



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MEDICIÓN DE POSICIÓN DEL PÉNDULO DE PRUEBAS DE
IMPACTO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

PEDRO DANIEL ALLAUCA VARGAS

RENÉ IVÁN GUALLI MINTA

Riobamba - Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MEDICIÓN DE POSICIÓN DEL PÉNDULO DE PRUEBAS DE
IMPACTO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: PEDRO DANIEL ALLAUCA VARGAS

RENÉ IVÁN GUALLI MINTA

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ

Riobamba - Ecuador

2021

© 2021, Pedro Daniel Allauca Vargas; & René Iván Gualli Minta

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, PEDRO DANIEL ALLAUCA VARGAS y RENÉ IVÁN GUALLI MINTA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de agosto del 2021.



Pedro Daniel Allauca Vargas

C.C.060405773-7



René Iván Gualli Minta

C.C 060583316-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE POSICIÓN DEL PÉNDULO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP DE LA FACULTAD DE MECANICA**, realizado por los señores: **PEDRO DANIEL ALLAUCA VARGAS Y RENÉ IVÁN GUALLI MINTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-08-04
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-08-04
Ing. José Luis Pérez Rojas MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-08-04

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, por haberme permitido conocer este maravilloso mundo y darme la oportunidad de disfrutarlo junto a una familia ejemplar, que me ha brindado felicidad, amor y valores.

A mis padres, Manuel y María, por siempre brindarme su apoyo, por darme la mejor herencia que es la educación, acompañado de principios y valores, y por el esfuerzo que emplean a diario en sus trabajos pensando siempre en el sustento de toda la familia.

A mis hermanos, por los consejos, la unión y las alegrías, en los buenos y los malos momentos, por el apoyo que me han mostrado para nunca rendirme y recordarme que el mejor camino para el éxito es la perseverancia.

De igual manera a mis amigos, compañeros y docentes, quienes formaron parte de mi vida estudiantil, me alentaron a seguir y me mostraron su apoyo.

Pedro

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, mi esposa y a toda mi familia que me ha apoyado en toda situación, además por darme el apoyo y la oportunidad de estudiar una carrera de ingeniería que lo he disfrutarlo en todo el trayecto de aprendizaje.

A mis padres, Pedro y Elena, por haberme siempre brindarme su apoyo tanto personal como económica y por darme la mejor herencia que es la educación y los valores humanos, con principios y por todo el esfuerzo que han dedicado a diario en sus trabajos, pensando siempre en el bienestar de toda nuestra familia.

A mi esposa Nelly, que con su apoyo, amor, cariño y respeto me ha permitido vencer toda dificultad, también a mi hijo Camilo que ha sido mi gran bendición que la vida me ha regalado.

A mis hermanos, por sus consejos y el apoyo que me brindaron en los buenos y los malos momentos, que atravesó mi familia, dándome ejemplo de disciplina y perseverancia para alcanzar el éxito y el conocimiento.

De igual manera a mis amigos, compañeros y docentes, quienes formaron parte de mi vida como estudiante, enseñándome a comprender que cada fracaso de la vida solo es una lección más de vida.

René

AGRADECIMIENTO

Al ser supremo, mi Dios, por el amor infinito que nos muestra a diario brindándonos la luz de cada día, por darme la vida, y más que todo por darme lo más apreciado que es la sabiduría.

A mis padres y hermanos por brindarme su apoyo incondicional, por sus consejos de vida, por sus enseñanzas en valores y ética, por enseñarme a no tener miedo al fracaso y siempre enfrentar a la vida para alcanzar lo que uno se plantea.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y a sus docentes quienes me dieron la oportunidad de estudiar, compartiéndome sus conocimientos junto a sus experiencias a lo largo de mi vida estudiantil formando como profesional.

Pedro

A mi DIOS padre celestial, por su fidelidad y respaldo en toda situación, además por el conocimiento y la sabiduría que me ha brindado a lo largo de mi vida personal, permitiéndome culminar con éxito mi carrera estudiantil.

A mis padres y hermanos, quienes me apoyaron y fueron parte de mi vida durante todos mis años de estudiante, que, con sus consejos y ejemplos, me enseñaron a perseverar y alcanzar cualquier meta trazada.

A mi esposa y mi hijo, quienes han sido las personas por las cuales me he llenado de valor y fuerzas cada mañana.

René

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Delimitación.....	4
1.2.1 <i>Delimitación espacial.</i>	4
1.2.2 <i>Delimitación temporal.</i>	4
1.2.3 <i>Delimitación sectorial.</i>	4
1.3 Formulación del problema.	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos.</i>	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	6
2.1 Péndulo para ensayos de impacto.....	6
2.2 Movimiento armónico simple.....	8
2.2.1 <i>Posición angular del péndulo.</i>	9
2.3 Energías en el péndulo producidas durante el ensayo de impacto.	9
2.3.1 <i>Energía Potencial.</i>	10
2.3.2 <i>Energía Cinética.</i>	10
2.3.3 <i>Principio de conservación de la energía.</i>	11
2.4 Sistema de Adquisición de Datos.	13
2.4.1 <i>Tipos de comunicación de un sistema de Adquisición de Datos.</i>	13
2.4.1.1 <i>Sistema de adquisición de datos Wireless.</i>	13

2.4.1.2	<i>Sistema de comunicación en Serie.</i>	13
2.4.1.3	<i>Sistema de adquisición de datos Ethernet.</i>	14
2.4.1.4	<i>Sistema de adquisición de datos por Plug-in Boards (Integrados).</i>	14
2.4.2	Estructura de un sistema de adquisición de datos.	14
2.5	Sensor.	14
2.5.1	Características dinámicas.	15
2.5.2	Características estáticas.	16
2.5.2.1	<i>Parámetros ligados a la curva de calibración.</i>	16
2.5.2.2	<i>Parámetros asociados con los errores de medida.</i>	18
2.5.3	Sensores comúnmente usados para la medición de posición angular.	18
2.5.3.1	<i>Potenciómetro.</i>	19
2.5.3.2	<i>Acelerómetro MPU 6050.</i>	20
2.5.3.3	<i>Encoder de cuadratura.</i>	22
2.6	Tarjetas de adquisición de datos.	24
2.6.1	Tipos de tarjetas de adquisición de datos.	25
2.6.1.1	<i>Dispositivo DAQ.</i>	25
2.6.1.2	<i>Tarjeta USB 6009.</i>	25
2.6.1.3	<i>Tarjeta Arduino ATMEGA 328.</i>	25
2.6.1.4	<i>Raspberry Pi3 B+.</i>	26
2.6.1.5	<i>Módulo ESP WROOM 32S.</i>	28
2.7	PC y software para la adquisición de datos.	30
2.7.1	LabVIEW.	31
2.7.1.1	<i>Partes del entorno de programación de LabVIEW.</i>	31
2.7.1.2	<i>Comunicación TCP/IP en LabVIEW.</i>	32
2.8	Sistema de cableado estructurado.	33
2.8.1	Medio de transmisión.	33
2.8.1.1	<i>Tipos de cables usados en la transmisión de señales.</i>	33
2.9	Método de análisis por elementos finitos (FEM).	34
2.9.1	Consideraciones (FEM).	34
2.9.2	Simulación por el Método de Elementos Finitos.	35
2.9.2.1	<i>Aplicaciones de Simulaciones mediante elementos finitos.</i>	35

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.	36
3.1	Tipo o enfoque.	36
3.2	Diseño.	36

3.3	Alcance.....	37
3.4	Estudio de las especificaciones del sistema.....	37
3.5	Análisis funcional, modular.....	38
3.6	Matriz morfológica de las alternativas de solución por módulos.	40
3.6.1	<i>Soluciones derivadas de la matriz morfológica.</i>	41
3.6.1.1	<i>Solución 1.</i>	41
3.6.1.2	<i>Solución 2.</i>	41
3.6.1.3	<i>Solución 3.</i>	42
3.6.1.4	<i>Solución 4.</i>	43
3.7	Evaluación de soluciones mediante el método ordinario de ponderación.....	44
3.8	Descripción del proceso de implementación.	47
3.9	Diagrama de proceso para la implementación del sistema de medición.	48
3.10	Esquema de montaje.....	50
3.11	Materiales utilizados.....	50
3.12	Máquinas y equipos para la construcción de componentes del sistema de medición.	54
3.13	Herramientas utilizadas durante el proceso de implementación.....	55
3.14	Sistema mecánico de transmisión de movimiento angular.....	56
3.14.1	<i>Diseño del engrane de mayor diámetro según la relación de transmisión.</i>	57
3.14.1.1	<i>Material seleccionado para la construcción.....</i>	59
3.14.1.2	<i>Procedimiento de construcción.....</i>	59
3.14.2	<i>Selección de la correa de transmisión.</i>	60
3.14.2.1	<i>Longitud de la correa.....</i>	61
3.14.2.2	<i>Longitud libre de la correa dentada (Tensada).....</i>	62
3.14.3	<i>Base Soporte para el acoplamiento del sensor de posición.</i>	63
3.14.3.1	<i>Material seleccionado para la construcción.....</i>	63
3.14.3.2	<i>Procedimiento de construcción.....</i>	63
3.14.4	<i>Camisa de acople (eje péndulo – engrane de diámetro mayor).....</i>	64
3.14.4.1	<i>Material seleccionado para la construcción.....</i>	64
3.14.4.2	<i>Procedimiento de construcción.....</i>	65
3.15	Sistema Eléctrico.....	65
3.15.1	<i>Planos eléctricos y electrónicos.</i>	65
3.15.1.1	<i>Planos de conexión del conjunto Electrónico y Eléctrico.</i>	66
3.15.2	<i>Placa impresa para el circuito electrónico.</i>	66
3.15.2.1	<i>Proceso de fabricación de la placa impresa para el circuito electrónico.</i>	66
3.15.3	<i>Tablero eléctrico.....</i>	67
3.16	Programación para la adquisición de datos.....	68

3.16.1	<i>Principio de la señal en cuadratura del encoder.</i>	68
3.16.2	<i>Diagrama de flujo para el proceso de la adquisición de datos.</i>	70
3.16.3	<i>Adquisición de pulsos del sensor por medio de la placa ESP-32S.</i>	71
3.16.3.1	<i>Líneas de código en el IDE de arduino.</i>	71
3.16.4	<i>Recepción y envío de datos mediante la Raspberry Pi3 B+.</i>	72
3.16.4.1	<i>Configuración de la Raspberry Pi3 B+.</i>	72
3.16.4.2	<i>Comunicación entre la Raspberry Pi3 B+ y Labview 2020.</i>	73
3.16.4.3	<i>Líneas de códigos de programación en Phyton.</i>	73
3.16.5	<i>Programación en el Entorno Gráfico de Labview.</i>	76
3.16.5.1	<i>Panel Frontal.</i>	77
3.16.5.2	<i>Diagrama de bloques.</i>	77
3.17	Validación del sistema de adquisición de datos a través del software MEF (Método de Elementos Finitos) ANSYS Workbench.	77
3.17.1	<i>Diagrama de flujo del proceso de simulado.</i>	77
3.17.2	<i>Modelo geométrico para ensayos preliminares.</i>	78
3.17.3	<i>Características geométricas del impactador.</i>	78
3.17.4	<i>Perfil estructural empleada para la modelación.</i>	79
3.17.5	<i>Configuración geométrica en el modelado.</i>	79
3.17.6	<i>Características del material.</i>	80
3.17.7	<i>Nivel de referencia para el análisis de simulación.</i>	80
3.17.8	<i>Contactos y restricciones de componentes.</i>	81
3.17.9	<i>Asignación de la aceleración de la gravedad.</i>	82

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.	84
4.1	Resultados experimentales obtenidos en campo.	84
4.1.1	<i>Posición angular experimental.</i>	85
4.1.2	<i>Velocidad experimental.</i>	86
4.1.3	<i>Variación de la Energía Potencial experimental.</i>	87
4.1.4	<i>Variación de la Energía Cinética experimental.</i>	88
4.2	Resultados obtenidos mediante simulación numérica Ansys.	89
4.2.1	<i>Velocidad simulada.</i>	89
4.2.2	<i>Variación de la Energía Potencial simulada.</i>	90
4.2.3	<i>Variación de la Energía Cinética simulada.</i>	91
4.3	Análisis de resultados.	92
4.3.1	<i>Posición angular, contraste experimental y simulado.</i>	92

4.3.2	<i>Velocidad, contraste experimental y simulado.</i>	94
4.3.3	<i>Variaciones de energía Potencial y Cinética, contraste experimental y simulada.</i>	95
4.4	Porcentaje de error experimental y simulado.	97
4.5	Verificación de hipótesis.	98
CONCLUSIONES		101
RECOMENDACIONES		102
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características Mecánicas de los ensayos.....	7
Tabla 2-2:	Ventajas y desventajas de un potenciómetro con respecto a la medición angular	19
Tabla 3-2:	Ventajas y desventajas de un acelerómetro con respecto a la medición de posición.	21
Tabla 4-2:	Ventajas y desventajas del sensor de posición con respecto a la medición angular..	24
Tabla 5-2:	Funciones de los pines GPIO.....	27
Tabla 6-2:	Ventajas y desventajas de la <i>Raspberry Pi3 B+</i> para la medición de posición angular.....	28
Tabla 7-2:	Especificaciones técnicas, ESP WROOM 32S.....	29
Tabla 8-2:	Pines de conexión de la placa de desarrollo.....	30
Tabla 9-2:	Partes del entorno de programación LabVIEW.....	31
Tabla 10-2:	Tipos de cables usados para la transmisión de señal.....	34
Tabla 1-3:	Lista de exigencias del sistema de medición.	37
Tabla 2-3:	Ventajas y desventajas de la solución 1.....	41
Tabla 3-3:	Ventajas y desventajas de la solución 2.....	42
Tabla 4-3:	Ventajas y desventajas de la solución 3.....	42
Tabla 5-3:	Ventajas y desventajas de la solución 4.....	43
Tabla 6-3:	Grado de importancia de los criterios de evaluación.	44
Tabla 7-3:	Peso específico de los criterios de evaluación.	45
Tabla 8-3:	Grado de importancia de las soluciones con respecto a los criterios.....	45
Tabla 9-3:	Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Costo de los componentes”	45
Tabla 10-3:	Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Rapidez de procesamiento”	46
Tabla 11-3:	Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Disponibilidad de componentes”	46
Tabla 12-3:	Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Complejidad”.....	46
Tabla 13-3:	Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Robustez”	46
Tabla 14-3:	Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Nivel de automatización”. ..	47
Tabla 15-3:	Resultados de las posibles soluciones.....	47
Tabla 16-3:	Símbolos de diagramas de procesos según la norma ASME	48
Tabla 17-3:	Diagrama de procesos para la elaboración del sistema de medición.....	49
Tabla 18-3:	Materiales utilizados en el sistema de medición y adquisición de datos.	50
Tabla 19-3:	Máquinas y Equipos.....	55
Tabla 20-3:	Herramientas utilizadas.	55

Tabla 21-3:	Catálogo de engranes PowerGrip GT2-2mm.....	59
Tabla 22-3:	Propiedades del material PLA.	59
Tabla 23-3:	Propiedades de la correa dentada GT2-2mm.	61
Tabla 24-3:	Composición química del acero inoxidable 304.	63
Tabla 25-3:	Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.	63
Tabla 26-3:	Propiedades mecánicas del acero 1018.....	64
Tabla 27-3:	Pines principales a ser utilizados.	66
Tabla 28-3:	Elementos utilizados en la modelación y análisis.	79
Tabla 29-3:	Propiedades mecánicas del Acero ASTM - A36.....	80
Tabla 1-4:	Resultados experimentales según el controlador de LabVIEW.	84
Tabla 2-4:	Porcentaje de error de la velocidad máxima del impactador.....	97
Tabla 3-4:	Porcentaje de error de la energía potencial del impactador.....	97
Tabla 4-4:	Porcentaje de error de la energía cinética del impactador.....	98
Tabla 5-4:	Contrastes de hipótesis a 5°.....	99
Tabla 6-4:	Contrastes de hipótesis a 10°.....	100
Tabla 7-4:	Contrastes de hipótesis a 15°.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Movimientos del péndulo.	6
Figura 2-2:	Péndulo de impacto a bajas velocidades en Zaragoza.	7
Figura 3-2:	Pruebas de seguridad en cabina según UNECE R29.	7
Figura 4-2:	Goniómetro con escala nonio.	9
Figura 5-2:	Conservación de la energía en el péndulo.	11
Figura 6-2:	Estructura de un sistema de adquisición de datos.	14
Figura 7-2:	Características dinámicas de los instrumentos de medición.	15
Figura 8-2:	Curva de calibración.	16
Figura 9-2:	Curva linealizada.	16
Figura 10-2:	Zona muerta al inicio de la carga.	17
Figura 11-2:	Histéresis presente en el sensor.	17
Figura 12-2:	Histéresis en un sensor todo o nada, señal digital.	18
Figura 13-2:	Potenciómetro, resistencia variable.	19
Figura 14-2:	Acelerómetro MPU 6050.	21
Figura 15-2:	Representación de señales incrementales en disco óptico.	22
Figura 16-2:	Codificación Incremental.	23
Figura 17-2:	Resolución y exactitud del encoder.	23
Figura 18-2:	Componentes - <i>Raspberry Pi3 B+</i>	26
Figura 19-2:	Pines GPIO - <i>Raspberry Pi3 B+</i>	27
Figura 20-2:	Módulo ESP WROOM 32S.	29
Figura 21-2:	Pines GPIO - ESP WROOM 32S.	30
Figura 22-2:	Servidor remoto con TCP, <i>Open Connection</i> (Labview).	33
Figura 1-3:	Análisis Modular Nivel Cero.	39
Figura 2-3:	Análisis Modular Nivel Uno.	39
Figura 3-3:	Matriz Morfológica de las alternativas de solución por módulo.	40
Figura 4-3:	Esquema general del sistema.	50
Figura 5-3:	Diseño del Sistema de transmisión mediante correa dentada.	57
Figura 6-3:	Engrane GT2-2mm.	57
Figura 7-3:	Partes de engrane de transmisión con correa dentada.	58
Figura 8-3:	Procedimiento para la construcción del engrane de mayor diámetro.	60
Figura 9-3:	Dimensiones de la correa dentada GT2-2mm.	60
Figura 10-3:	Esquema de su sistema de transmisión por correa.	61
Figura 11-3:	Esquema deformación de la correa.	62
Figura 12-3:	Procedimiento para la construcción de la base- soporte del encoder.	64

Figura 13-3:	Procedimiento para la construcción de la camisa de acople.	65
Figura 14-3:	Procedimiento para la elaboración de la placa impresa.	67
Figura 15-3:	Tablero eléctrico de control del sistema de medición.	68
Figura 16-3:	Desfase de 90° entre la señal A y B.	68
Figura 17-3:	Simulación del principio de cuadratura.	69
Figura 19-3:	Sentido de giro del encoder (datasheet).	70
Figura 20-3:	Sentido de giro según las señales emitidas on/off.	70
Figura 21-3:	Raspberry Pi Imager Version 1.5	72
Figura 22-3:	Raspberry Pi Imager Version 1.5	73
Figura 23-3:	Impactador de placa rectangular.	78
Figura 24-3:	Dimensión parcial del impactado, unidades (m).	79
Figura 25-3:	Compilación del impactador.	80
Figura 26-3:	Nivel de referencia codificado.	81
Figura 27-3:	Fijación de la parte posterior.	81
Figura 28-3:	Revolute de contacto.	82
Figura 29-3:	a) Superficie principal de impacto y b) Objetivos principales de impacto.	82
Figura 30-3:	Dirección de la gravedad de la tierra.	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Comportamiento de la posición angular del impactador desde su liberación hasta su estabilización.	85
Gráfico 2-4:	Velocidades máximas a 0° luego de ser liberado antes del impacto.	86
Gráfico 3-4:	Variaciones de la energía potencial antes del impacto.	87
Gráfico 4-4:	Variaciones de la energía cinética antes del impacto.	88
Gráfico 5-4:	Velocidades máximas a 0° luego de ser simulado desde distintas posiciones.	90
Gráfico 6-4:	Variaciones de la energía potencial a distintas posiciones.	91
Gráfico 7-4:	Variaciones de la energía cinética a distintas posiciones.	92
Gráfico 8-4:	Posición angular liberada desde 5°. Curva experimental t=0,70 s vs Curva simulada t=0,67 s.	92
Gráfico 9-4:	Posición angular liberada desde 10°. Curva experimental t=0,85 s vs Curva simulada t=0,78 s.	93
Gráfico 10-4:	Posición angular liberada desde 15°. Curva experimental t=0,92 s vs Curva simulada t=0,83 s.	93
Gráfico 11-4:	Curvas experimentales y simuladas a diferentes posiciones angulares 5°, 10° y 15°.	93
Gráfico 12-4:	Velocidad alcanzada desde 5°. Curva experimental 1,78 km/h, t=0,7s vs Curva simulada 1,853 km/h, t=0,67s.	94
Gráfico 13-4:	Velocidad alcanzada desde 10°. Curva experimental 3,59 km/h, t=0,85s vs Curva simulada 3,72 km/h, t=0,78s.	94
Gráfico 14-4:	Velocidad alcanzada desde 15°. Curva experimental 5,03 km/h, t=0,92s vs Curva simulada 5,22 km/h, t=0,83s.	94
Gráfico 15-4:	Curvas experimentales y simuladas desde diferentes posiciones angulares 5°, 10° y 15°.	95
Gráfico 16-4:	Variación de energía alcanzada desde 5°. (Energía potencial experimental 50,81 J vs Energía potencial simulada 54,66 J) vs (Energía cinética experimental 46,53 J vs Energía cinética simulada 50,35 J).	95
Gráfico 17-4:	Variación de energía alcanzada desde 10°. (Energía potencial experimental 205,9 J vs Energía potencial simulada 218,74 J) vs (Energía cinética experimental 188,23 J vs Energía cinética simulada 202,95 J).	96
Gráfico 18-4:	Variación de energía alcanzada desde 15°. (Energía potencial experimental 405,21 J vs Energía potencial simulada 426,77 J) vs (Energía cinética experimental 370,25 J vs Energía cinética simulada 400,34 J).	96

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Manual para la correcta ejecución de la adquisición de datos.
- ANEXO B:** Placa impresa para el circuito electrónico.
- ANEXO C:** Datasheet del sensor de posición encoder OMRON E6B2 - CWZ3E.
- ANEXO D:** Péndulo para ensayos de impacto a escala.
- ANEXO E:** Pruebas del sistema en el péndulo a escala.
- ANEXO F:** Implementación del sistema de medición de posición del péndulo.
- ANEXO G:** Ensayos de impacto con el sistema de medición implementado.
- ANEXO H:** Diagrama de flujo para el proceso de la adquisición de datos.
- ANEXO I:** Programación en el entorno gráfico de LabView.
- ANEXO J:** Diagrama de flujo del proceso de simulado.
- ANEXO K:** Planos mecánicos y eléctricos de la conexión ver PDF.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue diseñar e implementar un sistema de medición de posición del péndulo de pruebas de impacto del Grupo de Investigación de Diseño y Producción de la Facultad de Mecánica, a través de un sistema de adquisición de datos para obtener mediciones de posición en tiempo real y las variaciones de energías (potencial y cinética) antes del impacto. Para el diseño del sistema se partió de una lista de exigencias emitidas por parte del usuario y se elaboró diagramas funcionales obteniendo todas las posibles alternativas de elementos y configuraciones de cada uno de los módulos combinados mediante la matriz morfológica, que luego del proceso de evaluación aplicando el método de ponderación se determinó la mejor alternativa de solución compuesta por un sistema de correa dentada, sensor de posición (encoder), el módulo ESP WROOM 32S, la tarjeta Raspberry Pi3 B+ y software LabVIEW. Para la validación del sistema de medición se comparó los datos experimentales con valores teóricos obtenidos con simulación numérica de elementos finitos ANSYS, a distintas posiciones angulares (5° , 10° y 15°). A una posición angular $\Theta = 15^\circ$ antes de ser liberado, el impactador de placa rectangular tiene una energía potencial de 405,21 J, cuando $\Theta = 0^\circ$ la energía cinética es de 370,25 J y la velocidad máxima antes del impacto es de 5,03 Km/h cuyos errores son 5,32 %, 8,12 % y 3,87 % respectivamente, comparado con la simulación numérica. Se concluye que los resultados obtenidos presentan un error dentro del rango permisible del 10%. Se recomienda implementar un sistema automático sincronizado con el sistema de medición para la elevación y liberación del impactador.

Palabras claves: <SISTEMA DE MEDICIÓN> <PÉNDULO DE IMPACTO> <POSICIÓN ANGULAR> <MATRIZ MORFOLÓGICA> <LABVIEW (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

1725-DBRA-UPT-2021

2021-09-06

SUMMARY

The objective of this work was to design and implement a pendulum position measurement system for impact tests of the Design and Production Research Group of the Faculty of Mechanics, through a data acquisition system to obtain position measurements in real time and energy variations (potential and kinetic) before impact. For the design of the system, a list of requirements issued by the user was started and functional diagrams were drawn up obtaining all the possible alternatives of elements and configurations of each of the modules combined by means of the morphological matrix which after the evaluation process applying the weighting method was used to determine the best alternative solution composed of a toothed belt system, position sensor (encoder), the ESP WROOM 32S module, the Raspberry Pi3 B + card and LabVIEW software. For the validation of the measurement system, the experimental data was compared with theoretical values obtained with numerical simulation of finite elements ANSYS, at different angular positions (5° , 10° and 15°). At an angular position $\Theta = 15^\circ$ before being released, the rectangular plate impactor has a potential energy of 405.21 J, when $\Theta = 0^\circ$ the kinetic energy is 370.25 J and the maximum velocity before impact is 5,03 Km / h whose errors are 5.32%, 8.12% and 3.87% respectively, compared with the numerical simulation. It is concluded that the results obtained present an error within the permissible range of 10%. It is recommended to implement an automatic system synchronized with the measurement system for lifting and releasing the impactor.

Keywords: <MEASUREMENT SYSTEM> <IMPACT PENDULUM> <ANGULAR POSITION> <MORPHOLOGICAL MATRIX> <LABVIEW (SOFTWARE)>.

LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA

Firmado
digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA
Fecha: 2021.11.25
15:20:23 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Los ensayos de impacto son tests de corta duración que nos brindan información sobre el comportamiento de fallo de materiales o componentes sometidos a cargas breves y a temperaturas variables. Los sistemas utilizados para ese tipo de ensayos son péndulos de impacto o máquinas de ensayos de caída libre, en donde, el impacto está dado por una acción en un intervalo corto de tiempo que puede ser abrupto, generándose una energía que se libera y se distorsiona en la colisión entre dos cuerpos. Las fuerzas ejercidas por la colisión en un tiempo muy corto producen energías producto de las velocidades y masas inerciales del cuerpo provocando deformaciones que depende de la capacidad de absorción de energía del material impactado, siendo necesario el análisis tanto teórico como experimental de dicho fenómeno. (Avellaneda, 2007)

A nivel global se han publicado trabajos de investigación para el análisis de impactos en carrocerías y componentes automotrices mediante impactadores de desplazamiento lineal que simulan un fenómeno de choque realista, sin embargo, necesitan mucho espacio o área de simulado, para lograr alcanzar velocidades y energías requeridas antes del impacto (Esmeraldas Carlos, 2016). De modo que, se ha visto en la necesidad de desarrollar otro método basado en la utilización de un impactador con desplazamiento angular, que simula el impacto con una energía que depende de la masa, altura, condiciones mecánicas y físicas del medio, que permiten obtener resultados próximos a un impactador de desplazamiento lineal. (Raich et al., 2002)

A nivel local en la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) el grupo de investigación GDP (Grupo de Diseño y Producción) de la Facultad de Mecánica dispone de un impactador con desplazamiento angular o péndulo de impacto con placa rectangular, el cual es destinado para investigaciones técnicas que conlleven a resultados y diseños óptimos en componentes automotrices, carrocerías, etc. En la actualidad este péndulo con impactador de placa rectangular, por su magnitud dimensional de 2,8 m de ancho por 5 m de altura que permite obtener energías de impacto basadas en reglamentos y normas para este tipo de ensayos (Nations, 2012). La energía que se genera antes del impacto está en relación a un ángulo de posición inicial, generando una energía potencial que depende de su altura de elevación inicial del impactador (López, 2016), para luego ser liberado desde dicha altura, absorbiendo toda esa energía por el material a ensayar. La energía del péndulo de impacto antes mencionado debe ser cuantificada, sin embargo, cabe mencionar que este péndulo no presenta de un sistema de adquisición de datos, que permita conocer la posición del péndulo y con ello conocer cuáles son las variaciones de energía potencial y cinética.

Un sistema de adquisición de datos permite adquirir, visualizar y almacenar datos en tiempo real evitando errores, permitiendo al usuario poder interactuar con los valores deseados de una forma rápida, sencilla y sin mayor esfuerzo. (Castro, 2006). Un sistema de adquisición de datos está compuesto básicamente por un sensor, una placa para la adquisición y una Pc. Para la medición de posición existen codificadores incrementales de cuadratura como el encoder que mediante el número de pulsos se puede determinar la posición angular de un mecanismo en rotación.

En la actualidad se han desarrollado tarjetas exclusivas para la adquisición de datos con gran rapidez de procesamiento que nos ofrece la empresa *National Instruments* fundada en 1976, teniendo como desventaja estos equipos, su costo elevado. Sin embargo, en el mercado local existen módulos o placas que son utilizados en sistemas de adquisición de datos como: son el módulo *ESP 32S*, el arduino, *la Raspberry*, entre otros. *La Raspberry Pi3 B+* es un mini ordenador, con velocidades de procesamiento que permiten almacenar la información en tiempo real. Este tipo de tarjetas está compuesto de un circuito electrónico con un procesador Cortex - A53 de 1,4 GHz a 64 bits de 1 GB de Ram, con una frecuencia de reloj de 1500 MHz que permite la adquisición de datos con velocidades de procesamiento moderadas para la adquisición en tiempo real, utilizando líneas de código desarrolladas en el entorno de programación de Python. (HETPRO, 2009). Para el control de procesos existen diversos softwares programables, siendo uno de los que sobresale *LabVIEW*, que es un software que nos permite adquirir, procesar, visualizar y almacenar datos, mediante un proceso de programación gráfica, con estructuras de condición y operadores gráficos. (NI.com, 2020).

Una de las alternativas para asegurar el correcto funcionamiento de un sistema o elemento dentro de un proceso de funcionalidad se enfoca en la simulación de dicho proceso, para lo cual se usa una herramienta computacional que emplea el método del análisis de elementos finitos FEA, software de aplicación *ANSYS Workbench R.19* (Peter de Moura, 2011). Para realizar el análisis por este método se debe establecer características principales para direccionar de forma correcta las variables y obtener resultados válidos, por ejemplo, al utilizar este método para la obtención de posición y energías del péndulo de impacto se debe especificar las condiciones de borde, niveles de referencia de centro a centro y restricciones de operación, para simular correctamente el fenómeno que transita en cada posición desde la liberación del péndulo hasta la estabilización del mismo, luego de la colisión. El proceso de validación mediante el análisis de elementos finitos es usado principalmente por la complejidad de la energía que se transforma en el fenómeno de la colisión. (Barceló et al., 2016)

CAPÍTULO I

1. **DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.**

Se presente la identificación del problema y la necesidad de implementar un sistema de medición de posición delimitando ciertos parámetros con la finalidad de identificar la mejor alternativa de solución planteado objetivos para llegar a la solución final.

1.1 **Antecedentes.**

Cada vez los diseños en componentes automotrices van en relación con su funcionalidad, peso y optimización topográfica, los cuales han permitido realizar diseños más ligeros y menos robustos que cumplen con cierta función, pero a un peso reducido. (Avilés Ramirez, 2017), permitiendo que el material se deforme y absorba gran parte de esa energía de impacto, evitando así que el usuario sea el principal protagonista del impacto. (Puente Cuasapud, 2015)

El Centro Zaragoza de ingeniería dedicada al diseño mecánico, lleva a cabo pruebas legislativas de impacto en una variedad de tipos y componentes automotrices de vehículos. Las pruebas de impacto del péndulo de forma de cabeza y parachoques, permiten a los clientes desarrollar mejor la seguridad y protección de los ocupantes. Para estas pruebas de impacto lo realizan según los estándares europeos y federales, incluidos los siguientes: UNECE R17, UNECE R29 (Regulación de impacto). (Zaragoza, 2021)

El análisis de pruebas de impacto en materiales automotrices, destinan a un estudio profesional técnico, que incide en el diseño preliminar de un material automotriz para absorber la energía de impacto. Los estudios de pruebas de impacto a nivel nacional en materiales automotrices no se lo realizan con equipos relacionados a este impactador de placa rectangular, pero en su mayoría se han analizado y desarrollado impactos de forma lineal, con vehículos o equipos de impacto frontal que simulan una colisión a una cierta velocidad. (Scheffer & Markus, 2016)

En la ESPOCH, el grupo de investigación GDP ha elaborado un péndulo de impacto para ensayos y pruebas en componentes automotrices y seguridad vial, pero este no dispone de un sistema de medición de posición angular que permita visualizar la posición y las variaciones de energía antes del impacto, lo cual limita validar los ensayos en campo, siendo necesario la implementación de un sistema de adquisición de datos con el fin de determinar las diferentes posiciones, velocidades y las variaciones de energías que serán utilizada en estudios posteriores.

1.2 **Delimitación.**

1.2.1 *Delimitación espacial.*

El presente proyecto se desarrolla e implementa en el péndulo de impacto perteneciente al grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica en la ESPOCH.

1.2.2 *Delimitación temporal.*

La duración del diseño, desarrollo, implementación y evaluación del proyecto será durante un Periodo Académico Ordinario (PAO) de 6 meses.

1.2.3 *Delimitación sectorial.*

El presente trabajo de investigación plantea el diseño y la implementación de un sistema de medición de posición del péndulo de impacto perteneciente al grupo de investigación GDP bajo sus condiciones iniciales (dimensiones, pesos, interacciones geométricas, etc.) que luego de ser analizada nos dé a conocer las posiciones, velocidades y la variación de energía potencial y cinética antes del impacto.

El sistema de medición está constituido por un sistema de adquisición de datos en donde se encuentra un encoder incremental, una tarjeta Raspberry Pi3 B+ y una PC. Todos los elementos y equipos detallados anteriormente permiten la visualización de los resultados obtenidos ensayados en campo y mediante la simulación del análisis de elementos finitos se corrobora las variaciones de energías (Potencial y Cinética) en función de la posición, velocidad y masa, antes del impacto.

1.3 **Formulación del problema.**

El péndulo de impacto construido por parte del grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH para ensayos de impacto en componentes automotrices, presenta un problema al no disponer de un sistema que sea capaz de medir las posiciones del péndulo antes del impacto, siendo esta necesaria para determinar la energía potencial y cinética del péndulo, variables que al ser procesadas aportan en estudios posteriores con materiales en componentes automotrices. Por otro lado, en vista que el péndulo tiene dimensiones en gran medida y los resultados del ensayo deben ser precisos para una correcta validación, es necesario incorporar un

sistema de medición de posición mediante la adquisición de datos con el fin obtener datos y resultados que con lleven a una fácil interpretación por parte del usuario.

1.4 **Objetivos.**

1.4.1 *Objetivo general.*

Diseñar e implementar un sistema de medición de posición del péndulo de pruebas de impacto del grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica, mediante un sistema de adquisición de datos para determinar las variaciones de las energías potencial y cinética antes del impacto.

1.4.2 *Objetivos específicos.*

- Estudiar los principios de control y monitoreo de señales mediante la revisión del estado del arte, con el fin de conocer los diferentes sistemas para la adquisición de datos y sus características.
- Diseñar un sistema de medición de posición del péndulo elaborado por el grupo de investigación GDP antes del impacto aplicando una metodología de diseño.
- Implementar un sistema de adquisición de datos que permitan obtener la posición, velocidad y en función de éstas, las variaciones de energía (Potencial y Cinética).
- Validar el sistema de medición comparando los datos experimentales con valores teóricos obtenidos con simulación numérica para asegurar que los valores obtenidos tengan un error aceptable.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

En el presente capítulo se abordan los temas relacionados al sistema de medición de posición del péndulo de impacto donde se expresan los conceptos y fundamentos teóricos relacionados al impacto entre dos cuerpos, a su vez las partes que componen el sistema de medición de posición en el cual se basa esta investigación.

2.1 Péndulo para ensayos de impacto.

En pruebas de carrocerías, el péndulo de impacto se utiliza para determinar los índices de deformación y la capacidad que tiene el material en volver a restaurarse, mediante la realización de pruebas de choque estandarizadas por el RCAR. Así también, se utiliza para realizar ensayos a paragolpes y capós.

Las pruebas mediante el péndulo son válidas debido a que se logra obtener un movimiento rectilíneo horizontal cuando el péndulo llega a 0° y es en ésta posición en donde se produce la colisión.

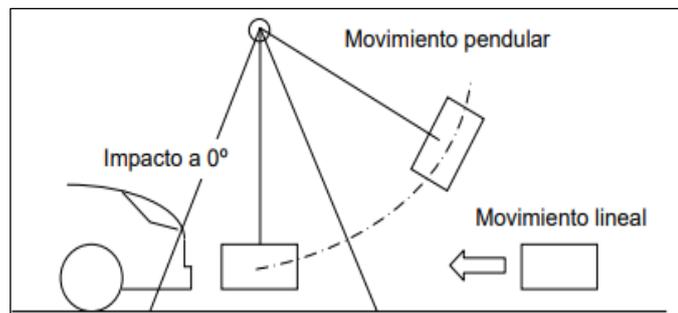


Figura 1-2: Movimientos del péndulo.

Fuente: (Barceló et al., 2016)

La empresa productora de bines y servicios exportables “Centro Zaragoza” Córdoba, es una empresa dedicada al diseño mecánico que utiliza el péndulo de impacto para la generación de daños predeterminados en carrocerías de vehículos destinadas a los cursos de formación que imparte, de esta manera realiza investigaciones relacionadas con los diversos proyectos de investigación propias de CZ INGENIERIA. (Zaragoza, 2021)



Figura 2-2: Péndulo de impacto a bajas velocidades en Zaragoza.

Fuente: (Zaragoza, 2021)

Para los ensayos a bajas velocidades CZ considera ciertas características mecánicas, mismas que se describen en la tabla 1-2:

Tabla 1-2: Características Mecánicas de los ensayos.

Características Mecánicas	Magnitud
Capacidad energética máxima	55 000 Julios
Masa mínima de la masa del péndulo	945 Kg.
Masa máxima de la masa del péndulo	1 650 Kg
Velocidad máxima de impacto	8,17m/s = 29,4 Km/h
Precisión velocidad impacto	± 0,3 Km/h
Tiempo máximo de oscilación	4,6 segundos

Fuente: (Zaragoza, 2021)

Según la normativa europea UNECE R29, existen requerimientos legales que debe cumplir una cabina, motivo por la cual, esta normativa presenta tres tipos de pruebas de seguridad que se debe realizar, como son: a) Prueba de impacto frontal. b) Prueba de resistencia de techo. c) prueba de la resistencia de la pared trasera.

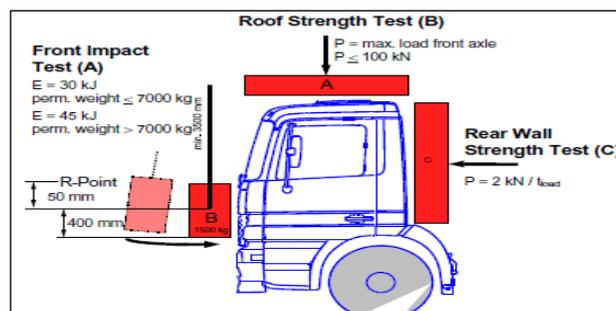


Figura 3-2: Pruebas de seguridad en cabina según UNECE R29.

Fuente: (Raich et al., 2002)

Para la prueba de impacto frontal, la norma antes mencionada manifiesta que el péndulo rígido debe tener una superficie de impacto de 2500 mm x 800 mm y una masa de 1500 kg ± 250 kg, misma que debe ser colocada de modo que, en su posición vertical el centro de gravedad esté 50 +5/-0 mm por debajo del punto R del asiento del conductor. Esto es diferente a la versión anterior de este reglamento donde la posición vertical del centro de gravedad era 150 +5/-0 mm por debajo del punto R del asiento del conductor con una altura máxima sobre el suelo de 1400 mm. (Nations, 2012)

La energía de impacto del péndulo debe ser de 30 KJ para vehículos de un peso máximo admisible de hasta 7000 kg y de 45 kJ para vehículos cuyo peso máximo admisible supere este valor. (Raich et al., 2002)

2.2 Movimiento armónico simple.

En la cinemática del movimiento armónico simple que genera un movimiento periódico de vaivén oscilando de una posición a otra en un determinado tiempo, se toma como referencia estas ecuaciones para determinar el movimiento de un péndulo simple. (García Barneto & Bolívar Raya, 2008) Se genera un movimiento armónico simple si la partícula describe una trayectoria a largo de un eje x en un determinado tiempo, como se indica la ecuación 1:

$$x(t) = R \operatorname{sen}(wt) \quad (1)$$

Para determinar la velocidad de la partícula se parte de la primera derivada de la posición con respecto al tiempo, como indica la ecuación 2:

$$\frac{dx}{dt}(t) = wR \operatorname{cos}(wt) \quad (2)$$

La aceleración de la partícula se obtiene mediante la segunda derivada de la posición, cuya ecuación es la siguiente:

$$\frac{d^2x}{dt^2}(t) = -w^2R \operatorname{sen}(wt) \quad (3)$$

Donde:

$x(t)$: Posición (m)

$\frac{dx}{dt}(t)$: Velocidad de la partícula (m/s)

$\frac{d^2x}{dt^2}(t)$: Aceleración de la partícula (m/s²)

R : Radio de origen hasta el centro de la partícula (m)

w : Velocidad angular (rad/s)

t : Tiempo de la partícula (s)

2.2.1 *Posición angular del péndulo.*

La posición angular puede ser expresada en radianes, grados, revoluciones o cualquier otra unidad de medida angular con el que se indica el giro de un elemento alrededor de un eje de rotación determinado, respecto a una orientación inicial y en un sentido específico. Cuando un cuerpo gira sobre su eje, el movimiento no puede simplemente analizarse como el de una partícula, ya que durante el movimiento circular experimenta una velocidad y aceleración que varía en cualquier instante o intervalo de tiempo (t). La posición angular viene dada por el movimiento rotativo que se define como la rotación de un cuerpo rígido respecto a un eje fijo. (Puente Cuasapud, 2015).

El instrumento utilizado para medir la posición angular en grados es el goniómetro su estructura puede ser un semicírculo o círculo graduado en 180° o 360° , respectivamente. Este instrumento permite medir ángulos entre dos objetos específicos los componentes que los conforman son las siguientes partes: escuadra, disco graduado, regletas intercambiables, tornillos de fijación y tornillo de ajuste fijo. (Mechanic, 2008)

A diferencia de los goniómetros convencionales, el goniómetro con escala de nonio, se caracteriza por tener una escala más pequeña integrada en el disco giratorio, este goniómetro sirve para realizar medidas con mayor precisión.



