} = 3.0\text{ Vdc}$ )	$I_{BEX}$	–	20	nAdc
<b>ON CHARACTERISTICS</b>				
DC Current Gain ( $I_C = 0.1\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $T_A = -55^\circ\text{C}$ ) ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) (Note 1) ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$ ) (Note 1) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ ) (Note 1)	$h_{FE}$	35 50 75 35 100 50 40	– – – – 300 – –	–
Collector – Emitter Saturation Voltage (Note 1) ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_B = 15\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $I_B = 50\text{ mAdc}$ )	$V_{CE(sat)}$	– –	0.3 1.0	Vdc
Base – Emitter Saturation Voltage (Note 1) ( $I_C = 150\text{ mAdc}$ , $I_B = 15\text{ mAdc}$ ) ( $I_C = 500\text{ mAdc}$ , $I_B = 50\text{ mAdc}$ )	$V_{BE(sat)}$	0.6 –	1.2 2.0	Vdc
<b>SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS</b>				
Current – Gain – Bandwidth Product (Note 2) ( $I_C = 20\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 100\text{ MHz}$ )C	$f_T$	300	–	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 10\text{ Vdc}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{obo}$	–	8.0	pF
Input Capacitance ( $V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$ , $I_C = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	$C_{ibo}$	–	25	pF
Input Impedance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{ie}$	2.0 0.25	8.0 1.25	k $\Omega$
Voltage Feedback Ratio ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{re}$	– –	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{fe}$	50 75	300 375	–
Output Admittance ( $I_C = 1.0\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ ) ( $I_C = 10\text{ mAdc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$h_{oe}$	5.0 25	35 200	$\mu\text{Mhos}$
Collector Base Time Constant ( $I_E = 20\text{ mAdc}$ , $V_{CB} = 20\text{ Vdc}$ , $f = 31.8\text{ MHz}$ )	$rb'C_C$	–	150	ps
Noise Figure ( $I_C = 100\ \mu\text{Adc}$ , $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$ , $R_S = 1.0\text{ k}\Omega$ , $f = 1.0\text{ kHz}$ )	$N_F$	–	4.0	dB

1. Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\ \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

2.  $f_T$  is defined as the frequency at which  $|h_{fe}|$  extrapolates to unity.

<http://onsemi.com>

2

Data Sheet, Rev. 1.1, December 2004

# BTS 7960

High Current PN Half Bridge

NovalithIC™

43 A, 7 mΩ + 9 mΩ

Automotive Power



Never stop thinking.



## High Current PN Half Bridge BTS 7960

### Maximum Ratings

### 3 Maximum Ratings

-40 °C <  $T_j$  < 150 °C (unless otherwise specified)

Pos	Parameter	Symbol	Limits		Unit	Test Condition
			min	max		
<b>Electrical Maximum Ratings</b>						
3.0.1	Supply voltage	$V_{VS}$	-0.3	45	V	
3.0.2	Logic Input Voltage	$V_{IN}$ $V_{INH}$	-0.3	5.3	V	
3.0.3	HS/LS continuous drain current	$I_{D(HS)}$ $I_{D(LS)}$	-40	40 <sup>1)</sup>	A	$T_C < 85^\circ\text{C}$ switch active
3.0.4	HS pulsed drain current	$I_{D(HS)}$	-60	60 <sup>1)</sup>	A	$T_C < 85^\circ\text{C}$ $t_{\text{pulse}} = 10\text{ms}$
3.0.5	LS pulsed drain current	$I_{D(LS)}$	-60	60 <sup>1)</sup>	A	
3.0.6	Voltage at SR pin	$V_{SR}$	-0.3	1.0	V	
3.0.7	Voltage between VS and IS pin	$V_{VS} - V_{IS}$	-0.3	45	V	
3.0.8	Voltage at IS pin	$V_{IS}$	-20	45	V	
<b>Thermal Maximum Ratings</b>						
3.0.9	Junction temperature	$T_j$	-40	150	°C	
3.0.10	Storage temperature	$T_{\text{stg}}$	-55	150	°C	
<b>ESD Susceptibility</b>						
3.0.11	ESD susceptibility HBM	$V_{\text{ESD}}$			kV	according to EIA/ JESD 22-A 114B
	IN, INH, SR, IS OUT, GND, VS		-2 -6	2 6		

