

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
			FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) Karla Daniela APELLIDOS: Casadiegos

Chacón FACULTAD: Ingenierías

PLAN DE ESTUDIOS: Especialización en Estructuras

DIRECTOR:

NOMBRE(S): Jorge Eliecer APELLIDOS: Campuzano Carmona

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): MODELAMIENTO Y DISEÑO DE UNA MESA VIBRATORIA UNIDIMENSIONAL PARA SIMULACIÓN SÍSMICA CON MODELOS REDUCIDOS

Este documento está encaminado hacia el modelamiento y diseño de una mesa vibratoria unidimensional con la cual se podrán realizar simulaciones sísmicas con modelos reducidos.

Para el diseño de la mesa, se ejecuta primero un pre-diseño que es modelado en SAP2000, para visualizar su comportamiento y poder definir las dimensiones de los elementos a utilizar.

De este modelo se obtienen los esfuerzos sobre los apoyos que especificarán el modelo de las guías lineales a manejar y se confirman los pernos de sujeción para el prototipo.

También, se estudiarán las frecuencias naturales de la mesa y sus modos de vibración asociados a dichas frecuencias.

Con la información derivada, se analiza que modelo y materiales son los más adecuados y, se realizan los planos de la estructura de la mesa y su respectivo presupuesto.

Con dicho proyecto se pretende desarrollar una herramienta para visualizar y estudiar el efecto que ejercen las vibraciones sísmicas sobre las estructuras a escala.

PALABRAS CLAVES: (ESCRIBIR MÁXIMO 5)

-Mesa. -Diseño estructural. -Vibración. -Sismo. -Modelos Reducidos

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 116

PLANOS: SI

CD ROOM: NO

ILUSTRACIONES: 57



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 10 DE NOVIEMBRE DE 2023 **HORA:** 04:00 p.m.

LUGAR: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS – UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

TÍTULO DE LA TESIS: “MODELAMIENTO Y DISEÑO DE UNA MESA VIBRATORIA UNIDIMENSIONAL PARA SIMULACIÓN SÍSMICA CON MODELOS REDUCIDOS”.

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

JURADOS: ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ PEÑARANDA
ING. JUAN CAMILO RAMÍREZ GAMBOA
ING. JORGE ELIECER CAMPUZANO CARMONA

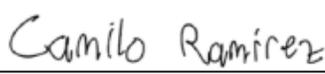
DIRECTOR: INGENIERO JORGE ELIECER CAMPUZANO CARMONA.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO:	CALIFICACIÓN:	
		NÚMERO:	LETRA:
KARLA DANIELA CASADIEGOS CHACÓN	1010137	4.4	CUATRO, CUATRO

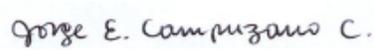
A P R O B A D A



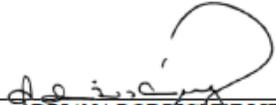
ING. JORGE FERNANDO MÁRQUEZ
PEÑARANDA



ING. JUAN CAMILO RAMÍREZ GAMBOA



ING. JORGE ELIECER CAMPUZANO CARMONA



Vo. Bo. ADRIANA RODRÍGUEZ LIZCANO
Directora Plan de Estudio Especialización en Estructuras
Elaborador por: Adriana R.

**MODELAMIENTO Y DISEÑO DE UNA MESA VIBRATORIA
UNIDIMENSIONAL PARA SIMULACIÓN SÍSMICA CON MODELOS REDUCIDOS**

KARLA DANIELA CASADIEGOS CHACÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA

SANTANDER

PROGRAMA ACADÉMICO DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

COHORTE VI

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, 2023

**MODELAMIENTO Y DISEÑO DE UNA MESA VIBRATORIA
UNIDIMENSIONAL PARA SIMULACIÓN SÍSMICA CON MODELOS REDUCIDOS**

KARLA DANIELA CASADIEGOS CHACÓN

DIRECTOR.

M.SC. PH.D. ING. JORGE ELIÉCER CAMPUZANO CARMONA

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA

SANTANDER

PROGRAMA ACADÉMICO DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS

COHORTE VI

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, 2023

Dedicatoria

A Dios por darme la vida y las capacidades para poder llevar a cabo todos mis proyectos.

A mi Abuela Sara Emilia Mejía Meneses gracias por tanto amor y dedicación te extraño y te amo.

A mi Madre Maritza Chacón Mejía por apoyarme siempre en cada paso y sacrificarse para ofrecerme una vida llena de comodidades.

A mi Tío Said Augusto Chacón Mejía por tomar ese rol de Padre y hacer de mí una persona de bien.

A mi Pareja Andrea Juliana Guardón Ramírez por llegar a mi vida y apostar por mí, impulsándome a ser cada día mejor.

A mis Familiares y Amigos que han permanecido, disfrutado y sufrido el proceso.

Agradecimientos

Al Doctor Jorge Eliécer Campuzano Carmona por apoyarme en el desarrollo de este proyecto y aportar de manera significativo a mi crecimiento personal y profesional.

A los docentes que contribuyeron en mi formación como Especialista Estructural.

A mis colegas y compañeros de estudio gracias por compartir sus habilidades y conocimiento.

RESUMEN

Este documento está encaminado hacia el modelamiento y diseño de una mesa vibratoria unidimensional con la cual se podrán realizar simulaciones sísmicas con modelos reducidos.

Para el diseño de la mesa, se ejecuta primero un pre-diseño que es modelado en SAP2000, para visualizar su comportamiento y poder definir las dimensiones de los elementos a utilizar.

De este modelo se obtienen los esfuerzos sobre los apoyos que especificarán el modelo de las guías lineales a manejar y se confirman los pernos de sujeción para el prototipo.

También, se estudiarán las frecuencias naturales de la mesa y sus modos de vibración asociados a dichas frecuencias.

Con la información derivada, se analiza que modelo y materiales son los más adecuados y, se realizan los planos de la estructura de la mesa y su respectivo presupuesto.

Con dicho proyecto se pretende desarrollar una herramienta para visualizar y estudiar el efecto que ejercen las vibraciones sísmicas sobre las estructuras a escala.

ABSTRACT

This document is aimed at the modeling and design of a one-dimensional vibrating table with which seismic simulations can be carried out with reduced models.

To design the table, a pre-design is first executed, which is modeled in SAP2000, to visualize its behavior and be able to define the dimensions of the elements to be used.

From this model, the forces on the supports that will specify the model of the linear guides to be managed are obtained and the fastening bolts for the prototype are confirmed.

Also, the natural frequencies of the table and its vibration modes associated with these frequencies will be studied.

With the information derived, it is analyzed which model and materials are the most suitable and the plans for the structure of the table and its respective budget are made.

This project aims to develop a tool to visualize and study the effect that seismic vibrations have on scale structures.

Índice

Capítulo 1. El problema	17
1.1 Título	17
1.2 Planteamiento del Problema	17
1.3 Formulación del Problema	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Justificación	19
1.6 Alcance y limitaciones	20
1.7.1 Delimitación espacial.	21
1.7.2 Delimitación Temporal.	21
1.7.3 Delimitación Conceptual.	21
Capítulo 2. Maco Referencial	22
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	22
2.1.1 Antecedentes Empíricos	22
2.2.2 Estado del Arte (Antecedentes Bibliográficos)	22
2.3 Marco Teórico	49
2.3.1 Mesas Sísmicas	49
2.3.2 Principales Componentes De Una Mesa Sísmica	52
2.3.2.1 Masa de reacción.	52
2.3.2.2 Plataforma rígida del simulador	53
2.3.2.3 Sistema de soporte	53
2.3.2.4 Sistema de rodamientos lineales	54
2.3.2.5 Unidad de potencia	54
2.3.2.6 Servo-válvulas y actuadores	55
2.3.2.7 Servo-controlador	55
2.3.2.8 Instrumentación para medición	56
2.3.2.9 Sistemas de adquisición y procesamiento de datos.	56
2.4 Marco Conceptual	56

2.4.1 Frecuencia De Resonancia	56
2.4.2 Sismo	57
2.4.3 Mesa Vibratoria:	57
2.4.4 SAP2000	57
2.5 Marco Contextual	58
2.6 Marco Legal	58
Capítulo 3. Diseño Metodológico	60
3.1 Tipo de Investigación	60
3.2 Población y Muestra	60
3.2.1 Población	60
3.3 Fases y actividades específicas del proyecto	60
3.3.1 Introducción.	60
3.3.2 Pre-Diseño estructura de la mesa	60
3.3.3 Modelo de la mesa en SAP2000	61
3.3.4 Análisis modal de la mesa	61
3.3.5 Análisis del modelo con fuerza sinusoidal	61
3.3.6 Análisis del modelo con el sismo del centro USA 18 de mayo de 1940	61
3.3.7 Diseño de la mesa	61
3.3.8 Esfuerzos sobre los apoyos	62
3.3.9 Análisis de deformaciones	62
3.3.10 Diseño de los perfiles y placas de acero	62
3.3.11 Planos de fabricación	62
3.3.12 Presupuesto	62
4. Desarrollo del Proyecto	63
4.1 Introducción.	63
4.2 Pre-Diseño estructura de la mesa	64
4.3 Modelo de la mesa en SAP2000	66
4.4 Análisis modal de la mesa	72
4.5 Análisis del modelo con fuerza sinusoidal	78
4.6 Análisis del modelo con el sismo del centro USA 18 de mayo de 1940	79
4.7 Diseño de la mesa	81

4.8 Esfuerzos sobre los apoyos	81
4.9 Análisis de deformaciones	82
4.10 Diseño de los perfiles y placas de acero	84
4.11 Planos de fabricación	95
4.12 Presupuesto	95
5. Conclusiones	98
6. Referencias Bibliográficas	99
7. Anexos	102

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. a) Vista en planta de placa y sus dimensiones, b) Geometría en planta y frontal de los perfiles de acero que soportan la placa. Leiva, C. J. E (2007).	23
Ilustración 2. Malla de elementos finitos de la mesa vibratoria. Leiva, C. J. E (2007)	24
Ilustración 3. a) Sistema de rieles guías y soporte de actuador lineal hidráulico, b) entramado de perfiles que soportan mesa vibratoria, c) esquema general de mesa vibratoria. Leiva, C. J. E (2007).	25
Ilustración 4. Modelación numérica de la mesa vibratoria, a) primer modelo, b) segundo modelo, c) tercer modelo. Álvarez, R. J (2008).	27
Ilustración 5. Modelación numérica de la mesa vibratoria con el modelo de vivienda, a) primer modelo, b) segundo modelo, c) tercer modelo. Álvarez, R. J (2008).	27
Ilustración 6. Formas modales de la mesa vibratoria. Álvarez, R. J (2008).	28
Ilustración 7. Actuador hidráulico y conexión del mismo a la mesa vibratoria. Álvarez, R. J (2008).	29
Ilustración 8. a) vista en planta de la mesa vibratoria, b) Isométrico esquemático de la mesa vibratoria. Álvarez, R. J (2008).	30
Ilustración 9. a) Montaje de la estructura de la mesa vibratoria de 5x5m, b) mesa vibratoria finalmente construida. Álvarez, R. J (2008).	30
Ilustración 10. Ensayo en la mesa vibratoria, con el modelo a escala debidamente instrumentado con LDVT's. Álvarez, R. J (2008).	31
Ilustración 11. Diagrama esquemático del funcionamiento de la mesa vibratoria. Coral, H. A. et al (2010)	32
Ilustración 12. Partes esquemáticas de simulador sísmico y construcción final de la mesa vibratoria. Coral, H. A. et al (2010).	34
Ilustración 13. Masa de reacción. Clavijo, C.J.C (2011)	35
Ilustración 14. Montaje general de la mesa vibratoria. Clavijo, C.J.C (2011).	37
Ilustración 15. Configuración de la mesa vibratoria Uniaxial. J.T.O' Hagan. Y Q.M. Ta. (2012).	37
Ilustración 16. a) Esquema general y b) cimentación de la mesa vibratoria. Carrillo, J et al.(2013)	40
Ilustración 17. a) Mesa vibratoria, b) modelo a escala empotrado en mesa vibratoria. Romero, N. (2016).	41
Ilustración 18. a) vista en planta de la mesa vibratoria, b) vista lateral de la mesa vibratoria con instrumentación y modelo a escala de un grado de libertad. Ayllon. L. (2017).	42
Ilustración 19. a) Mesa vibratoria en dos direcciones X e Y adquirida por SENA, b) maqueta en madera para ensayar en mesa vibratoria. Coronado, M. G (2017).	44

Ilustración 20. Esquema general de la mesa vibratoria construida en la facultad de ingeniería universidad buenos aires FIUBA. Lehmann, A et al (2019).	45
Ilustración 21. Geometría de la placa móvil, junto con los perfiles. Lehmann, A et al. (2019).	47
Ilustración 22. a) Primer modo de vibración de la placa, b) Deflexión máxima de la placa. Lehmann, A et al (2019).	47
Ilustración 23. Construcción final de la mesa vibratoria de la FIUBA. Lehmann, A et al (2019).	48
Ilustración 24. Diseño de un simulador sísmico. Lozano Vallés, PF (2014).	49
Ilustración 25. Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Universidad Industrial de Santander. Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011).	52
Ilustración 26. Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Universidad Industrial de Santander. Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011).	54
Ilustración 27. Esquema de la mesa vibratoria.	63
Ilustración 28. Dimensiones de la estructura de la base de la plataforma dibujada en AutoCAD.	65
Ilustración 29. Dimensiones de la mesa vibratoria dibujada en AutoCAD.	65
Ilustración 30. Modelo 1 de la estructura de la base de la plataforma simulada en SAP2000.	68
Ilustración 31. Modelo 2 de la estructura de la base de la plataforma simulada en SAP2000.	68
Ilustración 32. Modelo 3 de la estructura de la base de la plataforma simulada en SAP2000.	69
Ilustración 33. Placa de acero modelada en SAP2000, con sus respectivas condiciones de frontera.	70
Ilustración 34. Modelo 1 de la mesa vibratoria con prototipo simulada en SAP2000.	70
Ilustración 35. Modelo 2 de la mesa vibratoria con prototipo simulada en SAP2000.	71
Ilustración 36. Modelo 3 de la mesa vibratoria con prototipo simulada en SAP2000.	71
Ilustración 37. Función sinusoidal de amplitud 0.5 SAP2000.	79
Ilustración 38. Registro de sismo del centro SAP2000.	80
Ilustración 39. Gráfico de respuesta del modelo.	80
Ilustración 40. Tensión según S11 del modelo 1.	85
Ilustración 41. Tensión según S22 del modelo 1.	85

Ilustración 42. Tensión según S11 del modelo 2.	86
Ilustración 43. Tensión según S22 del modelo 2.	86
Ilustración 44. Tensión según S11 del modelo 3.	87
Ilustración 45. Tensión según S22 del modelo 3.	87
Ilustración 46. Tensión según S11Max del modelo 1.	88
Ilustración 47. Tensión según S22Max del modelo 1.	89
Ilustración 48. Tensión según S11Min del modelo 1.	89
Ilustración 49. Tensión según S22Min del modelo 1.	90
Ilustración 50. Tensión según S11Max del modelo 2.	90
Ilustración 51. Tensión según S22Max del modelo 2.	91
Ilustración 52. Tensión según S11Min del modelo 2.	91
Ilustración 53. Tensión según S22 Min del modelo 2.	92
Ilustración 54. Tensión según S11Max del modelo 3.	93
Ilustración 55. Tensión según S22Max del modelo 3.	93
Ilustración 56. Tensión según S11Min del modelo 3.	94
Ilustración 57. Tensión según S22Min del modelo 3.	94

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de periodos y frecuencias naturales de vibración de la mesa vibratoria.	24
Tabla 2. Especificaciones de los rodamientos.	28
Tabla 3. Especificaciones del simulador sísmico.	33
Tabla 4. Parámetros de diseño de la mesa vibratoria.	39
Tabla 5. Parámetros de la mesa vibratoria.	42
Tabla 6. Parámetros de la mesa vibratoria construida en la FIUBA.	46
Tabla 7. Características técnicas de las mesas vibratorias a nivel mundial. Fuente Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011). Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Universidad Industrial de Santander.	50
Tabla 8. Frecuencias modales del Modelo 1 de la estructura de la base de la plataforma.	72
Tabla 9. Frecuencias modales del Modelo 2 de la estructura de la base de la plataforma.	73
Tabla 10. Frecuencias modales del Modelo 3 de la estructura de la base de la plataforma.	73
Tabla 11. Frecuencias modales del Modelo 1 de la mesa vibratoria sin prototipo.	74
Tabla 12. Frecuencias modales del Modelo 1 de la mesa vibratoria con prototipo.	74
Tabla 13. Frecuencias modales del Modelo 2 de la mesa vibratoria sin prototipo.	75
Tabla 14. Frecuencias modales del Modelo 2 de la mesa vibratoria con prototipo.	75
Tabla 15. Frecuencias modales del Modelo 3 de la mesa vibratoria sin prototipo.	75
Tabla 16. Frecuencias modales del Modelo 3 de la mesa vibratoria con prototipo.	76
Tabla 17. Frecuencias modales de la placa de acero con sus respectivas condiciones de frontera.	76
Tabla 18. Reacciones sobre los apoyos Modelo 1.	81
Tabla 19. Reacciones sobre los apoyos Modelo 2.	82
Tabla 20. Reacciones sobre los apoyos Modelo 3.	82
Tabla 21. Deformaciones del modelo 1.	83
Tabla 22. Deformaciones del modelo 2.	83
Tabla 23. Deformaciones del modelo 3.	83
Tabla 24. Tensiones en la placa de acero del modelo 1.	84
Tabla 25. Tensiones en la placa de acero del modelo 2.	85
Tabla 26. Tensiones en la placa de acero del modelo 3.	86
Tabla 27. Tensiones en la placa de acero del modelo 1.	88

Tabla 28. Tensiones en la placa de acero del modelo 2.	90
Tabla 29. Tensiones en la placa de acero del modelo 3.	92
Tabla 30. Presupuesto Mesa Vibratoria.	95
Tabla 31. Modelo Análisis Precios Unitarios.	96

Introducción

Colombia es un país que presenta movimientos sísmicos considerables, debido a que se ve afectado por la subducción tanto de placa de nazca y de la placa del caribe con la placa continental. El movimiento entre las diferentes placas tectónicas hace que se produzcan los sismos y como consecuencia de lo anterior el movimiento brusco y repentino de las estructuras civiles. (Gomez, Marulanda, & Thomson, 2020)

Otras excitaciones aleatorias (sismos) que también realizan la dinámica en las estructuras, pueden ser causadas por fallas geológicas o actividad volcánica de la zona. Los fenómenos anteriores pueden producir afectaciones en las estructuras civiles y llegar al colapso de la estructura y como consecuencia de lo anterior pérdidas materiales y perdidas de vida humana.

Los problemas estructurales por vibración son causados por varios factores, incluyendo los cambios de temperatura, la humedad, la edad del material, la calidad de la construcción, el diseño de la estructura y la frecuencia de vibración. Estos factores pueden interaccionar entre sí, causando problemas estructurales. (Silva & Kannangara, 2020)

Los cambios de temperatura, la humedad y la edad del material también pueden afectar la rigidez de la estructura, lo que a su vez puede cambiar la frecuencia de vibración de la misma.

La calidad de la construcción también es un factor importante, una construcción de baja calidad puede tener problemas estructurales, como grietas, desgastes y separaciones. Estos

problemas pueden aumentar la vibración de la estructura y causar problemas estructurales. Rojas, J & Gallegos A. (2019)

El diseño de la estructura también es un factor importante, un diseño no adecuado puede resultar en una estructura que sea más vulnerable a la vibración aumentando el riesgo de problemas estructurales. García J & Sánchez M. (2018)

Finalmente, la frecuencia de vibración es un factor importante, si la frecuencia de vibración es demasiado alta, puede causar daños a la estructura. Méndez A & Díaz J. (2017).

Este proyecto propone la modelación de una esa Vibratoria Unidimensional que es un dispositivo de medición y control que se utiliza para realizar análisis dinámicos de sistemas mecánicos con un grado de libertad. Esta mesa proporciona una forma sencilla de simular el comportamiento vibracional en un sistema reducido, el cual también permite medir y controlar la velocidad, la frecuencia y la amplitud de la vibración.

Para modelar la mesa se propone usar el software SAP2000 el cual ayudará con el diseño y un presupuesto de la misma para en un futuro ser construida en un laboratorio de dinámica de estructuras.

Capítulo 1. El problema

1.1 Título

Modelamiento y diseño de una mesa vibratoria unidimensional para simulación sísmica con modelos reducidos

1.2 Planteamiento del Problema

Los problemas estructurales por vibración pueden tener una variedad de efectos potencialmente dañinos en edificios, estructuras y equipos. Estos problemas pueden causar una disminución en la vida útil de los componentes estructurales, el daño estructural, la erosión de los materiales, el deterioro de la calidad de los productos, el aumento de los costos de mantenimiento y la inseguridad.

Además, las vibraciones estructurales pueden afectar el confort de los usuarios, lo que puede causar una disminución en la productividad y el bienestar general. También pueden crear problemas de ruido, y vibraciones no deseadas en los equipos.