Figura 4-2: Goniómetro con escala nonio.

Fuente: (Mechanic, 2008)

2.3 **Energías en el péndulo producidas durante el ensayo de impacto.**

Las energías que se producen durante el ensayo de impacto frontal desde una posición inicial en

la que se libera el impactador hasta una posición final donde ocurre la colisión con el material ensayado, son la energía potencial y la cinética, sin considerar las energías producto de las pérdidas ya sea por resistencia del aire o fricción en los componentes mecánicos.

2.3.1 *Energía Potencial.*

Es la energía que presenta un cuerpo como consecuencia del sistema de fuerzas que actúa sobre el mismo. Depende de la localización del cuerpo con respecto a un punto o configuración de referencia determinado y a un campo de fuerza que puede ser: gravitatoria o de una fuerza en el interior de un cuerpo (energía elástica).

La ecuación de la energía potencia viene dada por:

$$Ep = mgh \quad (4)$$

Donde:

Ep : Energía potencial (J)

m : Masa del cuerpo (Kg)

g : Gravedad (m/s^2)

h : Altura desde el centro de gravedad de la masa hasta el nivel de referencia (m)

2.3.2 *Energía Cinética.*

Es la energía que tiene un cuerpo de masa m , por desplazarse a una determinada velocidad producida por efecto de fuerzas externas. Sin embargo, existen sistemas en donde la masa de un objeto sea tan grande que puede ser modelado como estacionario y sus energías cinéticas se pueden ignorar. Por ejemplo, el sistema formado por la tierra y la pelota, en donde, la energía cinética de la tierra con referencia a la pelota que cae al suelo es despreciada. (Apaza Paucara, 2019)

La ecuación de la energía cinética viene dada por:

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5)$$

Donde:

Ec : Energía cinética (J)

$\frac{1}{2}$: Constante de cálculo

m : Masa del cuerpo (Kg)

v : Velocidad (m/s)

2.3.3 Principio de conservación de la energía.

El Principio de Conservación de la Energía enuncia que “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de unas formas en otras”, es decir, que la energía total es la misma antes y después de cada transformación. Para el caso de la energía mecánica, las sumas de las energías cinética y potencial, deben permanecer constantes en el tiempo siempre y cuando no exista rozamiento ni ningún trabajo externo.

En la figura 5-2, cuando la posición $\theta = \theta_o$ el péndulo está cargado únicamente de energía potencial, misma que se transforma en energía cinética cuando el péndulo pasa por la posición de equilibrio, cumpliendo con el principio de conservación de la energía. (Franco García, 2016)

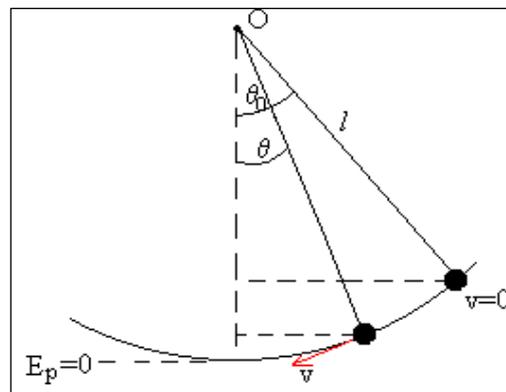


Figura 5-2: Conservación de la energía en el péndulo.

Fuente: (Franco García, 2016)

- En la posición $\theta = \theta_o$, la energía es solamente potencial.

$$E = mg(l - l \cos \theta_o) \quad (6)$$

Donde:

E : Energía (J)

m : Masa del cuerpo (Kg)

g : Gravedad (m/s^2)

l : Longitud del péndulo (m)

θ_0 : Posición Inicial ($^\circ$)

θ : Posición Final ($^\circ$)

- En la posición $0 < \theta < \theta_0$, la energía del péndulo es cinética y potencial.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mg(l - l \cos \theta) \quad (7)$$

Donde:

E : Energía (J)

m : Masa del cuerpo (Kg)

g : Gravedad (m/s^2)

l : Longitud del péndulo (m)

v : Velocidad del cuerpo (m/s)

θ_0 : Posición Inicial ($^\circ$)

θ : Posición Final ($^\circ$)

Por el principio de conservación de la energía, al igualar las ecuaciones 6 y 7, se obtiene la velocidad cuando la posición es $0 < \theta < \theta_0$.

$$v^2 = 2gl(\cos \theta - \cos \theta_0) \quad (8)$$

- En la posición $\theta = 0$, la energía es solamente cinética.

$$E = \frac{1}{2}m v^2 \quad (9)$$

Donde:

E : Energía (J)

m : Masa del cuerpo (Kg)

v : Velocidad del cuerpo (m/s)

Por el principio de conservación de la energía, igualamos la ecuación 7 y la ecuación 8, para obtener la velocidad cuando la posición es $\theta = 0$.

$$v^2 = 2gh \quad (10)$$

Donde:

v : Velocidad del cuerpo (m/s)

g : Gravedad (m/s^2)

h : Longitud del péndulo (m)

2.4 Sistema de Adquisición de Datos.

Un sistema de adquisición de datos o mejor conocido como DAQ (*Data Acquisition System*) es un proceso de digitalización de datos del mundo real, siendo el propósito principal adquirir, transferir y almacenar datos permitiendo la visualización y el control del fenómeno que está ocurriendo en tiempo real, lo cual generan datos que pueden ser analizados y almacenados en un computador. (Logicbus, 2001)

2.4.1 Tipos de comunicación de un sistema de Adquisición de Datos.

Un sistema de adquisición de datos presenta diferentes tipos de comunicación, ya sea por comunicación: *Wireless*, *Serie*, *Ethernet*, *Plug-in Boards*, etc., lo cual permite que la comunicación y la transferencia de datos sea más o menos rápida, permitiendo que los datos sean procesados a velocidades rápidas obteniéndose resultados más eficientes en tiempo real según el tipo de sistema de adquisición de datos que se utilice, a continuación se detallan los diferentes sistemas de comunicación en la adquisición de datos.

2.4.1.1 Sistema de adquisición de datos *Wireless*.

Es un sistema inalámbrico de adquisición de datos que tiene como ventajas eliminar el costo de la instalación y el tiempo requerido para el cableado de todos los sensores. Estos sistemas de medida constan de uno o más transmisores inalámbricos enviando datos a un receptor inalámbrico conectado a un ordenador remoto. (Omega Engineering, 2005)

2.4.1.2 Sistema de comunicación en *Serie*.

Para los sistemas de adquisición de datos, los sistemas de comunicación en serie son rentables cuando la medición debe realizarse en un sitio distante del ordenador. Para la comunicación en serie hay varios estándares de comunicación siendo el RS32 el más común, sin embargo, soporta

únicamente la comunicación de punto a punto si las distancias son cortas. (Omega Engineering, 2005)

2.4.1.3 Sistema de adquisición de datos Ethernet.

La adquisición de datos por Ethernet es utilizada en gran parte por las instalaciones industriales y comerciales, permitiendo la integración de un sistema de adquisición de datos distribuido, sin el costo del cableado adicional. El estándar para *Ethernet* es el 802.3, que es un estándar de transmisión de datos para redes de área local basados en el siguiente principio: todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos, llamados cables de red o cables UTP con su respectiva configuración. (Neuta, 2013)

2.4.1.4 Sistema de adquisición de datos por Plug-in Boards (Integrados).

Este tipo de sistemas se lo realizan mediante tarjetas de adquisición de datos informáticas que se conectan directamente al bus de ordenador, cuyas ventajas son: la velocidad (al estar conectadas directamente al bus) y el coste (debido a la sobrecarga del embalaje y la potencia suministrada por el ordenador). (Omega Engineering, 2005)

2.4.2 Estructura de un sistema de adquisición de datos.

Como se puede ver en la figura 6-2, la estructura de un sistema de adquisición de datos consta básicamente de tres partes:

- Sensor
- Placa de adquisición de datos.
- Computadora con software programable.

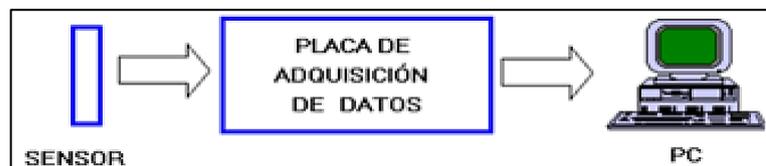


Figura 6-2: Estructura de un sistema de adquisición de datos.

Fuente: (Tecnología informática, 2015)

2.5 Sensor.

Conocido también como transductor, es un dispositivo eléctrico y/o mecánico cuya finalidad es medir un fenómeno físico cualquiera y convertir esa lectura en una señal eléctrica que pueda ser

medida y comunicada de algún modo. (ElectroIndustria, 2018)

2.5.1 *Características dinámicas.*

Las características dinámicas en un sensor están en función al comportamiento entre el instante en que cambia el valor de entrada y el tiempo en que el valor emitido por el transductor logra su valor de estado estable. (MecatrónicaLATAM, 2006)

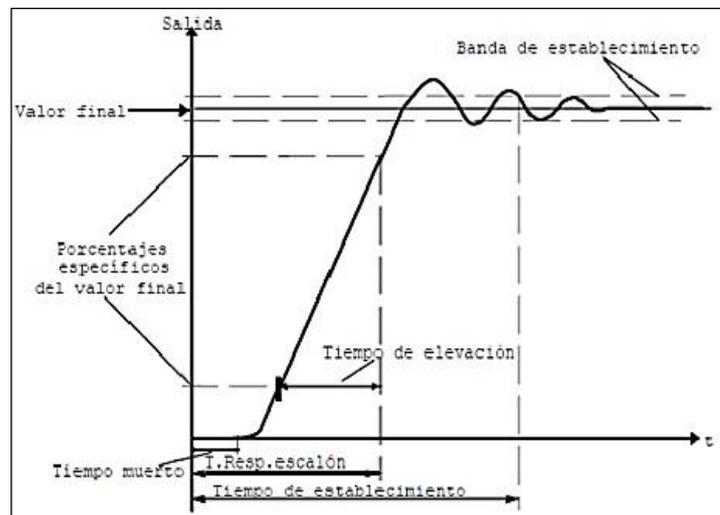


Figura 7-2: Características dinámicas de los instrumentos de medición.

Fuente: (Jorge Jaramillo, 2019)

Las características dinámicas que define el régimen dinámico en un sensor son:

Tiempo de respuesta: Es el tiempo transcurrido desde que se aplica una entrada constante, hasta que el transductor produce una respuesta en consecuencia a la salida correspondiente a un porcentaje determinado, como un 96% del valor de la entrada.

Constante de tiempo: Es el valor inercial del sensor y se considera el tiempo que tarda en reaccionar a los cambios en la entrada, razón por la cual, entre mayor sea la constante de tiempo más lenta será su reacción ante una señal de entrada variable.

Tiempo de elevación: Es el tiempo que requiere la salida para llegar a un porcentaje especificado de la salida en un estado estable determinado.

Tiempo de establecimiento: Es el tiempo que tarda la salida en alcanzar un porcentaje de un valor determinado. (MecatrónicaLATAM, 2006)

2.5.2 Características estáticas.

Señalan una respuesta del sensor en régimen permanente o estable con cambios muy lentos de la magnitud de entrada de la señal. (Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

2.5.2.1 Parámetros ligados a la curva de calibración.

Los parámetros ligados a la curva de calibración, son los siguientes:

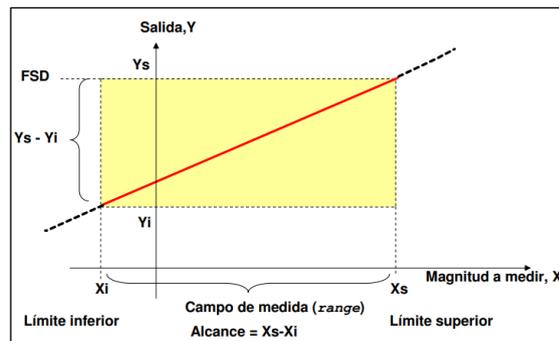


Figura 8-2: Curva de calibración.

Fuente: (Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

Sensibilidad: Es una determinada variación que experimenta la señal de salida cuando se produce una variación pequeña de la señal de entrada, también es muy conocido como una pendiente en cada punto de la curva de calibración.

Linealidad: Determina el grado de coincidencia o aceptación entre la curva de calibración y una línea recta determinada, ver la figura 9-2.

No linealidad: Se lo conoce como una máxima desviación en la curva de calibración con respecto a la recta, este valor de la no linealidad se suele expresar en su mayoría con un porcentaje respecto a su alcance. (Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

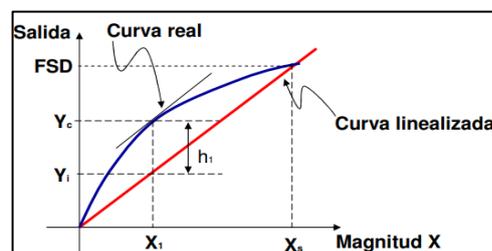


Figura 9-2: Curva linealizada.

Fuente: (Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

Zona muerta: Rango de valores de la variable de entrada que no provoca variaciones a la salida. Normalmente es una región en la curva de calibración con una sensibilidad muy nula.

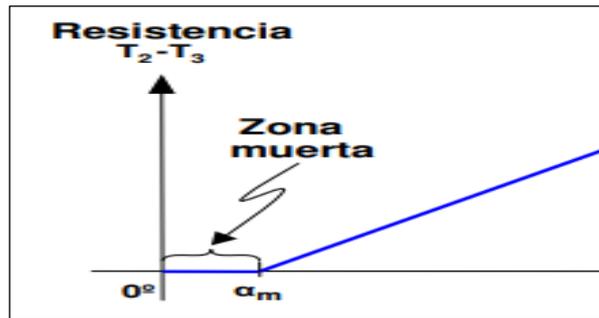


Figura 10-2: Zona muerta al inicio de la carga.

Fuente: (Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

Histéresis: Son valores diferenciales mostrados entre los valores de la salida correspondientes al mismo valor de la entrada según sea el alcance en un sentido o en otro.

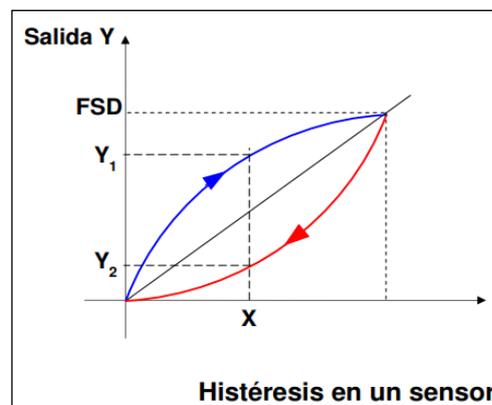


Figura 11-2: Histéresis presente en el sensor.

Fuente: (MecatrónicaLATAM, 2006)

Histéresis en sensor todo o nada: Este tipo de histéresis se utiliza en los sensores todo o nada o más conocidos como señales analógicas para eliminar las muchas oscilaciones que aparecen a la salida del sensor, cuando el nivel de la variable de entrada coincide con el que hace cambiar de estado la salida.

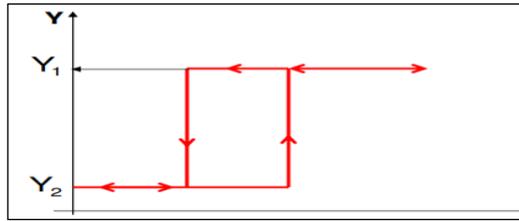


Figura 12-2: Histéresis en un sensor todo o nada, señal digital.

Fuente: (MecatrónicaLATAM, 2006)

Saturación: Es el nivel de entrada de una señal a partir del cual la sensibilidad disminuye de forma muy significativa.

Error absoluto: Es un valor que diferencia valor absoluto entre el valor medido y un valor exacto.

Error relativo: Es el error conocido como una relación entre el error absoluto y el valor exacto.

(Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

2.5.2.2 *Parámetros asociados con los errores de medida.*

Todo sensor presenta ciertos parámetros asociados con los errores de medida y son los siguientes:

Veracidad: Es el nivel de coincidencia entre el valor promedio obtenido de una gran serie de resultados y el valor verdadero o aceptado como origen, también a esta coincidencia se lo denomina desviación.

Precisión: Es la capacidad que tiene un sistema al proporciona un resultado similar cuando la medida se repite en unas condiciones determinadas, esta acción también se lo denomina como fidelidad.

Exactitud: La exactitud muestra una correspondencia entre los valores entre sí y con los resultados verdaderos, este término representa un concepto que caracteriza la capacidad que tiene un sistema al proporcionar el valor exacto de la variable que se mide. (Mandado Pérez Antonio Murillo Roldan, 2003)

2.5.3 *Sensores comúnmente usados para la medición de posición angular.*

Se presentan 3 tipos de sensores como alternativas que permiten determinar la posición angular de un objeto con respecto a otro por su amplia funcionalidad, sensibilidad, disponibilidad, y sencillez de programación.

2.5.3.1 Potenciómetro.

Son muy usados en aplicaciones de gran precisión y con muy buena resolución angular. Debido a las variaciones resistivas que presenta permite variar su resistencia angular de forma manual, a cualquier tipo de valor determinado, normalmente el potenciómetro de resistencia variable presenta un rango de trabajo desde 0° a 290°, permitiendo un desplazamiento angular casi completo. (Instrumentación I.c, 2003)

Un potenciómetro internamente está constituido por un contacto principal móvil que se desplaza o gira a lo largo de una pista resistiva angular. Al girar el potenciómetro movemos el contacto a lo largo de la pista angular, y variando la longitud del tramo de pista resistiva con la base en contacto, permite variar la resistencia en forma manual a lo requerido. (Luis Llamas, 2002)



Figura 13-2: Potenciómetro, resistencia variable.

Fuente: (Luis Llamas, 2002)

Un potenciómetro presenta ventajas y desventajas con respecto a la medición de posición, mismas que se muestran a continuación en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Ventajas y desventajas de un potenciómetro con respecto a la medición angular.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Presenta una estructura sencilla y fácil de acoplarse al eje donde se transmite el movimiento.• Resistente a vibraciones e impactos moderados.• Maneja amplias variaciones de temperaturas de trabajo.	<ul style="list-style-type: none">• La durabilidad de los potenciómetros es baja, debido al desgaste interno de sus componentes.• Los carbonos tienden a deteriorarse por la abrasión en la manipulación constante y mucho más si se los usa para determinar velocidades.

<ul style="list-style-type: none"> • Costo relativamente bajo con respecto a otros sensores de posición (acelerómetro y/o encoder). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante el movimiento constante crean ruidos de señal llamado <i>fader scratch</i>. • Solo envía señales analógicas complicando las señales de entrada a la tarjeta <i>Raspberry Pi3 B+</i>.
--	--

Fuente: (Cesarlib, 2002)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Las aplicaciones de un potenciómetro son:

- Potenciómetro acoplado a un brazo robótico para la verificación de la posición angular y velocidad de giro.
- Potenciómetro de desplazamiento angular acoplado a un servomecanismo de giro para determinar la posición angular.
- Control de la posición de un servo motor mediante un potenciómetro acoplado al eje del motor para determinar la precisión del ángulo de giro.
- Variación de velocidad del piñón para la cremallera de transmisión mecánica, mediante resistencia variable para control de posición lineal.

2.5.3.2 Acelerómetro MPU 6050.

Es un instrumento que permite medir la posición angular, la aceleración y la velocidad de vibración de las piezas, cuyo objetivo es conseguir un buen funcionamiento de las maquinas e instalaciones, de tal manera que se evite largas paradas. El acelerómetro MPU 6050, ver la figura 14-2, contiene un acelerómetro y giroscopio MEMS en un solo empaque, tiene una resolución de 16-bits, es decir, divide el rango dinámico en 65536 fracciones, para cada eje X, Y Z al igual que en la velocidad angular, permite obtener medidas de posición en cualquier punto por cada revolución (0° a 360°). (Omega Company, 2002)

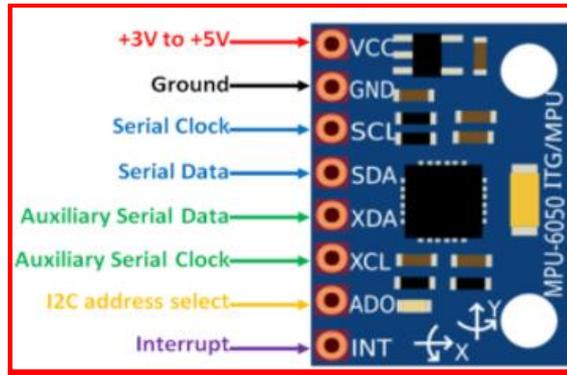


Figura 14-2: Acelerómetro MPU 6050.

Fuente: (Acelerómetro, 2014)

El acelerómetro MPU 6050 presenta ventajas y desventajas con respecto a la medición de posición, mismas que se muestran a continuación con las características de implementación bajo las condiciones de impacto a desarrollarse, lo cual permite tomar decisiones como los costes de implementación, así como el diseño preliminar frente a distintas situaciones que se vayan a presentar cuando se ejecuta cada ensayo.

Las ventajas y desventajas que se presentan para la implementación del sistema de adquisición de datos deben constar de características como la fácil implementación en el péndulo de impacto para cualquier tipo de impactador, el mismo que se detalla en la tabla 3-2:

Tabla 3-2: Ventajas y desventajas de un acelerómetro con respecto a la medición de posición.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de acoplar en cualquier superficie del brazo del impactador. • Resistente a movimientos y vibraciones elevadas por el impacto. • Permite determinar el ángulo de inclinación con buena precisión respecto al vector de gravedad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad a variaciones de temperatura, no es estable. • Costo elevado por la robustez y la precisión que se requiere para la adquisición de datos. • Requiere muchos parámetros de programación para su ejecución.

Fuente: (Acelerómetro, 2014)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

A continuación, se presentan algunas aplicaciones en el cual el acelerómetro MPU 6050 se ve involucrado para ejecutar diferentes aplicaciones:

- Medición de posición en la inclinación de plataforma de piso.
- Variación de posición de un nivelador para muelles RHM.
- Control de la inclinación de rampa metálica de elevación mediante un acelerómetro.
- Acelerómetro para mantener la posición y el control de un brazo robot a diferentes grados.

2.5.3.3 Encoder de cuadratura.

Es de tipo incremental, compuesto por dos sensores ópticos ubicados con un desplazamiento de $1/4$ de ranura el uno del otro, produciendo dos señales de pulsos digitales desfasada en 90° o en cuadratura. A estas señales de salida, se les llama comúnmente **A** y **B**.

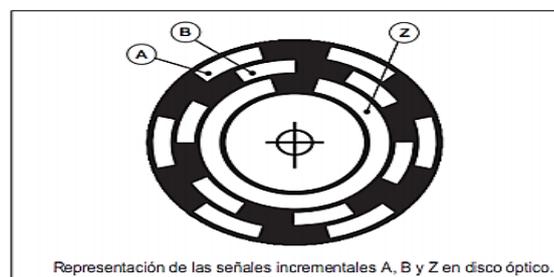


Figura 15-2: Representación de señales incrementales en disco óptico.

Fuente: (Encoder Products Company, 2020)

La dirección de rotación del eje generalmente es en sentido horario cuando la señal **A** adelanta a la señal **B**, es decir, la señal **A** toma un valor lógico “1” antes que la señal **B**, en el caso inverso si **B** adelanta **A**, la dirección de rotación de eje será anti horario. (Ingeniería Mecafenix, 2010)

El principio de funcionamiento es el mismo para todo tipo de *encoder*, sin embargo, este sensor de cuadratura proporciona dos formas de ondas, cuadradas y desfasadas entre si 90° eléctricamente, denominados comúnmente como canal **A** y canal **B**. Además, puede existir otra señal llamada canal **Z** que da como señal la posición absoluta del cero del eje del *encoder*. (Encoders, 2015)

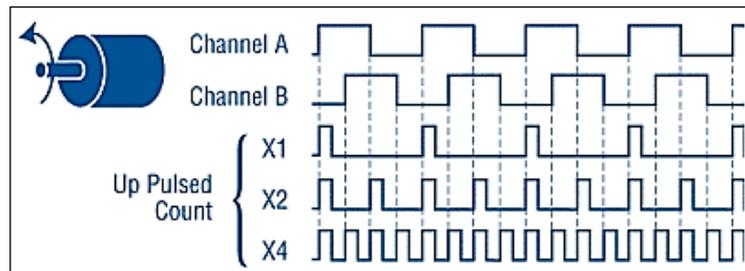


Figura 16-2: Codificación Incremental.

Fuente: (Encoders, 2015)

La resolución representa un número de segmentos o también conocidos como unidades de medida en cada ciclo del eje. Generalmente se suelen encontrar *encoders* con resoluciones elevadas de hasta 10 000 pulsos por revolución (PPR), pero mediante un sistema de bordeo las revoluciones suelen tener resoluciones de hasta 40 000 PPR. La resolución y exactitud son dos términos muy diferentes, y es posible contar sus valores una sin la otra indistintamente.

Para la figura 17-2, se puede mostrar una distancia **X** dividida en 24 incrementos o bits, donde, **X** representa 360° o una revolución completa dividida en 24 partes. (Encoders, 2015)

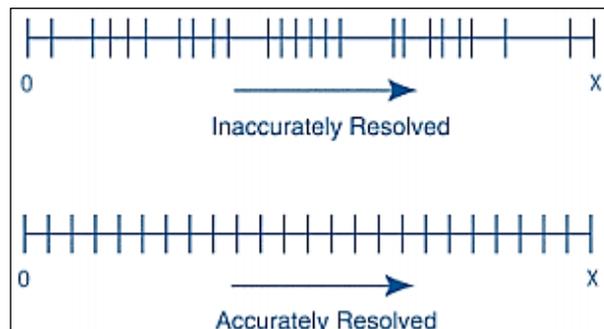


Figura 17-2: Resolución y exactitud del encoder.

Fuente: (Encoders, 2015)

En el segmento de recta de la figura 17-2, mientras exista un valor referencial de 24 bits de resolución, entonces las 24 partes no serán uniformes o proporcionales, éste tipo de transductor no suele ser usado para determinar posición, velocidad o aceleración con exactitud. En la otra recta de la misma figura, la distancia **X** está dividida en 24 partes iguales, siendo cada porción de incremento se suele representa exactamente $1/24$ de una revolución, éste tipo de transductor normalmente opera con un buen grado de exactitud y resolución. La exactitud, por otro lado, puede ser muy independiente de la resolución; el transductor puede tener una solución de sólo dos partes en cada revolución, mientras que su exactitud puede llegar a ser de 6 segundos en cada arco. (Encoders, 2015)

El sensor de posición presenta ventajas y desventajas con respecto a la medición de posición, mismas que se muestran a continuación, tabla 4-2.

Tabla 4-2: Ventajas y desventajas del sensor de posición con respecto a la medición angular.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Alta precisión angular cuando se mueve el eje del brazo del impactador. • Su buena resolución permite obtener valores muy certeros en cada medida. • Se lo puede acoplar de forma directa al eje de impactador o mediante un sistema mecánico de transmisión de movimiento. • Permite determinar la velocidad de forma sencilla al momento de liberar el impactador. • Su programación es sencilla ya que envía señales digitales <i>On/Off</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo relativamente alto en función de su robustez y características físicas. • Sensible desde el punto de vista mecánico ya que fuerzas excesivas pueden dañar al disco lector. • Para reducir las fuerzas impacto en los ensayos necesita de un acople que amortigüe esas fuerzas.

Fuente: (Encoders, 2015)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Las aplicaciones del sensor de posición (*encoder de cuadratura*) son:

- Medición angular del brazo de impacto del péndulo *Charpy* mediante sensor encoder OMRON E6C2.
- Control de giro angular de brazo robótico para etiquetado.
- Control de revoluciones de tambores magnéticos.
- Medición de la distancia lineal mediante un rodillo o rueda de medición.

2.6 Tarjetas de adquisición de datos.

Una tarjeta trabaja como un intermediario entre todas las señales de entradas y salidas, digitales y/o analógicas con una Pc, conocido comúnmente como una interfaz que toma todas las señales emitidas desde el exterior y lo convierte a señales digitales para luego ser procesadas.

2.6.1 *Tipos de tarjetas de adquisición de datos.*

Los sistemas de adquisición de datos permiten la conexión de los sensores y la transferencia de las señales emitidas y receptoras por los sensores, para ello los dispositivos como una DAQ, una tarjeta USB 6009, una tarjeta Arduino ATMEGA 328 o una *Raspberry Pi3 B+* permiten la adquisición de datos para determinar la posición angular del péndulo de impacto, como se muestra a continuación:

2.6.1.1 *Dispositivo DAQ.*

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y las señales del mundo exterior. Su función principalmente es actuar como un dispositivo que digitaliza las señales analógicas o digitales entrantes para que una PC pueda interpretarlas. (NI.com, 2020)

Las señales adquiridas del mundo exterior pueden ser digitales o analógicas en función del transductor utilizado. El acondicionamiento de las señales suele ser necesaria, si la señal de salida del transductor no es adecuada para la DAQ. La señal puede ser amplificada, des amplificada, puede requerir de filtrado, atenuación y aislamiento. De acuerdo a las características de la señal. (NI.com, 2020)

El dispositivo DAQ para su ejecución necesita de un chasis de acople de la *National Instruments* el cual incrementa el costo para la aplicación de medición de posición ya que es un dispositivo robusto de gama alta.

2.6.1.2 *Tarjeta USB 6009.*

Es una tarjeta DAQ multifuncional con entradas y salidas digitales como analógicas aptas para cualquier trabajo robusto con un contador hasta 32 bits, su funcionalidad es simple y básica apta para aplicaciones sencillas como la adquisición de datos, mediciones portátiles de campo y trabajos académicas de laboratorio, su conexión para los sensores es sencilla para cualquier tipo de sensor y señal ya que tiene terminales de tornillo. Esta tarjeta presenta una ventaja ya que viene incluidas algunas configuraciones para simplificar acciones. (Yáñez, 2015)

2.6.1.3 *Tarjeta Arduino ATMEGA 328.*

Es una tarjeta electrónica con hardware libre que posee un microcontrolador re programable con varios puertos de comunicación de entradas y salidas. Esta tarjeta permite establecer muchas

conexiones entre el microcontrolador y los diferentes tipos de sensores y actuadores de una manera muy sencilla. (Fernández Yubal, 2006)

Los microcontroladores más utilizados en las plataformas Arduino son: Atmega 8, Atmega 168, Atmega 328, Atmega 1280 pero se está ampliando cada vez más a microcontroladores Atmel que presenta una arquitectura ARM con 32 bits y también a microcontroladores de *Intel*. (Prometec, 2021)

2.6.1.4 *Raspberry Pi3 B+*.

Es un ordenador en forma de placa de tamaño reducido, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación *Raspberry Pi* (*University of Cambridge*) en 2011. Puede ser utilizado como una Pc y como dispositivo para un sistema de adquisición de datos, sin embargo, presenta una desventaja al no contar con pines de entradas analógicas, impidiendo la lectura de sensores analógicos a menos que se utilice un convertidor externo. (Neuta, 2013)

La *Raspberry Pi3 B+* está compuesta básicamente por: un CPU, memoria RAM, puertos de entrada y salida de audio y vídeo, pines GPIO, conectividad de red, ranura SD para almacenamiento, una toma para la alimentación y conexiones para periféricos de bajo nivel. Cada uno de los componentes antes mencionados depende del modelo, en la figura 18-2, se muestran los componentes correspondientes a la *Raspberry Pi3 B+*.



Figura 18-2: Componentes - *Raspberry Pi3 B+*.

Fuente: (HETPRO, 2009)

GPIO (*General Purpose Input Output*) es un sistema de entrada y salida de propósito general compuesto por una serie de pines o conexiones que se pueden usar como entradas o salidas para múltiples usos. Estos pines están incluidos en todos los modelos de *Raspberry Pi3 B+*, que en dependencia de sus modelos presentan diferencias.

La numeración de los pines de la *Raspberry Pi3 B+*, se pueden realizar de dos formas:

- Modo *GPIO*. Los pines se numeran por el lugar que ocupan en la placa (representados por el color gris, figura 19-2), para lo cual, se empieza contando desde la parte superior izquierda y finalizamos en la parte inferior derecha.
- Modo *BCM*. En este caso los pines se numeran por la correspondencia en el *chip Broadcom*, que es la CPU de la *Raspberry Pi3 B+*. (SUM, 2021)

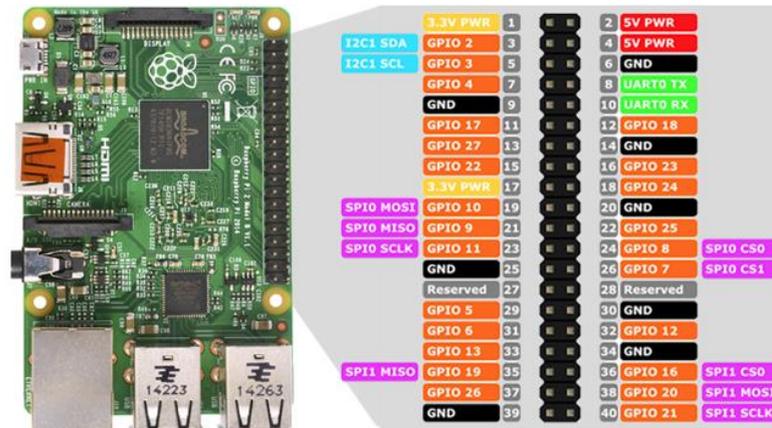


Figura 19-2: Pines GPIO - Raspberry Pi3 B+.

Fuente: (Prometec, 2021)

Cabe mencionar que los pines GPIO tienen funciones específicas, sin embargo algunos de ellos comparten funciones y se pueden agrupar como se muestra en la tabla 5-2:

Tabla 5-2: Funciones de los pines GPIO.

Color	Cantidad	Funciones
Amarillo	2	Alimentación a 3.3 V
Rojo	2	Alimentación a 5V
Naranja	26	<ul style="list-style-type: none"> • Entradas y salida de propósito general • Nivel alto 3.3 V • No toleran tensiones de 5 V
Gris	2	Reservados
Negro	8	Conexión a GND o masa
Celeste	2	Comunicación – protocolo I2C
Verde	2	Conexión para UART
Morado	5	Comunicación- Protocolo SPI

Fuente: (SUM, 2021)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

La *Raspberry Pi3 B+* presenta ventajas y desventajas para la medición de la posición angular,

misma que se muestran a continuación en la tabla 6-2.

Tabla 6-2: Ventajas y desventajas de la *Raspberry Pi3 B+* para la medición de posición angular.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Presenta una memoria RAM que agiliza la transferencia de datos en tiempo real de las señales del <i>encoder</i>. • Su reducida arquitectura, tamaño capacidad en relación a su coste y funcionalidad. • Cumple perfectamente la función de adquisición de datos del sensor <i>encoder</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita del módulo <i>ESP WROOM-32</i> para que la adquisición de datos no tenga pérdidas de señales por efectos de la frecuencia de muestreo. • No viene incluido el sistema operativo para la ejecución de la aplicación ni memorias de almacenamiento para el empaquetado de datos cuando se corre el programa. • Necesita un sistema de ventilación (temperaturas de trabajo menores a 80 °C) para evitar datos erróneos en tiempos largos de operación.

Fuente: (HETPRO, 2009)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Las aplicaciones de la *Raspberry Pi3 B+* son:

- Adquisición de datos de señales digitales de sensor de cuadratura para medición de posición de una puerta enrollable.
- Tarjeta *Raspberry Pi2* como controlador de señales de un inclinómetro en mesa de balanceo.
- Controlador de la variación angular mediante Arduino Leonardo trabajando como esclavo hacia la *Raspberry Pi A+* como *master*.
- Número de revoluciones del disco lector de aluminio con la foto sensor y una *Raspberry Pi B+*.
- Uso de una *Raspberry Pi 3* para determinar la velocidad de un motor monofásico mediante un sensor *encoder* que va acoplado al rotor.

2.6.1.5 Módulo *ESP WROOM 32S*.

A medida que la automatización industrial avanza cada vez más y sus conexiones implican mucho cableado para la adquisición de datos o para la ejecución de un proceso automatizado, los ingenieros han desarrollado alternativas de conexión de forma inalámbrica, es por ello que se presenta el módulo *ESP WROOM 32S* el cual es una placa de desarrollo inteligente de bajo costo

que permite conectar los sistemas a internet mediante wifi con resultados más simples y en tiempo real como indica la figura 20-2.



Figura 20-2: Módulo ESP WROOM 32S.

Fuente: (Jacob Beningo, 2020)

Este módulo posee varios microcontroladores de muy bajo consumo y costo con sistemas de *chip de wifi* de forma integrada que permiten que las conexiones faciliten los procesos de automatización permitiendo a los usuarios no involucrarse en matices de radio frecuencias con diseños inalámbricos complicados. Este módulo proporciona una radio inalámbrica con un procesador integrado que da apertura a varias interfaces para que varios periféricos puedan conectarse de forma sencilla. El procesador integrado cuenta con dos núcleos de procesamiento el cual su permite controlar su frecuencia de operación de forma independiente valores limitados desde los (80 hasta 240) MHz. (Jacob Beningo, 2020)

Tabla 7-2: Especificaciones técnicas, ESP WROOM 32S.

Parámetros de operación	Especificaciones
Wi-Fi	802.1n a 150 Mbps
Rango de frecuencia	80MHz – 240MHz
Cristal Integrado	40 MHz
Voltaje de operación	3.0 v – 3.6v
corriente de operación	Promedio: 80 mA
Corriente mínima	500 mA
Temperatura de operación recomendada	-40°C a 85°C

Fuente: (ESPRESSIF, 2021)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

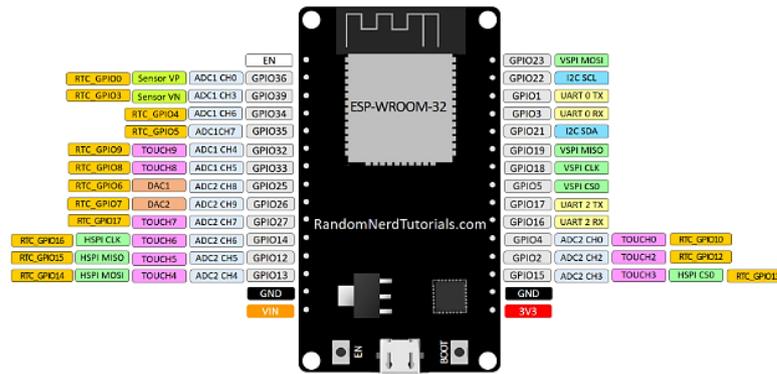


Figura 21-2: Pines GPIO - ESP WROOM 32S.

Fuente: (ESPRESSIF, 2021)

Se mencionan que los pines GPIO tienen funciones específicas, sin embargo algunos de ellos especifican funciones y se pueden agrupar como se muestra en la tabla 8-2:

Tabla 8-2: Pines de conexión de la placa de desarrollo.

Color	Cantidad	Funciones
Amarillo	1	Alimentación de entrada (2.3 – 3,6) V
Rojo	1	Alimentación a 3.3 V
Naranja	15	Pines GPIO - Entradas y salida de propósito general
Gris	2	Reservados
Negro	2	Conexión a GND o masa
Celeste	2	Comunicación – protocolo I2C
Verde	8	Canales MISO, MOSI, CLK, CS0
Morado	9	Canales TOUCH

Fuente: (ESPRESSIF, 2021)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

En la presente investigación el sensor (*encoder*) es conectada al módulo *ESP WROOM 32S* el cual recibe todas las señales que envía el sensor, empaquetando todos los datos a gran velocidad de frecuencia de muestreo sin pérdidas de ningún dato en todo el trayecto de la ejecución, para luego ser enviada cada señal a una determinada frecuencia desde la placa de desarrollo hacia la tarjeta *Raspberry Pi3 B+* adquiriendo los datos de forma eficiente en todo el trayecto.

2.7 PC y software para la adquisición de datos.

En un sistema de adquisición de datos es necesario una PC con un *software* para visualizar y almacenar datos de medidas. El *software* está compuesto por el *software* del control que permite

tener la capacidad de controlar el dispositivo con una configuración basada en menús o una API programable (James Mc Nally, 2017); el software de aplicación permite al usuario adquirir, analizar y presentar datos de una manera sencilla con una configuración mediante interfaces basadas en menús y por último el entorno de programación que permite a los usuarios desarrollar su propia aplicación para adquirir, analizar y presentar datos, utilizando bibliotecas de funciones (APIs) para acceder y controlar su dispositivo. (NI.com, 2020)

2.7.1 *LabVIEW.*

Es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el análisis, la adquisición de datos, el control de instrumentos y la automatización industrial. *LabVIEW* se diferencia de los lenguajes tradicionales de programación por presentar un ambiente de programación gráfico, llamado lenguaje G, que ayuda a crear programas basados en diagramas de bloques los cuales permiten realizar una programación más sencilla, con iconos que permiten el desarrollo aritmético entre una y otra variable con estructuras de ciclos repetitivos, comparativos, permitiendo que el usuario tenga una programación rápida y fácil de comprender. El panel de visualización o panel frontal permite una visualización de todo lo que se está programando generando indicaciones de valores tanto numéricos como graficas que simulan el comportamiento de algún fenómeno programado. (Instruments labVIEW, 2019)

2.7.1.1 *Partes del entorno de programación de LabVIEW.*

En la creación de un nuevo VI o instrumentos virtuales (programas de *LabVIEW*), se activan dos ventanas o partes principales que son el panel frontal y el diagrama de bloques ver tabla 9-2 en el cual parte de las señales llegan hasta la tarjeta de adquisición de datos y son recetados en el entorno de programación en el cual cada señal pasa por operadores aritméticos y estructuras de ciclos repetitivos, comparativos permitiendo que cada señal sea programada y ejecutada de forma rápida y sencilla. Cada sección de trabajo permite la visualización en tiempo real de lo que se está ejecutando accediendo de forma rápida a cada comando y/o configuración, de esta manera se monitoriza y se corrige cada acción de cada señal receptada y emitida.

Tabla 9-2: Partes del entorno de programación LabVIEW.

Partes	Función	Detalle
	Paletas de controles	Contiene los controles e indicadores que usa para crear el panel frontal.

Panel frontal	Controles	Simulan dispositivos de entrada de instrumentos y suministran datos al diagrama de bloques del VI, estos generalmente son: perillas, botones pulsadores, diales, controles deslizantes y cuerdas.
	Indicadores	Simulan los dispositivos de salida del instrumento y muestran los datos que el diagrama de bloques adquiere o genera, suelen ser: gráficos, tablas, LED y cadenas de estado.
Diagrama de bloques	Terminales	Son puertos de entrada y salida que intercambian información entre el panel frontal y el diagrama de bloques.
	Controles, indicadores y constantes	Se comportan como entradas y salidas del algoritmo del diagrama de bloques.
	Nodos de diagramas de bloques	Son objetos en el diagrama de bloques que tienen entradas y/o salidas y realizan operaciones cuando se ejecuta un VI.
	Paleta de funciones	Contiene los VI, funciones y constantes que usa para crear el diagrama de bloques.
	Búsqueda de controles, VI y funciones	Realizar búsquedas basadas en texto para ubicar controles, VI o funciones en las paletas.

