

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELECTROMECAÁNICA
Programa: Ingeniería Mecatrónica



PROYECTO DE GRADO

**“DISEÑO DE UN SIMULADOR SÍSMICO
ORIENTADO A LA CAPACITACIÓN EN GESTIÓN
DE RIESGO ANTE TERREMOTO,
CASO: OBSERVATORIO SAN CALIXTO”**

Proyecto de grado para obtener el grado académico en:
Ingeniería Mecatrónica

Postulante : Univ. Tomas Molina Arteaga
Tutor : Ing. Máximo Torrez Huanacu

La Paz – Bolivia
2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A Dios que me dio fortaleza para realizar el presente trabajo.

A mis padres y padrinos por todo el gran apoyo y la motivación que me brindaron en el transcurso de mis estudios y culminación del presente proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a la Universidad “Mayor de San Andrés”, a la carrera de Ingeniería Mecánica y Electromecánica por su formación brindada a lo largo de estos años, en especial a todos los docentes.

A mi tutor Ing. Máximo Torrez por su comprensión, su conocimiento transmitido y por la disponibilidad de su tiempo a lo largo de la elaboración y culminación de este trabajo.

A mis tribunales: Ing. Vicente Guerreros, Ing. Febo Flores y Ing. Ricardo Gottret por su colaboración y sus recomendaciones hechas en la revisión de este trabajo.

Un agradecimiento especial a Mayra Nieto por siempre darme su apoyo y cariño incondicional, siempre en mis logros estuvo presente. Sin olvidar a todas aquellas personas que creyeron en mí y me ayudaron.

RESUMEN

La institución Observatorio San Calixto tiene la necesidad de adquirir una máquina capaz de simular terremotos para sus cursos de capacitación, es la motivación del presente proyecto titulado “DISEÑO DE UN SIMULADOR SÍSMICO ORIENTADO A LA CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGO ANTE TERREMOTO”, la metodología empleada está comprendida de cuatro fases: especificaciones, análisis, diseño y validación. En la fase de diseño se identificó dos sistemas: mecánico y electrónico, la parte mecánica se implementó con perfiles de acero y mecanismo biela manivela, la parte electrónica mediante un microcontrolador y motores paso a paso. La fase de validación se realizó con el programa SolidWorks y la implementación de un prototipo a escala. Las ventajas de este simulador sísmico diseñado son; bajo costo en comparación con simuladores comerciales, tres grados de libertad y el fácil manejo.

Palabras clave: Diseño, simulador sísmico, simulación, prototipo.

ABSTRACT

The institution San Calixto Observatory has the need to acquire a machine capable of simulating earthquakes for its training courses, which is the motivation for this project entitled "DESIGN OF A SEISMIC SIMULATOR FOR EARTHQUAKE RISK MANAGEMENT TRAINING", the methodology used is comprised of four phases: specifications, analysis, design and validation. In the design phase two systems were identified: mechanical and electronic, the mechanical part was implemented with steel profiles and crank-connecting rod mechanism, the electronic part by means of a microcontroller and stepper motors. The validation phase is done with the SolidWorks program and the implementation of a scaled prototype. The advantages of this designed seismic simulator are; low cost compared to commercial simulators, three degrees of freedom and easy handling.

Keywords: Design, seismic simulator, simulation, prototype.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción	1
1.2. Diagnóstico	2
1.3. Planteamiento y formulación del problema	3
1.3.1. Planteamiento del problema.....	3
1.3.2. Formulación del problema	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación.....	4
1.5.1. Justificación social.....	4
1.5.2. Justificación tecnológica.....	4
1.5.3. Justificación económica.....	5
1.6. Alcances y límites	5
1.6.1. Alcance	5
1.6.2. Límites	5
1.7. Metodología	5

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes	7
2.1.1. Antecedentes de la Institución OSC	7
2.1.2. Antecedentes del objeto de estudio.....	7
2.1.3. Antecedentes del proyecto	8
2.1.4. Antecedentes simuladores comerciales	10
2.2. Conceptos sismológicos	12

2.2.1.	Sismo o Terremoto.....	12
2.2.2.	Medición de los terremotos.....	12
2.2.3.	Parámetros de un sismo	13
2.2.4.	Ondas sísmicas.....	14
2.2.5.	Escalas sísmicas	15
2.3.	Marco tectónico y sismicidad de Bolivia.....	18
2.3.1.	Historia sísmica en Bolivia.....	20
2.3.2.	Mapa probabilístico de amenaza sísmica para Bolivia.....	21
2.4.	Ensayos de simulación sísmica	22
2.4.1.	Ensayos cuasi estáticos	22
2.4.2.	Ensayos en mesa sísmica o simulador sísmico.....	23
2.5.	Simulador Sísmico	23
2.5.1.	Partes de un simulador sísmico.....	25
2.5.2.	Sistemas utilizados en el diseño de simuladores	26
2.5.3.	Componentes en un simulador sísmico biela manivela	29

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1.	Especificación de parámetros de diseño	35
3.1.1.	Requerimientos de la institución.....	35
3.1.2.	Movimiento generador por las ondas sísmicas.....	35
3.1.3.	Alternativas para generar movimiento lineal.....	36
3.1.4.	Esquema general del sistema	37
3.1.5.	Sistema mecánico y electrónico.....	37
3.2.	Análisis previos al diseño.....	39
3.2.1.	Análisis cinemático.....	39
3.2.2.	Análisis estático	45
3.2.3.	Análisis dinámico	46
3.2.4.	Análisis energético.....	51
3.3.	Diseño mecánico y validación	52
3.4.	Diseño electrónico y validación	59
3.5.	Elementos especificados	65
3.6.	Resumen de memoria de cálculo.....	70

CAPÍTULO IV

MANUFACTURA

4.1. Máquinas y herramientas	73
4.2. Procesos de construcción	73
4.3. Procedimiento de montaje.....	74
4.4. Construcción de prototipo a escala	77
4.4.1. Sistema mecánico	77
4.4.2. Sistema electrónico	81
4.4.3. Integración sistema mecánico-electrónico.....	85
4.4.4. Prueba operacional del sistema.....	87

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Costos de materiales.....	93
5.2. Costos de elementos especificados	94
5.3. Costos de insumos.....	95
5.4. Costos de máquinas y equipos	96
5.5. Costos de mano de obra	96
5.6. Otros costos.....	97
5.7. Precio.....	98

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN

6.1. Evaluación técnica	101
6.2. Evaluación económica	102

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones	103
7.2. Recomendaciones.....	104

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.....	105
-------------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS	107
ANEXO B: PROGRAMA EN C	122
ANEXO C: CRONOGRAMA PARA LA CONSTRUCCIÓN SIMULADOR..	132
ANEXO D: DATOS TÉCNICOS	133
ANEXO E: NORMATIVA EMPLEADA	139
ANEXO F: MANUAL DE USUARIO.....	141
ANEXO G: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	145
ANEXO H: ASPECTOS SÍSMICOS	148
ANEXO I: PROFORMA SIMULADOR QUANSER.....	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cinturón de fuego del Pacífico.....	1
Figura 2. Cursos de capacitación en la Institución OSC.....	7
Figura 3. Diseño mesa sísmica unidireccional hidráulica.....	8
Figura 4. Construcción mesa sísmica unidireccional neumática.....	9
Figura 5. Construcción mesa sísmica unidireccional.....	10
Figura 6. Simulador sísmico unidireccional Shake Table II.....	10
Figura 7. Simulador sísmico bidireccional Shake Table III XY.....	11
Figura 8. Sismógrafo y sismograma.....	12
Figura 9. Señal sísmica característica.....	13
Figura 10. Parámetros de un sismo.....	13
Figura 11. Ondas Sísmicas.....	15
Figura 12. Mapa de unidades morfoestructurales de Bolivia.....	18
Figura 13. Fuentes sísmogénicas para el territorio nacional.....	19
Figura 14. Viviendas de Aiquile destruidas tras el sismo de 1998.....	20
Figura 15. Mapa probabilístico de amenaza sísmica.....	21
Figura 16. Simulador sísmico unidireccional.....	24
Figura 17. Simulador sísmico con seis grados de libertad de CEDEX.....	25
Figura 18. Parte de un simulador sísmico, accionamiento motor eléctrico.....	26
Figura 19. Mecanismo biela manivela.....	27
Figura 20. Mecanismo piñón cremallera.....	27
Figura 21. Mecanismo husillo y guía.....	28
Figura 22. Sistema hidráulico.....	28
Figura 23. Componentes principales, simulador sísmico uniaxial.....	29
Figura 24. Partes de un motor paso a paso.....	30
Figura 25. Motor paso a paso híbrido.....	32
Figura 26. Esquema del sensor ultrasonido.....	33
Figura 27. Sensor ultrasonido HC SR04.....	33
Figura 28. Rodamientos.....	34
Figura 29. Señal sísmica, ondas superficiales.....	35
Figura 30. Movimiento de partículas según tipo de ondas sísmicas.....	36
Figura 31. Esquema general simulador sísmico triaxial.....	37
Figura 32. Sistema biela manivela pistón.....	39
Figura 33. Sistema biela manivela, desplazamiento.....	40
Figura 34. Sistema biela manivela, velocidad.....	41
Figura 35. Sistema biela manivela, aceleración.....	42
Figura 36. Sistema biela manivela en el diseño.....	42
Figura 37. Pie de biela 1: desplazamiento, velocidad y aceleración.....	43
Figura 38. Pie de biela 2: desplazamiento, velocidad y aceleración.....	43
Figura 39. Variables a controlar en el mecanismo biela manivela.....	44
Figura 40. Cinemática, pie de biela 1 para θ y N variable.....	44
Figura 41. Diagrama para el análisis de inmovilidad plataforma 1 y suelo.....	45
Figura 42. Análisis de fuerzas en el arranque del motor.....	46
Figura 43. Análisis fuerza de rozamiento.....	47

Figura 44. Curva característica del motor 1, velocidad vs torque.....	49
Figura 45. Curva característica del motor 2, velocidad vs torque.....	50
Figura 46. Diseño simulador sísmico.....	52
Figura 47. Resultado, análisis tensiones axiales en vigas.....	53
Figura 48. Resultado, análisis tensiones axiales en sólidos.....	54
Figura 49. Resultado, análisis de desplazamientos.....	54
Figura 50. Resultado, análisis factor de seguridad.....	55
Figura 51. Resultado, análisis deformaciones unitarias.....	55
Figura 52. Análisis de desplazamientos en el eje crítico.....	56
Figura 53. Resultado, análisis biela 2.....	57
Figura 54. Resultado, análisis manivela 1.....	58
Figura 55. Resultado, análisis anclaje pie de biela 1.....	59
Figura 56. Diseño monitor de control.....	59
Figura 57. Diagrama de flujo, algoritmo.....	60
Figura 58. Circuito de control en Eagle.....	62
Figura 59. Secciones del circuito de control.....	62
Figura 60. PCB del circuito de control en Eagle.....	63
Figura 61. Verificación del código C en Proteus.....	64
Figura 62. Diseño final simulador sísmico.....	64
Figura 63. Perfiles estructurales acero.....	65
Figura 64. Varilla eje inoxidable.....	65
Figura 65. Motor paso a paso y controlador.....	65
Figura 66. Rodamiento lineal.....	66
Figura 67. Rodamiento.....	66
Figura 68. Resorte de suspensión.....	66
Figura 69. Chaveta pasador de ejes.....	66
Figura 70. Perno y tuerca hexagonal.....	67
Figura 71. Tuerca de presión.....	67
Figura 72. Tornillo allen sin cabeza.....	67
Figura 73. Porta cable tipo cadena.....	68
Figura 74. Madera ranurado para ensayos.....	68
Figura 75. Elementos de la placa de control.....	68
Figura 76. Flujograma de procesos.....	73
Figura 77. Herramientas para la construcción de la estructura.....	77
Figura 78. Cortado de aluminio.....	79
Figura 79. Ensamblaje de la estructura mecánica.....	79
Figura 80. Prueba de movimiento sobre los ejes.....	80
Figura 81. Lubricación en los rodamientos.....	80
Figura 82. Equipo para la construcción de la placa electrónica.....	81
Figura 83. Quemado manual de placa.....	82
Figura 84. Perforado de placa.....	83
Figura 85. Componentes soldado en la placa.....	83
Figura 86. Conexión de los motores y sensores en la placa.....	83
Figura 87. Prototipo, panel de control.....	84
Figura 88. Comprobación del voltaje en la placa.....	84
Figura 89. Verificación de pulsos al controlador drv8825.....	84

Figura 90. Integración parte mecánica y electrónica.	85
Figura 91. Prototipo implementado.	85
Figura 92. Componentes, interfaz del panel de control.	86
Figura 93. Menú del panel de control.	86
Figura 94. Aplicación Accelerometer meter.	87
Figura 95. Desplazamiento prototipo, Arduino y ultrasonido.	88
Figura 96. Desplazamiento prototipo, modo señal sísmica.	88
Figura 97. Desplazamiento y velocidad lineal en la plataforma.	89
Figura 98. Aceleración lineal en la plataforma a 5 [rpm] en el motor.	90
Figura 99. Aceleración lineal en la plataforma a 16 [rpm] en el motor.	91
Figura 100. Aceleración lineal en la plataforma a 50 [rpm] en el motor.	91
Figura 101. Desplazamiento variable en la plataforma.	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales tipos de ondas sísmicas.	14
Tabla 2. Escala de Richter.	16
Tabla 3. Escala Mercalli modificada (MM).	16
Tabla 4. Regiones con relativa frecuencia de sismos.	20
Tabla 5. Comparación de las alternativas al mecanismo.	36
Tabla 6. Componentes electrónicos de la placa de control.	69
Tabla 7. Memoria de cálculo.	70
Tabla 8. Proceso de montaje simulador.	74
Tabla 9. Materiales parte mecánica.	77
Tabla 10. Materiales parte electrónica.	81
Tabla 11. Costo de materiales.	93
Tabla 12. Costo de elementos especificados.	94
Tabla 13. Costo de insumos.	95
Tabla 14. Costo de alquiler de maquinaria y equipo.	96
Tabla 15. Costo de mano de obra.	96
Tabla 16. Otros costos.	97
Tabla 17. Resumen del costo total del Proyecto.	97
Tabla 18. Resumen de costos para el precio de venta.	100
Tabla 19. Comparativa técnica con producto comercial.	101
Tabla 20. Comparativa económica con producto comercial.	102

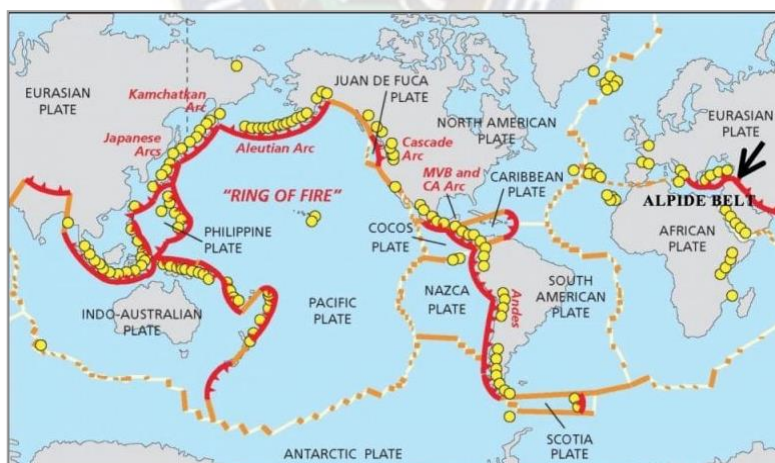
CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La región de América Latina está localizada en una zona de alta actividad sísmica, producto de su localización en el margen del llamado Cinturón de fuego del Pacífico, donde se da la subducción entre placas tectónicas, responsable del 80% de la sismicidad del planeta. Una muestra de esto son los Andes Centrales asociados a la subducción de la placa oceánica de Nazca, que se hunde debajo de la placa continental de Sudamérica, por las fosas oceánicas Peru-Chile, la placa de Nazca avanza con una velocidad promedio de 7,7 [cm/año], a un acimut de 75 [°] (es decir dirección Este-Norte- Este), en nuestra región de Bolivia a una inclinación 30 [°] por debajo de la parte central de los Andes y es causante de varios sismos en el país (OSC, 2004).

Figura 1. Cinturón de fuego del Pacífico.



Fuente: Seismicknowledge, 2022.

El conocimiento de la actividad sísmica en Bolivia y los procesos que lo genera han sido poco difundidos por lo tanto es pobremente entendida y muchas veces totalmente ignorada. La sismicidad en Bolivia es moderada, sin embargo, la vulnerabilidad en las ciudades y algunas poblaciones rurales se ha incrementado debido a los asentamientos en zonas de riesgo, situación por la cual la población

debe tomar conciencia. Un claro ejemplo es el sismo de 1998 en Aiquile Cochabamba, magnitud de 6,6 grados en la escala de Richter dejando 85 muertos, las localidades más afectadas fueron Aiquile, Totora y Mizque (OSC, 2004).

En Bolivia está la Fundación Privada de Fieles Observatorio San Calixto (OSC), que se encarga del monitoreo y vigilancia de la actividad sísmica en nuestro país lo que permite la investigación de la sismología para el conocimiento de la amenaza sísmica en la región. Entre otras actividades esta la difusión y capacitación sobre la amenaza y prevención sísmica. La inquietud de colaborar con la necesidad que tiene la institución de adquirir una máquina para los cursos de capacitación, se realiza el siguiente proyecto titulado “DISEÑO DE UN SIMULADOR SÍSMICO ORIENTADO A LA CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGO ANTE TERREMOTO”.

1.2. Diagnóstico

El Observatorio San Calixto (OSC) es una institución privada sin fines de lucro, forma parte de las obras de la Compañía de Jesús. Fue fundada por recomendación de la Segunda Asamblea General de la Asociación de Sismología, realizada en Manchester en julio de 1911, iniciando sus actividades el 1º de mayo de 1913 (OSC, 2022), se encuentra ubicado en la calle Indaburo, zona Norte de la ciudad de La Paz.

La institución OSC tiene la necesidad de adquirir un simulador sísmico para aumentar el interés de la población en temas de prevención y riesgo sísmico. Estas máquinas son de alto costo y son fabricados por empresas extranjeras (esto se debe a que su demanda está limitado a instituciones de investigación sismológica), sumado a ello el costo de importación y respectivos tramites de aduana supera el presupuesto de la institución.

En años anteriores la institución gestiona la fabricación de un simulador sísmico a algunas empresas de la ciudad de La Paz, pero no se observa ningún resultado favorable, ya que estas empresas desconocen el funcionamiento de estas máquinas como ser el tipo de movimiento que un sismo puede generar y su respectiva intensidad.

La institución al no contar con un simulador sísmico se ve obligado a utilizar otras alternativas como ser trípticos, videos y animaciones durante las capacitaciones. La experiencia nos enseña que la parte práctica proveen medios alternos y extienden los límites del conocimiento teórico, de aquí, la importancia y necesidad de contar con una máquina como del presente proyecto para encaminar la investigación experimental en el área de la sísmica y su efecto en las estructuras civiles bajo ambientes de carga simulada, y de esta manera fortalecer el conocimiento científico.

1.3. Planteamiento y formulación del problema

1.3.1. Planteamiento del problema

Considerando la realidad de nuestro país al encontrarse en una zona de actividad sísmica que han causado daños personales y materiales catastróficas en el pasado, sin embargo, en los últimos 50 años Bolivia no ha experimentado ningún terremoto destructor por ello las nuevas generaciones han olvidado cómo se comporta un terremoto, así también investigadores como el chileno F. Ortega advierte de una gran acumulación de energía sísmica en la región.

El Observatorio San Calixto actualmente no cuenta con un simulador sísmico para las capacitaciones en temas de prevención y riesgo sísmico en colegios, instituciones públicas / privadas y poblaciones en situación de riesgo.

Según lo mencionado se describen los siguientes problemas:

- No existe la máquina en el mercado nacional, pero si existe en el extranjero y tiene un alto precio de 150.000,00 [\$us].
- Imposibilitado de realizar ensayos en estructuras a escala reducida bajo ambientes de carga simuladas durante las capacitaciones.
- El conocimiento de la actividad sísmica en Bolivia y los procesos que lo genera han sido poco difundidos, en ocasiones pobremente entendida e ignorada.
- Aumento de asentamientos en zonas de riesgo sísmico y que no tienen capacitación alguna es temas de prevención sísmica.

1.3.2. Formulación del problema

¿Es posible diseñar una máquina capaz de simular sismos o terremotos, con orientación a la capacitación en gestión de riesgo en caso de terremoto?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un simulador sísmico orientado a la capacitación en gestión de riesgo en caso de terremoto, para la institución Observatorio San Calixto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los tipos de sistemas utilizados en simuladores sísmicos.
- Establecer los parámetros de diseño del simulador.
- Diseñar el sistema mecánico y electrónico.
- Realizar la construcción de un prototipo a escala.
- Validar el diseño mediante la simulación y el funcionamiento del prototipo.
- Efectuar la evaluación técnica-económica.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación social

Beneficiará a las comunidades en zonas de riesgo sísmico y público en general para una mejor comprensión y preparación ante los terremotos, a través de los talleres de capacitación que realiza el Observatorio sobre la amenaza y prevención sísmica en Bolivia.

1.5.2. Justificación tecnológica

Los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante la etapa de formación académica hacen posible el desarrollo del presente proyecto. Las siguientes materias son sustentos para la elaboración del proyecto: Microcontroladores, Mecanismos, Diseño mecánico y Manufactura.

1.5.3. Justificación económica

La construcción de esta máquina llega a un precio de 13.623,42 [\$us], que resulta económica en comparación a productos similares que se comercializa en el exterior a un precio de 150.000,00 [\$us] como son los productos de Quanser.

1.6. Alcances y límites

1.6.1. Alcance

- El presente proyecto es de interés exclusivo del Observatorio San Calixto, con sede en la ciudad de La Paz.
- El simulador sísmico diseñado es triaxial, tiene un área de carga útil de 1,20 x 1,20 [m], capacidad de 100,00 [kg] y puede generar una máxima intensidad sísmica de 10 [MM].
- Este simulador está diseñado para ambientes de bajo ruido electromagnético.

1.6.2. Límites

- El prototipo implementado se realiza con materiales encontrados en el mercado nacional y con herramientas que se tiene en el hogar.
- Para determinar la intensidad sísmica [MM] se hace uso del acelerómetro interno del celular, ya que no se cuenta con un equipo de altas prestaciones.
- No se va cubrir la construcción de estructuras civiles a escala, para poner a prueba en el simulador.

1.7. Metodología

El diseño del simulador sísmico está dividido en 4 fases que abarca aspectos mecánicos y electrónicos donde resulta ineludible la interacción de ambos.

Fase 1: Especificación de parámetros de diseño

Las técnicas de recopilación de información que se utiliza son:

Entrevista estructurada mediante preguntas para obtener información detallada respecto de los requerimientos del simulador por parte de la institución.

Relevamiento, se apoya en la técnica de análisis de documento para recopilar la información acerca del tipo de movimiento generado por los sismos.

En base a esta información se determina los parámetros y características de cada uno de los elementos que constituye el simulador sísmico tomando en cuenta la alternativa más favorable a la solución.

Fase 2: Análisis previos al diseño

Consiste en el análisis y cálculo: cinemático, estático, dinámico, potencia y parámetros de programación.

Fase 3: Diseño

Para el diseño del sistema mecánico, se utiliza el software SolidWorks.

Para el diseño del sistema electrónico, en la parte del algoritmo mediante el programa PIC CCS Compiler, para la verificación del programa se utiliza el software Proteus y para el diseño de PCB el software Eagle.

Fase 4: Validación del diseño

La validación del diseño se realiza mediante la simulación en SolidWorks/Proteus y la implementación de un prototipo a escala.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes de la Institución OSC

La Fundación privada de Fieles Observatorio San Calixto (OSC), es una institución privada sin fines de lucro, su principal actividad es el monitoreo y vigilancia de la actividad sísmica en Bolivia lo que permite la investigación de la sismología para el conocimiento de la amenaza sísmica del país. Actualmente el Observatorio San Calixto cuenta con una red de 20 estaciones 16, de las cuales son sismómetros, 3 son acelerómetros y 1 de infrasonido distribuidas en los departamentos de La Paz, Santa Cruz, Cochabamba, Potosí, Oruro, Chuquisaca y Tarija, la institución está ubicada en la Calle Indaburo 944 ciudad La Paz.

2.1.2. Antecedentes del objeto de estudio

Los talleres de capacitación que realiza el OSC es en modalidad presencial y virtual con ayuda de medios digitales como ser diapositivas, trípticos y afiches.

Figura 2. Cursos de capacitación en la Institución OSC.



Fuente: OSC, 2022.

2.1.3. Antecedentes del proyecto

- En la Universidad Industrial de Santander, se hizo el siguiente proyecto titulado: MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UNA MESA SÍSMICA UNIDIRECCIONAL HIDRÁULICA. En este proyecto se expone el diseño, modelamiento y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica, donde se ha podido verificar la gran capacidad que tiene este sistema hidráulico (Clavijo & Ramírez, 2011).

Características

Grado de libertad: 1

Tamaño del simulador: 3 x 2 x 1 [m]

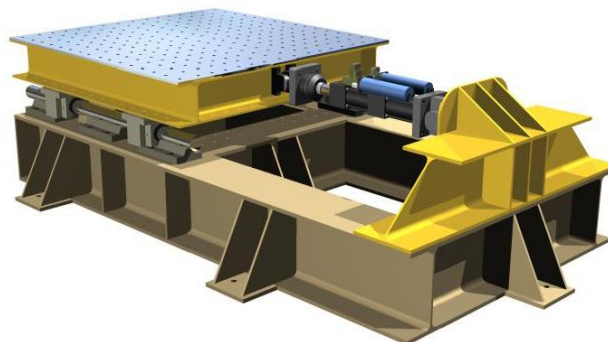
Peso del simulador: 538 [kg]

Área mesa de trabajo: 1,5 x 1,5 [m]

Capacidad de carga: 1000 [kg]

Distancia de desplazamiento: 25 [cm]

Figura 3. Diseño mesa sísmica unidireccional hidráulica.



Fuente: Clavijo & Ramírez, 2011.

- En la Universidad Privada de Tacna, se realizó la siguiente tesis titulado: IMPLEMENTACIÓN DE MESA VIBRADORA UNIDIRECCIONAL PARA SIMULACIÓN SÍSMICA Y EXPERIMENTACIÓN CON MODELOS REDUCIDOS. Con la presente tesis se demuestra que una mesa sísmica unidireccional permite analizar comportamiento en estructuras civiles reducidas con muy buenas respuestas (Ayllón, 2017).

Características

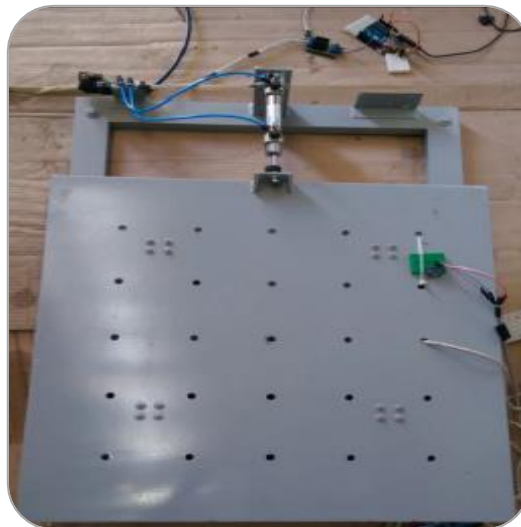
Grado de libertad: 1

Área mesa de trabajo: 0,60 x 0,60 [m]

Capacidad de carga: 30 [kg]

Distancia de desplazamiento: 4,5 [cm]

Figura 4. Construcción mesa sísmica unidireccional neumática.



Fuente: Ayllón, 2017.

- En la Universidad de Valladolid, se realizó el siguiente proyecto titulado: DISEÑO, PROTOTIPAJE Y CARACTERIZACIÓN DE UNA MESA SÍSMICA DE 1 GRADO DE LIBERTAD A ESCALA. En el presente proyecto se ha diseñado y construido un simulador sísmico uniaxial controlado mediante Arduino, se ha podido demostrar que el uso de motores paso a paso resulta de gran precisión para generar señales sísmicas (Morales, 2017).

Características

Grado de libertad: 1

Tamaño del simulador: 50 x 40 x 30 [cm]

Área mesa de trabajo: 40 x 40 [cm]

Capacidad de carga: 5 [kg]

Distancia de desplazamiento: 15 [cm]

Figura 5. Construcción mesa sísmica unidireccional.



Fuente: Morales, 2017.

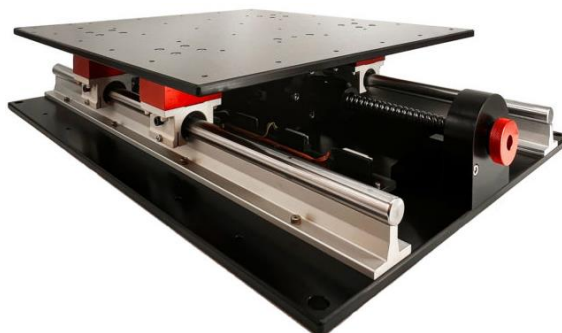
- En la Universidad Mayor de San Andrés, se realizó el siguiente proyecto de grado titulado: DISEÑO DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA COMPLEMENTARIA PARA PREVENCIÓN DE DESASTRES. El presente trabajo muestra el diseño de un sistema de alerta temprana para desastres utilizando la tecnología de la televisión digital con el que se pretende disminuir las pérdidas materiales y pérdidas humanas (Ponce, 2020).

2.1.4. Antecedentes simuladores comerciales

Shake Table II

El Quanser Shake Table II es un simulador de movimiento de un solo eje ideal para enseñar e investigar en dinámica estructural, ingeniería sísmica y otros temas relacionados con la ingeniería estructural, sísmica y civil.

Figura 6. Simulador sísmico unidireccional Shake Table II.



Fuente: Quanser, 2022.

Precio: 50.000,00 [\$us]

Características

Dimensiones (L x W x H): 61 x 46 x 13 [cm]

Peso total: 27,2 [kg]

Área de carga útil (L x W): 46 x 46 [cm]

Carga útil máxima: 60 [kg]

Distancia de recorrido máxima: $\pm 7,62$ [cm]

Velocidad máxima (X e Y con carga útil de 7,5 [kg]): 0,399 [m/s]

Shake Table III XY

El Quanser Shake Table III XY es un simulador de terremotos planos de doble eje y alta potencia ideal para el análisis dinámico más avanzado y la investigación relacionada con la reducción de pérdidas sísmicas. Es capaz hasta 100 [kg] a altas aceleraciones y velocidades (Quanser, 2022).

Figura 7. Simulador sísmico bidireccional Shake Table III XY.



Fuente: Quanser, 2022.

Precio: 150.000,00 [\$us]

Características

Dimensiones (L x W x H): 106,7 x 106,4 x 20,3 [cm]

Peso total: 550 [kg]

Área de carga útil (L x W): 71,1 x 71,1 [cm]

Carga útil máxima: 100 [kg]

Máximo recorrido: $\pm 10,8$ [cm] (x), $\pm 10,8$ [cm] (y)

Velocidad máxima con carga útil de 100 [kg]: 1,2 [m/s]

2.2. Conceptos sismológicos

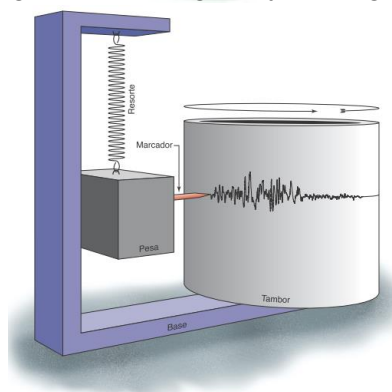
2.2.1. Sismo o Terremoto

Un sismo es la liberación de energía elástica almacenada durante años por movimientos relativos entre las placas tectónicas. Esta liberación se presenta como una ruptura entre los contactos de las placas ocasionando vibraciones en la corteza terrestre (Sarria, 1995). Es decir, esta energía liberada en la superficie, llamada sismo, genera fuertes vibraciones y alteraciones que son transmitidos a las edificaciones o construcciones en términos de aceleraciones sísmicas, velocidades sísmicas y desplazamientos. Un sismo puede representar una enorme pérdida no solo humana, sino también una millonaria pérdida en la infraestructura de un país, colapsando por completo la economía de éste. El nulo poder de predicción, junto con el gran poder de destrucción de un sismo, lo ha convertido en uno de los fenómenos naturales más mortal y peligroso en el mundo.

2.2.2. Medición de los terremotos

La medición de los sismos es a través de un instrumento de medición llamado sismógrafo (figura 8), un sismógrafo es un instrumento usado para medir movimientos de la Tierra y consiste de un sensor que detecta el movimiento del terreno, llamado sismómetro que está conectado a un sistema de registro. Esta ficha técnica proporciona una visión general de los componentes básicos de un sismómetro y principios de las ciencias físicas detrás de su funcionamiento (IRIS, 2023).

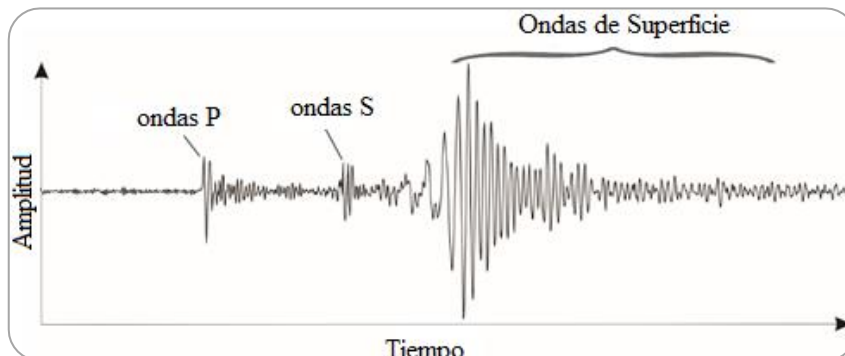
Figura 8. Sismógrafo y sismograma.



Fuente: IRIS, 2023.

Para el desarrollo del simulador planteado se va tomar en cuenta las ondas superficiales por su mayor efecto en estructuras civiles.

Figura 9. Señal sísmica característica.

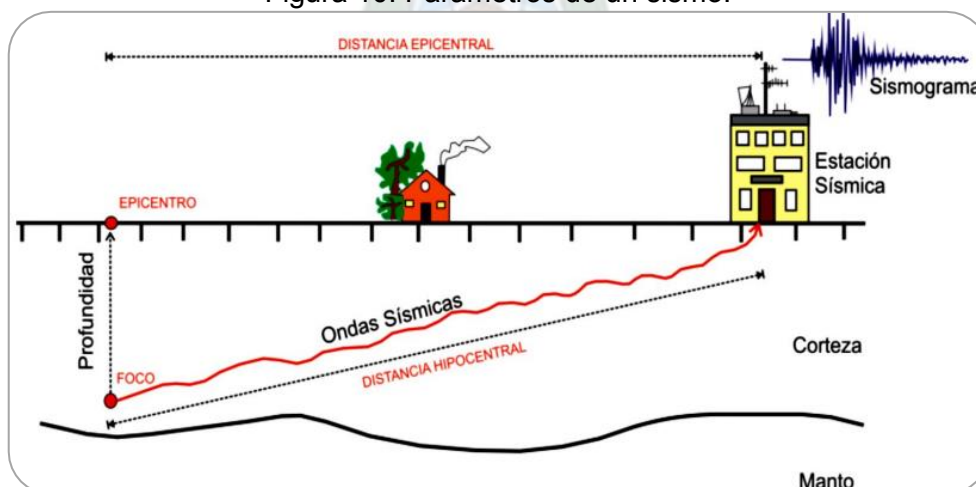


Fuente: Mario & Donghyun, 2019.

2.2.3. Parámetros de un sismo

- Hipocentro o foco sísmico, es el punto (latitud, longitud y profundidad), en el interior de la tierra, donde se produce la ruptura y del cual irradian las ondas sísmicas.
- Epicentro, representa la proyección del foco en la superficie y espacialmente es definido por su latitud y longitud.
- Distancia epicentral, es la longitud existente entre el epicentro y la estación sísmica que registra el sismo; mientras que la distancia hipocentral es la distancia entre el foco y la estación sísmica.

Figura 10. Parámetros de un sismo.



Fuente: <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816>

2.2.4. Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se propagan por el interior de la tierra, son consideradas como un tipo de onda elástica porque viajan a través de un medio elástico en todas las direcciones, causando deformaciones no permanentes en el medio que atraviesan. Los tipos de ondas sísmicas se pueden clasificar en: ondas de cuerpo o internas (P y S) que viajan por el interior de la tierra y las ondas superficiales que viajan solamente por la superficie terrestre.

Tabla 1. Principales tipos de ondas sísmicas.

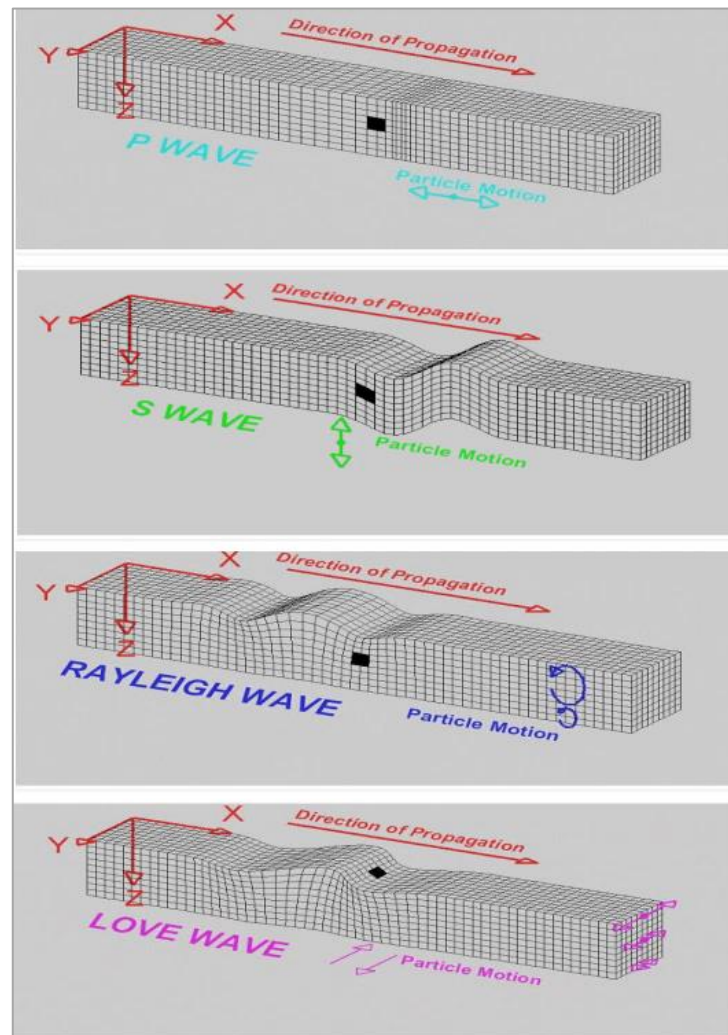
TIPO DE ONDA	MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA	NOMBRE
Ondas de cuerpo	Longitudinal	Ondas P (Primarias)
	Transversal	Ondas S (Secundarias)
Ondas de superficie	Horizontal transversal	Ondas Love (LQ)
	vertical elíptica	Ondas Rayleigh (LR)

Fuente: Universidad Tecnológica de Michigan, 2017.

Las ondas sísmicas internas son las que logran propagarse dentro de un material sólido siguiendo trayectorias curvas. Estas ondas se catalogan en dos subtipos: ondas P (ondas primarias) y ondas S (ondas secundarias). Las ondas P, conocidas como longitudinales o de compresión, se caracterizan por que en su propagación unidireccional comprimen y dilatan el material sólido. Mientras que las ondas S, conocidas como transversales o cortantes, se determinan por que la dirección de desplazamiento del medio transmisor es perpendicular a la dirección de difusión de la onda.

Las ondas sísmicas superficiales son las que consiguen transmitirse entre sólidos que posean distinta rigidez o en la superficie de la Tierra. Es importante comprender que las ondas antes descritas se pueden encontrar dentro de la corteza y que poseen mayor amplitud que las ondas internas, pero son mucho más lentas. Estas ondas se clasifican en ondas Rayleigh y Love:

Figura 11. Ondas Sísmicas.



Fuente: Michigan Tech, 2023.

2.2.5. Escalas sísmicas

Escala de magnitud sísmica

Richter, en 1935, desarrollo la escala sísmica objetiva más utilizada alrededor del mundo, la cual está basada en una idea de K. Wadati (1931) y perfeccionado tiempo después por B. Gutenberg y C. Richter. Esta escala establece, que “la magnitud M constituye una medida de la energía del terremoto en el foco y se define como el logaritmo de base 10 de la amplitud del sismo, en micrones, registrada a 100 [km] del epicentro con un sismógrafo Wood-Anderson”.

Tabla 2. Escala de Richter.

GRADOS SÍSMICOS	EFFECTOS DEL SISMO
Menos de 3,5	A menudo este sismo no se siente, pero si es registrado.
3,5 a 5,4	Ocasiona daños menores, puede percibirse.
5,5 a 6,0	Ocasiona daños leves a casas y edificios.
6,1 a 6,9	Causa severos daños en áreas pobladas
7,0 a 7,9	Sismo mayor, provoca grandes daños.
8 o mayor	Enorme terremoto. Destrucción en toda área poblada cercana.

Fuente: A. Barbat. 1983.

Escala de intensidad sísmica

De acuerdo con Barbat, hablar de intensidad sísmica es referirse a los efectos que ocasionan los sismos sobre estructuras y personas, y está estrechamente relacionado con el nivel de destrucción de los terremotos. A través de los años se han identificado diferentes escalas de intensidad sísmica, que pueden ser objetivas y subjetivas.