Para evitar que las estructuras colapsen a futuro se ensayan dichas estructuras mediante modelos reducidos a escala donde se puede observar su comportamiento ante la excitación sísmica y así crear alternativas que puedan evitar esos problemas.

Así surge la necesidad de modelar y diseñar equipos y estructuras que soporten y amortigüen de la mejor manera posible estos fenómenos, minimizando las pérdidas humanas y materiales.

1.3 Formulación del Problema

Las excitaciones tipo sismo crean vibraciones y afectaciones en las estructuras, con el fin de reproducir sismos experimentalmente y prever los posibles daños de estructuras de construcción civil modelados a escala, la mesa vibratoria es una herramienta muy útil para dar soluciones a los problemas que se vean en dichos modelos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Propuesta modelación y diseño de una mesa vibratoria unidimensional que permita simular el comportamiento sísmico y obtener respuestas de estructuras reducidas.

1.4.2 Objetivos específicos

Modelación de una mesa vibratoria unidimensional mediante un software de elementos finitos que permita simular el comportamiento sísmico y obtener respuestas en estructuras reducidas.

Diseño de una mesa vibratoria unidimensional a partir del modelado en SAP2000.

Presupuesto del diseño de una mesa vibratoria unidimensional.

1.5 Justificación

La mesa vibratoria unidimensional es una herramienta de ingeniería que se utiliza para crear vibraciones de baja frecuencia. Esta herramienta se utiliza para realizar pruebas de vibración en diferentes materiales, dispositivos y productos, para analizar su resistencia a la vibración.

El diseño de la mesa vibratoria unidimensional es una tarea compleja, ya que la elección de los elementos que conforman su estructura debe ser capaz de soportar el peso del equipo, del modelo reducido a escala que se está probando, debe ser capaz de soportar las vibraciones sin que estas perturben la señal del ensayo que se esté realizando y aunado a ello que sea liviana para la elección de los equipos y el costo de los mismos.

El diseño de la mesa vibratoria unidimensional incluye la selección de los materiales adecuados para la construcción, los componentes de control de vibraciones, y los sistemas de montaje. Estos elementos de diseño deben cumplir con los requisitos de seguridad y eficiencia para asegurar que el equipo funcione correctamente.

El modelado de la mesa vibratoria unidimensional es una herramienta útil para estudiar el comportamiento de los sistemas mecánicos dinámicos. Esta herramienta permite a los ingenieros visualizar la propagación de movimiento a través del sistema a través de un modelo matemático.

Esto se logra mediante la modelación de la mesa vibratoria, que es una superficie plana que contiene una o más fuentes de vibración. Estas fuentes de vibración se pueden controlar para estudiar el comportamiento de los sistemas mecánicos.

Con la modelación, diseño y construcción a futuro de la mesa vibratoria, se podrá contribuir a la investigación de la respuesta de estructuras ante excitaciones aleatorias tipo sismo. Con lo anterior se ayudará a mejorar el desempeño de las estructuras reales partiendo de modelos reducidos a escala que previamente son ensayados experimentalmente en mesa vibratoria.

1.6 Alcance y limitaciones

El diseño y modelado son procesos esenciales para la creación de productos y servicios innovadores. Estas prácticas, sin embargo, tienen una serie de alcances y limitaciones, que deben ser consideradas al momento de diseñar un producto.

Los alcances del diseño y modelado se refieren a lo que se puede lograr con estas prácticas. Esto incluye el desarrollo y mejora de la funcionalidad, la usabilidad, la calidad y la seguridad de los productos, así como la identificación de soluciones innovadoras para problemas específicos. Estas prácticas también pueden ayudar a optimizar los procesos de fabricación, reducir los costos y mejorar la eficiencia.

En cuanto a las limitaciones, el diseño y modelado tienen sus propios límites, que deben ser considerados. Estas incluyen el tiempo y los recursos limitados para desarrollar un producto, los presupuestos ajustados para la fabricación de los productos, así como la imposibilidad de

predecir con exactitud el comportamiento del producto una vez que se encuentre en uso en el mercado. Además, los errores en el diseño y modelado pueden resultar en productos ineficientes o no deseados.

1.7. Delimitaciones

1.7.1 Delimitación espacial.

Espacio Geográfico Universidad Francisco de Paula Santander 4 meses aproximadamente.

1.7.2 Delimitación Temporal.

Este proyecto se realizará durante el final del primer semestre del 2023 y el segundo semestre del mismo año, a partir de la aprobación del proyecto.

1.7.3 Delimitación Conceptual.

El tema de esta investigación (Dinámica de estructuras) es visto en la universidad como una materia principal por los estudiantes de ingeniería civil. La propuesta de diseño de la mesa vibratoria permitirá que se conozca su costo para construirla a futuro y simular con ella en modelos reducidos para el complemento del aprendizaje.

Capítulo 2. Maco Referencial

2.1 Antecedentes y Estado del Arte

2.1.1 Antecedentes Empíricos

Hernandez Buitrago, A. (2017). Diseño e implementación de una mesa vibratoria para el estudio de los efectos de frecuencias naturales y de resonancia sobre estructuras mecánicas, para el departamento de diseño mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Este documento está orientado hacia el diseño y la construcción de una mesa vibratoria, con la cual se podrán realizar estudios sobre el efecto de las frecuencias naturales y de resonancia sobre estructuras mecánicas para el departamento de diseño mecánico de la universidad Francisco de Paula Santander.

Para su elaboración emplearon una tarjeta Arduino, la cual se encarga de controlar y regular los aspectos de funcionamiento del prototipo a implementar, acompañado de un sistema biela-manivela que establece el movimiento secuencial para generar las vibraciones.

Con dicho proyecto desarrollaron una herramienta para visualizar y estudiar el efecto que ejercen las vibraciones sobre las estructuras mecánicas.

2.2.2 Estado del Arte (Antecedentes Bibliográficos)

Leiva, C. J. E (2007). Realizó el diseño y la construcción de una mesa vibratoria unidireccional con actuador hidráulico en el laboratorio de estructuras de la universidad de Chile. Para lograr lo anterior realizó modelos previos de los que sería la mesa vibratoria en el programa SAP2000, con excitaciones externas de fuerza sinusoidal y registro del terremoto de Lolleo 1985 y donde estudio el análisis modal de la mesa.

La placa y el sistema de perfiles donde se apoya la misma son mostrados en Ilustración 1. Las dimensiones de la mesa son 2.1m x 1.3m x 0.2m, utilizando acero A37-24ES para su construcción. Los perfiles laterales y verticales forman perfiles en T con un ancho de alma de 100 mm y con tres líneas horizontales (en planta) de refuerzos. Posteriormente se coloca la placa con orificios cada 100 mm sobre los perfiles antes citados, con el fin de fijar el modelo a ensayar. Todas las conexiones están soldadas, exceptuado las conexiones a las guías lineales y al actuador hidráulico que se fijan con tornillos. El sistema de sujeción de los modelos a ensayar consta de tuercas soldadas al fondo de la placa de acero para poder roscar los pernos.

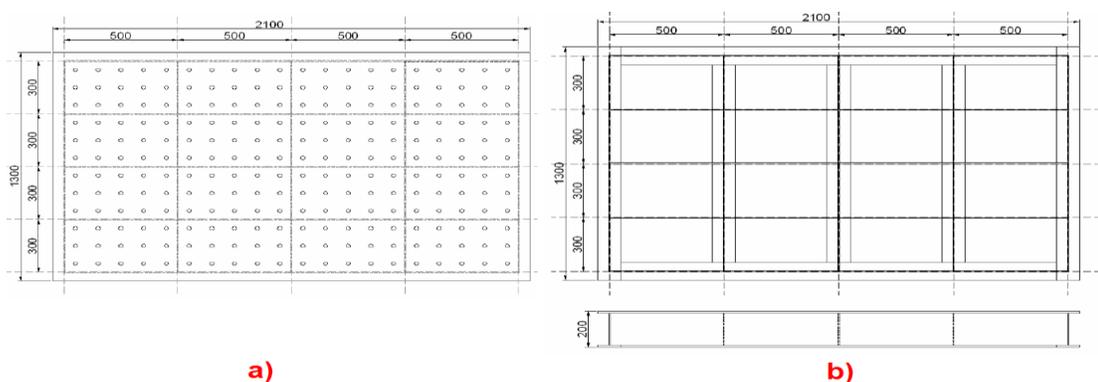


Ilustración 1. a) Vista en planta de placa y sus dimensiones, b) Geometría en planta y frontal de los perfiles de acero que soportan la placa. **Leiva, C. J. E (2007).**

La malla de elementos finitos realizado a la mesa vibratoria en el software SAP2000 es mostrado en la **Ilustración 2** y en la **Tabla 1** se muestran los periodos y las frecuencias del análisis modal.

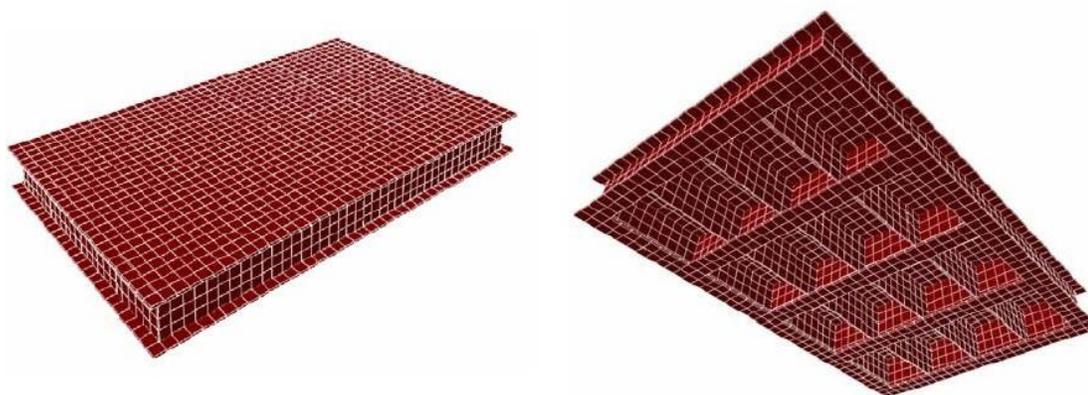


Ilustración 2. Malla de elementos finitos de la mesa vibratoria. *Leiva, C. J. E (2007)*

Tabla 1. Valores de periodos y frecuencias naturales de vibración de la mesa vibratoria.

Numero	Periodo (s)	Frecuencia (Hz)
1	259.1217	0.004
2	0.0062	162.575
3	0.0058	171.028
4	0.0056	178.571
5	0.0047	213.767
6	0.0043	230.840
7	0.0043	233.481
8	0.0040	247.893

Para el sistema oleohidraulico, fue escogido un actuador hidráulico de marca MOOG-Italia de doble acción, el cual utilizando a su 100% permite realizar simulaciones que alcanzan una frecuencia de 15 Hz. La carga del cilindro tanto para tracción como compresión es de 3.5 Ton, la velocidad del cilindro es de 0.6 m/s, aceleraciones de 1.0 g y carrera útil de ± 200 mm, presión máxima del sistema de 3000 psi.

Este cilindro es conectado a una central oleohidráulica (motor-bomba) perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil. Ésta es de caudal constante que entrega un flujo de 114 (1/min) a 3000 psi.

La construcción final de mesa vibradora y un esquema general se muestra en la

Ilustración 3.

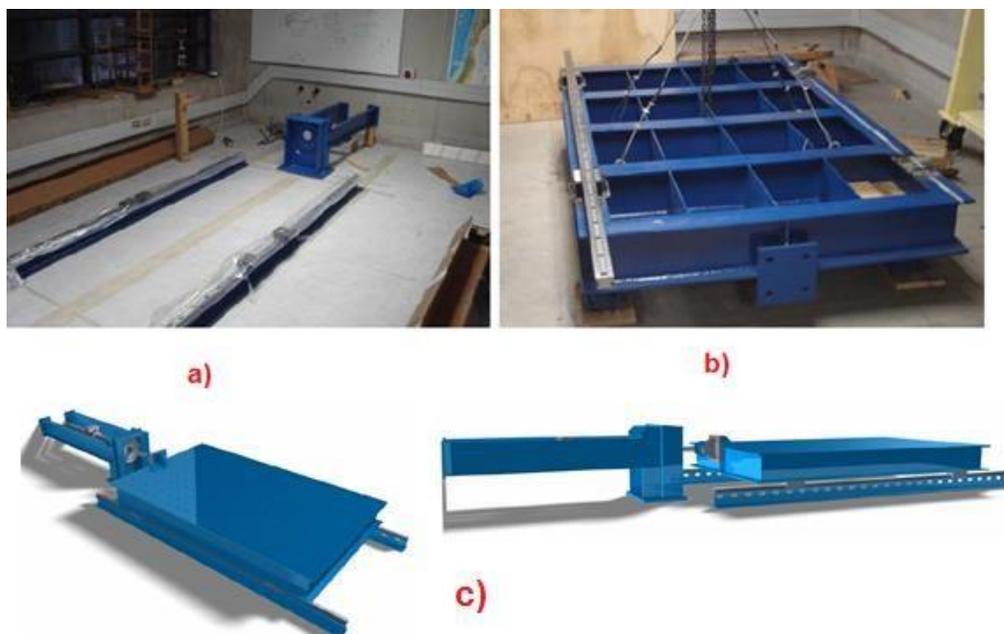


Ilustración 3. a) Sistema de rieles guías y soporte de actuador lineal hidráulico, b) entramado de perfiles que soportan mesa vibratoria, c) esquema general de mesa vibratoria. *Leiva, C. J. E (2007).*

Álvarez, R. J (2008). Diseño, construyó e implemento una mesa sísmica,vibratoria para la reproducción de sismos en estructuras a escala. Las mesas de un grado de libertad tienen dimensiones de 5m x 5m.

Para el diseño de la mesa sísmica se ejecutaron tres modelos diferentes en el programa SAP2000. El primer modelo se estableció en una configuración rectangular con perfiles secundarios rectos, lo que permitió ampliar la rigidez en la dirección donde se aplica la fuerza del actuador. Este estudio arrojó un peso total de la estructura de la mesa por unidad de área de 426,52 kg/m², lo que añadido al peso de la estructura metálica de la mesa vibratoria generó una fuerza de 12750 kg.

El segundo modelo fue realizado con el propósito de reducir el efecto de carga lateral, para lo cual presento una distribución con perfiles secundarios diagonales, que admite mayor rigidez en la dirección donde se aplica la fuerza del actuador. El tercer modelo presenta una distribución rectangular con perfiles secundarios ortogonales, lo que admite una mayor rigidez en la dirección donde se aplica la fuerza del actuador.

Los tres modelos analizados en SAP2000 se muestran en la **Ilustración 4**.

Dentro de la modelación el segundo criterio que tuvo en cuenta el autor fue la de un modelo de vivienda de 4mx4m, que junto con la estructura aporta un peso de 12.75 tn. Con el fin de conocer esfuerzos, momentos y deflexiones de la estructura al instante de ejecutar el ensayo dinámico sobre la mesa vibratoria.

Para los mismos tres modelos mencionados anteriormente se simuló la vivienda encima de la mesa vibratoria. Los cuales se muestran en la **Ilustración 5**. Finalmente, el autor adoptó el modelo tres, para la continuación de la construcción de la mesa vibratoria.

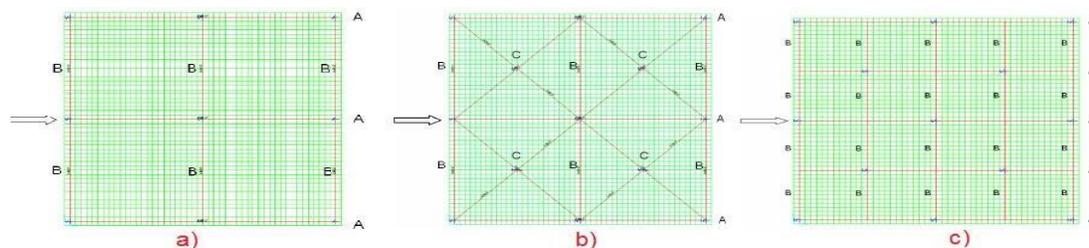


Ilustración 4. Modelación numérica de la mesa vibratoria, a) primer modelo, b) segundo modelo, c) tercer modelo. **Álvarez, R. J (2008).**

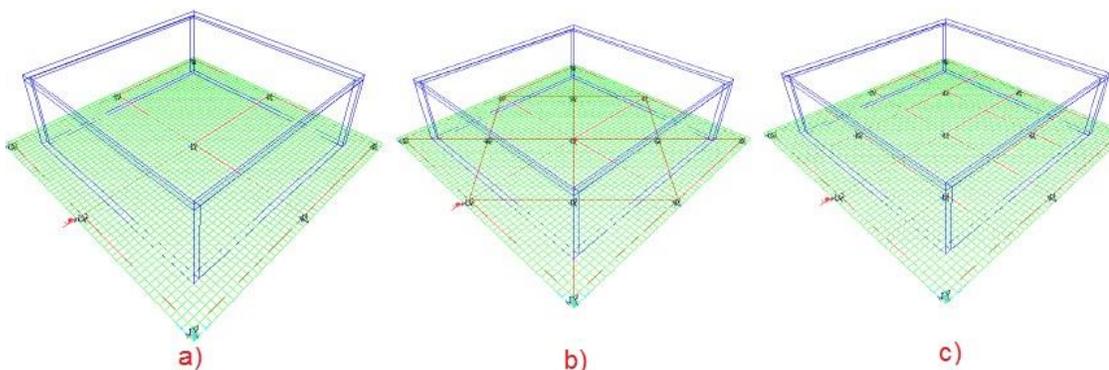


Ilustración 5. Modelación numérica de la mesa vibratoria con el modelo de vivienda, a) primer modelo, b) segundo modelo, c) tercer modelo. **Álvarez, R. J (2008).**

Los sismos generalmente tienen unas frecuencias predominantes de en el rango de 0 y 10 Hz, por lo que el autor en su modelo consiguió frecuencias fundamentales encima de ese rango anterior para minimizar la resonancia. El modo de vibración 2 y 3 se muestran en la **Ilustración 6**. El segundo modo con una frecuencia de 11.88 Hz y el tercer modo con una frecuencia de 15.379 Hz.

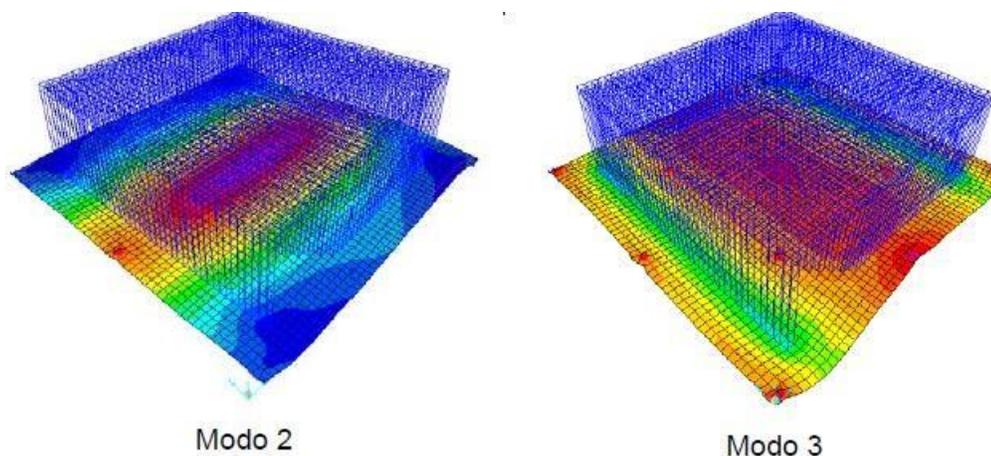


Ilustración 6. *Formas modales de la mesa vibratoria. Álvarez, R. J (2008).*

Los perfiles escogidos después de realizar los modelos fueron unos perfiles W10x12, los rodamientos Marca Danaher Motion, y sus características se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. *Especificaciones de los rodamientos.*

Marca	Danaher Motion
Modelo	SSUTWN24
Tipo	Super Smart Twin Pillow Block
Diámetro	1 ½"
Capacidad de carga en compresión	7760 lb =3523 kgf
Capacidad de carga en tensión	3880 lbf =1761.52 kgf
Factor de corrección, Ko	0.80
Capacidad de carga en compresión fact.	6208 lbf = 2828.4 kgf
Capacidad de carga en tensión fac	3104 lbf = 1409.22 kgf

Para darle movimiento a la mesa vibratoria el autor escogió un actuador hidráulico con capacidad de carga de ± 250 kN y con amplitud de desplazamiento de 250 mm, es decir de ± 125 mm. El peso del actuador es de 345 kg.

En la **Ilustración 7** se presenta el actuador hidráulico y el mismo conectado con la mesa vibratoria.