Fuente: (NI.com, 2020)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

2.7.1.2 Comunicación TCP/IP en LabVIEW.

TCP/IP corresponde a dos de los protocolos del conjunto de protocolos de Internet, el Protocolo de control de transmisión y el Protocolo de *Internet*. La IP empaqueta datos en componentes llamados datagramas, mismos que contiene los datos y un encabezado que indica las direcciones de origen y destino, es decir, la IP determina la ruta correcta que debe tomar el datagrama a través de la red o *Internet* y envía los datos al destino especificado. TCP por su lado, garantiza una transmisión confiable a través de las redes, entregando datos en secuencia sin errores, pérdidas o duplicaciones. Mediante éste tipo de protocolo TCP/IP, se puede realizar una comunicación a través de redes individuales o redes interconectadas (*Internet*).

En el entorno gráfico de *LabVIEW*, la función TCP/IP se encuentra ubicadas en la paleta de: Funciones/ Comunicación de datos/ Protocolos/ TCP. Al igual que con la comunicación de adquisición de datos, instrumentos y E/S de archivos, el proceso consiste en abrir la conexión,

leer y escribir la información, y finalmente, cerrar la conexión. Con conexiones TCP/IP, una computadora puede funcionar como cliente o como servidor, en la figura 22-2, el diagrama de bloques representa una aplicación cliente que inicia una conexión a un servidor remoto con *TCP Open Connection*.

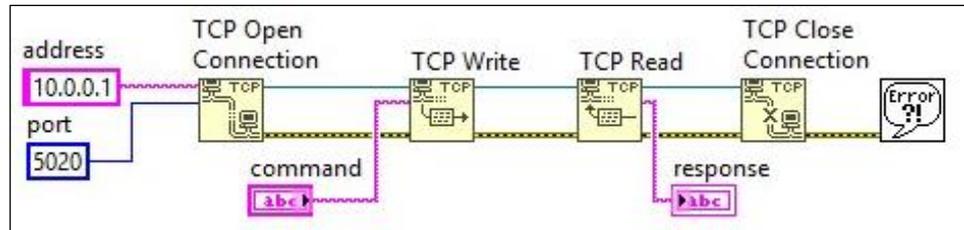


Figura 22-2: Servidor remoto con TCP, *Open Connection* (Labview).

Fuente: (NI.com, 2020)

2.8 Sistema de cableado estructurado.

Es el sistema compuesto por: cables, canalizaciones, conectores, etiquetas, espacios y demás dispositivos que deben ser instalados para establecer una infraestructura de interconexión para los componentes de una red de datos. (BirtLh, 2018)

2.8.1 Medio de transmisión.

El medio de transmisión constituye el soporte físico mediante el emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Pueden ser de dos tipos de medios: guiados y no guiados. Los medios guiados conducen las ondas a través de un camino físico, ejemplos de estos medios son: el cable coaxial, la fibra óptica y el par trenzado. Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen, ejemplo: el aire y el vacío. (Herramientas Web, 2017)

2.8.1.1 Tipos de cables usados en la transmisión de señales.

En la tabla 10-2, se muestra las características de los tipos de cables utilizadas para la transmisión de señal cuando el medio de transmisión es guiado, es decir, utiliza un medio físico.

Tabla 10-2: Tipos de cables usados para la transmisión de señal.

Tipo	Características	Figura
Cable de pares	Velocidad máx. De transmisión: 100 MBps Distancia para amplificadores: - Para señales analógicas: 5 o 6 Km - Para señales digitales: 2 o 3 Km Diámetro de hilos: 0,6 a 1,2 mm	
Coaxial	Velocidad máx. De transmisión: 100 MBps Distancia entre repetidores: 10-100 Km	
Fibra óptica	Velocidad máx. De transmisión: >2 GBPS Distancia entre repetidores: >100 Km	

Fuente: (Telecomunicaciones Sanguña Guevara Fernando Paul, 2010)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

2.9 Método de análisis por elementos finitos (FEM).

El método de análisis por elementos finitos (FEM), consiste en reducir la estructura en una red de elementos geométricos simples, tales como placas o sólidos, a los cuales se les asocia ecuaciones físicas o propiedades magnéticas y térmicas. Al emplear este método, la geometría de la estructura se divide en partes más pequeñas, permitiendo al problema volverse más específico para resolverlo con mayor exactitud, de tal manera que, se pueda identificar áreas de posibles concentraciones de esfuerzos, deformaciones o fatiga que permite la discretización de elementos finitos con comportamientos y propiedades definidas. (FEM, 2014)

2.9.1 Consideraciones (FEM).

En un modelo de elementos finitos (FE) existe un sistema de puntos, denominados "nodos", que dibujan la forma del diseño. A estos nodos se encuentran conectados los propios elementos finitos, que conforman el mallado, mismo contienen las propiedades estructurales y del material del modelo, que permite definir su comportamiento ante denominadas condiciones, para este análisis se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones como la densidad de la malla de elementos finitos puede variar a lo largo del material, en función del cambio anticipado en los niveles de tensión de un área determinada; las regiones que experimentan cambios importantes en la tensión suelen requerir una densidad de malla más elevada que aquellas que experimentan pocas variaciones en la tensión o incluso ninguna. Entre los puntos de interés se encuentran los puntos

de fractura de un material probado previamente, las curvas, las esquinas, los detalles complejos y las áreas de tensión elevada. (FEM, 2014)

2.9.2 *Simulación por el Método de Elementos Finitos.*

Para simular el efecto de los entornos de trabajo del mundo real en el FEA, se pueden aplicar varios tipos de carga al modelo FE, que pueden ser las cargas nodales (fuerzas, momentos, desplazamientos, velocidades, aceleraciones, temperatura y flujo térmico), las cargas elementales (carga distribuida, presión, temperatura y flujo térmico) y las cargas de cuerpo de aceleración de gravedad. FE puede realizar varios tipos de análisis, como: las estadísticas lineales, la estática y la dinámica no lineal, los modos normales, la respuesta dinámica, el pandeo y la transferencia de calor. Entre los resultados habituales, calculados por el *solver*, se encuentran: los desplazamientos nodales, las velocidades y las aceleraciones, así como las fuerzas elementales, las deformaciones y las tensiones. Mediante este método se puede predecir y mejorar tanto el desempeño como la fiabilidad del producto, evaluando los diferentes diseños y materiales, reduciendo los prototipos físicos y optimizar diseños y reducir el uso de materia. (Siemens Industry Software Inc., 2018)

2.9.2.1 *Aplicaciones de Simulaciones mediante elementos finitos.*

- Simulación mediante FEA para análisis de impacto, muro y vehículo liviano.
- Deformación de carrocería del vehículo en impacto lateral median FEA.
- Configuración estructural de un frente de autobús en impacto frontal mediante el FEM.
- Variación de energía cinética con impactador cilíndrico de 25 Kg contra vidrio templado mediante el análisis de elementos finitos.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.

En el presente capítulo se describen un conjunto de criterios que presentan una estrecha relación teórico - metodológico que abarcan el enfoque de estudio y el diseño de la investigación involucrados en el análisis de la problemática de investigación para concluir en la mejor alternativa de solución.

3.1 Tipo o enfoque.

Del estudio del funcionamiento y características del péndulo de impacto, se obtienen valores específicos de las dimensiones del péndulo de manera cuantitativa. Según la matriz de consistencia para conocer el modo de operación del péndulo hace énfasis a la norma UNECE R29, siendo pauta para el diseño del sistema de medición.

El sistema de medición de posición y su implementación se diseña de manera cuantitativa, dado que se requieren valores de magnitudes geométricas, siendo base para la revisión en catálogos y *datasheet* de los instrumentos a utilizar para proceder a dimensionar los elementos mecánicos del sistema de adquisición de datos.

Finalmente, la validación de resultados se lo realizara de manera cuantitativa. Al comparar valores obtenidos por medio de simulación desarrollada mediante el método de elementos finitos basado en múltiples iteraciones, con los valores experimentales de la posición y las energías (potencial y cinética) antes del impacto, obteniendo valores porcentuales de error dentro de rango permitido.

3.2 Diseño.

La presente investigación de tipo técnica presenta un enfoque cuantitativo. Al aplica los instrumentos para la obtención de posición y velocidad del péndulo antes del impacto, se evidencia que ninguna de las variables es modificada durante el ensayo, teniendo un proyecto no experimental debido a que los datos obtenidos mediante el sistema de medición se presentan tal cual cómo se comporta en ese instante el péndulo, de tal manera que se utilizan variables, pero no se realiza ningún experimento.

3.3 Alcance.

El alcance a esta investigación es correlacional, siendo la variable independiente la posición del péndulo según el diseño de la investigación previamente desarrollado. Para obtenerla se relaciona el fenómeno físico, que mediante el sensor es detectado y enviando en forma de pulsos al módulo *ESP-32S* y luego a la *Raspberry Pi3 B+* que se encarga de enviar los datos a la Pc para ser procesados para obtener la posición y las energías (potencial y cinética) antes del impacto.

3.4 Estudio de las especificaciones del sistema.

El sistema de medición en cuestión debe cumplir con funciones específicas identificadas para su diseño, mismas que dependen de los requerimientos por parte del usuario y las investigaciones previas que se realizan, siendo necesario la elaboración de una lista de exigencias, en donde se formula tanto exigencias (E) como deseos (D).

Cabe mencionar que las exigencias son los parámetros que se deben cumplir bajo cualquier circunstancia y los deseos son aspiraciones que se pueden o no cumplir, siendo que no tienen consecuencias contradictorias con los objetivos del diseño.

Tabla 1-3:Lista de exigencias del sistema de medición.

LISTA DE EXIGENCIAS		
Proyecto	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE POSICIÓN DEL PÉNDULO DE PRUEBAS DE IMPACTO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.	
Cliente	GRUPO DE INVESTIGACIÓN GDP DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH)	Elaborado: Allauca Pedro Gualli René
Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
E	Función principal Adquirir y almacenar datos de posición y energías (potencial y cinética).	Allauca Pedro Gualli René
E	Energía Utilización de energía eléctrica. El sistema se alimentará desde una fuente externa de 110V AC- 60 Hz El circuito electrónico trabajará de 0 a 5V DC.	Allauca Pedro Gualli René
E	Señales Indicadores de funcionamiento (visual para encendido y apagado; visual y auditivo al encontrarse el impactador en la posición requerida).	Allauca Pedro Gualli René

E	Hardware El sistema de medición debe realizarse mediante un sensor, un dispositivo u ordenador para adquirir los datos y una Pc para visualizarlos.	Allauca Pedro Gualli René
E	Transmisión de movimiento El movimiento de péndulo debe ser transmitido al sensor en tiempo real, sin afectar su funcionamiento.	Allauca Pedro Gualli René
E	Software El proceso de medición se debe realizar mediante un software accesible, o libre.	Allauca Pedro Gualli René
E	Control Empleo de algoritmo de control secuencial.	Allauca Pedro Gualli René
E	Programación Desarrollo de códigos de programación.	Allauca Pedro Gualli René
E	Comunicaciones Uso de una interfaz amigable e intuitiva con el usuario.	Allauca Pedro Gualli René
E	Seguridad Apagado de emergencia. Indicadores de encendido y apagado.	Allauca Pedro Gualli René
D	Ergonomía El manejo del sistema debe ser orientado en poder brindar comodidad y facilidad de uso al operario.	Allauca Pedro Gualli René
E	Componentes Disponibles en el mercado nacional. Costos reducidos. Funcionales y robustos.	Allauca Pedro Gualli René
E	Montaje El sistema de medición debe ser de fácil montaje e implementación	Allauca Pedro Gualli René

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.5 **Análisis funcional, modular.**

La principal función del sistema de medición de posición del péndulo de pruebas de impacto es permitir al usuario procesar, visualizar y almacenar los datos para estudios posteriores. El sistema requiere de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, que cumplan con funciones específicas para llegar al objetivo que es determinar la posición del péndulo y a su vez las energías (potencial y cinética). Siendo indispensable la elaboración de los diagramas funcionales donde se detalle las sub-funciones del proceso por niveles.

Nivel 0

Mediante el diagrama de flujo que se muestra en la figura 1-3, se describe de forma global la actividad que realizará el sistema de medición al ser implementado en el péndulo para pruebas de

impacto del grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica.

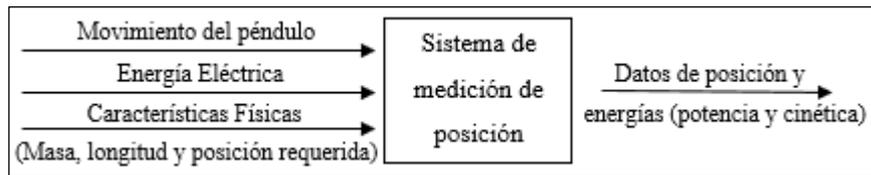


Figura 1-3: Análisis Modular Nivel Cero.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Nivel 1

Este nivel consta de módulos funcionales que permitirá establecer alternativas en el diseño del sistema de medición en cuestión, en la siguiente figura se detalla:

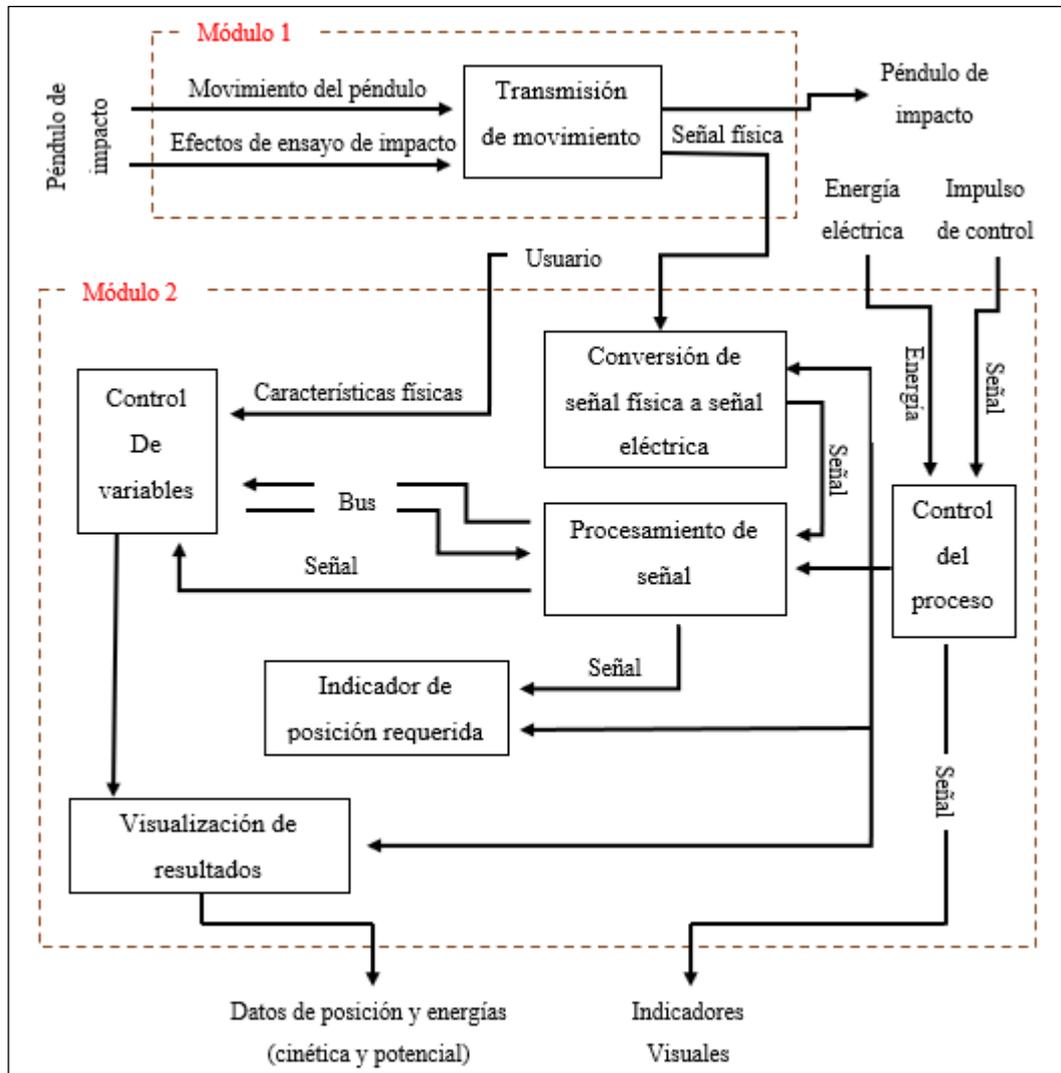


Figura 2-3: Análisis Modular Nivel Uno.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Para el diseño e implementación del sistema de medición en el péndulo de pruebas de impacto, es necesario considerar cada uno de los módulos establecidos en el nivel uno, y estos son:

Módulo 1: Se encarga de la transmisión el movimiento.

Módulo 2: Cumple con las funciones de detecta la señal física, procesamiento de señal, control de variables y visualización de datos.

3.6 Matriz morfológica de las alternativas de solución por módulos.

Para facilidad del diseño en la matriz morfológica se combinan todas las posibles alternativas de elementos y configuraciones de cada uno de los módulos definidos anteriormente, para obtener soluciones que entrarán en el proceso de evaluación mediante el método de ponderación.

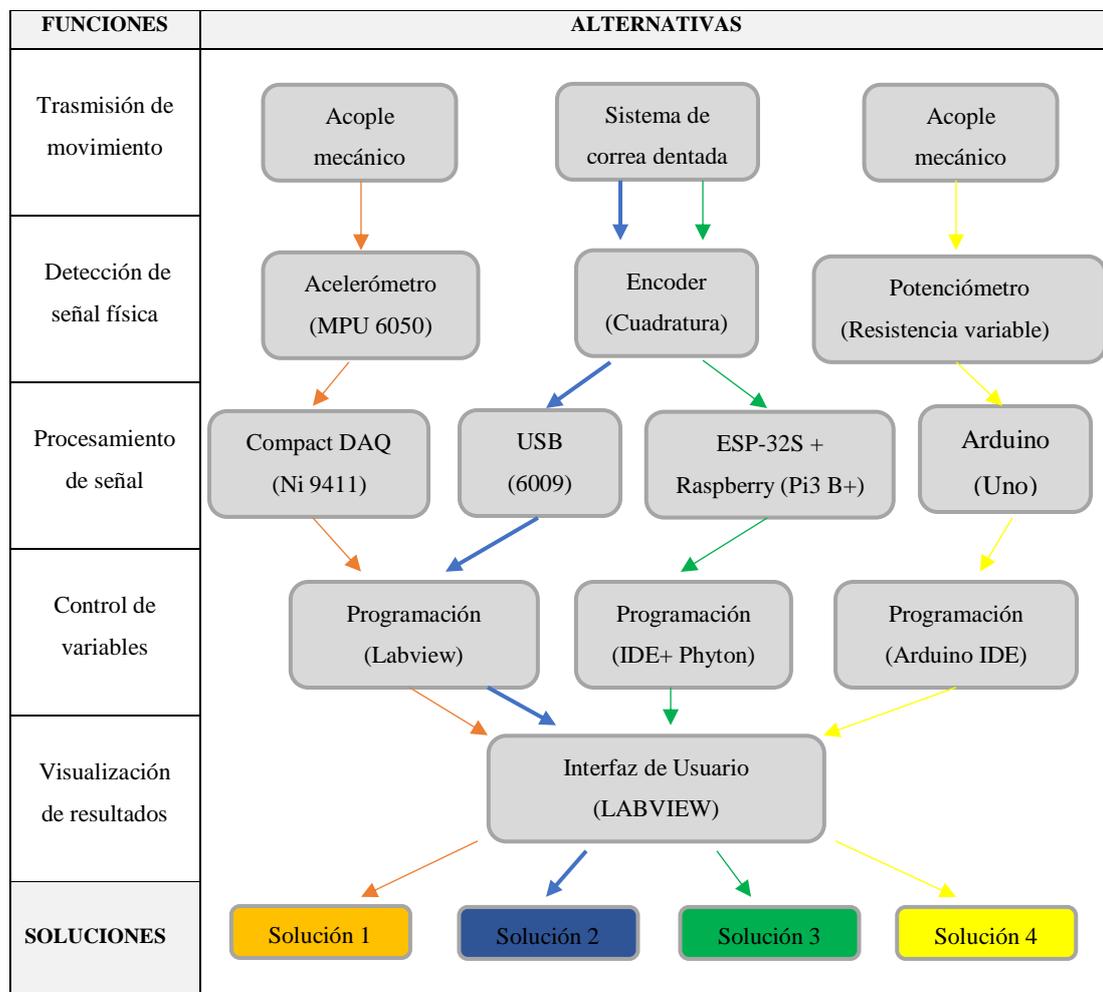


Figura 3-3: Matriz Morfológica de las alternativas de solución por módulo.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.6.1 Soluciones derivadas de la matriz morfológica.

De la matriz morfológica se presentan cuatro posibles soluciones, mismas que se especifican a continuación:

3.6.1.1 Solución 1.

Para esta solución los elementos o componentes involucrados en el sistema de medición son:

- Acople mecánico.
- Acelerómetro-MPU 6050 (sensor).
- *Compact DAQ-NI 9411* (Dispositivo DAQ).
- Programación en el entorno gráfico de *LabVIEW*.
- Interfaz gráfica de usuario del *Software LabVIEW*.

En dependencia de sus componentes este sistema presenta ciertas ventajas y desventajas que de describen a continuación:

Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de la solución 1.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Fácil implementación.- Alta rapidez de procesamiento de datos.- En cuanto al dispositivo DAQ, presenta resistencia a golpes (50g), temperatura de funcionamiento (-40° a 70°C), y frecuencia de actualización es de 500ns.- Es suficiente con una sola programación realizada en <i>LabVIEW</i> para la adquisición de datos.- Siendo el sensor analógico permite obtener cuantos datos se requiera en un intervalo de tiempo.	<ul style="list-style-type: none">- Alto costo.- Baja disponibilidad de sus componentes.- Programación avanzada.- En debe cambiar la ubicación de sensor para ensayos diferentes.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.6.1.2 Solución 2.

Para esta solución los elementos o componentes involucrados en el sistema de medición son:

- Sistema de correa dentada.
- Encoder de cuadratura (sensor).

- Dispositivo *USB 6009* (Dispositivo DAQ).
- Programación en el entorno gráfico de *LabVIEW*.
- Interfaz gráfica de usuario del *Software LabVIEW*.

En dependencia de sus componentes este sistema presenta ciertas ventajas y desventajas que de describen a continuación:

Tabla 3-3: Ventajas y desventajas de la solución 2.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Al diseñar los engranes se puede aumentar o disminuir la resolución del sensor. - Nivel de complejidad de programación media - En sistema permite medir el ángulo desde la posición en que se encuentre el péndulo antes de la ejecución del programa. - Rapidez de procesamiento de datos relativamente alta. - La USB 6009 presenta una frecuencia de muestreo de 48 KS/s en 14bits. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo relativamente alto. - Baja disponibilidad de sus componentes. - Construcción y diseño de engranes para la transmisión de movimiento.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.6.1.3 Solución 3.

Para esta solución los elementos o componentes involucrados en el sistema de medición son:

- Sistema de correa dentada.
- *Encoder* de cuadratura (sensor).
- Módulo *ESP-32S* y placa *Raspberry Pi3 B+* (Placas DAQ).
- Programación en líneas de códigos de *Phyton* e *IDE de Arduino*.
- Interfaz gráfica de usuario del *Software LabVIEW*.

En dependencia de sus componentes este sistema presenta ciertas ventajas y desventajas que de describen a continuación:

Tabla 4-3: Ventajas y desventajas de la solución 3

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Excelente rapidez de procesamiento de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La tarjeta <i>Raspberry Pi3 B+</i> solo permite la lectura de señales digitales.

<ul style="list-style-type: none"> - Fácil comunicación mediante protocolos de comunicación entre la Pc y a <i>Raspberry Pi</i>. - La <i>Raspberry Pi3 B+</i> utiliza procesadores ARM, presenta 4 puertos USB, se puede ejecutar múltiples programas al mismo tiempo y memoria de 1 RAM. - Buena disponibilidad de sus componentes. - Se puede cambiar la resolución del sensor al diseñar los engranes aumentando o disminuye la relación de transmisión. - Mediante el protocolo <i>TCP/IP</i> se puede manipular el sistema de manera inalámbrica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere tareas complejas como instalar librerías. - Costo alto en relación al arduino. - Requiere una programación en IDE, <i>Python</i> y otra en <i>LabVIEW</i>. - Requiere del diseño y construcción de sistema de banda de correa dentada. - El sensor es sensible a golpes bruscos.
---	---

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.6.1.4 Solución 4.

Para esta solución los elementos o componentes involucrados en el sistema de medición son:

- Acople mecánico.
- Potenciómetro de resistencia variable (sensor).
- Tarjeta Arduino UNO (Placa DAQ).
- Programación en el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino.
- Interfaz gráfica de usuario del *Software LabVIEW*.

En dependencia de sus componentes este sistema presenta ciertas ventajas y desventajas que de describen a continuación:

Tabla 5-3: Ventajas y desventajas de la solución 4.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Costo relativamente bajo. - Alta disponibilidad de sus componentes. - En cuanto al arduino, permite procesar datos analógicos y digitales. - La comunicación serial entre el Arduino y <i>LabVIEW</i> es sencilla de realizarlo. - Información amplia de componentes y programación. 	<ul style="list-style-type: none"> - La durabilidad del potenciómetro es baja, debido al desgates interno de sus componentes. - Menor rapidez de procesamiento de datos en relación a las soluciones 1, 2 y 3 al utilizar un arduino. - Solo presenta un puerto <i>USB Type-B</i>. - Es necesario el diseño y construcción de acople para el sensor.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.7 Evaluación de soluciones mediante el método ordinario de ponderación.

Tras evaluar las ventajas y desventajas de cada una de las soluciones, los criterios que se considerará para la evaluación de soluciones mediante el método de ponderación, son:

- Costo de componentes.
- Rapidez de procesamiento – adquisición.
- Disponibilidad de los componentes en el mercado.
- Complejidad.
- Robustez.
- Nivel de automatización.

En la tabla 6-3, como diseñador se establece el grado de importancia de cada uno de los criterios de evaluación considerando una escala de puntuación del 1 al 4, de tal modo que: 1: Muy importante, 2: Importante, 3: Poco importante, y 4: Nada Importante.

Tabla 6-3: Grado de importancia de los criterios de evaluación.

Valor	Criterios
1	Costo de componentes
2	Rapidez de procesamiento adquisición
1	Disponibilidad de componentes en el mercado
2	Complejidad
3	Robustez
3	Nivel de automatización

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Para evaluar el peso específico, se debe analizar y comparar cada criterio con su grado de importancia, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Cuando el criterio de la fila > criterio de la columna (1)
- Cuando el criterio de la fila < criterio de la columna (0)
- Cuando el criterio de la fila = criterio de la columna (0,5)

De tal modo que, en la siguiente tabla se evalúa el peso específico de los criterios de evaluación.

Tabla 7-3: Peso específico de los criterios de evaluación.

Criterio	Costo de componentes	Rapidez de procesamiento	Disponibilidad componentes	Complejidad	Robustez	Nivel de automatización	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo de componentes		1	0,5	1	1	1	5,5	0,26
Rapidez de procesamiento	0		0	0,5	1	1	3,5	0,17
Disponibilidad componentes	0,5	1		1	1	1	5,5	0,26
Complejidad	0	0,5	0		1	1	3,5	0,17
Robustez	0	0	0	0		0,5	1,5	0,07
Nivel de automatización	0	0	0	0	0,5		1,5	0,07
TOTAL							21	1

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Posteriormente se designa un valor de importancia para todas las soluciones con respecto a cada uno de los criterios de evaluación, como se detalla a continuación:

Tabla 8-3: Grado de importancia de las soluciones con respecto a los criterios.

	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Costo de componentes	1	1	1	1
Rapidez de procesamiento de adquisición	2	2	2	2
Disponibilidad de componentes en el mercado	2	2	2	2
Complejidad	2	2	1	3
Robustez	3	3	1	2
Nivel de automatización	3	3	3	3

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Así también, se analiza los pesos específicos de todas las soluciones con respecto a cada uno de los criterios de evaluación:

- Evaluación del peso específico del criterio “Costo de componentes”.

Tabla 9-3: Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Costo de los componentes”

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Solución 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25

TOTAL	10	1
--------------	----	---

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

- Evaluación el peso específico del criterio “Rapidez de procesamiento de adquisición”.

Tabla 10-3: Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Rapidez de procesamiento”

Rapidez	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Solución 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
TOTAL					10	1

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

- Evaluación el peso específico de “Disponibilidad de los componentes en el mercado”.

Tabla 11-3: Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Disponibilidad de componentes”

Disponibilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	0,5	1	0,1
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2	0,20
Solución 3	0,5	0,5		0,5	3,5	0,35
Solución 4	0,5	0,5	0,5		3,5	0,35
TOTAL					10	1

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

- Evaluación el peso específico del criterio “Complejidad”.

Tabla 12-3: Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Complejidad”

Complejidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	1	2,5	0,25
Solución 2	0,5		0	1	2,5	0,25
Solución 3	1	1		1	4	0,40
Solución 4	0	0	0		1	0,10
TOTAL					10	1

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

- Evaluación el peso específico del criterio “Robustez”.

Tabla 13-3: Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Robustez”

Robustez	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	0	1,5	0,15
Solución 2	0,5		0	0	1,5	0,15
Solución 3	1	1		1	4	0,4
Solución 4	1	1	0		3	0,3
TOTAL					10	1

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

- Evaluación el peso específico del criterio “Robustez”.

Tabla 14-3: Evaluación de soluciones con respecto al criterio “Nivel de automatización”

Automatización	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Solución 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
TOTAL					10	1

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Finalmente, se obtiene los resultados alojados por el método ordinario de ponderación. Cabe mencionar que en la tabla 15-3, cada celda es igual al producto entre el peso específico de la solución y el peso específico del criterio.

Tabla 15-3: Resultados de las posibles soluciones

Resultado	Costo de componentes	Rapidez de procesamiento	Disponibilidad componentes	Complejidad	Robustez	Nivel de automatización	Σ	Prioridad
Solución 1	0,065	0,042	0,026	0,042	0,011	0,017	0,203	4
Solución 2	0,065	0,042	0,052	0,042	0,011	0,017	0,229	3
Solución 3	0,065	0,042	0,091	0,068	0,028	0,017	0,311	1
Solución 4	0,065	0,042	0,091	0,017	0,021	0,017	0,253	2

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.8 Descripción del proceso de implementación.

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, detallados en la tabla 15-3, la solución más viable que se ajusta a los criterios de evaluación es la “Solución 3”. De modo que, el sistema de medición constará de un sistema de correa dentada para la transmisión de movimiento angular del eje del péndulo al sensor (encoder de cuadratura), encargado de detectar la señal física y convertirla a señal eléctrica en forma de pulsos, que serán leídos por la placa *ESP-32S* para luego ser procesados mediante un miniordenador *Raspberry Pi3 B+*.

Para el control de variables, se empezará con la lectura de pulsos mediante líneas de códigos IDE grabados en la placa *ESP-32S*, para luego transferirlos mediante comunicación serial a la

Raspberry Pi3 B+, en donde, se relacionará los pulsos con la posición angular del impactador y se enviará los datos mediante comunicación TCP/IP a la PC utilizando líneas de código en *Phyton*. Para la obtención de resultados se realizará la programación en el entorno gráfico de *LabVIEW* relacionando los pulsos con la masa del impactador, longitud del péndulo y la posición requerida como datos de entrada ingresados manualmente por el usuario.

Finalmente, para la visualización de resultados se utilizará la interfaz de usuario de *LabVIEW*, que permitirá visualizar y almacenar los datos adquiridos.

3.9 Diagrama de proceso para la implementación del sistema de medición.

Para la implementación del sistema de medición de posición del péndulo para pruebas de impacto, se realiza un diagrama de procesos centrados en definir las actividades a realizarse para llegar al objetivo, ver tabla 17-3. El diagrama se lo realiza en base a la simbología de diagramas de flujo de procesos establecidos por la norma ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) enfocada en generar códigos de diseño. Los símbolos básicos utilizados se presentan en la siguiente tabla 16-3.

Tabla 16-3: Símbolos de diagramas de procesos según la norma ASME

SÍMBOLOS DE LA NORMA ASME		
SÍMBOLO	REPRESENTA	SIGNIFICADO
	Operación	Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento
	Inspección:	Verifica la calidad y/o la cantidad de algo.
	Desplazamiento o transporte	Indica el movimiento de los empleados, material y equipo de un lugar a otro.
	Depósito provisional o espera	Indica demoras en el desarrollo de los hechos
	Almacenamiento	Indica el depósito de un documento o de un objeto cualquiera.

Fuente: (Diagramas de flujo, 2017)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Tabla 17-3: Diagrama de procesos para la elaboración del sistema de medición.

SISTEMA DE MEDICIÓN DE POSICIÓN DEL PÉNDULO PARA PRUEBAS DE IMPACTO								
DIAGRAMA DE PROCESOS								
Descripción	Cantidad (Personal)	Tiempo (h)	Símbolo					Sugerencias
			○	□	D	➔	▽	
TOMA DE DATOS EN CAMPO - PÉNDULO DE IMPACTO	2	3	●					Utilizar el equipo de protección personal
CÁLCULOS DE DISEÑO MECÁNICO	2	4	●					Verificar cálculos
CAD DEL SISTEMA MECÁNICO	2	5	●					Utilizar el Código de Dibujo Técnico -Mecánico
PEDIDO Y COMPRA DE LOS COMPONENTES PARA EL SISTEMA	2	336	●					Cotizar precios
COMPRA DE LA MATERIA PRIMA	2	4	●					Verificar la calidad del material
ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA Y COMPONENTES	2	0,5					●	Almacenar en un lugar seco
TRASLADO MATERIA PRIMA-TALLER	2	1					●	Llevar en forma segura
CONSTRUCCIÓN DE LA BASE SOPORTE	2	5	●					Uso de EPP y máquinas herramientas adecuadas
CONSTRUCCIÓN DE CAMISA- TRASMISIÓN DE MOVIMIENTO	2	5	●					Uso de EPP y máquinas herramientas adecuadas
CONSTRUCCIÓN ENGRANE DENTADO DE DIAMETRO MAYOR	2	5	●					Uso de EPP y máquinas herramientas adecuadas
VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES	2	0,5					●	Utilizar instrumentación adecuada
CÁLCULOS PARA EL CIRCUITO ELECTRÓNICO	2	3	●					Verificar cálculos
ELABORACIÓN DEL PLANO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	2	6	●					Usar la normativa correspondiente
ELABORACIÓN DE LA PLACA IMPRESA PARA EL CIRCUITO	2	4	●					Verificar continuidad de canales
TRASLADO DE LOS COMPONENTES AL LABORATORIO	2	1					●	Llevar en forma segura
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AL PÉNDULO	2	16	●					Uso de EPP y máquinas herramientas adecuadas
DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE FLUJO (EMISIÓN DE DATOS)	2	5	●					Centrarce en el objetivo principal y tener el conocimiento del funcionamiento y operación de los componentes electrónicos
PROGRAMACIÓN EN IDE DE ARDUINO	2	8	●					
PROGRAMACIÓN EN PHYTON	2	16	●					
PROGRAMACIÓN LABVIEW	2	16	●					
OTROS	2	8					●	Ninguno
CALIBRACIÓN	2	8					●	Ninguno
OPERACIÓN	2	2	●					Manejo adecuado

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

3.10 Esquema de montaje.

Determinada la mejor alternativa de solución que cumple con las exigencias del sistema, el esquema general en el que se muestra la ubicación de los componentes principales involucrados en el sistema se presenta a continuación, ver figura. 4-3:

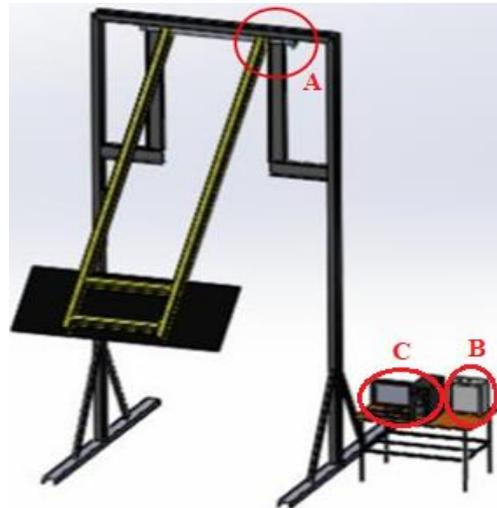


Figura 4-3: Esquema general del sistema

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Donde:

- A) Sistema mecánico: Transmite el movimiento angular del eje del péndulo al sensor.
- B) Caja eléctrica: Protege a los componentes eléctricos y electrónicos del sistema.
- C) Pc: Controla, almacena y muestra los datos al relacionar las señales y variables de entrada mediante software IDE de Arduino, *Phyton* y *LabVIEW*.

3.11 Materiales utilizados.

Los materiales utilizados en el sistema de medición y adquisición de datos, se presentan en la tabla 18-3, en la que se detallan sus características principales.

Tabla 18-3: Materiales utilizados en el sistema de medición y adquisición de datos.

Sistemas	Materiales	Características
	Ejes de Acero A36 	Dimensiones: Diámetro: 2 ½ in Longitud: 50 mm Diámetro: ½ in Longitud: 150 mm

S I S T E M A M E C Á N I C O

<p>Correa GT2-6mm</p> 	<p>Altura de correa: 1.38 mm Altura de diente: 0.75 mm GT2 paso: 2mm Material: Goma con refuerzo interior de fibra de vidrio</p>
<p>Piñón GT2 20 dientes</p> 	<p>N. de dientes: 20 Diámetro exterior comercial: 12 mm D. Agujero del eje: 6 mm Material: Aluminio</p>
<p>Plancha Acero Inoxidable</p> 	<p>Dimensiones: 200x350 mm Espesor: 2 mm Acero Inoxidable 304</p>
<p>Empaques de Caucho</p> 	<p>Elástico Absorbe Vibraciones No se ablanda por el calor No es adhesivo</p>
<p>Prisioneros</p> 	<p>Dimensiones: 3/8" x 1/2" M5 x 0.25</p>
<p>Rodelas</p> 	<p>Dimensiones: Diámetro exterior: 8 mm Diámetro interior: 5mm</p>
<p>Pernos</p> 	<p>Dimensiones: M3.5 Cabeza: redonda Ajuste mediante destornillador estrella</p>
<p>Encoder Incremental Omron E6B2-CWZ3E</p> 	<p>Voltaje: 5 V Corrientes Max: 100mA Frecuencia: 100kHz Velocidad de Giro: 6000 rev/min Temperatura: -10° a 70° C Humedad: 35 a 85% RH Carga del eje: Radial: 30N - Axial: 20N Resolución 1000 pulsos/Rev</p>

<p>Raspberry Pi3 B+</p> 	<p>Puertos USB 2.0 Entrada de alimentación de 5 V / 2,5 A CC Cabecera GPIO extendida de 40 pines Memoria RAM: 1 GB HDMI de tamaño completo Bluetooth 4.2</p>
<p>Resistencias</p> 	<p>Cantidad: 6 resistencias de tipo cerámico Resistencia: 150Ω</p>
<p>Transistor 2N3904</p> 	<p>Transistor bipolar NPN Voltaje de ruptura Colector-Emisor:40 V Corriente máxima de colector:200 mA</p>
<p>Diodo 1N4001</p> 	<p>Empaquetado: DO-41 Capacidad de corriente: 1A Voltaje de reverso máximo: 50 V</p>
<p>Cable Ethernet <i>U/UTP CAT.5e</i> 24AWG/4P CM</p> 	<p>Aislamiento: PEAD Transmisión max:100 MHz Conductor: 100% cobre Pares de 24 AWG Resistencia conductor: 9,38Ω/100m</p>
<p>Adaptador YDT-AC-005</p> 	<p>Entrada: 110-240 VAC Frecuencia: 50/60 Hz Salida: 5V- 3 Amperios. AC a DC</p>
<p>Node MCU ESP-32S v1.1 101010</p> 	<p>Alimentación: 5 V DC Entradas/Salidas: 3.3V DC Frecuencia de reloj: 240 MHz Modo dual con Bluetooth.</p>
<p>Memoria 32GB – San Disk</p> 	<p>Temperatura Operativa: -25°C a 85°C Temperatura Almacenamiento: -40°C a 85°C Transferencia de Datos Min: 32MB/s Clase 10</p>
<p>Placa Fenólica</p> 	<p>Placa fenólica Dimensiones: 10 x 10 cm Revestimiento: cobre</p>

S I S T E M A	<p>Ácido Férrico</p> 	<p>Ácido Férrico: solución 500 ml</p> <p>Ataca químicamente al cobre</p> <p>Color café oscuro</p> <p>Gas no inflamable</p> <p>Peligro de Toxicidad</p>
	<p>Borneras de sujeción</p> 	<p>6 Borneras de sujeción a placa impresa</p> <p>Servicios por bornera</p> <p>Capacidad: 6 amperios máx.</p> <p>Aislamiento: PVC</p>
	<p>Alambre de estaño para soldar</p> 	<p>Cable de alambre de estaño para soldar</p> <p>Composición: 63 Estaño y 37% Plomo</p> <p>1 rollo de 3 metros</p>
	<p>Cautín para soldar</p> 	<p>Cautín de soldar</p> <p>Tensión de entrada 120 v</p> <p>Potencia 40 w</p> <p>Revestida con protección en punta</p>
	<p>Módulo relé con conmutación dividida de 5v/120v</p> 	<p>Módulo Relé con conmutación dividida</p> <p>Circuito de mando: 5 V</p> <p>Circuito de potencia: 120/110 v</p> <p>Dimensiones: 5 x 2 x 1 cm</p>
	<p>Buzzer</p> 	<p>Buzzer de zumbido</p> <p>Tensión de operación: 5 V</p> <p>Capacidad de corriente: 25 mA</p> <p>Sonido: hasta 90 db</p>
<p>Caja de tablero eléctrico de control</p> 	<p>Marca: BEAUCOUP</p> <p>Dimensiones: 25x25x 10 cm</p> <p>Acero: galvanizado</p>	
<p>Luz piloto CNC</p> 	<p>Luz Piloto CNC</p> <p>Rango de operación: 120 - 220 v</p> <p>Indicador, Color rojo</p>	
<p>Interruptor Camsco</p> 	<p>Interruptor Anclado: On/Off</p> <p>Tensión de trabajo: 120 – 220 V</p>	

S I S T E M A E L É C T R I C O	Riel de soporte de acero galvanizado 	Riel en acero galvanizado Dimensiones: 3 x 0.2 x 100 cm
	Foco indicador 	Baliza Luminosa Tensión de trabajo: 110 V Tipo: LTE-5104 R Luz: Roja
	Tomacorriente 	Tomacorriente de 2 servicios Dimensiones: 3.5 x 10 x 2,5 cm Tensión de trabajo: 110 v Capacidad: 10 Amperios
	Enchufes industriales 	Enchufes industriales Tensión: 110 v Capacidad: 12 Amperios Conexión: Fase, neutro y tierra
	Cable gemelo 	Tipo de Cable: gemelo Calibre: 2/16 Color: blanco Marca: INCABLE
	Cable (Fase) 	Tipo de Cable: Flexible Calibre: 16 Color: Rojo Marca: INCABLE
	Cable blanco (Neutro) 	Tipo de Cable: Flexible Calibre: 16 Color: Blanco Marca: INCABLE
	Tiras sujeta cables 	Sujeta cables Material : Nylon

Elaborado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.12 Máquinas y equipos para la construcción de componentes del sistema de medición.