Una de las escalas subjetivas es la escala elaborada por Mercalli en 1902, conocida como Mercalli modificada, la cual clasifica a los sismos en doce grados de intensidad, como se muestra en la tabla 3, de acuerdo con los efectos que los sismos producen sobre personas, estructuras y objetos.

Tabla 3. Escala Mercalli modificada (MM).

GRADO	DESCRIPCIÓN
I	aceleración menor a 0.5 Gal; detectado sólo por instrumentos, sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
II	aceleración entre 0.5 y 2.5 Gal; sacudida sentida sólo por muy pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios.
III	aceleración entre 2.5 y 6.0 Gal; acudida sentida claramente dentro de un edificio, especialmente en los pisos altos, muchas personas no la asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado.
IV	aceleración entre 6.0 y 10 Gal; sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche

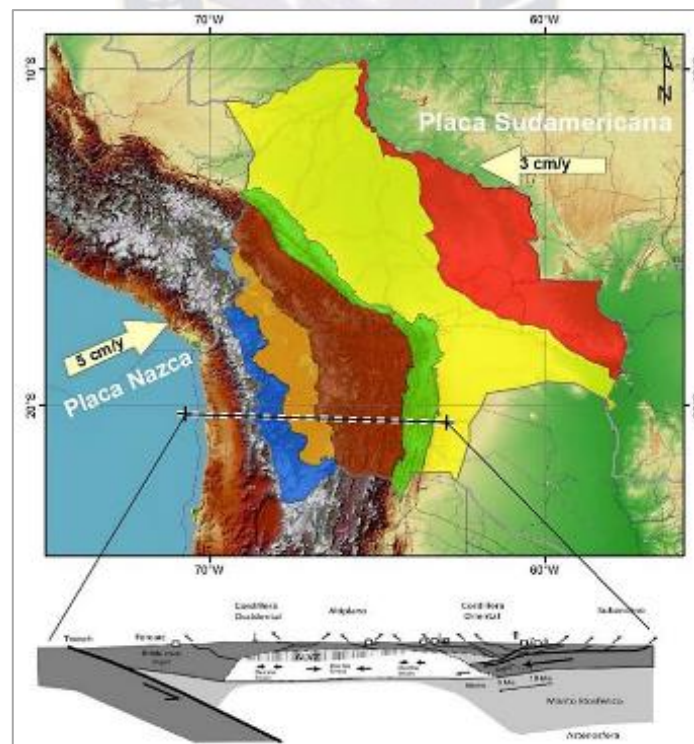
	algunas despiertan. Vibración de las vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
V	aceleración entre 10 y 20 Gal; sacudida sentida casi por todos; muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, etc. se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; objetos inestables caen. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Detención de relojes de péndulo.
VI	aceleración entre 20 y 35 Gal; sacudida sentida por todos; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio, pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
VII	aceleración entre 35 y 60 Gal; advertida por todos. La gente huye hacia el exterior. Daño moderado sin importancia en estructuras de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas, daños considerables en las débiles o mal planeadas; ruptura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
VIII	aceleración entre 60 y 100 Gal; daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel de agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían carros de motor.
IX	aceleración entre 100 y 250 Gal; daño considerable en estructuras de buen diseño; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen. Pánico general.
X	aceleración entre 250 y 500 Gal; destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
XI	aceleración mayor a 500 Gal; casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
XII	destrucción total, ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados al aire hacia arriba. Catástrofe.

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Metereología e Hidrología

2.3. Marco tectónico y sismicidad de Bolivia

Los Andes centrales, en Bolivia, se dividen de oeste a este en siete grandes unidades morfoestructurales. La Cordillera Occidental es un arco volcánico alto y activo con picos que localmente alcanzan los 6000 [m]. El Altiplano es una meseta alta y relativamente plana con una elevación promedio de 3800 [m]. El Altiplano limita al este con la Cordillera Oriental, una alta cadena montañosa dominada por plegamiento y corrimiento de rocas del Paleozoico a través del Cenozoico. La zona interandina, ubicada entre la Cordillera Oriental y la zona Subandina, es un área de deformación de “piel delgada” que está estructuralmente elevada con respecto a la zona Subandina al oeste. Más al este se encuentra la zona Subandina, una faja corrida y plegada activa de piel delgada. La Llanura Chaco-beniana es un sistema moderno de cuencas de antepaís y el cratón brasileño es una plataforma estable (Beck et al., 1996).

Figura 12. Mapa de unidades morfoestructurales de Bolivia.

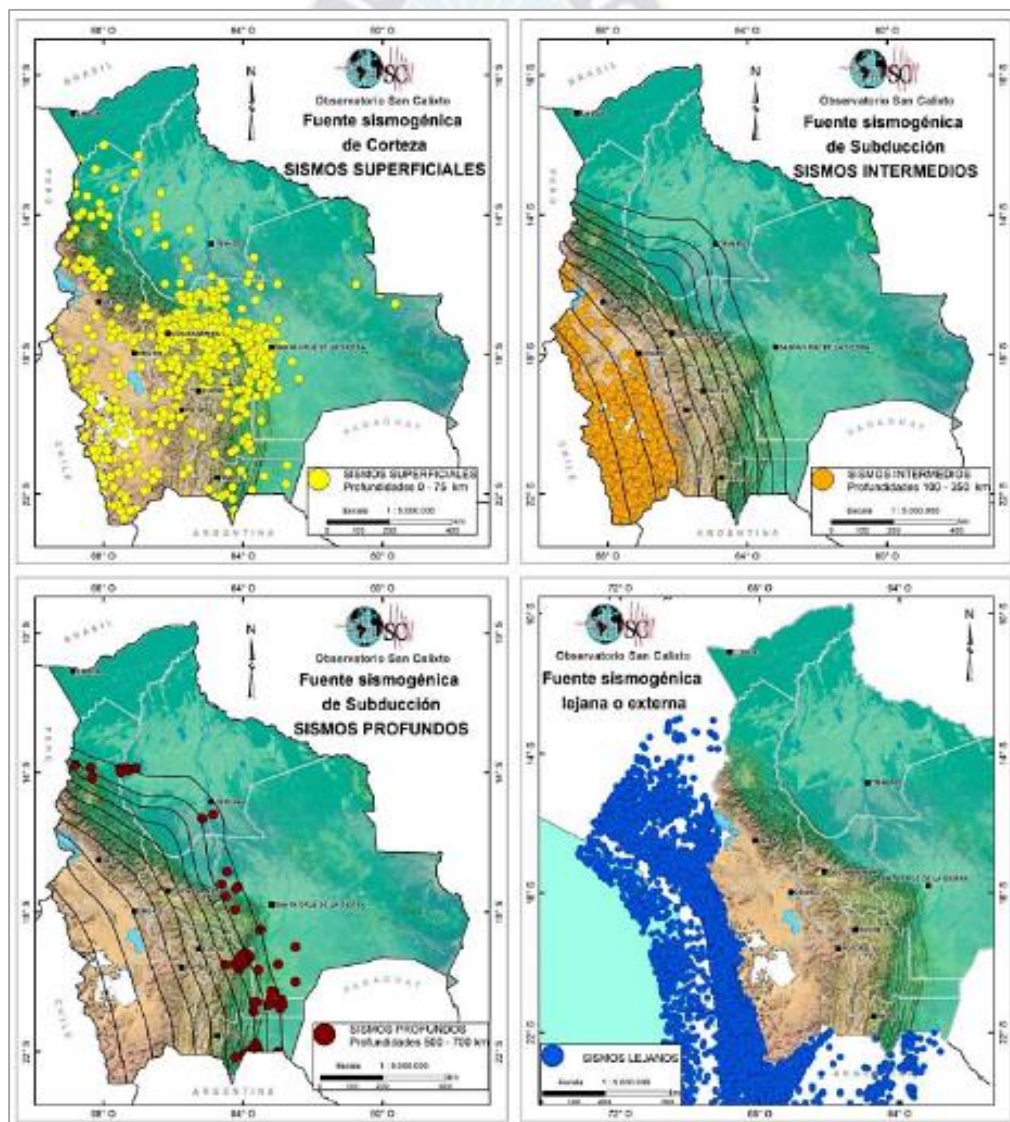


Fuente: Lamb, 2016.

La sismicidad en Bolivia está asociada al proceso de subducción de las placas tectónicas Nazca y Sudamérica y a la dinámica de deformación cortical de cada

una de las unidades tectónicas presentes en el interior del continente. Los principales sistemas de fallas en territorio nacional se encuentran en todas las zonas morfotectónicas. En la figura 13, se presenta el mapa de la actividad sísmica entre 1900 y 2018 ($M_w > 3,5$). Los sismos han sido diferenciados por su rango de profundidad focal en superficiales ($h < 75$ [km]), intermedios ($100 < h < 350$ [km]) y profundos ($350 < h < 700$ [km]). Así también consideramos la fuente sísmogénica lejana cuyo epicentro se localiza en los países vecinos (Perú, Argentina y Chile), representando una amenaza para algunas ciudades de Bolivia, que depende de la magnitud y profundidad (GBDS, 2020).

Figura 13. Fuentes sísmogénicas para el territorio nacional.



Fuente: GBDS, 2020.

2.3.1. Historia sísmica en Bolivia

La historia sísmica en Bolivia registra aproximadamente 28 sismos importantes que han causado pérdidas económicas y humanas en diferentes regiones del país, se da a conocer que el territorio nacional no es ajeno a la ocurrencia de grandes sismos; por ejemplo el sismo del 22 de mayo de 1998 a horas 04:48:50 (GMT), magnitud $M_I=6,6$ el cual se constituye en uno de los terremotos superficiales más fuerte y recientes en los últimos 50 años, causando alrededor de 85 muertos, 385 viviendas desplomadas por completo en las localidades de Aiquile, Mizque y Totora (PSHBO, 2019).

Figura 14. Viviendas de Aiquile destruidas tras el sismo de 1998.



Fuente: Periódico El Diario, 1998.

En la siguiente tabla se muestra regiones con relativa frecuencia de sismos superficiales, más detalles en ANEXO G.

Tabla 4. Regiones con relativa frecuencia de sismos.

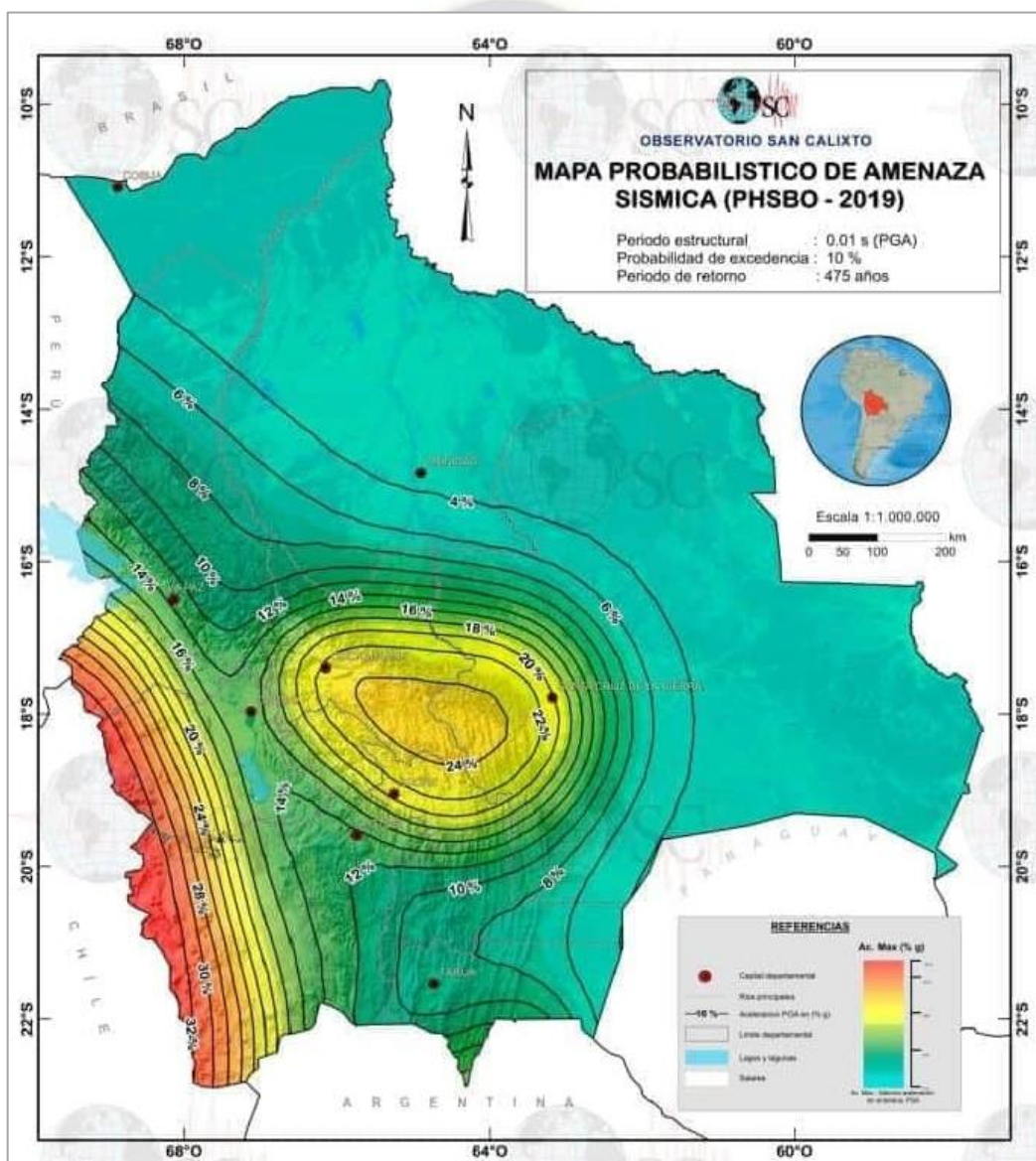
DEPARTAMENTO	PROVINCIA
Cochabamba	Todas al Sur de 17°S de latitud
Chuquisaca	Oropeza, Yamparaez, Zudáñez
Santa Cruz	Ichilo, Caballero, Florida Valle Grande, A. Ibáñez y Warnes
Tarija	Gran Chaco
La Paz	Murillo Norte, Larecaja Oeste, Aroma Sur, G. Villarroel Este, J.M. Pando
Oruro	Cercado Norte, Saucarí Norte, Sajama y Atahuallpa
Potosí	Daniel Campos

Fuente: OSC, 2004.

2.3.2. Mapa probabilístico de amenaza sísmica para Bolivia

El mapa probabilístico de amenaza sísmica para el Estado Plurinacional de Bolivia (PSHBO-2019) integra todos los estudios disponibles en sismología y geo amenazas para el territorio nacional. Como resultado se obtuvieron las aceleraciones máximas probables del suelo para los periodos de retorno de 475 años (PSHBO, 2019).

Figura 15. Mapa probabilístico de amenaza sísmica.



Fuente: PSHBO, 2019.

2.4. Ensayos de simulación sísmica

Dentro de lo que es procesos de ensayos de simulación se puede encontrar tres tipos de ensayos, estos son los ensayos cuasi estáticos que son los más recomendables para caracterizar el comportamiento de elementos o estructuras y pueden ser aplicados a grandes modelos obteniendo una gran precisión en las medidas. Por otra parte, se tiene los ensayos en mesa vibrante que permiten recrear de forma real un sismo conocido y obtener la verdadera respuesta dinámica de este, cabe destacar que un inconveniente es que está limitado en su tamaño físico. Por último, están los ensayos pseudodinámicos (PsD) que combinan en principio las ventajas de los dos tipos de ensayos anteriores (Rives, 2018).

2.4.1. Ensayos cuasi estáticos

La velocidad con la que normalmente se realiza el ensayo es lenta en comparación con las velocidades de deformación esperables en un terremoto, los desplazamientos no son conocidos antes de la prueba, sino que se calculan durante esta con el ordenador en línea mediante un proceso de integración paso a paso, al igual que se haría con un modelo de elementos finitos, el tiempo se discretiza en incrementos regulares. Para materiales convencionales como el acero, el Hormigón o la mampostería, el hecho de realizar una prueba a baja velocidad no cambia considerablemente los resultados. El tipo de actuadores que se utilizan en estos ensayos son Hidráulicos y normalmente su servo válvula es controlada por un regulador, este tipo de ensayos pueden ser utilizados tanto para pequeños elementos como grandes estructuras.

Ensayos por software: En general, cuando el problema es la predicción de la respuesta sísmica de una estructura mediante un modelo numérico y el objetivo sísmico a realizar es solo la mejora de dicho modelo, el ensayo estático ofrecerá unos buenos resultados además de presentar unos bajos costes. Si la predicción de la respuesta del modelo no se puede confiar al modelo numérico, será necesario recurrir a la mesa vibrante o al método PsD. En este caso, si la estructura es suficientemente pequeña o se puede probar a una escala reducida sin variar sus propiedades, la mesa será la mejor opción.

2.4.2. Ensayos en mesa sísmica o simulador sísmico

Estos nos permiten introducir una verdadera excitación dinámica en la base que pueda recrear con gran fidelidad los parámetros de un terremoto. En general consiste de una plataforma rígida que movida por una serie de actuadores hidráulicos o eléctricos controlados de tal manera que reproduzcan la historia de un terremoto determinado. Se puede encontrar comúnmente mesas con uno, dos y hasta tres grados de libertad incluso combinados con hasta tres grados de libertad de rotación. Este método proporciona en principio la técnica más realista para el ensayo sísmico de estructuras, debido a que la excitación que se produce en el modelo es realmente la que se produciría por un terremoto, siendo superior los resultados al ensayo estático. Sin embargo, debido a que es un método de ensayo dinámico que intenta ser tan realista se encuentra con la problemática en primer lugar de que existen limitaciones físicas en los desplazamientos máximos y la fuerza máxima que vienen dados por los actuadores. Otra dificultad implícita está en la medida de fuerzas o desplazamientos que, siendo ahora variables dinámicas, exigen equipos técnicos de medida más sofisticados que los que se utilizan en los ensayos estáticos.

El bajo costo de construcción, operación y mantenimiento hace de las mesas sísmicas una de las alternativas más recomendables en el campo de la simulación e investigación de la dinámica estructural. Las mesas sísmicas pueden disponer de hasta seis grados de libertad, como por ejemplo la mesa sísmica CEDEX vista anteriormente, correspondiente a los tres desplazamientos y tres giros de un sólido rígido. Las características técnicas de las mesas sísmicas se definen principalmente por sus dimensiones, grados de libertad, carga máxima portante, amplitud, aceleraciones, etc.

2.5. Simulador Sísmico

Los movimientos sísmicos, han formado parte de nuestro entorno y por su naturaleza impredecible, poder destructivo causan gran cantidad de muertes y cuantiosos daños materiales. Es debido a esto que el avance en el estudio de movimientos telúricos ha generado diversas formas de contrarrestar los efectos que

estos generan en las estructuras, una de las opciones para analizar consiste en la simulación a modelos escala de una estructura las cuales son sometidas a movimientos reales de sismos, los cuales son llevados a cabo en simuladores sísmicos, que son una de las herramientas principales de experimentación.

Estos simuladores pueden tener escalas muy diferentes dependiendo fundamentalmente del uso que se le vaya a dar y sobre todo de los medios de los que se dispongan, por ejemplo países como Uruguay y el este de Argentina, poseen una actividad sísmica bastante baja en comparación a países como Japón y Chile que lideran el ranking de los países más sísmicos, es evidente que en países en los cuales el riesgo de terremoto es más alto como en este último caso, los medios destinados a diseñar y crear este tipo de maquinarias serán más fáciles de conseguir que en países con un bajo riesgo sísmico.

Existen simuladores de un grado de libertad, que no requiere de un gran desembolso, ni demasiado tiempo de desarrollo ni montaje como por ejemplo el simulador sísmico de 1 grado de libertad de Judith Morales Reyes que tiene un área de 40x40 [cm²].

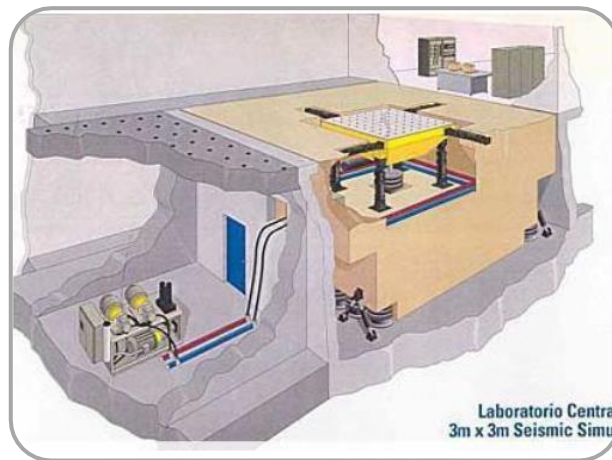
Figura 16. Simulador sísmico unidireccional.



Fuente: J. Morales, 2017.

Como también se puede encontrar simuladores sísmicos de gran envergadura como el que se encuentra en CEDEX en Madrid, el cual tiene una base móvil de 9 [m²].

Figura 17. Simulador sísmico con seis grados de libertad de CEDEX.



Fuente: CEDEX.

Este simulador es muy versátil ya que, dependiendo del ensayo que se haga puede que solo se requiera moverlo en una sola dirección o en dos. O bien si se trata de un estudio de interacción sobre la estructura puede introducirse una componente de giro. En este simulador se colocan los modelos de estructuras que se vayan a construir (si la estructura es muy pequeña se puede hacer a tamaño real). Una vez determinada la excitación sísmica que se le va a dar, o sea, el terremoto que se le va a implementar, se construye la estructura, se sujeta la mesa y se somete al movimiento.

2.5.1. Partes de un simulador sísmico

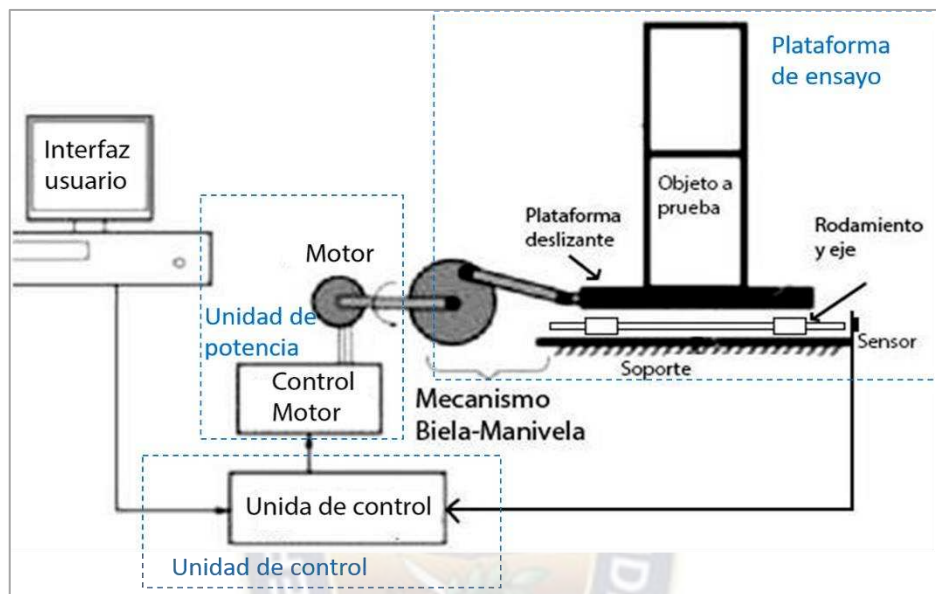
Se mencionan las partes básicas de un simulador sísmico o mesa sísmica de una manera general:

- **Plataforma de simulación o ensayo:** es el bloque que se mueve, durante la simulación, el actuador deberá ser fijado a una masa de reacción o soporte, este va a permitir que la fuerza del actuador actúe directamente en la plataforma de simulación. Esta plataforma es montada a través de un sistema de rodamientos lineales a la masa de reacción.
- **Unidad de potencia:** dentro de los posibles tipos de unidades, se encuentran sistemas de potencia hidráulica y potencia eléctrica como es el caso en el

presente proyecto, para generar el movimiento a la plataforma deslizante se lo realiza a través de un mecanismo o pistón.

- **Unida de control:** encargado de generar características de aceleración, velocidad y desplazamiento en la simulación.

Figura 18. Parte de un simulador sísmico, accionamiento motor eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. Sistemas utilizados en el diseño de simuladores

Un simulador sísmico o mesa sísmica consiste básicamente en una plataforma en la cual se posiciona una estructura y dicha plataforma es desplazada mediante actuadores (Rives, 2018). A continuación, se estudiarán algunas alternativas de sistemas o mecanismos y se seleccionará en base a las necesidades adecuadas y que se encuentren dentro de un presupuesto razonable.

a) Mecanismo biela manivela

Este sistema consta básicamente de una biela que gira y genera un movimiento lineal a la plataforma a través de la manivela, la estructura que se desea mover se desliza a través de rodamientos lineales sobre ejes y estas descansan sobre sus respectivos soportes. Cabe mencionar que este mecanismo puede llegar a alcanzar velocidad alta con solo aumentar el radio de la biela, lo que lo hace no tan compleja para su implementación.

Figura 19. Mecanismo biela manivela.



Fuente: Pablo, 2012.

b) Mecanismo piñón cremallera

Este sistema consta de un piñón que gira y genera un movimiento lineal a la plataforma a través de la cremallera, la estructura que se desea mover se desliza a través de rodamientos lineales sobre ejes y estas descansan sobre sus respectivos soportes. Este mecanismo necesita buena lubricación para mantener refrigerado y evitar ruidos, puede llegar a alcanzar velocidades altas con solo aumentar el radio del piñón.

Figura 20. Mecanismo piñón cremallera.



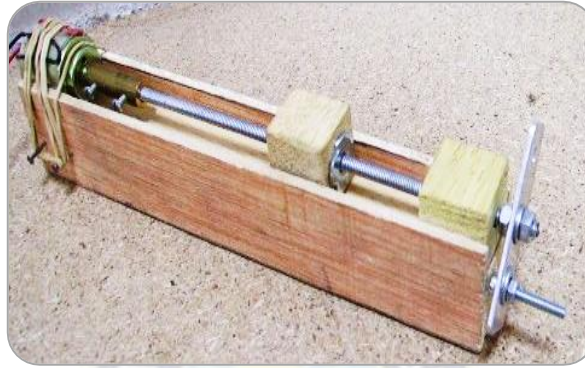
Fuente: Bender, 2015.

c) Mecanismo husillo y guía

Este sistema consta de un husillo o tornillo sin fin que gira y genera un movimiento lineal a la plataforma a través de la guía, la estructura que se desea mover se desliza a través de rodamientos lineales sobre ejes y estas descansan

sobre sus respectivos soportes. Este mecanismo requiere un sistema que evite que el husillo empuje al eje del motor de manera axial, puede llegar a alcanzar velocidades altas aumentando el número de hilos del husillo.

Figura 21. Mecanismo husillo y guía.



Fuente: Apuntes MareaVerde, 2023.

d) Sistema actuador hidráulico e neumático

Este sistema consta de un pistón que se mueve generando un movimiento lineal a la plataforma a través de la presión generada, la estructura que se desea mover se desliza a través de rodamientos lineales sobre ejes y estas descansan sobre sus respectivos soportes. Este mecanismo es complejo requiere de varios componentes como ser una bomba hidráulica, tanque de almacenamiento, válvulas lo que lo hace más voluminoso y costoso, tienen gran capacidad de cargas a desplazar, pero no se llega a altas velocidades.

Figura 22. Sistema hidráulico.

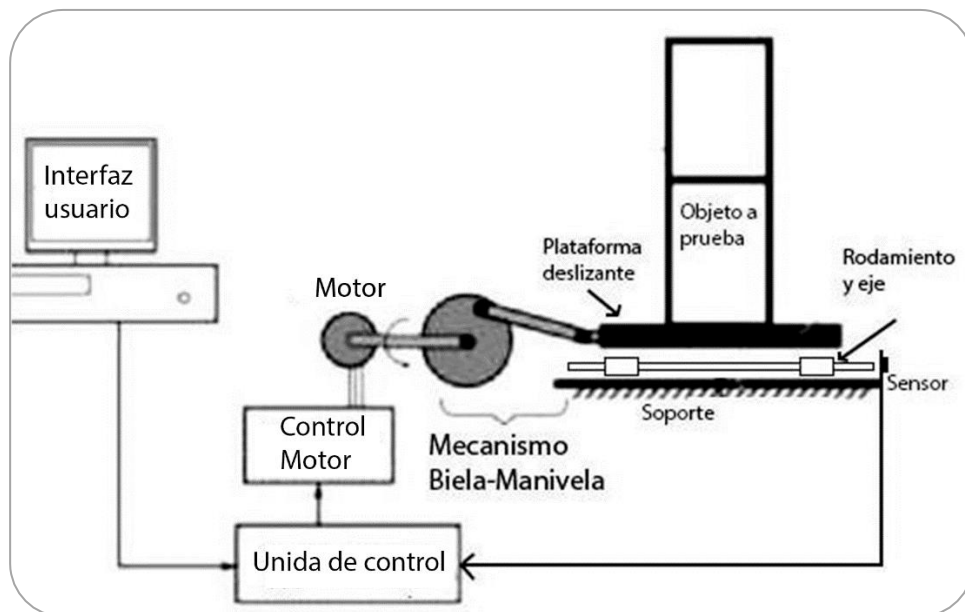


Fuente: Clavijo & Ramírez, 2011.

2.5.3. Componentes en un simulador sísmico biela manivela

Los componentes principales de un simulador sísmico uniaxial mediante el mecanismo biela-manivela son los siguientes:

Figura 23. Componentes principales, simulador sísmico uniaxial.



Fuente: Elaboración propia.

Microcontroladores PIC

Como todo microcontrolador estos contienen en su interior unidades de memoria RAM y ROM, pero uno de los componentes que destacan en los PIC es su ALU (Unidad Aritmética Lógica).

En la actualidad los PIC son los más utilizados cuando se trata de incursionar en el mundo de los microcontroladores ya que tienen muchísimas aplicaciones debido a que estos poseen varios periféricos en su interior como los de comunicación serial, UART e incluso controladores de motores y varios más.

Motor Paso a Paso

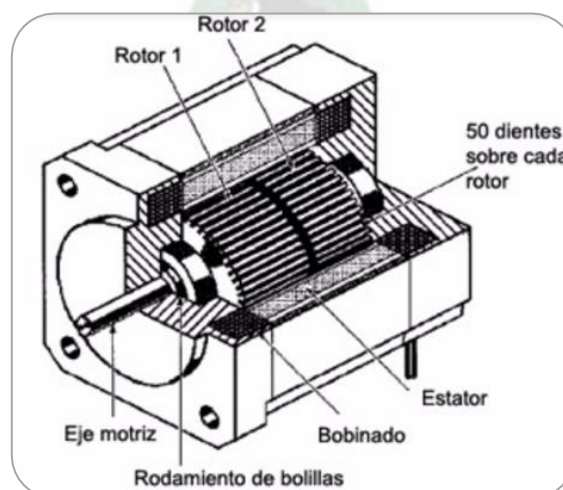
El motor paso a paso es un motor sin escobillas en el que la rotación se divide en un cierto número de pasos resultantes de la estructura del motor. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada

pulso que se le aplique, este paso puede variar desde 90 [°] hasta pequeños movimientos de 1,2 [°], Es por eso que ese tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se le indique a través de un microcontrolador, estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada o bien totalmente libres de corriente (Mecafe, 2017).

El principio de funcionamiento: El estator es una parte estacionaria, mientras que el rotor montado en el eje con un cojinete gira siguiendo el campo magnético giratorio creado alrededor del estator, el estator, hecho de acero u otro metal, es el marco de un conjunto de electroimanes, que son bobinas montadas en lugares específicos alrededor del rotor. Cuando la corriente fluye a través de las bobinas del estator, se crea un campo magnético a su alrededor, los flujos magnéticos particulares tienen una dirección e intensidad que dependen de la intensidad y la dirección de la corriente que fluye a través de una bobina determinada.

Cuando la bobina se energiza, se forma un electroimán atrayendo a un imán (diente) montado en el rotor, desplazado por un cierto desplazamiento con respecto a él. Luego, el rotor y el eje giran en el ángulo en el que su posición se opone menos al flujo magnético o la resultante de múltiples flujos.

Figura 24. Partes de un motor paso a paso.



Fuente: <https://proworkertechnology.blogspot.com>

Tipos de motores paso a paso por su construcción

- **Motor paso a paso de reluctancia variable**

Los motores de reluctancia variable estuvieron entre los primeros modelos de motores paso a paso. Hoy en día son bastante raros y usados. En este tipo de motor, el rotor consta de varios dientes hechos de hierro dulce. Cuando las bobinas del estator son alimentadas por una corriente continua, el diente del rotor es atraído por el campo magnético. Gracias a la conmutación secuencial, el rotor gira en el ángulo determinado por la estructura del motor.

Los motores de este tipo, aunque de construcción simple y fáciles de controlar, tienen baja resolución y bajo par.

- **Motor paso a paso de imán permanente**

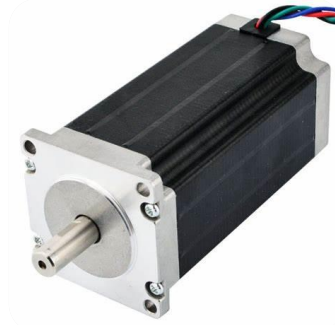
Los motores paso a paso de imán permanente tienen un paso de $7,5 [^\circ]$ a $15 [^\circ]$, dando de 48 a 24 pasos por revolución completa. Los polos de rotor magnetizados aumentan la inducción magnética, por lo que los motores de imanes permanentes se caracterizan por un par elevado. La construcción sencilla da como resultado un precio moderado del motor con una resolución bastante baja.

- **Motor paso a paso híbrido**

El motor híbrido es uno de los tipos de motores paso a paso más utilizados en la industria. Se caracteriza por una alta resolución: su rotor realiza saltos de $0,9 [^\circ]$ a $3,6 [^\circ]$, dando de 400 a 100 pasos por revolución. Este tipo de motor supera al resto en cuanto a fiabilidad, par, par de retención y velocidad alcanzada.

El rotor del motor híbrido está compuesto de imanes permanentes, pero a diferencia de los motores de imanes permanentes discutidos anteriormente, no están montados radialmente sino magnetizados axialmente. Normalmente, el rotor consta de dos anillos magnetizados de forma diferente colocados en el eje del motor. Cada anillo tiene ranuras que forman los dientes del rotor.

Figura 25. Motor paso a paso híbrido.



Fuente: <https://electronilab.co/tienda/motor-paso-paso>

Tipos de torques en un motor a pasos

A continuación, se mencionan los diferentes torques que son importantes a considerar para el diseño, es recomendar verificar las especificaciones de cada motor para hacer la comparativa (LATAM, 2020).

- **Torque de arranque** (pull in torque): Es el torque máximo para vencer la inercia del rotor para empezar a girar a máxima velocidad o la velocidad indicada.
- **Torque de giro** (pull out torque): Es el máximo torque que el motor puede proporcionar sin sufrir pérdida de pasos.
- **Torque de retención** (detent torque): Es el torque máximo aplicado sin provocar la rotación del eje cuando el motor se encuentra sin energizar.
- **Torque de anclaje** (holding torque): Es el torque máximo que puede ser aplicado sin provocar la rotación, ocurre al tener el motor parado y alimentado.

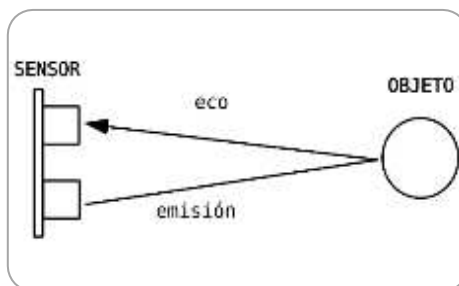
Controlador de motor

Un controlador o driver para motores es un circuito que permite controlar los motores de una forma muy simple. Estos controladores permiten manejar los voltajes e intensidades a los que se está suministrando al motor para así controlar la velocidad de giro. Además, sirven como método de protección para evitar que la electrónica de los motores pueda resultar dañada limitando la corriente que circula.

Sensor Ultrasonido HC-SR04

Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción, mediante el uso de ondas ultrasónicas.

Figura 26. Esquema del sensor ultrasonido.



Fuente: <http://rubensm.com/tag/ultrasonidos/>

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación. El funcionamiento del sensor es el siguiente: el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido (40 [KHz]) luego de recibir la orden en el pin TRIG, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia a Alto (5 [V]) por un tiempo igual al que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador y así se puede calcular la distancia al objeto. El funcionamiento del sensor no se ve afectado por la luz solar o material de color negro (aunque los materiales blandos acústicamente como tela o lana pueden llegar a ser difíciles de detectar (KEYENCE, 2023).

Figura 27. Sensor ultrasonido
HC SR04.



Fuente: shop.sb-components

Rodamiento lineal

Los rodamientos soportan y guían elementos giratorios u oscilantes de las máquinas, por ejemplo, árboles, ejes o ruedas, y transfieren las cargas entre los componentes de la máquina. Ofrecen gran precisión y baja fricción y, por lo tanto, admiten velocidades de giro elevadas al tiempo que reducen el ruido, el calor, el consumo de energía y el desgaste. Los rodamientos son elementos rentables e intercambiables de las máquinas, que normalmente corresponden a los estándares de dimensiones nacionales o internacionales (Sallo, 2020).

Figura 28. Rodamientos.



Fuente: <https://www.skf.com/mx/products>

Los rodamientos de bolas lineales están diseñados para proporcionar libre movimiento en una dirección. Son el tipo más común de guías lineales, y ofrecen un movimiento de precisión suave junto con un diseño lineal de un solo eje. Este movimiento lineal de baja fricción puede accionarse mediante un mecanismo o a mano. Entre los rodamientos lineales de bolas se tiene:

- Rodamientos lineales abiertos o cerrados.
- Rodamientos lineales con o sin auto-alineación.

Aplicaciones: Ensamblaje robótico, ebanistería, electrodomésticos y entornos de salas limpias, y sirven principalmente al sector de fabricación, pero también a los de mobiliario, electrónica y construcción.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. Especificación de parámetros de diseño

3.1.1. Requerimientos de la institución

Grados de libertad: 3

Dimensión área útil: 1,2 x 1,2 [m]

Capacidad de carga: 100 [kg]

Intensidad sísmica: baja, media y alta

3.1.2. Movimiento generador por las ondas sísmicas

Se analiza el movimiento generado por los sismos, en la figura 29, se observa que las ondas de superficie tienen mayor amplitud por tanto tendrán mayor incidencia en las estructuras civiles, se centrará el estudio en este tipo de ondas donde se aprecia que la variable a controlar será la amplitud y frecuencia.

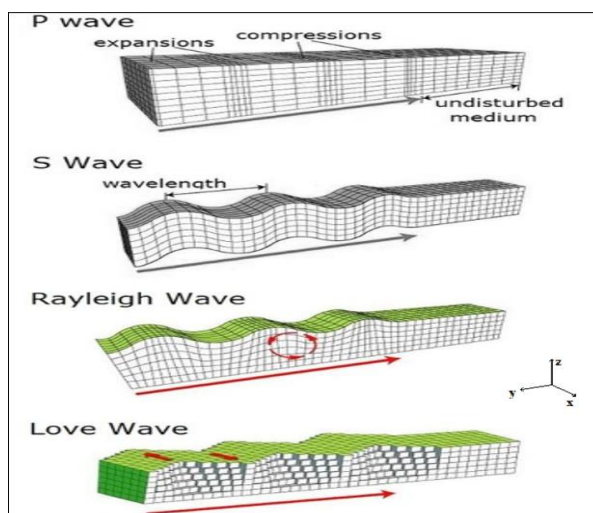
Figura 29. Señal sísmica, ondas superficiales.



Fuente: <https://www.goconqr.com/es/p/646205>

Desde la perspectiva del movimiento de las partículas figura 30, y centrándose en las ondas superficiales se puede apreciar movimientos en los ejes X, Y y Z el movimiento en este último es imperceptible.

Figura 30. Movimiento de partículas según tipo de ondas sísmicas.



Fuente: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/353-earth-waves>

En videos documentales sobre terremotos no se aprecia que las personas se muevan en el eje vertical, así también se hizo la consulta al personal de la institución OSC donde mencionan que el movimiento en el eje vertical es relativamente bajo en ocasiones es ignorado, por esta razón en el presente proyecto el movimiento en el eje vertical se genera mediante resortes.

3.1.3. Alternativas para generar movimiento lineal

De las 4 alternativas que se menciona (en la sección: 2.5.2. Sistemas utilizados en el diseño de simuladores) se realiza una matriz de priorización (ANEXO F) para elegir la mejor opción.

Criterios de puntuación: 1 punto para la mejor opción y 0 para las demás.

Tabla 5. Comparación de las alternativas al mecanismo.