Ilustración 7. Actuator hidráulico y conexión del mismo a la mesa vibratoria. *Álvarez, R. J (2008).*

Para el sistema de control electrónico, se presenta un controlador digital MTS Flex test SE, utilizado para controlar de manera adecuada el simulador mediante un sistema base de programas y accesorios computacionales

Una vista en planta y una vista isométrica de la configuración de la mesa vibratoria se muestran en la **Ilustración 8.**

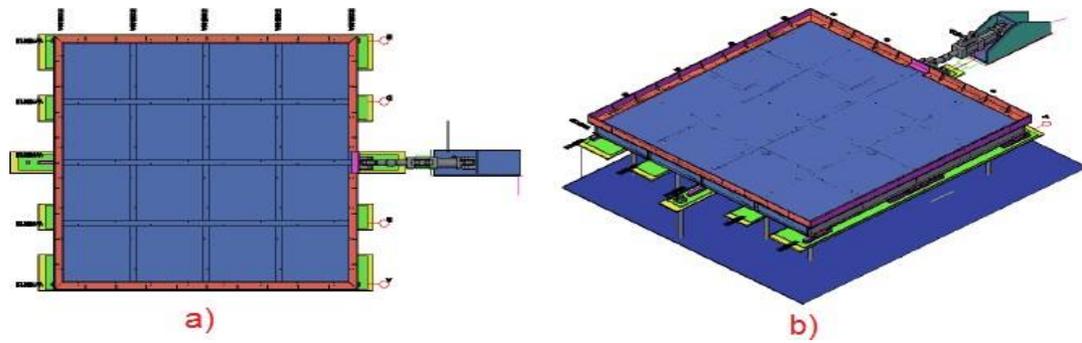


Ilustración 8. a) vista en planta de la mesa vibratoria, b) Isométrico esquemático de la mesa vibratoria. *Álvarez, R. J (2008).*

El montaje de la estructura de la mesa vibratoria y la mesa final ya construida la cual tiene una capacidad de soportar modelos a escala hasta 12500 kg, se muestra en **Ilustración 9**.



Ilustración 9. a) Montaje de la estructura de la mesa vibratoria de 5x5m, b) mesa vibratoria finalmente construida. *Álvarez, R. J (2008).*

En la **Ilustración 10** se presenta la mesa vibratoria de 5mx5m, junto con el modelo de la vivienda de 4mx4m instrumentado y construido a base de mortero cemento-arena (tecnovivienda) fijado sobre la placa principal instrumentando con medidores de desplazamiento (LVDT's). Para los ensayos se pensaron diferentes sismos reales y artificiales para conocer el manera real del sistema bajo diferentes eventos sísmicos, los sismos reales que consideraron

fueron el centro 1940, México 1985, Northridge 1994, loma prieta 1989, kobe 1995. Los sismos artificiales fueron funciones senoidal de 0.5 Hz, senoidal de 1.0 Hz, senoidal 1.22 Hz, senoidal 1.5 Hz, senoidal 2.0 Hz, senoidal 3.0 Hz.

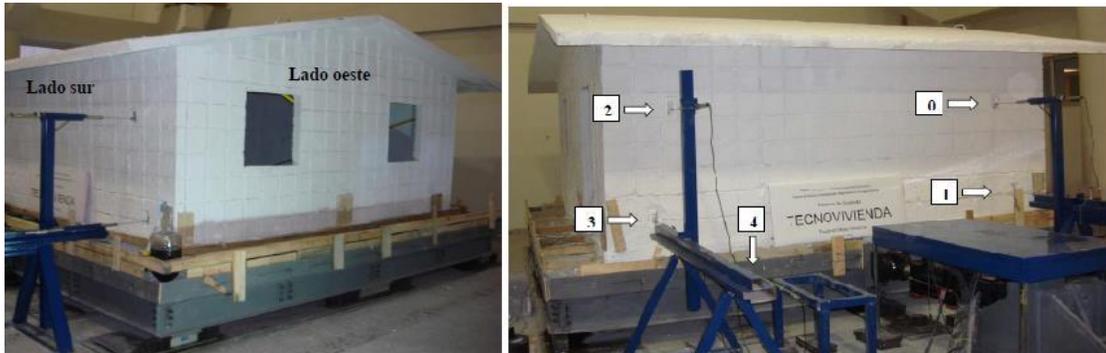


Ilustración 10. *Ensayo en la mesa vibratoria, con el modelo a escala debidamente instrumentado con LDVT's. Álvarez, R. J (2008).*

Coral, H. A. et al (2010). Diseñaron y construyeron un simulador sísmico uniaxial para modelos estructurales a pequeña escala. Exponen el diseño de cada pieza del simulador hasta obtener el prototipo final. Desde el modelo reconocido se diseñan los controladores de lazo de posición y velocidad, que transmiten al sistema el rendimiento requerido. Posteriormente, se hacen varias pruebas para la aprobación del simulador sísmico y se representa la interfaz de control remoto desarrollada en lenguaje Java, que consiente al usuario visualizar los registros obtenidos de la prueba, delimitar las señales de excitación y observar el video online desde Internet.

El dispositivo que mueve la mesa vibratoria consiste esencialmente en un motor que se desliza a través de un sistema de rodamientos lineales y se fija firmemente a una placa de aluminio o zona de carga de la mesa vibratoria (donde se instala la estructura). El movimiento del motor es monitoreado y controlado por un servo controlador que recibe una señal de

referencia de desplazamiento y ; una señal de retroalimentación de un codificador lineal que mide los desplazamientos de la mesa vibratoria. La señal de referencia se genera en una computadora y se envía en forma de voltaje a través de una tarjeta de control y adquisición de datos al servocontrolador.

En la **Ilustración 11** se muestra un diagrama esquemático de la mesa vibratoria, que fue construida en la universidad del valle, Colombia.

Los parámetros de la mesa vibratoria se muestran en la **Tabla 3**.

Para el sistema de rodamiento lineal, escogieron un cojinete de recorrido suave, bajo costo, bajo valor de coeficiente de fricción y velocidades hasta 2m/s. Estos cojinetes se desplazan por un par de guías lineales de perfil redondo condos cojinetes en cada guía, capaz de soportar hasta 32000 N.

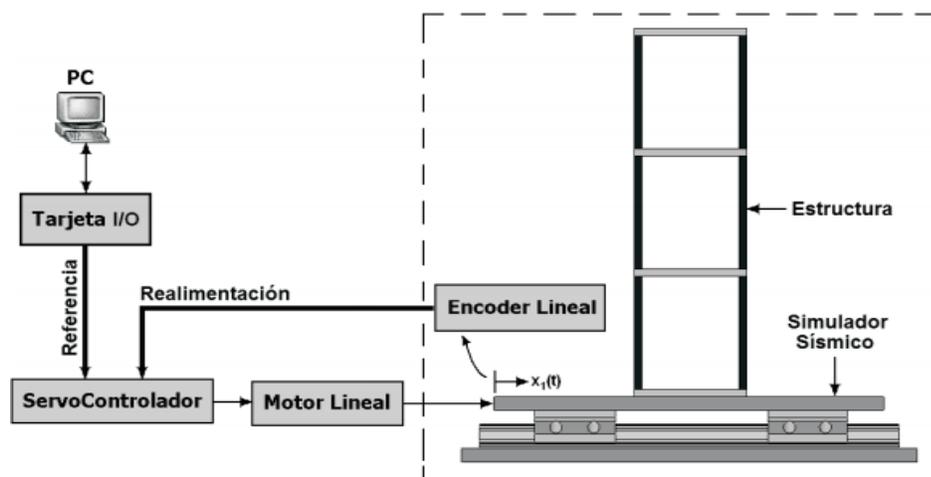


Ilustración 11. Diagrama esquemático del funcionamiento de la mesa vibratoria. Coral, H. A. et al (2010)

Tabla 3. *Especificaciones del simulador sísmico.*

Especificación	Valor	Unidades
Dimensiones del área de carga	50x50x1.2	cm
Dimensiones de la base	60x50x1.2	cm
Máxima capacidad de carga	20	Kg
Recorrido máximo	15	Cm
Ancho de banda	20	Hz
Aceleración pico	2.5	gals

Para generar el movimiento escogieron un motor lineal que tiene una fuerza continua y pico de 1255N y2500N respectivamente, para mover una estructura de 20 kg de forma continua hasta 25m/s^2 para cumplir fácilmente con sus requerimientos.

El servo escogido es un encoder lineal para medir desplazamientos hasta 21 cm, salidas diferenciales tipo RS-422 y velocidad máxima de 4m/s.

El material donde será el área de carga se diseñó de aluminio por ser un material liviano y de rigidez suficiente para la aplicación.

Las partes internas del diseño de la mesa vibratoria se muestran de forma esquemática y la mesa construida se presenta en la **Ilustración 12.**

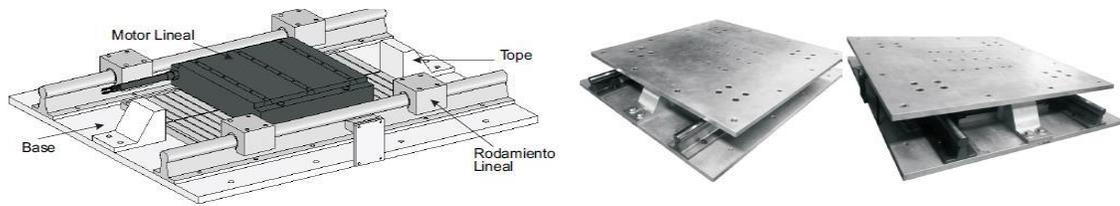


Ilustración 12. *Partes esquemáticas de simulador sísmico y construcción final de la mesa vibratoria. Coral, H. A. et al (2010).*

Entre las conclusiones finales tenemos que el simulador sísmico logra soportar prototipos de diferentes pesos sin presentar magnas variaciones en su estabilidad y desempeño. El simulador sísmico forma parte del laboratorio remoto de ingeniería sísmica y dinámica estructural de la Universidad del Valle y puede ser tele-operado a través de Internet a través de una interfaz de control remoto desarrollada en Java. Este método permite a personas con movilidad reducida o instituciones con pocos recursos financieros y/o logísticos fomentar la capacidad investigativa y aumentar las habilidades prácticas desde cualquier lugar con acceso a Internet.

Clavijo, C.J.C y Ramírez. C. L. R. (2011). Diseñaron, modelaron y simularon una mesa sísmica unidireccional hidráulica en la universidad industrial de Santander. En su diseño la plataforma del simulador tiene un peso de 529 kg, y el peso máximo a soportar en los modelos reducidos es de 1000 kg. Los escritores esclarecen que por lo general la gran parte de los investigadores en este campo recomiendan el uso de una masa de reacción grande, cerca de 30 a 50 veces la masa del simulador, para evitar la transmisión de vibraciones a las estructuras circundantes causadas por los movimientos del simulador. plataforma sísmica y estructura de prueba.

En la **Ilustración 13** se muestra un esquema de la masa de reacción, modelada en el programa ANSYS.

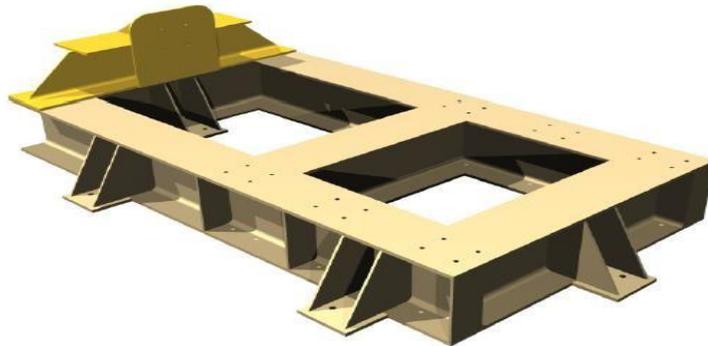


Ilustración 13. Masa de reacción. *Clavijo, C.J.C (2011)*

En la anterior figura, la masa de reacción está formada por una estructura de acero hecha por tres travesaños de 1280 mm, dos vigas longitudinales de 2900 mm y cinco vigas base de perfil HEA 400. Adicionalmente en el marco (perfil HEA 400), se perforaron 24 orificios de 11/16" de diámetro, los cuales sirven como anclajes para los rieles del sistema corredizo (rieles), cuenta con un perfil HEA 320, el cual sirve como soporte principal para el actuador hidráulico (color amarillo en la figura anterior), todo el conjunto del marco de soporte está anclado y reforzado, utilizando lámina HR de 1/2" de espesor.

Las frecuencias obtenidas de la mesa de reacción a través del programa ANSYS, fueron las siguientes: 290.76 Hz, 426.38 Hz, 489.39 Hz, 501.38 Hz, 501.79 Hz y 543.19 Hz. Observando que las frecuencias de vibración de la mesa están muy por encima de las frecuencias de excitación de algunos sismos que varían de 0-10 Hz.

La mesa del simulador sísmico tiene dimensiones de 1500mm x 1500mm, las cuales son adecuadas para analizar y estudiar modelos de gran esbeltez, a una escala de $1/4$ ($\lambda_L=4$). La placa tiene agujeros espaciados a cada 92 mm aproximadamente para ayudar a la sujeción de los modelos reducidos a ensayar.

Para el sistema de rieles guías utilizaron 6 soportes de marca THOMSON de referencia XSR-48 cada uno de longitud 12 pulgadas, 2 guías de 3 pulgadas de diámetro y de longitud 64 pulgadas.

Para los rodamientos utilizaron 4 unidades de referencia XR-48-OPN extra rígidos de marca THOMSON. El peso total del sistema de deslizamiento es de aproximadamente 290 kg.

Para excitar la mesa, escogieron un actuador hidráulico referencia MTS modelo 244.21 que da de fuerza 50 kN y presión hidráulica de 3000 psi. El sistema servo-hidráulico de la mesa sísmica, fue seleccionado con los requerimientos sísmicos para reproducir sismos de máxima aceleración de 0.51g, máximo picode velocidad 76.94 cm/s y máximo picode desplazamiento 21.20 cm.

El esquema final de la mesa vibratoria con sus partes esenciales se muestra en la

Ilustración 14.

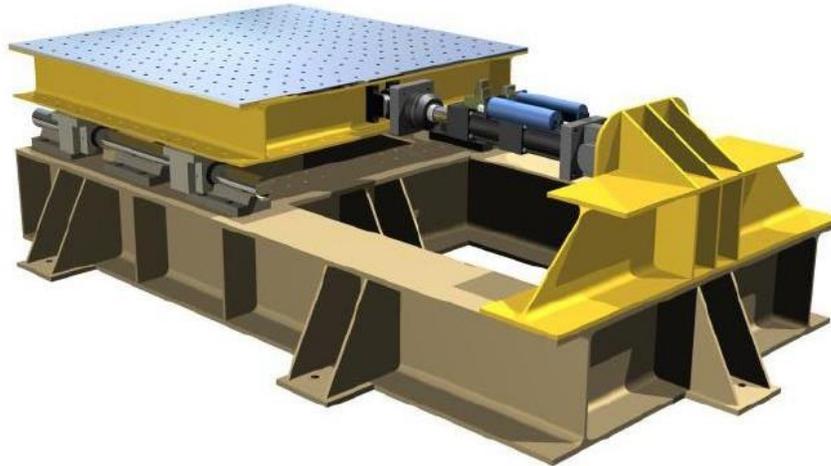


Ilustración 14. Montaje general de la mesa vibratoria. *Clavijo, C.J.C (2011).*

J.T.O' Hagan. y Q.T.Ma. (2012). Investigaron en una mesa vibratoria, la cual consiste en una plataforma rígida que transmite una aceleración absoluta a los modelos a escala que son montados sobre la misma. La finalidad de la mesa vibratoria es simular el movimiento durante un terremoto. La mesa vibratoria tiene un solo grado de libertad en la horizontal, la cual es excitada por un pistón servo hidráulico, como se muestra en la **Ilustración 15**. Esta mesa vibratoria está ubicada en la universidad de Auckland en nueva Zelandia.

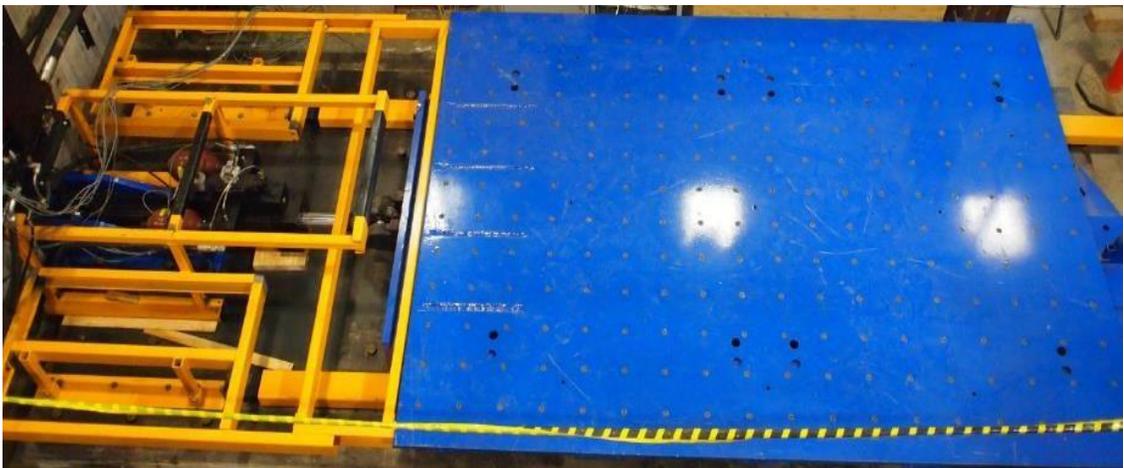


Ilustración 15. Configuración de la mesa vibratoria Uniaxial. *J.T.O' Hagan. Y Q.M. Ta. (2012).*

El desplazamiento máximo de la mesa es de ± 200 mm, la máxima fuerza que experimenta la mesa debido al pistón servohidráulico es de 262 kN y una velocidad de 0.276 m/s. Las dimensiones de la plataforma son de 3.6m de largo por 2.4m de ancho, con un peso aproximado de 5 toneladas. Esta se encuentra sobre unos rodamientos lineales que soportan una carga máxima de 10 toneladas.

La mesa vibratoria ha servido para diferentes tipos de investigación que simulan construcciones a escala de las construcciones civiles afectadas por las excitaciones externas como son los sismos.

Carrillo, J et al, (2013). Se presentan los resultados de la evaluación del diseño de una mesa vibratoria para estructuras en escala reducida de 1,1 m2. El escrito contiene diseños de control, de adquisición de datos, neumáticos y mecánicos. Inicialmente, se socializa el proceso de operación y diseño de mesas vibratorias y se presentan las medidas de diseño de la mesa vibratoria propuesta. La evaluación incluye el análisis de efectividad y la durabilidad de componentes mecánicos, como placas, soportes, pernos y rodamientos, así como el tiempo de sostenimiento. Finalmente, se muestran las aplicaciones y restricciones del instrumento experimental desarrollado, y posibles mejoras para futuras simulaciones y diseños.

En la **Tabla 4** se muestran algunos parámetros de la mesa vibratoria. En la **Ilustración 16** se muestra en el ítem a) el esquema general de la mesavibratoria y en el ítem b) se muestra el esquema de la cimentación.

Los autores realizan dos análisis de costos para la mesa vibratoria uno para un sistema neumático el cual arroja como resultado 10.93 salarios mínimos mensuales vigentes de 2012 incluyendo el IVA, lo que da un total de \$6.193.820, para el sistema hidráulico el estudio dio como resultado 48.09 SMMV dando un total de \$27.250.720.

Dentro las conclusiones los investigadores comentan que la mesa vibratoria se usara como apoyo tanto de las actividades académicas del programa de ingeniería civil, como en los proyectos de investigación que se desarrollan en el laboratorio de estructuras de la Universidad militar nueva granada UMNG. Por ejemplo, la mesa permitirá estudiar los efectos de los sismos y desarrollar recomendaciones para análisis, diseño y rehabilitación de estructuras sismo resistentes.

Tabla 4. *Parámetros de diseño de la mesa vibratoria.*

Parámetro	Descripción
Peso máximo sobre la mesa	10 kN
Grados de libertad	1 (horizontal)
Desplazamiento máximo	± 100 mm
Velocidad máxima	40 m/s
Aceleración máxima	± 1g
Frecuencia máxima de operación	15 Hz

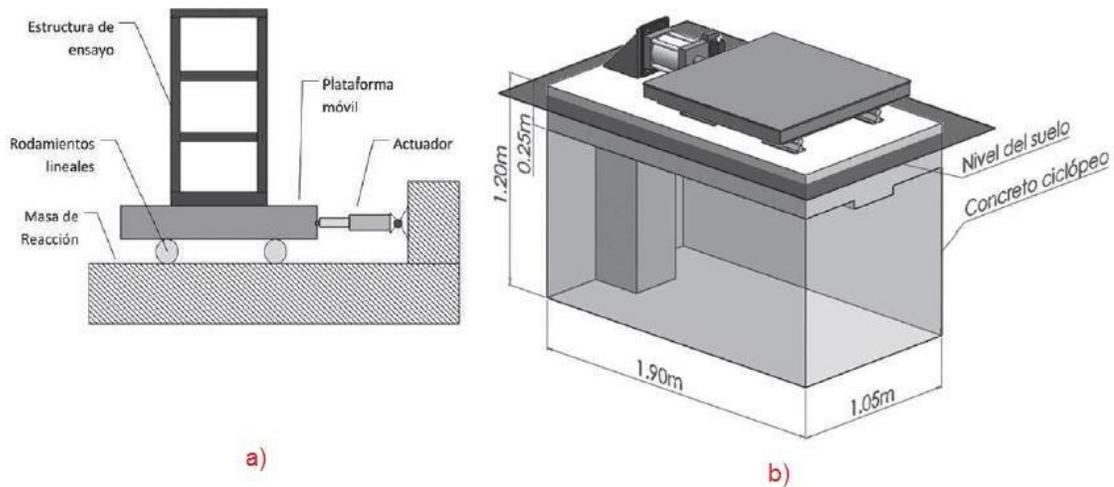


Ilustración 16. a) Esquema general y b) cimentación de la mesa vibratoria. *Carrillo, J et al. (2013)*

Romero, N. (2016). Desarrolló un sistema de mesa vibratoria operada por un método neumático que cumple con las medidas determinadas en peso y la simulación de estructuras a escala. Para testar la mesa vibratoria se construyeron estructuras de diferentes escalas de las que se despegaron datos para confirmar los objetivos trazados. En la implementación de sensores para análisis dinámico se puede representar tanto gráficamente en tiempo real como enviando datos numéricos a software especializado para su posterior estudio. A partir de los resultados representativos del análisis dinámico experimental mediante acelerómetros y flex-sensor que sirven para una visión teórico-práctica de la comunidad estudiantil y la dinámica estructural.