Las máquinas y equipos utilizados para la elaboración del sistema mecánico de medición se presentan a continuación, en la tabla 19-3:

Tabla 19-3: Máquinas y Equipos.

Designación	Máquinas y Equipos	Características
M1	Fresadora Serie: J32165 Marca: Bridgeport	Rango de velocidad: 80-2720 rpm Volts: 220-440 V Potencia:1 HP
M2	Torno Serie:0073 Marca: LABOR - TPF 210	Distancia entre puntos:1500 mm Diámetro Máximo:180 mm
M3	Amoladora Modelo: DWE 4120 Marca: DEWALT	Velocidad:12000 RPM Potencia:900 W Voltaje:110 V Diámetro de disco: 4 ½ in
M4	Soldadora Marca: CENTURY Modelo: BX1-3250BK	Voltaje:110 Amperaje:70-250 A
M5	Tronzadora Modelo: D28720-B3 Serie:199239	Potencia:2200 W Velocidad:3800 RPM Voltaje:120 V D. Max. de Disco:14 in
M6	Esmeril Marca: BP	Potencia:550 W Velocidad:3450 RPM Frecuencia:60 Hz Voltaje:110/220 V

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.13 Herramientas utilizadas durante el proceso de implementación.

Dentro del proceso de implementación y elaboración del sistema de medición, se utilizaron herramientas mismas que se presentan a continuación en la tabla 20-3.

Tabla 20-3: Herramientas utilizadas.

Designación	Herramienta	Características
H1	Calibrador	Capacidad:150mm Tipo: Pie de Rey Marca: STANLEY
H2	Destornillador	Tipo: Estrella Marca: STANLEY

H3	Limas	Tipo: Plana Marca: STANLEY
H4	Flexómetro	Capacidad:5m Marca: WOOD
H5	Juego de llaves	Tipo: Hexagonales Marca: STANLEY
H6	Brocas	Juego de brocas Marca: DORMER HSS
H7	Cuchillas	Tipo: Interiores, refrentar y cilindrar Marca: DRESS
H8	Rayador	Tipo: Punta Material: Acero
H9	Martillo	Marca: Bellota Material: Mixto (madera- acero)
H10	Pico de loro	Marca: HEAVY DUTY Capacidad: 300mm
H11	Disco de corte	Velocidad:4300 rpm Marca: NORTON- BNA32
H12	Disco de pulir	Velocidad:4300 rpm Marca: NORTHWEST
H13	Entenalla	Tipo: Manual Marca: STANLEY

Fuente: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.14 Sistema mecánico de transmisión de movimiento angular.

Para la transmisión de movimiento angular del péndulo al sensor se realizará un sistema mecánico que consta de dos engranes y una correa dentada, siendo la correa dentada un elemento capaz de absorber las vibraciones generadas en los ensayos en el instante de la colisión, cuidando la vida útil del sensor.

Aprovechando este sistema, mediante la adaptación de una polea de diámetro mayor conectada al eje del péndulo por medio de una camisa de acople con relación a una polea de diámetro menor conectada al eje de sensor (encoder) con una relación de transmisión de 3,6 se logra obtener por cada pulso 0,1 grados, mejorando de esta manera la precisión del encoder con respecto a la posición angular por pulso, ya que en un inicio según la datasheet del sensor se tiene una resolución de 1000 pulsos por revolución, es decir, por cada pulso del encoder se tenía 0,36 grados.

En la figura. 5-3, se muestra el diseño del sistema de poleas con banda dentada, compuesta por: la camisa de acople entre el eje del péndulo y el engrane de mayor diámetro (impresión 3D); la banda dentada, la base INOX de soporte, el sensor encoder de cuadratura y los empaques de caucho para amortiguar vibraciones.

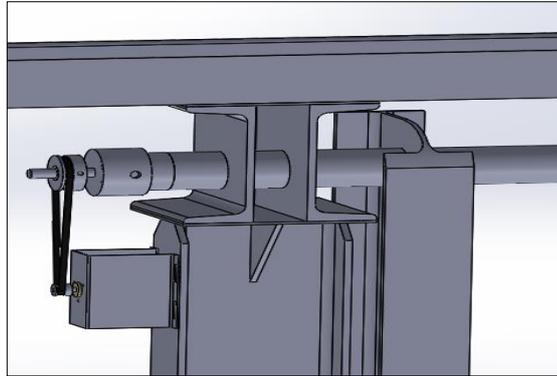


Figura 5-3: Diseño del Sistema de transmisión mediante correa dentada.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.14.1 *Diseño del engrane de mayor diámetro según la relación de transmisión.*

- Engrane de diámetro menor.

Datos:

$$z = 20 \text{ dientes}$$

$$D_{comercial} = 12 \text{ mm}$$

$$d_{agujero eje} = 6 \text{ mm}$$

$$n_1 = 3,6 \text{ vueltas}$$



Figura 6-3: Engrane GT2-2mm.

Fuente: (SanDoRobotics, 2019)

- Engrane de diámetro Mayor.

Datos:

$$n_2 = 1 \text{ vuelta}$$

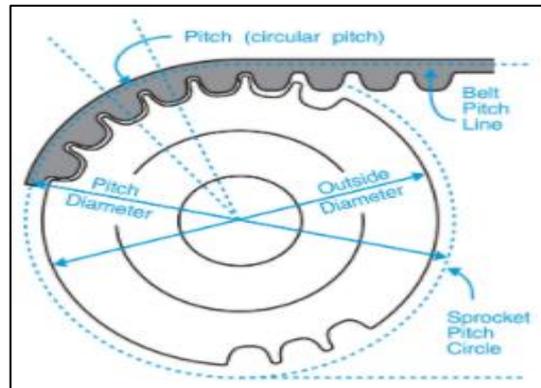


Figura 7-3: Partes de engrane de transmisión con correa dentada.

Fuente: (Industries, 2021)

Cálculos del número para el número de dientes:

Relación de transmisión

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (11)$$

$$i = \frac{3,6}{1}$$

$$i = 3,6$$

Número de dientes

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (12)$$

$$z_1 \cdot i = z_2$$

$$z_2 = 20(3,6)$$

$$z_2 = 72 \text{ Dientes}$$

Con el número de dientes obtenidos, seleccionamos del catálogo de engranes *PowerGrip GT2* el engrane GT2 de 72 dientes, cuyos diámetros primitivo y exterior se muestran en la tabla 21-3.

Tabla 21-3: Catálogo de engranes PowerGrip GT2-2mm.

2mm - PowerGrip GT2									
Number of Teeth	Inches (in)		Metric (mm)		Number of Teeth	Inches (in)		Metric (mm)	
	Pitch Diameter (PD)	Outside Diameter (O.D.)	Pitch Diameter (PD)	Outside Diameter (O.D.)		Pitch Diameter (PD)	Outside Diameter (O.D.)	Pitch Diameter (PD)	Outside Diameter (O.D.)
30 teeth	0.752"	0.732"	19.10mm	18.59mm	70 teeth	1.754"	1.734"	44.56mm	44.06mm
31 teeth	0.777"	0.757"	19.74mm	19.23mm	71 teeth	1.780"	1.760"	45.20mm	44.69mm
32 teeth	0.802"	0.782"	20.37mm	19.86mm	72 teeth	1.805"	1.785"	45.84mm	45.33mm
33 teeth	0.827"	0.807"	21.01mm	20.50mm	73 teeth	1.830"	1.810"	46.47mm	45.97mm

Fuente: (Industries, 2021)

3.14.1.1 *Material seleccionado para la construcción.*

Considerando que los esfuerzos que actúan sobre el engrane son mínimos, el engrane mayor se construirá mediante impresión 3D, con material *Ácido Poli láctico* conocido como PLA, cuyas propiedades se presenta en la tabla 22-3:

Tabla 22-3: Propiedades del material PLA.

PROPIEDADES GENERALES		
Densidad	1,25	g/cm ³
Módulo de elasticidad	3,50	GPa
Elongación a la rotura	6,00	%
Módulo de Flexión	4,00	GPa
Resistencia a la flexión	80,00	MPa
Módulo de Corte	2,40	GPa
Relación Fuerza - Peso	40,00	kN-m/kg
Resistencia a la tracción	50,00	MPa

Fuente: (Make It From, 2017)

Elaborado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.14.1.2 *Procedimiento de construcción.*

La construcción del engrane mayor, se realizó mediante el procedimiento que se muestra a continuación:

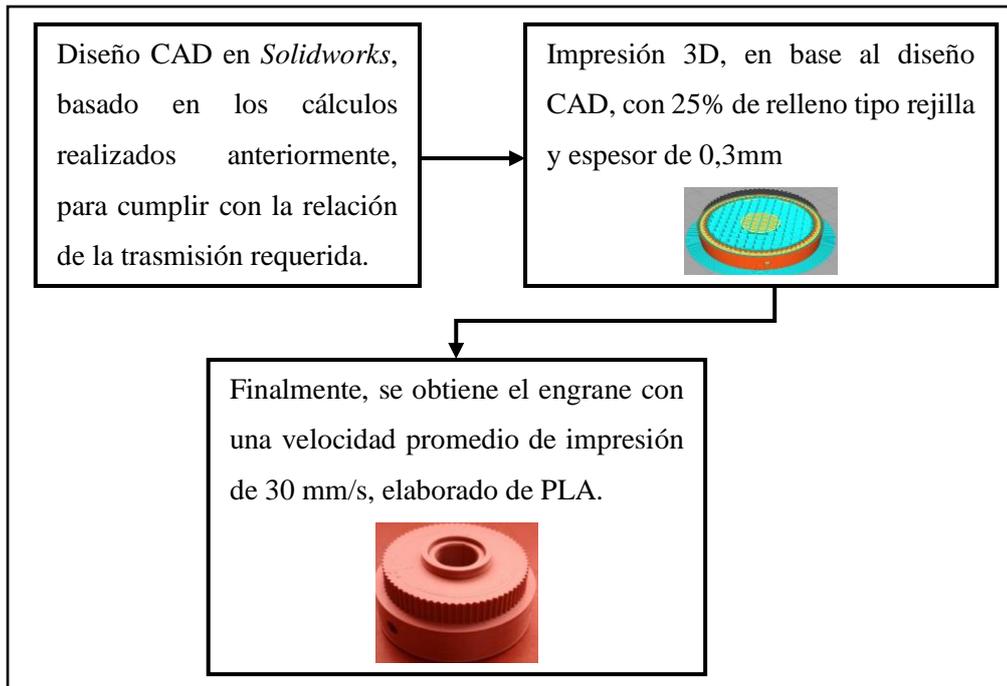


Figura 8-3: Procedimiento para la construcción del engrane de mayor diámetro.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.14.2 Selección de la correa de transmisión.

Para la transmisión de movimiento del engrane mayor hacia el menor, se selecciona una correa dentada GT2 - 2mm, ver figura 9-3, compuesta por neopreno, con recubrimiento de *Nylon* y cuerdas de fibra de vidrio que actúa como refuerzo. *Neopreno* es la marca comercial de DuPont para una familia de cauchos sintéticos basadas en el *policloropreno* (polímero del cloropreno).

TYPE	P	R ₁	R ₂	R ₃	b	H	h	i	PLD
2GT	2	0.15	1.00	0.555	0.40	1.38	0.75	0.63	0.254
3GT	3	0.25	1.52	0.85	0.61	2.40	1.14	1.26	0.381

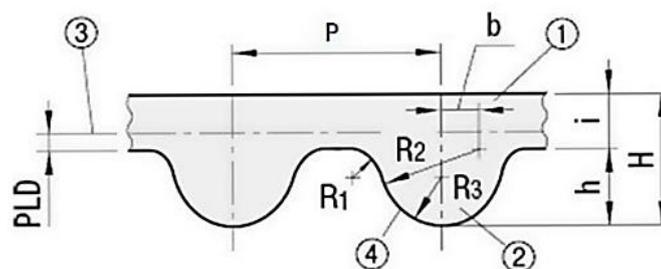


Figura 9-3: Dimensiones de la correa dentada GT2-2mm.

Fuente: (NATYTEC, 2019)

La correa dentada GT2-2mm, presenta las siguientes propiedades de trabajo, tabla 23-3:

Tabla 23-3: Propiedades de la correa dentada GT2-2mm.

Propiedades	Valor
Temperatura de trabajo	-34 °C a +85 °C
Punto de quiebre	516 N
Tensión de trabajo	27 N

Fuente: (Open Builds México, 2014)

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.14.2.1 Longitud de la correa.

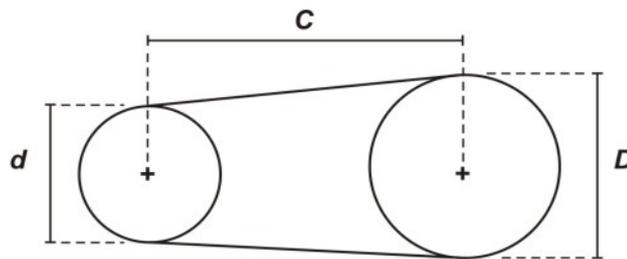


Figura 10-3: Esquema de su sistema de transmisión por correa.

Fuente: (Labordeboy, 2010)

La ecuación utilizada para determinar la longitud de correa, es:

$$L = 2 \cdot C + 1,57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4 \cdot C} \quad (13)$$

Donde:

L : Longitud de la correa (mm)

C : Distancia entre centros (eje) (mm)

1,57: Constante de cálculo

D : Diámetro primitivo de la polea mayor (mm)

d : Diámetro primitivo de la polea menor (mm)

Cálculo:

$$L = 2(198) + 1,57(45,84 + 12,73) + \frac{(45,84 - 12,73)^2}{4(198)}$$

$$L = 489,34 \approx 490 \text{ mm}$$

3.14.2.2 Longitud libre de la correa dentada (Tensada).

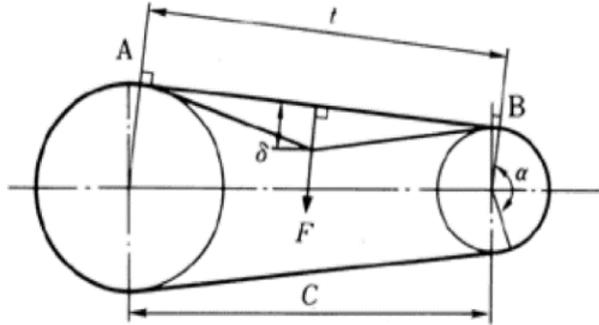


Figura 11-3: Esquema deformación de la correa.

Fuente: (Expoimsa, 2020)

La ecuación utilizada para determinar la longitud libre de la correa, es:

$$t = \sqrt{C^2 + \frac{(D-d)^2}{4.C}} \quad (14)$$

Donde:

t : Longitud libre de la correa (mm)

C : Distancia entre centros (mm)

D : Diámetro primitivo de la polea mayor (mm)

d : Diámetro primitivo de la polea menor (mm)

Cálculo de la longitud de la correa dentada:

$$t = \sqrt{198^2 + \frac{(45,84 - 12,73)^2}{4(198)}}$$

$$t = 198 \text{ mm}$$

3.14.3 Base Soporte para el acoplamiento del sensor de posición.

La base-soporte tiene la finalidad de sujetar al sensor de posición y tensar la correa dentada de transmisión.

3.14.3.1 Material seleccionado para la construcción.

El material seleccionado para la construcción de la base soporte para el sensor es el acero inoxidable 304, aleado al cromo y níquel. Este material presenta una gran resistencia a la corrosión inter-granular en fuentes del agua, ácidos, soluciones alcalinas y ataques químicos del medio ambiente. (DIPAC, 2016), características que favorecen para la conservación del sensor.

Hablando químicamente, el acero inoxidable 304, está compuesto por: 18% de cromo y 8% de níquel y de 0,08% de carbono máximo. En la tabla 24-3, se detallan la composición química de todos sus componentes.

Tabla 24-3: Composición química del acero inoxidable 304.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 – 10,5	18 – 20	XX	XX

Fuente: (DIPAC, 2016)

Sabiendo que la base-soporte para el sensor de posición está sujeta a esfuerzos mínimos, el acero Inoxidable 304 por sus propiedades mecánicas detalladas en la *Tabla 25-3*, es el adecuado para esta aplicación.

Tabla 25-3: Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg / mm ²	Psi	Kg / mm ²	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

Fuente: (DIPAC, 2016)

3.14.3.2 Procedimiento de construcción.

La construcción de la base-soporte para el sensor de posición, se realizó mediante el siguiente procedimiento:

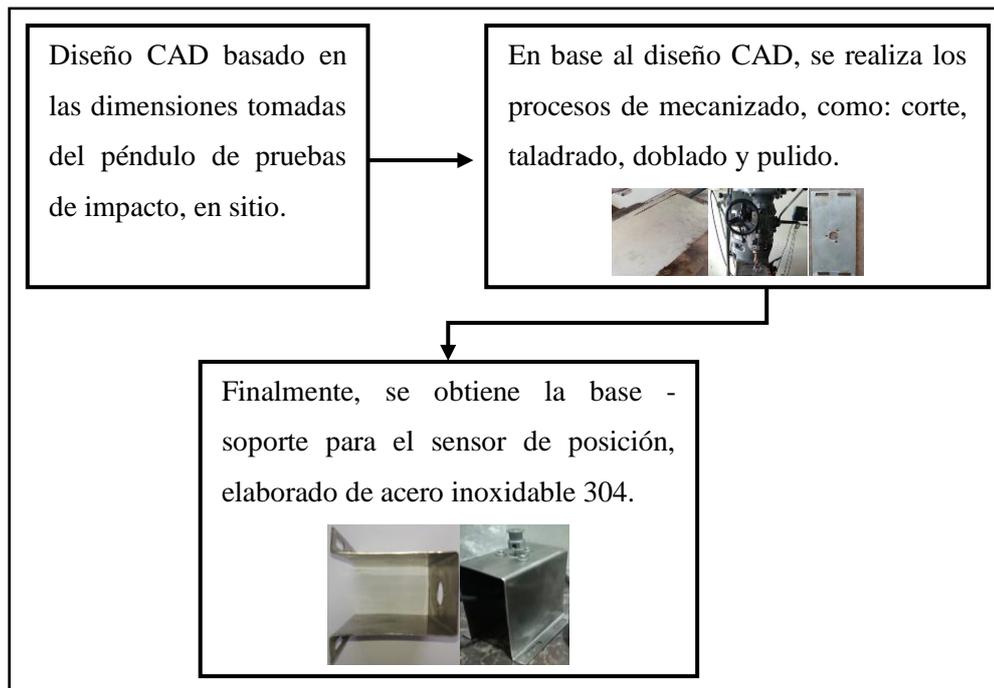


Figura 12-3: Procedimiento para la construcción de la base- soporte del encoder.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.14.4 *Camisa de acople (eje péndulo – engrane de diámetro mayor).*

La camisa de acople (eje péndulo – engrane de diámetro mayor), tiene la finalidad de transmitir el desplazamiento angular del eje del péndulo al engrane mayor, para posteriormente mediante la correa dentada transmitir dicho desplazamiento al engrane menor.

3.14.4.1 *Material seleccionado para la construcción*

Debido a que la camisa no está sometida a esfuerzos considerables y cuya función es simplemente transmitir el movimiento del eje del péndulo a la engrane mayor; y mediante el sistema de correa dentada, al sensor de posición. Se selecciona para la construcción de la camisa el acero 1018, que es un acero de bajo contenido de carbono e ideal para aplicaciones con cargas mecánicas no severas. Las propiedades mecánicas de este acero comercial se presentan, en la tabla 26-3:

Tabla 26-3: Propiedades mecánicas del acero 1018.

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

Fuente: (DIPAC, 2016)

3.14.4.2 Procedimiento de construcción.

El procedimiento de construcción de la camisa que permite la transmisión del movimiento hacia el sensor de posición se presenta a continuación:

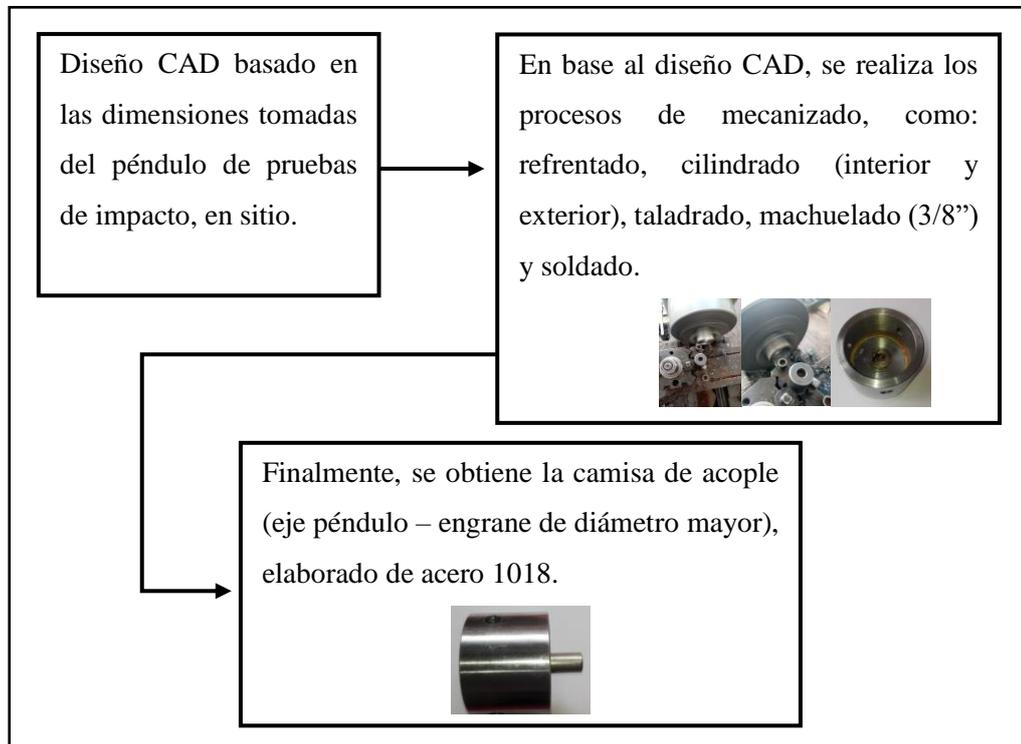


Figura 13-3: Procedimiento para la construcción de la camisa de acople.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.15 Sistema Eléctrico.

En la adquisición de datos es necesario tener un circuito eléctrico que permita: alimentar el sistema y captar señales enviados por el sensor de posición a la tarjeta DAQ, para activar o desactivar componentes necesarios dentro del sistema. Para lo cual es necesario tener en cuenta las características del sensor de posición y las tarjetas para la adquisición de datos. (*ESP-32S* y *Raspberry Pi3 B+*).

3.15.1 Planos eléctricos y electrónicos.

Para la elaboración de los planos eléctricos se debe tener previamente determinado los pines de la *Raspberry Pi3 B+* (Figura. 19-2) y los pines de la placa *ESP-32S* a ser utilizados mismo que actuarán como entrada o salida para activar o desactivar los diferentes componentes del sistema. En la tabla siguiente se detalla los pines a ser utilizados por cada componente.

Tabla 27-3: Pines principales a ser utilizados.

Componente	Color de cable	Función	N° Pin	Placa
Encoder	Marrón	Fuente de alimentación (5V)	Pin 1	ESP-32S
	Negro	Fase de salida A	Pin 37	
	Blanco	Fase de salida B	Pin 36	
	Naranja	Fase de salida Z	Ninguno	
	Azul	0 V (común)	Pin 38	
Buzzer	Rojo	Fuente de alimentación (5V)	Pin 3	Raspberry
	Negro	0 V (común)	Pin 9	Raspberry
Módulo Relé	Verde	Fuente de alimentación (5V)	Pin 19	ESP-32S
	Fucsia	Señal	Pin 7	Raspberry
	Morado	0 V (común)	Pin 9	
Ventilador	Rojo	Fuente de alimentación (5V)	Pin 4	Raspberry
	Negro	0 V (común)	Pin 6	

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

3.15.1.1 Planos de conexión del conjunto Electrónico y Eléctrico.

Los planos representativos del conjunto electrónico y eléctrico para realizar la adquisición de datos se los realiza bajo la norma IEC 60617 (Símbolos gráficos de esquemas eléctricos), ver Anexo K.

3.15.2 Placa impresa para el circuito electrónico.

La Placa impresa del circuito tiene como finalidad obtener un sistema eléctrico físicamente ordenado, para evitar errores de conexión, cortos circuitos y realizar un mantenimiento del sistema con mayor facilidad. En el Anexo B, se muestra el diseño del circuito a imprimir.

3.15.2.1 Proceso de fabricación de la placa impresa para el circuito electrónico.

El proceso de fabricación de la placa impresa, sobre la cual van a reposar los componentes electrónicos que permitirán la transferencia de señales del sensor de posición, el relé, la placa

ESP-32S y la Raspberry Pi3 B+, se presenta a continuación:

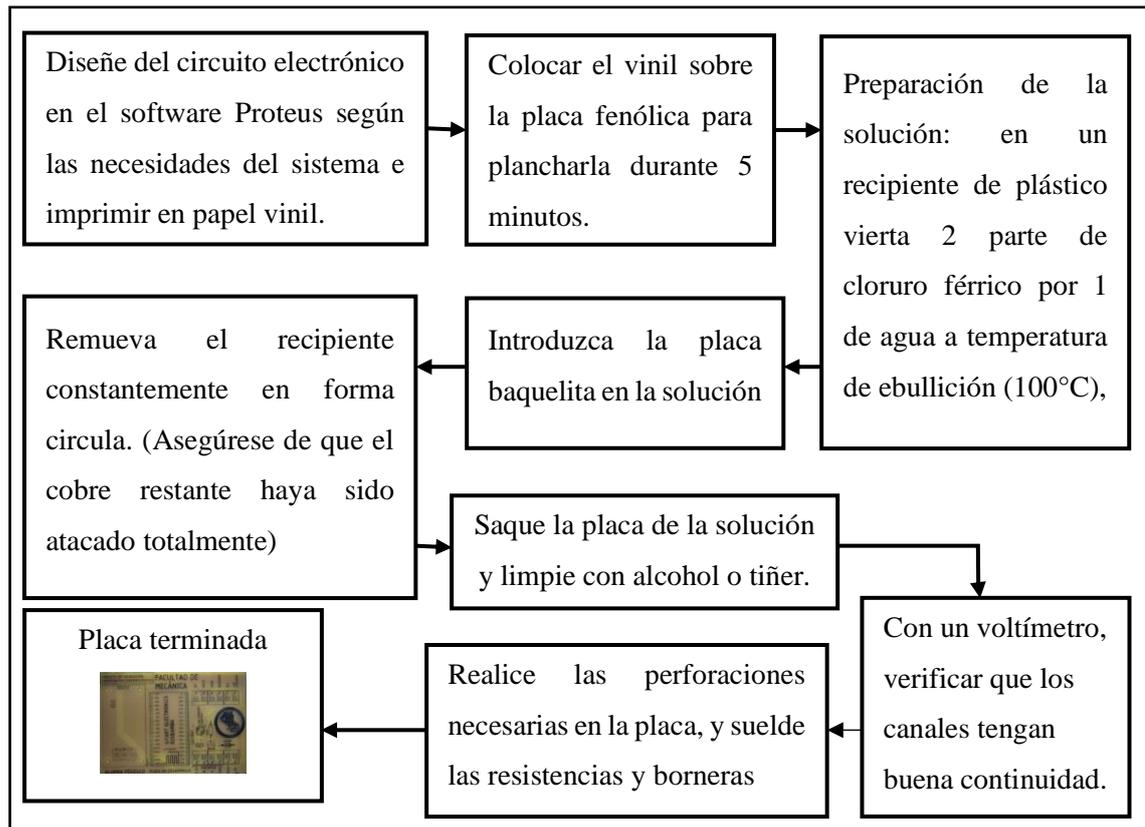


Figura 14-3: Procedimiento para la elaboración de la placa impresa.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.15.3 *Tablero eléctrico.*

El tablero eléctrico de control consta de un mando de poder On/Off, un led piloto indicador de encendido y apagado, e indicadores de alerta de posición visual (foco) y auditiva (buzzer). En el interior de la caja eléctrica se encuentran elementos como: la placa impresa del circuito, la placa ESP-32S, el mini ordenador *Raspberry Pi3 B+*, la fuente de alimentación del circuito, el ventilador cuya función es enfriar los componentes de la *Raspberry Pi3 B+*, y el módulo relé conectado al indicador de alerta (baliza).



Figura 15-3: Tablero eléctrico de control del sistema de medición.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.16 Programación para la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos es necesario realizar una programación, cuyo objetivo es: adquirir, procesar, visualizar y almacenar los datos, para ellos se debe seguir un procedimiento que empieza con la programación en líneas de código IDE de Arduino para adquirir datos enviados por el sensor en forma de pulsos a través de la placa *ESP-32S*, y enviarlos mediante comunicación serial al miniordenador *Raspberry Pi3 B+*, en donde, mediante líneas de código *Phyton* se procesan los datos y se activan o desactivan los pines conectados a los indicadores (buzzer y baliza), para finalmente, mediante la comunicación TCP/IP enviar el número de pulsos al *LabVIEW* que con programación gráfica se obtenga los resultados esperados para visualizarlos y almacenarlos.

3.16.1 Principio de la señal en cuadratura del encoder.

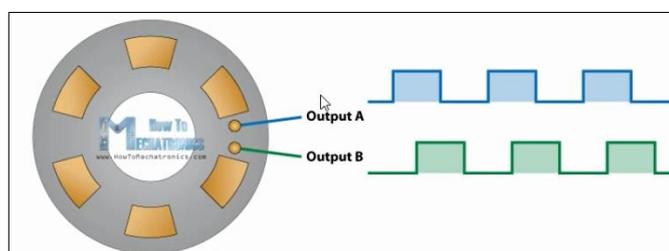


Figura 16-3: Desfase de 90° entre la señal A y B.

Fuente: (Prometec, 2021)

En la figura. 16-3, se puede observar el desfase que existe entre la señal A y B, de un encoder en cuadratura. La conexión de la figura. 17-3, tiene el principio de un motor de corriente directa acoplados a una fuente de potencia que permite el giro del motor en ambas direcciones (horario y antihorario) accionadas mediante un interruptor que controla la fuente de poder y la dirección de la corriente, básicamente simula las dos señales que actúan en el encoder en un tiempo

intermitente con una señal A y una señal B, como indica un Osciloscopio asignado.

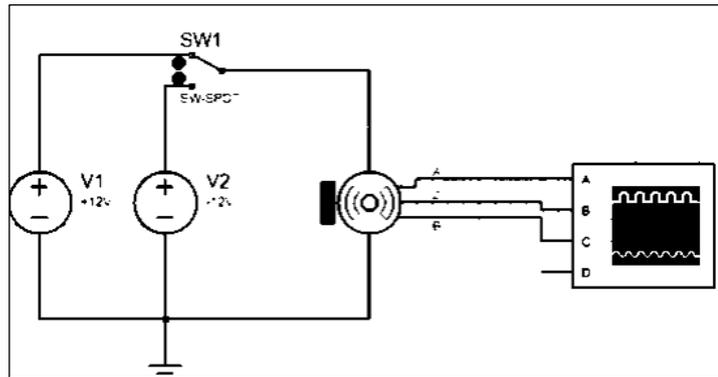


Figura 17-3: Simulación del principio de cuadratura.

Realizado por: Allauca P., Gualli René, 2021

Al simular con un Osciloscopio del *software Proteus* se verifica como la señal A y la señal B emite pulsos diferentes desfasados en 90° entre señales, lo que corresponde a un tiempo de subida y a un tiempo de bajada en cada flanco. Este tiempo medido en milisegundo permite determinar el tiempo que transcurre entre cada señal y así conocer el número de pulsos generados en cada revolución.

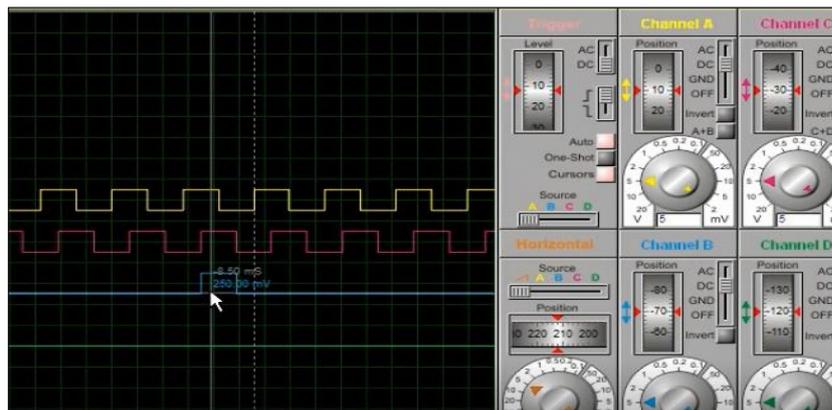


Figura 18-3: Flancos de subida y bajada con variación de tiempo.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

La *Datasheet* del Encoder Incremental *Omron E6B2-CWZ3E* indica que cuando el sentido giro es horaria (CW) la señal A está adelantando a la señal B en 90 grados, mientras que, si el sentido de giro es anti-horario (CCW) la señal B adelanta a la señal A en 90 grados.

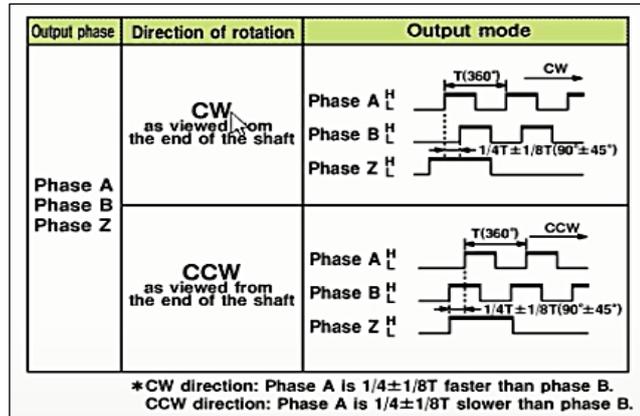


Figura 19-3: Sentido de giro del encoder (datasheet).

Fuente: Datasheet del encoder OMRON E6B2-CW3E

Como el valor de cada pulso genera señales digitales, entonces se muestra que en cada cuadratura desfasada 90 grados hay un valor digital de 0 y 1, alternadamente. Según el flanco de bajada o de subida y realizando una comparación entre el valor de la señal A y B, se tiene que: si las señales son opuestas entre sí (0 y 1) o (1 y 0), el giro es horario y si las señales de los pulsos son iguales (0 y 0) o (1 y 1) el sentido es anti horario, ver figura. 20-3.

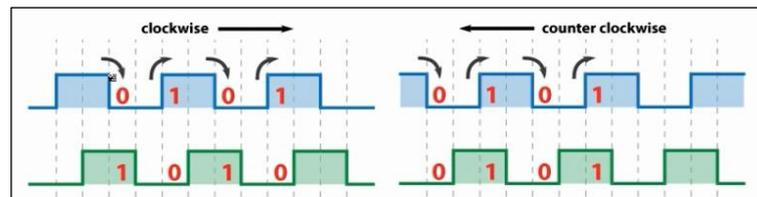


Figura 20-3: Sentido de giro según las señales emitidas on/off.

Fuente: (Prometec, 2021)

3.16.2 Diagrama de flujo para el proceso de la adquisición de datos.

En el diagrama de flujo que se presenta en el Anexo I, se muestra el proceso para adquirir los pulsos emitidos por el sensor de cuadratura y determinar a través de ello la posición. El proceso empieza con la lectura de las señales A y B con un contador inicializado en cero, que en dependencia del movimiento del impactador aumentará o disminuirá basándose en el principio de cuadratura, de modo que, si se detecta un flanco de subida de A o B indica que el impactador está en movimiento. Por el principio de cuadratura la señal A es comparada con la señal B emitida, si son iguales el contador empieza a incrementarse en una unidad, caso contrario, el contador empieza a decrementarse obteniendo de esta manera los pulsos que al multiplicarlo por un factor relacionado con el ángulo se logra determinar la posición del impactador del péndulo.

3.16.3 *Adquisición de pulsos del sensor por medio de la placa ESP-32S.*

Para la adquisición de pulsos enviados por el sensor se debe saber que la módulo *ESP-32S* es un micro controlador programable a través del IDE de Arduino que para cargar los códigos se debe prepara el IDE adicionando las URLs e instalar tanto el core como la placa *ESP32*.

3.16.3.1 *Líneas de código en el IDE de arduino.*

Para la lectura del número de pulsos que nos proporciona el encoder, se puede realizar una programación detallada en base al diagrama de flujo descrito en líneas anteriores o también utilizando librerías exclusivas para lectura de señales emitidas por el encoder de cuadratura. En esta ocasión se utilizará directamente la librería para lectura de encoder del módulo *ESP-32S*.

A continuación, se presentan esta librería en línea de códigos existente dentro del entorno programable de IDE grabadas en el módulo *ESP-32S*.

```
//Activación de librerías para la lectura del Enconder
#include <ESP32Encoder.h>
ESP32Encoder encoder;
```

```
//Velocidad de transmisión de datos por USB a la raspberry
Serial.begin(115200);
```

```
//Iniciar configuraciones iniciales del módulo ESP32
ESP32Encoder::useInternalWeakPullResistors = true;
encoder.setCount(0); //Inicia el contador en cero.
encoder.clearCount(); //Limpia el contador
```

```
//asigna los pines 22 como A y 23 como B del encoder hacia el módulo esp32
encoder.attachHalfQuad(22, 23);
} //Finalización- configuración vacía
```

```
//Ciclo repetitivo
void loop() { //Inicia ciclo repetitivo
  cuentaAnterior = (int32_t)encoder.getCount(); //Realiza el conteo de pulsos
  unsigned long currentMillis = millis(); // Inicia un timer
```

```

if (currentMillis - previousMillis >= interval)    //Condición que se cumple cada 40 ms
  Serial.println(String(cuentaAnterior));    //Imprime datos seriales en forma de String o texto
  previousMillis = currentMillis;            //Actualiza la variable
}                                              //Fin del ciclo repetitivo

```

3.16.4 *Recepción y envío de datos mediante la Raspberry Pi3 B+.*

Una vez realizada la lectura de pulsos por medio del módulo *ESP-32S*, estos son enviados por comunicación serial al miniordenador *Raspberry Pi3 B+*, en donde se procesarán y se los enviara mediante comunicación TCP/IP a la Pc.

3.16.4.1 *Configuración de la Raspberry Pi3 B+.*

La *Raspberry Pi3 B+* es un miniordenador, que necesita de un sistema operativo para su funcionamiento, siendo necesario para su instalación el software de la página oficial de *Raspberry* denominado *Raspberry Pi Imager Version 1.5*, y a su vez, hardware como: Micro SD HC 32 GB -San Disk clase 10, router, monitor, teclado y mouse.

En la Micro SD HC 32 GB -San Disk clase 10 se instala el sistema operativo utilizando la aplicación *Raspberry Pi Imager Version 1.5*, en 3 pasos consecutivos, que son:

- Seleccionar del sistema operativo *Raspberry pi os (32-bit)*.
- Seleccionar la tarjeta en la que se va escribir el sistema operativo
- Escribir el sistema operativo en la tarjeta Micro SD.

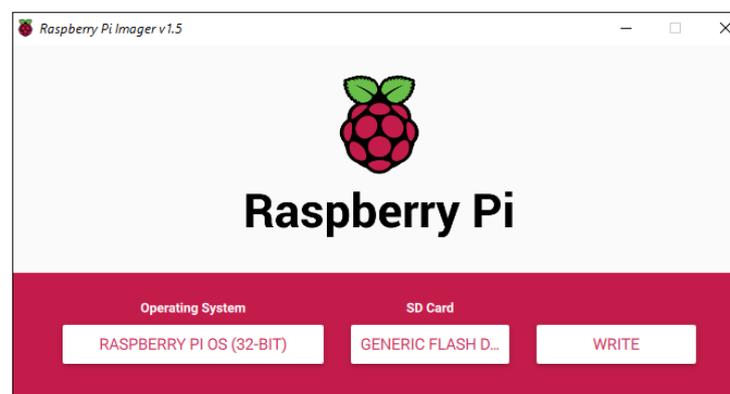


Figura 21-3: Raspberry Pi Imager Version 1.5

Fuente: (Sistema Operativo Raspberry Pi, 2021)

Luego de haber instalado el sistema operativo en la Micro SD, se debe conectar a la *Raspberry Pi3 B+*, el *router*, el *mouse*, el teclado y el monitor, e incorporar la Micro SD con el sistema operativo anteriormente instalado, cuya finalidad es realizar configuraciones en cuanto al idioma, usuario y contraseñas.

Cabe mencionar que para conocer las IP de la *Raspberry Pi3 B+* se utiliza el comando “*ifconfig*”.

3.16.4.2 Comunicación entre la *Raspberry Pi3 B+* y *Labview 2020*.

La comunicación entre la *Raspberry Pi3 B+* y *LabVIEW 2020* se lo realizará mediante una dirección IP y un puerto de acceso. *LabVIEW 2020*, dentro de su entorno gráfico nos ofrece para este tipo de comunicación el Protocolo TCP/IP, permitiendo la comunicación entre ordenadores pertenecientes a una misma red. La sigla TCP/IP significa Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet.

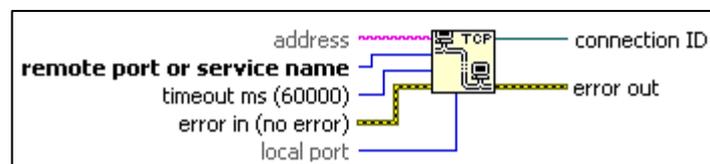


Figura 22-3: Raspberry Pi Imager Version 1.5

Fuente: (LabVIEW, 2020)

El protocolo TCP/IP está diseñado para cumplir con una cierta cantidad de criterios, entre ellos: dividir mensajes en paquetes, usar un sistema de direcciones, enrutar datos por la red y detectar errores en las transmisiones de datos.