SISTEMA	BAJO COSTO	MAS COMPACTO	MAYOR CAPACIDAD CARGA	VELOCIDAD ALTA	MENOR CODIFICACIÓN ALGORITMO	BAJO COSTO MANTTO	PUNTAJE TOTAL
Biela manivela	1	0	0	1	1	0	3
Husillo guía	0	1	0	0	0	1	2
Piñón cremallera	0	0	0	1	0	0	1
Sistema hidráulico	0	0	1	0	0	0	1

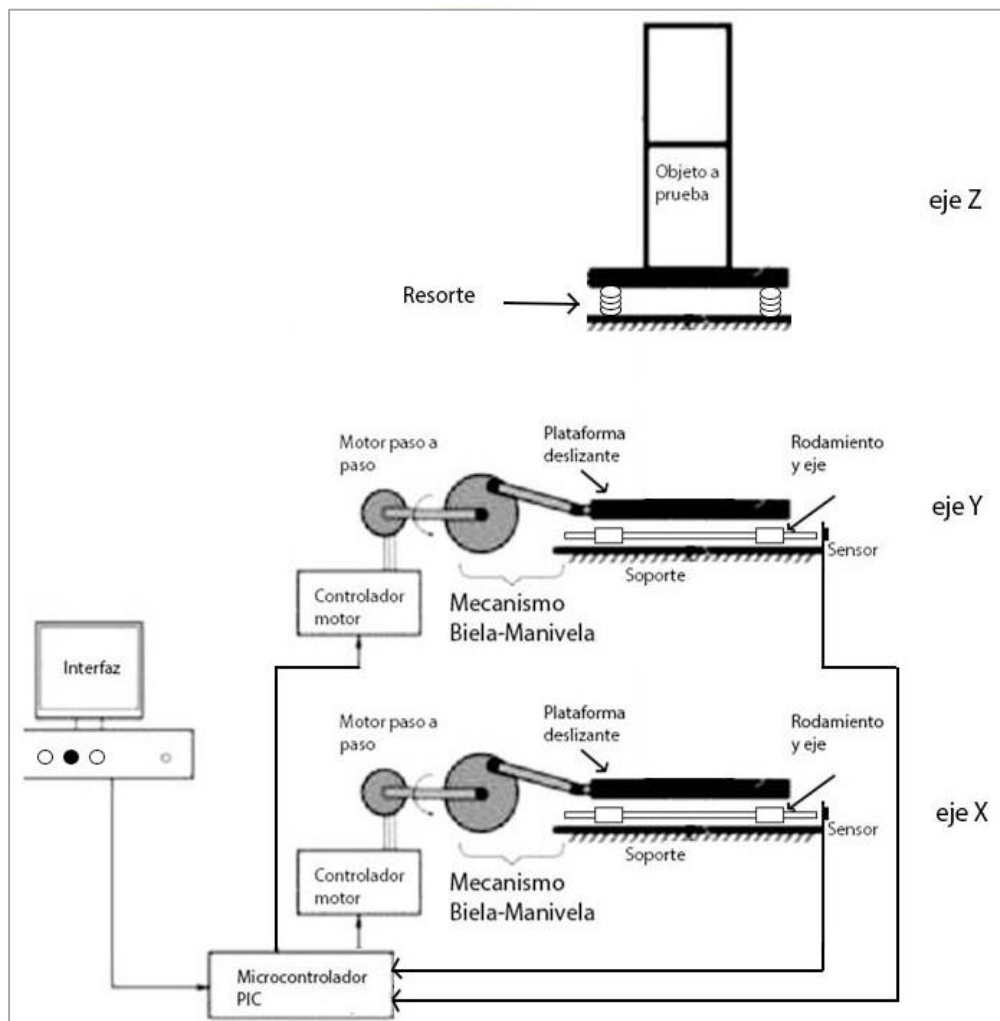
Fuente: Elaboración propia.

Tras realizar la comparación de las 4 alternativas, se elige el mecanismo de biela manivela como la mejor alternativa.

3.1.4. Esquema general del sistema

El esquema para generar el movimiento en los tres ejes mediante el mecanismo de biela-manivela es el siguiente.

Figura 31. Esquema general simulador sísmico triaxial.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Sistema mecánico y electrónico

Para la realización del diseño, se divide en dos sistemas el anterior esquema: mecánico y electrónico

Sistema mecánico

- ✓ Subsistema estructural
- ✓ Subsistema de deslizamiento
- ✓ Subsistema de tracción
- ✓ Subsistema de suspensión

Subsistema estructural: La estructura se diseña de acuerdo a la capacidad de carga a mover y el movimiento a generar, se distinguen las siguientes partes:

1ra plataforma de soporte

2da plataforma, movimiento eje x

3ra plataforma, movimiento eje y

4ta plataforma de ensayo, encargado de generar movimiento en el eje z

Subsistema de deslizamiento: Compuesta por rodamiento lineales y ejes cilíndricos.

Subsistema de tracción: Mediante el mecanismo de biela-manivela.

Subsistema de suspensión: Mediante resortes.

Sistema electrónico

- ✓ Subsistema potencia
- ✓ Subsistema de control

Subsistema de potencia: Compuesta por motores paso a paso trifásico y controlador.

Subsistema de control: A través de una placa de control mediante microcontroladores PIC.

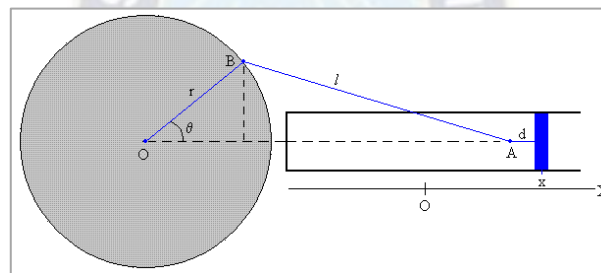
3.2. Análisis previos al diseño

3.2.1. Análisis cinemático

El sistema biela-manivela se compone de una biela AB cuyo extremo A llamado pie de biela se desplaza a lo largo de una recta, mientras que el otro extremo B llamado cabeza de biela, con una manivela OB describe una circunferencia de radio OB. El pie de biela está articulado en una pieza denominada patín solidario con el pistón anclado. El pistón describe un movimiento oscilatorio que no es armónico simple, aunque se puede aproximar bastante a este movimiento armónico simple - MAS (Bacon, 1942).

Descripción del movimiento

Figura 32. Sistema biela manivela pistón.



Fuente: Bacon, 1942.

La manivela tiene un radio r y la biela tiene una longitud l ($l > 2r$), la manivela gira con velocidad angular constante ω , y el pistón oscila.

La posición del pistón respecto del centro de la rueda es:

$$x_e = r \cos \theta + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} + d$$

Sea el origen del pistón en la posición cuando $\theta=90$ [°].

$$x_0 = \sqrt{l^2 - r^2} + d$$

Posición del pistón:

$$x = x_e - x_0 = \left(r \cos \theta + \sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta} + d \right) - \left(\sqrt{l^2 - r^2} + d \right)$$

Si la manivela se mueve con velocidad angular ω constante, la posición del pistón en función del tiempo t es:

$$x = r\cos(\omega t) + \sqrt{l^2 - r^2\text{sen}^2(\omega t)} - \sqrt{l^2 - r^2} \quad (1)$$

El valor máximo se obtiene para $\omega t = 0$, resulta la ecuación 1:

$$x = r + l - \sqrt{l^2 - r^2}$$

El valor mínimo se obtiene para $\omega t = \pi$, resulta la ecuación 1:

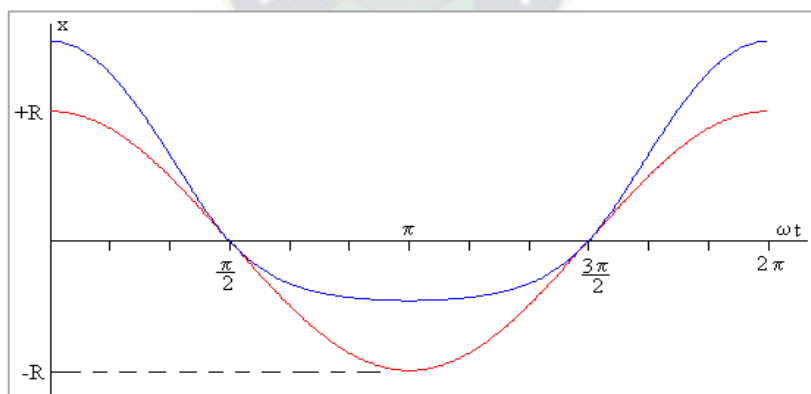
$$x = -r + l - \sqrt{l^2 - r^2}$$

En la figura 33, se representa la posición x del pistón en función del tiempo (color azul) y el MAS (color rojo) cuya ecuación es $x = r \cdot \cos(\omega \cdot t)$.

El valor máximo se obtiene para $\omega t = 0$, y vale $x = +r$

El valor mínimo se obtiene para $\omega t = \pi$, y vale $x = -r$

Figura 33. Sistema biela manivela, desplazamiento.



Fuente: Bacon, 1942.

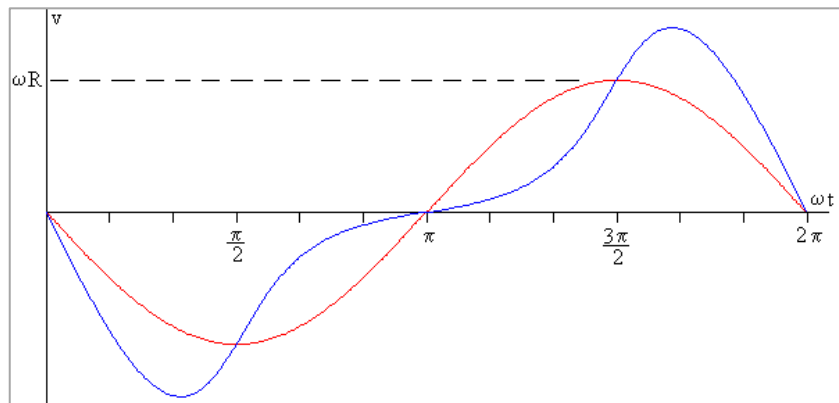
Velocidad

Derivando la posición x con respecto al tiempo se obtiene la velocidad:

$$v = \frac{dx}{dt} = -r\omega\text{sen}(\omega t) \left(1 + \frac{r\cos(\omega t)}{\sqrt{l^2 - r^2\text{sen}^2(\omega t)}} \right) \quad (2)$$

En la figura 34, se representa la velocidad v del pistón en función del tiempo (color azul) y el MAS (color rojo) $v = -r \cdot \omega \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$.

Figura 34. Sistema biela manivela, velocidad.



Fuente: Bacon, 1942.

Aceleración

Derivando la velocidad v con respecto al tiempo se obtiene la aceleración.

$$a = \frac{dv}{dt} = -r\omega^2 \cos(\omega t) \left(1 + \frac{r \cos(\omega t)}{\sqrt{l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t)}} \right) -$$

$$r\omega \text{sen}(\omega t) \left(\frac{-r\omega \text{sen}(\omega t) \sqrt{l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t)} + r \cos(\omega t) \frac{r^2 \omega \cos(\omega t) \text{sen}(\omega t)}{\sqrt{l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t)}}}{l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t)} \right) =$$

$$\frac{-r\omega^2 \cos(\omega t) +}{(l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t))^{3/2}}$$

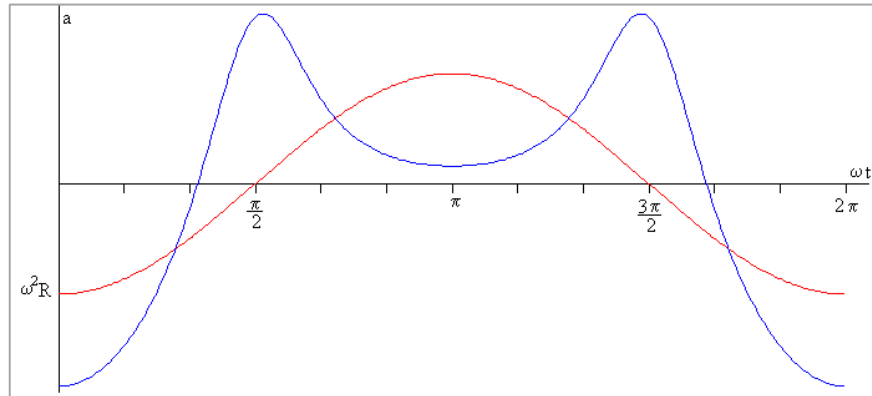
$$\frac{-r^2 \omega^2 \cos^2(\omega t) (l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t)) + r^2 \omega^2 \text{sen}^2(\omega t) (l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t)) - r^4 \omega^2 \cos^2(\omega t) \text{sen}^2(\omega t)}{(l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t))^{3/2}}$$

Simplificando:

$$a = \frac{dv}{dt} = -r\omega^2 \left(\cos(\omega t) + \frac{r(l^2 \cos(2\omega t) + r^2 \text{sen}^4(\omega t))}{(l^2 - r^2 \text{sen}^2(\omega t))^{3/2}} \right) \quad (3)$$

En la figura 35, se representa la aceleración del pistón en función del tiempo (color azul) y el MAS (color rojo) $a = -r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t)$.

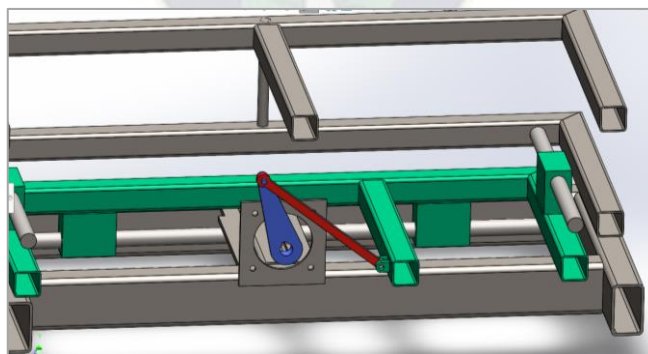
Figura 35. Sistema biela manivela, aceleración.



Fuente: Bacon, 1942.

Los gráficos de desplazamiento, velocidad y aceleración en la plataforma deslizante o pie de biela del simulador sísmico planteado, se muestra a continuación para una velocidad constante en el motor:

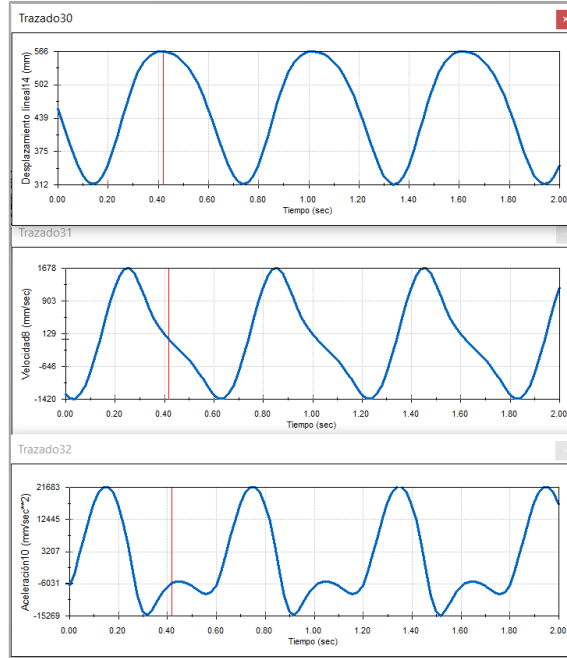
Figura 36. Sistema biela manivela en el diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Para la biela 1 de longitud de 216,47 [mm] a 100 [rpm]:

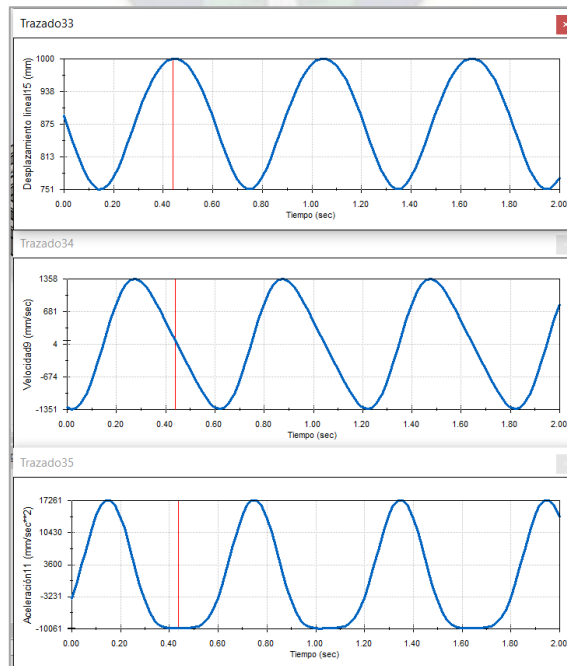
Figura 37. Pie de biela 1: desplazamiento, velocidad y aceleración.



Fuente: Elaboración propia.

Para la biela 2 de longitud de 465,47 [mm] a 100 [rpm]:

Figura 38. Pie de biela 2: desplazamiento, velocidad y aceleración.



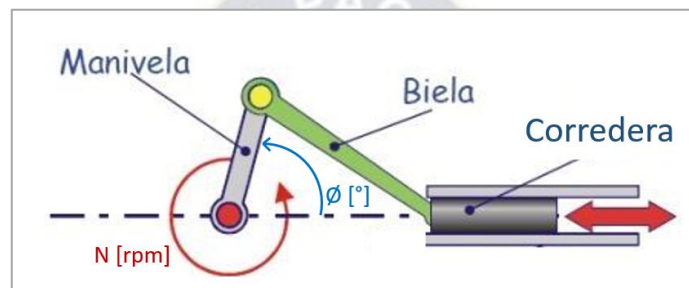
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 38 se observa que, a mayor longitud de la biela la señal tiende al movimiento de armónico simple (MAS).

Análisis de variables, biela manivela

Cambiando el sentido de giro del motor a un cierto ángulo \emptyset (0-180 [°]) ver figura 39, se puede variar la magnitud de la señal correspondiente al pistón y modificando la velocidad de giro se puede variar la frecuencia, como se muestra en la figura 40.

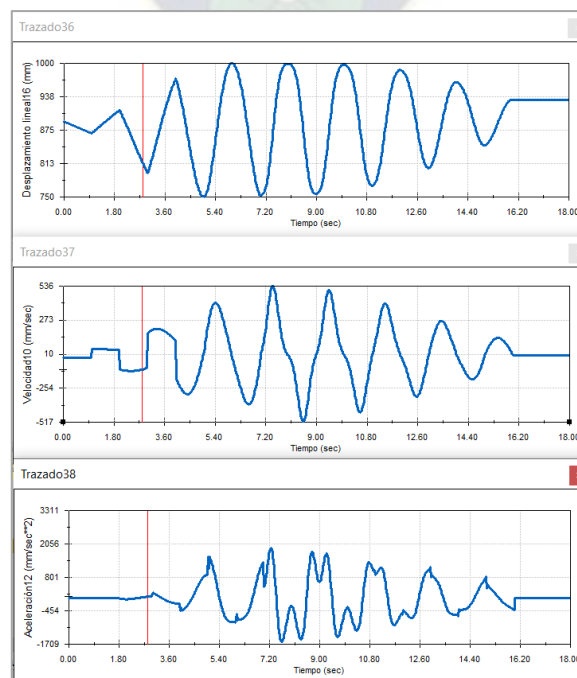
Figura 39. Variables a controlar en el mecanismo biela manivela.



Fuente: Ayllón, 2017.

Por tanto, las variables a controlar en el motor son: la velocidad de giro N y el sentido del giro en función del ángulo de desplazamiento \emptyset .

Figura 40. Cinemática, pie de biela 1 para \emptyset y N variable.



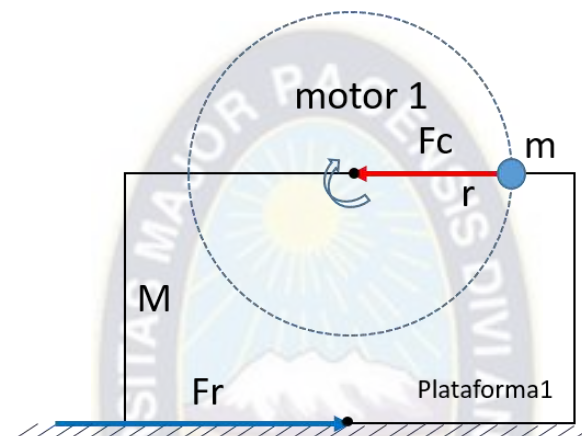
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Análisis estático

Cálculo de velocidad máxima del motor para asegurar la inmovilidad

Para asegurar la inmovilidad del simulador con el suelo cuando esté en funcionamiento, se realiza el siguiente cálculo:

Figura 41. Diagrama para el análisis de inmovilidad plataforma 1 y suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

F_c : fuerza centrípeta ejercida por el motor 1 sobre m

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (4)$$

F_r : fuerza de rozamiento

m : masa movida por el motor 1 (todo encima de la plataforma 1).

M : masa en reposo (plataforma 1).

En equilibrio: $F_c = F_r$

$$m \cdot r \cdot \omega^2 = u_e \cdot N$$

$$m \cdot r \cdot \omega^2 = u_e \cdot (m + M) \cdot g$$

$$\omega = \sqrt{\frac{u_e \cdot (m + M) \cdot g}{m \cdot r}}$$

Donde: $u_e = 0,3$ (cemento humedo – caucho), $m = 200$ [kg] (segun diseño + capacidad), $M = 75$ [kg] (segun diseño), $g = 9,81$ $\left[\frac{m}{s^2}\right]$, $r = 12,5$ [cm]

$$\omega = \sqrt{\frac{0,3 \cdot (200 + 75) \cdot 9,81}{200 \cdot 0,125}}$$

$$\omega = 5,68 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$\omega = 54 [rpm]$$

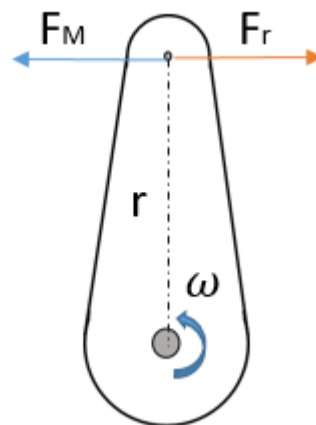
Quiere decir que hasta una velocidad de 54 [rpm] en el motor se asegura la inmovilidad en el suelo.

3.2.3. Análisis dinámico

Cálculo torque del motor

Un dato relevante a considerar en un simulador sísmico es la aceleración de arranque del motor.

Figura 42. Análisis de fuerzas en el arranque del motor.



Fuente: Elaboración propia.

Por la segunda Ley de Newton en rotación:

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (5)$$

Donde:

τ : momento torsor

I : momento de inercia

α : aceleración angular

De la figura 42:

$$F_M \cdot r - F_r \cdot r = I \cdot \alpha$$

$$\tau_M = I \cdot \alpha + F_r \cdot r$$

Donde:

r : longitud manivela

I : momento de inercia rotor y manivela, $I = I_1 + I_2$

α : aceleración angular

F_r : fuerza de rozamiento

Momento inercia rotor del motor LC31318 $I_1 = 26700$ [gr·cm²] y momento de inercia barra (aproximación para manivela),

$$I_2 = \frac{M \cdot L^2}{3} \quad (6)$$

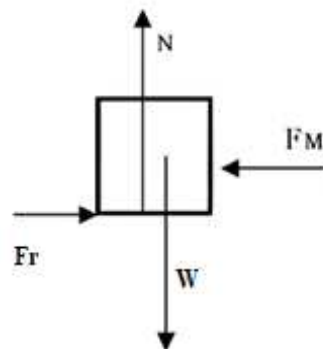
Según el diseño se tiene los siguientes datos para la manivela $M = 400$ [gr] y $L = 12,5$ [cm], por tanto:

$$I_2 = \frac{400 \cdot 12,5^2}{3} = 20833$$

El momento de inercia total: $I = 26700 + 20833 = 47533$ [gr·cm²]

La fuerza mínima para mover el bloque deslizable sobre los ejes es igual a la fuerza de rozamiento F_r :

Figura 43. Análisis fuerza de rozamiento.



Fuente: Elaboración propia.

De la figura 43: $N = W$

$$F_r = \mu \cdot N \quad (7)$$

Donde

μ : coeficiente de rozamiento en rodamiento lineal $0,001 < \mu < 0,03$ (skf, 2019),

N : reacción normal al plano,

Por tanto, torque necesario en el motor:

$$\tau_M = I \cdot \frac{\omega - \omega_0}{t} + \mu \cdot W \cdot r ; \omega_0 = 0 \text{ parte de reposo} \quad (8)$$

El peso a mover por el motor 1 será $W = 200$ [kg] (carga 100 [kg] + 100 [kg] peso estructura), $I = 47533$ [gr·cm²], tiempo 1,5 [s], velocidad máxima $\omega = 5,23$ [rad/s] ó 50 [rpm], $\mu = 0,03$ y $r = 12,5$ [cm]

Reemplazando datos en (8)

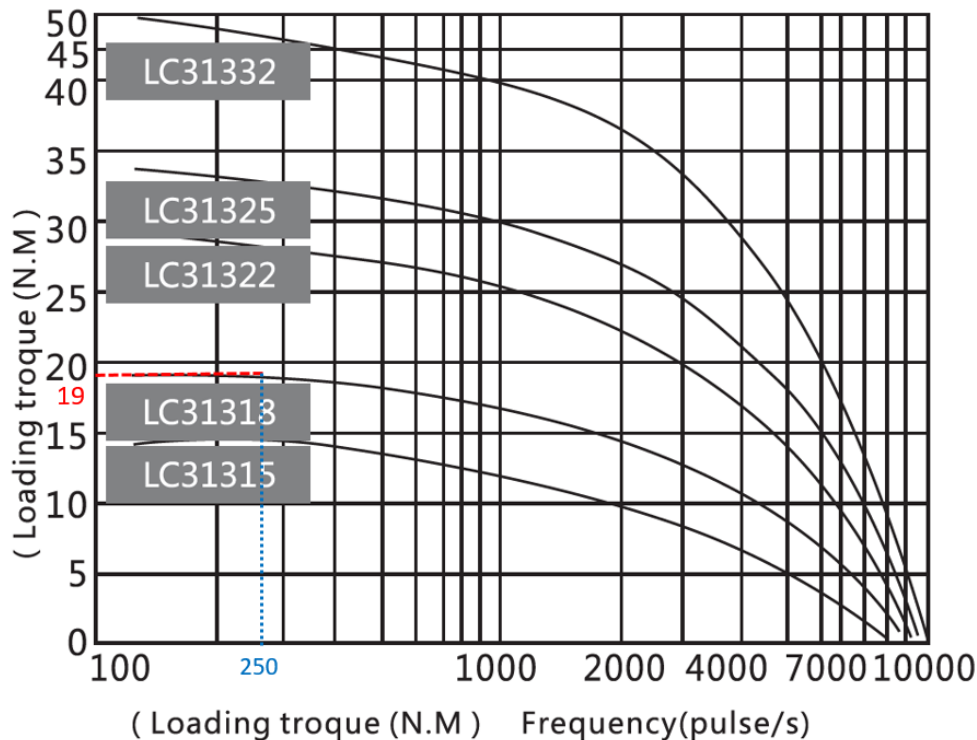
$$\tau = 7,36 \text{ [N·m]}$$

Para la selección del motor 1 se multiplica por un factor de seguridad de 2,5 por tanto:

$$\tau = 7,36 \cdot 2,5 = 18,40 \text{ [N·m]}$$

Se elige un motor 1 de 20 [N·m] modelo LC31318 su curva característica se muestra en la siguiente figura.

Figura 44. Curva característica del motor 1, velocidad vs torque.



Motor 1: 20 N·m (LC31318)

Fuente: www.lichuanmotor.com.

Se observa en la figura 44, que entre 100 y 250 en frecuencia de pulsos el torque se mantiene constante.

El peso a mover por el motor 2 será $W = 160$ [kg] (carga 100 [kg] + 60 [kg] peso estructura), $I = 40833$ [gr·cm²], tiempo 1,5 [s], velocidad máxima $\omega = 5,23$ [rad/s] ó 50 [rpm], $\mu = 0,03$ y $r = 12,5$ [cm]

Reemplazando datos en (8)

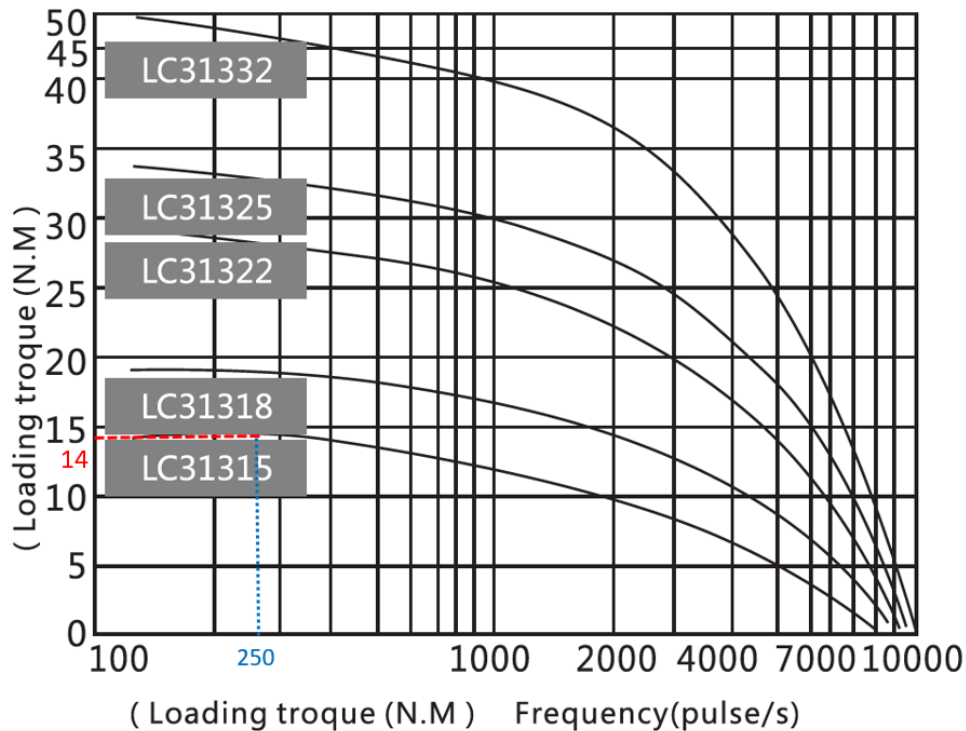
$$\tau = 6,1 \text{ [N·m]}$$

Para la selección del motor 2 se multiplica por un factor de seguridad de 2,5 por tanto:

$$\tau = 6,1 \cdot 2,5 = 15,25 \text{ [N·m]}$$

Se elige un motor 2 de 15 [N·m] modelo LC31315, su curva característica se muestra en la siguiente figura.

Figura 45. Curva característica del motor 2, velocidad vs torque.



Motor 2: 15 N·m (LC31315)

Fuente: www.lichuanmotor.com.

Se observa en la figura 45, que entre 100 y 250 en frecuencia de pulsos el torque se mantiene constante, se realiza el cálculo para el límite 250 [pulso/s] y se calcula su equivalente en rpm.

Para el diseño, los motores seleccionados tienen un paso de 1,2 [°] / pulso, quiere decir que una revolución lo realiza en 300 pulsos.

$$rpm = \frac{250 \text{ pulsos}}{s} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{300 \text{ pulsos}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$rpm = 50 [rpm]$$

Por tanto, para mantener el torque no se debe exceder los 50 [rpm] caso contrario disminuirá las capacidades de los motores.

3.2.4. Análisis energético

La potencia que consume la máquina del simulados sísmico, está limitado a los motores y se calcula por la ecuación:

$$P = V \cdot I \quad (9)$$

Donde:

P : potencia [W]

V : voltaje [V]

I : corriente [A]

Para el caso del diseño, el voltaje y la corriente máxima que el controlador del motor puede entregar es de 54 [V] y 7 [A].

$$P = 54 \cdot 7 = 378 [W]$$

$$P = 0,51 [HP]$$

La potencia máxima que consumirá dos motores es de 1,1 [HP], el amperaje que se necesita para el cable de alimentación es:

$$I = P/V$$

$$I = \frac{(378 + 378)}{220} = 3,5 [A]$$

Se elige un cable que soporte hasta 5 [A] y su respectivo interruptor de protección.

Cálculo rigidez resortes

Por la Ley de Hooke:

$$F = k \cdot x \quad (10)$$

Donde:

F : fuerza aplicada al resorte

k : constante elástica

x : elongación que experimenta el resorte

Como los 4 resortes están en paralelo $k_T = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$; además
 $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 \Rightarrow k$

$$F = 4 \cdot k \cdot x$$

Para un desplazamiento de 1 [cm] y capacidad 100 [kg]:

$$k = \frac{F}{4x} = \frac{(100) [kg]}{4 \cdot 1 [cm]} = 25 \left[\frac{kg}{cm} \right]$$

$$k = 25 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

3.3. Diseño mecánico y validación

Para el diseño mecánico se utiliza el software SolidWorks obteniendo el diseño final figura 46, antes de llegar a este diseño se hizo varias pruebas es decir que se partió de un primer diseño que fue objeto a correcciones.

Figura 46. Diseño simulador sísmico.



Fuente: Elaboración propia.

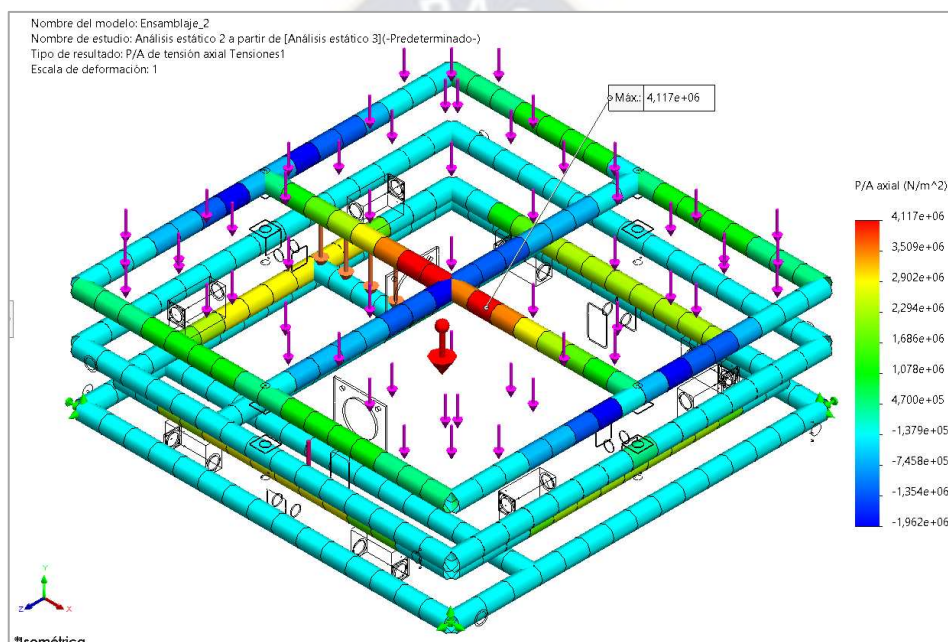
Los planos de cada elemento se encuentran en ANEXO A

Resultados del análisis estático

Considerando la fuerza de gravedad, pesos de los motores que son de 11 y 14,1 [kgf] y la capacidad de carga máxima de 100 [kgf] se obtiene los siguientes resultados en el análisis estático de la estructura diseñado.

En la figura 47, se observa una tensión máxima de 4,117 [MPa] y se encuentra en el extremo que soporta a los rodamientos lineales.

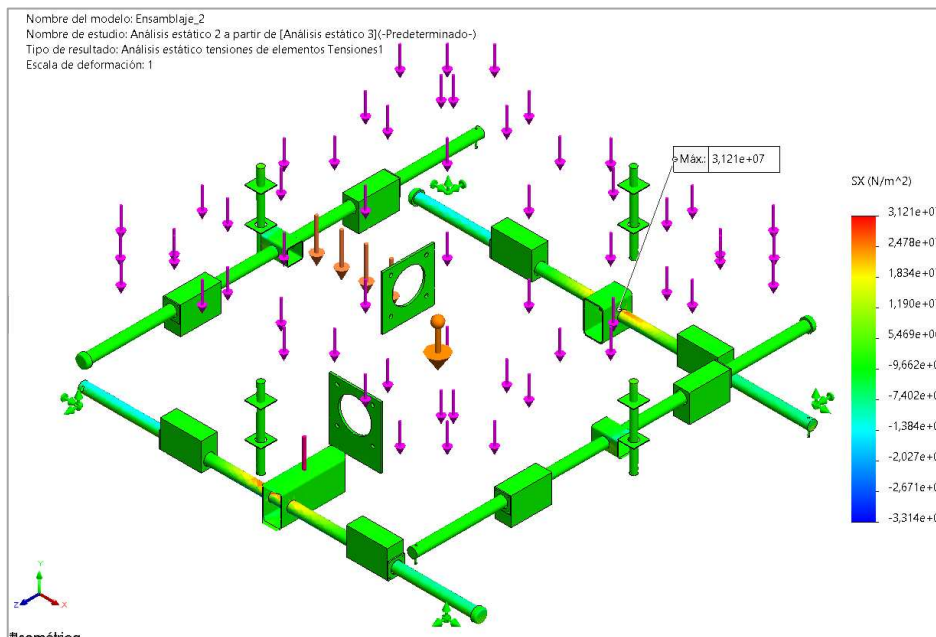
Figura 47. Resultado, análisis tensiones axiales en vigas.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 48, se observa una tensión máxima de 31,21 [MPa] y se ubica en los extremos de los ejes.

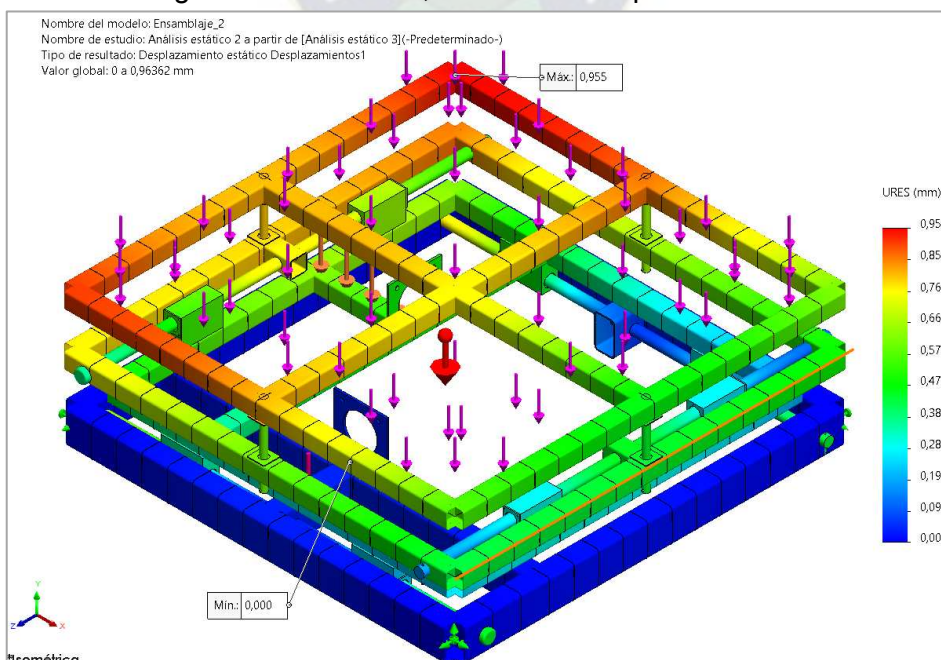
Figura 48. Resultado, análisis tensiones axiales en sólidos.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 49, se observa que hay un desplazamiento máximo de 0,95 [mm] debido al peso de los motores que se encuentra cercano a esta, y un desplazamiento nulo en la plataforma 1 por ser una estructura de mayor espesor y dimensión.

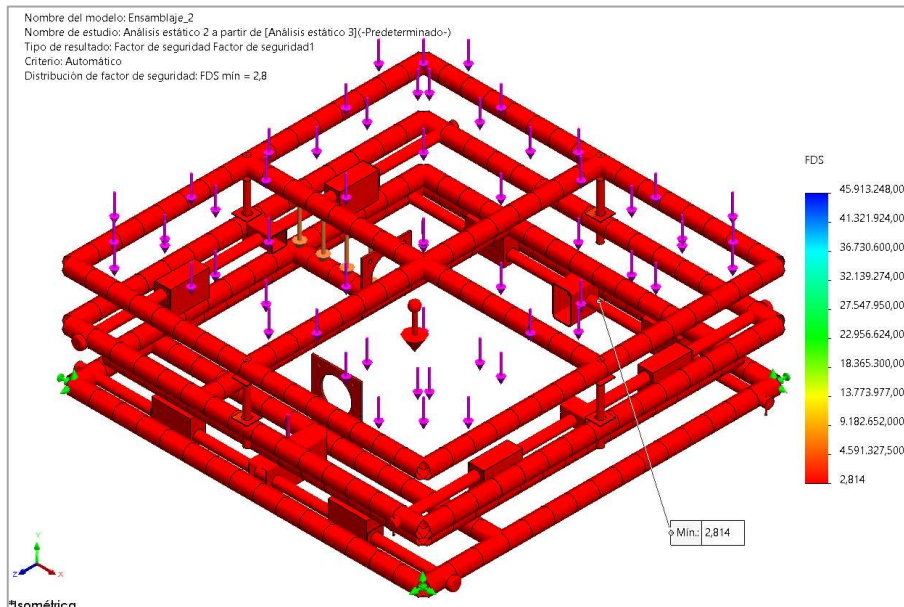
Figura 49. Resultado, análisis de desplazamientos.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 50, se observa que se tiene un factor de seguridad mínimo de 2,81 y se encuentra en el eje de deslizamiento.