En la **Ilustración 17** se muestra un modelo a escala empotrada sobre la mesa vibratoria que se construyó en la universidad de Ambato.



Ilustración 17. a) Mesa vibratoria, b) modelo a escala empotrado en mesa vibratoria. **Romero, N. (2016).**

Ayllon. L. (2017). Construyó una mesa vibratoria en acero A-36, de 60x60 cm, la cual se presenta en la **Ilustración 18**. La plataforma cuenta con perforaciones de 3/8" espaciados a cada 10 cm, de manera simétrica, con el propósito de colocar y sujetar los modelos reducidos a escala para posteriormente ser ensayados. Esta mesa descansa sobre cuatro rodamientos lineales, los cuales tienen una capacidad de carga dinámica de 260N y una carga estática de 400N. La cimentación consiste en una estructura metálica compuesta por ángulos en C de 2x1", la cual soporta la mesa de 60x60cm y el excitador (cilindro neumático), con desplazamiento máximo de ± 45 mm. El sistema de aire está alimentado por un compresor neumático de 2 HP, capacidad de 50L, presión de 8 bar. La mesa es controlada con tarjetas arduinoladas que realizan la interfaz entre el computador (entorno simulink de matlab) y la mesa, además de la adquisición de datos con dos acelerómetros 6050, uno en la mesa y otro en el modelo a ensayar.

Los parámetros de la mesa vibradora se muestran en la **Tabla 5**.

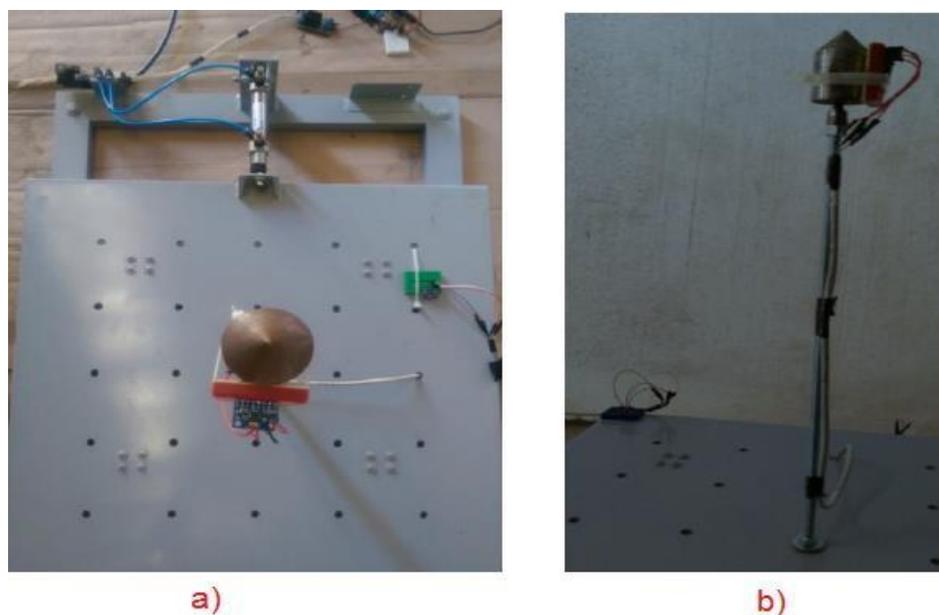


Ilustración 18. a) vista en planta de la mesa vibratoria, b) vista lateral de la mesa vibratoria con instrumentación y modelo a escala de un grado de libertad. *Ayllon. L. (2017).*

Tabla 5. *Parámetros de la mesa vibratoria.*

Parámetros	Descripción
Peso máximo de la mesa	30 kg
Grados de libertad	1 (horizontal)
Desplazamiento máximo	± 45 mm
Aceleración máxima	± 1 g
Frecuencia máxima de operación	12 Hz

Para el modelo reducido, se utilizó una masa concentrada de 0.34 kg y para las columnas se utilizaron varillas de 40 cm de largo y diámetro de 3/8" roscadas en sus extremos. Los ensayos experimentales de aceleración absoluta comparados con la aceleración absoluta utilizando el método de Newmark se indica que los resultados son cercanos.

Entre las conclusiones del autor, dice que el proyecto abrirá diversas líneas de investigación, ya sea para la educación de pregrado o posgrado y diversas pruebas como resonancia, fuerza cortante en la base, obtención de espectros de respuesta del sistema, entre otras.

Coronado, M. G (2017). El SENA centro de tecnologías para construcción y la madera CTCM, adquirió una mesa vibratoria bidireccional, después de realizados los análisis técnicos y económicos la cual se muestra en la **Ilustración 19** .

La ciencia de estudio de la mesa en relación y bajo modelamiento a escala generó características básicas y estudios previos. Partiendo de semilleros para ejecutar modelos de otros volúmenes de estructuras las cuales estarán sometidas a simulación sísmica en la mesa vibratoria con el fin de identificar sus procedimientos y componer el análisis de los resultados y los diferentes cálculos para beneficio académico y general.

El equipo adquirido por el SENA se constituye a dos mesas las cuales se acoplan una encima de la otra, de tal manera que una se mueve en dirección X y la otra en dirección Y para acercar el movimiento a lo que realmente sucede durante un terremoto.

El desplazamiento máximo de cada mesa puede ser de 7,6 cm a cada lado con relación al centro, para totalizar un desplazamiento de 15,2 cm. La mesa de ensayos posee sensores para calcular desplazamientos y aceleraciones, y está controlada por una computadora. El programa manejado es MatLab, se comienza ejecutando una configuración donde se enseña el peso de la

sección a ensayar en la mesa. Para simular movimientos que logran corresponder a un diseño presentado o a la réplica de sismos históricos reales se utilizan modelos del programa Simulink.

Se pueden realizar variaciones en la frecuencia y la amplitud en el caso de movimientos diseñados; todo esto para certificar el comportamiento de las estructuras (diseños y materiales) en diferentes circunstancias.

En conclusión, la mesa es de utilidad para que aprendices e investigadores del SENA, asimismo de compañías del sector productivo concerniente con la construcción, se prueban a escala otros diseños para comprobar su conducta y tomar las pertinentes medidas disciplinarias para que al exponerse al movimiento sísmico no ocurra el colapso de las estructuras, este ejemplo de investigaciones y ejercicios académicos, además de optimizar las habilidades y perfiles de los practicantes, le dan a la sociedad en general desde el diseño de la ingeniería y arquitectura de sus ciudades una base de conocimiento y cultura de seguridad y prevención.

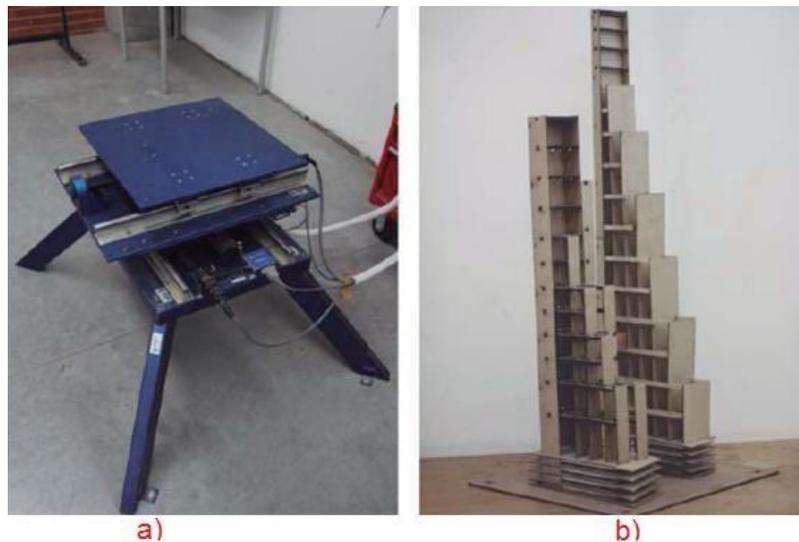


Ilustración 19. a) Mesa vibratoria en dos direcciones X e Y adquirida por SENA, b) maqueta en madera para ensayar en mesa vibratoria. **Coronado, M. G (2017).**

Lehmann, A. et al (2019). Montaron una mesa vibratoria y la construyeron en el laboratorio de dinámica de la Universidad de Buenos Aires, para la ejecución y estudio de pruebas dinámicas en prototipos y modelos a escala. Los autores presentan una selección de piezas mecánicas, entre ellas un actuador, un diseño de soporte estructural y una pieza deslizante en función de las características deseadas de los modelos y acelerogramas, cuyo comportamiento pretenden simular. En cuanto a los ensayos, brindan consideraciones para la implementación de modelos a escala, parámetros y limitaciones impuestas por las condiciones dinámicas de similitud, es necesario diseñar materiales y masas especiales para satisfacer estas condiciones.

En la **Ilustración 20** se presenta un diseño del esquema general de la mesa unidireccional impulsada por un excitador electromecánico, con costo menor a los disponibles en el mercado.

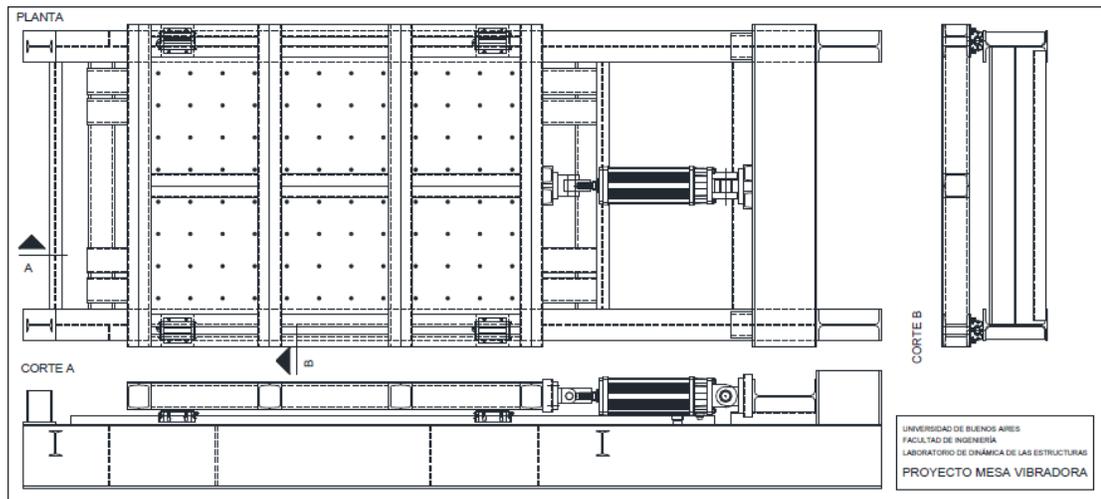


Ilustración 20. Esquema general de la mesa vibratoria construida en la facultad de ingeniería universidad buenos aires FIUBA. *Lehmann, A et al (2019).*

A partir de un estudio de casos surgieron los siguientes parámetros de diseño de la mesa, los cuales se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. *Parámetros de la mesa vibratoria construida en la FIUBA.*

Parámetros	Descripción
Dimensión placa móvil	2.00m x1.50 m
Máxima fuerza del excitador	10 tn
Máxima velocidad requerida	1 m/s
Máximo desplazamiento pistón	12 cm
Máximo peso del modelo	6 tn
Grados de libertad	1 (horizontal)

Para el diseño de la placa móvil de gran rigidez, se realizó un modelo de elementos finitos, donde su frecuencia natural fundamental dio de 18.4 Hz, teniendo en cuenta que los cuerpos que tiene periodos 0.06 seg, se pueden considerar rígidos, se concluye que la placa móvil no va interferir en las mediciones que se les realicen a los modelos a escala. En la **Ilustración 21** se muestra el diseño de la placa móvil y en la **Ilustración 22** se presenta el primer modo de vibración y la máxima deformación de la placa. Las características de la placa son las siguientes:

Dimensiones en planta: 2.00m x 1.50m

Altura de los perfiles perimetrales y centrales: 120mm
Espesor de la placa superior de acero: 5/16"

Peso propio máximo: 500 kg

Peso del modelo a soportar: 6000 kg

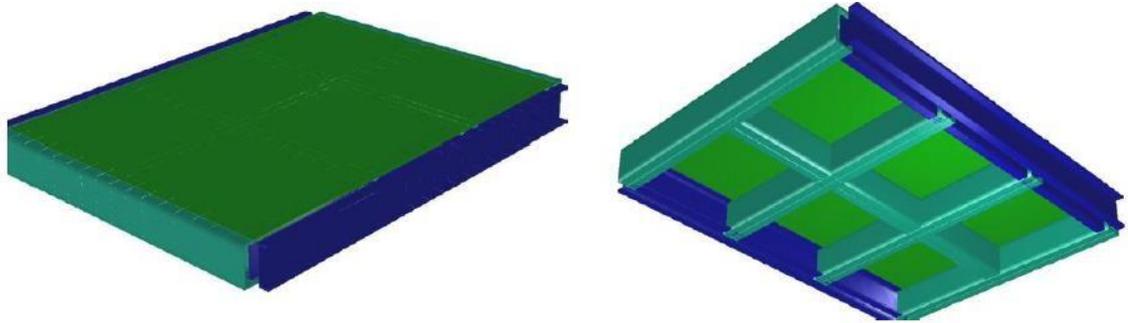


Ilustración 21. Geometría de la placa móvil, junto con los perfiles. *Lehmann, A et al. (2019).*

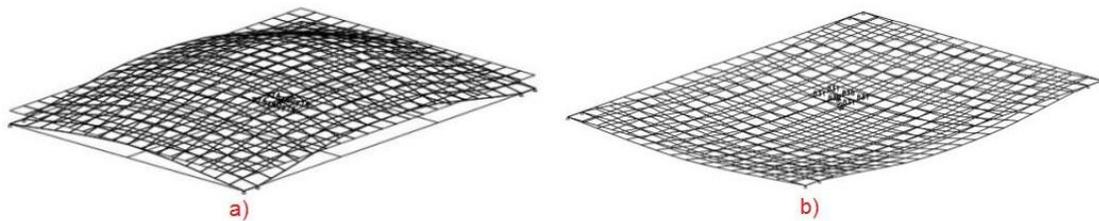


Ilustración 22. a) Primer modo de vibración de la placa, b) Deflexión máxima de la placa. *Lehmann, A et al (2019).*

Para el sistema de guía se optó por el sistema de carriles y rodamientos de bolas. Todo el sistema está formado por dos carriles guía sujetos a altas vigas metálicas fijadas al suelo, sobre las que se deslizan cuatro rodamientos, dos por cada bloque, de baja fricción y gran capacidad de carga conectados a las placas metálicas móviles.

El sistema de control es completamente eléctrico, lo que proporciona comunicación bidireccional en tiempo real entre el sistema y el excitador. Para suministrar la señal de control analógica se utilizó una placa de adquisición de datos, desarrollada bajo el entorno MatLab.

Por ultimo presentan el montaje final de la mesa vibradora la cual se presenta en la figura

Ilustración 23.

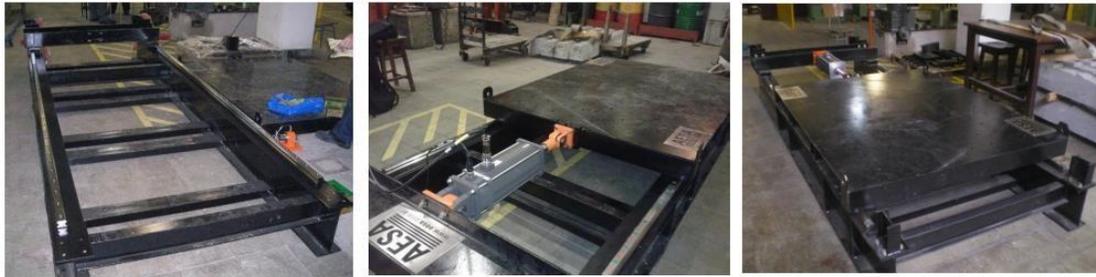


Ilustración 23. *Construcción final de la mesa vibratoria de la FIUBA. Lehmann, A et al (2019).*

Dy Cornejo, K. I. (2021). Consiste en el diseño de una mesa vibratoria a un eje y desarrollo de su simulación computacional. Este estudio se centra en el diseño de una mesa vibratoria de un solo eje y el desarrollo de su simulación computacional.

Cada una de las distintas partes de los diseños de la mesa vibratoria se detallan mientras se discuten las consideraciones en el proceso de fabricación y montaje. Como parte de una simulación híbrida en tiempo real, se desarrolla una simulación computacional, así como para proporcional a una comprensión de las capacidades de la mesa vibratoria diseñada. Debido al retraso inherente en simulaciones híbridas en tiempo real con sistemas servo hidráulicos, un método de compensación de retardo.

Se incorpora al modelo numérico una compensación conocida como compensación de Serie Temporal Adaptativa. Como un resultado, se logra un control preciso del actuador en la simulación y una mejor comprensión de sus capacidades.

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Mesas Sísmicas

La Ilustración 24, muestra una mesa vibratoria esta es una plataforma generalmente construida de metal, y sostenida por una base de concreto, la cual a través de controladores (computadoras) y acciones electromagnéticas, mecánicas o hidráulicas, logro expresar con precisión el movimiento sísmico u otras características, similitudes con satisfacer las leyes. escalar señales de entrada de desplazamiento, aceleración y frecuencia, procedentes de uno o más de sus componentes, o de acelerogramas registrados.

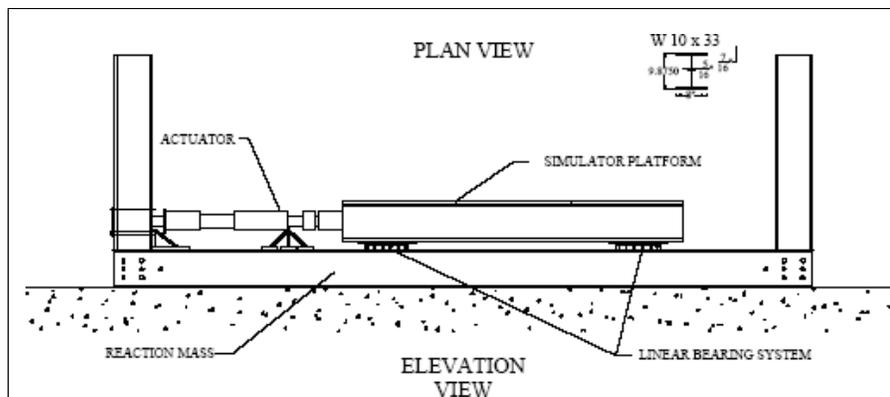


Ilustración 24. *Diseño de un simulador sísmico. Lozano Vallés, PF (2014).*

Las mesas sísmicas cerradas controladas dinámicamente pueden tener hasta seis grados de libertad, correspondientes a tres desplazamientos y tres rotaciones del cuerpo rígido. Las características técnicas de los mapas sísmicos se definen principalmente por sus dimensiones, el número de grados de libertad, aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos, capacidad de carga entre otros. Como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Características técnicas de las mesas vibratorias a nivel mundial. Fuente Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011). Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Universidad Industrial de Santander.