3.16.4.3 Líneas de códigos de programación en *Python*.

Python es un lenguaje de programación que reconoce el miniordenador *Raspberry Pi3 B+*, permitiendo la activación o desactivación de los pines GPIO para conectar el mundo digital con el mundo físico mediante la electrónica y programación. En el sistema de medición, el miniordenador *Raspberry Pi3 B+*, recibe los datos enviados por el módulo *ESP-32S* por medio de comunicación serial, para luego, mediante líneas de código desarrolladas en *Python* procesarlos para activar o desactivar pines GPIO según los requerimientos y enviarlos a la Pc (*LabVIEW*), que posteriormente se encargara de mostrar los resultados. Para ello, es necesario mencionar que la programación debe empezar con la activación de librerías a ser utilizadas. A continuación, se presenta las líneas de código:

```
# Activación de librerías.
import serial          #Librería comunicación serial
import socket         #Libreria comunicación TCP/IP
import select
import sys
from time import sleep
```

```
# Declaración para la utilización de los pines propios de la Raspberry Pi.
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
#Protocolo de comunicación TCP/IP
s = socket.socket()   #Activa libreria socket para la comunicación TCP/IP.
host = '192.168.1.10' #IP de comunicación.
port = 8006           #Puerto de acceso.
backlog = 5          #Tiempo de espera al no detectar nada.
s.bind((host,port))  #Utiliza el puerto y IP definida.
s.listen(backlog)    #Mensajes de error, si falla la comunicación.
```

```
#Configuración de pines de la raspberry
GPIO.setwarnings(False) #Desactiva las alarmas o mensajes q tenga los pines
GPIO.setmode(GPIO.BCM) #Define el tipo de numeración de los pines (BCM o BOAD)
GPIO.setup(2,GPIO.OUT) #Define pin 2 (relé) como salida
GPIO.setup(3,GPIO.OUT) #Define pin 3 (Led) como salida
GPIO.setup(17,GPIO.OUT) #Define pin 17 (buzzer) como salida
```

```
# Estados iniciales de los pines
GPIO.output(2,True)    # Estado verdadero para el pin 2 (Relé)
GPIO.output(3,False)  #Estado falso para el pin 3 (Led)
GPIO.output(17,False) #Estado falso para el pin 17 (Buzzer)
```

```
# Mensajes durante conexión entre LabView y Python
print ("ESPERNADO CONEXION DE LABVIEW")
s, (host,port) = s.accept() #Permite utilizar la IP y el Puerto ya definido
print ("LABVIEW CONECTADO")
print ("CONEXION ESTABLECIDA")
```

```

#Activación de indicadores de conexión correcta Raspberry-LabVIEW
GPIO.output(3,True)           #Activa pin 3 (enciende led)
GPIO.output(17,True)         #Activa pin 17 (Activa buzzer)
time.sleep(0.1)
GPIO.output(17,False)       #Desactiva pi 17 (Desactiva buzzer)

```

```

#Comunicación serial (ESP-32S y Raspberry Pi3 B+)
esp32 = serial.Serial('/dev/ttyUSB0',115200)   #Comunicación serial
print('Iniciando Lectura')                    #Imprime datos receptados

```

```

#Inicialización de variables
datoActual=0
datoSiguiente=0
proceso=False;
contador=0
datomax=0

```

```

# Inicio del Ciclo repetitivo
try:   # Ejecuta el programa mientras no presente errores
    while True:

```

```

# Lectura de datos
    datosEntrada = esp32.readline().decode('ascii')   #Dato enviado del módulo
    counter = int(datosEntrada)                       #Almacenar dato

```

```

# Arreglo para no alterar las cifras al enviar el dato al labview (4bits)
        if counter<0 and counter >-10:           # Para datos de 0 hasta -10
            dato="h0"+str(counter)
        elif counter<=-10:                       # Para datos menores a -10
            dato="h"+str(counter)
        elif counter>=0 and counter<10:         # Para datos de 0 hasta 10
            dato="h00"+str(counter)
        elif (counter>=10 and counter<=99):     # Para datos de 10 hasta 99
            dato="h0"+str(counter)
        else:
            dato="h"+str(counter)                 # Para datos mayores a 100

```

```
#Configuración de datos
    #Impresión del dato codificado
    print("Angulo Actual: "+str(counter*0.052)+"°")
    # Permite el envío del dato a LabView
    s.send(bytes(dato,"utf-8\n"))
    # Permite obtener dos datos (actual y anterior)
    dato_recibido=s.recv(2)
    # Decodifica el valor recibido (a,b,c)
    dato_recibido=dato_recibido.decode()
```

```
#Comparación de datos de posición, para activar o desactivar indicadores (visual y auditiva)
    if dato_recibido=="b" or dato_recibido=="c":    #Posición no requerida
        GPIO.output(2,True) # Activa el pin 2 (Relé)
        GPIO.output(17,False) # Desactiva el pin 17 (Buzzer)

    if dato_recibido=="a":    # Posición requerida
        GPIO.output(2,True) # Activa el pin 2 (Relé)
        proceso = False
        GPIO.output(17,False) # Desactiva el pin 17(Buzzer)
```

```
# Tiempo de paso
        time.sleep(0.005)    # Tiempo en milisegundos
```

```
#Fin de ciclo repetitivo
finally:    # Fin
    GPIO.cleanup()    # Limpia los pines GPIO
```

3.16.5 Programación en el Entorno Gráfico de Labview.

LabVIEW es un *software* que mediante programación grafica nos permite leer, procesar, visualizar y almacenar datos. De modo que, los datos enviados por la *Raspberry Pi3 B+* por comunicación TCP/IP son receptados por este software para ser visualizados, y obtener todas las variables de acuerdo a los objetivos planteados.

3.16.5.1 *Panel Frontal.*

En el panel frontal de Labview se tiene: el control de comunicación, datos de ingresos, visualización de los resultados y una tabla para el almacenamiento de datos. Dentro de lo que compete al control de comunicación se pide el ingresar de la dirección IP y el puerto de acceso que debe ser igual al digitalizado en la programación realizada en Python, de igual forma se pide el ingreso de datos de entrada en dependencia del ensayo e impactador a utilizar para luego mandar a ejecutar el programa, y obtener resultados que se almacenan dentro de una tabla de valores que indiquen la posición y las energías (potencial y cinética).

Para obtener un mejor control de resultados, un botón de accionamiento que inicia en falso es activado cuando se verifica que el impactador este en la posición requerida y se lo libere, activando procesos para obtener como resultados la velocidad y la energía cinética, así también, mediante el botón *STOP* detiene la ejecución del programa y genera un archivo Excel con los datos de la tabla de resultados, ver Anexo I - Gráfico 1I.

3.16.5.2 *Diagrama de bloques.*

La programación dentro del diagrama de bloques consta de: comunicación TCP/IP, conversión de los datos enviados por la *Raspberry Pi3 B+* en forma de caracteres a números, variables de inicialización en cero, procesamiento de datos para obtener la posición y energías (potencial y cinética) mediante ecuaciones, almacenamiento de resultados y programación para enviar los datos almacenados a la hoja Excel, ver Anexo I - Gráfico 2I y 3I

3.17 **Validación del sistema de adquisición de datos a través del software MEF (Método de Elementos Finitos) ANSYS Workbench.**

ANSYS es un software que nos permite realizar simulaciones dinámicas con el fin de conocer el comportamiento de los elementos involucrados en el análisis. Para validar el sistema de medición, se utilizó ésta herramienta con el fin de simular el comportamiento del péndulo de impacto determinando valores de posición y energías.

3.17.1 *Diagrama de flujo del proceso de simulado.*

El diagrama de flujo presenta la validación de posición angular y variaciones de energías (cinética y potencial) correspondiente antes del impacto a una determinada posición angular del péndulo. Ver Anexo J.

3.17.2 *Modelo geométrico para ensayos preliminares.*

El modelo geométrico que se emplea en la verificación de la posición angular y variaciones de energía cinética y potencial, presenta un modelo CAD con un impactador de placa rectangular como indica la figura 23-3.

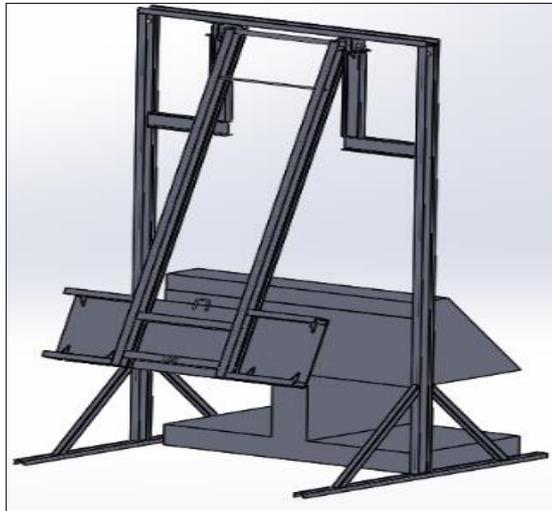


Figura 23-3: Impactador de placa rectangular.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

El principio de funcionamiento para este péndulo empleado para el desarrollo de pruebas de impacto consiste en elevar el impactador a una posición requerida para obtener una energía potencial y luego liberarlo, provocando un impacto con el material en estudio ubicado en la posición 0° , en donde, por conservación de la energía se va obtener una energía cinética igual a la energía potencial del punto de liberación, siempre y cuando no exista pérdidas.

3.17.3 *Características geométricas del impactador.*

Las dimensiones geométricas generales del impactador se presentan en la figura 24-3.

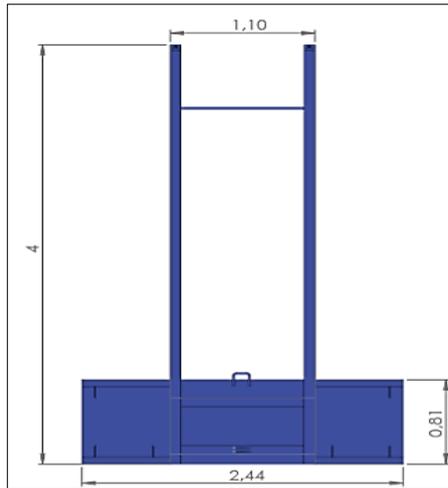


Figura 24-3: Dimensión parcial del impactado, unidades (m).

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

3.17.4 Perfil estructural empleada para la modelación.

La modelación para el análisis de posición y energías, considera parcialmente los pesos del brazo, impactador, refuerzos y accesorios que componen al péndulo. En la siguiente tabla se muestra los valores de volumen y peso de cada componente.

Tabla 28-3: Elementos utilizados en la modelación y análisis.

N° Elemento	Denominación	Cantidad	Volumen (m3)	Volumen total (m3)	Peso (Kg)
1	Agarradera inferior	2	0,000014983	0,000029966	0,24
2	Agarradera Superior	1	0,000060583	0,000060583	0,47
3	Refuerzos puntuales	6	0,000137200	0,000823200	6,46
4	Varilla 3/4 in	1	0,000291580	0,000291580	2,29
5	IPE 160 mm	2	0,007994100	0,015988200	125,51
6	UPN 160 mm	2	0,001661600	0,003323200	26,08
7	UPN 160 mm	2	0,001609000	0,003218000	25,26
8	IPE 160 mm	2	0,001927000	0,003854650	30,26
9	Placa rectangular	1	0,019642000	0,019642000	154,19

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.17.5 Configuración geométrica en el modelado.

Para la simulación del péndulo durante el ensayo de impacto es necesario compilar todos los componentes del impactador, obteniendo como resultado un solo cuerpo rígido para poder ser analizada a una determinada posición inicial angular, ver figura 25-3.

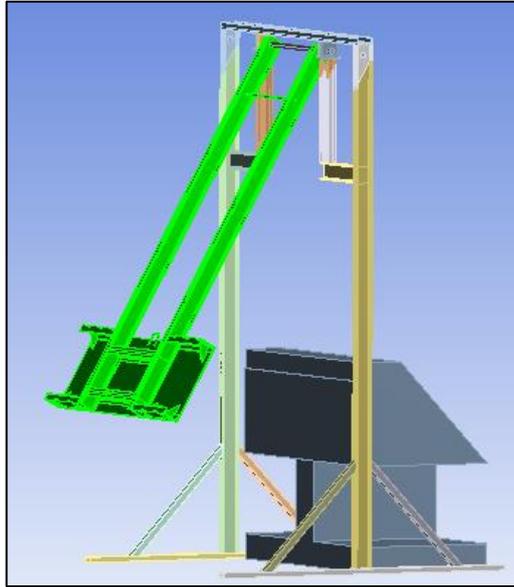


Figura 25-3: Compilación del impactador.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.17.6 *Características del material.*

Dentro del análisis por elementos finitos es fundamental establecer el material del elemento en análisis. Para este caso en particular la geometría estructural del impactador está compuesta por perfilaría de tipo IPE, UPN y láminas de acero elaboradas de acero ASTM - A36, cuyas propiedades se muestra en la tabla 29-3:

Tabla 29-3: Propiedades mecánicas del Acero ASTM - A36.

Propiedades del Acero Estructural ASTM - A36		
Propiedades mecánicas	Valor	Unidades
Densidad	7850,0	Kg/m3
Resistencia ultima	400,0	Mpa
Fluencia	250,0	Mpa
	145,0	Mpa
Módulo de elasticidad	200,0	GPa
Módulo de rigidez	77,2	GPa
Ductilidad (% 50 mm)	21,0	%

Fuente: Acero ASTM-A36 (METINVEST, 2006)

3.17.7 *Nivel de referencia para el análisis de simulación.*

Para obtener resultados orientados a un punto específico, durante el proceso para simulación se debe establecer un nivel de referencia. Para éste caso en particular se ubicará en el centro de la

placa del impactador, con ello se consigue referenciar variables como la energía potencial y cinética, ver figura 26-3.

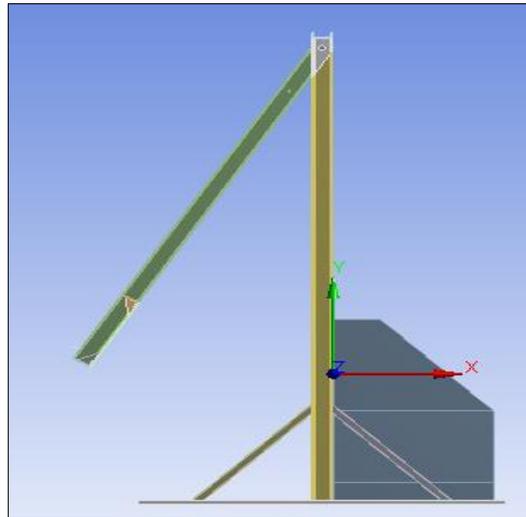


Figura 26-3: Nivel de referencia codificado.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.17.8 *Contactos y restricciones de componentes.*

Para la fijación de los componentes en la estructura, se toma en cuenta la parte posterior del elemento a impactar, con ello se consigue fijar la estructura al momento de liberar el impactador desde la posición requerida, ver figura. 27-3.

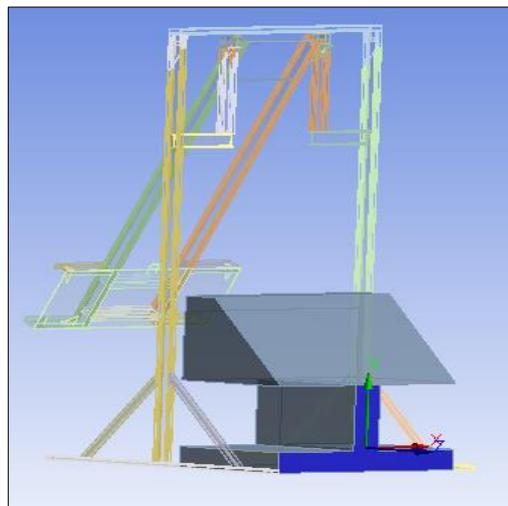


Figura 27-3: Fijación de la parte posterior.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

Para los contactos de referencia en revoluta se determina una arista de referencia fija y una arista

de referencia móvil, permitiendo desarrollar el movimiento del impactador, ver figura 28-3.

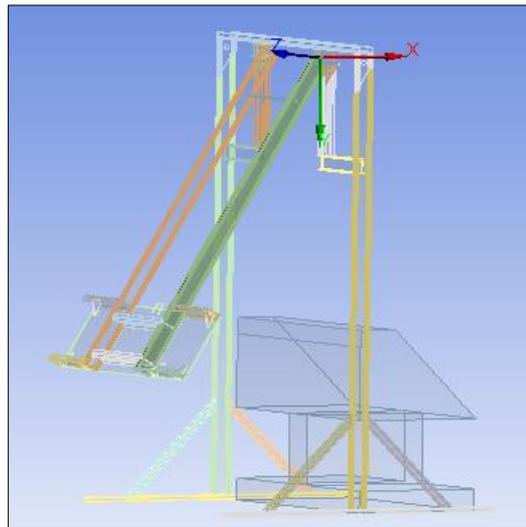


Figura 28-3: Revolvente de contacto.

Realizado por: Allauca Pedro, Gualli René, 2021

Se insertar una región de contacto manual que permite reconocer computacionalmente las partes donde va a generarse el contacto principal como indica la figura. 29-3.

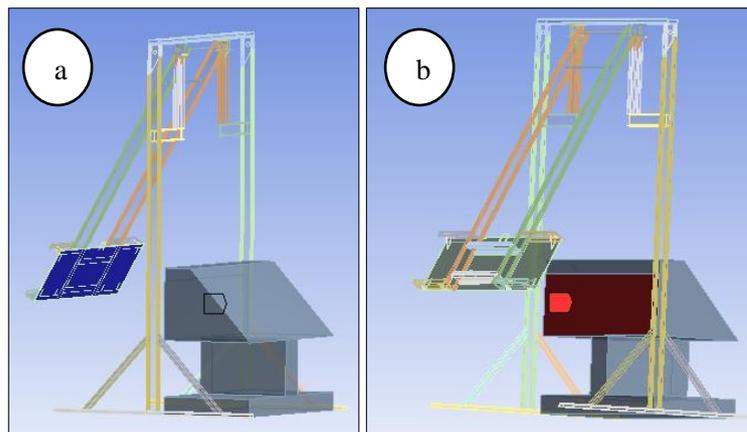


Figura 29-3: a) Superficie principal de impacto y b) Objetivos principales de impacto.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021.

3.17.9 *Asignación de la aceleración de la gravedad.*

Se asigna la gravedad de la tierra en dirección al eje (Y) negativo (9.801m/s^2), con lo cual cada componente estructural tiende a dirigirse hacia abajo por su propio peso. Ver figura. 30-3.

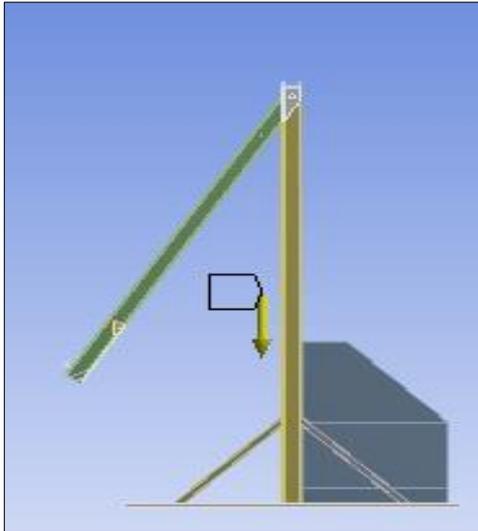


Figura 30-3: Dirección de la gravedad de la tierra.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS.

Se presentan los resultados obtenidos de la posición, velocidad y variaciones de energía (potencial y cinética) que se generan al momento de liberar el péndulo de impacto, posicionado inicialmente a una determinada posición antes del impacto.

4.1 Resultados experimentales obtenidos en campo.

Se realizan ensayos experimentales en campo donde se eleva el péndulo a determinadas posiciones antes del impacto, donde se presenta la energía potencial inicial, el cual va a ser transformada en energía cinética con una cierta velocidad de impacto, cuando el péndulo es liberado de dichas alturas. Los resultados se obtienen cuando el impactador es elevado a 5°, 10° y 15° determinando gráficamente valores como la posición, velocidad y las variaciones de energía (potencial y cinética) obtenidos con el sistema de adquisición de datos implementado. Los datos son extraídos de la tabla que se genera automáticamente en el *software LabVIEW* al momento de iniciar la adquisición de datos a lo largo del trayecto, verificando la posición del péndulo y cuantificando cuanta energía potencial es transformando en energía cinética en el momento exacto del impacto, los resultados se muestran en la tabla 1-4:

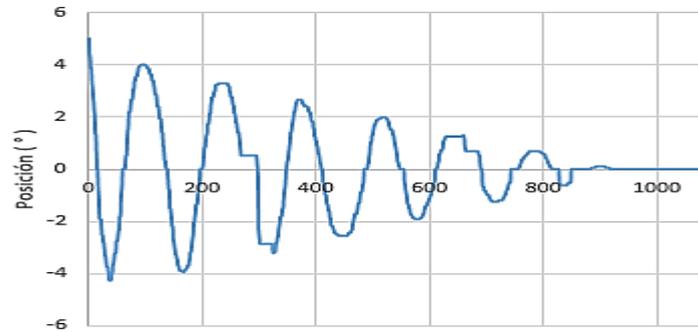
Tabla 1-4: Resultados experimentales según el controlador de LabVIEW.

	Posición angular (°)	Velocidad (Km/h)	Ep (J)	Ec (J)
5°	5,01	1,78	50,81	46,53
	5,04	1,78	50,83	46,59
	5,06	1,79	50,86	46,65
10°	10,03	3,59	205,9	188,23
	10,05	3,61	206,05	189,54
	10,02	3,60	206,01	189,12
15°	15,03	5,03	405,21	370,25
	15,08	5,04	405,29	370,77
	15,01	5,02	405,17	370,08

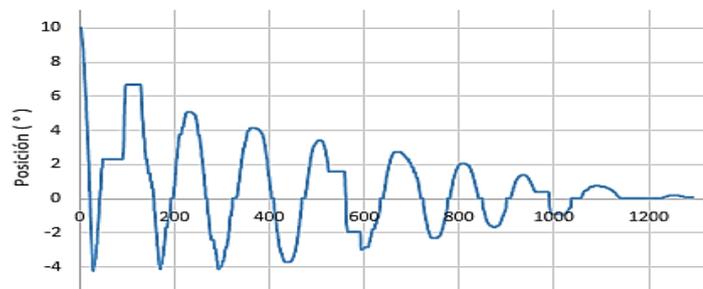
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.1.1 *Posición angular experimental.*

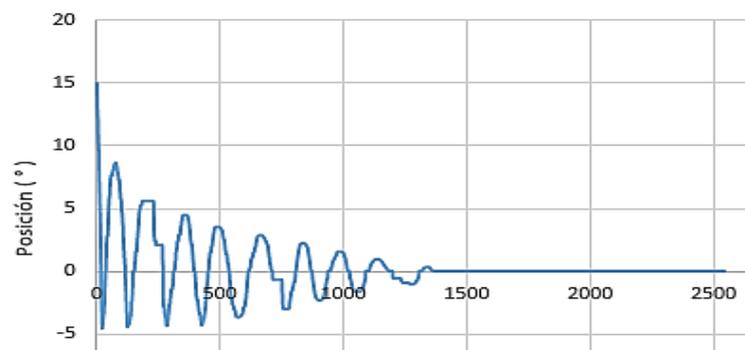
Las graficas obtenidas experimentalmente muestran el comportamiento de las posiciones del impactador cuando es liberado desde 5° , 10° y 15° antes y después del impacto hasta su estabilización como se muestra en la siguiente gráfica 1-4:



a) Impactador liberado desde 5° .



b) Impactador liberado desde 10° .



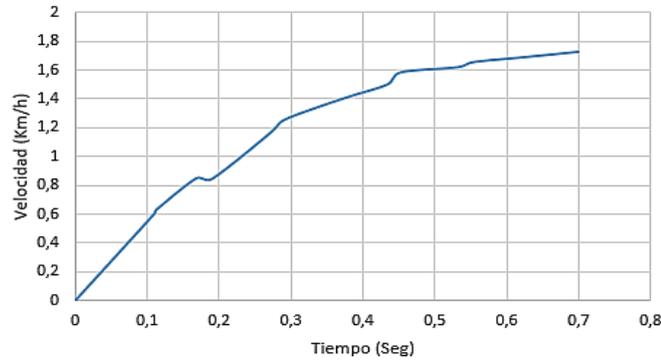
c) Impactador liberado desde 15° .

Gráfico 1-4: Comportamiento de la posición angular del impactador desde su liberación hasta su estabilización.

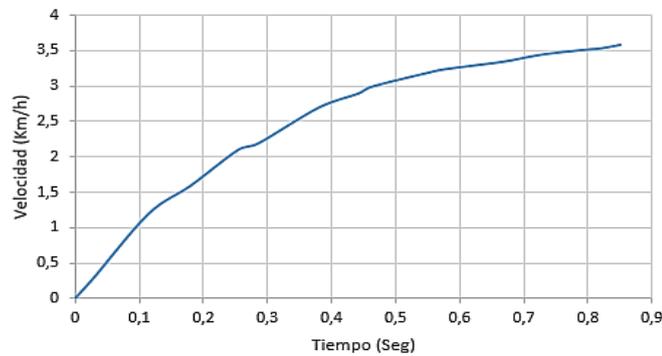
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.1.2 Velocidad experimental.

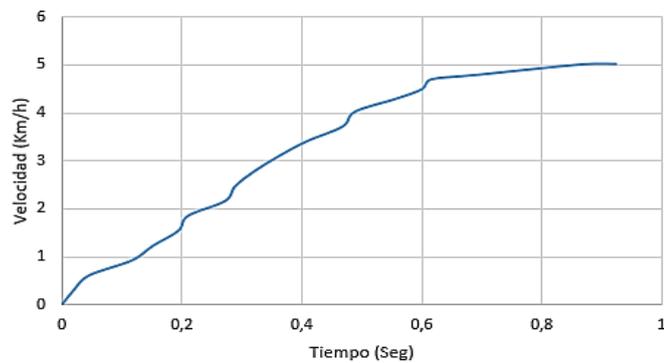
La grafica experimental Velocidad vs Tiempo muestra el comportamiento de la velocidad tangencial que experimenta el impactador cuando es liberado desde 5° , 10° y 15° en caída libre, determinándose así la velocidad máxima en el punto más bajo a 0° antes del impacto, como indica el gráfico 2-4:



a) Velocidad máx. 1,78 Km/h, liberado desde 5° .



b) Velocidad máx. 3,59 Km/h, liberado desde 10° .



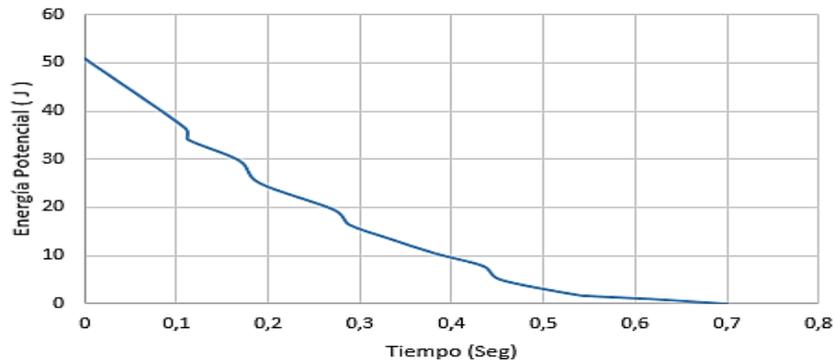
c) Velocidad máx. 5,03 Km/h, liberado desde 15° .

Gráfico 2-4: Velocidades máximas a 0° luego de ser liberado antes del impacto.

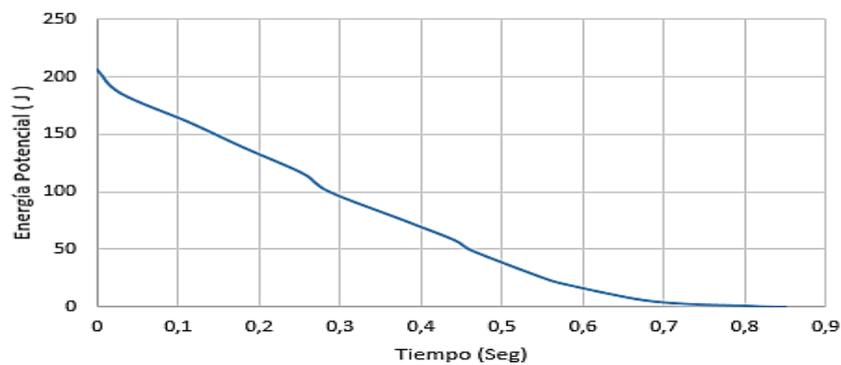
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.1.3 Variación de la Energía Potencial experimental.

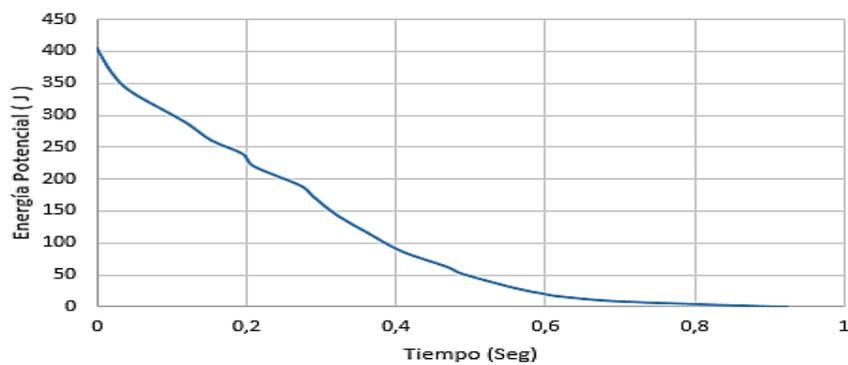
La grafica experimental de la Energía potencial vs Tiempo muestra el comportamiento de la variación de la energía potencial que experimenta el impactador cuando es liberado desde 5°, 10° y 15° en caída libre antes del impacto, como indica el gráfico 3-4.



a) Variación de la energía potencial 50,81 J liberada desde 5°.



b) Variación de la energía potencial 205,9 J liberada desde 10°.



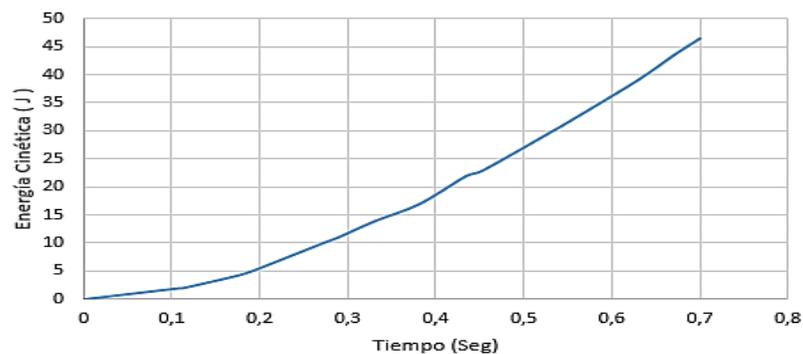
c) Variación de la energía potencial 405,21 J liberada desde 15°.

Gráfico 3-4: Variaciones de la energía potencial antes del impacto.

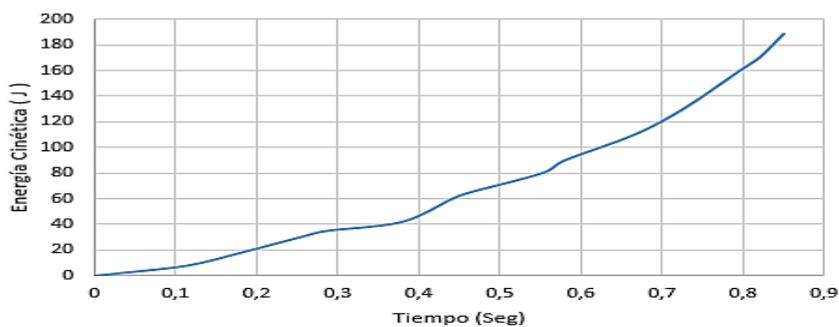
Realizado por: Allauca Pedro, Gualli René, 2021

4.1.4 Variación de la Energía Cinética experimental.

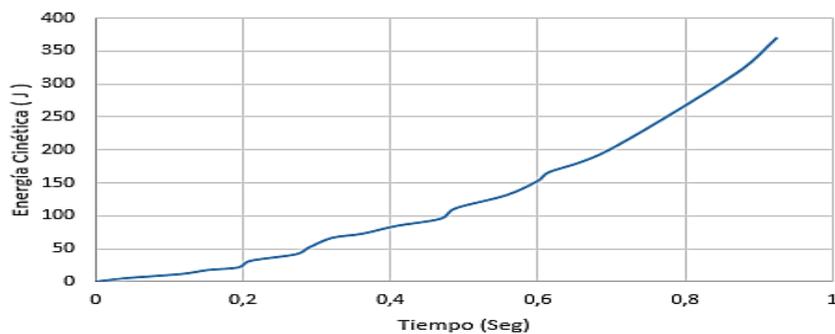
La grafica experimental de la Energía cinética vs Tiempo muestra el comportamiento de la variación de la energía cinética que experimenta el impactador cuando es liberado desde 5° , 10° y 15° en caída libre antes del impacto. El valor de la energía cinética máxima en el punto más bajo se genera cuando el péndulo está a 0° en el punto exacto de impacto, valor generado por efecto de la conservación de la energía, en el cual toda o parte de la energía potencial se transformar en energía cinética, como indica el gráfico 4-4.



a) Variación de la energía cinética 46,53 J liberada desde 5° .



b) Variación de la energía cinética 188,23 J liberada desde 10° .



c) Variación de la energía cinética 370,25 J liberada desde 15° .

Gráfico 4-4: Variaciones de la energía cinética antes del impacto.

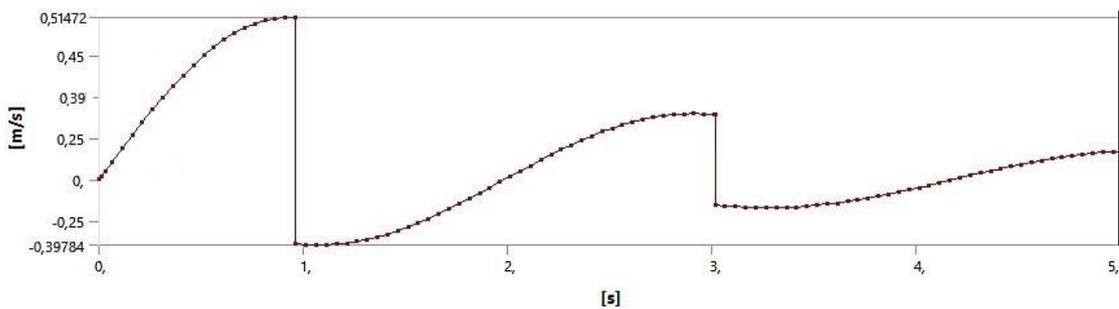
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.2 Resultados obtenidos mediante simulación numérica Ansys.

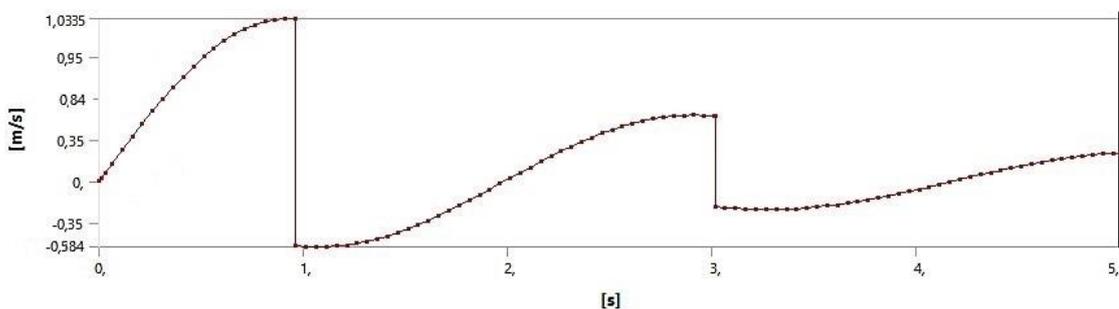
La simulación de la dinámica del impacto se verifica desde posiciones de 5° , 10° y 15° lo cual permite validar los resultados experimentales con los valores simulados. Los resultados de la simulación están basados en un análisis modular de dinámica de cuerpos rígidos ya que se desea determinar cuanta energía potencial es transformando en energía cinética en el momento exacto del impacto.

4.2.1 Velocidad simulada.

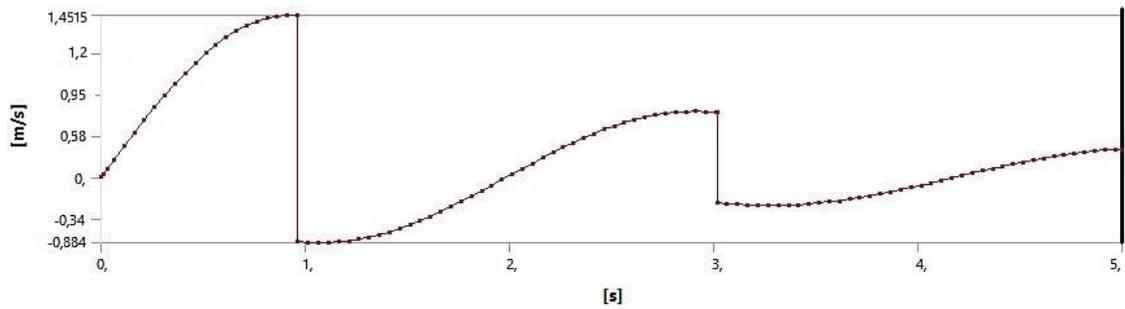
Para determinar la velocidad de impacto simulado numéricamente con el software computacional *Ansys*, se libera el impactador desde las posiciones 5° , 10° y 15° generándose un incremento de la velocidad tangencial cuando se deja caer el impactador en caída libre lo que permite conocer con que velocidad máxima impacta a 0° como indica el gráfico 5-4.



a) Velocidad máx. 0,51472 m/s (1,853 Km/h), simulado desde 5° .



b) Velocidad máx. 1,0335 m/s (3,7206 Km/h), simulado desde 10° .



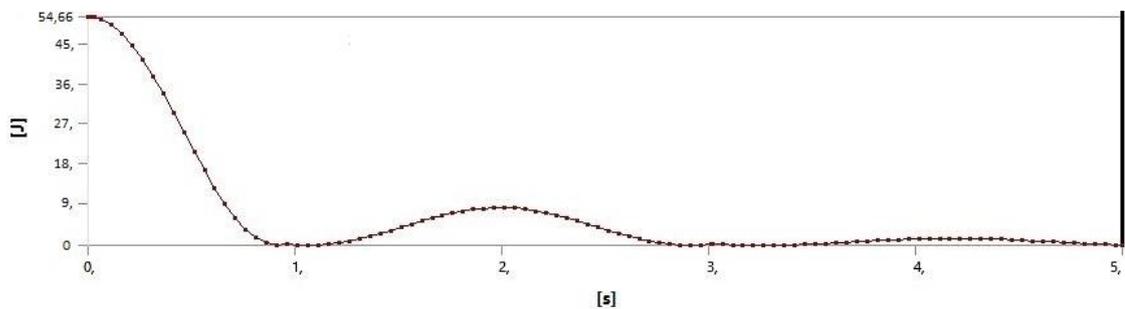
c) Velocidad máx. 1,4515 m/s (5,2256 Km/h), simulado desde 15°.

Gráfico 5-4: Velocidades máximas a 0° luego de ser simulado desde distintas posiciones.

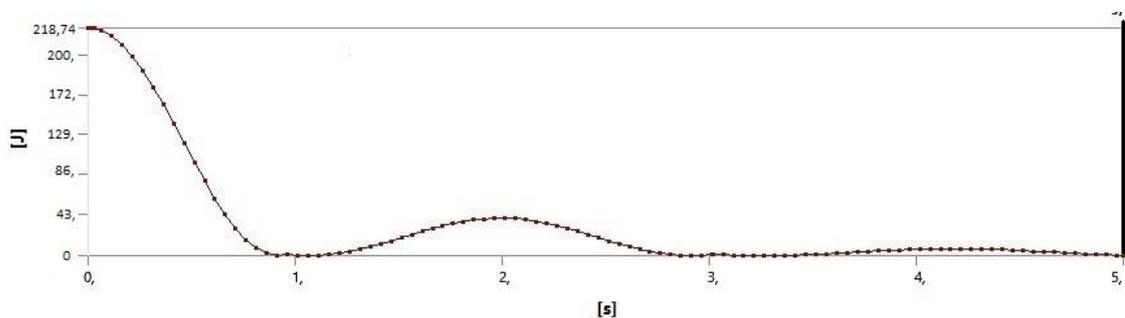
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.2.2 Variación de la Energía Potencial simulada.

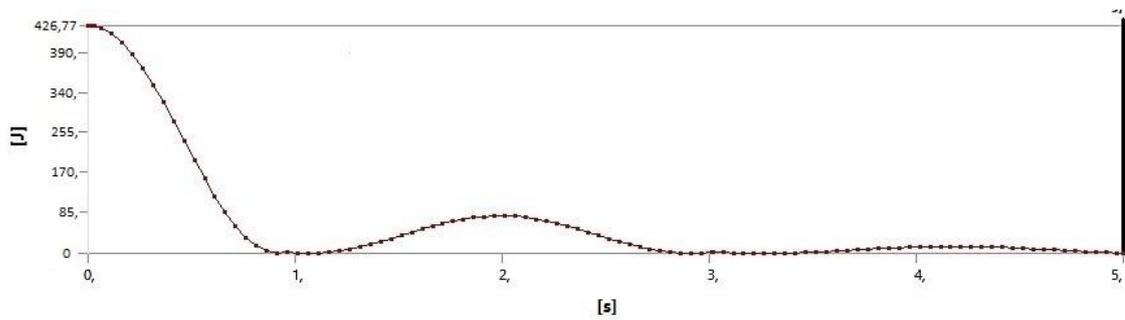
Para determinar la variación de la energía potencial de impacto, simulado numéricamente con el software computacional *Ansys*, se libera el impactador desde las posiciones 5°, 10° y 15° en caída libre el cual permite conocer como varia la energía potencial ver gráfico 6-4.



a) Variación de la energía potencial 54,66 J simulado desde 5°.



b) Variación de la energía potencial 218,74 J simulado desde 10°.



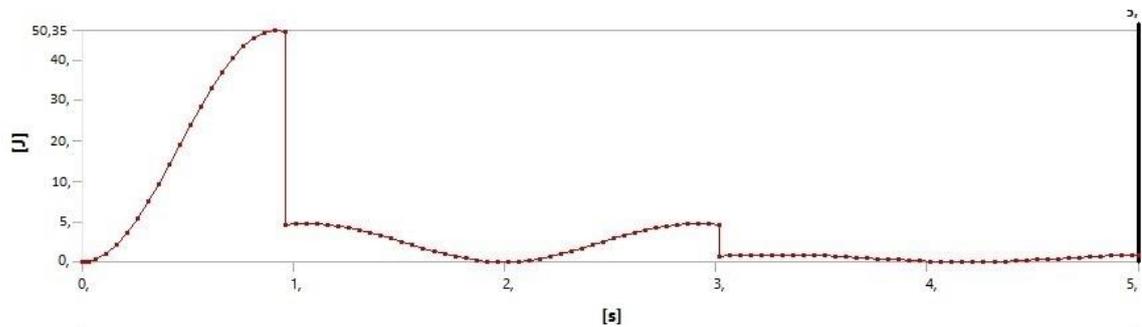
c) Variación de la energía potencial 426,77 J simulado desde 15°.