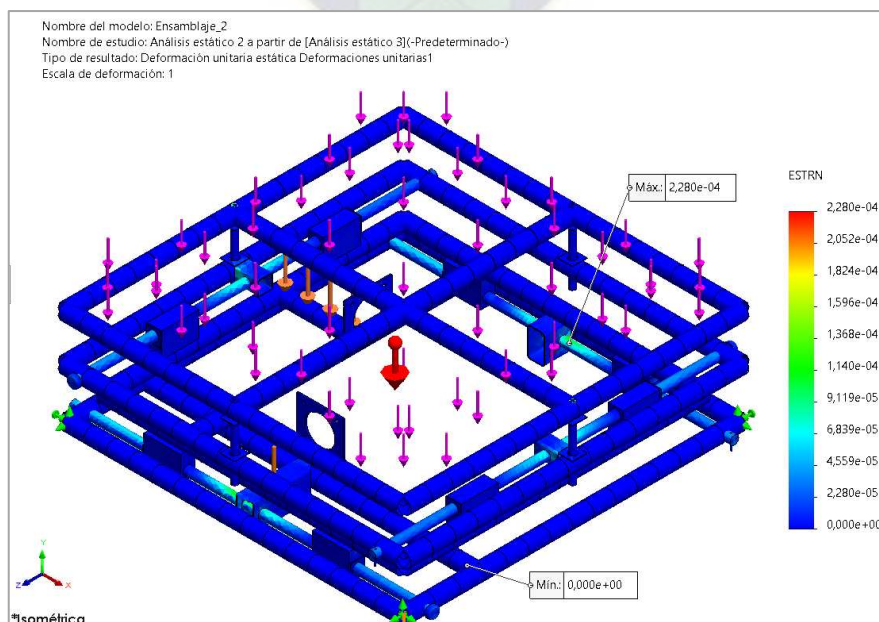
Figura 50. Resultado, análisis factor de seguridad.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar a mejor detalle en la figura 51, el punto donde se tiene el menor factor de seguridad.

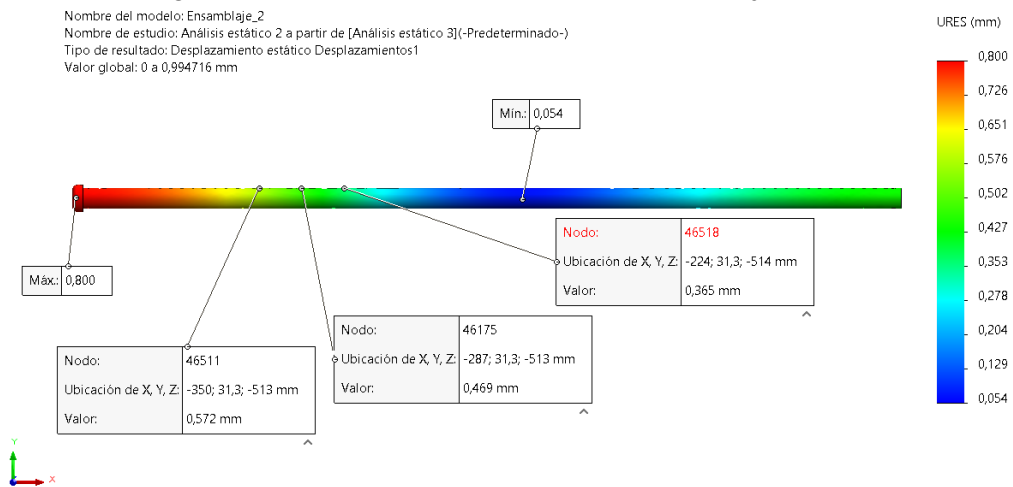
Figura 51. Resultado, análisis deformaciones unitarias



Fuente: Elaboración propia.

Analizando el eje donde se tiene el menor factor de seguridad de 2,81:

Figura 52. Análisis de desplazamientos en el eje crítico.



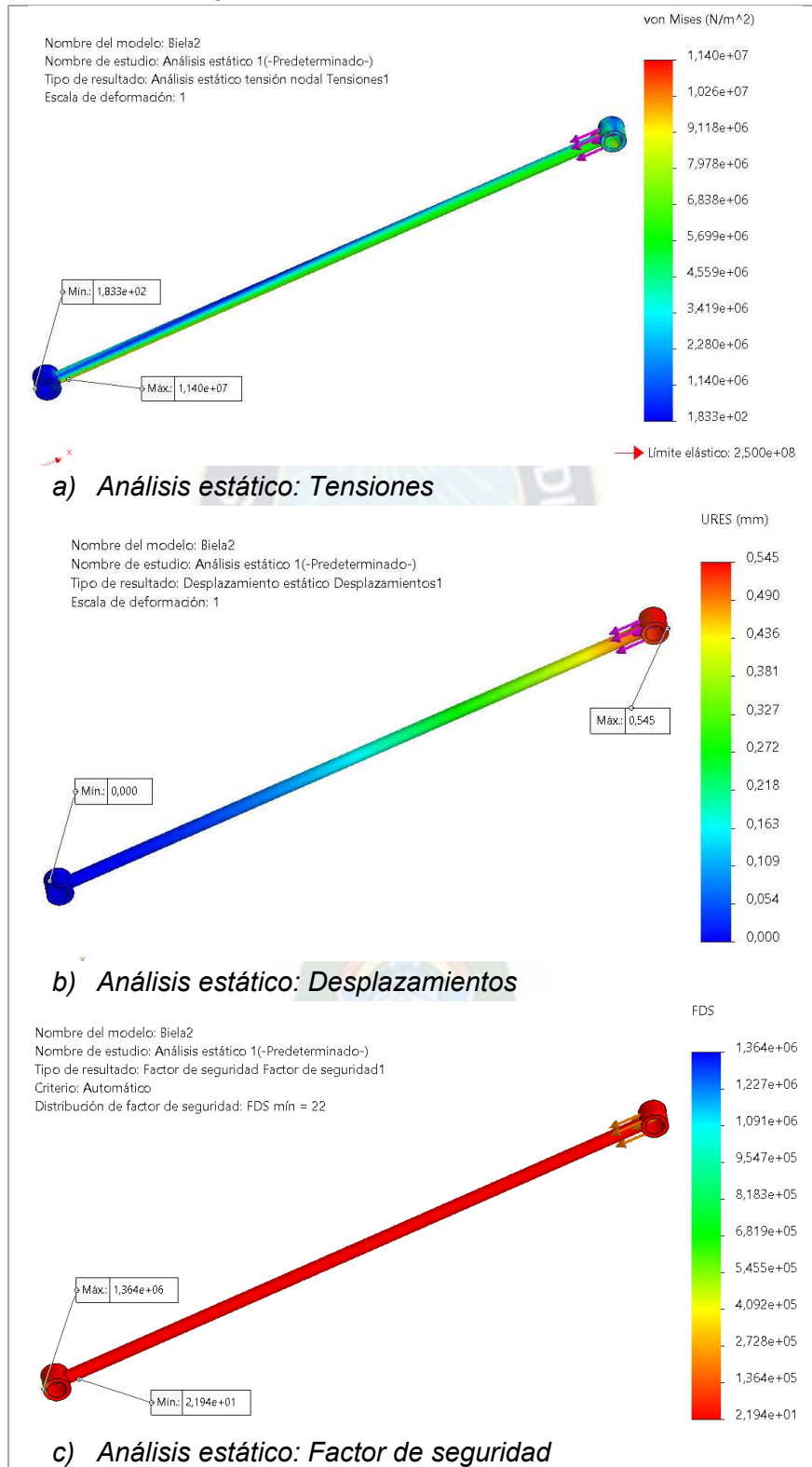
Nodo	Valor (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Component
46518	0,365	-224,09761047	31,29911041	-513,51550293	eje_mov-6
46511	0,572	-350,09759521	31,27615166	-512,90594482	eje_mov-6
46175	0,469	-287,09759521	31,27580833	-512,90008545	eje_mov-6

Fuente: Elaboración propia.

Con los tres puntos que representa la longitud del rodamiento lineal se obtiene un pandeo de 12 [um] que está en el rango aceptable en rodamiento de 30 [mm] que tiene como límite máximo recomendado de 330 [um].

En la figura 53, biela 2 se observa un desplazamiento máximo de 0,5 [mm] y factor de seguridad mínimo de 22.

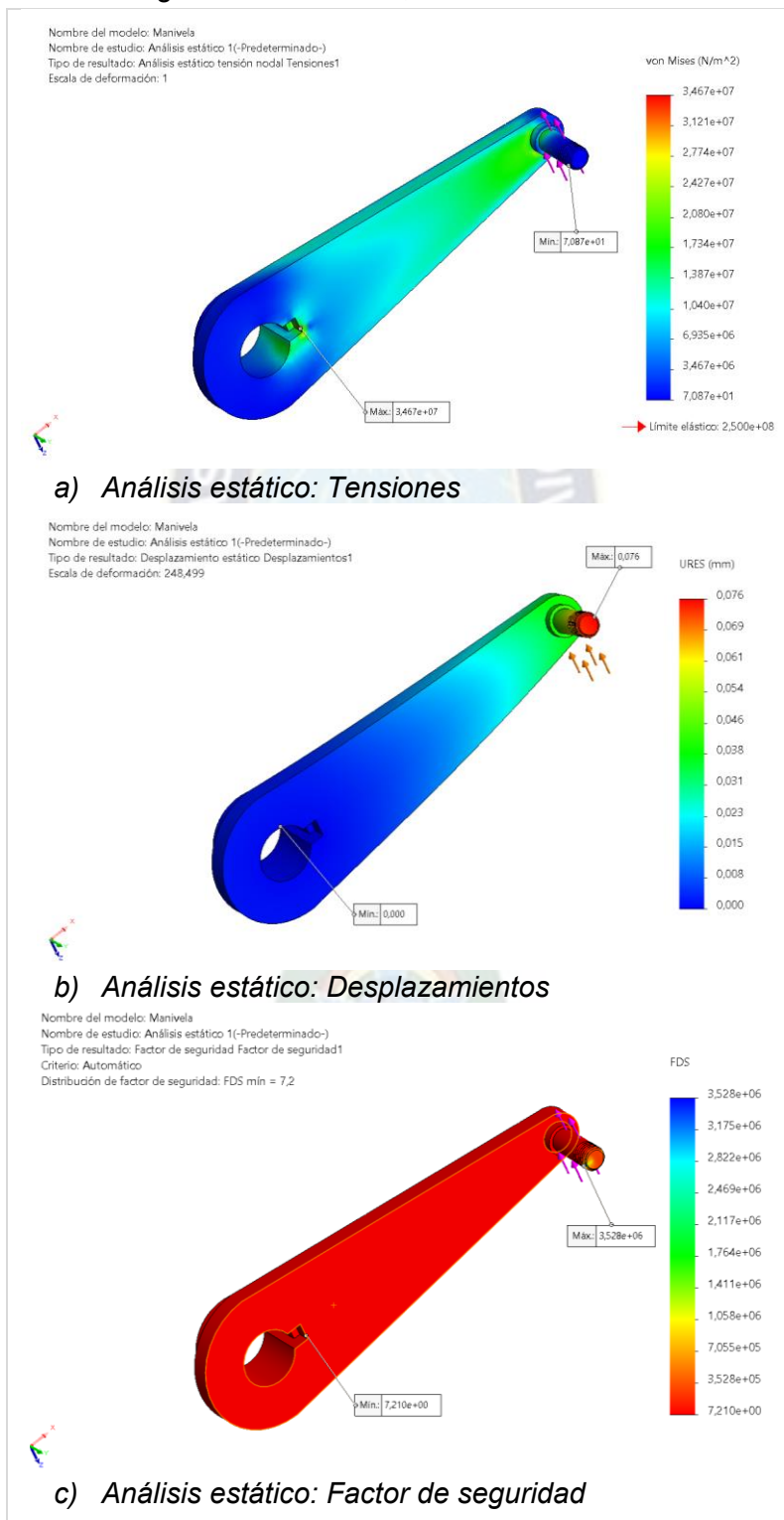
Figura 53. Resultado, análisis biela 2.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 54, manivela 1 se observa un desplazamiento máximo de 0,076 [mm] y factor de seguridad mínimo de 7,2 que se encuentra en el punto de contacto con el eje del motor.

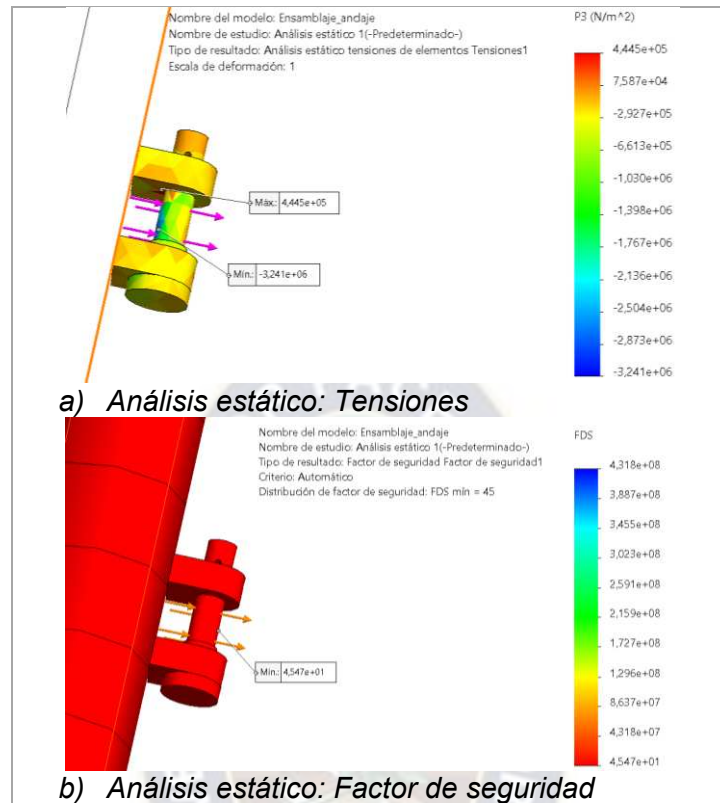
Figura 54. Resultado, análisis manivela 1.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 55, anclaje pie de biela 1 se tiene un factor de seguridad mínimo de 45.

Figura 55. Resultado, análisis anclaje pie de biela 1.

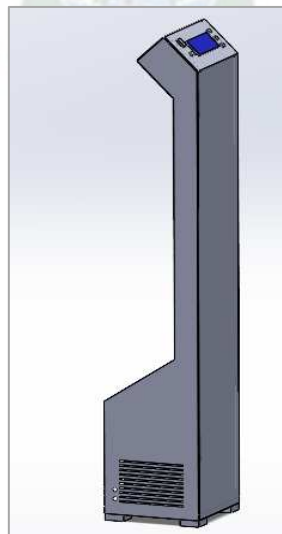


Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño electrónico y validación

El diseño del monitor de control es como se muestra en la figura 56.

Figura 56. Diseño monitor de control.

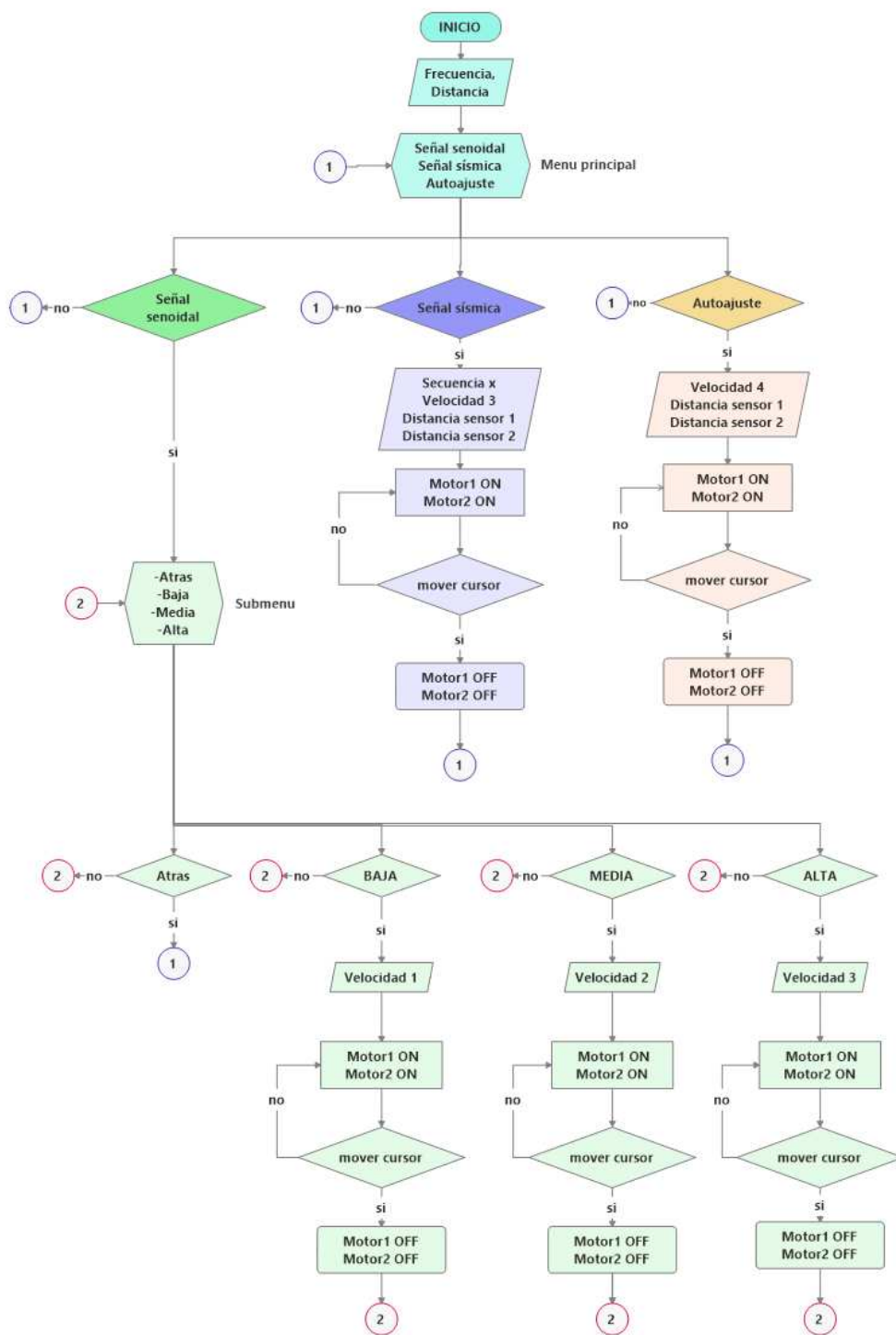


Fuente: Elaboración propia.

Algoritmo

El código en C se muestra en ANEXO B, realizado en el programa PIC CCS Compiler.

Figura 57. Diagrama de flujo, algoritmo.



Fuente: Elaboración propia.

Descripción algoritmo:

Después de haber energizado se despliega en la pantalla (LCD) un menú principal con las opciones:

Señal senoidal
Señal sísmica
Autoajuste

Opción 1: **Señal senoidal**, se despliega un submenú con 4 opciones:

Atrás
Baja
Media
Alta

La opción **Atrás** sirve para retornar al menú principal; las opciones de **Baja**, **Media** y **Alta** sirve para generar intensidades sísmicas de baja, media y alto grado.

Opción 2: **Señal sísmica**, se genera una señal variable en magnitud semejante a un sismo.

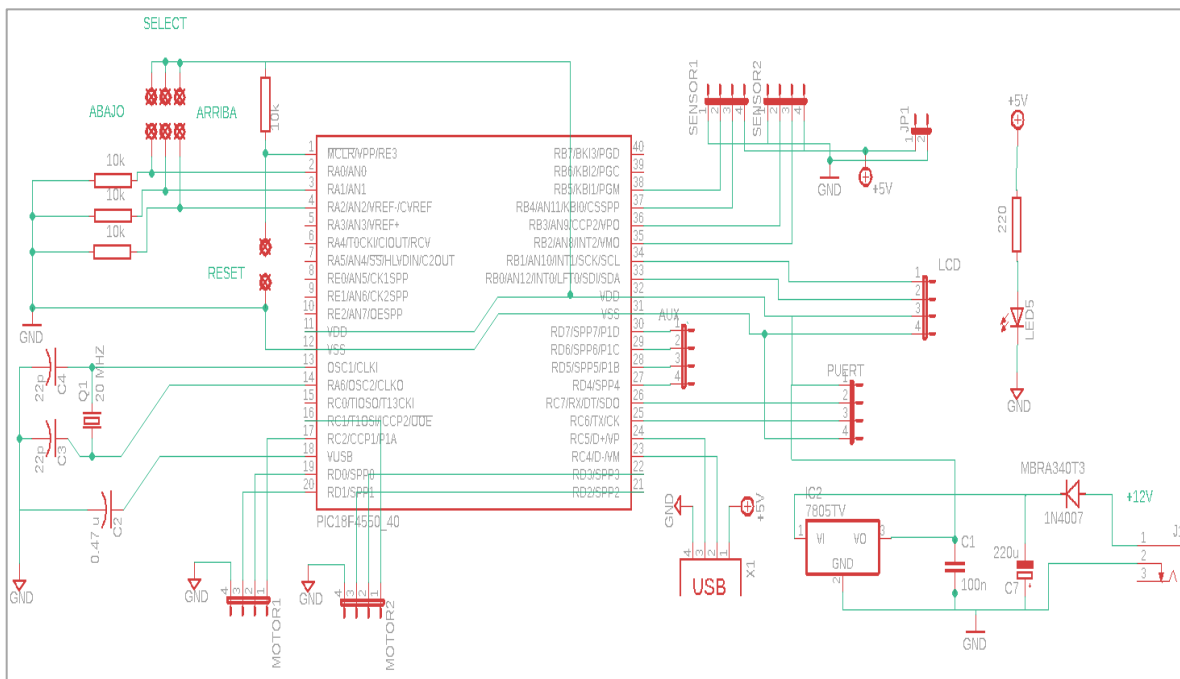
Opción 3: **Autoajuste**, sirve para centrar los bloques deslizantes.

En cualquier de los casos si se presiona el pulsador arriba o abajo mientras se está realizando una operación, se detiene la operación. Se dispone de 3 pulsadores para interactuar en la pantalla LCD: **arriba**, **abajo** y **elegir** así también un cuarto pulsador para reseteo del microcontrolador, y un interruptor para energizar el circuito de control.

La velocidad de los motores se controla mediante la **frecuencia** de la señal cuadradas generadas por el microcontrolador Pic, y la amplitud a través del sensado de la **distancia** registrado por los sensores ultrasónicos.

Representación del circuito de control en Eagle.

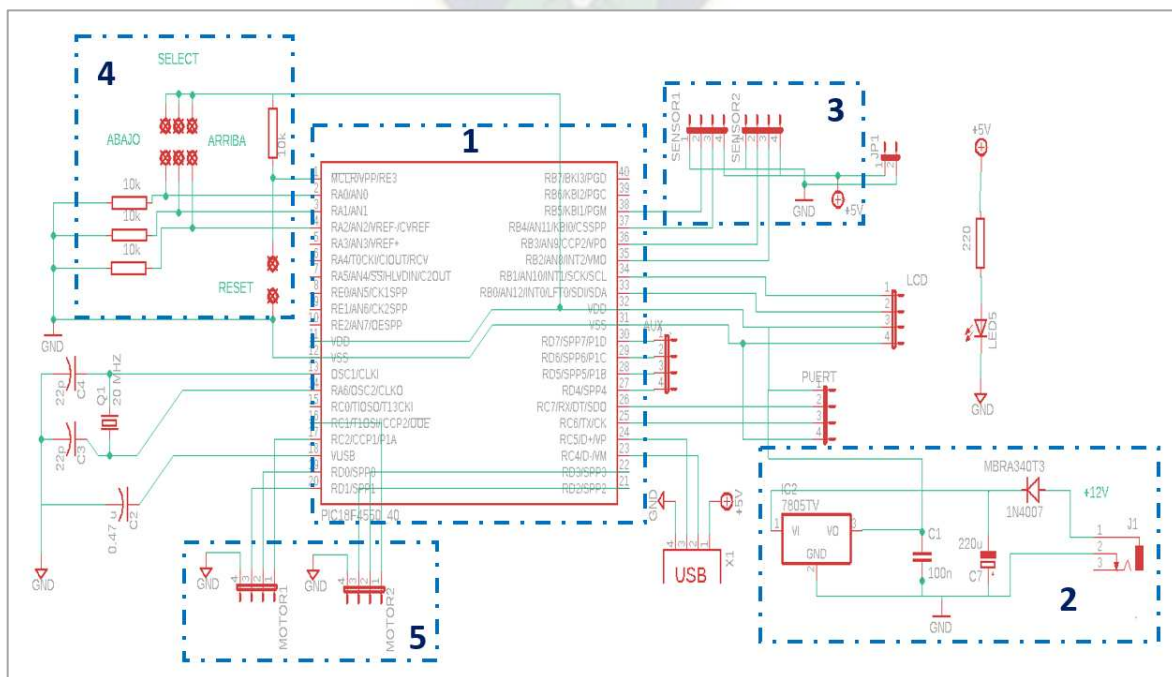
Figura 58. Circuito de control en Eagle.



Fuente: Elaboración propia.

Secciones del circuito de control.

Figura 59. Secciones del circuito de control.



Fuente: Elaboración propia.

Sección 1: Es la unidad de control, compuesta por el microcontrolador PIC18F4550.

Sección 2: Regulación de voltaje de 12 [V] a 5 [V] que se encarga de alimentar la placa de control.

Sección 3: Pines para los sensores de ultrasonido encargado de sensar distancias.

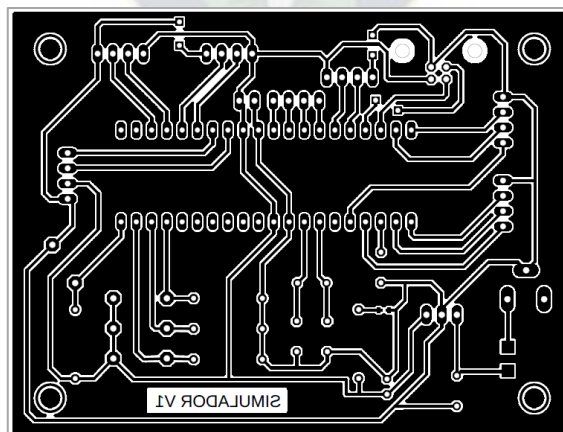
Sección 4: Pulsadores para la operación del simulador, conjuntamente con la pantalla LCD representa la interfaz de usuario.

Sección 5: Pines para el control de los motores, que va conectado a los controladores o driver del motor.

También se dispone de pines libre, que pudiera ser utilizado en un futuro sin tener que quemar nuevamente otra placa.

Diseño del PCB en Eagle, para ser quemado en placa virgen baquelita que se muestra en la figura 60.

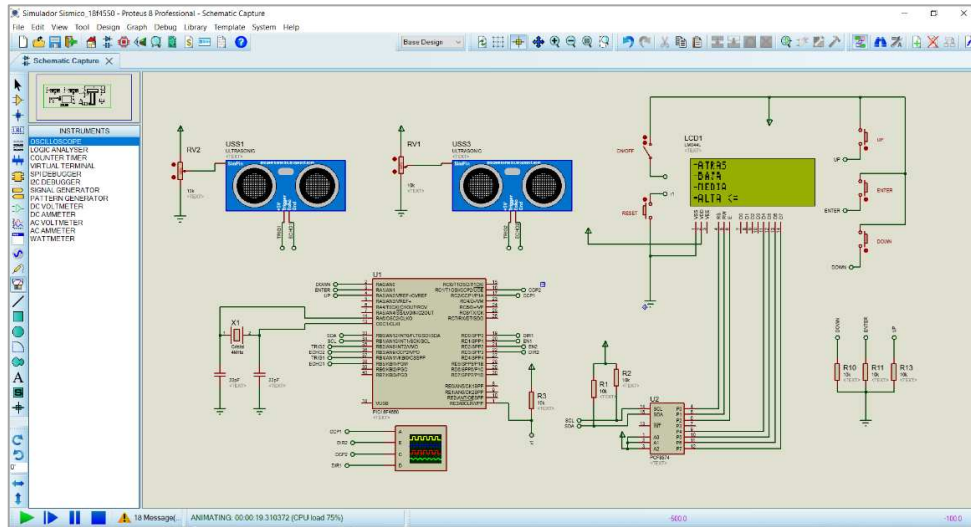
Figura 60. PCB del circuito de control en Eagle.



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la respectiva verificación del código C y circuito de control en el programa Proteus.

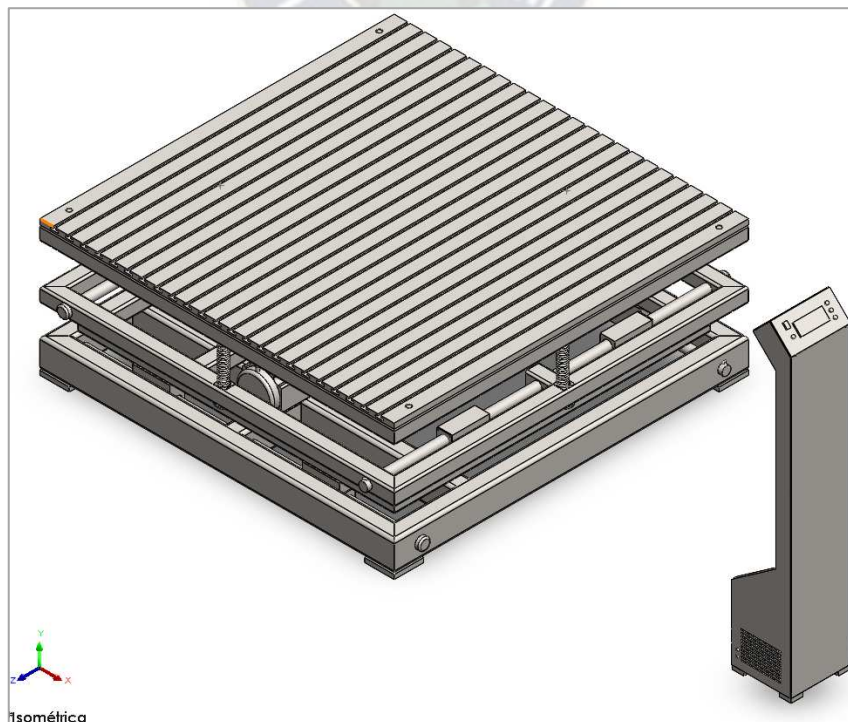
Figura 61. Verificación del código C en Proteus.



Fuente: Elaboración propia.

El diseño final, integrado la parte mecánica y electrónica se muestra en la figura 62.

Figura 62. Diseño final simulador sísmico.



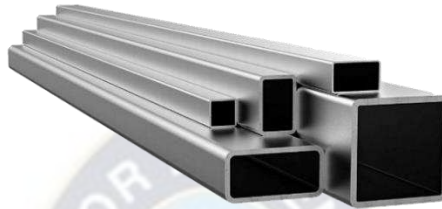
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Elementos especificados

Los componentes empleados para el simulador sísmico se detallan a continuación:

Perfiles estructurales, para la estructura del simulador

Figura 63. Perfiles estructurales acero.



Fuente: <https://www.carpinteria-metalica.com/>

Eje varilla, para el deslizamiento

Figura 64. Varilla eje inoxidable.



Fuente: <https://lonwow.en.made-in-china.com/product>

Motor paso a paso trifásico LC31315, LC31318 y controlador LC3722HTC, para transmitir potencia.

Figura 65. Motor paso a paso y controlador.



Fuente: <https://www.alibaba.com>

Rodamiento lineal, para generar movimiento suave entre plataformas

Figura 66. Rodamiento lineal.



Fuente: <https://mx.misumi-ec.com/es/vona2>

Rodamiento, para generar rotación suave en los extremos de la biela

Figura 67. Rodamiento.



Fuente: <https://za.rs-online.com/web/p>

Resortes, para la suspensión de la plataforma de ensayo

Figura 68. Resorte de suspensión.



Fuente: <https://nz.rs-online.com/web/p>

Chaveta, para la sujeción de los distintos pasadores en los ejes

Figura 69. Chaveta pasador de ejes .



Fuente: <https://alitools.io/en/showcase>

Tornillo, tuerca hexagonal, para la sujeción del soporte de ensayo, motor, pie de apoyo.

Figura 70. Perno y tuerca hexagonal.



Fuente: <https://www.parker.co.jp/en/business>

Tuerca de presión, para la sujeción entre manivela y biela.

Figura 71. Tuerca de presión.



Fuente: <https://www.ercmarket.com>

Tornillo allen sin cabeza, para la sujeción de la manivela y eje del motor

Figura 72. Tornillo allen sin cabeza.



Fuente: <https://sa.rsdelivers.com/product>

Portacables tipo cadena abrible, para el cableado en la estructura del simulador

Figura 73. Porta cable tipo cadena.



Fuente: <https://www.directindustry.com/prod>

Madera MDF con ranuras, para las pruebas de ensayo

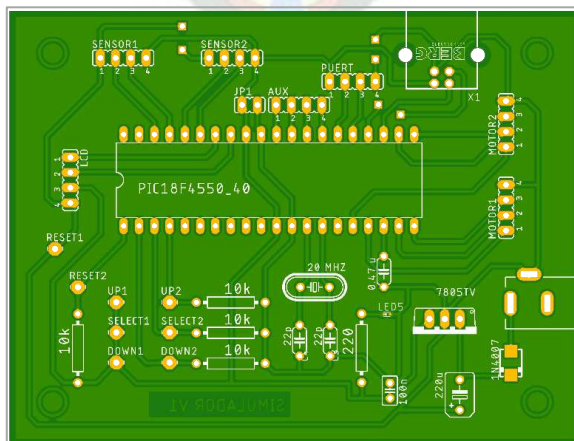
Figura 74. Madera ranurado para ensayos.



Fuente: <https://sanmiguelmadera.com/product-tag>

Placa de control

Figura 75. Elementos de la placa de control.



Fuente: Elaboración propia.

Los componentes de la placa de control se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Componentes electrónicos de la placa de control

NRO	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
1	Placa PCB 72X95 [mm]	1	Placa de cobre	Corte, baño químico mediante Cloruro férrico
2	Conector Jack hembra de alimentación	1	Varios	Tienda electrónica
3	Conector USB hembra tipo B	1	Varios	Tienda electrónica
4	Conector molex 4 pin	7	Varios	Tienda electrónica
5	Conector molex 2 pin	1	Varios	Tienda electrónica
6	PIC18F4550	1	Estado sólido	Tienda electrónica
7	LCD 4X20 i2c	1	Estado sólido	Tienda electrónica
8	Regulador de voltaje 7805CT	1	Estado sólido	Tienda electrónica
9	Cristal oscilador 20 [MHZ]	1	Estado sólido	Tienda electrónica
10	Capacitor electrolítico 220 [uF]	1	Estado sólido	Tienda electrónica
11	Capacitor electrolítico 0,47[uF], 25 [V]	1	Estado sólido	Tienda electrónica
12	Capacitor cerámico 104	1	Estado sólido	Tienda electrónica
13	Capacitor cerámico 22 [pF], 25 [V]	2	Estado sólido	Tienda electrónica
14	Diodo rectificador 1N4007	1	Estado sólido	Tienda electrónica
15	Resistencia 10k, ½ [W]	4	Varios	Tienda electrónica
16	Resistencia 220, ½ [W]	1	Varios	Tienda electrónica
17	Cable conexión molex	4	Varios	Tienda electrónica
18	Cable conexión interna 1 [A], 10 [m]	1	Varios	Tienda electrónica
19	Sensor ultrasonido HC-SR04	2	Estado sólido	Tienda electrónica
20	Fuente de voltaje 12 [V], 1 [A]	1	Varios	Tienda electrónica

Fuente: Elaboración propia

3.6. Resumen de memoria de cálculo

Tabla 7. Memoria de cálculo.

MEMORIA DE CÁLCULO							
PROYECTO					SUBSISTEMA		
DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO					SUBSISTEMA ESTRUCTURAL		
N°	Descripción	Código	Ref.	Material	Cant.	Dimensiones	Observaciones
1	Plataforma1	SS-SE-01	Plano	Acero A36 Perfil estructural, 100x60x3,2 [mm]	1	1,2 x 1,2 [m]	Manufacturado
2	Plataforma2	SS-SE-02	Plano	Acero A36 Perfil estructural, 50x50x1,2 [mm]	1	1,07 x 1,07 [m]	Manufacturado
3	Plataforma3	SS-SE-03	Plano	Acero A36 Perfil estructural, 50x50x1,2 [mm]	1	1,2 x 1,2 [m]	Manufacturado
4	Plataforma4	SS-SE-04	Plano	Acero A36 Perfil estructural, 50x50x1,2 [mm]	1	1,2 x 1,2 [m]	Manufacturado
5	Soporte_ensayo	SS-SE-05	Plano	Madera MDF	1	1,2 x 1,2 [m]	Manufacturado
6	Tornillo sujeción soporte ensayo	SS-SE-06	Catálogo	Acero	4	M8x1,25x25	Especificado

MEMORIA DE CÁLCULO							
PROYECTO					SUBSISTEMA		
DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO					SUBSISTEMA DE DESLIZAMIENTO		
N°	Descripción	Código	Ref.	Material	Cant.	Dimensiones	Observaciones
1	Eje	SS-SD-01	Plano	Acero inox	4	D=30 [mm], L=1230 [mm]	Manufacturado
2	Rodamiento lineal	SS-SD-02	Catálogo	Acero Gcr15	8	D=45 [mm], d=30 [mm], L=123 [mm]	Especificado
3	Pasador	SS-SD-03	Plano	Acero A36	4	L=30 [mm]	Manufacturado
4	Chaveta	SS-SD-04	Catálogo	Acero	4	L=30 [mm] D=5 [mm]	Especificado

MEMORIA DE CÁLCULO							
PROYECTO					SUBSISTEMA		
DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO					SUBSISTEMA DE TRACCIÓN		
N°	Descripción	Código	Ref.	Material	Cant.	Dimensiones	Observaciones
1	Manivela	SS-ST-01	Plano	Acero A36	2	L=125 [mm]	Manufacturado
2	Biela1	SS-ST-02	Plano	Acero A36	1	L=216,47 [mm]	Manufacturado
3	Biela2	SS-ST-03	Plano	Acero A36	1	L=465,47 [mm]	Manufacturado
4	Rodamiento	SS-ST-04	Catálogo	Acero	4	D=14 [mm], d=10 [mm], L=10 [mm]	Especificado
5	Tuerca de presión, cabeza hexagonal	SS-ST-05	Catálogo	Acero	2	M10x1,5	Especificado
6	Pasador anclaje	SS-ST-06	Plano	Acero A36	2	L=20 [mm] D=10 [mm]	Manufacturado

MEMORIA DE CÁLCULO							
PROYECTO					SUBSISTEMA		
DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO					SUBSISTEMA DE SUSPENSIÓN		
N°	Descripción	Código	Ref.	Material	Cant.	Dimensiones	Observaciones
1	Resorte	SS-SS-01	Catálogo	Acero carbonado	4	e=2 [mm], d=24 [mm], L=131 [mm]	Especificado
2	Soporte y Teflón	SS-SS-02	Plano	PTFE	4	L=50 [mm]	Manufacturado
3	Pasador	SS-SS-03	Plano	Acero A36	2	L=20 [mm] D=5 [mm]	Manufacturado
4	Chaveta	SS-SS-04	Catálogo	Acero	4	L=5 [mm]	Especificado
5	Pie apoyo	SS-SS-05	Plano	Caucho	4	e=15 [mm]	Manufacturado
6	Tornillo sujeción pie apoyo	SS-SS-06	Catálogo	Acero	12	M5x0,8x20	Especificado

MEMORIA DE CÁLCULO							
PROYECTO					SUBSISTEMA		
DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO					SUBSISTEMA DE POTENCIA		
N°	Descripción	Código	Ref.	Material	Cant.	Dimensiones	Observaciones
1	Motor paso a paso, 3 fases	SS-SP-01	Catálogo	Varios	1	183x132x132 [mm]	Especificado
2	Motor paso a paso, 3 fases	SS-SP-02	Catálogo	Varios	1	154x132x132 [mm]	Especificado
3	Controlador motor	SS-SP-03	Catálogo	Varios	2	202x147x78 [mm]	Especificado
4	Cable	SS-SP-04	Catálogo	Acero A36	20	1 m	Especificado
5	Perno y tuerca de sujeción motor	SS-SP-05	Catálogo	Acero	8	M10x1,5x35	Especificado

MEMORIA DE CÁLCULO							
PROYECTO					SUBSISTEMA		
DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO					SUBSISTEMA DE CONTROL		
N°	Descripción	Código	Ref.	Material	Cant.	Dimensiones	Observaciones
1	Placa de control	SS-SC-01	Plano	Varios	1	72X95 mm	Manufacturado
2	Soporte control	SS-SC-02	Plano	Varios	1	1100x200x200	Manufacturado
3	Cables	SS-SC-03	Catálogo	Varios	5	1 m	Especificado

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

MANUFACTURA

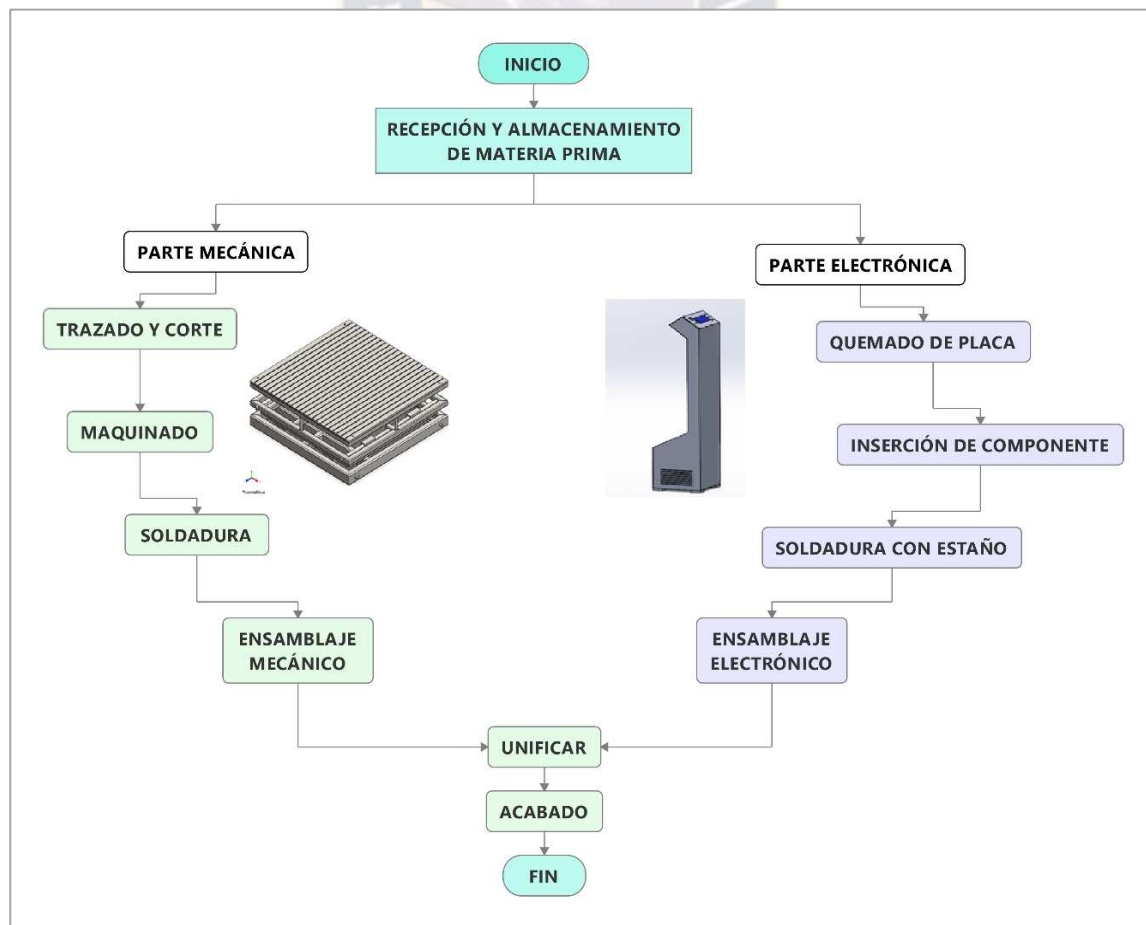
4.1. Máquinas y herramientas

Para la construcción del simulador sísmico se requiere las siguiente máquinas y herramientas: Torno, Fresadora, Soldadora de arco, Oxicorte, Taladro mesa., Amoladora, Prensa de banco, Cierre de cinta Flexómetro, Calibrador pie de rey, Escuadra, Limatón, Martillo, Destornilladores, Llaves, Grabador Pic, Cautín, Multímetro, Mini taladro y PC.