Mesas vibratorias instaladas	Dimensiones m(ft)	Límite de carga KN (lb)	a max g ²		d max		f max Hz
			Hor	Ver	Hor	Ver	
Pequeñas (- 10 ft)							
Universidad de Stanford	1.5 x 1.5				6.35		
	(5 x 5)	22.2 (5000)	5	-	(2.5)	-	50
Universidad Rice	1.5 x 1.5				7.62		
	(5 x 5)	6.67 (1500)	6	-	(3.0)	-	70
Universidad de Calgary	1.4 x 1.4				7.62		
	(4.5 x 4.5)	8.9 (2000)	20	-	(3.0)	-	-
Medias (10 – 30 ft)							
Universidad de California en Berkeley	6.1 x 6.1				12.7	5.08	
	(20 x 20)	444.8 (100000)	1.5	1	(5.0)	(2.0)	15
Universidad de Illinois	3.65 x 3.65 (12 x				10.16		
	12)	44.8 (10000)	7	-	(4.0)	-	100

Corporación americana de ingenieros	3.65 x 3.65 (12 x 12)	53.38 (12000)	34	60	(2.2)	(1.8)	200
Universidad estatal de Nueva York en Buffalo	3.65 x 3.65 (12 x 12)	195.7 (44000)	4.2	8.7	(6.0)	(3.0)	60
Grandes (+ 30 ft)							
Centro nacional de investigaciones (Japón)	15.24 x 15.24 (50 x 50)	4448.2 (1000000)	0.6	1.0	(1.2)	-	16
	30.5 x 30.5 (100 x 100)	17792.9			15.24	7.62	
Berkeley – Propuesta	100)	(4000000)	0.6	0.2	(6.0)	(3.0)	-

Donde a = aceleración, d = desplazamiento, f = frecuencia.

Las mesas vibratorias, permiten simular en equipos y estructuras fenómenos como:

- Efectos de carga
- Características de respuestas dinámicas bajo excitación real (de baja amplitud, produciendo respuesta inelástica y

fisura)

- Mecanismos de fisura
- Efectos de masa e irregularidades de rigidez
- Torsión y efectos de volcadura
- Inestabilidad dinámica
- Idealización de los efectos de la base de la estructura

2.3.2 Principales Componentes De Una Mesa Sísmica

En la **Ilustración 24**. Se presentan los elementos básicos que componen una mesa sísmica:

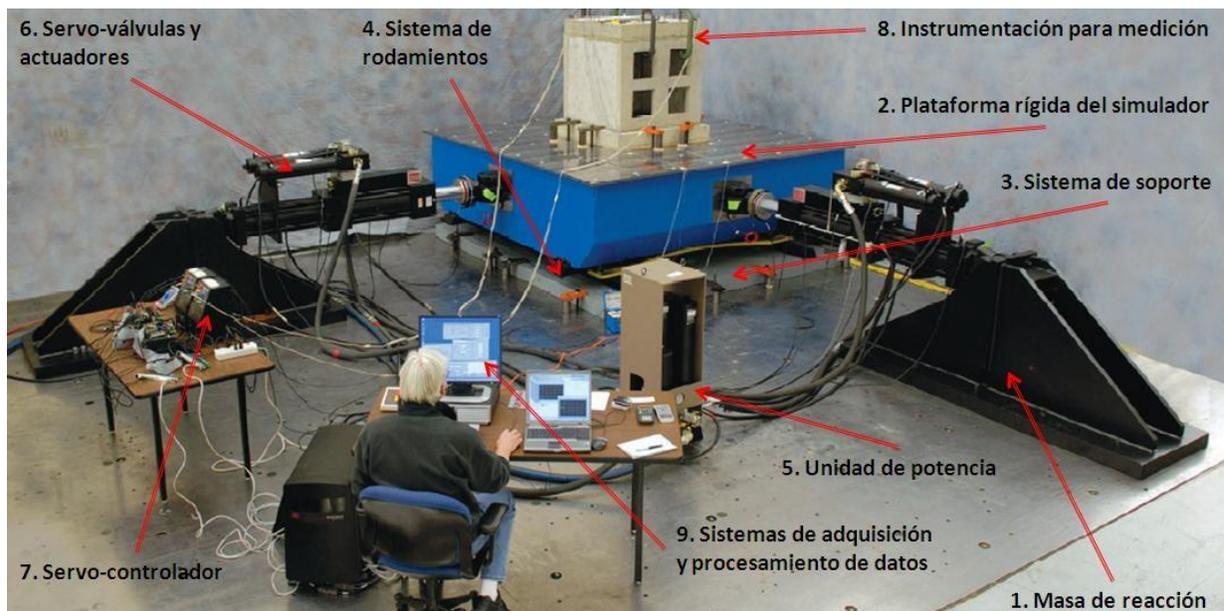


Ilustración 25. Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Universidad Industrial de Santander. Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011).

2.3.2.1 Masa de reacción. En una prueba de simulador, el actuador debe estar sujeto sobre la masa de reacción, lo que permite que la fuerza del actuador actúe sobre ella. Esta masa también

se utiliza como soporte para todo el sistema del simulador (placa, sistema de rodamiento lineal, actuador de válvula y servo), y se fija al suelo del laboratorio. La configuración de la masa de reacción cambia según el movimiento (grados de libertad) de la mesa sísmica.

2.3.2.2 Plataforma rígida del simulador. Para el anclaje del modelo a simular se facilita la plataforma que está montada mediante cojinetes lineales a la masa de reacción, y su movimiento está registrado por el movimiento del actuador: la plataforma del simulador debe ser suficientemente rígida en dos partes. Se diferencia de uno determinado por su movimiento. Además, su peso debe ser el adecuado para reducir el efecto de los golpes en la mesa del modelo.

Esta plataforma cumple tres condiciones:

La frecuencia natural de la plataforma debe ser 3 o 4 veces mayor que la frecuencia máxima de la mesa de operaciones.

La masa de esta plataforma debe ser lo más ligera posible, para minimizar las fuerzas de inercia que el actuador puede imponerle debido al movimiento. Cuanto mayor sea la aceleración de la mesa, menor debe ser su peso.

La plataforma debe ser lo suficientemente rígida para evitar que se deslicen movimientos de rotación excesivos.

2.3.2.3 Sistema de soporte. Este sistema proporciona una superficie de rodadura para la plataforma de simulación, entre los métodos utilizados en estos sistemas encontramos actuadores

verticales, sistemas de aire a presión, película de aceite y sistemas de rodamientos lineales.

Independientemente del sistema, es necesario contar con estas características;

Baja fricción para minimizar la distorsión de la respuesta deseada en simulaciones estructurales.

Rigidez que limita el movimiento más allá de la simulación, por ejemplo, la rotación. Con una gran capacidad de carga, el modelo a escala puede completar estudios sin aumentar los efectos de fricción en el movimiento de la plataforma.

2.3.2.4 Sistema de rodamientos lineales. Suministra una superficie de translación para la plataforma del simulador, para movimiento a baja fricción. Dentro de estos sistemas encontramos:

En la **Ilustración 26**. Podemos ver los rodamientos de movimiento lineal: Son bloques de rodamientos. Rodamientos de JET RAIL.



Ilustración 26. Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. Universidad Industrial de Santander. Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011).

2.3.2.5 Unidad de potencia. Este es el sistema que dará los datos de fuerza y aceleración y

frecuencia a la tabla sísmica, dentro de los tipos de unidades posibles, encontramos sistemas de potencia mecánicos (levas, resortes, etc.), sistemas eléctricos y sistemas hidráulicos. fuerza

Esta es una de las mejores opciones, porque nos da mayor confianza en la reproducción precisa de los movimientos y dinámicas sísmicas. Este sistema consta de una fuente de energía hidráulica que proporciona un sistema de presión constante a través del fluido hidráulico. En la fuerza de la unidad encontramos otros elementos como:

- Mangueras
- Acumuladores
- Bomba hidráulica
- Reservorio o tanque
- Manifolds de servicio

2.3.2.6 Servo-válvulas y actuadores. Las servo-válvulas son el elemento de control final en un sistema de circuito cerrado y son las que permiten cambios en la dirección y el movimiento de la actuación. Los actuadores constan de cilindros hidráulicos lineales que transmiten movimiento a la placa rígida.

2.3.2.7 Servo-controlador. Existe un puente entre la señal de comando enviada por la computadora y los puertos del actuador de la servo-válvula. Un servo-regulador utiliza dos niveles de control para controlar el movimiento de un actuador. El primer nivel de control se llama "bucle interno" y controla la amortiguación del puerto de la servo-válvula. En el segundo nivel de control, llamado "bucle exterior", utiliza la señal de desplazamiento del LVDT (transductor variable lineal)

montado en el actuador y la compara con la señal de comando enviada por la computadora de control. La señal de error se envía de vuelta al "bucle interno" que corrige el error utilizando la apertura correcta de la válvula. El "bucle externo" es el nivel más alto de control del controlador del servidor.

2.3.2.8 Instrumentación para medición. Sobre la estructura de la mesa sísmica se colocan diferentes sensores para medir las variables en la simulación. Principalmente en este tipo de equipos se instalan acelerómetros (acelerómetros), LVDT (transductor de desplazamiento de línea variable) que se encargan de medir la distancia desde la plataforma y las células de carga que se están midiendo. Plataforma

2.3.2.9 Sistemas de adquisición y procesamiento de datos. Existe un sistema de control y actuación del controlador del servidor, que se realiza mediante un software especialmente diseñado para este tipo de equipos, que envía datos sobre los movimientos de la mesa para su simulación que recibe y procesa lo que provienen de las estructuras de prueba.

2.4 Marco Conceptual

2.4.1 Frecuencia De Resonancia

Es aquel en el que las propiedades de un cuerpo o sistema alcanzan un grado máximo de oscilación. Cuando un sistema físico es sometido a un impacto, parte de la energía pasa hacia él. Si la frecuencia de la fuente de alimentación se estabiliza, la tasa de absorción puede ser máxima. Esto puede generar inestabilidad en el sistema, o simplemente colapsar en algún momento.

2.4.2 Sismo

Es la liberación de energía elástica almacenada a lo largo de los años por los movimientos relativos entre placas tectónicas. Esta liberación se produce como una ruptura entre los contactos de las placas, cargando vibraciones en la corteza terrestre con respecto a las características de los movimientos sísmicos: las componentes horizontal y vertical se consideran en términos de aceleración, velocidad, desplazamiento, tiempo predominante y duración.

2.4.3 Mesa Vibratoria:

Una mesa vibratoria es básicamente un escenario móvil que supone los movimientos sísmico en una, dos o más direcciones sobre un modelo estructural.

2.4.4 SAP2000

El elemento del sistema es una herramienta finita, gráfica en 3D, orientada a objetos, totalmente integrada y lista para realizar el modelado, análisis y dimensionamiento de los más extensos problemas de ingeniería estructural. Conocido por su flexibilidad en el tipo de estructuras que permite analizar, por su potencia de cálculo y por la estabilidad de sus resultados, SAP2000 es una herramienta de trabajo diario para muchos ingenieros. La capacidad de dar forma a estructuras permite su uso en la inspección de puentes, edificios, estadios, estanques, estructuras industriales, marítimas y todo tipo de infraestructura que necesite ser desarrollada y ampliada. Respecto a las acciones puede generar automáticamente sismos, viento y cargas vehiculares, para luego realizar una amplia inspección y confirmación de estructuras de concreto, perfiles metálicos, aluminio y conformados en frío, según normas europeas, americanas, canadienses; Turcos, indios, chinos y

otros. Diversas herramientas y procesos de análisis desarrollados en SAP2000 permiten la evaluación de grandes desplazamientos en cada etapa de la estructura, análisis modal basado en vectores propios propios y Ritz en casos no lineales, análisis del comportamiento de cadenas en pilotes, no linealidad de materiales (eslabones de fibra) y objetos no lineales (costra fundida), el análisis del desgarro o colapso progresivo, el uso de "vínculos" no lineales para modelar la fricción, el debilitamiento, la base y los aisladores multilínea o plásticos entre la rigidez de los nodos y, finalmente, la secuencia de construcción. Los análisis no lineales pueden ser estáticos y/o dependientes del tiempo, con opciones para análisis dinámico FNA (análisis rápido no lineal), temporal (tiempo-historial) y de integración directa. Desde modelos estáticos simples utilizados para análisis 2D hasta modelos complejos de grandes dimensiones que requieren análisis no lineales más avanzados, el software SAP 2000 es la solución más eficiente y productiva para ingeniería estructural general.

2.5 Marco Contextual

Este proyecto será realizado en la Universidad Francisco De Paula Santander, facultad de ingeniería, programa académico de especialización en estructuras, cohorte VI.

2.6 Marco Legal

El presente proyecto de grado se desarrollará bajo las siguientes normas:

Acuerdo 065 del 26 de agosto de 1996, “Estatuto estudiantil, Universidad Francisco de Paula Santander”, Trabajo de grado, capítulo I, definiciones, artículos 139 al 157. Se define y estipula las características y los tipos de trabajo de grado, las funciones de todos los entes que se involucran en esta tarea y los criterios de calificación del trabajo de grado.

Acuerdo 069 del 05 de septiembre de 1997, “Estatuto estudiantil, Universidad Francisco de Paula Santander”, Por el cual se reglamenta el artículo 140 del Estatuto Estudiantil de la Universidad Francisco de Paula Santander, establece las modalidades de Trabajo de Grado, por las cuales un alumno puede optar para cumplir con este requisito de graduación.

Resolución No. 21 de 31 de agosto de 2009, Consejo superior universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. Se estipula el contenido mínimo que debe llevar el trabajo de grado para optar al título profesional

Acuerdo 065 del 26 de agosto de 1996, “Estatuto estudiantil, Universidad Francisco de Paula Santander”, evaluación y certificaciones, capítulo III, de los títulos, artículos 123, 124,127. Definición de título profesional y requisitos que deben cumplir los estudiantes para recibir esta mención.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se llevará a cabo para el modelamiento y diseño de la mesa vibratoria unidimensional es del tipo de investigación exploratoria en la cual aplicaremos conocimientos utilizando métodos científicos sobre un diseño documental, aplicando conceptos adquiridos en las diferentes áreas entre ellas, dinámica de estructuras, materiales, análisis de deformaciones, con el fin de plantear una solución al problema de estudio

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

Para todos aquellos estudiantes que estudien ingeniería Civil de la universidad Francisco de Paula Santander.

3.3 Fases y actividades específicas del proyecto

3.3.1 Introducción.

Como se muestra a continuación, en esta sección se ejecutara el diseño de la mesa

3.3.2 Pre-Diseño estructura de la mesa

Como se muestra a continuación, se realiza primero un pre-diseño que es modelado en SAP2000, para analizar su comportamiento y poder especificar los volúmenes de los elementos a

manejar.

3.3.3 Modelo de la mesa en SAP2000

Como se muestra a continuación, se realiza un modelo en SAP2000 con dos estados de carga Análisis modal de la mesa

3.3.4 Análisis modal de la mesa

Como se muestra a continuación, el análisis modal, es uno de los caminos principales en el diseño de la mesa.

3.3.5 Análisis del modelo con fuerza sinusoidal

Como se muestra a continuación, se emplea una fuerza puntual en el lugar donde estará situado el actuador.

3.3.6 Análisis del modelo con el sismo del centro USA 18 de mayo de 1940

Como se muestra a continuación, se emplea una Fuerza puntual en el lugar donde estará situado el actuador.

3.3.7 Diseño de la mesa

Como se muestra a continuación, del modelo se adquieren los esfuerzos sobre los soportes y la resistencia en las placas de acero que forman la mesa.

3.3.8 Esfuerzos sobre los apoyos

Como se muestra a continuación, la obtención de estos esfuerzos es de valiosa importancia, pues los carros de las guías lineales se eligen según estos valores, también de las dimensiones del perfil donde van acoplados.

3.3.9 Análisis de deformaciones

Como se muestra a continuación ejecutar un análisis de deformaciones de la mesa es significativo, ya que éstas intervienen directamente sobre los cálculos de la estructura.

3.3.10 Diseño de los perfiles y placas de acero

Como se muestra a continuación se comprueba el grosor de la placa con un supuesto prototipo de 1.5 Ton.

3.3.11 Planos de fabricación

Como se muestra a continuación los planos de la mesa se trazaron en AutoCAD. Ellos contienen todos los detalles para que la mesa pueda ser elaborada

3.3.12 Presupuesto

Como se muestra a continuación el presupuesto de la mesa se realizará en Excel basado en los planos de fabricación

4. Desarrollo del Proyecto

4.1 Introducción.

En este proyecto se realiza el diseño de la mesa vibratoria unidimensional con el programa SAP2000, utilizando los elementos finitos frame y Shell. El esquema de ésta se muestra en la **Ilustración 27**, donde se observan la base de la estructura en perfiles laminados calientes IR, los rieles guías de desplazamiento, los rodamientos lineales de bola, el actuador lineal hidráulico y la mesa vibratoria.

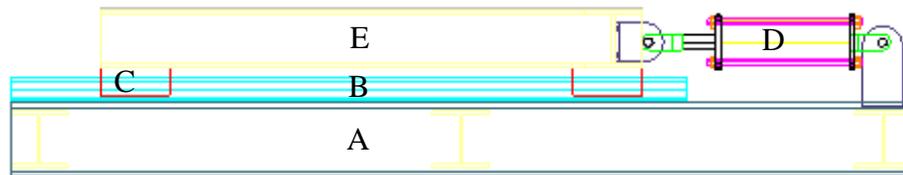


Ilustración 27. Esquema de la mesa vibratoria.

Fuente: Autor

- A: Base de la estructura en perfiles laminados calientes IR
- B: Rieles guías de desplazamiento referencia LRCB30 EWELLIX
- C: Rodamientos lineales de bola LTCT 30D-2LS EWELLIX
- D: Actuador lineal hidráulico marca WEN TR3508A PSI ASAE
- E: Mesa vibratoria en placa de acero apoyada en 3 perfiles laminados calientes IR

Lo primero a ejecutar es definir las características generales como su tamaño, la dimensión está sujeta a las posibles dimensiones del laboratorio de dinámica de estructuras.

El segundo paso es definir los grados de libertad, en este caso se estaría diseñando una mesa vibratoria de un solo grado de libertad en la horizontal (Uniaxial).

Para reproducir el movimiento que asemeje la excitación de un sismo se necesita de un actuador o excitador, estos pueden ser de tipo hidráulico, neumático o electromecánico. La elección del mismo está sujeto a factores de costo, fuerza a producir, longitud de desplazamiento de la mesa, y que pueda recibir y reproducir los movimientos enviados por el sistema de control para reproducir los movimientos del sismo. Este sería el tercer paso escogiendo inicialmente un actuador hidráulico.

El cuarto paso sería la elección del sistema de guías, que está conformado por los rieles donde se facilitará el desplazamiento de la mesa vibratoria, mediante rodamientos de bolas de baja fricción y buena capacidad de carga. Este sistema de guías debe soportar la mesa vibratoria y debe ser lo suficientemente rígida para no entorpecer los resultados de la mesa vibratoria. Para lograr lo anterior se puede pensar en perfiles estructurales de acero empotrados en una base de concreto.

El último paso sería escoger el sistema de control y sistema de adquisición de datos de la mesa vibratoria. Este sistema tendría la función de controlar el excitador hidráulico, adquirir y digitalizar las señales analógicas de los sensores colocados en el Modelo reducido a escala para su posterior procesamiento y análisis.

4.2 Pre-Diseño estructura de la mesa

Inicialmente se puede pensar en una base con perfiles laminados en caliente "I" rectangular de 1000mm x 2000mm como se muestra en la **Ilustración 28** y la mesa vibratoria con una placa metálica de 1092.1mm x 12000mm con perforaciones para facilitar la sujeción de los modelos a escala a ensayar. Esta placa de acero tiene un espesor de 1/4" que se apoyara perimetralmente en

tres perfiles laminados en caliente “I” rectangular que se encuentran por debajo de la misma como se muestra en la **Ilustración 29**.

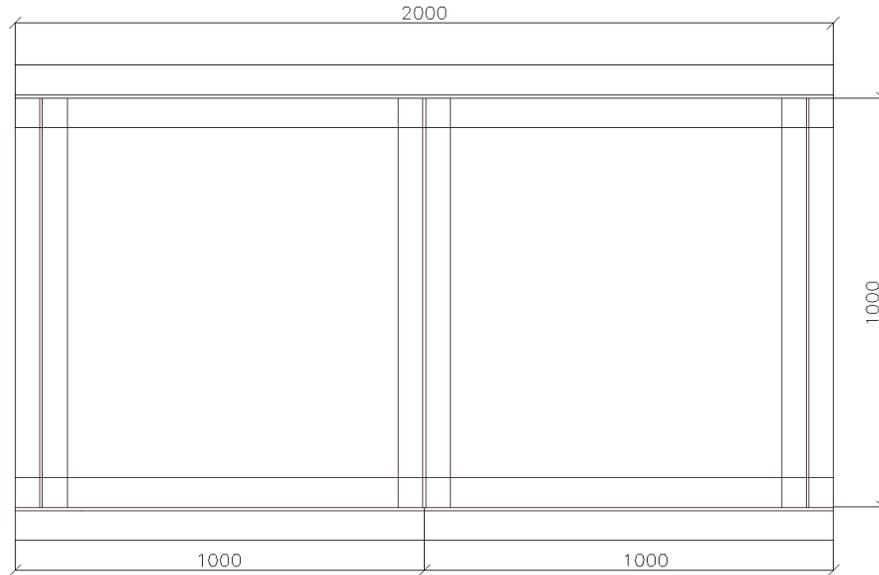


Ilustración 28. Dimensiones de la estructura de la base de la plataforma dibujada en AutoCAD.