Gráfico 6-4: Variaciones de la energía potencial a distintas posiciones.

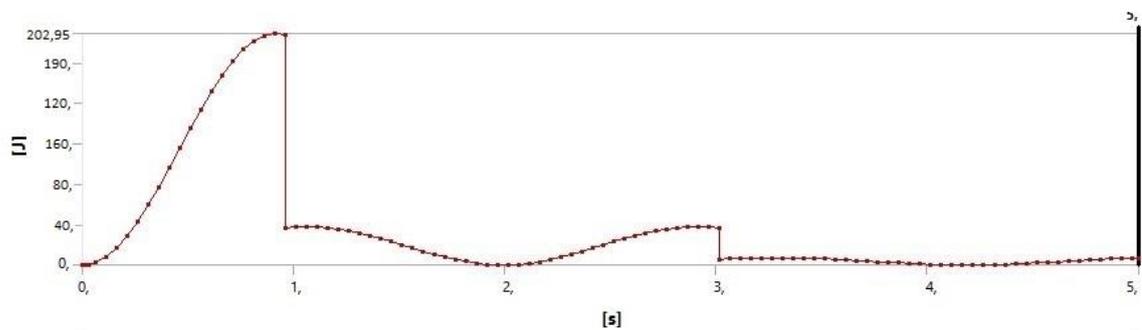
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.2.3 Variación de la Energía Cinética simulada.

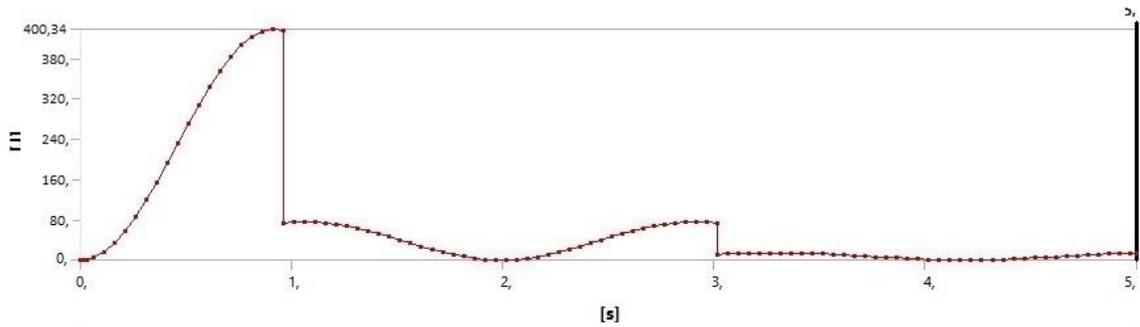
El valor de la energía cinética máxima en el punto más bajo se genera cuando el péndulo está a 0° en el punto exacto de impacto, con un valor de 190,9 J en el cual parte de la energía potencial se transformar en energía cinética, como indica el gráfico 7-4.



a) Variación de la energía cinética 50,35 J simulado desde 5°.



b) Variación de la energía cinética 202,95 J simulado desde 10°.



c) Variación de la energía cinética 400,34 J simulado desde 15°.

Gráfico 7-4: Variaciones de la energía cinética a distintas posiciones.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.3 Análisis de resultados.

Los resultados son analizados a 5°, 10° y 15° en los cuales se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con los valores simulados obtenidos gráficamente cada ensayo, de esta manera se determina el comportamiento de la posición, velocidad y las variaciones de energía (potencial y cinética) validando que los resultados arrojados en campo son aceptables para los ensayos.

4.3.1 Posición angular, contraste experimental y simulado.

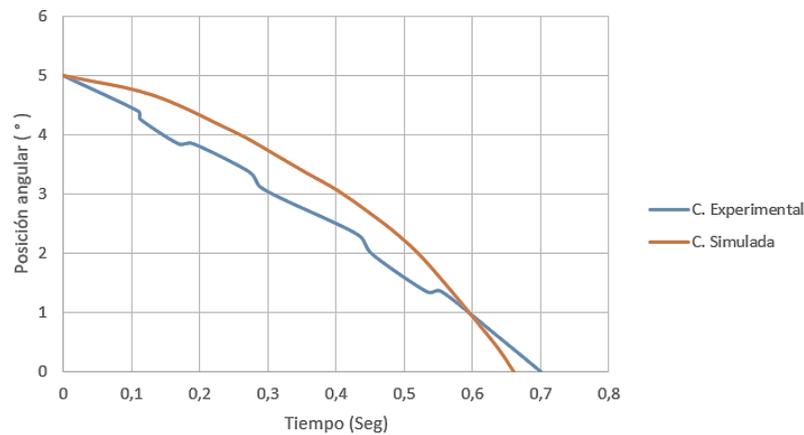


Gráfico 8-4: Posición angular liberada desde 5°.

Curva experimental $t=0,70$ s vs Curva simulada $t=0,67$ s.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

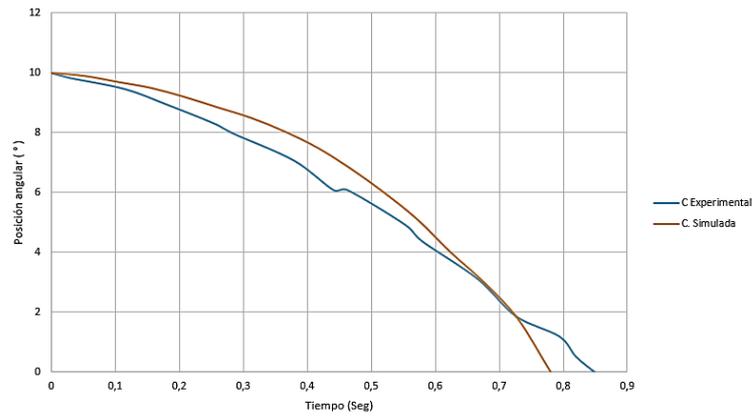


Gráfico 9-4: Posición angular liberada desde 10°. Curva experimental t=0,85 s vs Curva simulada t=0,78 s.
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

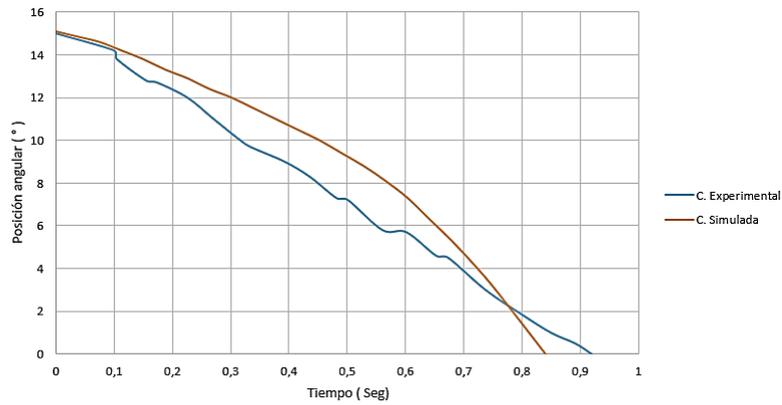


Gráfico 10-4: Posición angular liberada desde 15°. Curva experimental t=0,92 s vs Curva simulada t=0,83 s.
Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

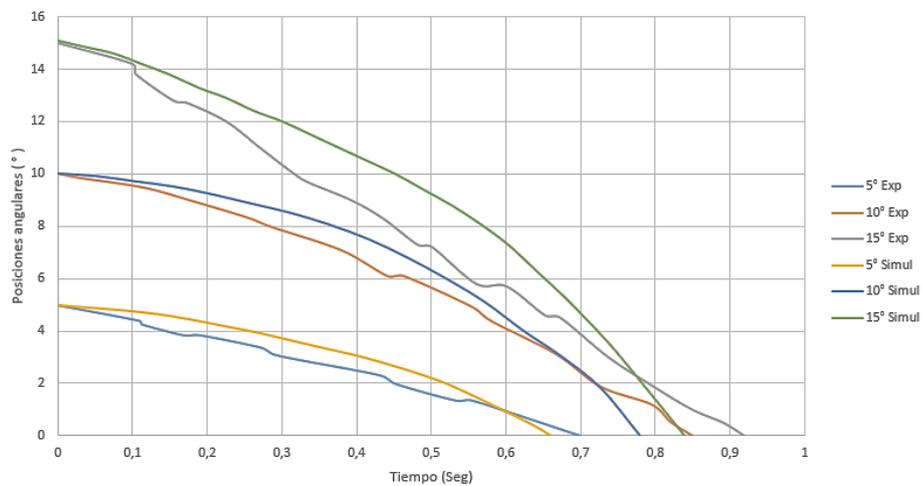


Gráfico 11-4: Curvas experimentales y simuladas a diferentes posiciones angulares 5°, 10° y 15°. Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.3.2 Velocidad, contraste experimental y simulado.

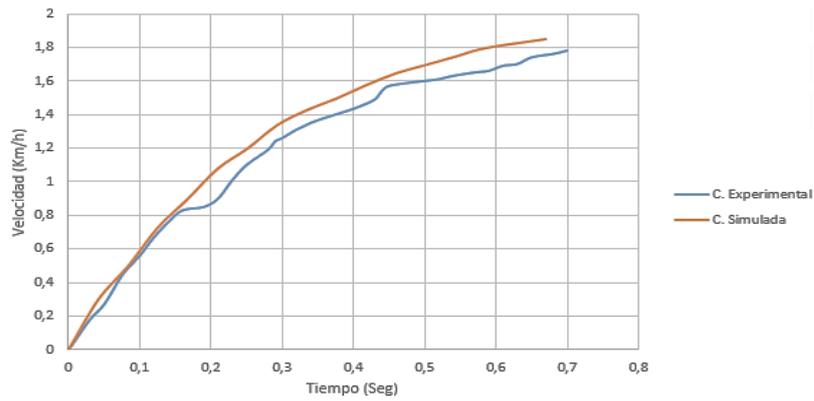


Gráfico 12-4: Velocidad alcanzada desde 5°. Curva experimental 1,78 km/h, t=0,7s vs Curva simulada 1,853 km/h, t=0,67s.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

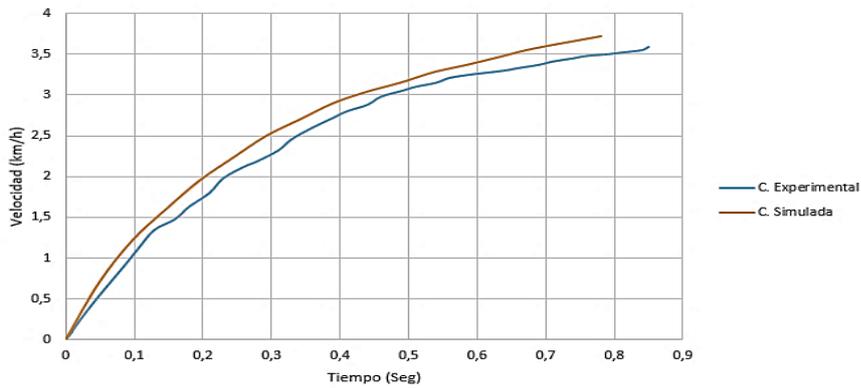


Gráfico 13-4: Velocidad alcanzada desde 10°. Curva experimental 3,59 km/h, t=0,85s vs Curva simulada 3,72 km/h, t=0,78s.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

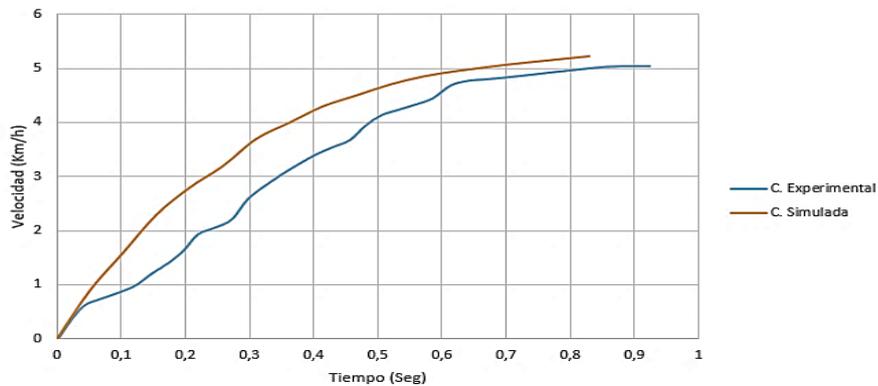


Gráfico 14-4: Velocidad alcanzada desde 15°. Curva experimental 5,03 km/h, t=0,92s vs Curva simulada 5,22 km/h, t=0,83s.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

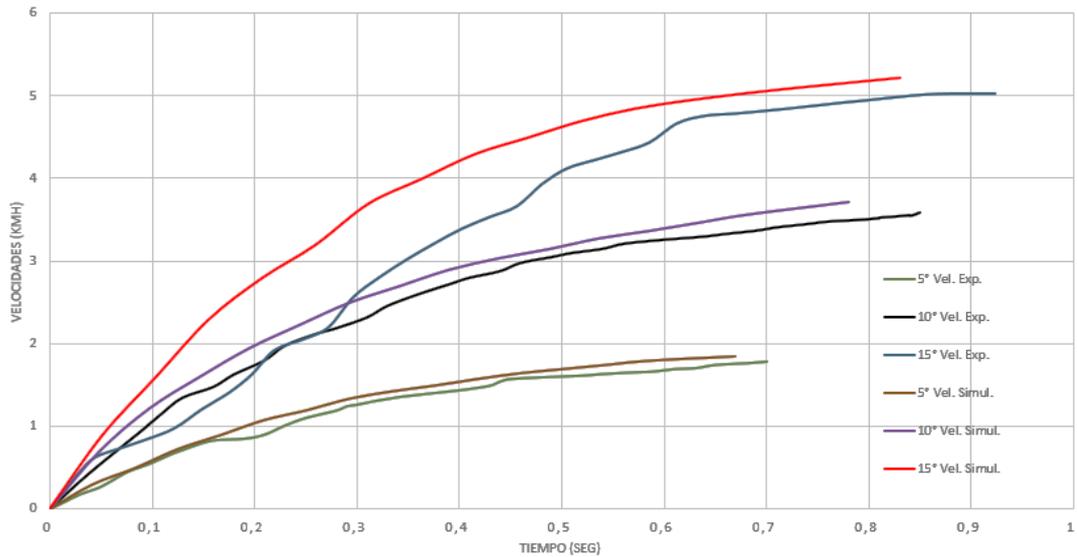


Gráfico 15-4: Curvas experimentales y simuladas desde diferentes posiciones angulares 5°, 10° y 15°.

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.3.3 Variaciones de energía Potencial y Cinética, contraste experimental y simulada.

A continuación, se verifica el comportamiento de las variaciones de las energías cuando es liberada desde 5°, 10 y 15° en el cual toda o parte de la energía potencial se transforma en energía cinética, valores contrastados con la simulación numérica.

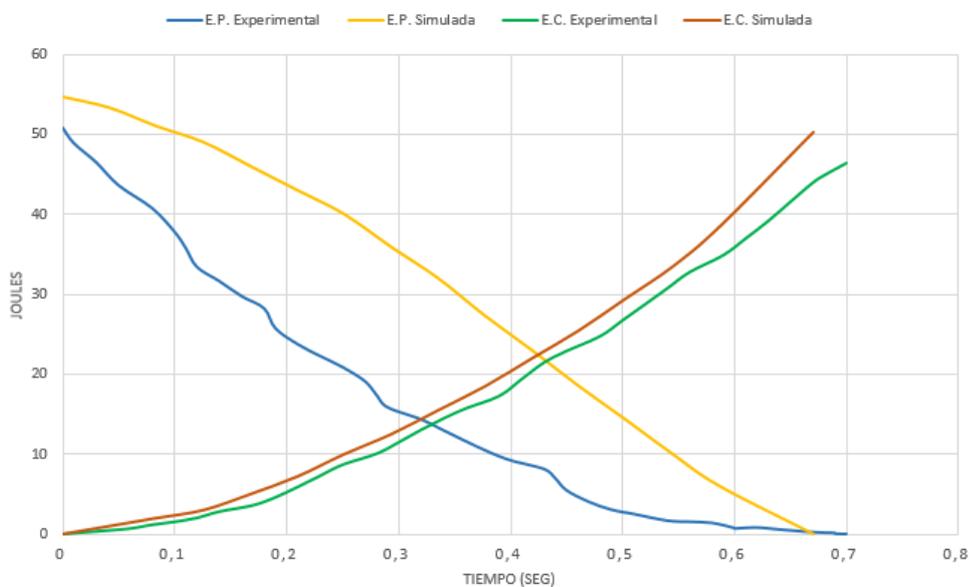


Gráfico 16-4: Variación de energía alcanzada desde 5°. (Energía potencial experimental 50,81 J vs Energía potencial simulada 54,66 J) vs (Energía cinética experimental 46,53 J vs Energía cinética simulada 50,35 J).

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

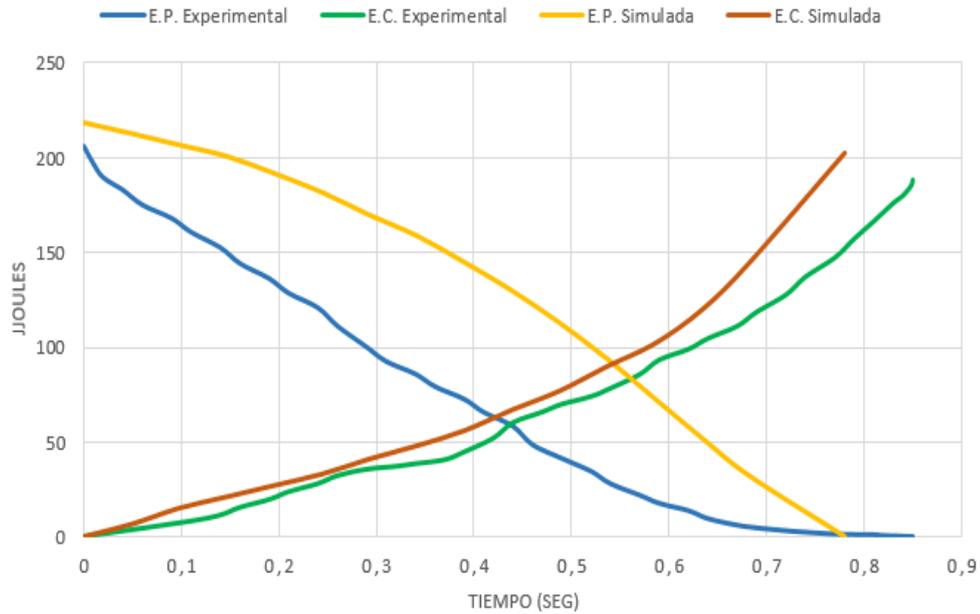


Gráfico 17-4: Variación de energía alcanzada desde 10°. (Energía potencial experimental 205,9 J vs Energía potencial simulada 218,74 J) vs (Energía cinética experimental 188,23 J vs Energía cinética simulada 202,95 J).

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

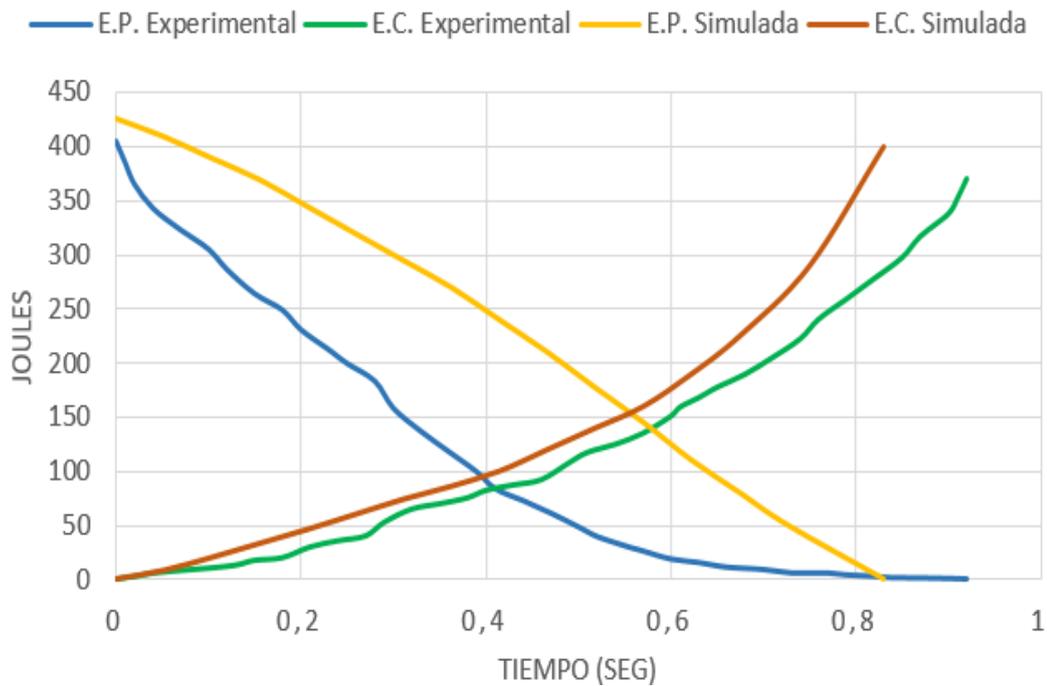


Gráfico 18-4: Variación de energía alcanzada desde 15°. (Energía potencial experimental 405,21 J vs Energía potencial simulada 426,77 J) vs (Energía cinética experimental 370,25 J vs Energía cinética simulada 400,34 J).

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.4 Porcentaje de error experimental y simulado.

Para determinar el porcentaje de error se compara los resultados experimentales tomados en campo y los resultados obtenidos en la simulación numérica *Ansys*, basándose en el criterio de aceptación de error que va en un valor menor al 10%.

Mediante la siguiente ecuación (16) se determina el porcentaje de error entre cada uno de los datos experimentales y los obtenidos mediante la simulación numérica:

$$\% Er = \left| \frac{V_{Experimental} - V_{Simulado}}{V_{Experimental}} \right| * 100 \quad (16)$$

Donde:

$\% Er$: Porcentaje de error (%)

$V_{experimental}$: Valor experimental

$V_{simulado}$: Valor simulado

100 : Constante de cálculo

A continuación se contrastan los porcentajes de error de los distintos ensayos:

Tabla 2-4: Porcentaje de error de la velocidad máxima del impactador.

	Velocidad máx. (Km/h) Experimental	Velocidad máx. (Km/h) Ansys	Error (%)
5°	1,78	1,853	4,10
10°	3,59	3,720	3,62
15°	5,03	5,225	3,87

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Tabla 3-4: Porcentaje de error de la energía potencial del impactador.

	Energía Potencial (J) Experimental	Energía Potencial (J) Ansys	% Error
5°	50,81	54,66	7,57
10°	205,90	218,74	6,23
15°	405,21	426,77	5,32

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Tabla 4-4: Porcentaje de error de la energía cinética del impactador.

	Energía Cinética (J) Experimental	Energía Cinética (J) Ansys	% Error
5°	46,53	50,35	8,20
10°	188,23	202,95	7,82
15°	370,25	400,34	8,12

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

4.5 Verificación de hipótesis.

Finalmente, para culminar con la implementación del sistema de adquisición de datos se plantea la siguiente hipótesis “Los datos generados por el sistema implementado son adecuados para los ensayos de velocidad máxima antes del impacto ya que el valor experimental se desvía en un 4,10% de error al valor simulado” que se analiza mediante la hipótesis de contraste con varianza desconocida y la distribución de *T- Student* mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{x} - u_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (17)$$

Donde

u_0 = Valor obtenido mediante simulación numérica.

\bar{x} = Valor obtenido experimentalmente.

S = Desviación típica.

n = Números de ensayos.

La variable tomada en cuenta para que se pueda contrastar la hipótesis es el dato de la velocidad máxima en el punto más bajo con un valor de 1,853 Km/h, valor tomado según la simulación numérica. Se plantea las siguientes hipótesis para el valor de la velocidad:

Hipótesis nula H_0 : El sistema implementado funciona correctamente para los datos de velocidad máxima antes del impacto ya que el valor experimental es igual en un 4,10% de error al valor simulado de 1,853 Km/h.

Hipótesis alterna H_a : El sistema implementado no funciona correctamente para los datos de velocidad máxima antes del impacto ya que el valor experimental no es igual en un 4,10% de error al valor simulado de 1,853 Km/h.

$$H_0: u_0 = 1,853 \text{ Km/h}$$

$$H_a: u_0 \neq 1,853 \text{ Km/h}$$

Estadístico de contraste:

$$t = \frac{\bar{x} - u_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Regla de decisión, con un nivel de significancia de $\alpha=0,1\%$ con un 99,90% de confiabilidad esperado.

Si: ($-t_\alpha \leq t_{calculado} \leq +t_\alpha$) entonces se acepta H_0

Cálculos:

$$r = 3 - 1 = 2 \text{ Grados de libertad}$$

$$\alpha = \frac{0,001}{2} = 0,0005$$

$$t_\alpha = \pm 31,6 \text{ (Visto en tablas de distribución de } T\text{- Student)}$$

$$S = 0,0057735$$

$$t_{calculado} = \frac{\bar{x} - u_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{1,78 - 1,853}{\frac{0,0057735}{\sqrt{3}}} = -21,90$$

Como: ($-31,60 \leq -21,90 \leq 31,60$) cumple la condición estando dentro de la campana de distribución $T\text{- Student}$ entonces se acepta la hipótesis nula H_0 .

A continuación, se presentan los contrastes de ensayos a 5°, 10° y 15° como indican las siguientes tablas:

Tabla 5-4: Contrastes de hipótesis a 5°.

Ensayos	Contraste	Conclusión
Velocidad Máxima	$-31,60 \leq -21,90 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula
Energía Potencial	$-31,60 \leq 17,34 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula
Energía Cinética	$-31,60 \leq -19,02 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Tabla 6-4: Contrastes de hipótesis a 10°.

Ensayos	Contraste	Conclusión
Velocidad Máxima	$-31,60 \leq -20,74 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula
Energía Potencial	$-31,60 \leq 18,50 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula
Energía Cinética	$-31,60 \leq -19,19 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

Tabla 7-4: Contrastes de hipótesis a 15°.

Ensayos	Contraste	Conclusión
Velocidad Máxima	$-31,60 \leq -22,86 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula
Energía Potencial	$-31,60 \leq 19,48 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula
Energía Cinética	$-31,60 \leq -18,52 \leq 31,60$	Se acepta la hipótesis nula

Realizado por: Allauca P., Gualli R., 2021

CONCLUSIONES.

- El péndulo de impacto de grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica, diseñado para ensayos en carrocerías y componentes automotrices, presenta características geométricas de gran dimensión, que luego de ser analizada física y mecánicamente con ayuda de revisiones bibliográficas, permitieron seleccionar para el sistema de adquisición de datos el sensor de posición, sensor que en función de sus características es la opción más rentable para llegar a objetivo principal que es la determinación de la posición y sus variaciones de energía del péndulo de impacto.
- El sistema de medición de posición, consta básicamente de un sensor de posición *encoder* de cuadratura OMRON E6B2-CWZ3E, encargado de enviar las señales físicas en forma de pulsos, hacia el módulo *ESP WROOM 32S* que almacena todas las señales y los empaqueta sin perder ninguna señal para luego ser enviada hacia la tarjeta *Raspberry Pi3 B+* cuya función es recibir las señales y enviarlas a la PC, mediante un protocolo de comunicación TCP/IP y un software de control con entorno gráfico como es *LabVIEW*.
- Para la implementación del sistema de medición se analizó, las características del impacto correspondientes en cada ensayo, determinando que al momento de la colisión se presenta una vibración en los componentes de péndulo, lo que provocaría que dichas vibraciones afecten a disco lector de sensor de posición, razón por la cual se implementó un sistema de banda, para la disipación de vibraciones y a su vez mediante un sistema de transmisión mecánica por poleas y banda dentada se consiguió el aumento de la resolución del sensor de posición, obteniéndose así resultados más precisos en cada lectura de la posición angular.
- Se realizaron 3 ensayos experimentales en campo por cada posición angular (5° , 10° y 15°), donde se obtuvieron valores de acuerdo al porcentaje de error presente con los datos experimentales tanto en las variaciones de energía potencial, cinética, como la velocidad máxima antes del impacto verificando que los resultados del sistema de medición implementado son adecuados y van dentro del rango de error del 10% permitido; según el criterio del método de la energía de *Hourglass*, para análisis dinámico estructural. y mediante el contraste de hipótesis con la distribución de *T - Student* los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis nula el cual menciona que los resultados de cada ensayo son correctos, corroborando que el sistema implementado funciona correctamente.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda tomar en cuenta la rigidez del impactador ya que el acero tiende a ser un cuerpo deformable, presentándose este fenómeno en cada impacto, por su característica propia del material.
- La utilización de una tarjeta de adquisición de datos como un *compact DAQ* o una tarjeta *USB NI* disminuirá la complejidad en la programación con respecto a una tarjeta *Raspberry Pi3 B+*, ya que este usa una interfaz de comunicación programada con *Python*.
- Se recomienda determinar que sucede después del impacto, tanto en sus energías, fuerzas y hasta deformaciones que puedan presentarse en el mismo impactador, ya que las energías de impacto son elevadas a ángulos mayores a 25 grados.
- En la elevación del brazo del péndulo a cualquier posición angular se recomienda realizar un mecanismo automatizado de anclaje que se sincronice con el computador para luego desanclarse justo en el momento de ejecutar el botón “SOLTAR” del panel de visualización de *LabVIEW*, ya que en ese momento es cuando se empieza a ejecutar el cronometro de tiempo para la determinación de la velocidad y variación de la energía cinética.
- Tomar en cuenta que el sistema debe tener un determinado mantenimiento principalmente en las unión de la banda dentada para que no exista deslizamientos, además se debe realizar un ajuste en los prisioneros que conectan los bocines con el eje macizo de 2 pulgadas para que la toma de datos sean los idóneos.

GLOSARIO.

Bit: Es un dígito binario, que toma un valor de 0 o 1. Son unidades de comunicación y almacenamiento de información en computación. En informática, bit es la unidad mínima de información. (BirtLh, 2018)

Dirección IP: Es una dirección única que identifica a un dispositivo en Internet o en una red local. IP significa “protocolo de Internet”, que es el conjunto de reglas que rigen el formato de los datos enviados a través de Internet o la red local. (Fernández Yubal, 2006)

Encoder: Es un dispositivo mecánico de tipo incremental, compuesto por dos sensores ópticos ubicados con un desplazamiento de 1/4 de ranura el uno del otro, produciendo dos señales de pulsos digitales desfasada en 90° o en cuadratura. A estas señales de salida, se les conoce comúnmente señales de flancos A y B. (Encoders, 2015)

LabVIEW: Es un *software* de ingeniería de sistemas para aplicaciones que requieren prueba, medición y control con acceso rápido a conocimientos de hardware y datos. (Instruments labVIEW, 2019)

IDE de Arduino: Es un conjunto de herramientas de *software* que permiten a los programadores desarrollar y grabar todo el código necesario para hacer que nuestro Arduino funcione como se requiera. (Arenas, 2008)

Puerto de comunicación: permite comunicar datos desde una computadora hasta un dispositivo que se encuentra en la periferia, crea un circuito físico, como medio para recibir y enviar información. (Prometec, 2021)

Protocolo de comunicación: es el conjunto de pautas que posibilitan que distintos elementos que forman parte de un sistema establezcan comunicaciones entre sí, intercambiando información. (Telecomunicaciones Sanguña Guevara Fernando Paul, 2010)

Diseño: Es un proceso iterativo para la determinar cuál es la mejor opción en la toma de decisiones finales con el fin de dar una solución a cualquier problema que se plantea. (Apaza Paucara, 2019)

FEA (Análisis de Elementos Finitos): Consiste en reducir la estructura en una red de elementos geométricos simples, tales como placas o sólidos. La geometría de la estructura se divide en partes

más pequeñas, permitiendo al problema volverse más específico para resolverlo con mayor exactitud, de tal manera que, se pueda identificar áreas de posibles concentraciones de esfuerzos, deformaciones o fatiga que permite la discretización de elementos finitos con comportamientos y propiedades definidas. (FEM, 2014)

Impacto: Fuerzas de gran magnitud generadas por el fenómeno de choque durante un instante o periodo de tiempo muy corto entre dos o más cuerpos cuando entran en contacto.(Puente Cuasapud, 2015)

Microcontrolador: Es una tarjeta electrónica con hardware libre reprogramable con varios puertos de comunicación de entradas y salidas permitiendo establecer muchas conexiones con diferentes tipos de sensores y actuadores de una manera muy sencilla.(Fernández Yubal, 2006)

Trasmisión mecánica: Mecanismo capaz de transmitir potencia o movimiento desde una determinada distancia a uno o más elementos.(Open Builds México, 2014)

BIBLIOGRAFÍA.

APAZA NUÑEZ, Edwars Paucara. Trabajo, Potencia y Energía [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán, (Lima-Perú). 2018. pp. 73–186. [Consulta: 2021-02-23]. Disponible en: <https://200.60.81.165/bitstream/handle/UNE/3216/MONOGRAFÍA%20%20NAVARRO%20PÉREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

AVELLANEDA QUINTERO, Gonzalo Rolando. Impacto en materiales compuestas: Análisis por elementos finitos [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de los Andes, Facultad de Mecánica, Ingeniería Mecánica, (Bogotá-Colombia). 2007. pp. 22-37. [Consulta: 2021-02-26]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23685/u303004.pdf?sequence=1>

AVILÉS RAMÍREZ, Robinson Paul. Estudio del impacto lateral del autobús urbano con carrocería IMPA para determinar la configuración de la estructura que cumpla con la normativa de la UNECE Regulación R095R02 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería Civil y Mecánica, Ingeniería Mecánica, (Ambato-Ecuador). 2017. pp. 86-110. [Consulta: 2021-03-12]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26804>

BARCELÓ, Joel, et al. “Equipo de ensayo de impacto a baja velocidad multiusuario”. *12th International Conference on Project Engineering* [en línea], 2016, (México) 127(1), pp 6-10. [Consulta: 15 abril 2020]. ISSN 1092-7831. Disponible en: Microsoft Word - primeras páginas del pdf completo (upc.edu)

BENINGO, Jacob. *Módulos inalámbricos ESP32 con Wifi / Bluetooth adecuado para una aplicación de Lot industrial* [blog]. [Consulta: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>

BIRT, Thomas. *Subsistemas de cableado estructurado* [blog]. [Consulta: 04 marzo 2020]. Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV10/es_IEA_ICTV10_Contenidos/website_21_sistema_de_cableado_estructurado.html

COMPONENTS. Módulo acelerómetro y giroscopio MPU 6050 [blog]. [Consulta: 02 marzo 2020]. Disponible en: <https://components101.com/sensors/mpu6050-module>

CUASAPUD PUENTE, Diego Geovanni. Análisis estructural a cargas de impacto posterior por alcance de un bus interprovincial mediante el método de elementos finitos [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingeniería. (Quito-Ecuador). 2007. pp. 75-87. [Consulta: 2021-05-17]. Disponible en: tesis.impacto.posteriorbus.pdf (uisek.edu.ec)

DAIMLER CHRYSLER, Horst Raich. “Análisis de seguridad de la nueva cabina Actros Megaspaces según ECE-R29/02”. *4th Conferencia europea de usuarios de LS-DYNA* [en línea], 2010, (Alemania) 112(2), pp. 3-12. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: [LS-DYNA_ULM_B-I-11.pdf](https://www.lsdyna.com/ulm/B-I-11.pdf)

DEL CASTILLO ERAZO, David Alejandro, & HERRERA ROSERO, Jorge Luis. Estudio de las características mecánicas de los materiales de los chasis de los vehículos M1 luego de un impacto mediante Norma Inen 0109 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Mecánica, Ingeniería automotriz. (Quito-Ecuador). 2016. pp. 86-100. [Consulta: 2021-03-29]. Disponible en: Repositorio Digital UIDE: Estudio de las Características Mecánicas de los materiales de los chasis de los Vehículos M1 de un impacto Mediante Norma Inen 0109

DIPAC. *Manta: Acero - Planchas - Perfiles - Ángulos - Techos.*

ELECTROINDUSTRIA. *Los sistemas DAQ* [blog]. [Consulta: 06 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3286&ni=que-son-los-sistemas-daq>
Encoder Products Company.

ENCODERS. *Codificadores rotativos incrementales y absolutos* [blog]. [Consulta: 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.encoder.com/>

ENGINEER AMBITIOUSLY. *Adquisición de datos* [blog]. [Consulta: 20 abril 2021]. Disponible en: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq/fmid/652/>

ERGO SUM. *Control de GPIO con Python en Raspberry Pi* [blog]. [Consulta: 16 enero 2021]. Disponible en: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/238-control-de-gpio-con-python-en-raspberry-pi/que-es-gpio>

ESPRESSIF. *Placa de desarrollo - Módulo ESP 32S DAQ* [blog]. [Consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.espressif.com/en/support/download/documents>.

EXPOIMSA. *Tensión de retroceso en una correa dentada* [blog]. [Consulta: 06 enero 2020]. Disponible en: <http://www.expoimsa.com/como-actuan-las-cadenas-bajo-tension/figura-2-8-tension-de-retroceso-en-una-correa-dentada/>

FERNÁNDEZ, Yubal. *Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer* [blog]. [Consulta: 18 junio 2020]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

GARCÍA, Ángel Franco. *El péndulo y su movimiento armónico simple* [blog]. [Consulta: 11 junio 2020]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/oscilaciones/pendulo/pendulo.html>

GARCÍA, Barneto; & BOLÍVAR, Roberto. “Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple”. *Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias* [en línea], 2008, (Huelva) 7(3), pp. 681–703. [Consulta: 20 julio 2020]. Disponible en: Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple (uhu.es)

GUTIERREZ, Alcides. *Transmisión por Correas y Poleas* [blog]. [Consulta: 23 enero 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-correas-y-poleas>

HETPRO. *Raspberry PI3 B+* [blog]. [Consulta: 18 marzo 2020]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/raspberry-pi-3-b-plus/>

INGENIERÍA MECAFENIX. *Acelerómetro sensor de movimiento o vibración* [blog]. [Consulta: 25 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>

INSTRUMENTACIÓN ELECTRONICA. *Característica dinámicas y estáticas de un sensor* [blog]. [Consulta: 14 agosto 2020]. Disponible en: <https://instrumentacionelectronica1.wordpress.com/category/caracteristicas/>

JARAMILLO, Jorge. *Características de la instrumentación industrial* [blog]. [Consulta: 17 septiembre 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/quasar.0360.7912/semana-2-generalidades-caractersticas-de-la-instrumentacin-virtualutpleetseptiembre-2011>

LLAMAS, Luís. *Lectura de un potenciómetro con Arduino* [blog]. [Consulta: 02 enero 2021].
Disponible en: <https://www.luisllamas.es/lectura-de-un-potenciometro-con-arduino/>

LOGICBUS. *Adquisición y registro de datos DAQ* [blog]. [Consulta: 07 diciembre 2020].
Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/adquisicion-y-registro-de-datos-daq.php>

LÓPEZ ORTIZ, Santiago Alejandro. Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finito [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. (Ambato-Ecuador). 2016. pp. 58-96. [Consulta: 15-08-2020]. Disponible en: Maestría D.M. 14 - López Ortiz Santiago Alejandro.pdf (uta.edu.ec)

MAKE IT FROM. *Ácido poliláctico (PLA, polilactida)* [blog]. [Consulta: 18 enero 2021].
Disponible en: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>

METINVEST. *Acero ASTM A36* [blog]. [Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>

NALLY, James. *Compact DAQ* [blog]. [Consulta: 29 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.wiresmithtech.com/articles/what-is-compactdaq/>

NATYTEC. *Correa dentada GT2/2GT/GT3/3GT de sincronización* [blog]. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://natytec.com.mx/CNC/correa-dentada-gt2-2gt-gt3-3gt-de-sincronizacion-timing-belt/>

OMEGA ENGINEERING. *Sistema de adquisición de Datos* [blog]. [Consulta: 20 abril 2021].
Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

ORTIZ ROSERO, Juan Manuel. *Normas ASME – Símbolos para elaborar diagramas de flujo* [blog]. [Consulta: 12 marzo 2020]. Disponible en: <https://wimservices.wixsite.com/servicios/single-post/normas-asme-simbolos-para-elaborar-diagramas-de-flujo>

PÉREZ MURILLO, Antonio Roldan. *Características de funcionamiento y operativas de un sensor y acondicionadores* [blog]. [Consulta: 17 febrero 2021]. Disponible en: <https://>

Características de los sensores que es importante conocer (desensores.com)

PFEIFER INDUSTRIES. *Cuadros de diámetro de polea de correa de distribución* [blog]. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: <https://www.pfeiferindustries.com/timing-belt-pulley-pitch-diameter-outside-diameter-charts>

PROMETEC. *Pines GPIO de Raspberry Pi* [blog]. [Consulta: 18 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.prometec.net/usando-los-gpio-con-python/>

RAMÍREZ REYES, Cesar. *Sensores de Potenciómetro (Ventajas - Desventajas y Aplicaciones)* [blog]. [Consulta: 24 mayo 2020]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/397957993/Sensores-de-Potenciometro-Ventajas-Desventajas-Aplicaciones>

RODRIGUEZ PALACIOS, Daniel Fernando, & PEÑARETE RODRIGUEZ, Héctor Enrique. *Medición y control de posición angular empleando Synchro-Resolver* [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Electrónica, Ingeniería electrónica. (Bogotá-Colombia). 2011. pp. 45-53. [Consulta: 2020-06-25]. Disponible en: [tesis532.pdf](#) (javeriana.edu.co)

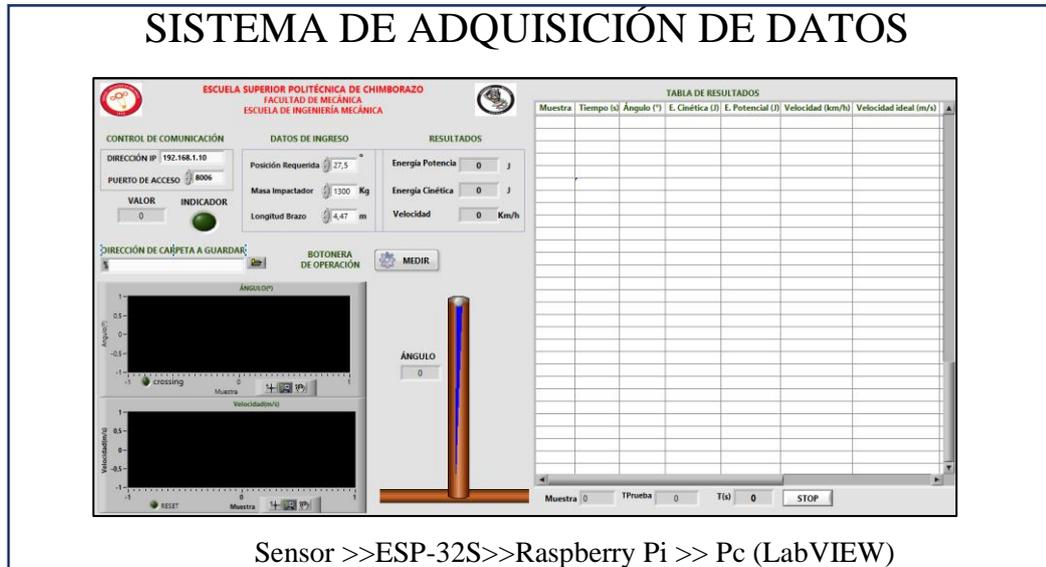
SÁENZ CARDENAS, Carlos Elías. *Diseño electrónico para el probador de impacto de péndulo ZWICK 5102* [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Electrónica. (Cali-Colombia). 2006. pp. 97-110. [Consulta: 2020-04-29]. Disponible en: [informefinal_30_nov_ultima](#) (uao.edu.co)

SANGUÑA GUEVARA, Fernando Paul. *Estudio técnico de la red de comunicaciones para brindar los servicios de voz, internet y video por demanda de una urbanización* [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. (Quito-Ecuador). 2010. pp. 73-80. [Consulta: 2021-04-05]. Disponible en: [CD-2763](#) (epn.edu.ec)

ZARAGOZA. *Péndulo de impacto a baja velocidad* [blog]. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: [Centro Zaragoza](#) [Instituto de investigación sobre reparación de vehículos, S.A.] (centro-zaragoza.com)

ANEXOS.