4.2. Procesos de construcción

En la figura 76, se muestra el flujograma de proceso para la elaboración del simulador, así también el cronograma en ANEXO C.

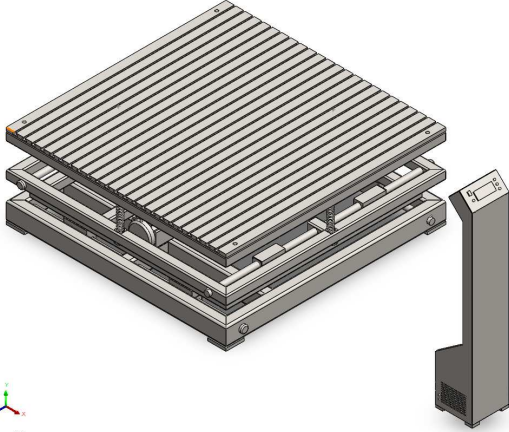
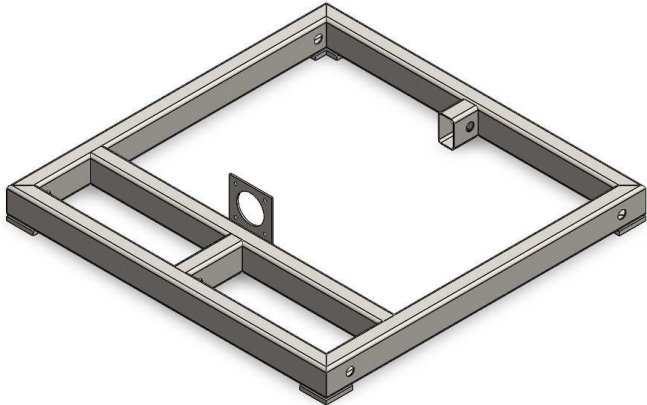
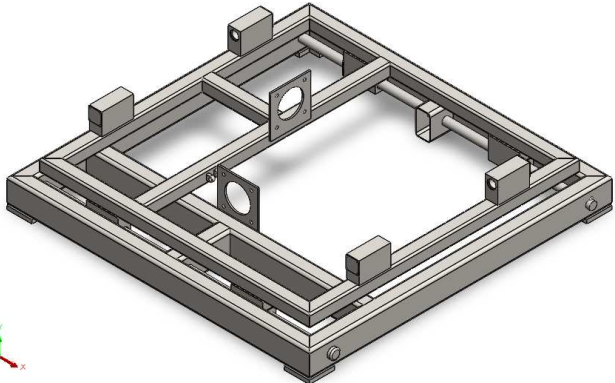
Figura 76. Flujograma de procesos.



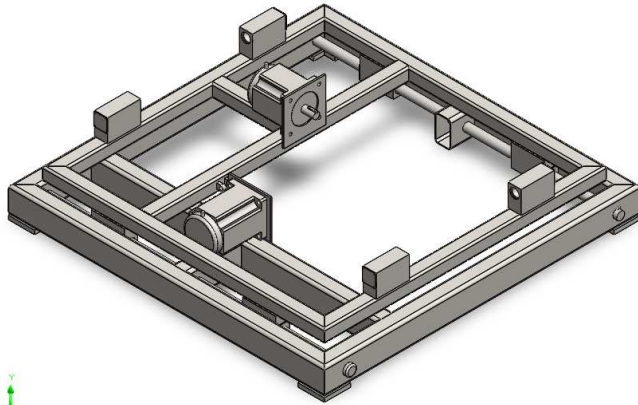
Fuente: Elaboración propia.

4.3. Procedimiento de montaje

Tabla 8. Proceso de montaje simulador.

Proyecto: DISEÑO DE UN PROTOTIPO SIMULADOR SÍSMICO	
<p>Diseño ensamblado</p>  <p><small>Isométrica</small></p>	<p>Herramienta necesaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Juego de llaves - Desarmadores en cruz y plano - Combo de goma - Alicates de punta
<p>Paso 1</p>  <p><small>Isométrica</small></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar pie de apoyo en la plataforma 1 en caso que sea transportable o caso contrario sujetar la plataforma al suelo de sujeción
<p>Paso 2</p>  <p><small>Isométrica</small></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar la plataforma 2 sobre la plataforma 1, y hacer pasar los ejes por los rodamientos - Sujetar los 2 ejes mediante pasadores

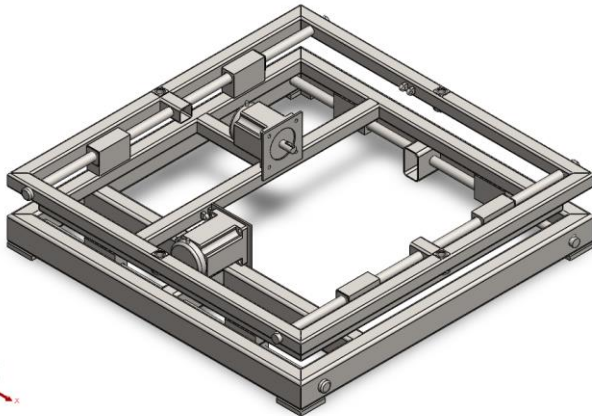
Paso 3



*Isométrica

- Colocar los motores y sujetar con tornillos

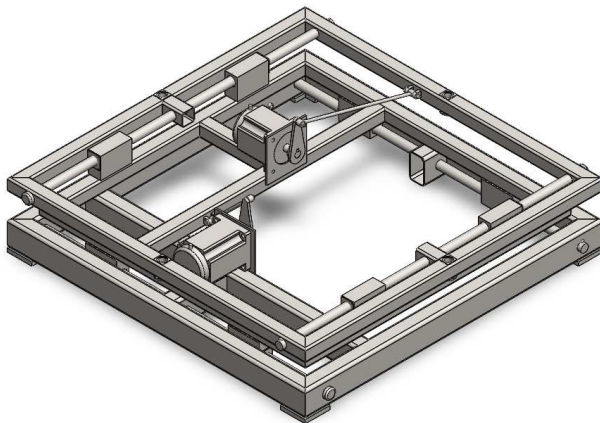
Paso 4



*Isométrica

- Colocar la plataforma 3 sobre la plataforma 2, y hacer pasar los ejes sobre los rodamientos de este ultimo
- Sujetar los ejes con pasadores

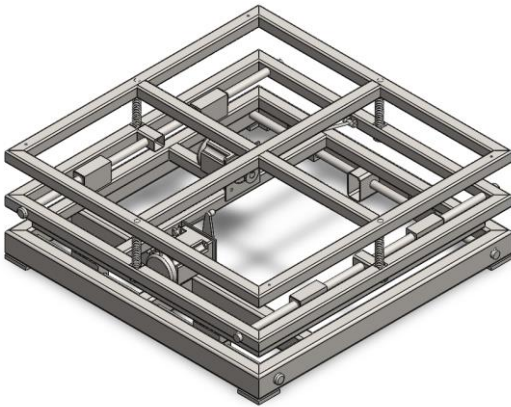
Paso 5



*Isométrica

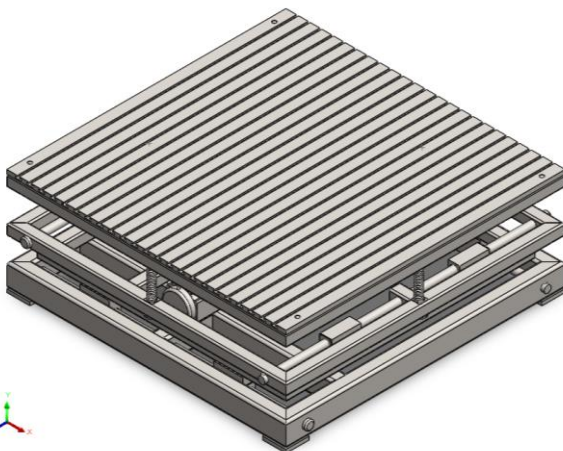
- Instalar el mecanismo biela manivela
- Sujetar los motores con sus cuñeros

Paso 6



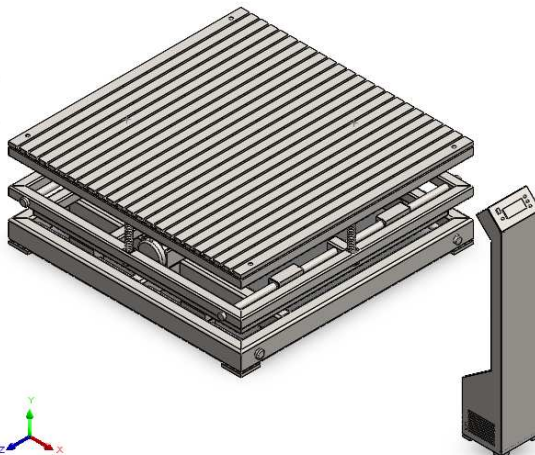
- Colocar la plataforma 4 sobre la plataforma 3, juntamente con sus 4 resortes
- Sujetar con pasadores los ejes de los resorte

Paso 7






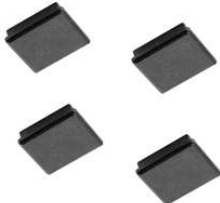



- Colocar la plataforma de ensayo y sujetar con tornillos

Paso 8



- Instalar el panel de control, y realizar el cableado

Fuente: Elaboración propia.

Rodamiento Lineal LM8UU	
Resortes D=9 [mm]	
Chavetas para ejes	
Tornillos y Pernos	
Soporte de goma	
Madera 40 x 40 x 1.5 [cm]	
Silicona estructural, Poxipol, Clefa	
Otros (Brocas, Lija, Tornillo)	

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el cortado del perfil estructural (figura 78).

Figura 78. Cortado de aluminio.



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó como alternativa a la soldadura pegamento fuerte, debido a que no se cuenta con un equipo para soldar aluminio.

Figura 79. Ensamblaje de la estructura mecánica.



Fuente: Elaboración propia.

Prueba Unitaria

Resistencia al desplazamiento, se mueve de extremo a extremo para verificar que los ejes estén alineados y puedan deslizarse libremente (figura 80)

Figura 80. Prueba de movimiento sobre los ejes.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez verificado la posición de los ejes, se lubrica los rodamientos para un movimiento suave.

Figura 81. Lubricación en los rodamientos.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Sistema electrónico

Equipos: Grabador pickit3, analizador lógico, multímetro, caufín, taladro y brocas, estaño y pasta.

Figura 82. Equipo para la construcción de la placa electrónica.



Fuente: Elaboración propia.

Materiales

Tabla 10. Materiales parte electrónica.

DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
Microcontrolador PIC16F877A	
Display LCD 4X20 I2C	
Sensor Ultrasonido HC-SR04	

Nema 17 motor Paso a Paso 1,2 [A], 0,4 [N·m]	
Controlador de motor Paso a Paso DRV8825	
Regulador 7805, Capacitores, Resistencias	
Cables y Conectores	
Pulsador e Interruptores	
Fuente Conmutada 12 [V] 10 [A]	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al diseño electrónico se realiza la placa PCB (figura 83):

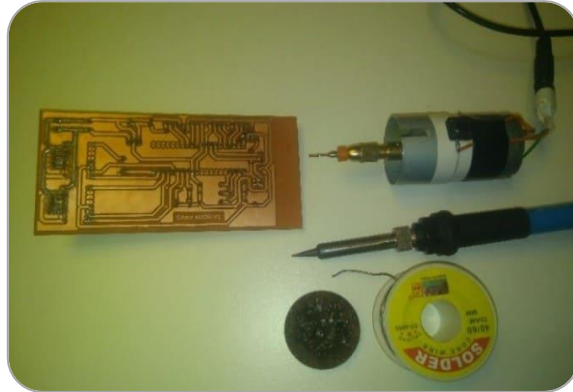
Figura 83. Quemado manual de placa.



Fuente: Elaboración propia

Perforación de hoyo para la inserción de componentes (figura 84):

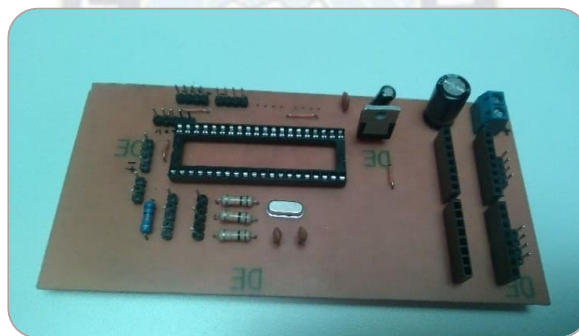
Figura 84. Perforado de placa.



Fuente: Elaboración propia

Inserción y soldadura de componentes en la placa (figura 85):

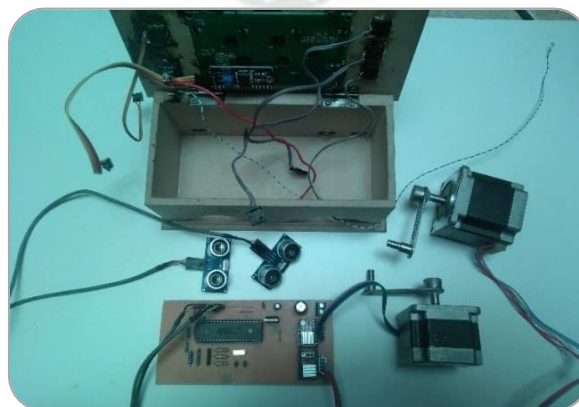
Figura 85. Componentes soldado en la placa.



Fuente: Elaboración propia

Conexión de motores y sensores (figura 86):

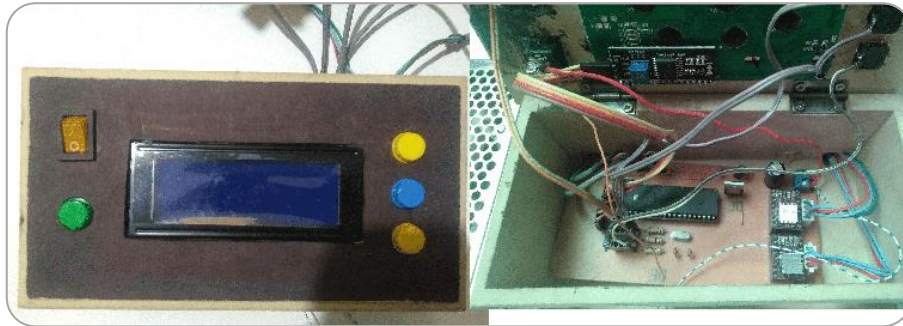
Figura 86. Conexión de los motores y sensores en la placa.



Fuente: Elaboración propia

Vista externa e interna del panel de control del prototipo implementado (figura 87):

Figura 87. Prototipo, panel de control.

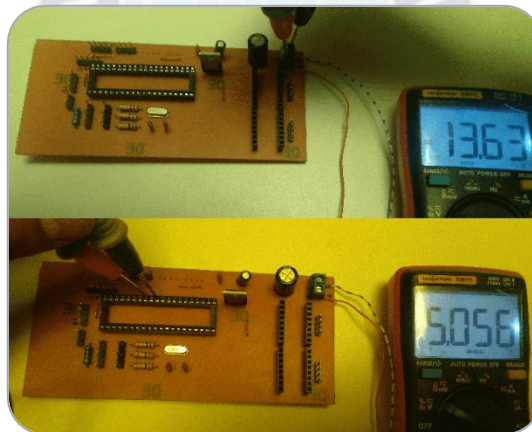


Fuente: Elaboración propia

Prueba Unitaria

Medición del voltaje en la placa de control del prototipo (figura 88):

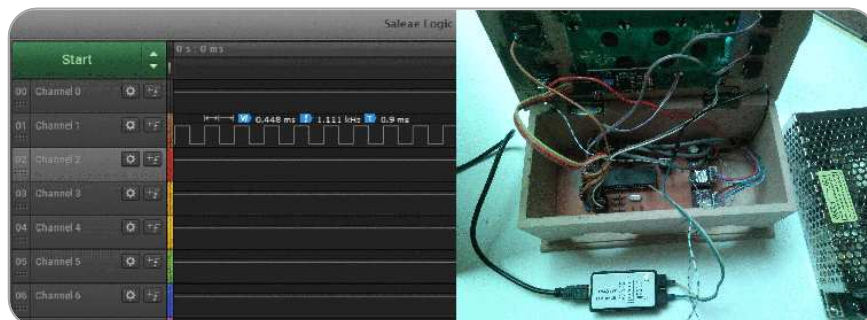
Figura 88. Comprobación del voltaje en la placa.



Fuente: Elaboración propia

Verificación de pulsos del microcontrolador al controlador de motor (figura 89):

Figura 89. Verificación de pulsos al controlador drv8825.

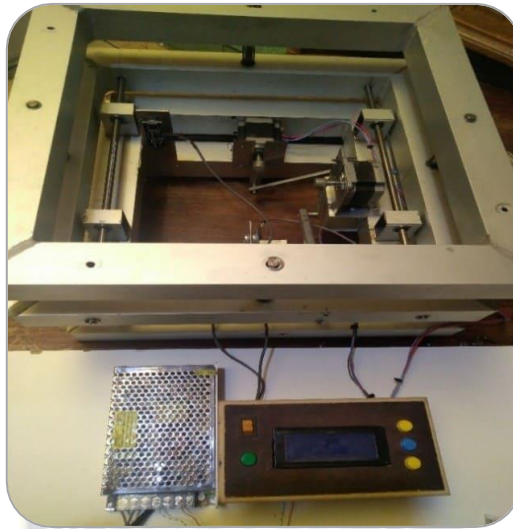


Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Integración sistema mecánico-electrónico

Una vez realizada las pruebas unitarias se procede a integrar ambas partes; mecánica y electrónica, para realizar las respectivas pruebas.

Figura 90. Integración parte mecánica y electrónica.



Fuente: Elaboración propia.

Aspecto final del prototipo implementado (figura 91):

Figura 91. Prototipo implementado.



Fuente: Elaboración propia.

Panel de control

La operación del simulador es intuitiva, de manera que el usuario podrá aprender con facilidad (figura 92).

Figura 92. Componentes, interfaz del panel de control.



Fuente: Elaboración propia.

Menú desplegado en la pantalla LCD del panel de control (figura 93):

Figura 93. Menú del panel de control.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en el menú tres opciones:

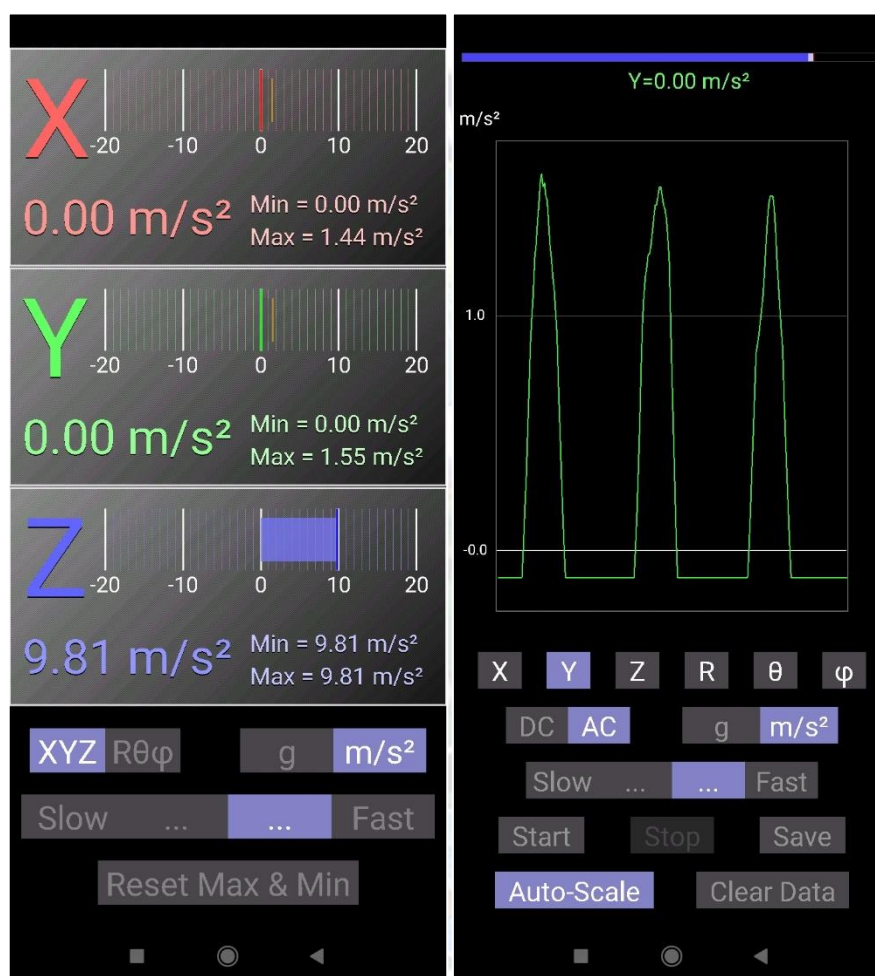
- **Señal senoidal**, donde se encuentra un sub menú de 3 tipos de ondas senoidales: de intensidad baja, media y alta.
- **Señal sísmica**, donde reproduce un sismo variable en amplitud.
- **Autoajuste**, para posicionar al centro los bloques deslizantes del simulador.

4.4.4. Prueba operacional del sistema

Prueba de la intensidad sísmica obtenido en el prototipo

Se realiza la medición de la aceleración en el prototipo mediante una aplicación móvil, figura 94.

Figura 94. Aplicación Accelerometer meter.



Fuente: Elaboración propia.

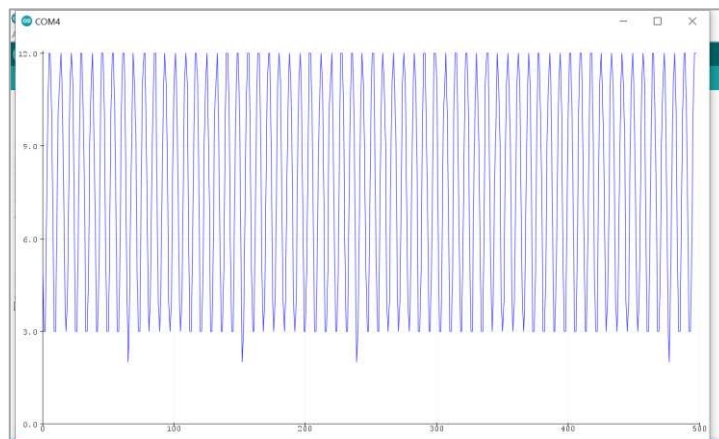
Modo: señal senoidal

A 5 [rpm] BAJA: se llega a una aceleración máxima de 0,06 [m/s²] (6 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 2 [MM].

A 20 [rpm] MEDIA: se llega a una aceleración máxima de 0,27 [m/s²] (27 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 7 [MM].

A 39 [rpm] ALTA: se llega a una aceleración máxima de 1,70 [m/s²] (170 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 9 [MM], figura 95.

Figura 95. Desplazamiento prototipo, Arduino y ultrasonido.



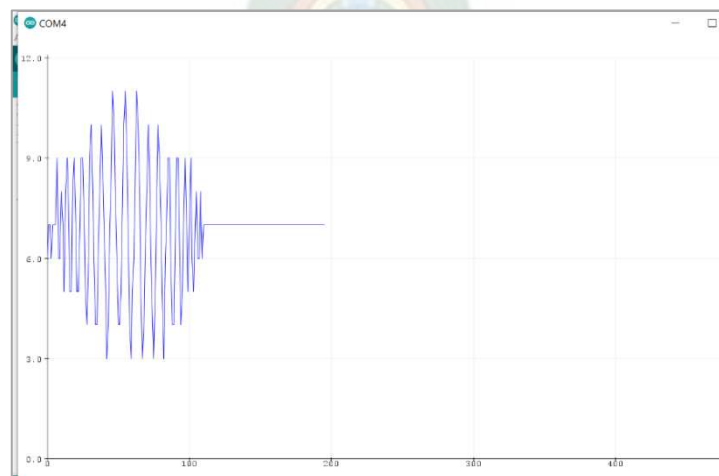
Fuente: Elaboración propia.

De los datos anteriores se puede observar: que a medida que aumenta la velocidad rpm del motor también aumenta la intensidad sísmica, así también se observa picos debido al error en el sensor ultrasónico.

Modo: señal sísmica

Para un desplazamiento variable en la plataforma partiendo de baja, alta, baja similar a un sismo se llega a una intensidad sísmica de 4 [MM], figura 96.

Figura 96. Desplazamiento prototipo, modo señal sísmica



Fuente: Elaboración propia.

Prueba de capacidad en el prototipo

Se utilizó motor paso a paso nema 17 de torque 0,4 [N·m] en el prototipo.

Por la regla de 3 simple:

$$20 \text{ [N·m]} \rightarrow 200 \text{ [kg]} \text{ (según diseño)}$$

$$0,4 \text{ [N·m]} \rightarrow x \text{ [kg]} \text{ (según prototipo)}$$

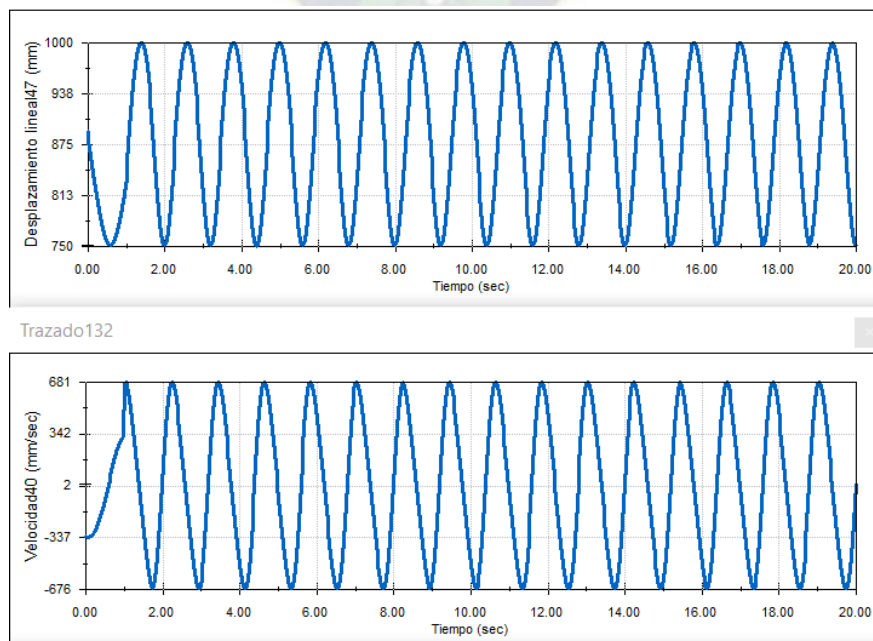
$$x = 4 \text{ [kg]}$$

Quiere decir que el motor de 0,4 [N·m] puede mover hasta 4 [kg], de los cuales 3,6 [kg] corresponde a la estructura metálica dejando 0,4 [kg] de capacidad de carga para los ensayos, esto a una velocidad de 39 [rpm] y longitud de manivela 4,5 [cm].

Prueba de la intensidad sísmica en el diseño del Proyecto

Para el diseño, longitud de manivela 12,5 [cm] se tiene los siguientes resultados de la simulación en SolidWorks (figura 97), a la velocidad de 50 [rpm] en el motor se tiene una velocidad lineal máxima de 68,1 [cm/s].

Figura 97. Desplazamiento y velocidad lineal en la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

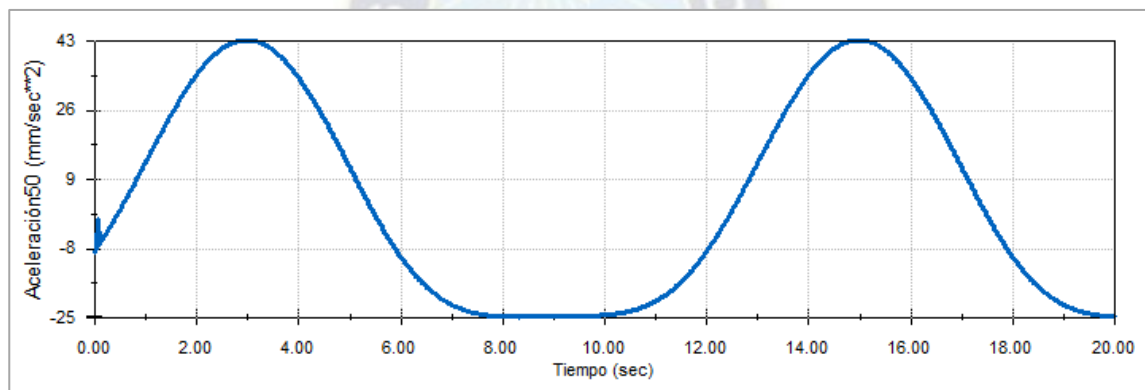
Para velocidades de 0 a 50 [rpm] en el motor se obtiene las siguientes aceleraciones lineales máximas en el bloque deslizante y su respectivo equivalente en intensidad sísmica en la escala de Mercalli Modificada [MM] de la tabla 3.

A 1 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 1,7 [mm/s²] (0,1 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 1 [MM].

A 3 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 16 [mm/s²] (1,6 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 2 [MM].

A 5 [rpm] BAJA: en la figura 98, se observa una aceleración máxima de 43 [mm/s²] (4 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 3 [MM] según la tabla 3.

Figura 98. Aceleración lineal en la plataforma a 5 [rpm] en el motor.



Fuente: Elaboración propia.

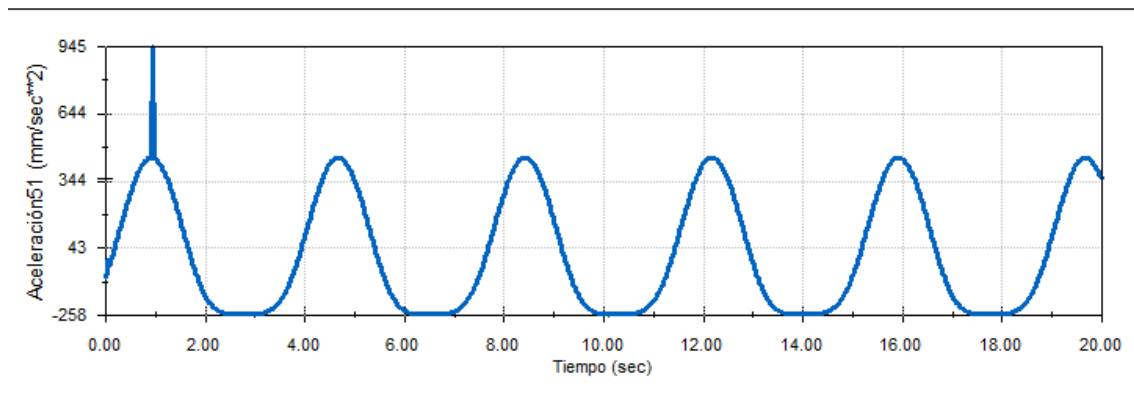
A 7 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 85 [mm/s²] (8 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 4 [MM].

A 9 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 141 [mm/s²] (14 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 5 [MM].

A 12 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 250 [mm/s²] (25 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 6 [MM].

A 16 [rpm] MEDIA: en la figura 99, se observa una aceleración máxima de 453 [mm/s²] (45 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 7 [MM], correspondiente a la tabla 3.

Figura 99. Aceleración lineal en la plataforma a 16 [rpm] en el motor.



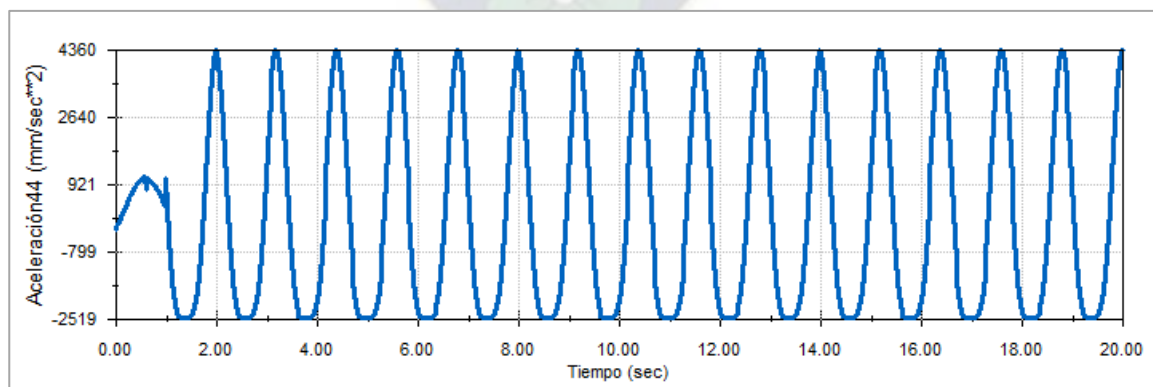
Fuente: Elaboración propia.

A 22 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 842 [mm/s²] (84 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 8 [MM].

A 30 [rpm]: se llega a una aceleración máxima de 1783 [mm/s²] (178 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 9 [MM].

A 50 [rpm] ALTA: en la figura 100, se observa un arranque suave y aceleración máxima de 4360 [mm/s²] (436 [gal]) equivalente a una intensidad sísmica de 10 [MM], correspondiente a la tabla 3.

Figura 100. Aceleración lineal en la plataforma a 50 [rpm] en el motor.

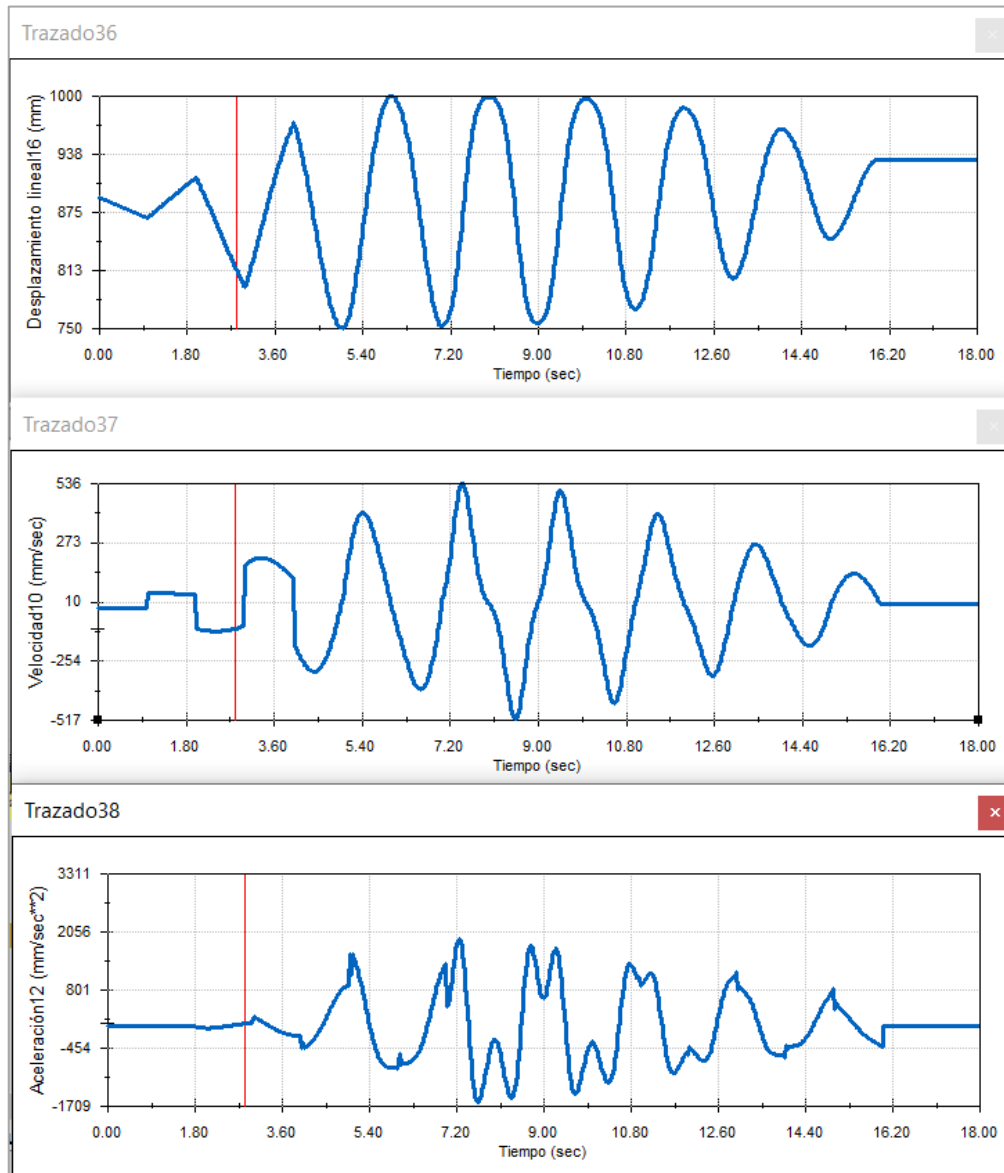


Fuente: Elaboración propia.

Se ve algunos picos en las figuras anteriores porque se utilizó una baja trama de 50 esto para agilizar la simulación. De donde, se concluye que a mayor velocidad rpm mayor intensidad sísmica.

Para desplazamientos variable en la plataforma a 30 [rpm], se obtiene una aceleración máxima de 1787 mm/s² (17 gal) equivalente una intensidad sísmica de 5 [MM], figura 101.

Figura 101. Desplazamiento variable en la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Costos de materiales

Los siguientes materiales se cotizaron en el mercado nacional e internacional, vigentes durante la realización del proyecto.

Tabla 11. Costo de materiales.

N°	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [Bs]	COSTO TOTAL [Bs]
1	Perfil estructural, rectangular 100x60x3,2 [mm] de 6 [m]	Acero A36	unidad	2	610,00	1.220,00
2	Perfil estructural, rectangular 50x50x1,2 [mm] de 6 [m]	Acero A36	unidad	4	150,00	600,00
3	Tablero ensayo ranurado 1200x1200x18 [mm]	Madera MDF	unidad	1	450,00	450,00
4	Eje 20 [mm] de 1,2 [m]	Acero inox	unidad	1	350,00	350,00
TOTAL						2.620,00

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Costos de elementos especificados

Los elementos especificados necesarios para la elaboración del proyecto.

Tabla 12. Costo de elementos especificados.

N°	DESCRIPCIÓN	MATERIA L	UNIDAD DE MEDIDA	CANT .	COSTO UNITARIO [Bs]	COSTO TOTAL [Bs]
1	Motor paso a paso, 3 fases LC31315	Varios	unidad	1	5.500,00	5.500,00
2	Motor paso a paso, 3 fases LC31318	Varios	unidad	1	4.300,00	4.300,00
3	Controladora motor LC3722HTC	Varios	unidad	2	1.500,00	3.000,00
4	Porta cables tipo cadena 1 [m], 10x20 [mm]	Nylon	unidad	2	120,00	240,00
5	Placa de control y componentes	Varios	unidad	1	350,00	350,00
6	Interruptor Termomagnético 5 [A]	Varios	unidad	1	45,00	45,00
7	Estructura del control	Varios	unidad	1	500,00	500,00
8	Eje guía 30 [mm] de 1,2 [m]	Acero inox	unidad	4	780,00	3.120,00
9	Manivela	Acero A36	unidad	2	250,00	500,00
10	Biela 1	Acero A36	unidad	1	200,00	200,00
11	Biela 2	Acero A36	unidad	1	220,00	220,00
12	Resorte	Acero A36	unidad	4	50,00	200,00
13	Rodamiento lineal 30x45x123 [mm]	Acero y Cromo	unidad	8	200,00	1.600,00
14	Rodamiento hk 1010	Acero y Cromo	unidad	4	30,00	120,00
15	Soporte y buje	Varios	unidad	4	70,00	280,00
16	Pasadores de eje	Acero	unidad	8	30,00	240,00
17	Chaveta para pasador de eje	Acero	unidad	10	4,00	40,00
18	Tuerca de presión	Varios	unidad	2	25,00	50,00
19	Tornillos allen sin cabeza	Acero	unidad	2	15,00	30,00
20	Tornillos y pernos	Acero	-	-	120,00	120,00
21	Cables y conectores	Varios	-	-	250,00	250,00
TOTAL						20.905,00

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Costos de insumos

Los insumos necesarios para la elaboración del proyecto.