<sup>1)</sup> Maximum reachable current may be smaller depending on current limitation level

*Note: Maximum ratings are absolute ratings; exceeding any one of these values may cause irreversible damage to the device. Exposure to maximum rating conditions for extended periods of time may affect device reliability*



# 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)



### Description

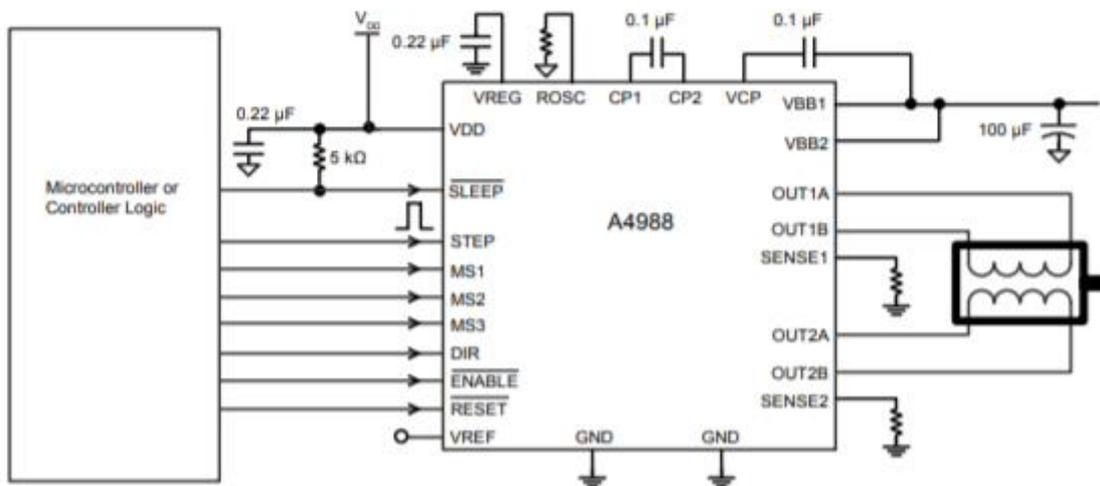
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and  $\pm 2$  A. The A4988 includes a fixed off-time 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



4988-DS, Rev. 5

## 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	$V_{BB}$		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 S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$		-55 to 150	°C



Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.0000; www.allegromicro.com

2

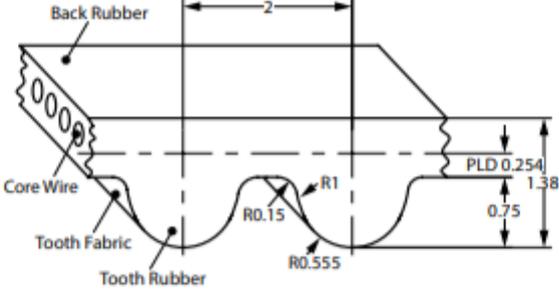
**2GT-6**

*CAD Drawings Available On Request*

## TIMING PULLEYS & BELTS

### Synchronous Timing Belts

2GT, 2mm Pitch, 6mm Belt Width

Part Number	Belt Length	No. of Teeth	Mass g
<a href="#">154-2GT-6</a>	154	77	1.2
<a href="#">176-2GT-6</a>	176	88	1.4
<a href="#">182-2GT-6</a>	182	91	1.4
<a href="#">188-2GT-6</a>	188	94	1.5
<a href="#">210-2GT-6</a>	210	105	1.6
<a href="#">258-2GT-6</a>	258	129	2.0
<a href="#">282-2GT-6</a>	282	141	2.2
<a href="#">290-2GT-6</a>	290	145	2.3
<a href="#">302-2GT-6</a>	302	151	2.4
<a href="#">320-2GT-6</a>	320	160	2.5
<a href="#">322-2GT-6</a>	322	161	2.5
<a href="#">332-2GT-6</a>	332	166	2.6
<a href="#">340-2GT-6</a>	340	170	2.7
<a href="#">346-2GT-6</a>	346	173	2.7
<a href="#">358-2GT-6</a>	358	179	2.8
<a href="#">360-2GT-6</a>	360	180	2.8
<a href="#">370-2GT-6</a>	370	185	2.9
<a href="#">386-2GT-6</a>	386	193	3.0
<a href="#">420-2GT-6</a>	420	210	3.3
<a href="#">426-2GT-6</a>	426	213	3.3
<a href="#">430-2GT-6</a>	430	215	3.4
<a href="#">444-2GT-6</a>	444	222	3.5
<a href="#">448-2GT-6</a>	448	224	3.5
<a href="#">460-2GT-6</a>	460	230	3.6
<a href="#">478-2GT-6</a>	478	239	3.7
<a href="#">484-2GT-6</a>	484	242	3.8
<a href="#">486-2GT-6</a>	486	243	3.8
<a href="#">506-2GT-6</a>	506	253	3.9
<a href="#">544-2GT-6</a>	544	272	4.2
<a href="#">600-2GT-6</a>	600	300	4.7
<a href="#">616-2GT-6</a>	616	308	4.8
<a href="#">630-2GT-6</a>	630	315	4.9

**Material**

**Back rubber:** Chloroprene rubber.

**Tooth rubber:** Chloroprene rubber.

**Tooth fabric:** Nylon canvas (low particle generation).

**Cable wire:** Fibreglass.

**Belt Selection**

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D_p + d_p)}{2} + \frac{(D_p - d_p)^2}{4}$$

$$b = 2L_p - \pi(D_p + d_p)$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(D_p - d_p)^2}}{8}$$

**Key**

**L<sub>p</sub>**: Belt length. **C**: Centre distance.

**D<sub>p</sub>**: Large pulley pitch diameter. **d<sub>p</sub>**: Small pulley pitch diameter.

+44 (0)1246 455500  
+44 (0)1246 455522



sales@ondrives.com  
www.ondrives.com

Product information updated April 2017 and subject to change. Please click the product links for prices and availability.

### ANEXO G: ENCUESTA

Preguntas	Escala de importancia				
	Nunca	Alguna vez	Frecuentemente	Casi siempre	Siempre
Agradeceremos marcar con una (X) las alternativas que usted crea conveniente, al responder las preguntas que se indican.					
Variable 1 : Sistema deslizador giratorio con control Bluetooth					
1. ¿Considera usted que el diseño de la estructura es importante para un equipo?					
2. Cuando adquiere un equipo ¿pregunta por el material del que está hecho la estructura ?					
3. ¿Compraría un equipo que tenga una estructura de buen material sin importar el costo?					
4. ¿Considera usted que toda estructura debe tener un factor de seguridad?					
5. ¿Considera usted que el diseño electrónico es importante en un equipo?					
6. ¿Cuándo adquiere un equipo, pregunta por los componentes electrónicos?					
7. ¿Compraría un equipo que tenga componentes electrónicos a un costo adecuado?					
8. Cuando adquiere un equipo electrónico ¿Considera importante conocer el consumo de potencia?					

9. ¿Considera usted que el diseño de control es importante para un equipo?					
10. ¿Cuándo adquiere un equipo, pregunta por el software del control o tipo de comunicación de mando?					
11. ¿Compraría un equipo que tenga un control de programación?					
<b>Variable 2 : Captura audiovisual de barrido</b>					
12. ¿Considera usted que la cantidad de personal actual es la adecuada para brindar sus servicios?					
13. ¿Alguna vez tuvo mucha demanda y no pudo cumplir con la entrega de los productos solicitados?					
14. ¿Considera que sus servicios son innovadores en el mercado?					
15. ¿Considera que el tiempo productivo es el adecuado?					
16. ¿Considera usted que la velocidad de movimiento es constante en el servicio que actualmente se está brindando?					
17. ¿Considera usted que las cargas de giro son adecuadas en el servicio que actualmente está brindando?					
18. ¿Considera usted que la cantidad de movimientos son suficientes en el servicio que se está brindando?					