ANEXO A: Manual para la correcta ejecución de la adquisición de datos.



Este manual contiene información importante y obligatoria, en donde se detalla el procedimiento que deben cumplir todos los usuarios que utilicen el sistema de adquisición de datos para su correcta ejecución.

CONTENIDO

- Determinar IP de la Raspberry Pi
- Habilitar el protocolo SSH de la Raspberry Pi
- Conexión Remota mediante el VNC Server
- Ejecución del Programa para la Adquisición de datos.

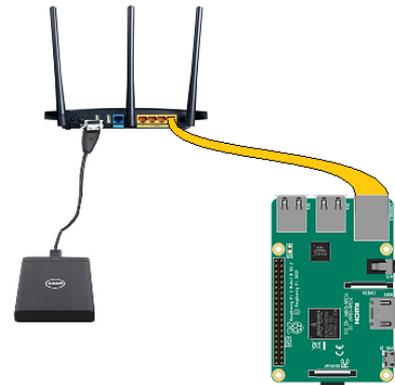
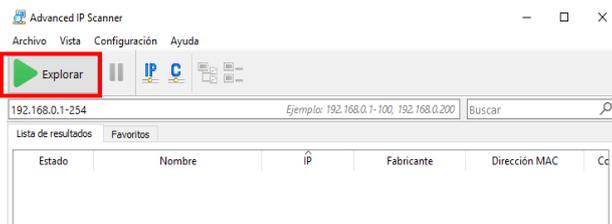
DETERMINAR EL IP DE LA RASPBERRY PI

Instalar previamente la aplicación
“Advanced IP Scanner” en la Pc. **1**

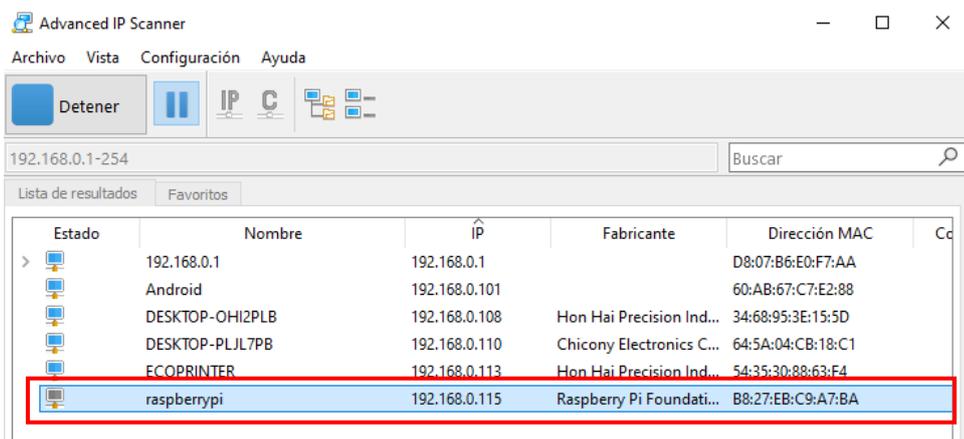


Conectar la Raspberry Pi mediante un
cable Ethernet al puerto 1 del Router.
(Revise que ambos dispositivos estén
conectados a una fuente de alimentación
según sus especificaciones.) **2**

Ejecute el Programa “Advanced IP
Scanner” y haga clic Izquierdo en
“Explorar”. **3**



Finalmente, se obtiene la IP de la Raspberry Pi. **4**



HABILITAR EL PROTOCOLO SSH DE LA RASPBERRY PI

Ingrese las letras “*cdm*” en el buscador de Windows (Asegurece que la Pc esté conectado al mismo router que la Raspbeery)

1



Ejecute o abra la aplicación “*Símbolos del sistema*”

2



Símbolo del sistema
Aplicación

Ingrese los comandos: *ssh pi@"IP obtenida anteriormente"*, seguido de “Enter”

3

```
ca. Selecionar Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.18362.86]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\USUARIO>ssh pi@192.168.0.115
```

Finalmente, para activar el protocolo SSH, ingrese la contraseña correspondiente a la Raspberry Pi. (La contraseña actual de la raspberro es: 1234567890)

4

```
ca. pi@raspberrypi: ~
Microsoft Windows [Versión 10.0.18362.86]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\USUARIO>ssh pi@192.168.0.115
pi@192.168.0.115's password:
Linux raspberrypi 5.4.83-v7+ #1379 SMP Mon Dec 14 13:08:57 GMT 2020 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Wed Feb 17 06:17:12 2021
```

CONEXIÓN REMOTA MEDIANTE EL VNC Server

Instalar previamente la aplicación
“VNC Server” en la Pc.

1



VNC Viewer

Aplicación

En el cuadro de diálogo, seleccione
Interface Options. (Utilice las flechas
de direccionamiento del teclado)

3

```
Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config)
1 System Options      Configure system settings
2 Display Options     Configure display settings
3 Interface Options   Configure connections to peripherals
4 Performance Options Configure performance settings
5 Localisation Options Configure language and regional settings
6 Advanced Options   Configure advanced settings
8 Update              Update this tool to the latest version
9 About raspi-config Information about this configuration tool

<Select> <Finish>
```

Dentro de “*Símbolos del sistema*”
anteriormente ejecutado, ingrese los
comandos: `sudo raspi-config`, >>
Enter

2

```
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY
permitted by applicable law.
Last login: Wed Feb 17 06:17:12 2021
pi@raspberrypi:~ $ sudo raspi-config
```

Ahora, seleccione VNC (Utilice las
flechas de direccionamiento del
teclado)

4

```
Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config)
P1 Camera      Enable/disable connection to the Raspberry Pi Camera
P2 SSH          Enable/disable remote command line access using SSH
P3 VNC          Enable/disable graphical remote access using RealVNC
P4 SPI          Enable/disable automatic loading of SPI kernel module
P5 I2C          Enable/disable automatic loading of I2C kernel module
P6 Serial Port Enable/disable shell messages on the serial connection
P7 1-Wire      Enable/disable one-wire interface
P8 Remote GPIO Enable/disable remote access to GPIO pins

<Select> <Back>
```

En los siguientes cuadros de diálogos
responda a la pregunta con “*si*” >>
Enter, y luego “*aceptar*” >> *Enter*,
respectivamente

5

Would you like the VNC Server to be enabled?

<Si>

<No>

The VNC Server is enabled

<Aceptar>

Finalice la acción.

6

```
Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config)
1 System Options      Configure system settings
2 Display Options     Configure display settings
3 Interface Options   Configure connections to peripherals
4 Performance Options Configure performance settings
5 Localisation Options Configure language and regional settings
6 Advanced Options   Configure advanced settings
8 Update              Update this tool to the latest version
9 About raspi-config Information about this configuration tool

<Select> <Finish>
```

Ejecute la aplicación “VNC Server”
instalada en la Pc.

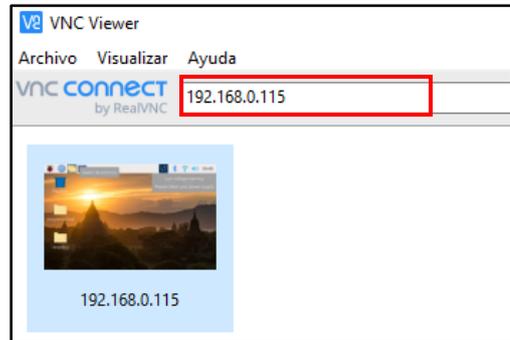
7



VNC Viewer
Aplicación

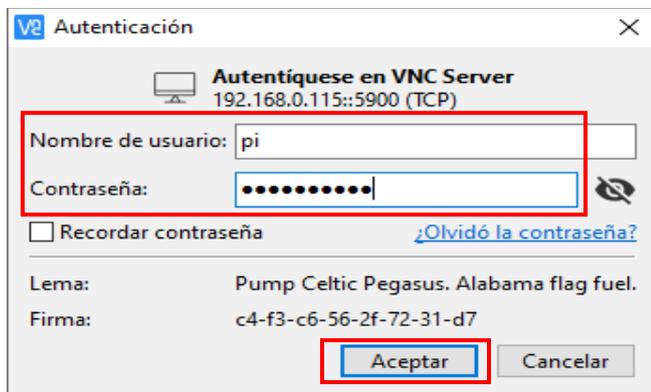
Ingrese la IP obtenida anteriormente de
la Raspberry >> *Enter*

8



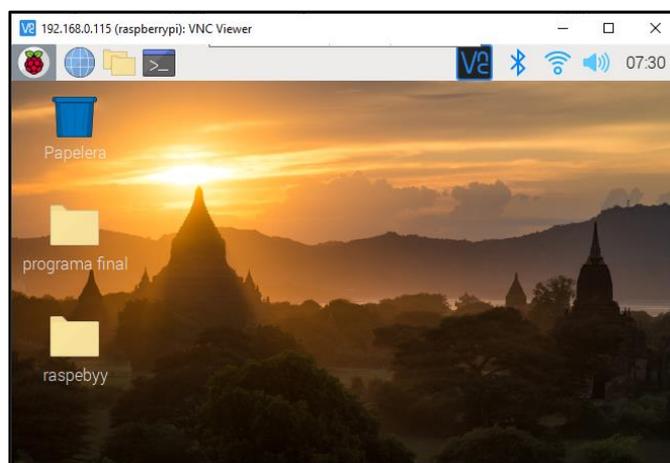
En el cuadro de diálogo, ingrese en
usuario: “pi” y contraseña:
1234567890 >> *Aceptar*

9



10

Finalmente, se tiene acceso
a la Raspberry Pi, mediante
comunicación remota.



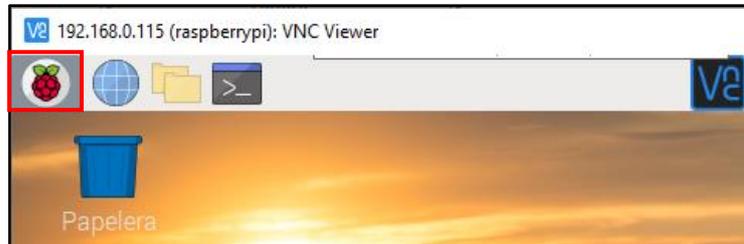
Notas:

- Para realizar posteriores ensayos, ejecutar este procedimiento a partir del paso 7

EJECUCIÓN DEL PROGRAMA PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

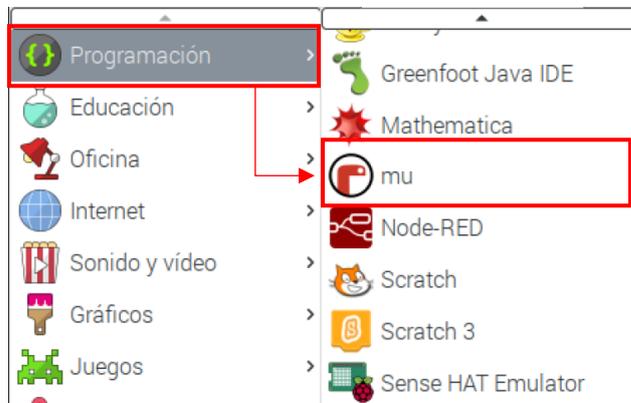
Realizada previamente la comunicación remota para el acceso a la interfaz de la *Raspberry Pi*, haga clic en el ícono de la “*Frambuesa*”

1



Dentro del menú de aplicaciones de la *Raspeberry Pi*, seleccione: *Programación >>mu*

2



Ahora, Se procede a “*cargar*” el archivo (programa) que se encuentra en *home/pi/Desktop/Adquisición de datos/FINAL*.

3



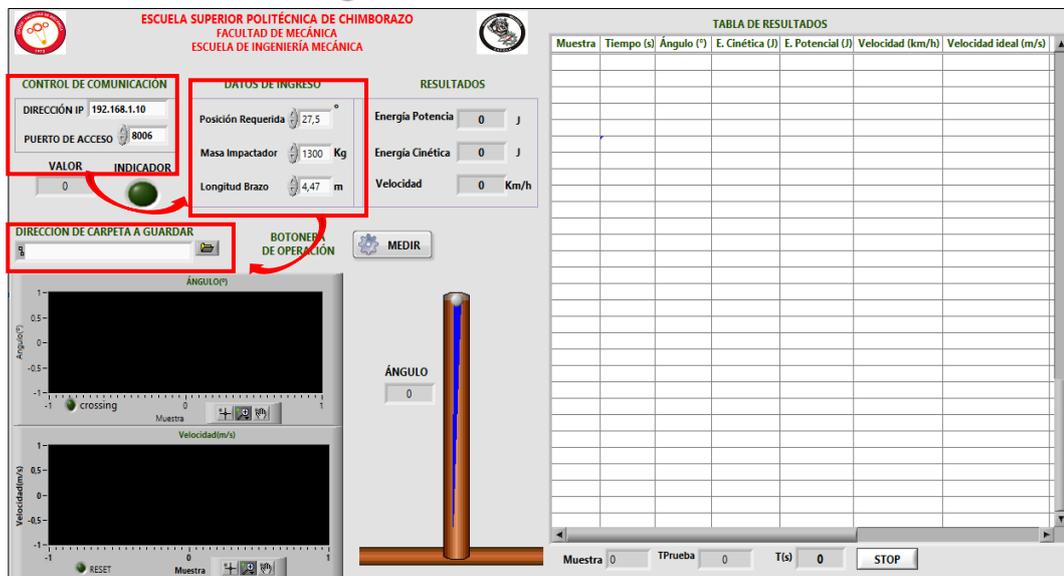
Clic en el icono “Ejecutar”. Si al ejecutar, se muestra el mensaje “*ESPERANDO CONEXIÓN DE LABVIEW*”, indica que el programa no presenta errores.

4



Finalmente, en el programa gráfico de LabVIEW, ingrese: la IP de la raspberry anteriormente encontrada, puerto de acceso: 8006, los “*datos de ingreso*” en dependencia del ensayo, y la dirección de la carpeta a guardarse los archivos para posteriormente “*correr*” el programa.

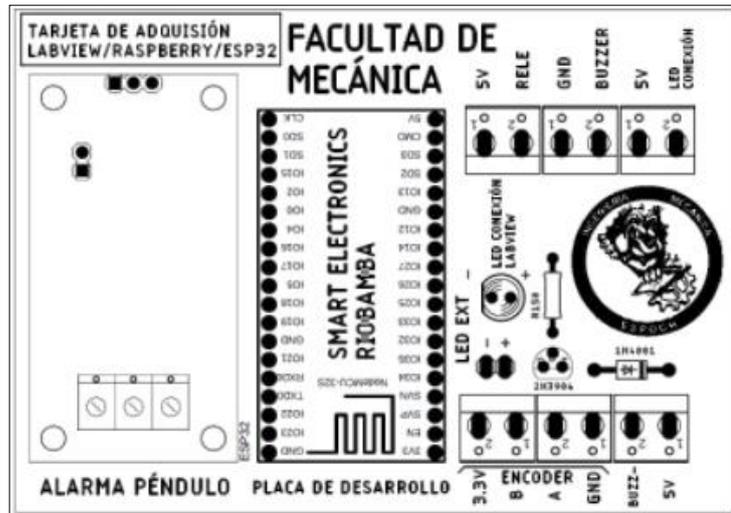
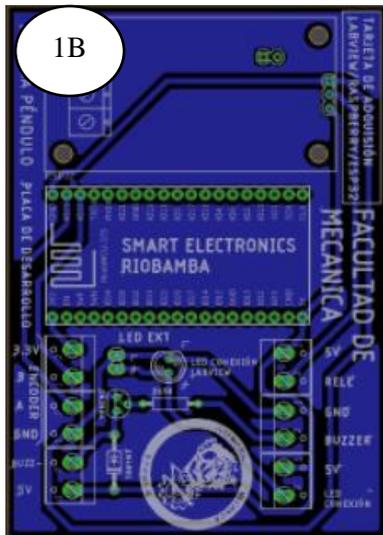
5



Notas:

- Para iniciar la ejecución de adquisición, primero ejecute el programa en Phyton para luego ejecutar el programa gráfico en LabView y para detener la ejecución, primero detenga Labview y luego Phyton. En caso de no haber hecho lo anterior mencionado, cambien el puerto de acceso en ambas programaciones e intente nuevamente.
- El botón “SOLTAR EL IMPACTADOR” debe ser accionado en el instante de liberar el péndulo de la posición de ensayo.

ANEXO B: Placa impresa para el circuito electrónico: diseño del circuito electrónico a ser impreso en la placa fenólica placa de baquelita sumergida en la solución (Gráfico 1B), placa impresa terminada frontal (Gráfico 2B).



ANEXO D: Péndulo para ensayos de impacto a escala: Herramientas para la construcción del prototipo (Gráfico 1D) y Prototipo final a escala (Gráfico 2D).



ANEXO E: Pruebas del sistema en el péndulo a escala con un potenciómetro de resistencia variable y programación realizada en LabView.



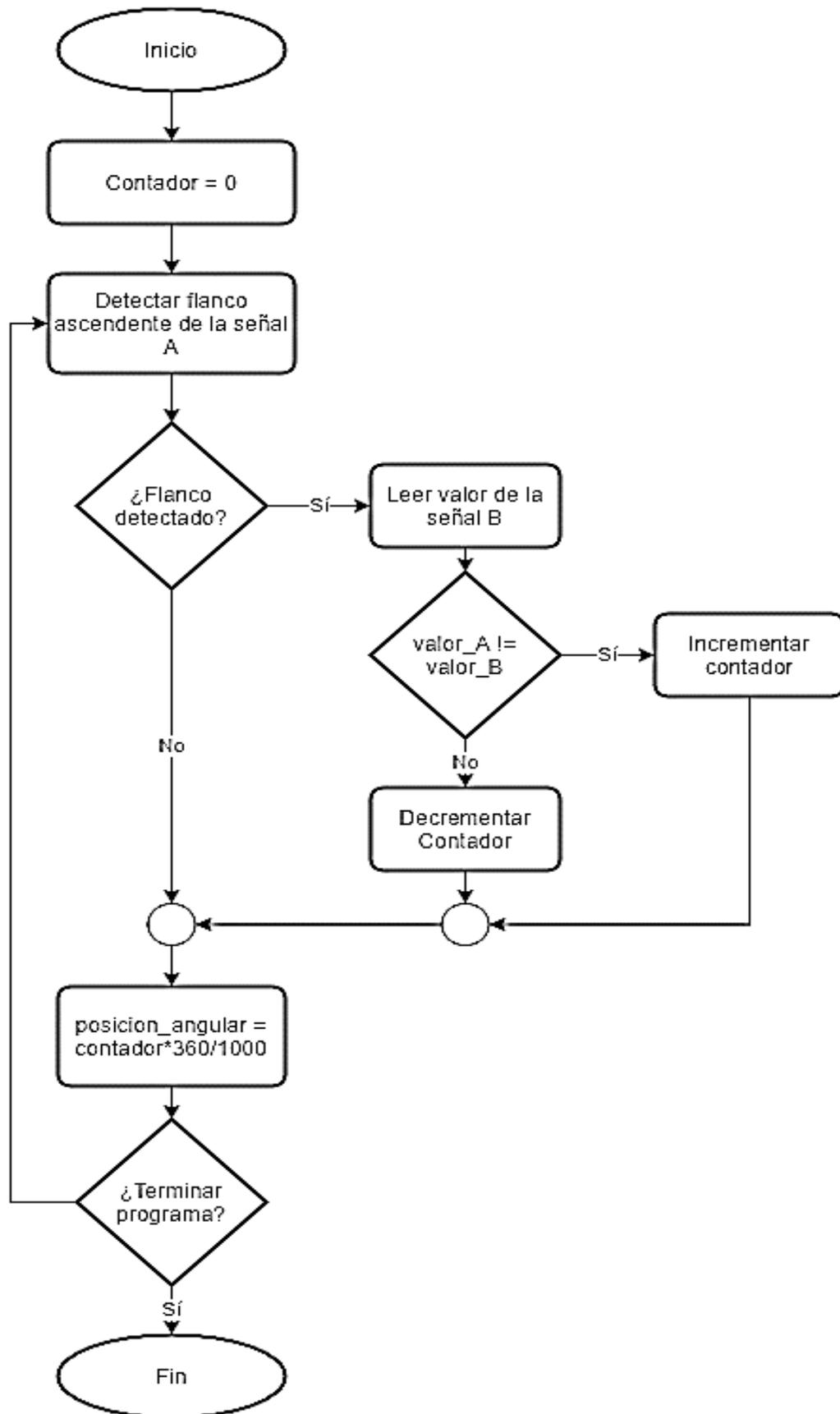
ANEXO F: Implementación del sistema de medición de posición del péndulo para pruebas de impacto del grupo de investigación GDP de la Facultad de Mecánica:



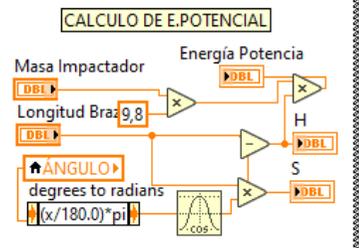
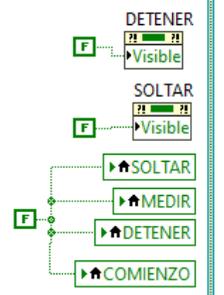
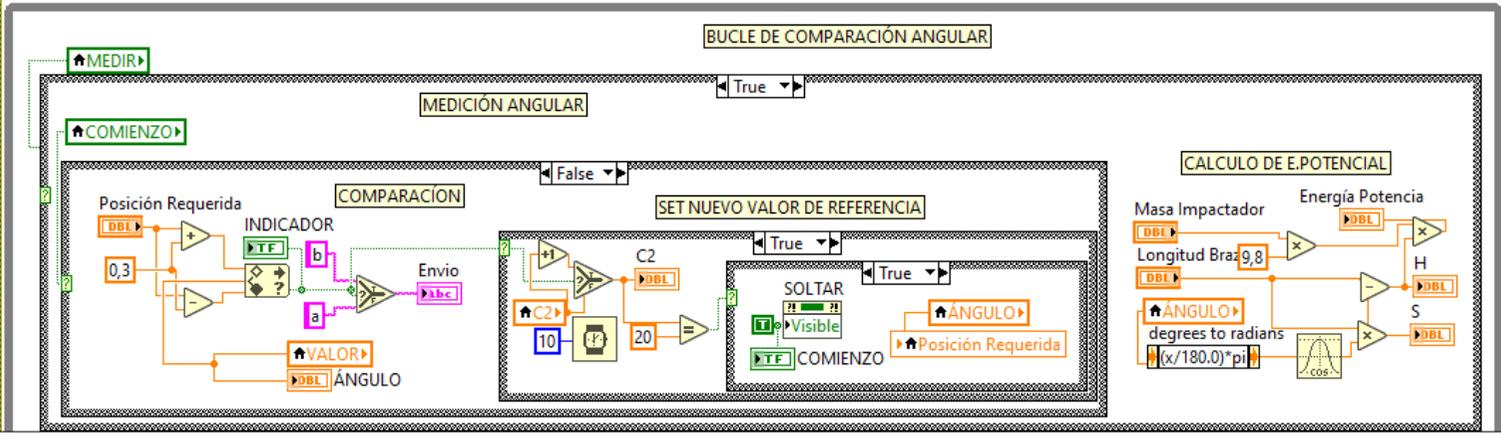
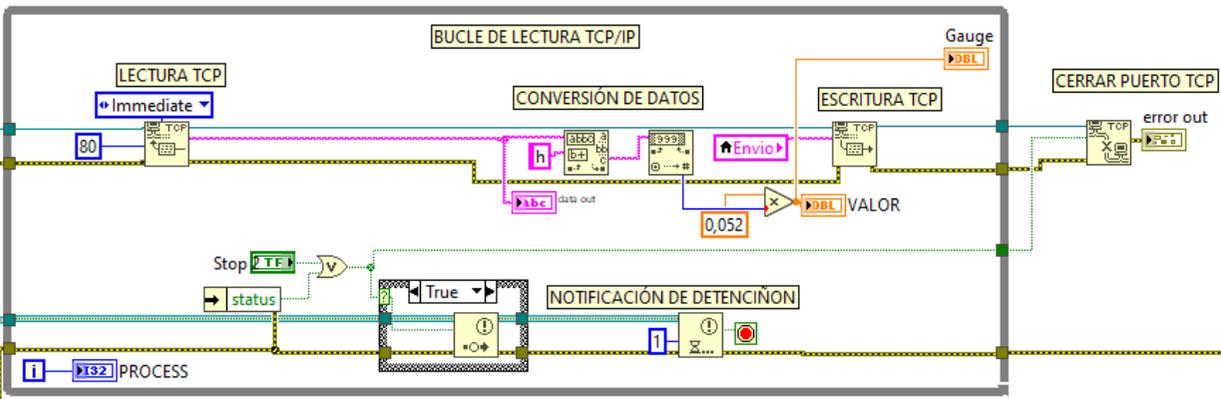
ANEXO G: Ensayos de impacto con el sistema de medición implementado para su calibración:



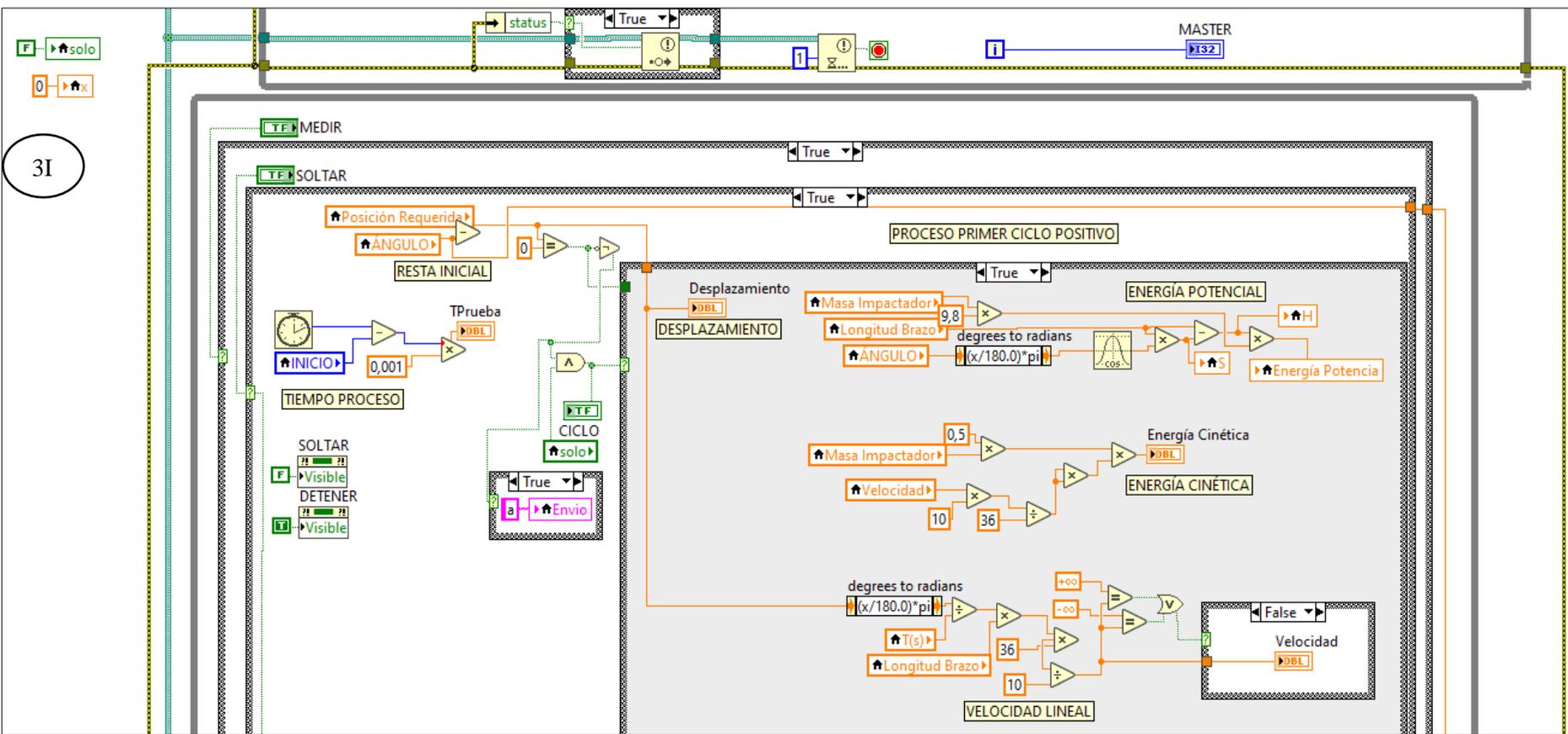
ANEXO H: Diagrama de flujo para el proceso de la adquisición de datos.