Tabla 13. Costo de insumos.

N°	INSUMO	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO [Bs]	COSTO TOTAL [Bs]
1	Lima plana de acero	Grano grueso	2	55,00	110,00
2	Lima circular	Grano grueso	2	80,00	160,00
3	Disco de corte	7" (diámetro)	6	30,00	180,00
4	Disco de desbaste	7" (diámetro)	2	45,00	90,00
5	Electrodo	AWG E7015	20 [kg]	25,00	500,00
6	Electrodo	AWG E6013	15 [kg]	30,00	450,00
7	Lija de metal	Lija de metal	3 [m]	10,00	30,00
8	Brocas de taladro	3 [mm]	2	10,00	20,00
		5 [mm]	2	15,00	30,00
		8 [mm]	2	25,00	50,00
		10,5 [mm]	2	30,00	60,00
9	Hoja de sierra	Número 3	2	25,00	50,00
10	Pintura spray	Plateado	4	80,00	320,00
TOTAL					1.600,00

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Costos de máquinas y equipos

Son los costos por alquiler de máquinas y equipos que se van utilizar:

Tabla 14. Costo de alquiler de maquinaria y equipo.

N°	MÁQUINA	CANTIDAD	COSTO MES [Bs]	COSTO TOTAL POR MES [Bs]
1	Arco de soldar	2	1.250,00	2.500,00
2	Esmeril	1	400,00	400,00
3	Amoladora	2	500,00	1.000,00
4	Taladro mesa	2	700,00	1.400,00
TOTAL				5.300,00

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra por mes son:

Tabla 15. Costo de mano de obra.

N°	CARGO DEL TRABAJADOR	CANTIDAD	SALARIO MES	SALARIO TOTAL
1	Ing. Mecatrónico	1	4.000,00	4.000,00
2	Tec. Mecánico	2	3.500,00	7.000,00
3	Tec. Electrónico	1	2.000,00	2.000,00
TOTAL				13.000,00

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Otros costos

Son los costos que cubrirán los gastos extras que se necesitarán para realizar el proyecto.

Tabla 16. Otros costos.

N°	ÍTEM	CONCEPTO	TOTAL POR MES [Bs]
1	Diseño proyecto	Documento y Planos	4.000,00
2	Transporte	Flete movilidad	500,00
3	Casa	Alquiler	1.500,00
4	Servicios básicos luz y agua	Pago factura	500,00
5	Alimentación y refrigerio	30 [Bs] al día por persona	2.250,00
6	Otros	Imprevistos	1.000,00
TOTAL			9.750,00

Fuente: Elaboración propia.

Costo total del proyecto

En la siguiente tabla se detalla un resumen del costo total del proyecto en un mes que dura la fabricación del simulador sísmico:

Tabla 17. Resumen del costo total del Proyecto.

N°	CONCEPTO	COSTO TOTAL [Bs]	COSTO TOTAL [\$us] tipo de cambio 6.97
1	Materiales	2.620,00	375,90
2	Elementos Especificados	20.905,00	2.999,28
3	Insumos	1.600,00	229,56
4	Máquinas y Equipos	5.300,00	760,40
5	Mano de obra	13.000,00	1.865,14
6	Otros Costos	9.750,00	1.398,85
TOTAL		53.175,00	7.629,12

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, el costo total de proyecto es:

$$C_T = 53.175,00 [Bs]$$

y su equivalente en dolares = 7.629,12 [\$us]

5.7. Precio

Para determinar el precio del proyecto simulador sísmico, se fija una utilidad que es la ganancia obtenida y se calculan los impuestos. La utilidad se calcula mediante la siguiente ecuación:


$$U = u \cdot C_T \quad (11)$$

Donde:

u : utilidad fijada

C_T : costo total de proyecto

Reemplazando datos:

Se asigna una utilidad fijada de $u = 50 \%$, lo que quiere decir que la ganancia será del 50% del costo total de proyecto.

$$U = 0,5 \cdot 7.629,12 = 3.814,56 [\$us]$$

El precio de proyecto es calculado por la ecuación:


$$P_1 = C_T + U \quad (12)$$

Donde P_1 : precio del proyecto

Reemplazando datos:

$$P_1 = 7.629,12 + 3.814,56$$

$$P_1 = 11.443,68 [\$us]$$

El precio de venta se calcula por:

$$P = P_1 + I \quad (13)$$

Dónde:

P: precio de venta del proyecto

I: impuestos total a pagar

El impuesto total a pagar se calcula por la siguiente ecuación:

$$I = IVA \cdot (P - Costos_{facturas}) + IT \cdot P \quad (14)$$

Dónde:

IVA: impuesto al valor agregado (13 %)

IT: impuesto a la transacción (3 %)

$Costos_{facturas}$: costos de elementos y servicios obtenidos con factura.

La suma de los costos de los elementos con factura es:

$$Costos_{facturas} = C_{materiales} + C_{Elementos\ especificados} + C_{insumos} \quad (15)$$

En este caso en particular no existen costos que se puedan respaldar con facturas.

Entonces: $Costos_{facturas} = 0$ y despejando P de la ecuación 14:

$$P = [C_T + U] + [P \cdot I]$$

$$P = \frac{C_T + U}{1 - [IVA + IT]}$$

Reemplazando datos:

$$P = \frac{7.629,12 + 0,5 \cdot 7.629,12}{1 - [0,13 + 0,03]}$$

$$P = 13.623,42 \text{ [\$us]}$$

Finalmente, el impuesto total a pagar es:

$$I = 0,16 \cdot 13.623,42$$

$$I = 2.179,74 \text{ [\$us]}$$

Tabla 18. Resumen de costos para el precio de venta.

N°	DETALLE	TOTAL [\$us]
1	Costo total del Proyecto	7.629,12
2	Margen de utilidad (50% sobre el costo neto)	3.814,56
3	I.V.A. (13% sobre el precio de venta)	1.771,04
4	I.T. (3% sobre el precio de venta)	408,70
TOTAL (Precio de venta con factura)		13.623,42

Fuente: Elaboración propia.



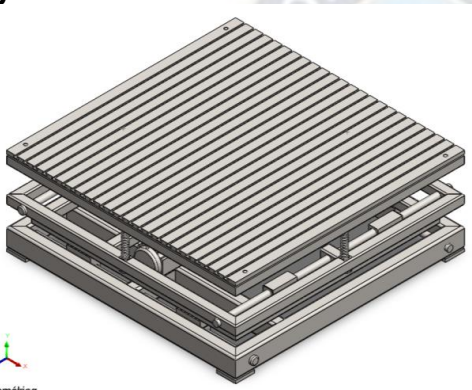
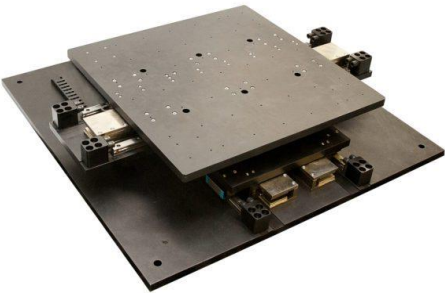
CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN

6.1. Evaluación técnica

Se realiza la siguiente comparación con un simulador comercial de la marca Quanser de características similares:

Tabla 19. Comparativa técnica con producto comercial.

Proyecto elaborado		Modelo Shake Table III XY
		
Grado de libertad	3 XYZ	2 XY
Dimensiones (L x W x H)	120 x 120 x 46 [cm]	106,7 x 106,4 x 20,3 [cm]
Peso simulador	200 [kg] incluye panel de control	550 [kg] incluye panel de control
Aceleración máxima con 100 [kg] de carga útil	0.4 [G]	1.0 [G]
Velocidad máxima con 100 [kg] carga útil	0,6 [m/s]	1,2 [m/s]
Área mesa de trabajo (L x W)	120 x 120 [cm]	71,1 x 71,1 [cm]
Distancia recorrido	± 12,5 [cm] (x), ± 12,5 [cm] (y)	± 10,8 [cm] (x), ± 10,8 [cm] (y)
Tiempo de fabricación	1 mes	8 meses

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Evaluación económica

Se realiza la comparación con un simulador comercial de la empresa Quanser:

Tabla 20. Comparativa económica con producto comercial.

Proyecto elaborado		Modelo Shake Table III XY
 <p data-bbox="339 965 421 1061">*Isométrica</p>	<p data-bbox="635 1106 863 1144">13.623,42 [\$us]</p>	 <p data-bbox="1011 1106 1272 1144">150.000,00 [\$us]</p>

Fuente: Elaboración propia.

El precio del simulador planteado en este proyecto es mucho menor al simulador de Quanser modelo Shake Table III XY de características similares que tiene un precio de 150.000,00 [\$us] y que lo fabrica a pedido con un tiempo de manufactura de 8 meses.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Se logró diseñar un simulador sísmico orientado a la capacitación en gestión de riesgo en caso de terremotos para la institución Observatorio San Calixto, que servirá como medio de apoyo para los talleres de capacitación en colegios, instituciones públicas/privadas y población en situación de riesgo, para lo cual:

- Se eligió el mecanismo biela manivela por ser la mejor alternativa en relación al precio y la ventaja en la programación del código.
- Los parámetros de diseño en primera instancia están sujetos a los requerimientos de la empresa y al comportamiento sísmico, donde se estableció la importancia de las ondas superficiales y que el movimiento en el eje z es imperceptible.
- En el diseño mecánico se optó por perfiles estructurales de acero. El desarrollo de circuito de control está diseñado para que sea amigable con el usuario de modo que cualquier persona pueda manipularlo con facilidad.
- La construcción del prototipo simulador sísmico se realizó con materiales encontrados en el mercado nacional.
- La validación del diseño se realizó mediante la simulación en el programa SolidWorks obteniendo una intensidad sísmica máxima de 10 [MM] y el funcionamiento de un prototipo a escala llegando a verificar las ondas generadas y sus intensidades sísmicas.
- El simulador sísmico del presente proyecto tiene un precio de 13.623,42[\$us] que es mucho menor al precio de un simulador comercial que tiene un valor de 150.000,00 [\$us].

7.2. Recomendaciones

De las experiencias abordadas en este proyecto existen ciertos puntos que pueden ser sujeto a mejora:

Para la construcción se sugiere utilizar equipos de alineación como ser laser, para que los ejes y rodamientos tengan un rozamiento mínimo y puedan deslizarse suavemente.

Para una mayor visualización en la pantalla de control se recomienda una pantalla de mayor dimensión y resolución.

Se recomienda sensores de mayor precisión para un posicionamiento óptimo de los bloques deslizantes.

Para el funcionamiento en altas velocidades, se recomienda sujetar la plataforma 1 que está en contacto con el suelo a un soporte fijo, para asegurar su inmovilidad.

Se puede reducir costos al eliminar la opción en el panel de control (señal sísmica), y reemplazar por motores ac y variadores de frecuencia ahorrando unos 1000 [\$us] aproximadamente.

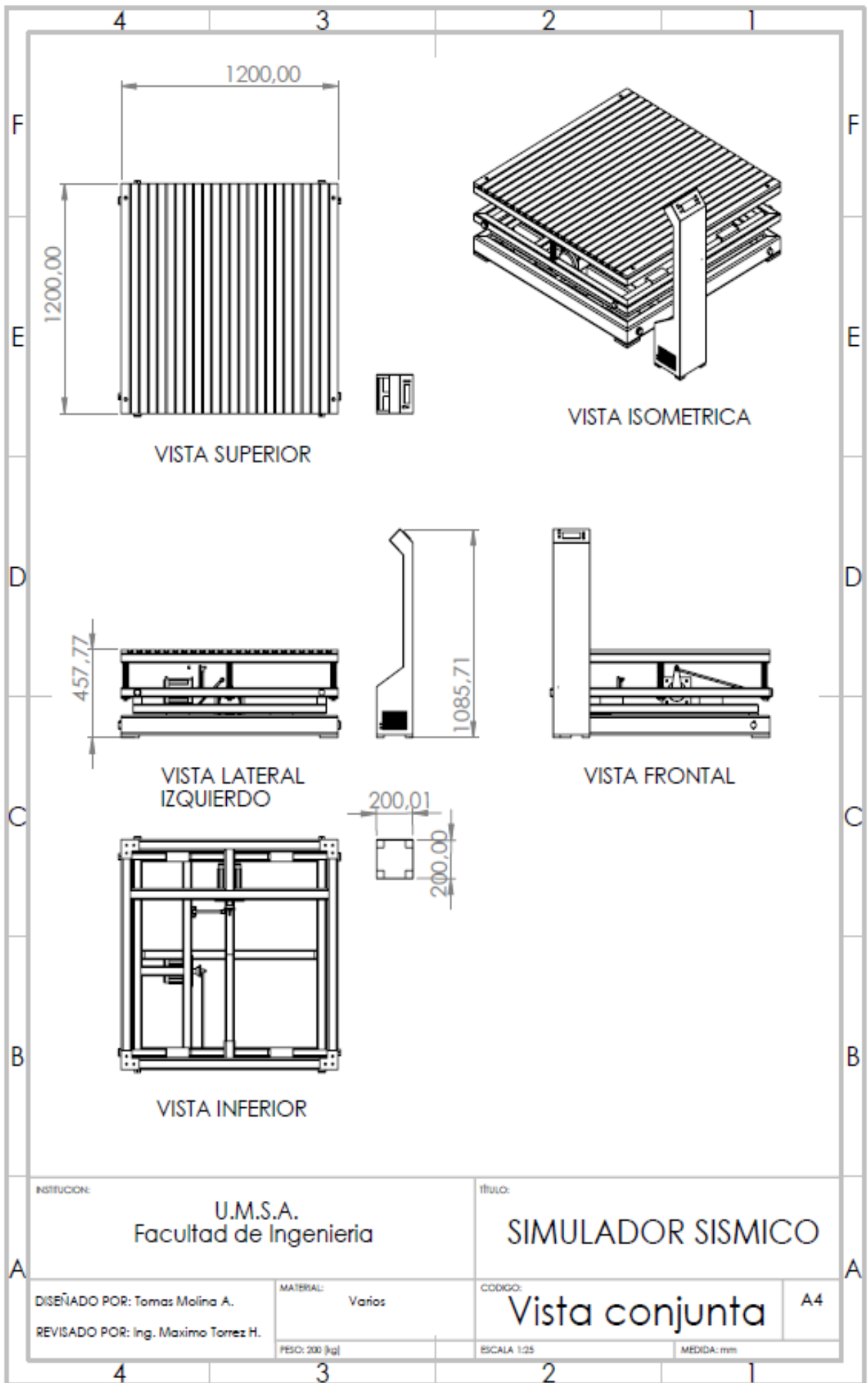
BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

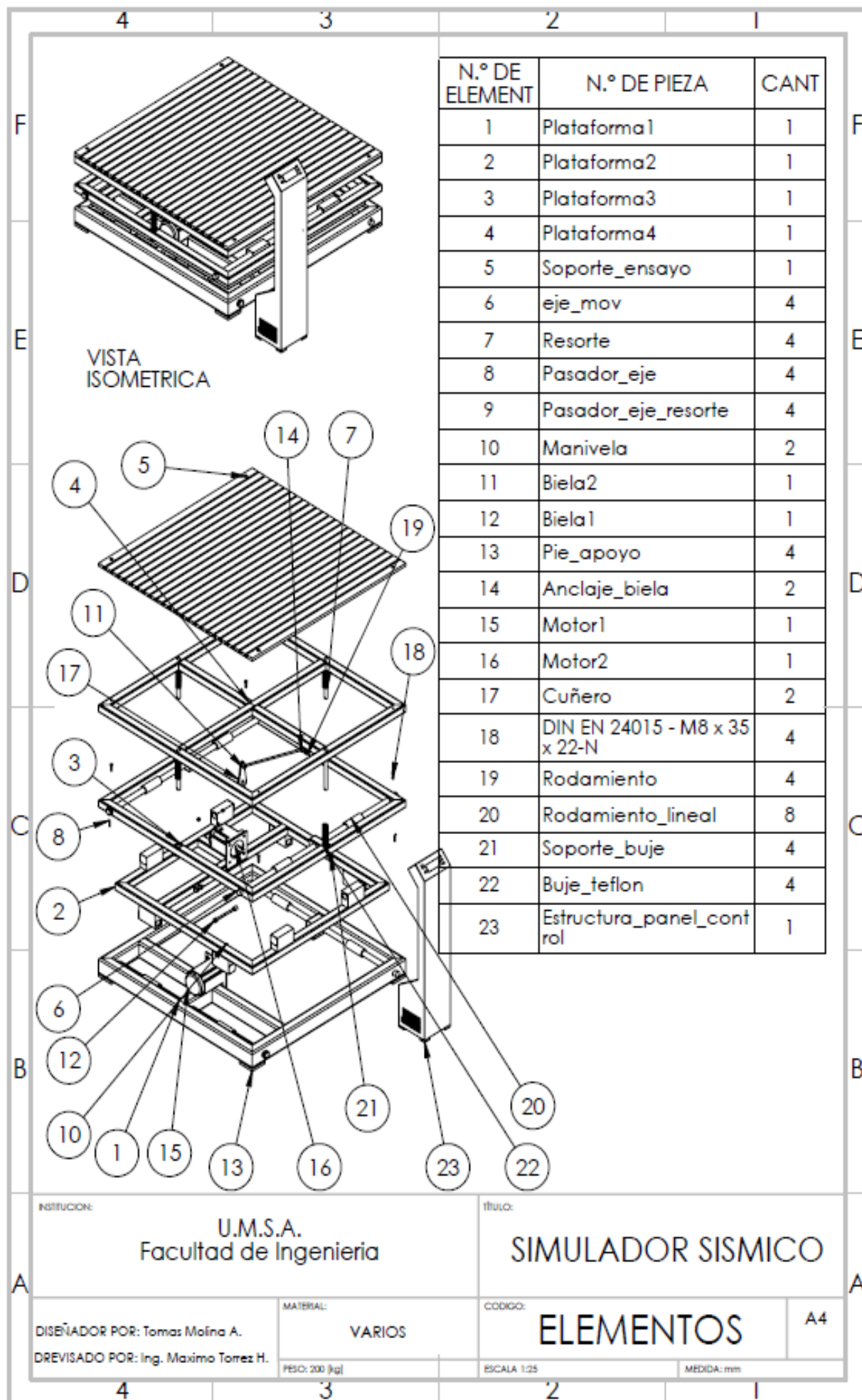
- Apuntes MareaVerde. (2023). Tuerca-husillo. Recuperado de: <https://www.apuntesmareaverde.org.es/grupos/tec/lomce/2eso/mecanismos/husillo/husillo.html>
- Ayllón, D. (2017). Implementación de Mesa Vibradora Unidireccional para Simulación Sísmica y Experimentación con Modelos Reducidos. Tacna: Tesis de Maestría, Universidad Privada de Tacna.
- Bacon, R.(1942). The motion of a piston Recuperado de: http://www.sc.edu/es/sbweb/ocw-fisica/oscilaciones/no_lineales/biela/biela.xhtml
- Beck, S. L., Zandt, G., Myers, S. C., Wallace, T. C., Silver, P. G., & Drake, L. (1996). Crustal-thickness variations in the central Andes. *Geology*, 24(5), 407-410.
- BENDER. (2015). Cortadora Digital. Cortadora para Elaborar Muestras Diemakingmachine. Recuperado de: <http://diemakingmachine.com.ar/4-digital-cutter.html>
- Clavijo, J., & Ramirez, L. (2011). Diseño, Modelamiento y Simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Bucaramanga: Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander.
- GBDS. (2020). Guía Boliviana de Diseño Sísmico. La Paz: Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda. Recuperado el 21 de Junio de 2022, de https://www.uajms.edu.bo/relinter/wp-content/uploads/2020/10/SISMICO_2020.pdf
- Ingeniería Mecafenix. (2018). Ingeniería mecafenix. Ingeniería Mecafenix. Recuperado de: <https://www.ingmecafenix.com/>
- IRIS (2023). ¿Cómo Trabaja un Sismógrafo?. Incorporated Research Institutions for Seismology. Recuperado de: <https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/493>
- KEYENCE. (2023). ¿Qué es un sensor ultrasónico?. Fundamentos del sensor: Guía de sensores para fábricas clasificados por principios. Recuperado de: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/#:~:text=Como%20su%20nombre%20lo%20indica,la%20emisi%C3%B3n%20y%20la%20recepti%C3%B3n>.
- LATAM (2020). Motor paso a paso. Mecatrónica LATAM; Mecatrónica Recuperado de: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/motor-paso-a-paso/amp>
- Lozano, P. (2013). Diseño de un Simulador Sísmico. Almería: Trabajo de Grado, Universidad de Almería.
- Mario, A., & Donghyun, P. (2019). A New Assessment to Measure the Risk Levels between Natural Disasters and Socio- Economic-Political Disasters. Malasia: The University of Nottingham.
- Michigan Tech. (2023). Seismic Waves. Michigan Technological University. Recuperado de: <https://www.mtu.edu/geo/community/seismology/learn/seismology-study/surface-wave/>
- Microcontroladores PIC. (2020). Todo Sobre Microcontroladores. Recuperado de: <https://microcontroladores.com/pic/>
- Mecafe, F. (2017). Motor paso a paso ¿que es y como funciona? Mexico.

- Mendoza, E. (2016). Inteligencia artificial. España.
- Morales, J. (2017). Diseño, prototipaje y caracterización de una mesa sísmica de 1 grado de libertad a escala. Valladolid: Trabajo de Grado, Universidad de Valladolid.
- OSC (2004). Memoria explicativa. La Paz, Bolivia. Fundación privada de Fieles Observatorio San Calixto.
- OSC (2022). Red Sismológica del Observatorio San Calixto (RS-OSC). Fundación privada de Fieles Observatorio San Calixto. Recuperado de: <https://www.osc.org.bo/index.php/es/observatorio/estaciones>
- OSC (2022). BOLETÍN SÍSMICO INFORMATIVO AGOSTO. PROYECTO EDUCATIVO “EDUCIENTISTAS”. Fundación privada de Fieles Observatorio San Calixto. Recuperado de: <https://www.osc.org.bo/index.php/es/observatorio/estaciones>
- Pablo, E. (2012). Mecanismo Biela Manivela Corredera parte 2 [YouTube Video]. In YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IPT7hIAsgN4>
- Ponce, B. (2020). Diseño de Sistema de alerta temprana complementaria para prevención de desastres. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- PSHBO. (2019). Mapa probabilístico de amenaza sísmica. La Paz: Fundación Privada de Fieles Observatorio San Calixto. Recuperado el 30 de Mayo de 2022, de <https://www.osc.org.bo/index.php/es/sismicidad/mapa-amenaza>
- Rives, D. (2018). Diseño de una Mesa Sísmica a escala. Valparaíso: Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Sallo, J. (2020). Diseño de máquinas. Universidad católica Santa María.
- Sarria, A. (1995). Ingeniería sísmica. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes y Ecoe Ediciones.
- Sejas, M. (2017). Implementación de un prototipo de grabado de placas impresas pcb con software y hardware libre. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Soares, M. (2023). MICROCONTROLADORES PIC - TEORIA E PRÁTICA - PIC16F84. Arnerobotics. Recuperado de: <http://arnerobotics.com.br/>
- Quanser (2022). Shake Table. Quanser innovate educate. Recuperado de: (Lozano, 2013)<https://www.quanser.com/products/shake-table-ii/>

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS





INSTITUCION:

U.M.S.A.
Facultad de Ingenieria

Titulo:

SIMULADOR SISMICO

DISEÑADOR POR: Tomas Molina A.

MATERIAL:

VARIOS

CODIGO:

ELEMENTOS

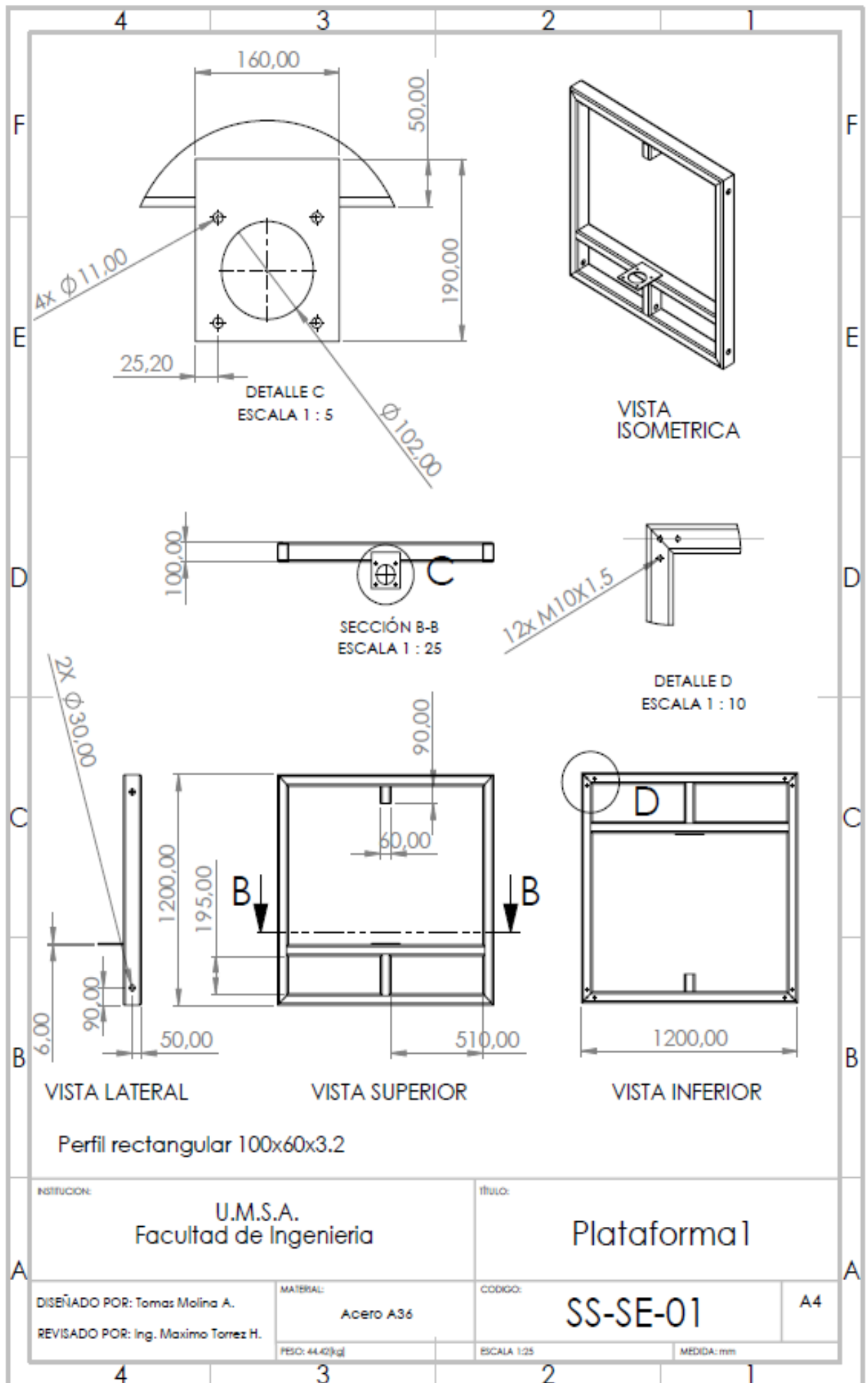
A4

DREVISADO POR: Ing. Maximo Torres H.

PESO: 200 [kg]

ESCALA 1:25

MEDIDA: mm



INSTITUCION:

U.M.S.A.
Facultad de Ingenieria

TITULO:

Plataforma 1

DISEÑADO POR: Tomas Molina A.

MATERIAL:

Acero A36

CODIGO:

SS-SE-01

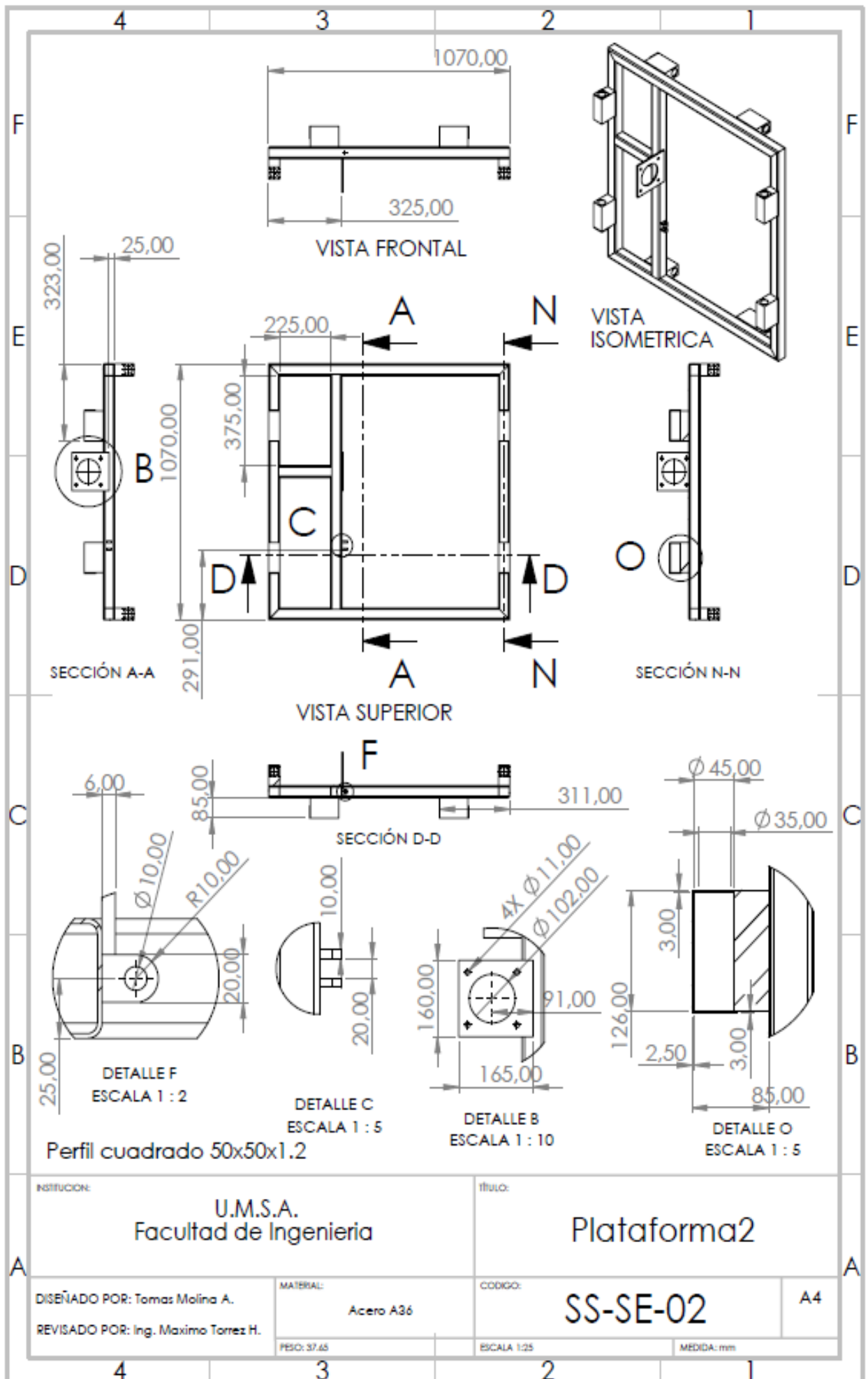
A4

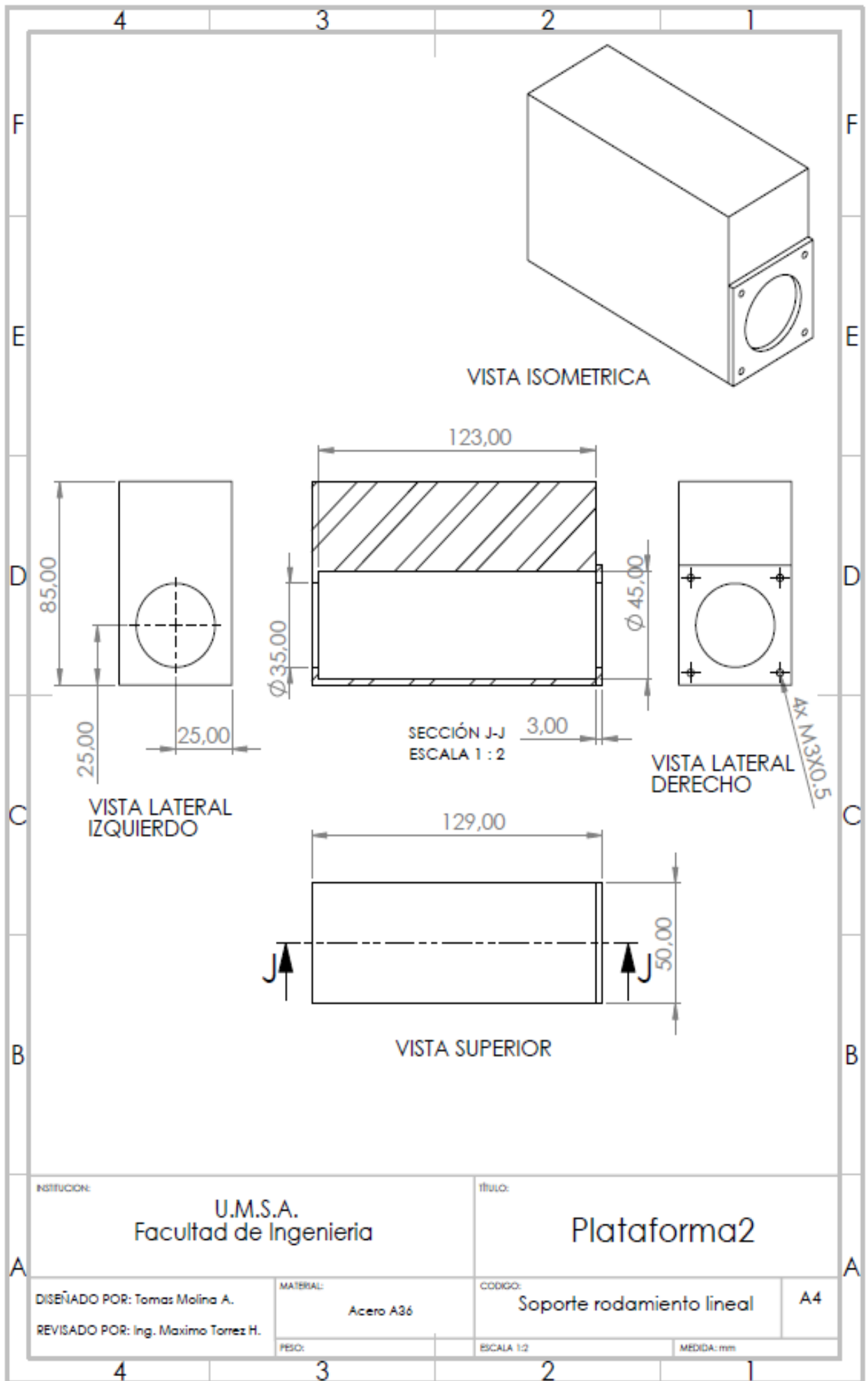
REVISADO POR: Ing. Maximo Torrez H.

PESO: 44,42(kg)

ESCALA 1:25

MEDIDA: mm





INSTITUCION: U.M.S.A.
Facultad de Ingenieria

TITULO: Plataforma2

DISEÑADO POR: Tomas Molina A.
REVISADO POR: Ing. Maximo Torrez H.

MATERIAL: Acero A36

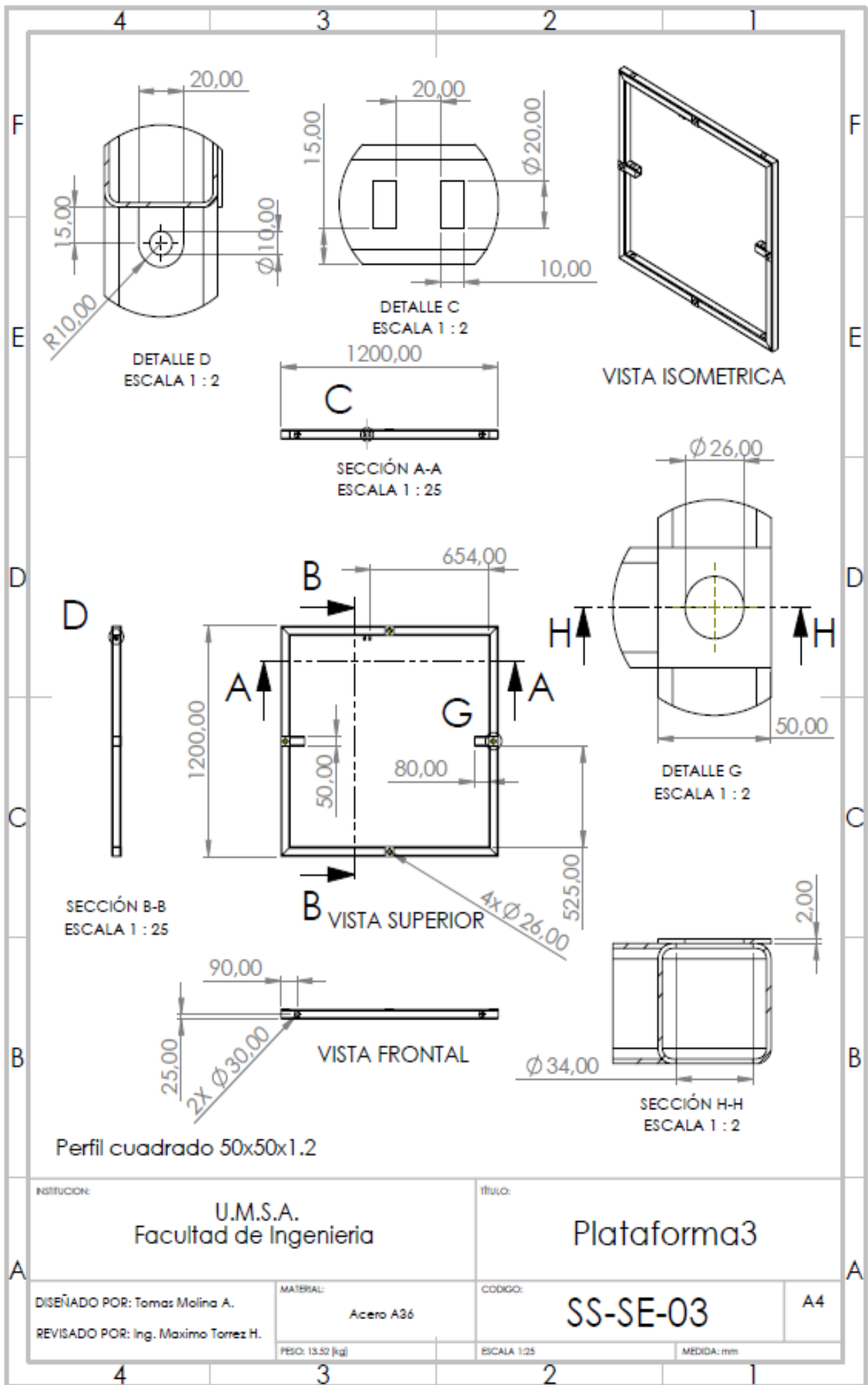
CODIGO: Soporte rodamiento lineal

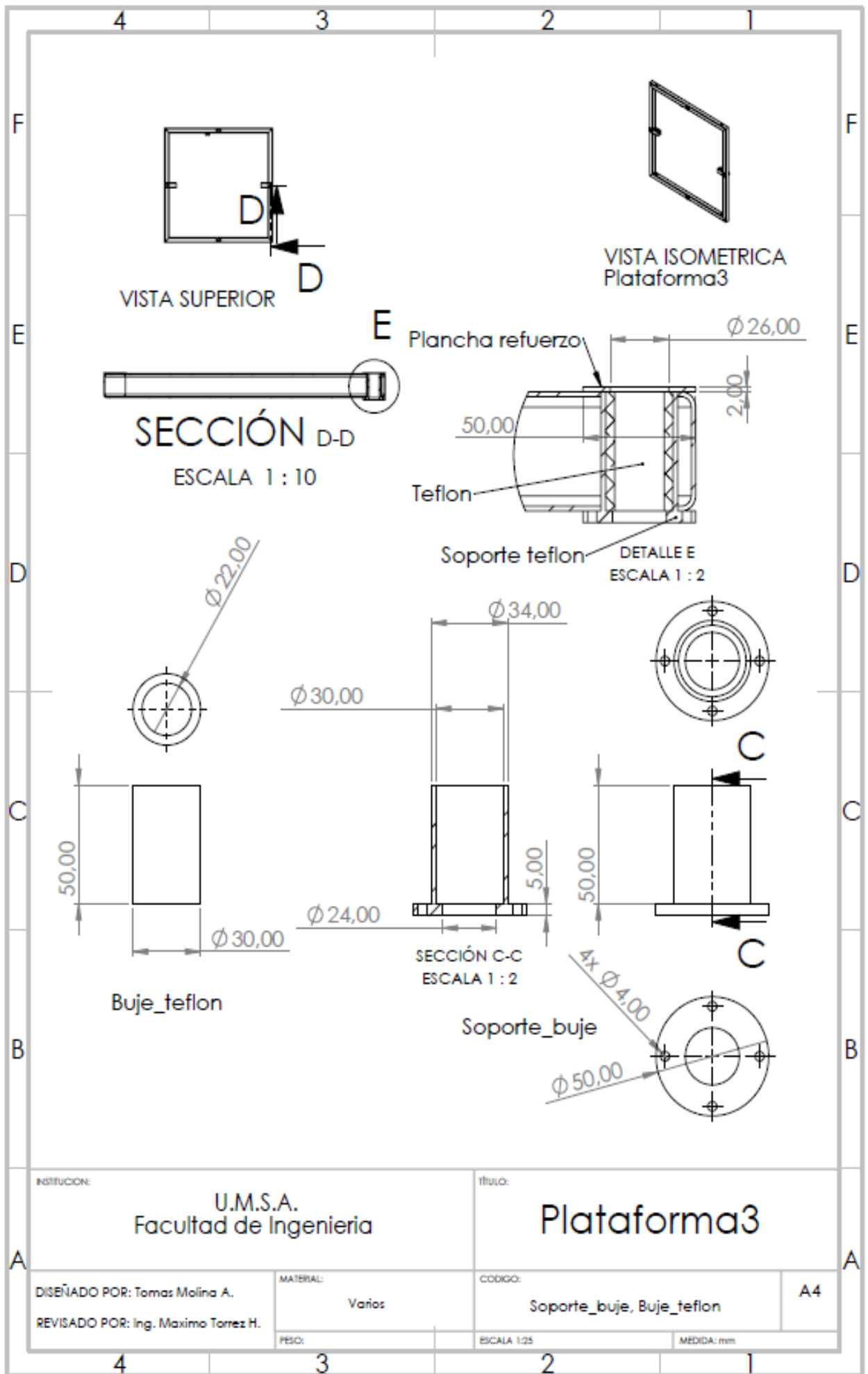
A4

PESO:

ESCALA 1:2

MEDIDA: mm





INSTITUCION:
U.M.S.A.
 Facultad de Ingenieria

TITULO:
Plataforma3

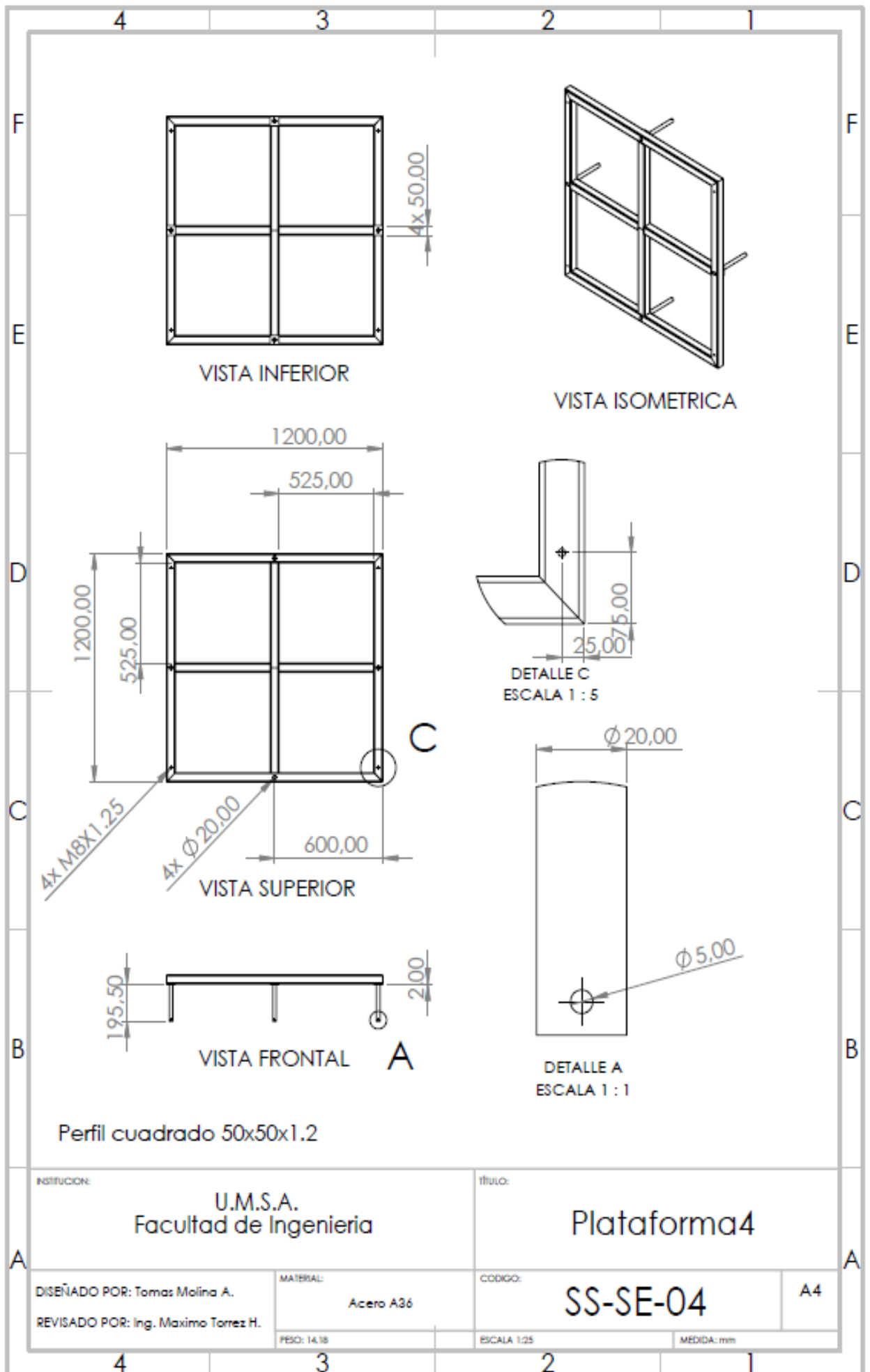
DISEÑADO POR: Tomas Molina A.
 REVISADO POR: Ing. Maximo Torrez H.