Fuente: Autor

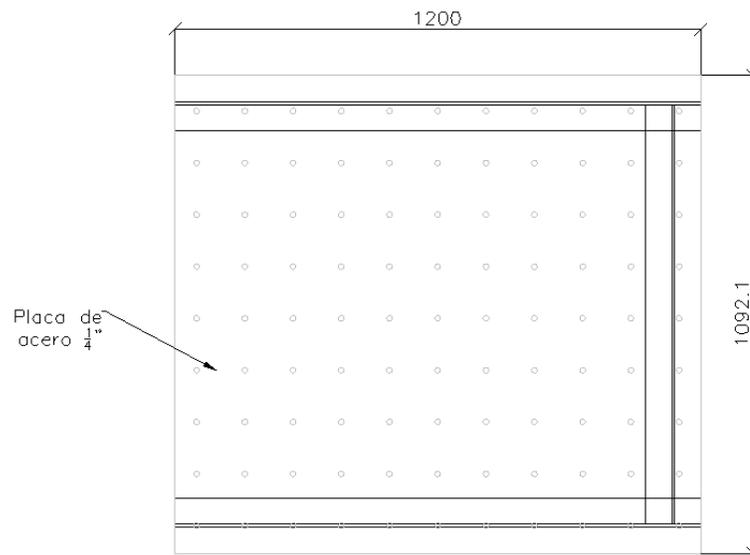


Ilustración 29. Dimensiones de la mesa vibratoria dibujada en AutoCAD.

Fuente: Autor

4.3 Modelo de la mesa en SAP2000

Con dos estados de carga que están diferenciados por la fuerza que simula el actuador se realiza un piloto en SAP2000. Primero, se ejecuta el estado de carga en una función sinusoidal de amplitud de valor 0.5 con un periodo de 0.03 [s] y otro, con el registro del Sismo del Centro. Las particularidades del modelo se especifican a continuación, las cuales son permitidas para ambos estados de carga.

4.3.1 Base de la estructura: La mesa vibratoria propuesta, descansará sobre una base con perfiles laminados en caliente “I” rectangular, para nuestro diseño tomamos 6 de estos perfiles de referencias IR152x12.7, IR102x19.4, IR152x37.2, IR127x23.70, IR203x15.0 y IR152x13.6, con los cuales se hicieron 3 modelos como se muestra en la **Ilustración 30, Ilustración 31 e Ilustración 32.**

En el primer modelo **Ilustración 30** los perfiles de color naranja son perfiles “I” rectangular, referencia IR152x12.7, el cual tiene una altura de 148 mm y pesa 12.7 kg/m. Los perfiles de color rosado son perfiles “I” rectangular, referencia IR102x19.4, el cual tiene una altura de 106mm y pesa 19.4 kg/m. Los perfiles naranjas (IR152x12.7) deben ir empotrados mediante tornillos expansivos de 3/8” a lo largo del perfil, en una base de concreto que puede ser el piso del mismo laboratorio, los perfiles rosados (IR102x19.4) deben ir soldados a los perfiles naranja (IR152x12.7).

En el segundo modelo **Ilustración 31** los perfiles de color verde son perfiles “I” rectangular, referencia IR 152x37.2, el cual tiene una altura de 162 mm y pesa 37.2 kg/m. Los

perfiles de color dorado son perfiles “I” rectangular, referencia IR 127x23.70, el cual tiene una altura de 127mm y pesa 23.70 kg/m. Los perfiles verdes (IR 152x37.2) deben ir empotrados mediante tornillos expansivos de 3/8” a lo largo del perfil, en una base de concreto que puede ser el piso del mismo laboratorio, los perfiles dorados (IR 127x23.70) deben ir soldados a los perfiles verdes (IR 152x37.2).

En el tercer modelo **Ilustración 32** los perfiles de color amarillo son perfiles “I” rectangular, referencia IR 203x15.0, el cual tiene una altura de 200 mm y pesa 15.0 kg/m. Los perfiles de color azul son perfiles “I” rectangular, referencia IR 152x13.6, el cual tiene una altura de 152mm y pesa 13.6 kg/m. Los perfiles amarillos (IR 203x15.0) deben ir empotrados mediante tornillos expansivos de 3/8” a lo largo del perfil, en una base de concreto que puede ser el piso del mismo laboratorio, los perfiles azules (IR 152x13.6) deben ir soldados a los perfiles amarillos (IR 203x15.0).

Se busca que esta base tenga una rigidez elevada, para que no interfiera en los resultados de la mesa vibratoria, por esta razón se escogen este tipo de perfiles. En el anexo se pueden ver las dimensiones de dichos perfiles.

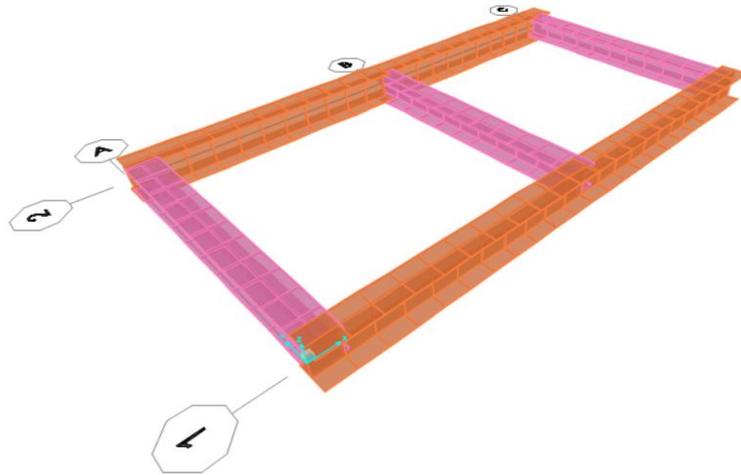


Ilustración 30. Modelo 1 de la estructura de la base de la plataforma simulada en SAP2000.

Fuente: Autor

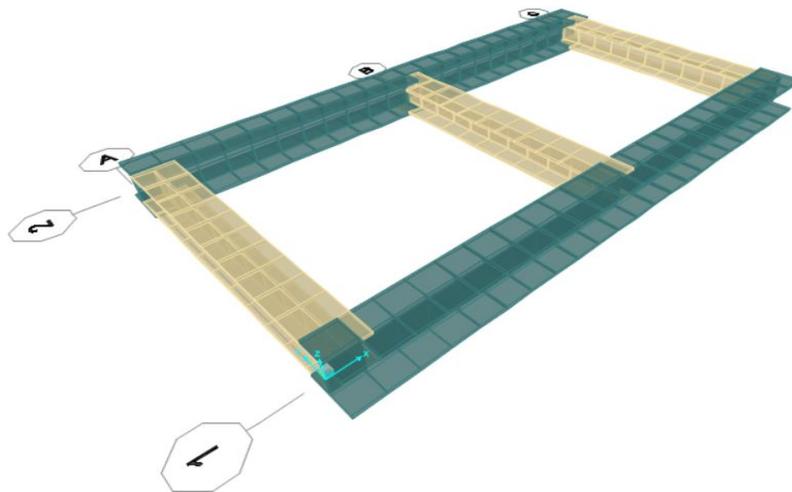


Ilustración 31. Modelo 2 de la estructura de la base de la plataforma simulada en SAP2000.

Fuente: Autor

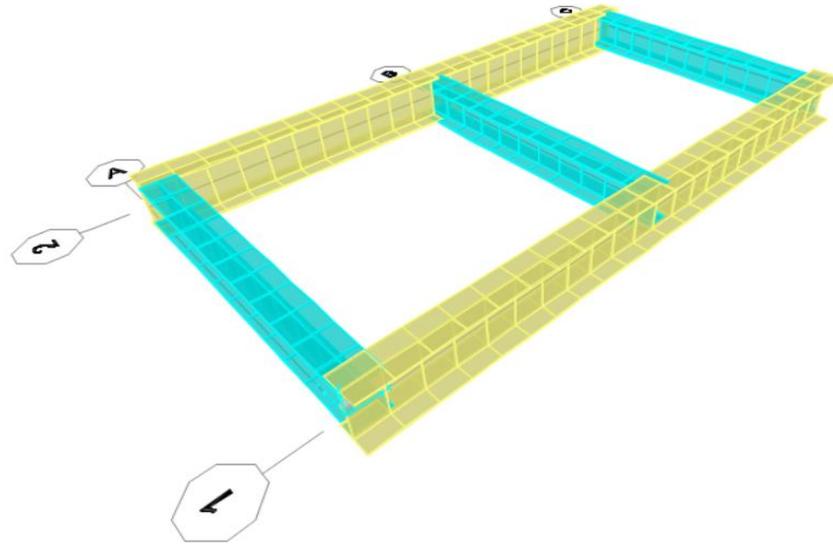


Ilustración 32. Modelo 3 de la estructura de la base de la plataforma simulada en SAP2000.

Fuente: Autor

4.3.2 Mesa vibratoria: Se muestra en la **Ilustración 33** de color gris la placa de acero con perforaciones de 1/2" a cada 11 cm aproximadamente para facilitar la sujeción de los modelos a escala a ensayar. Esta placa de acero tiene un espesor de 1/4" y sus dimensiones son de 1200mm x 1.092.1mm, está se encuentra apoyada en su perímetro en tres perfiles "I" rectangular que para nuestro diseño tomamos los 3 perfiles de referencias, IR102x19.4, IR127x23.70 y IR152x13.6, con los cuales se hicieron 3 modelos como se muestra en la **Ilustración 34**, **Ilustración 35** e **Ilustración 36**. La placa de acero se fijará perimetralmente en los tres perfiles "I" rectangular que se encuentran por debajo de la misma, mediante tornillos de acero de 5/16".

Un aparente prototipo a ensayar de 1.5 [Ton] de peso se ubica sobre la mesa, para observar su efecto sobre ella y conseguir así, los antecedentes necesarios para el diseño. La manera de crear el modelo es mediante un método de marcos con una masa de 0.1875 [Ton-masa] en su parte superior (en la dirección UX y UY). Asimismo, se carga en cada una de sus aristas con una fuerza

de 0.375 [Ton], fuerza que apoya la masa en la dirección UZ en cada nudo. El supuesto piloto conserva un área en planta de 0.695 [m] x 0.764 [m] con una altura de 1.5 [m].

Se manejan 4 apoyos desplazables en el sentido UX y fijos según UY, UZ, RX, RY y RZ y se usan dos resortes artificiales de 0.15 [Ton/m]. Estos están alineados con los apoyos de la mesa.

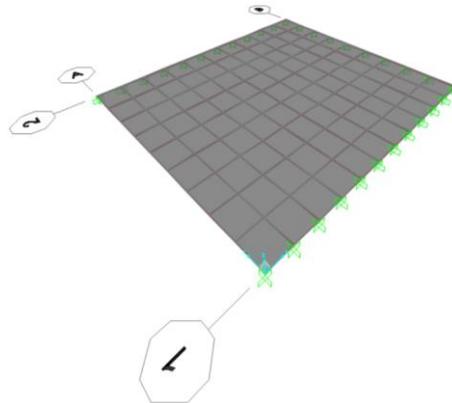


Ilustración 33. *Placa de acero modelada en SAP2000, con sus respectivas condiciones de frontera.*

Fuente: *Autor*

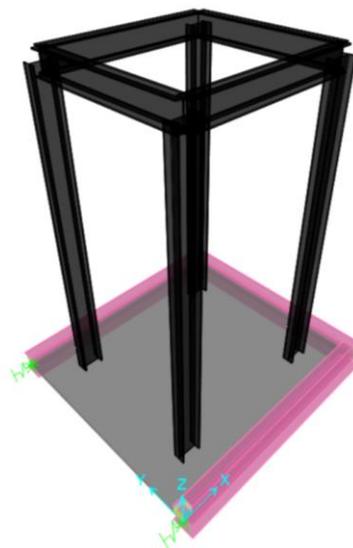


Ilustración 34. *Modelo 1 de la mesa vibratoria con prototipo simulada en SAP2000.*

Fuente: *Autor*

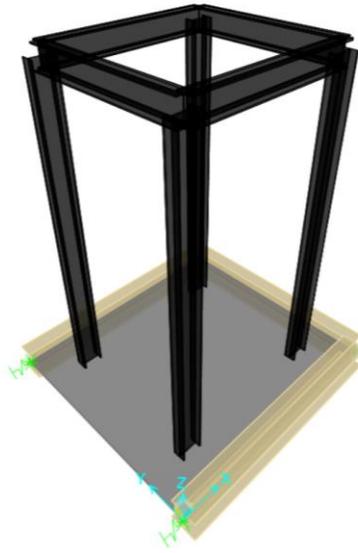


Ilustración 35. *Modelo 2 de la mesa vibratoria con prototipo simulada en SAP2000.*

Fuente: *Autor*

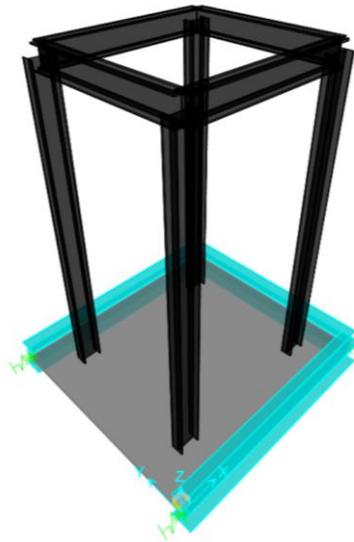


Ilustración 36. *Modelo 3 de la mesa vibratoria con prototipo simulada en SAP2000.*

Fuente: *Autor*

La celeridad de la mesa se representa mediante una gran fuerza horizontal mudable en el

tiempo, correspondiente al registro que se pretende experimentar, aplicada a un nodo con una masa igualmente grande de modo que la razón masa/fuerza de la aceleración esperada.

El valor esencial de este modelo, es poseer una mesa rígida que sea idónea para resistir la capacidad máxima de diseño y de esta forma, no perturbar la señal con vibraciones que intercepten en el experimento. Igualmente, se quiere obtener una mesa que cumpla con los requerimientos inicialmente explicados, pero que sea lo más liviana posible. El peso de la mesa más el del prototipo van a intervenir en la elección de los dispositivos hidráulicos y, por consiguiente, en el precio de éstos.

4.4 Análisis modal de la mesa

Uno de los pasos primordiales en el diseño de la mesa es el análisis modal. Lo que se encamina desarrollar es un diseño donde la mesa sea un mecanismo rígido, es decir las frecuencias propias de la mesa sean altas para que no entorpezcan con el contenido de frecuencias de los registros a experimentar. Asimismo, la mesa permitirá trasladar el movimiento a la estructura en estudio sin perturbaciones. Los resultados obtenidos del modelo se presentan en la **Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.**

Tabla 8. *Frecuencias modales del Modelo 1 de la estructura de la base de la plataforma.*

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.00235	425.5128735	2673.576235	7148009.883
MODAL	Mode	2	0.00235	425.5128735	2673.576235	7148009.883
MODAL	Mode	3	0.00235	425.5128735	2673.576235	7148009.883

MODAL Mode	4	0.00235	425.5128735	2673.576235	7148009.883
MODAL Mode	5	0.002314	432.06456	2714.741695	7369822.472
MODAL Mode	6	0.002314	432.06456	2714.741695	7369822.472
MODAL Mode	7	0.002314	432.06456	2714.741695	7369822.472
MODAL Mode	8	0.001709	585.0606559	3676.044517	13513303.29
MODAL Mode	9	0.001709	585.0606559	3676.044517	13513303.29
MODAL Mode	10	0.001709	585.0606559	3676.044517	13513303.29
MODAL Mode	11	0.001252	799.0181284	5020.378964	25204204.94
MODAL Mode	12	0.001252	799.0181284	5020.378964	25204204.94

Tabla 9. Frecuencias modales del Modelo 2 de la estructura de la base de la plataforma.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL Mode		1	0.001893	528.140704	3318.40591	11011817.8
MODAL Mode		2	0.001893	528.140704	3318.40591	11011817.8
MODAL Mode		3	0.001893	528.140704	3318.40591	11011817.8
MODAL Mode		4	0.001619	617.711245	3881.19422	15063668.6
MODAL Mode		5	0.001619	617.711245	3881.19422	15063668.6
MODAL Mode		6	0.001619	617.711245	3881.19422	15063668.6
MODAL Mode		7	0.001463	683.335464	4293.52335	18434342.7
MODAL Mode		8	0.001463	683.335464	4293.52335	18434342.7
MODAL Mode		9	0.001463	683.335464	4293.52335	18434342.7
MODAL Mode		10	0.001463	683.335464	4293.52335	18434342.7
MODAL Mode		11	0.001337	747.693885	4697.89923	22070257.2
MODAL Mode		12	0.001337	747.693885	4697.89923	22070257.2

Tabla 10. Frecuencias modales del Modelo 3 de la estructura de la base de la plataforma.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL Mode		1	0.002544	393.038032	2469.53079	6098582.32
MODAL Mode		2	0.002544	393.038032	2469.53079	6098582.32
MODAL Mode		3	0.002544	393.038032	2469.53079	6098582.32
MODAL Mode		4	0.002484	402.651005	2529.93088	6400550.26
MODAL Mode		5	0.002484	402.651005	2529.93088	6400550.26
MODAL Mode		6	0.002484	402.651005	2529.93088	6400550.26
MODAL Mode		7	0.002484	402.651005	2529.93088	6400550.26

MODAL	Mode	8	0.001362	734.41804	4614.48464	21293468.5
MODAL	Mode	9	0.001362	734.41804	4614.48464	21293468.5
MODAL	Mode	10	0.001362	734.41804	4614.48464	21293468.5
MODAL	Mode	11	0.001083	923.073825	5799.84389	33638189.2
MODAL	Mode	12	0.001083	923.073825	5799.84389	33638189.2

Tabla 11. Frecuencias modales del Modelo 1 de la mesa vibratoria sin prototipo.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.419687	2.38272609	14.9711095	224.134121
MODAL	Mode	2	0.040311	24.8074036	155.869514	24295.3053
MODAL	Mode	3	0.024364	41.0433468	257.882953	66503.6177
MODAL	Mode	4	0.014864	67.2788832	422.72569	178697.009
MODAL	Mode	5	0.0132	75.7570584	475.995636	226571.846
MODAL	Mode	6	0.011238	88.9823376	559.092516	312584.442
MODAL	Mode	7	0.00803	124.531058	782.451712	612230.682
MODAL	Mode	8	0.007703	129.817898	815.669911	665317.404
MODAL	Mode	9	0.007533	132.754323	834.120014	695756.197
MODAL	Mode	10	0.006292	158.926342	998.563657	997129.378
MODAL	Mode	11	0.00564	177.292822	1113.96365	1240915.02
MODAL	Mode	12	0.005162	193.737231	1217.28692	1481787.45

Tabla 12. Frecuencias modales del Modelo 1 de la mesa vibratoria con prototipo.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.523824	1.90903861	11.9948434	143.876267
MODAL	Mode	2	0.116845	8.55834658	53.7736775	2891.60839
MODAL	Mode	3	0.075225	13.2933671	83.5246887	6976.37363
MODAL	Mode	4	0.073773	13.5550054	85.1686107	7253.69225
MODAL	Mode	5	0.036229	27.6023719	173.430817	30078.2484
MODAL	Mode	6	0.02069	48.3333704	303.687523	92226.1115
MODAL	Mode	7	0.019887	50.2851623	315.950993	99825.0298
MODAL	Mode	8	0.015783	63.3582596	398.091686	158476.99
MODAL	Mode	9	0.015605	64.082225	402.640494	162119.368
MODAL	Mode	10	0.012591	79.4205676	499.014143	249015.115

MODAL Mode	11	0.011696	85.4964126	537.189804	288572.885
MODAL Mode	12	0.010172	98.3117003	617.710631	381566.423

Tabla 13. Frecuencias modales del Modelo 2 de la mesa vibratoria sin prototipo.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL Mode		1	0.442179	2.261526958	14.20959296	201.912532
MODAL Mode		2	0.039182	25.52173883	160.3578144	25714.62865
MODAL Mode		3	0.02401	41.6493371	261.6905029	68481.91931
MODAL Mode		4	0.01455	68.72648071	431.8212138	186469.5607
MODAL Mode		5	0.013055	76.60111244	481.2989842	231648.7122
MODAL Mode		6	0.011118	89.94051772	565.1129395	319352.6344
MODAL Mode		7	0.007966	125.5331779	788.7482189	622123.7528
MODAL Mode		8	0.007637	130.946394	822.7604585	676934.7721
MODAL Mode		9	0.007414	134.8865584	847.5172417	718285.4751
MODAL Mode		10	0.006232	160.4719812	1008.275194	1016618.868
MODAL Mode		11	0.005608	178.3120911	1120.367911	1255224.256
MODAL Mode		12	0.005126	195.0866348	1225.765477	1502501.005

Tabla 14. Frecuencias modales del Modelo 2 de la mesa vibratoria con prototipo.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL Mode		1	0.541883	1.84541624	11.5950922	134.446163
MODAL Mode		2	0.116402	8.590904	53.9782418	2913.65058
MODAL Mode		3	0.07506	13.3226589	83.7087348	7007.15227
MODAL Mode		4	0.073371	13.6293616	85.6358049	7333.49107
MODAL Mode		5	0.035176	28.4283099	178.620339	31905.2256
MODAL Mode		6	0.020343	49.1573775	308.864912	95397.5341
MODAL Mode		7	0.019828	50.4341153	316.886892	100417.302
MODAL Mode		8	0.015759	63.456069	398.70624	158966.666
MODAL Mode		9	0.015505	64.4936843	405.22577	164207.924
MODAL Mode		10	0.012523	79.8531399	501.732075	251735.076
MODAL Mode		11	0.011634	85.9542	540.066167	291671.464
MODAL Mode		12	0.010091	99.097637	622.648817	387691.549

Tabla 15. Frecuencias modales del Modelo 3 de la mesa vibratoria sin prototipo.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.386274	2.588837993	16.26614884	264.5875981
MODAL	Mode	2	0.047458	21.07133196	132.3950834	17528.4581
MODAL	Mode	3	0.026473	37.77408358	237.3415669	56331.01938
MODAL	Mode	4	0.016385	61.0299672	383.4625932	147043.5604
MODAL	Mode	5	0.01396	71.6355576	450.099483	202589.5446
MODAL	Mode	6	0.012053	82.96884436	521.3086238	271762.6813
MODAL	Mode	7	0.008474	118.0079396	741.465752	549771.4614
MODAL	Mode	8	0.008046	124.2841589	780.9004013	609805.4367
MODAL	Mode	9	0.007917	126.3049218	793.5972286	629796.5613
MODAL	Mode	10	0.00668	149.7007674	940.5976623	884723.9623
MODAL	Mode	11	0.005873	170.2599273	1069.774674	1144417.853
MODAL	Mode	12	0.005399	185.2029589	1163.66451	1354115.093

Tabla 16. Frecuencias modales del Modelo 3 de la mesa vibratoria con prototipo.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.49795	2.00823457	12.61811	159.216699
MODAL	Mode	2	0.119465	8.37066273	52.5944251	2766.17355
MODAL	Mode	3	0.079973	12.5042711	78.5666523	6172.71886
MODAL	Mode	4	0.076304	13.1054026	82.3436731	6780.4805
MODAL	Mode	5	0.042032	23.7914032	149.485795	22346.0029
MODAL	Mode	6	0.022467	44.5088692	279.657473	78208.3024
MODAL	Mode	7	0.020264	49.3482997	310.064511	96140.0013
MODAL	Mode	8	0.016142	61.9495421	389.240453	151508.13
MODAL	Mode	9	0.015939	62.7395676	394.204329	155397.053
MODAL	Mode	10	0.012934	77.3139499	485.777874	235980.143
MODAL	Mode	11	0.012051	82.9773626	521.362145	271818.487
MODAL	Mode	12	0.010611	94.2401353	592.128233	350615.845

Tabla 17. Frecuencias modales de la placa de acero con sus respectivas condiciones de frontera.