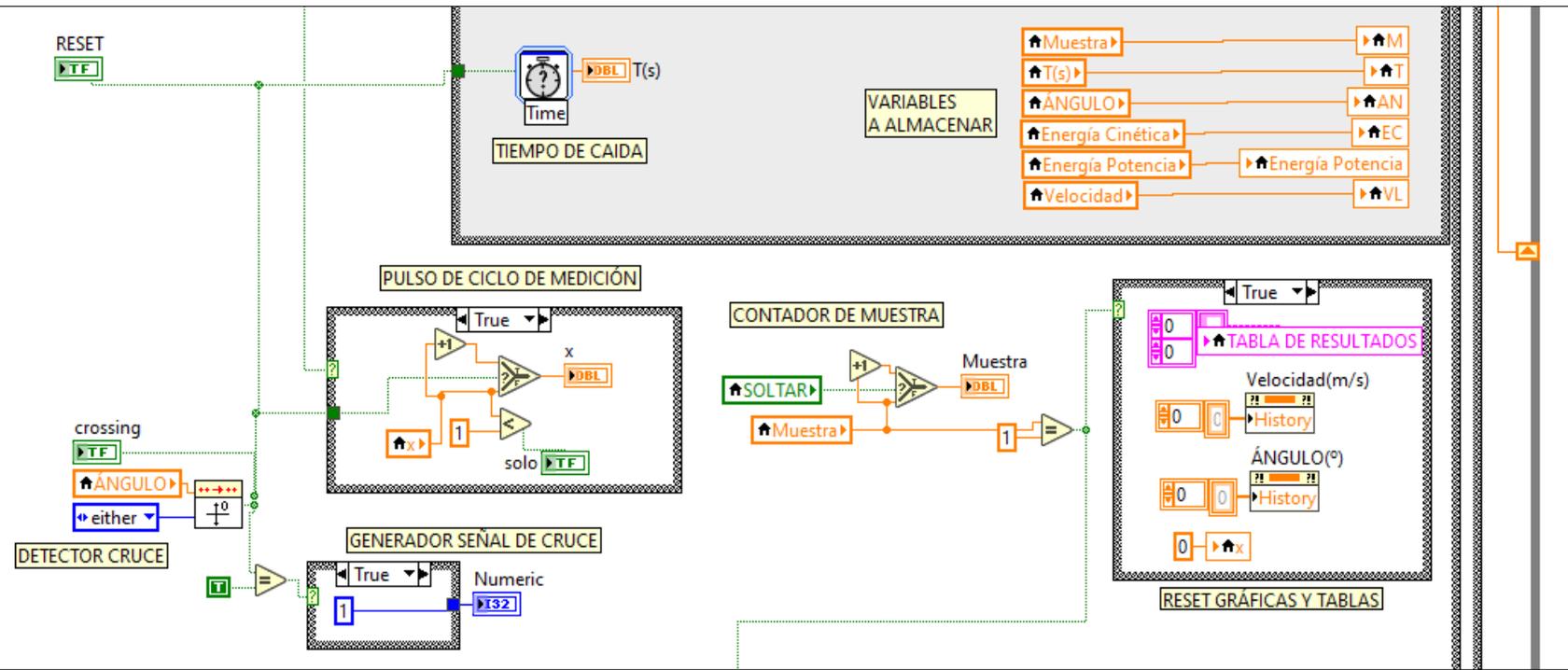


2I

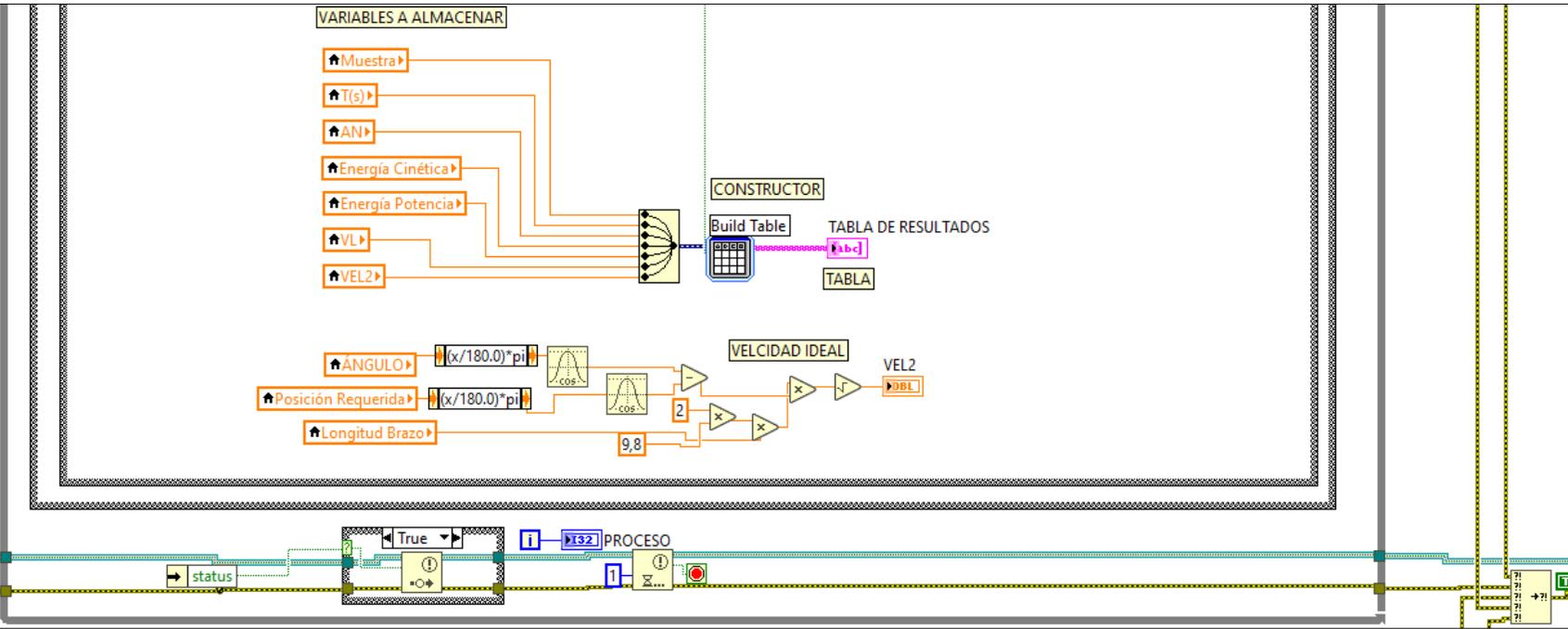


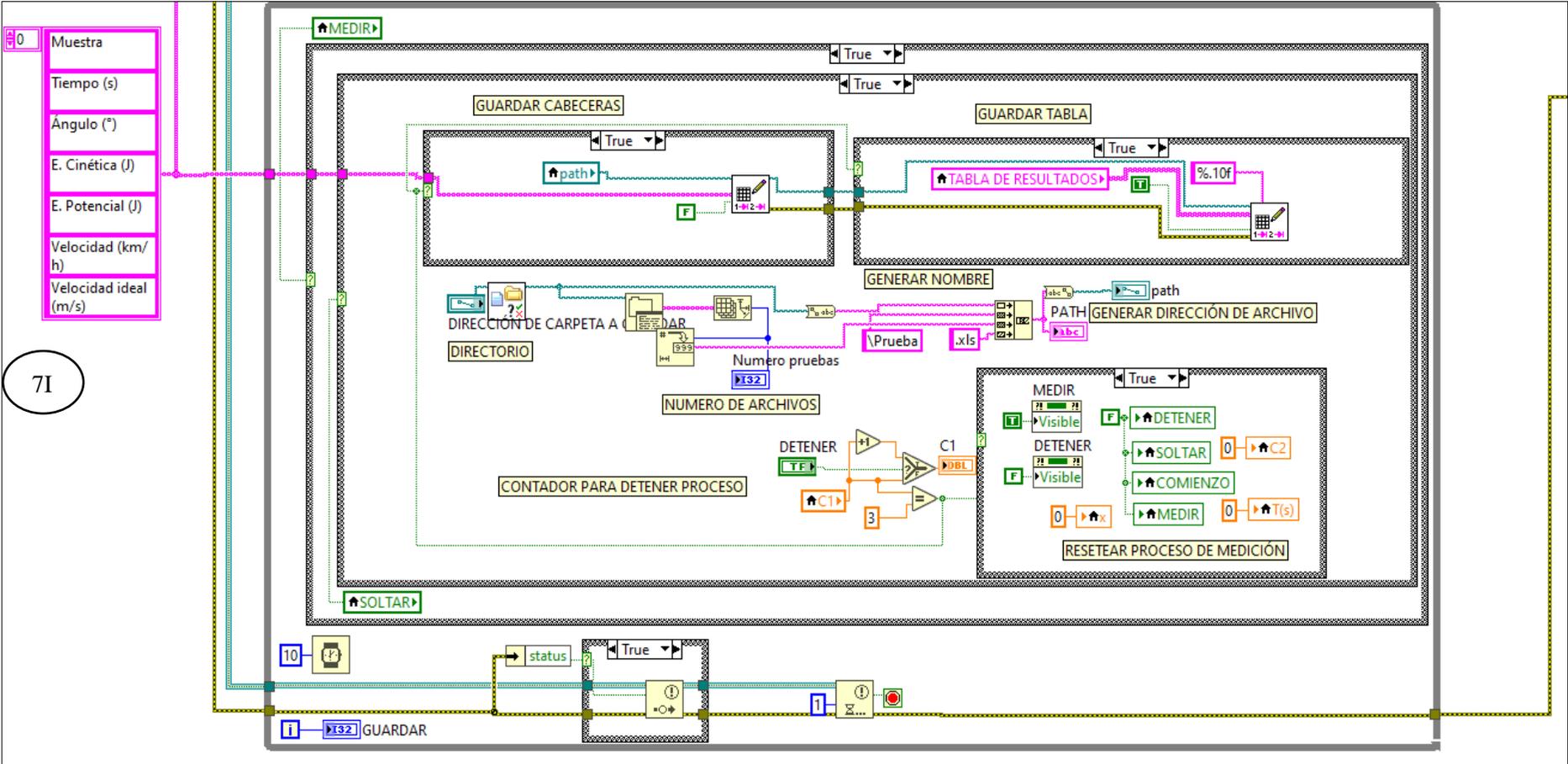
3I





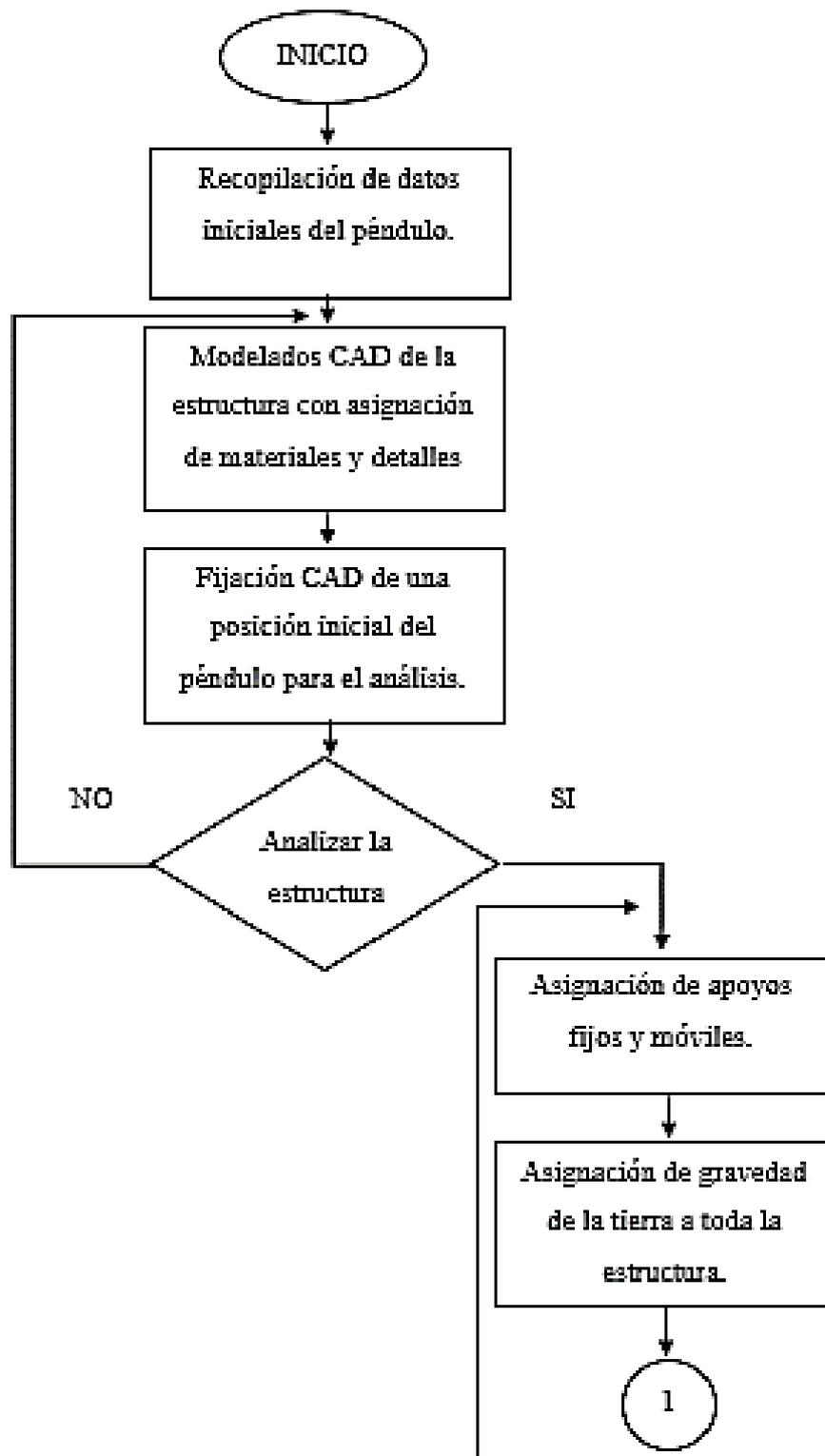
5I

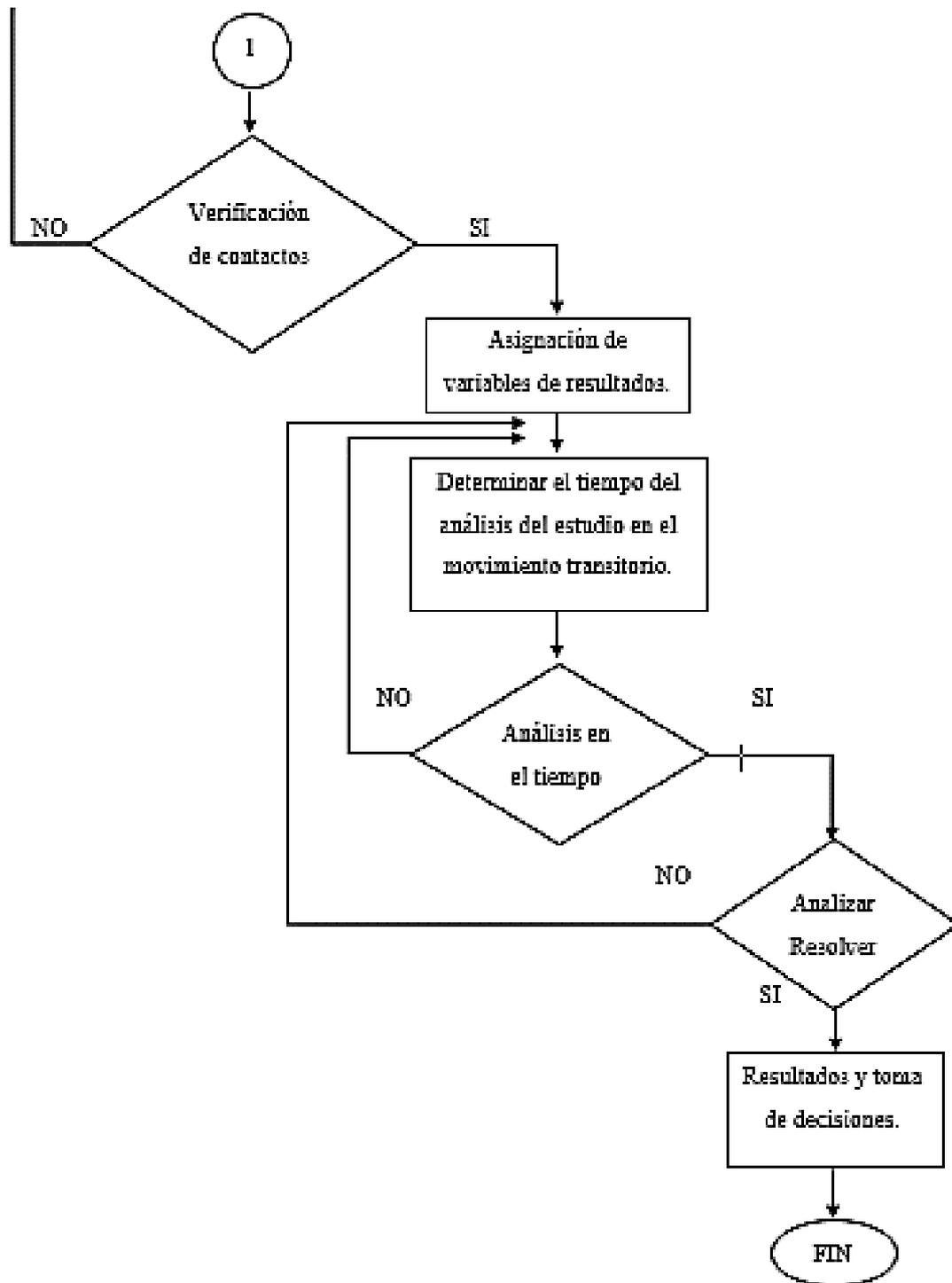




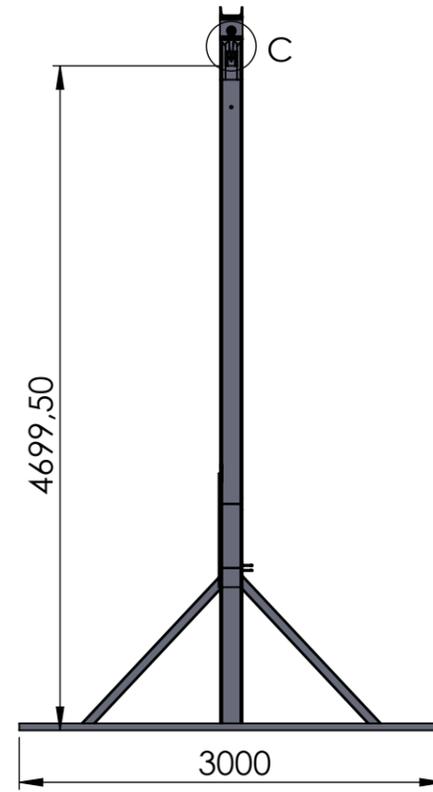
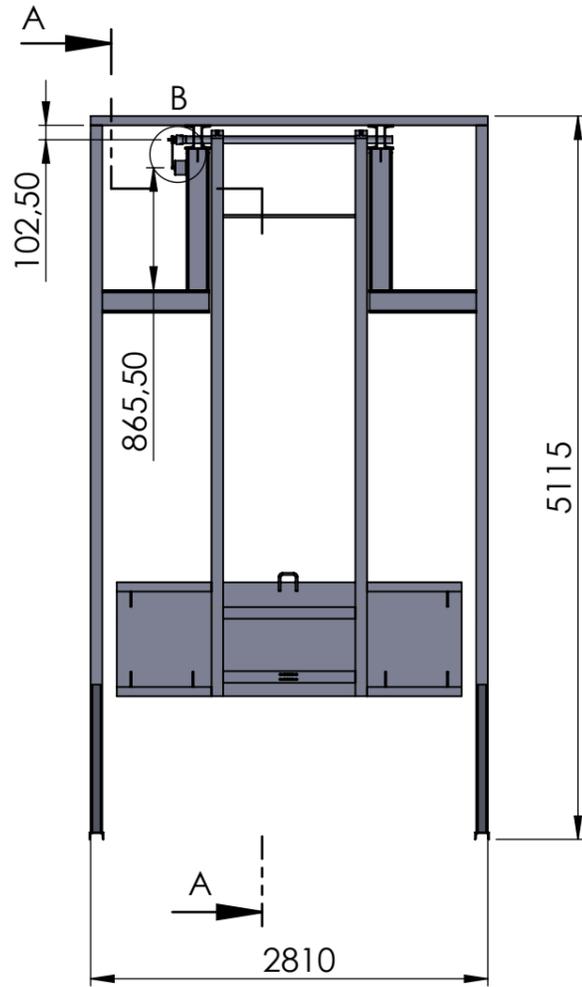
71

ANEXO J: Diagrama de flujo del proceso de simulado.





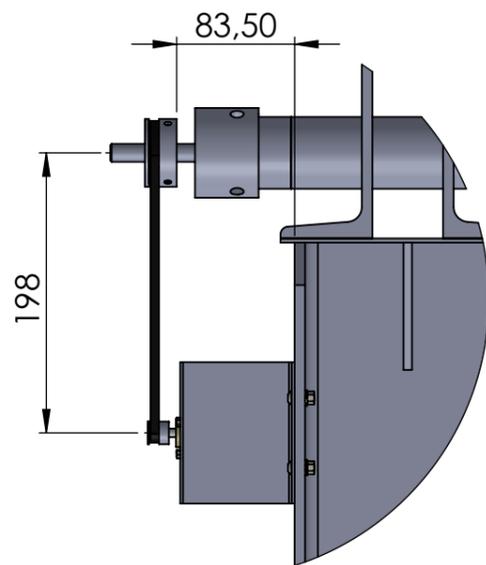
ANEXO K: Planos mecánicos y eléctricos del sistema.



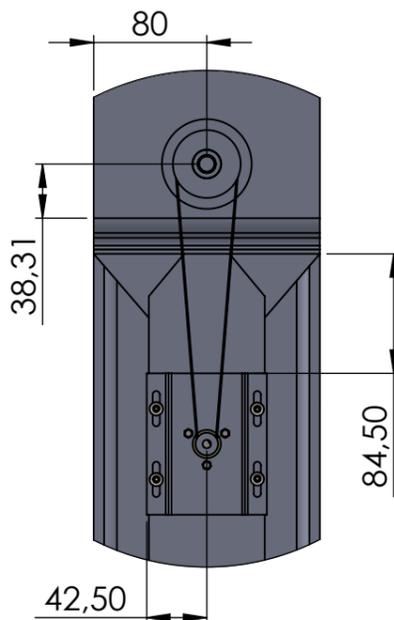
SECCIÓN A-A



Escala 1:50

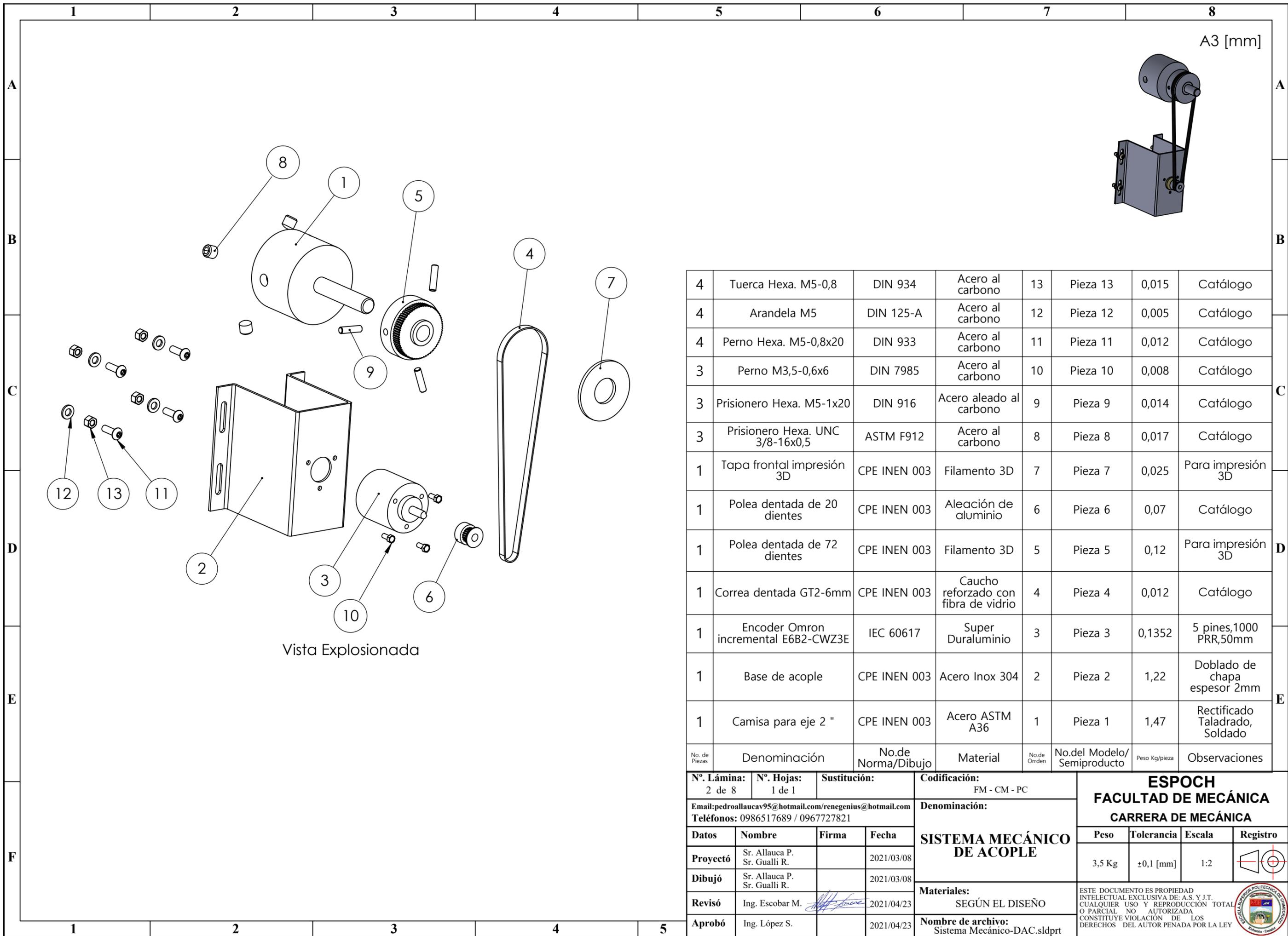


DETALLE B
ESCALA 1 : 5



DETALLE C
ESCALA 1 : 5

Nº. Lámina: 1 de 8		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-PC		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA							
Email: pedroallaucav95@hotmail.com/renegeenius@hotmail.com Teléfonos: 0986517689 / 0967727821						Denominación: SISTEMA MECÁNICO DE ACOPLE						Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN EL DISEÑO		Nombre de archivo: Sistema de acople.DAC.sldprt		3	±0.1 [mm]	1:50					
Proyectó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY											
Dibujó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08												
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/04/23												
Aprobó	Ing. López S.		2021/04/23												

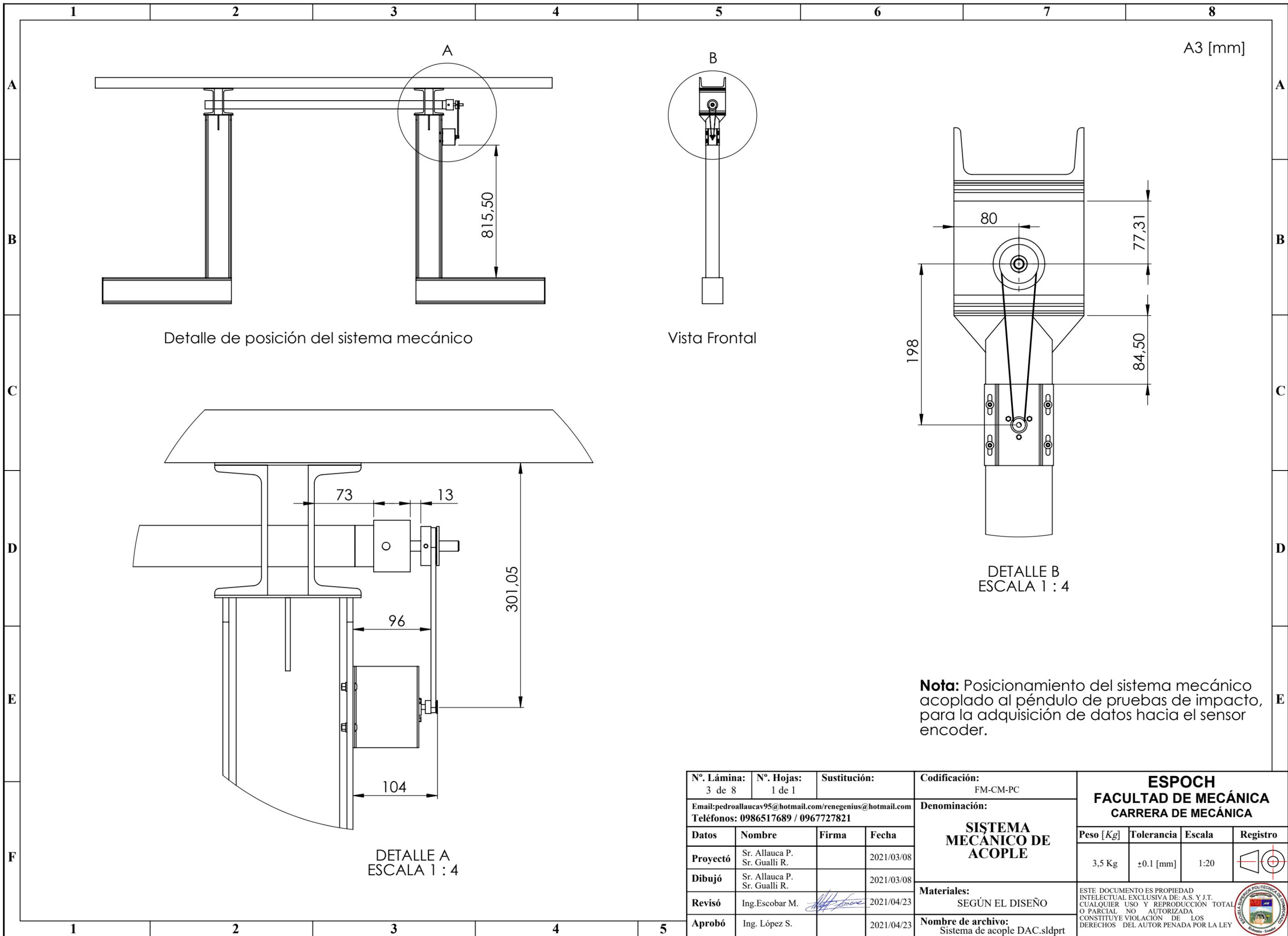


Vista Explosionada

No. de Piezas	Denominación	No.de Norma/Dibujo	Material	No.de Orden	No.del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones
4	Tuerca Hexa. M5-0,8	DIN 934	Acero al carbono	13	Pieza 13	0,015	Catálogo
4	Arandela M5	DIN 125-A	Acero al carbono	12	Pieza 12	0,005	Catálogo
4	Perno Hexa. M5-0,8x20	DIN 933	Acero al carbono	11	Pieza 11	0,012	Catálogo
3	Perno M3,5-0,6x6	DIN 7985	Acero al carbono	10	Pieza 10	0,008	Catálogo
3	Prisionero Hexa. M5-1x20	DIN 916	Acero aleado al carbono	9	Pieza 9	0,014	Catálogo
3	Prisionero Hexa. UNC 3/8-16x0,5	ASTM F912	Acero al carbono	8	Pieza 8	0,017	Catálogo
1	Tapa frontal impresión 3D	CPE INEN 003	Filamento 3D	7	Pieza 7	0,025	Para impresión 3D
1	Polea dentada de 20 dientes	CPE INEN 003	Aleación de aluminio	6	Pieza 6	0,07	Catálogo
1	Polea dentada de 72 dientes	CPE INEN 003	Filamento 3D	5	Pieza 5	0,12	Para impresión 3D
1	Correa dentada GT2-6mm	CPE INEN 003	Caucho reforzado con fibra de vidrio	4	Pieza 4	0,012	Catálogo
1	Encoder Omron incremental E6B2-CWZ3E	IEC 60617	Super Duraluminio	3	Pieza 3	0,1352	5 pines,1000 PRR,50mm
1	Base de acople	CPE INEN 003	Acero Inox 304	2	Pieza 2	1,22	Doblado de chapa espesor 2mm
1	Camisa para eje 2 "	CPE INEN 003	Acero ASTM A36	1	Pieza 1	1,47	Rectificado Taladrado, Soldado

N°. Lámina: 2 de 8		N°. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM - CM - PC		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA							
Email: pedroallaucav95@hotmail.com/renegenius@hotmail.com						Denominación:						Peso		Tolerancia	
Teléfonos: 0986517689 / 0967727821						SISTEMA MECÁNICO DE ACOPLE		3,5 Kg		±0,1 [mm]		1:2			
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Materiales:							
Proyectó		Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.				2021/03/08		SEGÚN EL DISEÑO							
Dibujó		Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.				2021/03/08		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/04/23									
Aprobó		Ing. López S.				2021/04/23		Nombre de archivo: Sistema Mecánico-DAC.sldprt							





Detalle de posición del sistema mecánico

Vista Frontal

DETALLE B
ESCALA 1 : 4

DETALLE A
ESCALA 1 : 4

Nota: Posicionamiento del sistema mecánico acoplado al péndulo de pruebas de impacto, para la adquisición de datos hacia el sensor encoder.

N°. Lámina: 3 de 8		N°. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-CM-PC		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA							
Email: pedroallaucav95@hotmail.com/renegeenius@hotmail.com Teléfonos: 0986517689 / 0967727821						SISTEMA MECÁNICO DE ACOUPLE						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		3,5 Kg		±0.1 [mm]		1:20	
Proyectó		Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.				2021/03/08		Materiales: SEGÚN EL DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.				2021/03/08									
Revisó		Ing. Escobar M.				2021/04/23									
Aprobó		Ing. López S.				2021/04/23									
						Nombre de archivo: Sistema de acople DAC.sldprt									

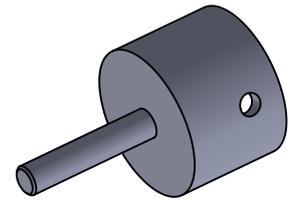
1

2

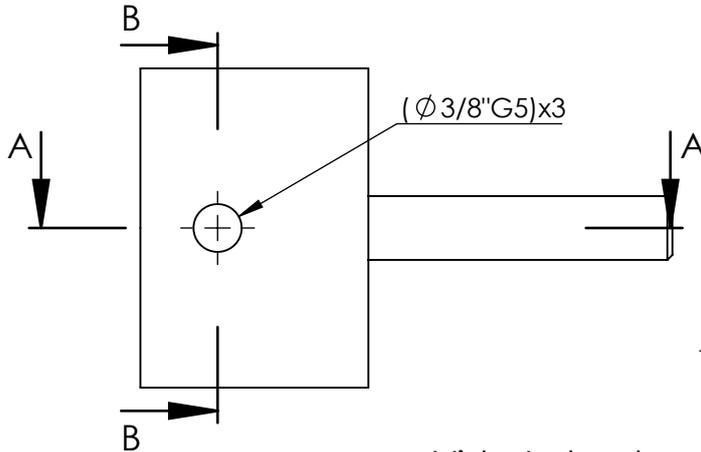
3

4

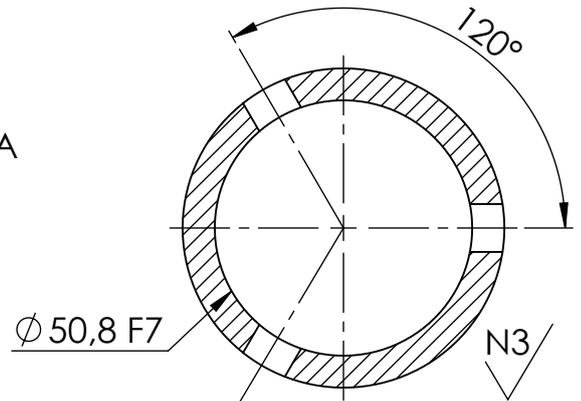
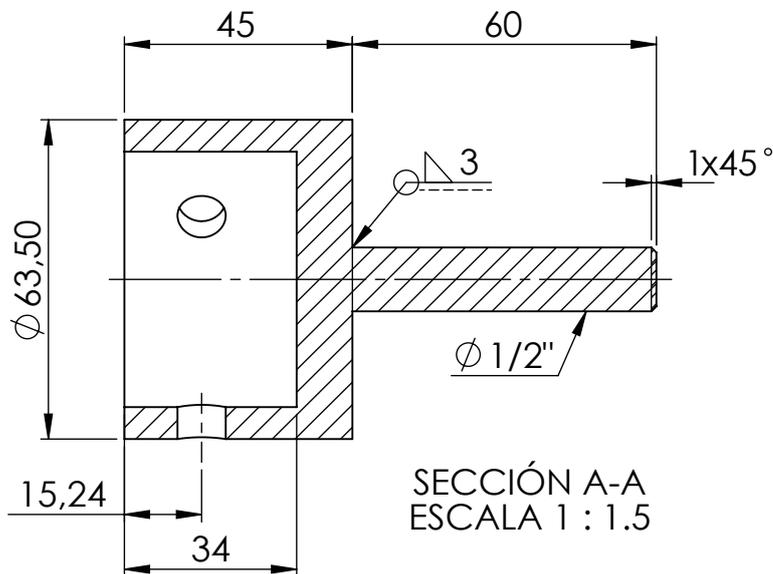
A4 [mm]



Vista Isométrica



Vista Lateral

SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1.5SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1.5

Ø 50,8 F7	50,860 mm
	50,830 mm
Ø 3/8" G5	9,536 mm
	9,530 mm
N3	Pulido 0,3 Um

Nº. Lámina: 4 de 8
Nº. Hojas: 1 de 1

Sustitución:

Codificación:
FM-EIM - PC

E-mail: peterallaucav@hotmail.com/renegenius@hotmail.com
Teléfonos: 0986517689 / 0967727821

Denominación:

ESPOCH
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08
Dibujó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/04/23
Aprobó	Ing. López S.		2021/04/23

**CAMISA PARA
EL EJE 2"**

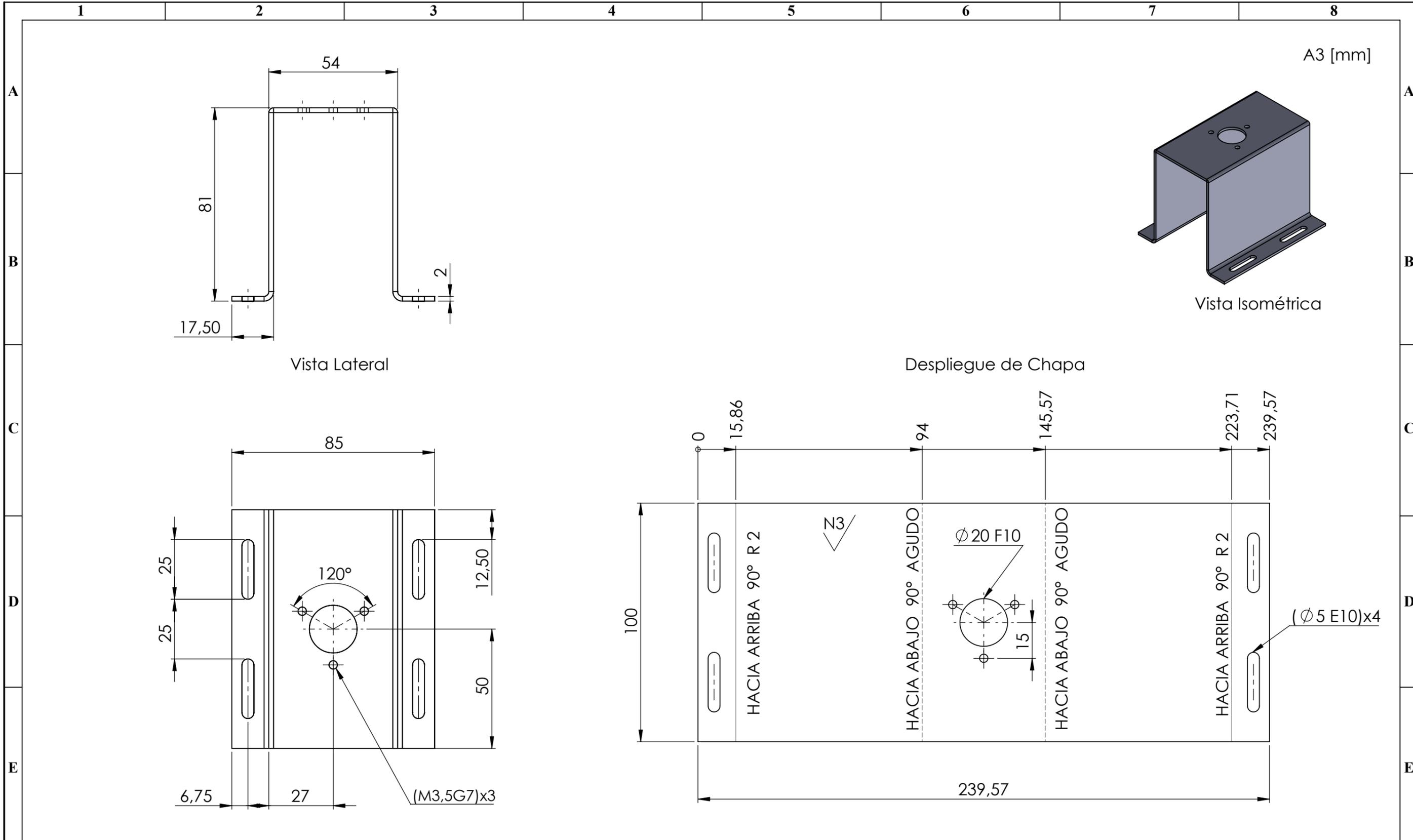
Materiales:
Acero ASTM A36

Nombre de archivo:
Camisa DAC.sldprt

Peso	Tolerancia	Escala	Registro
1,47 Kg	±0,1 [mm]	1:1,5	

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY





Ø 20 F10	20,104 mm
	20,020 mm
Ø M3,5 G7	3,516 mm
	3,504 mm
Ø 5 E10	5,068 mm
	5,020 mm
N3	Pulido 0,2 Um

Nº. Lámina: 5 de 8	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	
E-mail: peterallaucav95@hotmail.com/renegeenius@hotmail.com Teléfonos: 0986517689 / 0967727821			
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08
Dibujó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/04/23
Aprobó	Ing. López S.		2021/04/23

Codificación: FM- CM-PC
Denominación: BASE METÁLICA
Materiales: Acero INOX 304
Nombre de archivo: BaseDAC.sldprt

ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
1,22 Kg	±0.1 [mm]	1:1.5	
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			



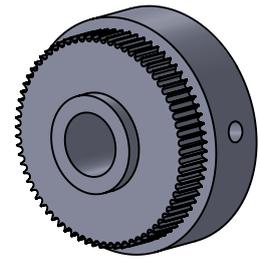
1

2

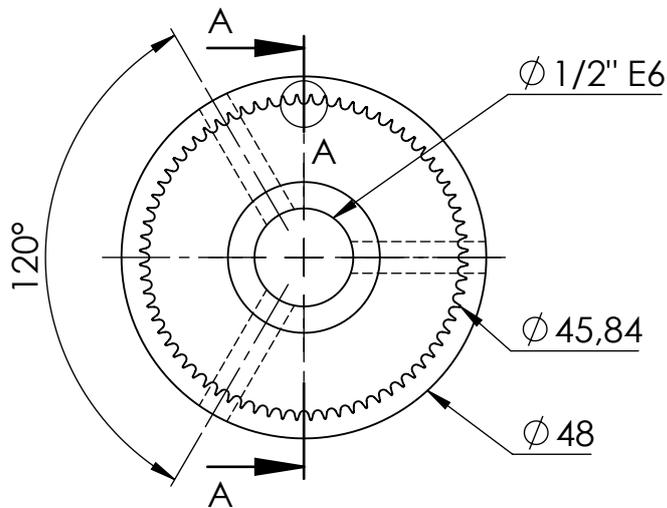
3

4

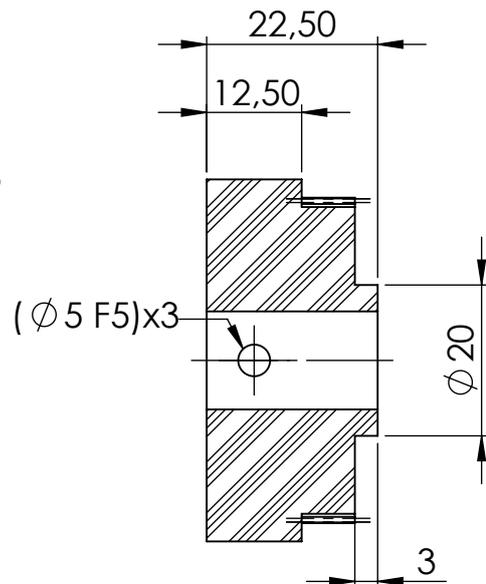
A4 [mm]



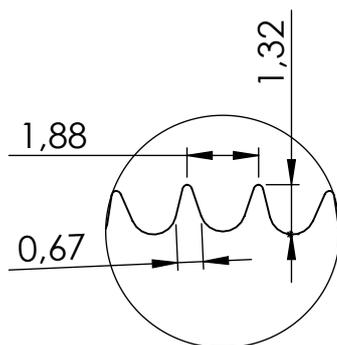
Vista Isométrica



Vista Frontal



SECCIÓN A-A

DETALLE A
ESCALA 5 : 1

Nota: Debido a que la polea no va a estar sujeto a esfuerzos considerables y solo transmite movimiento, entonces el diseño y la materialización son suficientes para la plicación y no necesita mecanizado.

$\phi 5$ F5	5,015 mm
	5,010 mm
$\phi 1/2''$ E6	12,743 mm
	12,732 mm
N° Dientes	72
Paso entre diente	1,88 mm
Paso Diametral	45,84 mm
Módulo	0,636 mm
Rel. Trans.	3,6

N°. Lámina: 6 de 8	N°. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	Codificación: FM-CM - PC	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA				
Email: pedroallaucav95@hotmail.com/rengenius@hotmail.com Teléfonos: 0986517689 / 0967727821			Denominación: POLEA DENTADA IMPRESIÓN 3D					Peso
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Filamento PLA	0,12 Kg	$\pm 0,1$ [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08					
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/04/23					
Aprobó	Ing. López S.		2021/04/23	Nombre de archivo: Polea Dentada DAC.sldprt				

1

2

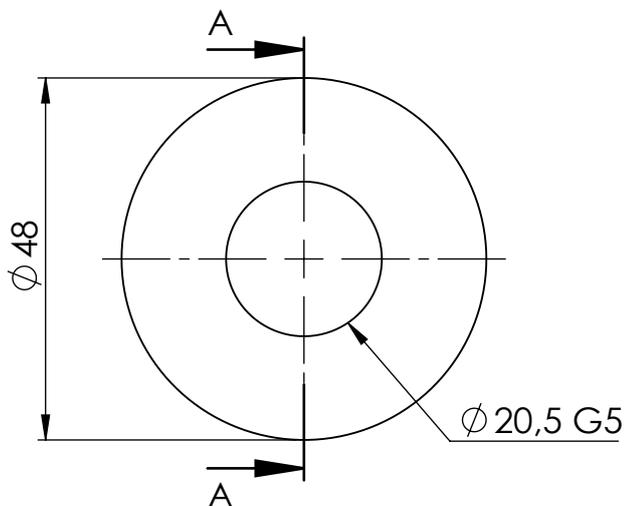
3

4

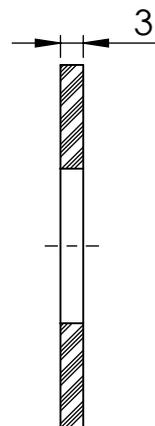
A4 [mm]



Vista Isométrica

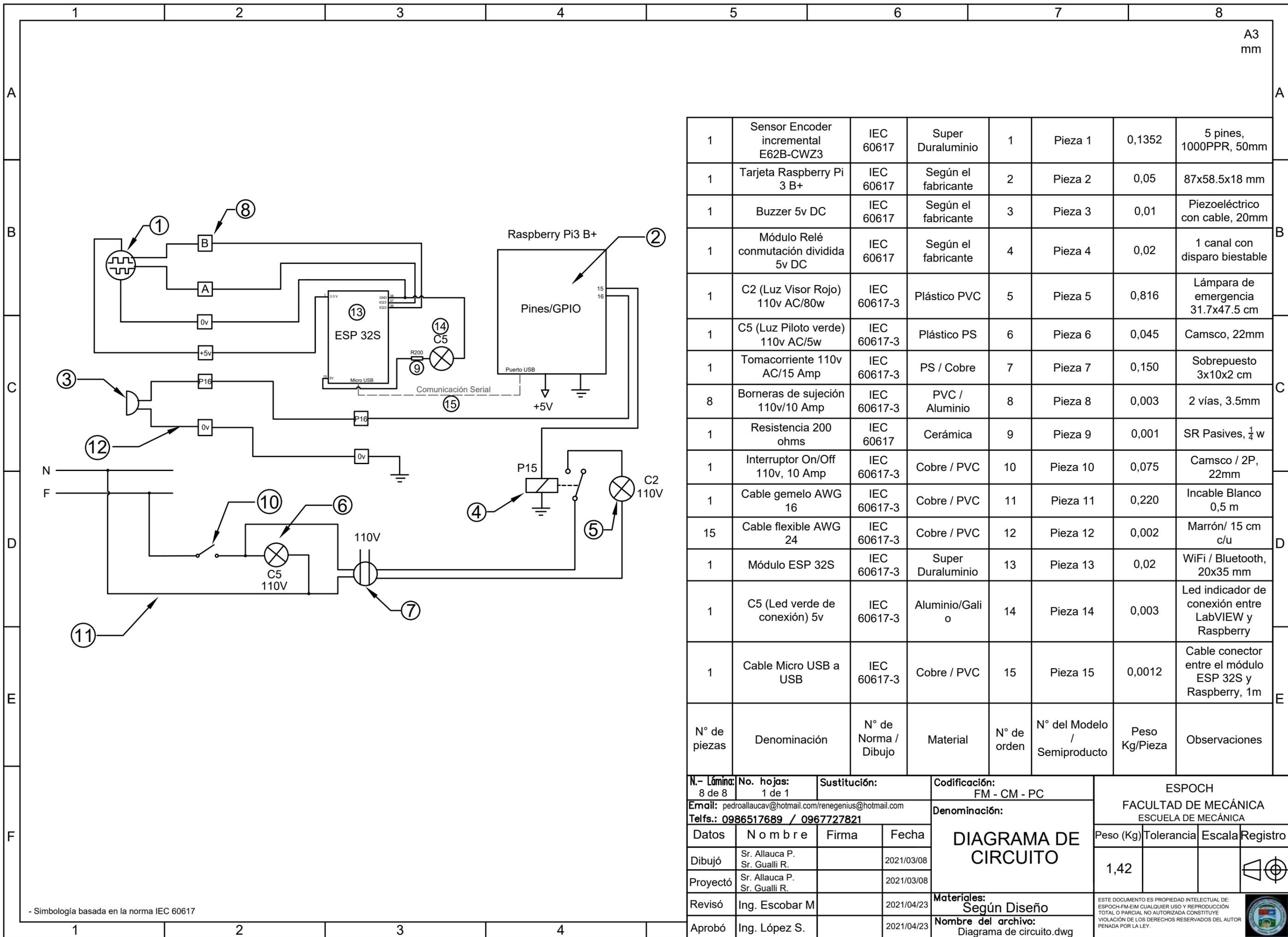


Vista Frontal

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

$\phi 20,5 \text{ G5}$	20,516 mm
	20,507 mm

Nº. Lámina: 7 de 8	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	Codificación: FM - CM - PC	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA				
Email: pedroallaucav95@hotmail.com/renegenius@hotmail.com Teléfonos: 0986517689 / 0967727821			Denominación: TAPA FRONTAL IMPRESIÓN 3D					Peso
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Filamento PLA	0,025 Kg	±0,1 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08					
Dibujó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.		2021/03/08					
Revisó	Ing. Escobar M.		2021/04/23	Nombre de archivo: Tapa Frontal.DAC.sldprt	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó	Ing. López S.		2021/04/23					



N° de piezas	Denominación	N° de Norma / Dibujo	Material	N° de orden	N° del Modelo / Semiproducto	Peso Kg/Pieza	Observaciones
1	Sensor Encoder incremental E62B-CWZ3	IEC 60617	Super Duraluminio	1	Pieza 1	0,1352	5 pines, 1000PPR, 50mm
1	Tarjeta Raspberry Pi 3 B+	IEC 60617	Según el fabricante	2	Pieza 2	0,05	87x58.5x18 mm
1	Buzzer 5v DC	IEC 60617	Según el fabricante	3	Pieza 3	0,01	Piezoeléctrico con cable, 20mm
1	Módulo Relé conmutación dividida 5v DC	IEC 60617	Según el fabricante	4	Pieza 4	0,02	1 canal con disparo biestable
1	C2 (Luz Visor Rojo) 110v AC/80w	IEC 60617-3	Plástico PVC	5	Pieza 5	0,816	Lámpara de emergencia 31.7x47.5 cm
1	C5 (Luz Piloto verde) 110v AC/5w	IEC 60617-3	Plástico PS	6	Pieza 6	0,045	Camsco, 22mm
1	Tomacorriente 110v AC/15 Amp	IEC 60617-3	PS / Cobre	7	Pieza 7	0,150	Sobrepuesto 3x10x2 cm
8	Borneras de sujeción 110v/10 Amp	IEC 60617-3	PVC / Aluminio	8	Pieza 8	0,003	2 vías, 3.5mm
1	Resistencia 200 ohms	IEC 60617	Cerámica	9	Pieza 9	0,001	SR Pasives, 1/4 w
1	Interruptor On/Off 110v, 10 Amp	IEC 60617-3	Cobre / PVC	10	Pieza 10	0,075	Camsco / 2P, 22mm
1	Cable gemelo AWG 16	IEC 60617-3	Cobre / PVC	11	Pieza 11	0,220	Incable Blanco 0,5 m
15	Cable flexible AWG 24	IEC 60617-3	Cobre / PVC	12	Pieza 12	0,002	Marrón/ 15 cm c/u
1	Módulo ESP 32S	IEC 60617-3	Super Duraluminio	13	Pieza 13	0,02	WiFi / Bluetooth, 20x35 mm
1	C5 (Led verde de conexión) 5v	IEC 60617-3	Aluminio/Galio	14	Pieza 14	0,003	Led indicador de conexión entre LabVIEW y Raspberry
1	Cable Micro USB a USB	IEC 60617-3	Cobre / PVC	15	Pieza 15	0,0012	Cable conector entre el módulo ESP 32S y Raspberry, 1m

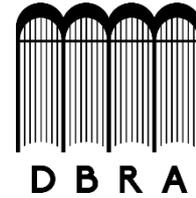
N.- Lámina: 8 de 8		No. hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM - CM - PC		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE MECÁNICA							
Email: pedroallaucav@hotmail.com/renegenius@hotmail.com				Denominación:				Peso (Kg)		Tolerancia		Escala		Registro	
Telfs.: 0986517689 / 0967727821				DIAGRAMA DE CIRCUITO				1,42							
Datos	Nombre		Firma					Fecha							
Dibujó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.							2021/03/08							
Proyectó	Sr. Allauca P. Sr. Gualli R.				2021/03/08		Materiales:		Según Diseño		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS RESERVADOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.</small>				
Revisó	Ing. Escobar M				2021/04/23		Nombre del archivo:		Diagrama de circuito.dwg						
Aprobó	Ing. López S.				2021/04/23										

- Simbología basada en la norma IEC 60617





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: PEDRO DANIEL ALLAUCA VARGAS RENÉ IVÁN GUALLI MINTA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MECÁNICA
Título a optar: INGENIERO MECÁNICO
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