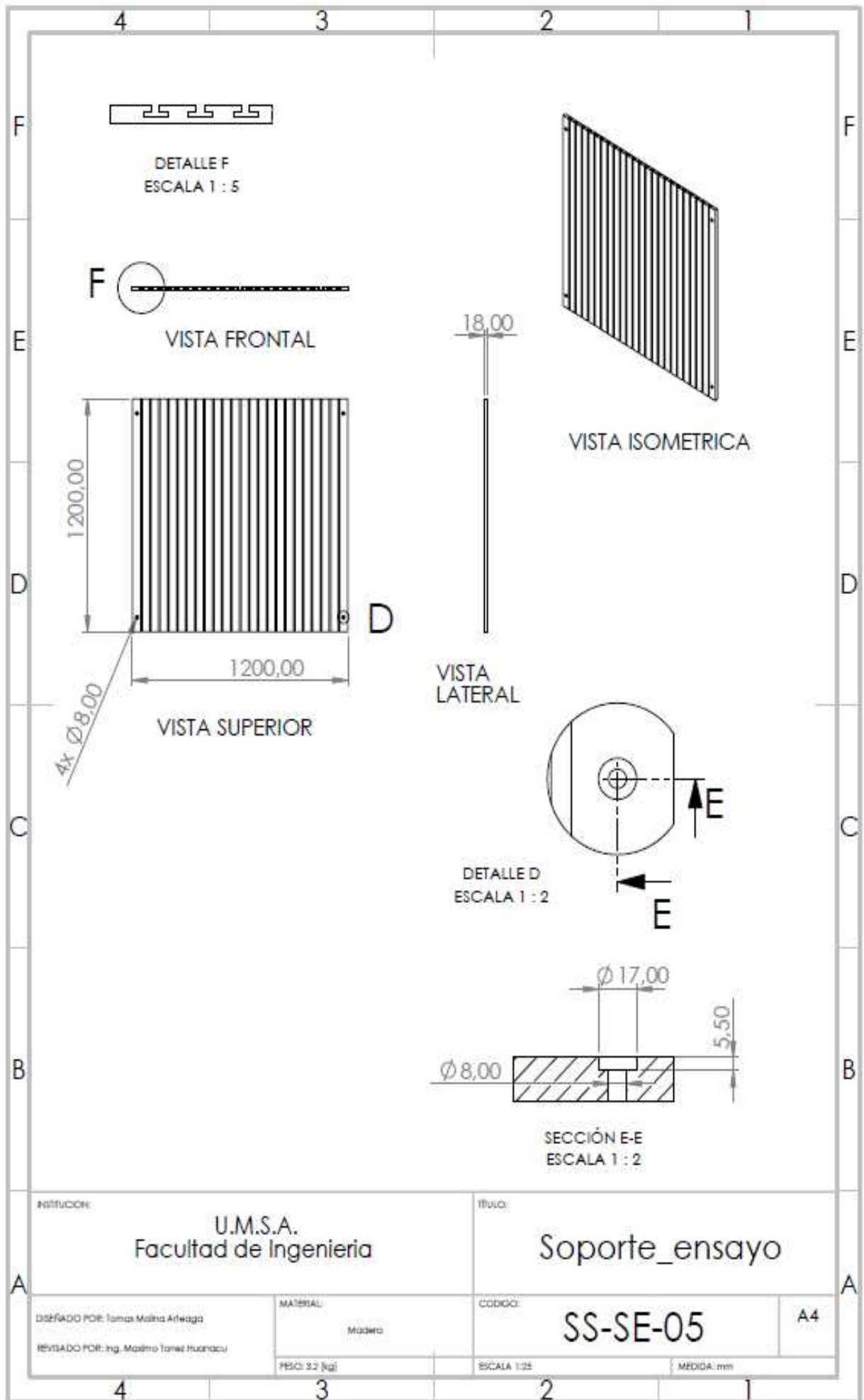
MATERIAL:
 Varios

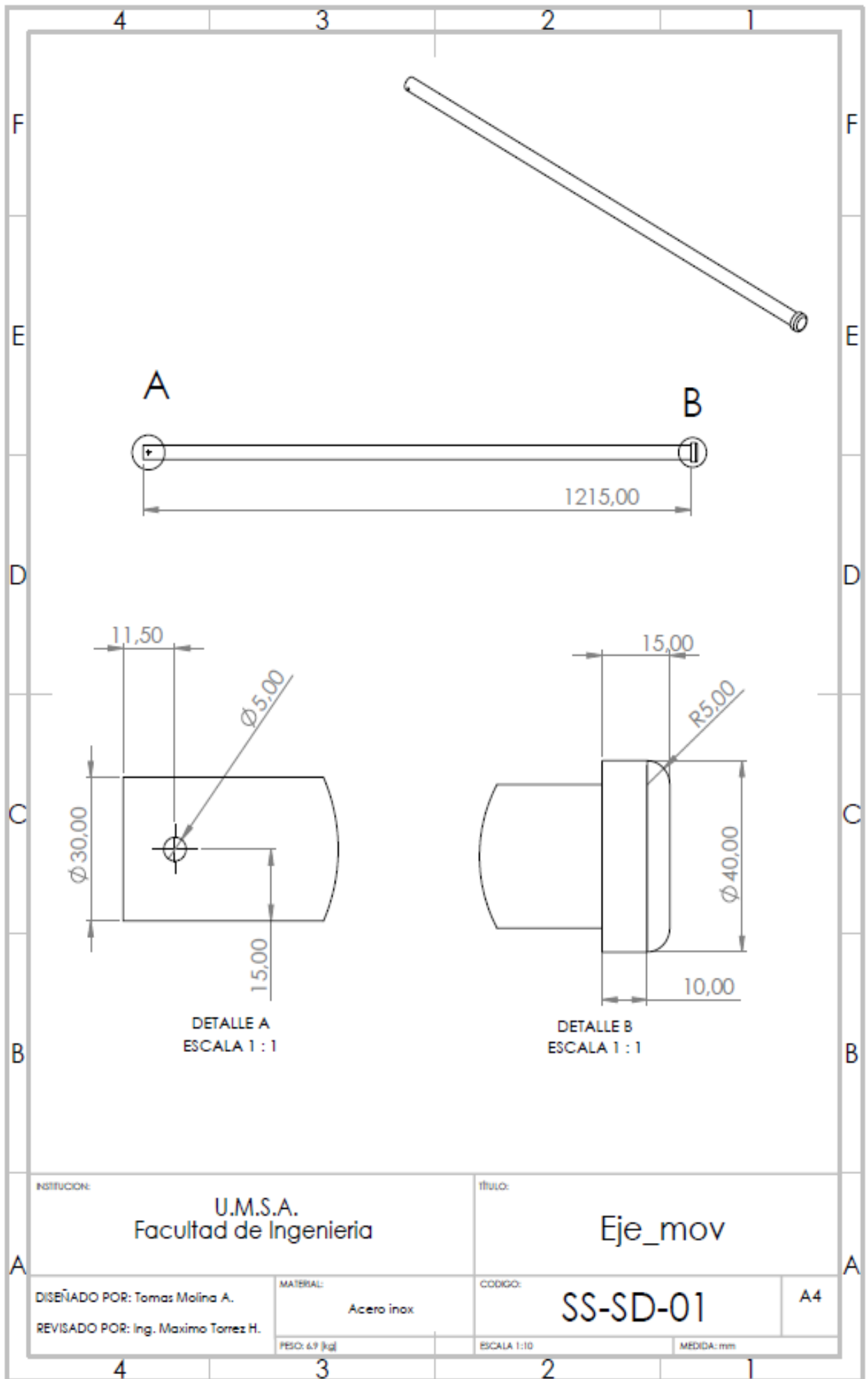
CODIGO:
 Soporte_buje, Buje_teflon

A4

PISO: ESCALA 1:25 MEDIDA: mm







INSTITUCION:
U.M.S.A.
 Facultad de Ingenieria

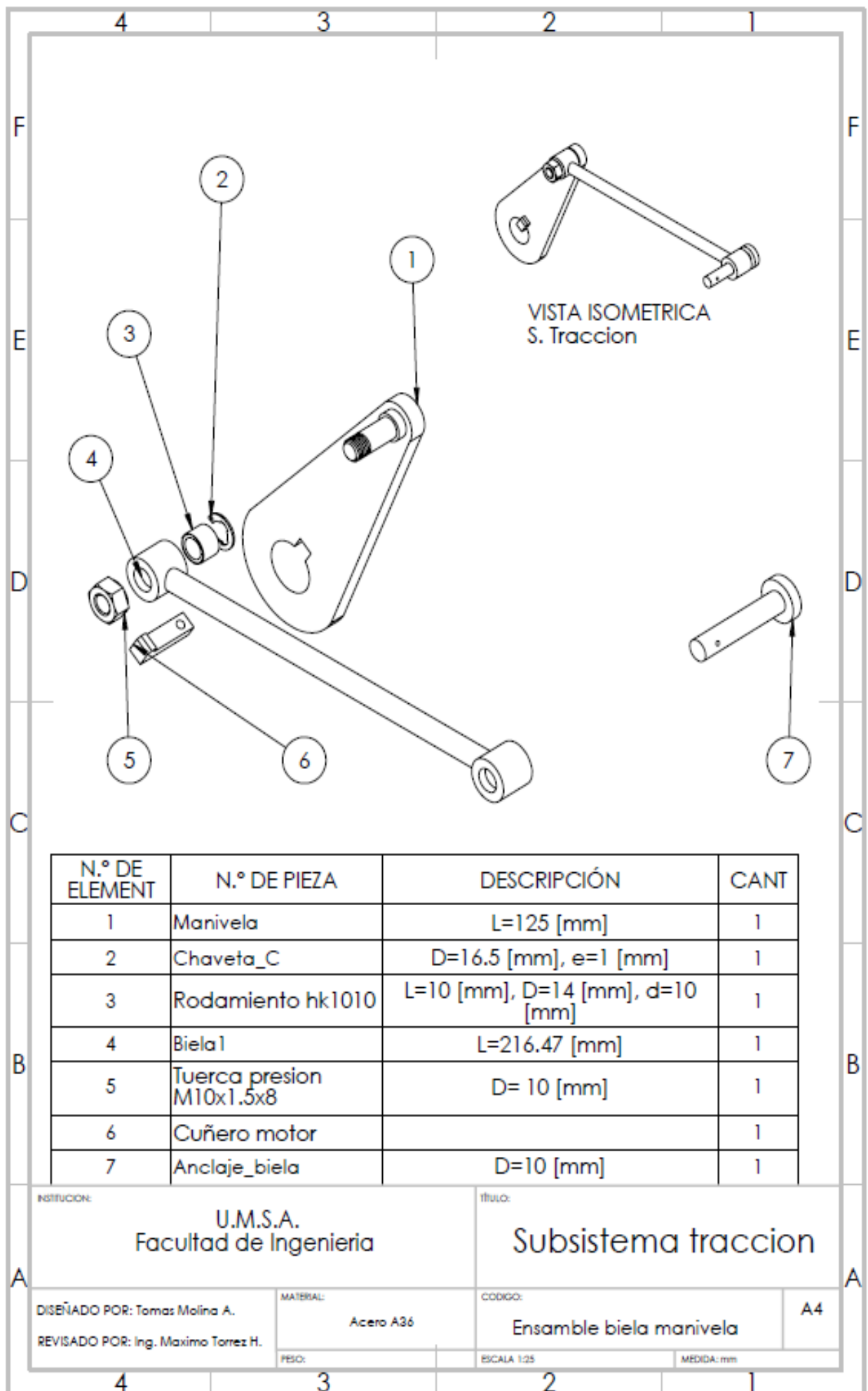
Titulo:
Eje_mov

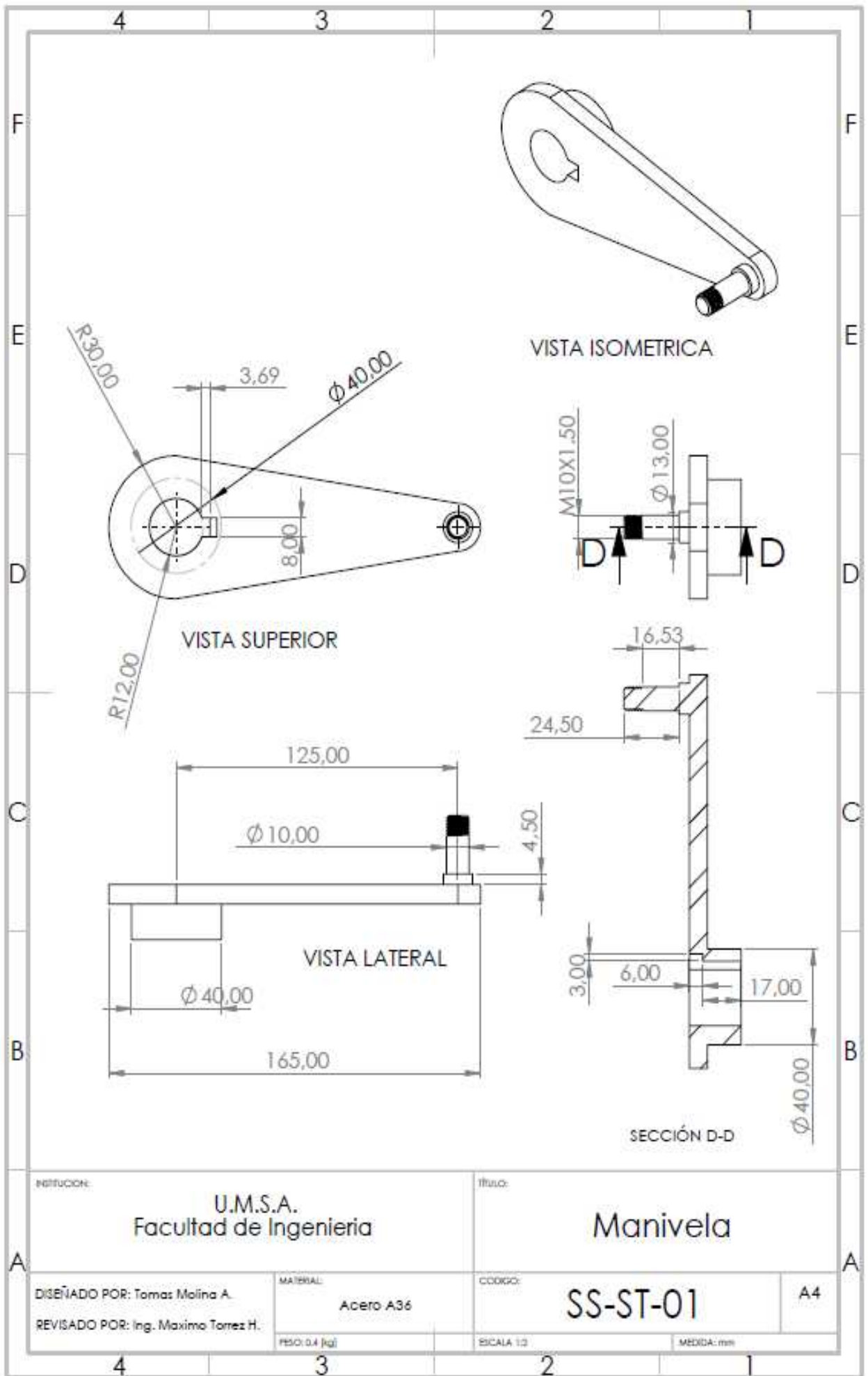
DISEÑADO POR: Tomas Molina A.
 REVISADO POR: Ing. Maximo Torrez H.

MATERIAL:
Acero inox
 PESO: 6,9 (kg)

CODIGO:
SS-SD-01
 ESCALA 1:10

A4
 MEDIDA: mm





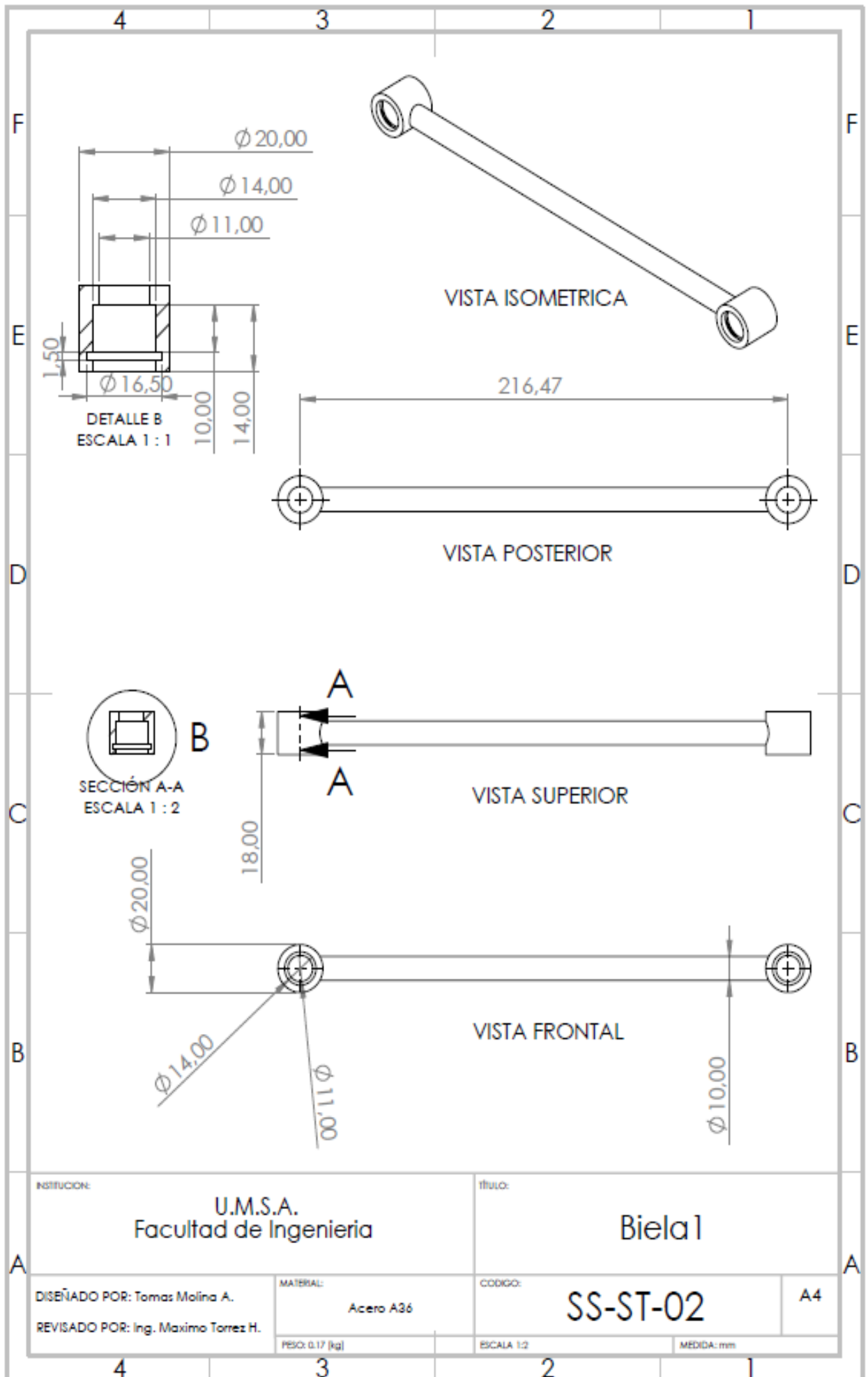
INSTITUCION:
U.M.S.A.
 Facultad de Ingenieria

TITULO:
Manivela

DISEÑADO POR: Tomas Molina A.
 REVISADO POR: Ing. Maximo Torrez H.

MATERIAL:
Acero A36
 PESO: 0.4 [kg]

COIGO:
SS-ST-01
 A4
 ESCALA: 1:2
 MEDIDA: mm



INSTITUCION: **U.M.S.A. Facultad de Ingenieria**

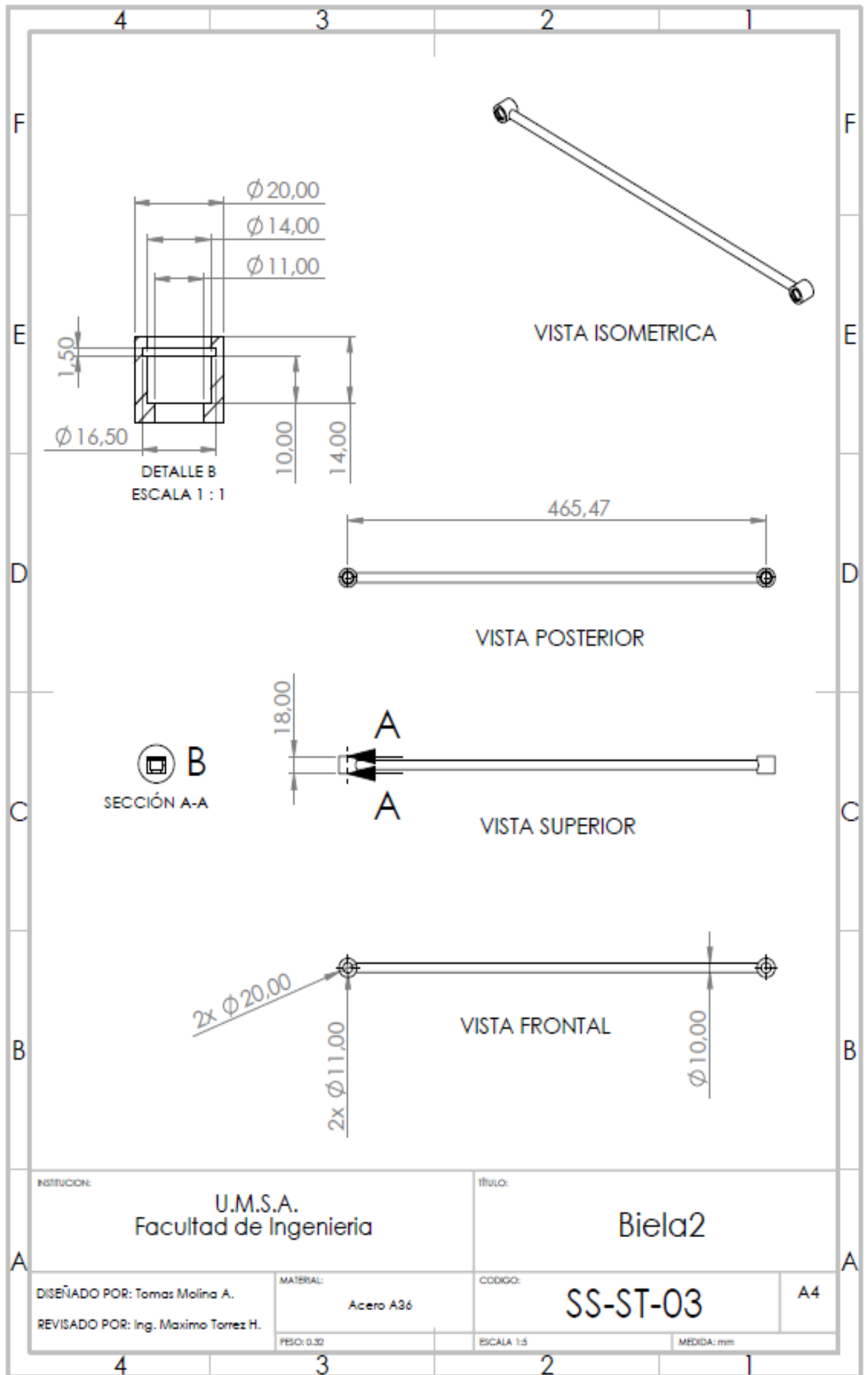
TITULO: **Biela 1**

DISEÑADO POR: Tomas Molina A.
 REVISADO POR: Ing. Maximo Torres H.

MATERIAL: **Acero A36**
 PESO: 0,17 [kg]

CODIGO: **SS-ST-02**
 ESCALA: 1:2

A4
 MEDIDA: mm



INSTITUCION:

U.M.S.A.
Facultad de Ingenieria

TITULO:

Biela2

DISEÑADO POR: Tomas Molina A.

MATERIAL:

Acero A36

CODIGO:

SS-ST-03

A4

REVISADO POR: Ing. Maximo Torrez H.

PESO: 0.32

ESCALA 1:5

MEDIDA: mm

ANEXO B: PROGRAMA EN C

Elaboración propia

```
#include <18f4550.h>
#USE DELAY(clock=4M)
#FUSES HS,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,PUT,NOLVP
#use standard_io(A)
#use standard_io(B)
#use standard_io(C)
#use standard_io(D)

int32 fosc = 4000000;

#define UP PIN_A2 //pulsador arriba
#define DOWN PIN_A0 //pulsador abajo
#define ENTER PIN_A1 //pulsador elegir

#define P_TRIG1 PIN_B2 //sensor1
#define P_ECHO1 PIN_B3 //sensor1
#define P_TRIG2 PIN_B4 //sensor2
#define P_ECHO2 PIN_B5 //sensor2

#define DIR_M1 PIN_D0 //motor1
#define DIR_M2 PIN_D3 //motor2

#define ENAB_M1 PIN_D1 //Bloqueo driver1
#define ENAB_M2 PIN_D2 //Bloqueo driver2

#use i2c(Master,Fast=400000, sda=PIN_B0, scl=PIN_B1,force_sw)
#include "i2c_Flex_LCD.c"

#include <HCSR04_1.c>
#include <HCSR04_2.c>
float distancia1 = 0; //distancia de sensado sensor1
float distancia2 = 0; //distancia de sensado sensor2

int cent=10;//centrear bloque
float desplazamiento1_motor1=10; //distancia de sensado inicial modo sismica
float desplazamiento2_motor1=10.5;

int1 x=1; //valor modo sismica
int1 value=1;//valor modo sismica
int1 bandera=0;//valor modo sismica
int contador=1;//valor modo sismica
int valor [13]={1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 3, 2, 2, 1, 1 }; //valor variar magnitud
int A=1,B=1;

void mov_motor1(float desplazam1,float desplazam2,float dist1);
void mov_motor2(float desplazam3,float desplazam4,float dist2);
void rpm_motor(int frec);

void antireboteUP(void) //Función Anti Rebote
{
    while(UP==0)
    {}
    delay_ms(50);
    return; //Retorna al programa principal.
}
```

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTROMECAÁNICA

```

void antireboteENTER(void) //Función Anti Rebote
{
    while(ENTER==0)
    {}
    delay_ms(50);
    return; //Retorna al programa principal.
}

void antireboteDOWN(void) //Función Anti Rebote
{
    while(DOWN==0)
    {}
    delay_ms(50);
    return; //Retorna al programa principal.
}

void main() {
    HCSR04_1_init();
    HCSR04_2_init();
    lcd_init(0x4E,20,4);
    lcd_backlight_led(On); //Enciende la luz de Fondo LCD

    set_tris_A(0xFF);
    set_tris_C(0x00);
    output_C(0x00); // define el sentido del motor inicialmente

    setup_ccp1(CCP_PWM); // habilitamos el puerto ccp1
    setup_ccp2(CCP_PWM); // habilitamos el puerto ccp2
    int frec_pwm=0;

    printf(lcd_putc, "\fSIMULADOR SISMICO");
    printf(lcd_putc, "\n V1.0 ");
    printf(lcd_putc, "\n osc.org.bo ");
    printf(lcd_putc, "\nCARGANDO... ");
    delay_ms(300);

    do{
        menu1: //saltar aqui
        set_pwm1_duty ((int)0);
        set_pwm2_duty ((int)0);
        output_high(ENAB_M1);
        output_high(ENAB_M2);
        if(A>3)
        {
            A=1;
        }
        if(A<=0)
        {
            A=3;
        }
        if(A==1)
        {
            printf(lcd_putc, "\fSELECCIONE: ");
            printf(lcd_putc, "\n-SENAL SENOIDAL <=");
            printf(lcd_putc, "\n-SENAL SISMICA");
            printf(lcd_putc, "\n-AUTOAJUSTE");
            delay_ms(100);
            while (true)
            {
                if(!input(UP)==0)
                {
                    antireboteUP();
                    A--;
                    goto menu1;
                }
            }
        }
    }
}

```

```
}
if(!input(DOWN)==0)
{
antireboteDOWN();
A++;
goto menu1;
}
if(!input(ENTER)==0)
{
antireboteENTER();
while(true){
if(!input(UP)==0)
{
antireboteUP();
B--;
}
if(!input(DOWN)==0)
{
antireboteDOWN();
B++;
}

menu_seno:
set_pwm1_duty ((int)0);
set_pwm2_duty ((int)0);
output_high(ENAB_M1);
output_high(ENAB_M2);
if(B>4)
{
B=1;
}
if(B<=0)
{
B=4;
}
if(B==1)
{
printf(lcd_putc, "\f-ATRAS <=");
printf(lcd_putc, "\n-BAJA");
printf(lcd_putc, "\n-MEDIA");
printf(lcd_putc, "\n-ALTA");
delay_ms(100);
while (true)
{
if(!input(UP)==0)
{
antireboteUP();
B--;
goto menu_seno;
}
if(!input(DOWN)==0)
{
antireboteDOWN();
B++;
goto menu_seno;
}
if(!input(ENTER)==0)
{
antireboteENTER();
goto menu1;
}
}
}
}
```



```

if(B==2)
{
    printf(lcd_putc, "\f-ATRAS");
    printf(lcd_putc, "\n-BAJA <=");
    printf(lcd_putc, "\n-MEDIA");
    printf(lcd_putc, "\n-ALTA");
    delay_ms(100);
    set_pwm1_duty ((int)0);
    set_pwm2_duty ((int)0);
    while (true)
    {
        if(!input(UP)==0)
        {
            antireboteUP();
            B--;
            goto menu_seno;
        }
        if(!input(DOWN)==0)
        {
            antireboteDOWN();
            B++;
            goto menu_seno;
        }
        if(!input(ENTER)==0) //----- SEÑAL SENOIDAL BAJA-----//
        {
            antireboteENTER();

            output_low(ENAB_M1);
            output_low(ENAB_M2);

            while (true)
            {
                frec_pwm=0;
                rpm_motor(frec_pwm);
                delay_ms(300);
                frec_pwm=1;
                rpm_motor(frec_pwm);
                // *Se detiene, si se presionar UP o DOWN*//
                if(!input(UP)==0)
                {
                    antireboteUP();
                    B--;
                    goto menu_seno;
                }
                if(!input(DOWN)==0)
                {
                    antireboteDOWN();
                    B++;
                    goto menu_seno;
                }
            }
        }
    }
}

if(B==3)
{
    printf(lcd_putc, "\f-ATRAS");
    printf(lcd_putc, "\n-BAJA");
    printf(lcd_putc, "\n-MEDIA <=");
    printf(lcd_putc, "\n-ALTA");
}

```

```

delay_ms(100);
set_pwm1_duty ((int)0);
set_pwm2_duty ((int)0);
while (true)
{
    if(!input(UP)==0)
    {
        antireboteUP();
        B--;
        goto menu_seno;
    }
    if(!input(DOWN)==0)
    {
        antireboteDOWN();
        B++;
        goto menu_seno;
    }
    if(!input(ENTER)==0) //----- SEÑAL SENOIDAL MEDIA-----//
    {
        antireboteENTER();

        output_low(ENAB_M1);
        output_low(ENAB_M2);

        frec_pwm=0;
        rpm_motor(frec_pwm);
        delay_ms(100);
        frec_pwm=1;
        rpm_motor(frec_pwm);
        delay_ms(200);
        while (true)
        {
            frec_pwm=2;
            rpm_motor(frec_pwm);
            // *Se detiene, si se presionar UP o DOWN*//
            if(!input(UP)==0)
            {
                antireboteUP();
                B--;
                goto menu_seno;
            }
            if(!input(DOWN)==0)
            {
                antireboteDOWN();
                B++;
                goto menu_seno;
            }
        }
    }
}

if(B==4)
{
    printf(lcd_putc, "\f-ATRAS");
    printf(lcd_putc, "\n-BAJA");
    printf(lcd_putc, "\n-MEDIA");
    printf(lcd_putc, "\n-ALTA <=");
    delay_ms(100);
    set_pwm1_duty ((int)0);
    set_pwm2_duty ((int)0);
    while (true)
    {

```



```
set_pwm1_duty ((int)0);
set_pwm2_duty ((int)0);
while (true)
{
    if(!input(UP)==0)
    {
        antireboteUP();
        A--;
        goto menu1;
    }

    if(!input(DOWN)==0)
    {
        antireboteDOWN();
        A++;
        goto menu1;
    }

    if(!input(ENTER)==0) //----- SEÑAL SISMICA-----//
    {
        antireboteENTER();
        output_low(ENAB_M1);
        output_low(ENAB_M2);

        frec_pwm=1;
        rpm_motor(frec_pwm);
        while (true)
        {

            distancia1 = HCSR04_1_get_distance1();
            distancia2 = HCSR04_2_get_distance2();

            // ***Esta funcion evita conteo mientras esta en extremo**-----
            value = x;
            if(value && !bandera){
                bandera=1;

                if(contador >= 13)
                {
                    contador = 1;
                    delay_ms(500);
                    goto menu1;
                }
                desplazamiento1_motor1= cent-valor[contador];
                desplazamiento2_motor1= cent+valor[contador];

                contador ++;

            }

            mov_motor1(desplazamiento1_motor1, desplazamiento2_motor1, distancia1);
            mov_motor2(desplazamiento1_motor1, desplazamiento2_motor1, distancia2);

            if(!value && bandera)
            {
                bandera = 0;

            }
            // *Se detiene, si se presionar UP o DOWN*//
            if(!input(UP)==0)
            {
                antireboteUP();
                contador = 0;
            }
        }
    }
}
```

```

        A--;
        goto menu1;
    }
    if(!input(DOWN)==0)
    {
        antireboteDOWN();
        contador = 0;
        A++;
        goto menu1;
    }
}
}
}
}

/////////autoajuste
if(A==3)
{
    printf(lcd_putc, "\fSELECCIONE: ");
    printf(lcd_putc, "\n-SENAL SENOIDAL");
    printf(lcd_putc, "\n-SENAL SISMICA");
    printf(lcd_putc, "\n-AUTOAJUSTE<=");
    delay_ms(100);
    set_pwm1_duty ((int)0);
    set_pwm2_duty ((int)0);
    while (true)
    {
        if(!input(UP)==0)
        {
            antireboteUP();
            A--;
            goto menu1;
        }
        if(!input(DOWN)==0)
        {
            antireboteDOWN();
            A++;
            goto menu1;
        }
        if(!input(ENTER)==0)
        {
            antireboteENTER();

            output_low(DIR_M2);

            output_low(ENAB_M1);
            output_low(ENAB_M2);

            frec_pwm=1;
            rpm_motor(frec_pwm);

            desplazamiento1_motor1=8;
            desplazamiento2_motor1=12;
            while (true){
                distancia1 = HCSR04_1_get_distance1();

                mov_motor1(desplazamiento1_motor1, desplazamiento2_motor1, distancia1);

                if ((distancia1<=10.3)&(distancia1>=9.2))
                {
                    set_pwm1_duty (0);
                    while (true)
                    {

```

```
        //desplazamiento1_motor2=8;
        //desplazamiento2_motor2=12;

        distancia2 = HCSR04_2_get_distance2();
        mov_motor2(desplazamiento1_motor1, desplazamiento2_motor1, distancia2);
        //mov_motor2(desplazamiento1_motor2, desplazamiento2_motor2, distancia2);
        if ((distancia2<=10.3)&(distancia2>=9.2))
        {
            set_pwm2_duty (0);
            goto menu1;
        }
    }
}
}
}
}
}
}
}

}while(true);
}

void mov_motor1(float desplazam1,float desplazam2,float dist1)
{
    if (dist1 <=desplazam1)
    {
        delay_ms(200);
        output_low(DIR_M1);

        x=1;
    }

    if (dist1 >=desplazam2)
    {
        delay_ms(200);
        output_high(DIR_M1);
        x=0;
    }
}

void mov_motor2(float desplazam3,float desplazam4,float dist2)
{
    if (dist2 <=desplazam3)
    {
        delay_ms(200);
        output_low(DIR_M2);
        x=1;
    }
    if (dist2 >=desplazam4)
    {
        delay_ms(200);
        output_high(DIR_M2);

        x=0;
    }
}

void rpm_motor(int frec)
{
```

```
switch(frec)
{
  case 1: setup_timer_2(T2_DIV_BY_4,250,1); //Timer2 >> Pre-escaler=4, PR2=99, Post-escaler=1 5kHz.
          set_pwm1_duty(116);           //onda cuadrada
          set_pwm2_duty(116);           //onda cuadrada
          break;

  case 2: setup_timer_2(T2_DIV_BY_4,122,1); //Timer2 >> Pre-escaler=1, PR2=199, Post-escaler=1 10kHz.
          set_pwm1_duty(56);           // onda cuadrada
          set_pwm2_duty(56);           // onda cuadrada
          break;

  case 3: setup_timer_2(T2_DIV_BY_4,61,1); //Timer2 >> Pre-escaler=1, PR2=99, Post-escaler=1 20kHz.
          set_pwm1_duty(26);           // onda cuadrada
          set_pwm2_duty(26);           // onda cuadrada
          break;

  case 0: setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,127,1); //Timer2 >> Pre-escaler=1, PR2=99, Post-escaler=1 20kHz.
          set_pwm1_duty(64);           // onda cuadrada
          set_pwm2_duty(64);           // onda cuadrada
          break;

}
}
```

ANEXO C: CRONOGRAMA PARA LA CONSTRUCCIÓN SIMULADOR

#	Actividad	Días	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
1	Corte y trazado de perfiles																																
2	Maquinado de eje y piezas																																
3	Soldadura estructural																																
4	Acabado (lija y pintura)																																
5	Ensamblaje mecánico																																
6	Quemado de placa, inserción de componentes, soldadura y conexionado																																
7	Ensamblaje electrónico en el monitor de control e instalación de motores																																
8	Unificar sistema mecánico y electrónico																																

ANEXO D: DATOS TÉCNICOS

- Motor LC31315, LC31318

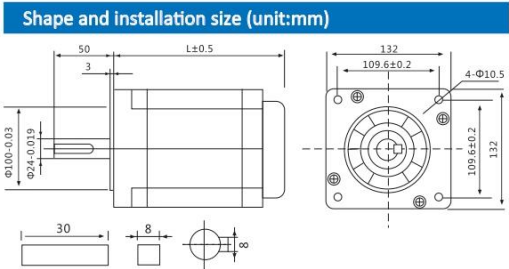
▪ 3 Phase Nema51 Series Hybrid Stepper Motor

Electrical Performance Parameters	
Item	Specifications
Step Angle Accuracy	±5% (Full Step)
Resistance Accuracy	±10% (20°C)
Inductance Accuracy	±20% (1KHZ)
Temperature Rise	80°C max (rated current, 2 phase power on)
Ambient Temperature	-20°C ~ 50°C
Insulation Resistance	100MΩMin 500VDC
Dielectric Strength	500V AC 1 minute
Allowable Radial Load	0.02mm Max . (450g load)
Allowable Thrust Load	0.08mm Max . (450g load)
Radial Max Load	300N (20mm from flange surface)
Shaft Max Load	80N



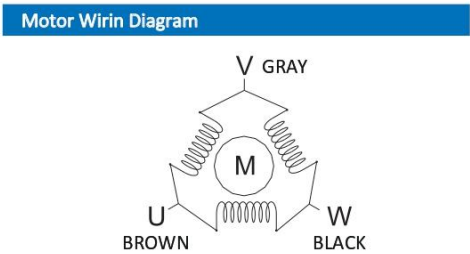
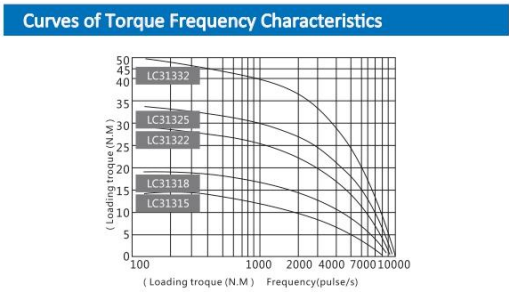
Technical Data										
Series	Step Angle(°)	Motor Length(mm)	Holding Torque(N.m)	Rated Current(A)	Phase Resistance(Ω)	Phase Inductance(mH)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Matched Driver	Lead Wire(No.)	Motor Weight (Kg)
LC31315	1.2	154	15	6.9	0.88	3.7	20000	LC3722A	3	11
LC31318	1.2	183	20	6.9	1.1	4.9	26700	LC3722A	3	14.1
LC31322	1.2	215	28	6.9	2.8	17.9	33970	LC3722A	3	17.2
LC31325	1.2	247	35	6.9	3.3	21.52	41240	LC3722A	3	19.8
LC31332	1.2	311	50	6.9	4.2	28.9	55780	LC3722A	3	26

Above are representative products. Products can be customized!