TABLE: Periodo Modal y Frecuencias						
Caso	Tipo	Consecutivo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular	Ingevalores
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2

MODAL Mode	1	0.032892	30.4027266	191.025965	36490.9192
MODAL Mode	2	0.021665	46.1577046	290.017411	84110.0989
MODAL Mode	3	0.012345	81.0074238	508.984655	259065.379
MODAL Mode	4	0.012104	82.6157242	519.089905	269454.329
MODAL Mode	5	0.01033	96.8034058	608.233737	369948.279
MODAL Mode	6	0.007701	129.84778	815.857665	665623.729
MODAL Mode	7	0.007131	140.225944	881.065592	776276.577
MODAL Mode	8	0.006383	156.675684	984.422358	969087.379
MODAL Mode	9	0.005843	171.151857	1075.37883	1156439.63
MODAL Mode	10	0.005507	181.589825	1140.96252	1301795.48
MODAL Mode	11	0.004983	200.678959	1260.90309	1589876.6
MODAL Mode	12	0.004594	217.684826	1367.7541	1870751.27

En el primer análisis modal que no incluye el prototipo a experimentar, podemos observar que estos resultados tienen frecuencias muy altas, del orden de 160 [Hz] o más, con lo cual se paraliza la interacción con los registros y los modos del modelo a estudiar.

En el segundo análisis modal que contiene el prototipo a experimentar, al igual que el anterior, el primer modo es la representación del movimiento de la mesa en el sentido de UX. La segunda forma es desde la disposición de la parte superior del prototipo (donde se contrae la masa del prototipo) en la dirección Y. La tercera forma es desde la disposición de la parte superior del prototipo en X. El valor de la Los plazos correspondientes a la segunda y tercera vía son elevados debido al tamaño del prototipo y su flexibilidad..

Los modos segundo y tercero son de interés ya que se relacionan con las mediciones. Para evitar esta fuerza, se debe rigidizar la base del prototipo para transmitir las fuerzas a los paneles de vigas.

Existen otros modos de interés que analizan el movimiento vertical de la mesa. Éstas deberán quedar fuera de las categorías de frecuencias en estudio, siempre que se consideren

apropiadas y bien calculadas.

Finalmente, el sistema de la estructura propuesta es adecuado para la mesa, ya que es rígido bajo las condiciones de este modelo propuesto y al tener frecuencias muy altas no afecta las mediciones.

4.5 Análisis del modelo con fuerza sinusoidal

Se emplea una fuerza puntual en el lugar donde estará situado el actuador. Esta fuerza de 1.25 [Ton] que se emplea sobre una masa de 300 [Ton - masa]. En la **Ilustración 37** se muestra la función sinusoidal con las siguientes características:

- Período 0.03 [seg].
- Número de pasos por ciclo 20.
- Número de ciclos 5.
- Amplitud 0.5.
- Duración del registro 18 [seg].

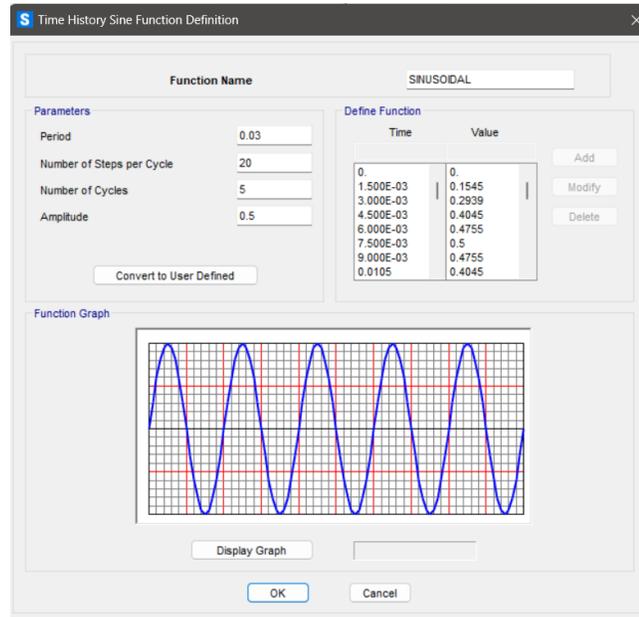


Ilustración 37. *Función sinusoidal de amplitud 0.5 SAP2000.*

Fuente: *Autor*

4.6 Análisis del modelo con el sismo del centro USA 18 de mayo de 1940

Se emplea una fuerza puntual en el lugar donde estará situado el actuador. Esta Fuerza deriva de la multiplicación de 300 [Ton-masa] por el registro de aceleraciones del sismo del centro [cm/s²] que es aplicada sobre el nodo que tiene determinada una masa en el sentido UX de 300 [Ton-masa]. En la **Ilustración 38** podemos observar el registro de sismo del centro.

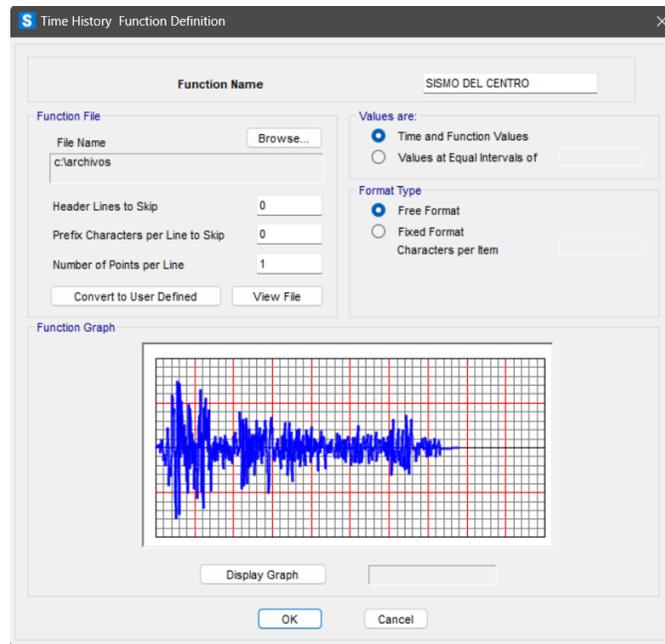


Ilustración 38. Registro de sismo del centro SAP2000.

Fuente: Autor

Al analizar el modelo, en la **Ilustración 39** podemos observar el gráfico de aceleración obtenido desde SAP2000 para el nodo número 5.

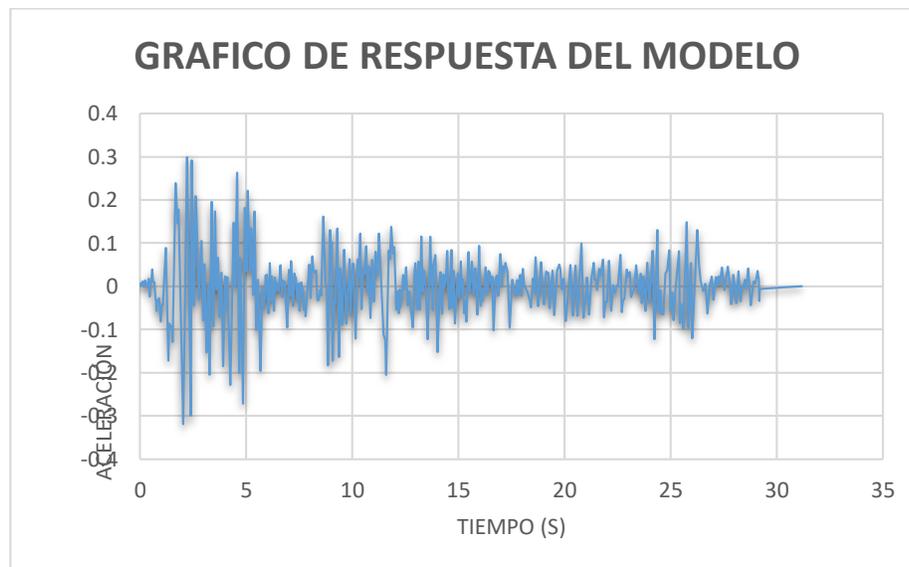


Ilustración 39. Gráfico de respuesta del modelo.

Fuente: Autor

4.7 Diseño de la mesa

Del modelo se adquieren los esfuerzos sobre los soportes y la resistencia en las placas de acero que forman la mesa. Igualmente, se realiza un análisis de deformaciones. A continuación, se especifican estos valores, que admiten efectuar los planos de fabricación de la mesa y detallar luego las guías lineales que se manejarán. Sólo se usan los datos del modelo al cual se ha integrado el registro del sismo del centro; porque tanto los esfuerzos como las tensiones son mayores que para la fuerza sinusoidal. También, se realizó una combinación de fuerzas (**PP+FA**), que une el peso propio y la fuerza del actuador.

4.8 Esfuerzos sobre los apoyos

La ubicación de los apoyos fue tal que, al examinar una viga con una carga uniformemente distribuida, los momentos máximos negativos y positivos fueran equivalentes.

La obtención de estos esfuerzos es de valiosa importancia, pues los carros de las guías lineales se eligen según estos valores, también de las dimensiones del perfil donde van acoplados.

La **Tabla 18**, **Tabla 19** y **Tabla 20** muestra las reacciones para la combinación del peso propio de la estructura más la fuerza ejercida por el actuador sobre los apoyos de la mesa en los 3 modelos a analizar. Con esta investigación, se ejecuta la combinación más perjudicial para los apoyos deslizantes.

Tabla 18. *Reacciones sobre los apoyos Modelo 1.*

TABLE: Reacción en los Apoyos								
Nodo	Combinación	Tipo	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-mm	Tonf-mm	Tonf-mm
1	PP+FA	Combinación	4.205E-16	-0.0005964	0.0457	-3.43	-7.99	-0.0273

2	PP+FA	Combinación	0	-0.0002508	0.0564	-6.88	8.16	0.01052
3	PP+FA	Combinación	0	0.0002508	0.0564	6.88	8.16	-0.01052
4	PP+FA	Combinación	9.425E-16	0.0005964	0.0457	3.43	-7.99	0.0273

Tabla 19. Reacciones sobre los apoyos Modelo 2.

TABLE: Reacción en los Apoyos								
Nodo	Combinación	Tipo	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-mm	Tonf-mm	Tonf-mm
1	PP+FA	Combinación	3.95E-16	-0.0006381	0.0481	-3.56	-8.49	-0.03557
2	PP+FA	Combinación	0	-0.0002582	0.0614	-7.43	8.82	0.01387
3	PP+FA	Combinación	0	0.0002582	0.0614	7.43	8.82	-0.01387
4	PP+FA	Combinación	9.044E-16	0.0006381	0.0481	3.56	-8.49	0.03557

Tabla 20. Reacciones sobre los apoyos Modelo 3.

TABLE: Reacción en los Apoyos								
Nodo	Combinación	Tipo	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-mm	Tonf-mm	Tonf-mm
1	PP+FA	Combinación	6.052E-16	-0.0006492	0.0425	-2.6	-7.01	-0.02347
2	PP+FA	Combinación	0	-0.0003096	0.0495	-5.51	6.84	0.01041
3	PP+FA	Combinación	0	0.0003096	0.0495	5.51	6.84	-0.01041
4	PP+FA	Combinación	1.199E-15	0.0006492	0.0425	2.6	-7.01	0.02347

Los apoyos que conectan la mesa con las guías lineales deben ser capaces de soportar fuerzas de compresión y tracción. Además del esfuerzo anterior, deben soportar algunos momentos laterales y momentáneos en otras partes, mucho menores que estos últimos. Es importante que las líneas de apoyo de las guías tomen estos intentos sin deformaciones importantes. Con los resultados obtenidos se puede optar por utilizar un sistema de guía lineal.

4.9 Análisis de deformaciones

El análisis de deformaciones de la mesa es importante, porque éstas influyen directamente

en las medidas de la estructura. Como se dijo anteriormente, su finalidad debe proporcionar la rigidez necesaria, y para casos en que esté puntualmente cargada se deben tomar las medidas necesarias para rigidizar y evitar deformaciones más graves en las zonas débiles. Las deformaciones máximas y mínimas del modelo se observan en las **Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23**, donde U1 hace referencia a la deformación en X, U2 hace referencia a la deformación en Y y U3 hace referencia a la deformación en Z.

Tabla 21. *Deformaciones del modelo 1.*

DEFORMACIONES MODELO 1							
CASO	VALOR	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
DINAMICO	MAX	305.799958	461.280617	944.950865	4.447195	3.92568	0.866528
	MIN	-366.215481	-351.603025	-1484.3658	-5.713809	-6.724907	-0.094635
ESTATICO	MAX	0.00000694	0.00004	0	0.002283	0.000553	9.969E-08
	MIN	-0.316819	-0.00004	-0.676102	-0.002283	-0.001303	-9.969E-08

Tabla 22. *Deformaciones del modelo 2.*

DEFORMACIONES MODELO 2							
CASO	VALOR	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
DINAMICO	MAX	307.298152	461.102754	1483.66808	4.466386	4.916549	0.096774
	MIN	-371.665624	-323.000582	-1253.09312	-5.782332	-6.758824	-0.866632
ESTATICO	MAX	0.000006028	0.000038	0	0.002171	0.00051	9.395E-08
	MIN	-0.303529	-0.000038	-0.648073	-0.002171	-0.001217	-9.395E-08

Tabla 23. *Deformaciones del modelo 3.*

DEFORMACIONES MODELO 3							
CASO	VALOR	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
DINAMICO	MAX	353.057888	352.258729	930.920599	4.431367	3.97579	0.081009

ESTATICO	MIN	-297.050087	-461.693585	-1451.52465	-5.455977	-6.593113	-0.865932
	MAX	0.000011	0.000049	0	0.003012	0.000828	1.259E-07
	MIN	-0.421749	-0.000049	-0.871398	-0.003012	-0.00189	-1.259E-07

Se verifica las deformaciones máximas en el eje Z para el caso dinámico, por lo tanto, la mesa es suficientemente rígida ya que el diseño cumple con la exigencia de mínimas deformaciones. Para la deformación dinámica en el sentido U1, se observan los desplazamientos absolutos estos debido al registro del sismo del Centro. Este valor no significa el desplazamiento del actuador, ya que al constituir este registro el desplazamiento es suficientemente menor. Esto sucede, porque SAP 2000 no corrige la integral implantando una curva en forma de senoide.

4.10 Diseño de los perfiles y placas de acero

Se usa una placa de 6.35 [mm]. En el caso se decide utilizar el prototipo anterior para verificar el espesor de la placa con esta carga. Los resultados obtenidos se encuentran a continuación en la **Tabla 24**, **Tabla 25** y **Tabla 26** donde S11 es la tensión directa (fuerza por unidad de área) que actúa sobre la cara 1 positiva y negativa en la dirección de eje 1 y S22 es la tensión directa (fuerza por unidad de área) que actúa sobre la cara 2 positiva y negativa en la dirección del eje 2.

Tabla 24. Tensiones en la placa de acero del modelo 1.

TENSIONES EN LA PLACA DE ACERO			
	S11	S22	Tensión Admisible
	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2
MAX	0.000726	0.002092	0.000054
MIN	-0.002087	-0.00376	7.408E-08

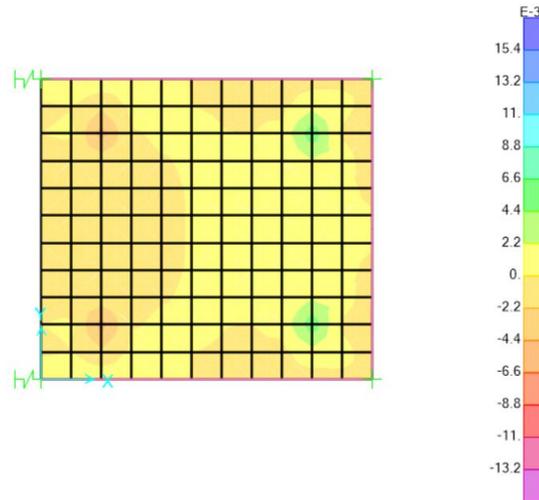


Ilustración 40. Tensión según S11 del modelo 1.

Fuente: Autor

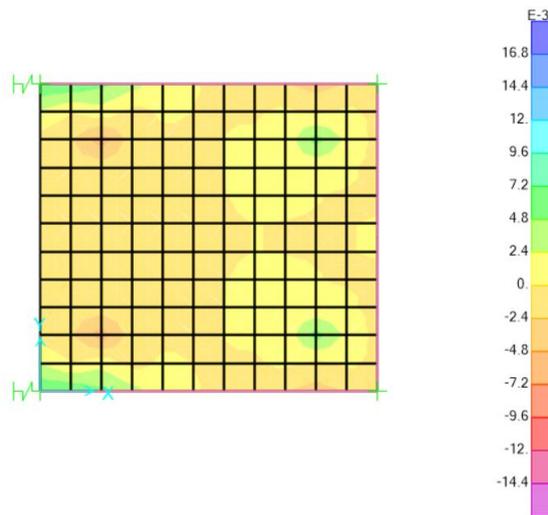


Ilustración 41. Tensión según S22 del modelo 1.

Fuente: Autor

Tabla 25. Tensiones en la placa de acero del modelo 2.

TENSIONES EN LA PLACA DE ACERO			
	S11	S22	Tensión Admisible
	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2
MAX	0.000642	0.001994	0.000052
MIN	-0.001982	-0.003618	6.472E-08

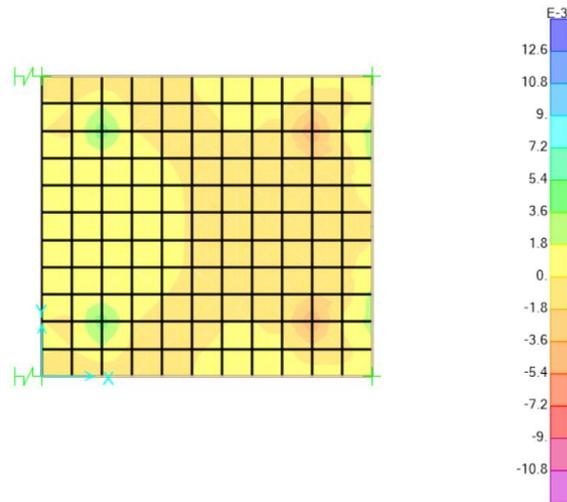


Ilustración 42. Tensión según S11 del modelo 2.