Shaft Mode of Motor

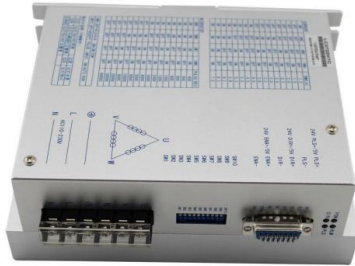
Model	Shaft Diameter(mm)	Shaft Extension(mm)	Shaft Length(mm)
LC31315	φ24	Keyway 8 x 30	50
LC31318	φ24	Keyway 8 x 30	50
LC31322	φ24	Keyway 8 x 30	50
LC31325	φ24	Keyway 8 x 30	50
LC31332	φ24	Keyway 8 x 30	50



- Controlador motor LC3722HTC



**Instruction Book
 Of
 LC3722HTC**



High Performance Microstepping Driver

Specifications

Electrical Specifications (T_J = 25°C/77°F)

Parameters	Min	Typical	Max
Output current	1.5A		5.7 A
Supply voltage	+24VDC		+50VDC
Logic signal current	7mA	10 mA	16 mA
Pulse input frequency	0		200 kHz
Isolation resistance	500 M Ω		

Operating Environment

Environment	Avoid dust, oil fog and corrosive gases
Ambient Temperature	0°C — 50°C
Humidity	40%RH — 90%RH
Operating Temperature	70°C Max
Vibration	5.9m/s ² Max
Storage Temperature	-20°C — 65°C

Installation specifications (unit: mm [inch])

◆ **Typical Connection**

A complete stepping system should include stepping motor, stepping driver, power supply and controller (pulse generator). A typical connection is shown as figure 4.

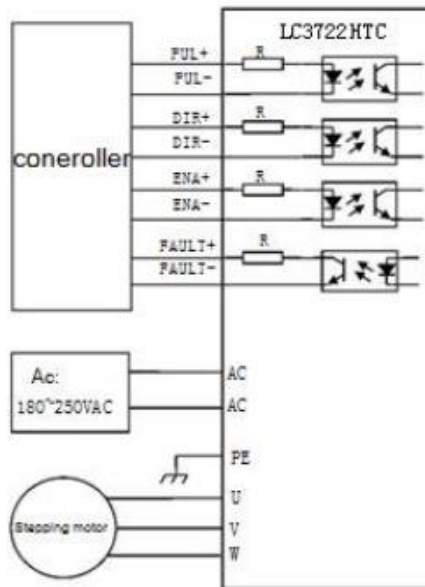
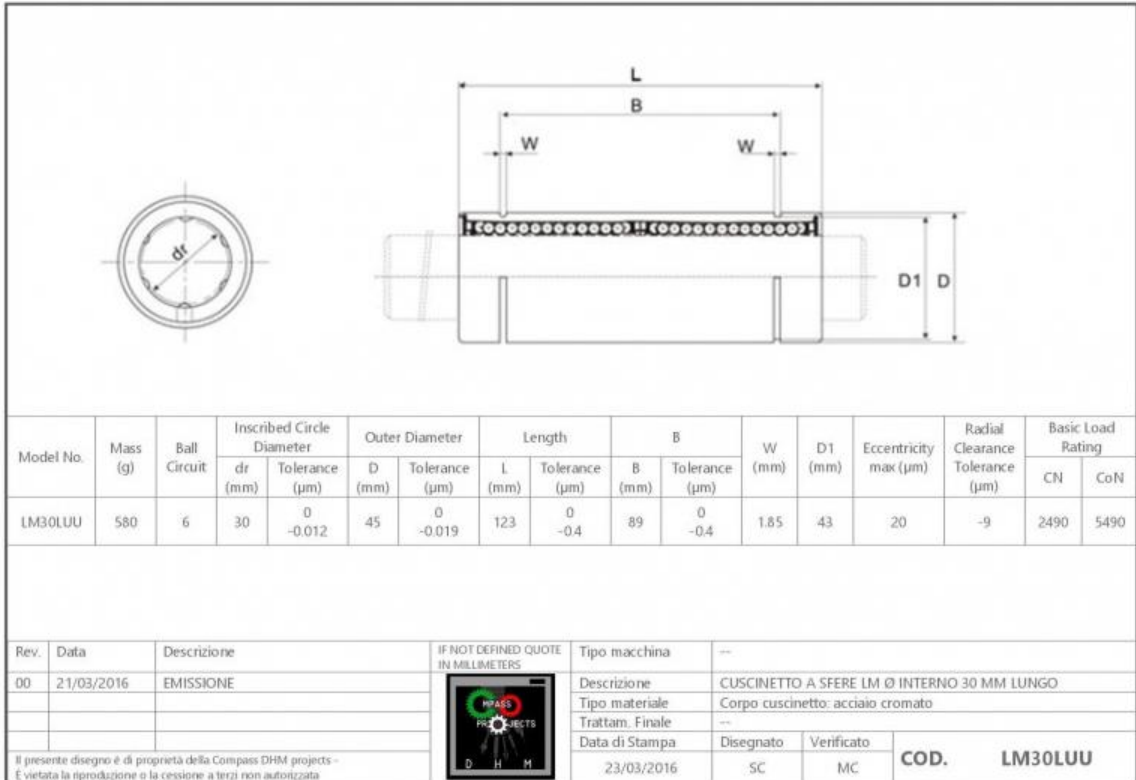


Figure 4: Typical connection

- Rodamiento lineal LM30LUU, DHM



- Rodamiento HK 1010



Generated from www.skf.com on 2022-02-16



HK 1010

Drawn cup needle roller bearings

Bearing data

Tolerances,
table

Design considerations

Shaft and housing tolerances,
table

Technical specification



DIMENSIONS

F_w	10 mm	Diameter under rollers
D	14 mm	Outside diameter
C	10 mm	Width
r	min. 0.4 mm	Chamfer dimension drawn cup (outer ring)

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	4.29 kN
Basic static load rating	C_0	5.3 kN
Fatigue load limit	P_U	0.57 kN
Reference speed		18 000 r/min
Limiting speed		20 000 r/min

MASS


Mass bearing	0.004 kg
--------------	----------



Page 1 of 3






- Porta cable tipo cadena

微型拖链



微型10系列-桥式

Miniature series of 10-Bridge type

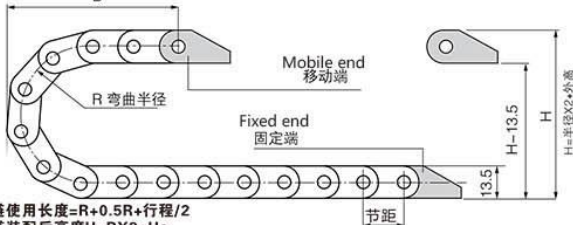
10X10方便型

10X30桥式外开

10X10桥式

10X15桥式
10X20桥式

● 主要技术参数 Basic technical data

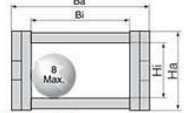


拖链使用长度=L+0.5R+行程/2
拖链装配后高度H=RX2+Ha

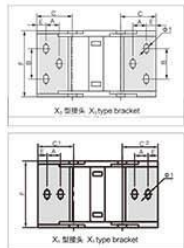
- 10*6Q方便型和10*10QB节距=15mm, 每米节数=66mm,
- 10*15QB和10*20QB的节距=20mm, 每米节数=50, 10*15Q外开节距16.7, 每米节数=60

R	18	28	38
D	45	55	85
H=R×2+Ha			

● 示意图 Delineation



● 接头安装尺寸图
Connector mounting dimension drawing



● 微型10系列-桥式

Miniature series of 10-Bridge type

内高 Hi	内宽 Bi	外高 Ha	外宽 Ba	款式 Styles	弯曲半径 Bending radius R	固定接头类型及参数 bracket type and parameters								
						可配接头类型 Applicable bracket type	孔径 Bore diameter Φ1	孔距(mm)hole distance						
						A B C D E F								
10	10	13.5	17.5	Q.B	18.28	X ₁	3.2	8		21.5	4	17.5		
10	15	15.2	23	Q.B	18.28.38	X ₁	4*7L	10		C1=30.7 C2=27.3	7.5	23		
10	20	15.2	28	Q.B	18.28	X ₁	3.2*7L	10	5	C1=30.5 C2=27.1	7.5	28		

● 注：“Q”表示桥式；“B”表示不可打开；“W”表示外侧打开
 Note: “Q” means Bridge type; “B” means non opening; “W” means outside open.



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1 Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Idle mode Currents Down to 5.8 μ A Typical
- Sleep mode Currents Down to 0.1 μ A Typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A Typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, Up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator Options allow Microcontroller and USB module to Run at Different Clock Speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

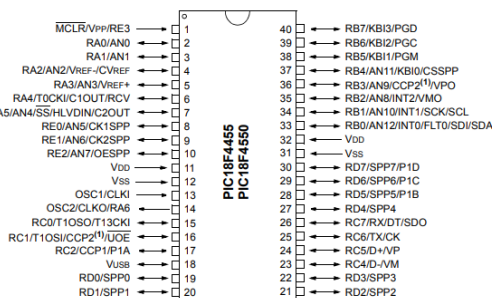
- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-Bit, Up to 13-Channel Analog-to-Digital Converter (A/D) module with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with Optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory Typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory Typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 Years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
- Optional Dedicated ICD/ICSP Port (44-pin, TQFP package only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

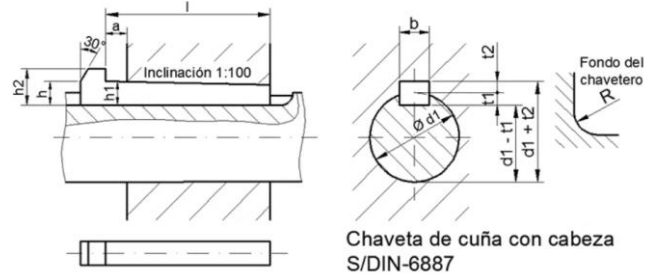
40-Pin PDIP



ANEXO E: NORMATIVA EMPLEADA

- **Para Chaveta**

Chaveta de cuña con cabeza S/DIN-6887



Chaveta de cuña con cabeza S/DIN-6887

Ø eje d mm desde-hasta	Medida chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas chavetero del eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886, 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde-hasta	Tol.H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
6-8	2x2	d+0,9	+0,1	-	-	1,1	+0,1	6-10	+0,015 0
8-10	3x3	d+1,3		-	-	1,7		10-12	+0,018 0
10-12	4x4	d+1,6		d+1,4	-0,1	2,4		12-17	
12-17	5x5	d+2,1		d+1,9		2,9		17-22	
17-22	6x6	d+2,6	d+2,1	3,5		22-30	18-30	+0,021 0	
22-30	8x7	d+3,0	d+2,4	4,1	+0,2	30-38	30-50	+0,025 0	
30-38	10x8	d+3,4	d+2,8	4,7		38-44			
38-44	12x8	d+3,2	d+2,8	4,9		44-50	50-80	+0,030 0	
44-50	14x9	d+3,6	d+2,9	5,5		50-58			
50-58	16x10	d+3,9	d+3,2	6,2		58-65	80-120	+0,035 0	
58-65	18x11	d+4,3	d+3,5	6,8		65-75			
65-75	20x12	d+4,7	d+3,9	7,4		+0,3	75-85	120-180	+0,040 0
75-85	22x14	d+5,6	d+4,8	8,5			85-95		
85-95	25x14	d+5,4	d+4,6	8,7			95-110	180-250	+0,046 0
95-110	28x16	d+6,2	d+5,4	9,9			110-130		
110-130	32x18	d+7,1	d+6,1	11,1	130-150		250-315	+0,052 0	
130-150	36x20	d+7,9	d+6,9	12,3					150-170
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7	13,5	170-200		315-400	+0,057 0	
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9	15,3					200-230
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1	17	230-260		400-500	+0,063 0	
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8	19,3					260-290
260-290	63x32	d+12,6	d+11,5	19,6					

- **Para pernos**

Sechskantschrauben DIN 933			
d	k	e	SW
mm	mm	mm	mm
M3	2	6,01	5,5
M4	2,8	7,66	7
M5	3,5	8,79	8
M6	4	11,05	10
M8	5,3	14,38	13
M10	6,4	18,9	17
M12	7,5	21,1	19
M16	10	26,75	24

TABLA PARA LA ROSCA MÉTRICA, PASO NORMAL (M) Y PASO FINO (MF).					
Medida nominal y paso normal		Diámetro broca agujero*	Medida nominal y paso fino		Diámetro broca agujero*
Denominación	Paso**		Denominación	Paso**	
M2	0,4	2			
M3	0,5	2,5	M3	0,25	2,75
M4	0,7	3,3	M4	0,35	3,65
M5	0,8	4,2	M5	0,5	4,5
M6	1	5	M6	0,5	5,5
M7	1	6	M7	0,75	6,25
M8	1,25	6,8	M8	0,75	7,25
			M8	1	7
M9	1,25	7,8	M9	1	8
M10	1,5	8,5	M10	0,75	9,25
			M10	1	9
			M10	1,25	8,8
M11	1,5	9,5	M11	1	10
			M11	1,25	9,75
M12	1,75	10,20	M12	1	11
			M12	1,25	10,75
			M12	1,5	10,50
M13	1,75	11,25	M13	1,25	11,75
			M13	1,5	11,50
M14	2	12	M14	1	13
			M14	1,25	12,80
			M14	1,5	12,5
			M14	1,75	12,25
M15	2	13	M15	1,5	13,50
			M15	1,25	13,75
M16	2	14	M16	1	15
			M16	1,25	14,75
			M16	1,5	14,5
M18	2,5	15,50	M18	1,25	16,75
			M18	1,5	16,5
			M18	2	16
M20	2,5	17,5	M20	1,5	18,8
			M20	2	18
M22	2,5	19,5	M22	1,5	20,5
			M22	2	20

ANEXO F: MANUAL DE USUARIO

Elaboración propia

En el panel de control se observa un interruptor de **PRENDER/ APAGAR**, que sirve para energizar o des-energizar la placa de control

Se dispone de 4 pulsadores; tres para desplazarse en la pantalla LCD **▲ARRIBA**, **▼ABAJO** y **●ELEGIR** finalmente un cuarto pulsador para el **RESETEO** del microcontrolador.

Una vez pulsado el interruptor PRENDER se despliega la siguiente imagen, por un lapso de 3 segundos, tiempo que se da para los ajustes interno:



Después de 3 segundos, pasa al menú principal donde se muestra las opciones:



- Señal senoidal
- Señal sísmica
- Autoajuste

Opción 1: **Señal senoidal**, se despliega un submenú con 4 opciones:



- Atrás
- Baja
- Media
- Alta

La opción **Atrás** sirve para retornar al menú principal; las opciones de **Baja, Media** y **Alta** sirve para generar intensidades sísmicas de baja, media y alto grado.

Opción 2: **Señal sísmica**, se genera una señal variable en magnitud semejante a un sismo.

Opción 3: **Autoajuste**, sirve para centrar los bloques deslizantes.

En cualquier de los casos si se presiona el pulsador arriba o abajo mientras se está realizando una operación, se detiene la operación.

Recomendaciones de operación y mantenimiento

Puesta en marcha

- Comprobar el suministro de energía eléctrica.
- Verificar la lubricación en los rodamientos lineales y rodamientos radiales.
- Comprobar cables sueltos que puedan enredarse.

- Mantener una distancia mínima de 1 [m] el panel de control del simulador.
- Prender el simulador.

En funcionamiento

- No sobrepasar la capacidad para los cuales ha sido diseñado el simulador. Caso contrario existe riesgo de sobrecalentar los motores.
- La introducción de un objeto puede provocar la rotura de elementos mecánicos / electrónicos y comprometer la seguridad del equipo y personal.
- Tomar debida distancia al momento del funcionamiento del simulador ya que hay riesgo de arrastre, golpe, aplastamiento, etc.

Mantenimiento y conservación

Los trabajos de mantenimiento solo lo podrán realizar las personas cualificadas, formadas, y con los medios necesarios para realizar dichos trabajos.

Antes de empezar los trabajos de mantenimiento, asegurarse que el motor este desenergizado.

- ✓ Inspeccionar el simulador de forma regular.
- ✓ No descuidar la lubricación.
- ✓ Comprobar el estado del motor/driver.
- ✓ Comprobar el estado de los rodamientos.
- ✓ Verificar los ejes.

Lubricación

Para la lubricación de los rodamientos se aconseja el uso de grasas a base de aceite mineral de la calidad K2K DIN 51825.

Fallos: Causas y soluciones

Incidentes de funcionamiento	Causas probables
Sobre carga del motor	1, 2
No responde el motor	3, 4
Vibraciones y ruido	5,6, 7

Causas probables y su solución al mal funcionamiento

N°	Causas probables	Soluciones
1	Alto peso a mover	Disminuir el peso según especificado
2	Obstrucción	Retirar el objeto
3	Mala conexión cable	Cambiar conectores
4	Cable dañado	Cambiar cable
5	Eje torcido	Reemplazar el eje
6	Velocidad crítica	Consultar al departamento técnico
7	Rodamientos desgastados	Reemplazar los rodamientos del agitador

ANEXO G: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

- Respecto al mecanismo

Criterios de puntuación

Si es mejor: 1

Si es igual: 0

Si es peor: -1

Bajo costo	Biela manivela	Husillo guía	Piñón cremallera	Sistema hidráulico
Biela manivela		-1	-1	-1
Husillo guía	1		0	-1
Piñón cremallera	1	0		-1
Sistema hidráulico	1	1	1	
TOTAL	3	0	0	-3
PRIORIDAD	1ra opción	2da opción	2da opción	3era opción

Más compacto	Biela manivela	Husillo guía	Piñón cremallera	Sistema hidráulico
Biela manivela		1	0	-1
Husillo guía	-1		-1	-1
Piñón cremallera	0	1		-1
Sistema hidráulico	1	1	1	
TOTAL	0	3	0	-3
PRIORIDAD	2da opción	1ra opción	2da opción	3era opción

Mayor Capacidad de carga	Biela manivela	Husillo guía	Piñón cremallera	Sistema hidráulico
Biela manivela		1	0	1
Husillo guía	-1		-1	1
Piñón cremallera	0	1		1
Sistema hidráulico	-1	-1	-1	
TOTAL	-2	1	-2	3
PRIORIDAD	3era opción	2da opción	3era opción	1ra opción

Velocidad alta	Biela manivela	Husillo guía	Piñón cremallera	Sistema hidráulico
Biela manivela		-1	0	-1
Husillo guía	1		1	-1
Piñón cremallera	0	-1		-1
Sistema hidráulico	1	1	1	
TOTAL	2	-1	2	-3
PRIORIDAD	1ra opción	2da opción	1ra opción	3era opción

Menor codificación de algoritmo	Biela manivela	Husillo guía	Piñón cremallera	Sistema hidráulico
Biela manivela		-1	-1	-1
Husillo guía	1		0	0
Piñón cremallera	1	0		0
Sistema hidráulico	1	0	0	
TOTAL	3	-1	-1	-1
PRIORIDAD	1ra opción	2da opción	2da opción	2da opción

Bajo costo de mantenimiento	Biela manivela	Husillo guía	Piñón cremallera	Sistema hidráulico
Biela manivela		1	-1	-1
Husillo guía	-1		0	-1
Piñón cremallera	1	0		-1
Sistema hidráulico	1	1	1	
TOTAL	1	2	0	-3
PRIORIDAD	2da opción	1ra opción	3era opción	4ta opción

- **Tipo de motor**

	Motor AC	Motor paso a paso
Velocidad	Alta	Alta
Cambio de sentido de giro	Requiere mayor tiempo	Casi al instante
Precisión	Baja	Alta
MEJOR ALTERNATIVA AL PROYECTO	NO	SI (por su precisión y cambio de giro)

- **Material de la estructura**

	Acero A36	Acero inox
Densidad	Alta	Baja
Limite elástico	Mayor	Menor
Costo	Bajo	Alto
MEJOR ALTERNATIVA AL PROYECTO	SI (por su menor costo)	NO

- **Tipo de controladora**

	PIC	PLC
Robustez a la interferencia electromagnética	Baja	Alta
Procesos industriales	Poco uso	Mayor uso
Costo	Bajo	Alto
MEJOR ALTERNATIVA AL PROYECTO	SI (por su menor costo)	NO

ANEXO H: ASPECTOS SÍSMICOS

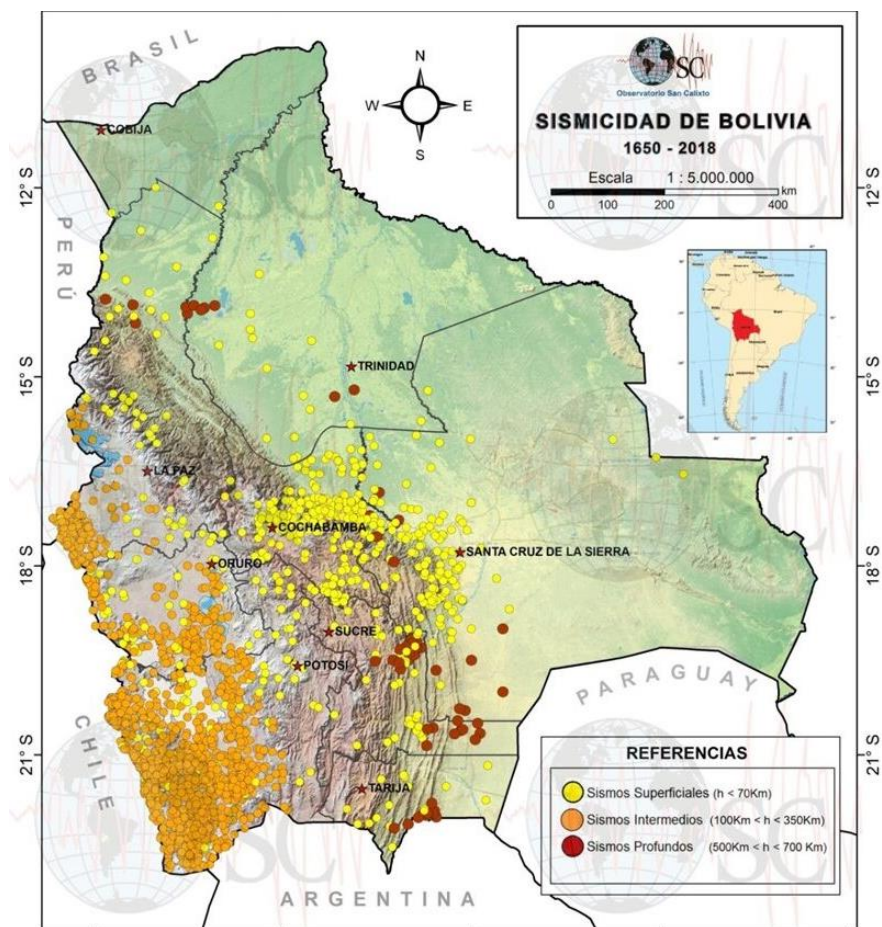
- **Resumen de la sismicidad de Bolivia 1650 a 2004, OSC**

Año	M	D	H	M	S	Mb	I(MM)	Observaciones
1650	11	10	16	0	0	6,4	VIII	Dstrucción en la capital del Alto Perú (hoy Sucre)
1662*	2	23				5,8	VII	Daños en la ciudad de Potosí y cercanos
1720*	9	7				5,2	VI	En la ciudad de Potosí objetos fueron lanzados al suelo
1743*	9	2				5,2	VI	Pánico en la ciudad de Potosí
1845*	1	14				5,2	VI	Sentido en Santa Cruz y daños en casas de adobe
1851	7	5	12	0	0	5,8	VII	Daños en la ciudad de Potosí
1871	2	23	6	30	0	5,2	VI	Daños en Villa San Antonio (hoy Villa Tunari), Cochabamba)
1884	11	26	23	10	0	5,2	VI	Destrozos en Tarabuco, Sucre
1887	9	23	4	0	0	6,4	VII	Dstrucción en Yacuiba
1891	8	15	11	2	0	5,8	VII	Daños en Consata y sentido fuertemente en la ciudad de La Paz
1899	3	23	18	30	0	6,4	VIII	Cerca de Yacuiba muchas casas de adobe fueron destruidas
1909	5	17	8	2	54	6,3	VI	Sentido en Tupiza y Tarija
1909	7	23	17	0	0	5,8	VII	En Sipe Sipe, dstrucción , muertos y heridos
1923	9	2	22	38	12	6,2	VI	Sentido fuerte en Mapiri, Consata
1925	10	25	4	31	9,3	5,2	VI	En Aiquile daños ligeros en casas de adobe
1929	2	19	5	24	0	5,3	IV	Fuerte en Warmes (Santa Cruz)
1932	12	25	12	34	59	5,3	VI	Sentido fuerte en Colquechaca (Potosí), varias replicas
1937	11	3	6	6	0	5,3	VI	Sentido fuerte en Consata
1942	12	25	8	0	28	5,6	VI	En la ciudad de Cochabamba se sintió fuertemente
1943	2	18	15	38	46	5,8	VI	Muy fuerte en ciudad de Cochabamba (dstrucción)

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTROMECAÁNICA

1947	2	24	17	31	36	6,4	VIII	Consata destruida, sentido fuertemente en la ciudad de La Paz
1948	3	28	1	30	7	6,1	VII	Destrucción en Sucre, muertos y heridos
1949	11	7	20	59	52	5	V	Fue sentido en la ciudad de Florida (Santa Cruz)
1956	8	23	13	48	26	5,8	VI	Fuerte en Consata, sentido en la ciudad de La Paz
1957	8	26	11	28	52	5,9	VII	En Postrervalle varias casas de adobe destruidas
1958	1	6	16	53	0	5,2	VI	Pasorapa, casas de adobe sufrieron daños
1958	9	1	14	30	46	5,9	VII	Destrozos en Aiquile.
1970	3	6	20	6	52	4,5	VI	Dos muertos en Ajtara, Potosí
1972	5	12	17	16	38	5	VI	Sentido en la ciudad de Cochabamba, ligeros daños
1976	2	22	8	9	23	5,2	VI	Sentido en las cercanías de Aiquile y ligeros daños
1976	6	30	17	16	58	4,7	V	Sentido en Arque y ligeros daños en casas de adobe
1981	7	23	13	51	29	5	VI	Sentido en Ivirigarzama, daños estructurales
1982	8	23	16	26	2,9	4,4	V	Sentido fuerte en la ciudad de Oruro, ligeros daños
1983	5	19	8	33	19	4,3	V	Causo alarma en Huañacoma y Caripuyo (Potosí)
1984	6	27	4	0	8	4,6	V	Sentido en Sabaya (Oruro) ligeros daños en casas de adobe
1985	3	19	10	28	35	5,4	VI	En Monteagudo hubieron derrumbes.
1986	5	9	16	23	49	5,6	VI	Sentido fuerte en Villa Tunari.
1986	6	19	21	57	25	5,4	V	Sentido fuerte en Villa Tunari, Chimore y Puerto Villarroel.
1987	8	22	6	29	18	4,8	V	En Forestal (Santa Cruz) ligeros daños
1991	12	21	8	1	18	5	V	En Bermejo casas de adobe agrietadas
1994	6	9	0	33	7,4	8	VI	Sismo profundo, sentido en todo Bolivia
1995	11	6	2	18	44	5,2	V	En Comujo (Oruro) daños en casas de adobes

1998	5	22	4	48	50	6.6	VIII	Destrozos y muertos en Aiquile, Mizque y Totora
2001	6	23	20	33	4,4	6,9	V	Sentido fuerte en La Paz , con ligeros daños materiales
2001	7	4	12	8	53	6,2	IV	Sentido en casi todo Bolivia, no se reportaron daños materiales
2001	7	24	5	1	0	5,5	V	Sentido y con leves daños en Pisigua y Coipasa
2002	2	23	22	5	59	4,5	V	Sentido en Jorochito, Santa Cruz
2002	10	24	20	22	36	6,1	V	Sentido y con daños en Alto Milluni, Zongo
2004	1	21	8	13	33	3,6	III	Sentido en Zongo
2004	3	17	3	21	2,2	4,9	III	Sentido en Sucre
2004	3	22	4	22	52	5,8	III	Sentido en Tarija
2004	7	17	6	5		4,5	III	Sentido en Sucre
2004	8	3	15	16	51	4	V	Daños en Rivera Provincia G. Villarroel



GRADO	ESCALA DE INTENSIDAD MERCALLI MODIFICADA [MM], EN FUNCIÓN A LA ACELERACION
I	aceleración menor a 0.5 Gal;
II	aceleración entre 0.5 y 2.5 Gal;
III	aceleración entre 2.5 y 6.0 Gal;
IV	aceleración entre 6.0 y 10 Gal;
V	aceleración entre 10 y 20 Gal;
VI	aceleración entre 20 y 35 Gal;
VII	aceleración entre 35 y 60 Gal;
VIII	aceleración entre 60 y 100 Gal;
IX	aceleración entre 100 y 250 Gal;
X	aceleración entre 250 y 500 Gal;
XI-XII	aceleración mayor a 500 Gal;

- **Relación entre la escala de Magnitud y escala de Intensidad**

MAGNITUD	INTENSIDAD
1 a 2	I
2 a 3	II
3 a 4	III
4	IV
4 a 5	V
5 a 6	VI
6	VII
6 a 7	VIII
7	IX
7 a 8	X
8	XI
Mayor a 8	XII

ANEXO I: PROFORMA SIMULADOR QUANSER

Modelo Shake Table II

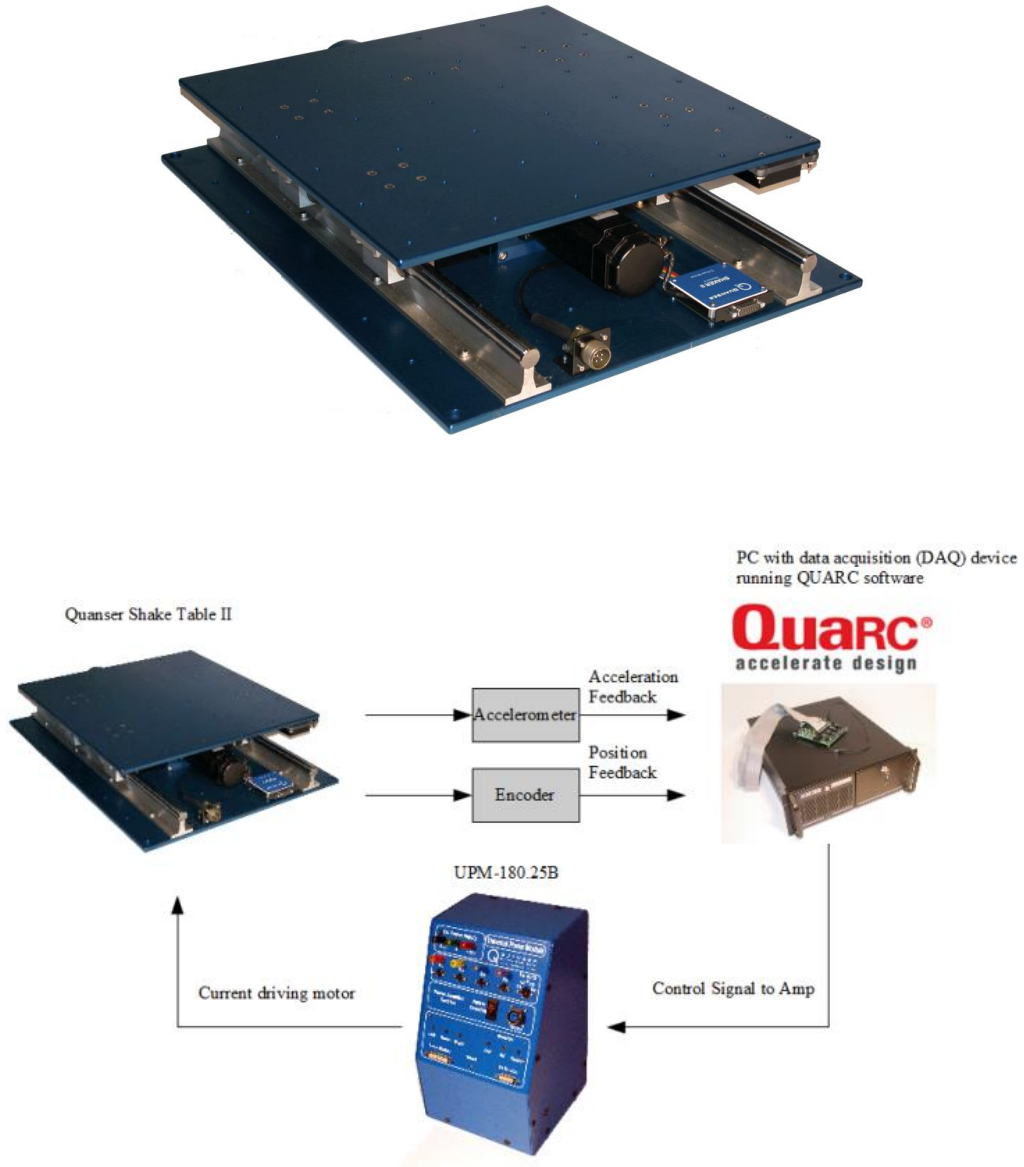


Figure 1.2: Interaction between main Shake Table II components

PROFORMA

N° de Proforma: SMS22-428-UMSA

Atención: Tomas Molina

Fecha: 8/18/2022

Nombre de Cliente: Universidad Mayor de San Andrés

Dirección:

Teléfono:

Ítem	Código	Descripción	Cant.	Costo \$US.	
				Unitario	Total
1		<p>Shake Table II Workstation Marca: QUANSER 1 × <i>Shake Table II (P/N:517)</i> This portable, bench-scale shake table moves along a single axis, however, two tables can be coupled for dual axis, x-y operation. Developed in cooperation with the University Consortium on Instructional Shake Tables (UCIST) and recommended by the Consortium to more than 100 institutional members. The Shake Table II offers a wide table-top surface which can accommodate several structures to increase the complexity of the experiment. This table has been used in outreach programs involving community services as well as K-12 education. Includes Laboratory Guide, User Manual, and pre-designed controllers.</p> <p>1 × <i>AMPAQ-PWM Amplifier (P/N:920)</i> A single channel pulse width modulated (PWM) current amplifier - Quick Start Guide and User Manual included</p> <p>1 × <i>Q8-USB Data Acquisition Device (P/N:841)</i> 8 channel - USB Data Acquisition Board - Quick Start Guide and User Manual included</p> <p>1 × <i>QUARC Integration Software License (P/N:973)</i> QUARC Integration provides the easiest way to communicate in real-time between any distribution of applications, it fully supports Quanser Stream API for synchronous, asynchronous or persistent communication. QUARC is fully integrated with Matlab/Simulink and requires Matlab Coder and Simulink Coder for full operation. Please see the Compatibility Chart for the latest version of Matlab/Simulink supported.</p>	1	50,060.00	50,060.00

Tipo de Cambio:

6.96

Total (\$us)	50,060.00
Total (Bs)	348,417.60

TRESCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL CUATROCIENTOS DIECISIETE 60/100

Son: BOLIVIANOS

El tiempo de entrega se contabiliza una vez se cumplan las condiciones de pago.

Solution Partner

Automatización

SIEMENS

Página 2 de 2
 Condiciones
 SMS22-428-UMSA.xlsm



La presente proforma está sujeta a las siguientes condiciones:		
Proforma válida por:	12 días	
Condiciones de Pago:	A CONVENIR CON EL CLIENTE DATOS PARA REALIZAR DEPÓSITOS: A nombre de: SMS INTEGRACIÓN Y CONTROL LTDA. Banco (Bs.): BISA No. de cuenta: 1675590016	
El tiempo de entrega:	29 semanas	
Garantía:	1 año por defecto de fábrica	
Observaciones:	Precios ofertados válidos sólo por la compra de la totalidad de la proforma o según selección previa consulta. Precios sujetos a incremento aproximado del 20%, a partir del 1ro de septiembre	
CONSULTAS A:	Email y Página Principal	info@smsic.com.bo www.smsic.com.bo
	Alexandro Montes	alexandro.montes@smsic.com.bo Tel: 77207872
	Benjamín Aparicio	benjamin.aparicio@smsic.com.bo Tel: 72020303
En espera de su respuesta, saluda a Uds. muy atentamente		



Autor: Tomas Molina Arteaga

Correo: tmolina655@gmail.com

Celular: 68036612



MINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2024-TTES-304-D-1

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-1062/2024
La Paz, 05 de abril de 2024**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **01 de abril de 2024**, por **TOMAS MOLINA ARTEAGA** con C.I. N° **8364609 LP**, con número de trámite **DA 571/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE UN SIMULADOR SÍSMICO ORIENTADO A LA CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGO ANTE TERREMOTO, CASO: OBSERVATORIO SAN CALIXTO"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los*



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Celbo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, N° 243.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, N° 5837,
entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72018160

www.senapi.gob.bo





ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA

MINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**DISEÑO DE UN SIMULADOR SÍSMICO ORIENTADO A LA CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGO ANTE TERREMOTO, CASO: OBSERVATORIO SAN CALIXTO**" a favor del autor y titular: **TOMAS MOLINA ARTEAGA** con C.I. N° **8364609 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/Im

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA

Firma:



ejssp4Uq6Oq85I

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACION O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calle Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, N° 243.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, N° 5837,
entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72018160

www.senapi.gob.bo