Fuente: Autor

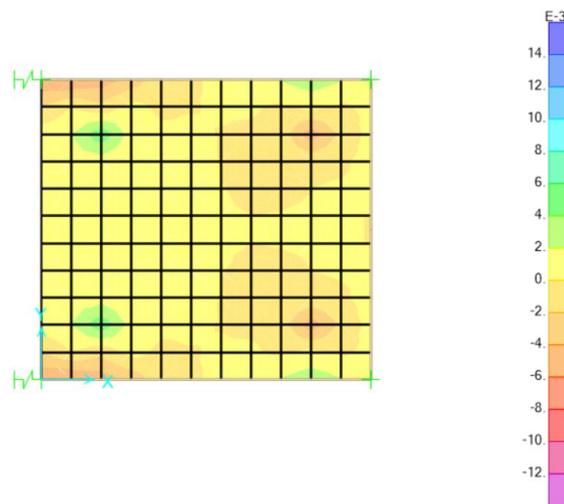


Ilustración 43. Tensión según S22 del modelo 2.

Fuente: Autor

Tabla 26. Tensiones en la placa de acero del modelo 3.

TENSIONES EN LA PLACA DE ACERO			
	S11	S22	Tensión Admisible
	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2
MAX	0.000348	0.000247	0.00001
MIN	-0.00029	-0.000767	7.487E-07

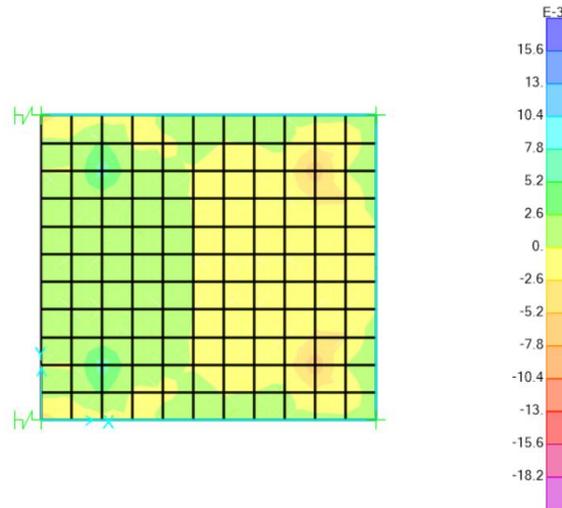


Ilustración 44. Tensión según S11 del modelo 3.

Fuente: Autor

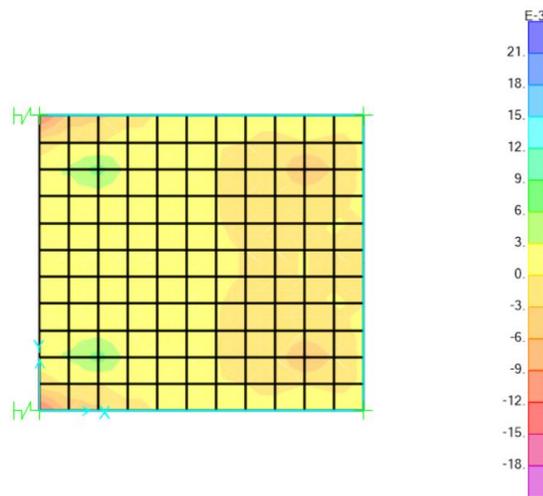


Ilustración 45. Tensión según S22 del modelo 3.

Fuente: Autor

Hacia el modelo con el registro del sismo del centro, el prototipo queda sostenido por las vigas que conforman la mesa. Todas las tensiones sobre la plancha de acero son menores que la tensión admisible, menos donde se producen algunas cargas puntuales.

Los valores correspondientes están en la **Tabla 27**, **Tabla 28** y **Tabla 29** donde S11 es la

tensión directa (fuerza por unidad de área) que actúa sobre la cara 1 positiva y negativa en la dirección de eje 1, S22 es la tensión directa (fuerza por unidad de área) que actúa sobre la cara 2 positiva y negativa en la dirección del eje 2 y S12 el esfuerzo cortante (fuerza por unidad de área) que actúa sobre la cara 1 positiva y negativa en la dirección del eje 2 y que actúa sobre la cara 2 positiva y negativa en la dirección del eje 1.

Tabla 27. Tensiones en la placa de acero del modelo 1.

TENSIONES EN LA PLACA DE ACERO						
	S11	S22	S12	S13	S23	Tensión Admisible
	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2
MAX	0.000726	0.002092	0.000465	0.000024	0.000046	0.000054
MIN	-0.002087	-0.00376	-0.000465	-0.000029	-0.000046	7.408E-08

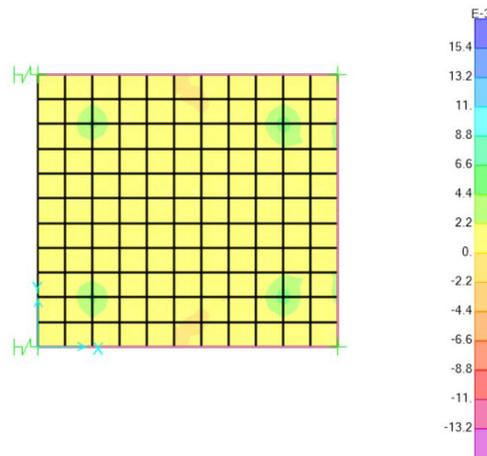


Ilustración 46. Tensión según S11Max del modelo 1.

Fuente: Autor

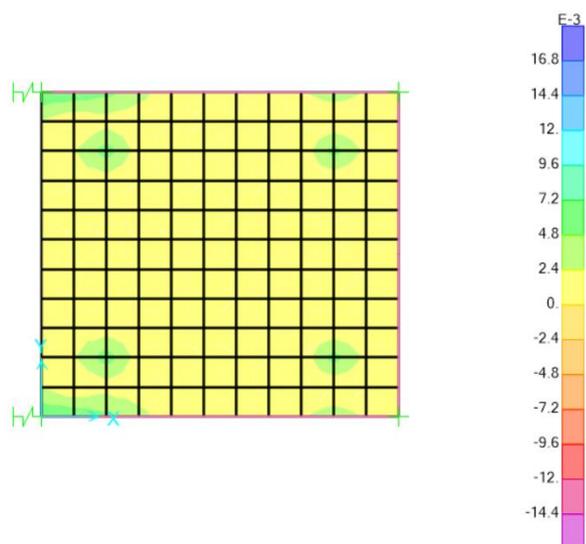


Ilustración 47. Tensión según S_{22Max} del modelo 1.

Fuente: Autor

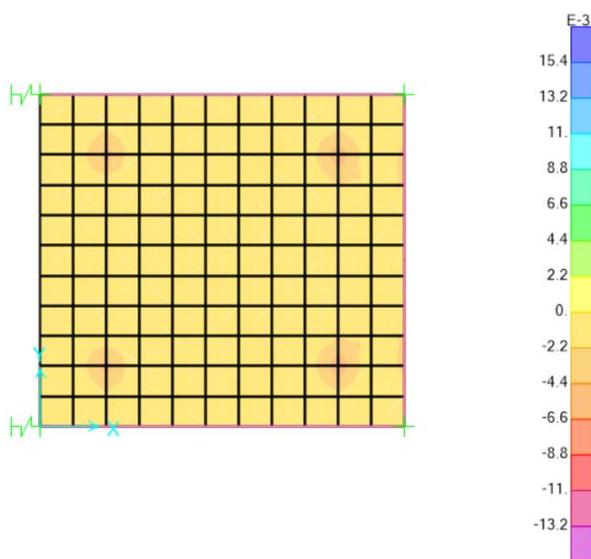


Ilustración 48. Tensión según S_{11Min} del modelo 1.

Fuente: Autor

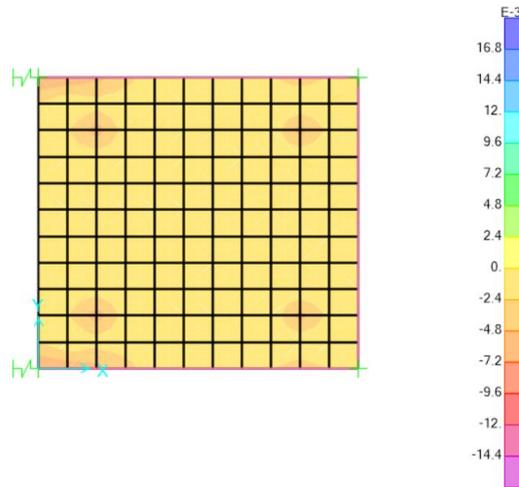


Ilustración 49. Tensión según S_{22Min} del modelo 1.

Fuente: Autor

Tabla 28. Tensiones en la placa de acero del modelo 2.

TENSIONES EN LA PLACA DE ACERO						
	S11	S22	S12	S13	S23	Tensión Admisible
	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2
MAX	0.000642	0.001994	0.000445	0.000023	0.000045	0.000052
MIN	-0.001982	-0.003618	-0.000445	-0.000027	-0.000045	6.472E-08

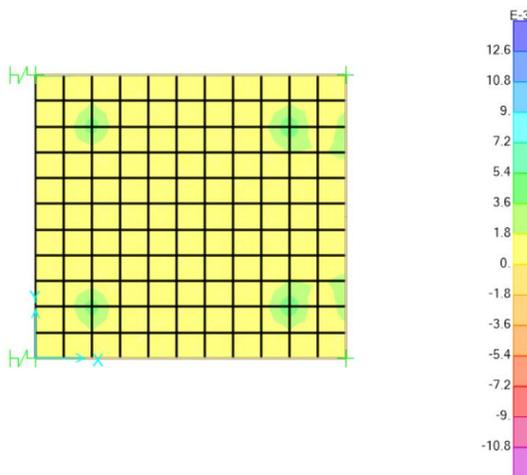


Ilustración 50. Tensión según S_{11Max} del modelo 2.

Fuente: Autor

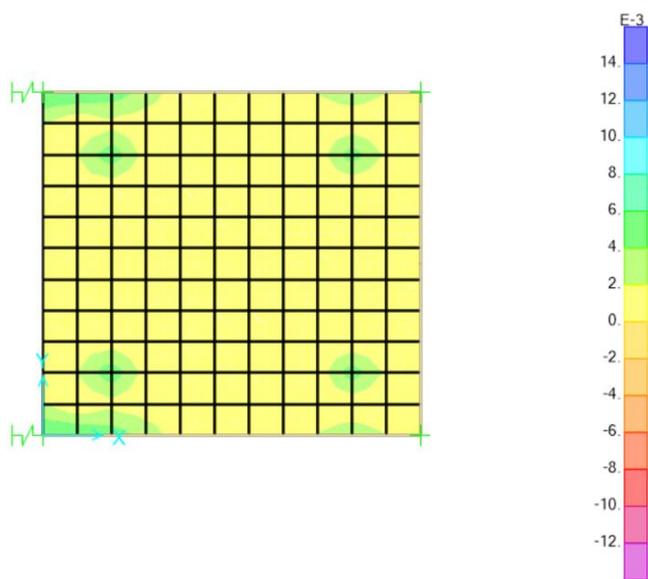


Ilustración 51. Tensión según $S22Max$ del modelo 2.

Fuente: Autor

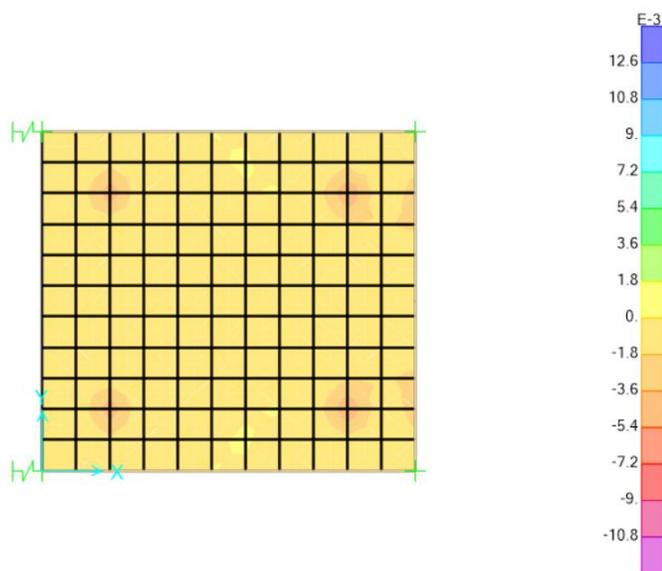


Ilustración 52. Tensión según $S11Min$ del modelo 2.

Fuente: Autor

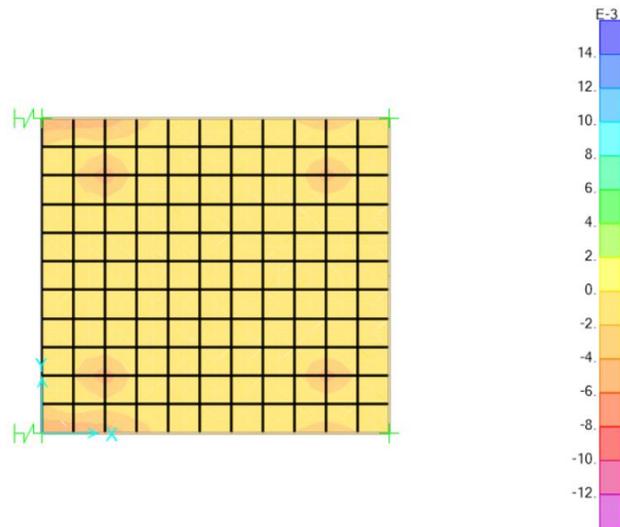


Ilustración 53. Tensión según S22 Min del modelo 2.

Fuente: Autor

Tabla 29. Tensiones en la placa de acero del modelo 3.

TENSIONES EN LA PLACA DE ACERO						
	S11	S22	S12	S13	S23	Tensión Admisible
	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2	Tonf/mm2
MAX	0.000348	0.000247	0.00042	6.736E-06	5.013E-06	0.00001
MIN	-0.000290	-0.000767	-0.000041	-2.721E-07	-7.866E-06	7.487E-07

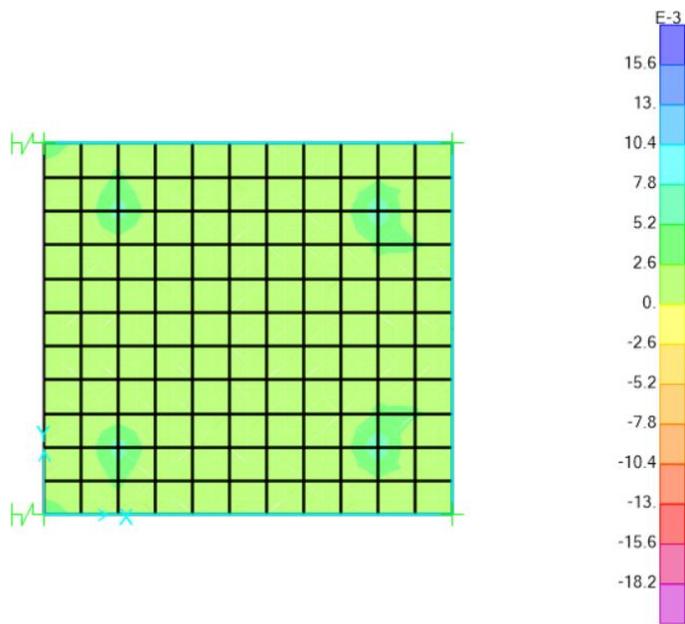


Ilustración 54. Tensión según $S11Max$ del modelo 3.

Fuente: Autor

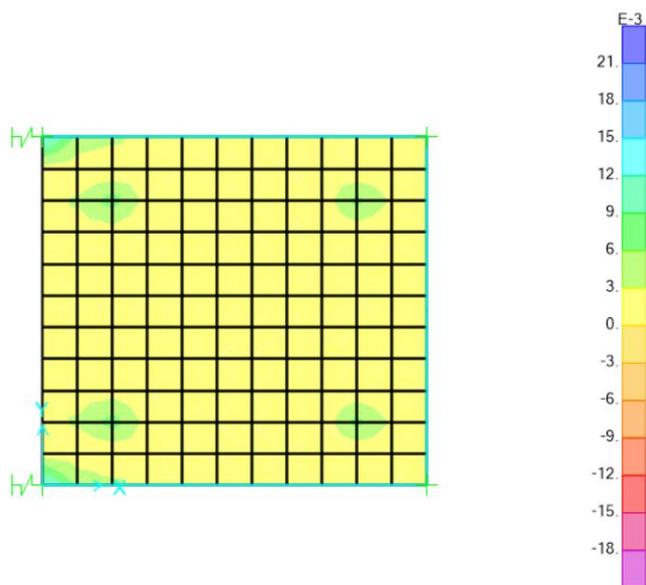


Ilustración 55. Tensión según $S22Max$ del modelo 3.

Fuente: Autor

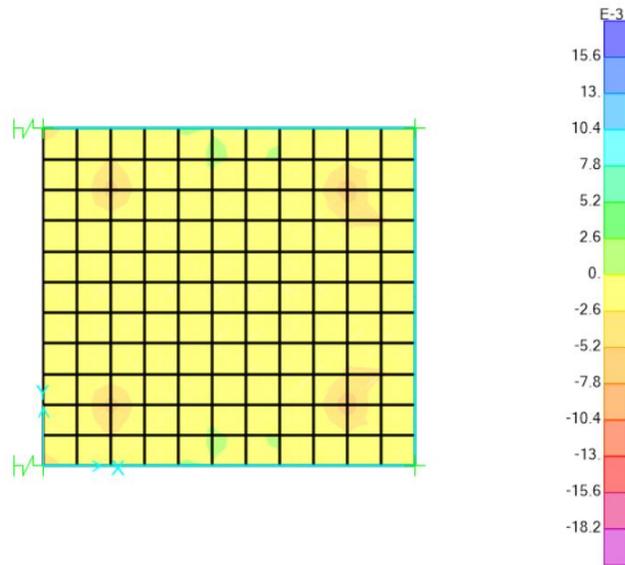


Ilustración 56. Tensión según S_{11Min} del modelo 3.

Fuente: Autor

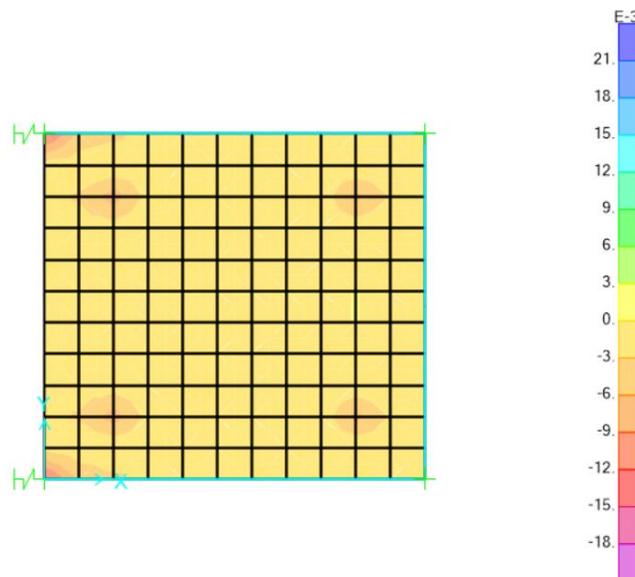


Ilustración 57. Tensión según S_{22Min} del modelo 3.

Fuente: Autor

4.11 Planos de fabricación

Los planos de la mesa se trazaron en AutoCAD. Ellos contienen todos los detalles para que la mesa pueda ser elaborada. Estos se encuentran en el Anexo Planos.

4.12 Presupuesto

El presupuesto de la mesa se realizó en Excel basado en los planos de fabricación, este incluye un cálculo de cantidades con base en los requerimientos estructurales y constructivos del sistema. Adicionalmente, cada presupuesto se elaboró con referencia a las cotizaciones realizadas que se encuentran en los anexos. Sin embargo, la información se ajustó por medio de los valores de herramienta meno y los cálculos de cantidades de obra (incluyendo mano de obra), por lo que se presentan en términos del salario mínimo mensual legal vigente (COL \$ 1.116.000, para el año 2023). El presupuesto general se muestra en la **Tabla 30** y el modelo de análisis de precio unitarios se muestra en la **Tabla 31**.

Tabla 30. *Presupuesto Mesa Vibratoria.*

PRESUPUESTO GENERAL MESA VIBRATORIA					
DESCRPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR TOTAL PESOS COL	VALOR TOTAL PESOS MEX	VALOR TOTAL DÓLAR
Software LabVIEW	1	Und	\$ 3,587,008.92	\$ 15,094.13	\$825.37
Perfiles laminados en caliente Gerdau referencia IR 152x37.2	1	Und	\$ 3,035,950.84	\$ 12,775.28	\$698.57
Perfiles laminados en caliente Gerdau referencia IR 127x23.70	1	Und	\$ 3,666,226.27	\$ 15,427.48	\$843.60
Tornillos expansivos de 3/8"	24	Und	\$ 124,149.73	\$ 522.42	\$28.57
Soldadura E-7018	10	Kg	\$ 447,208.65	\$ 1,881.85	\$102.90

Placa Acero Inoxidable T304 1/4" (120cm X 120cm)	1	Und	\$ 7,931,451.16	\$ 33,375.55	\$1,825.03
Tornillos de acero de 5/16"	30	Und	\$ 77,728.17	\$ 327.08	\$17.89
Rieles guías de desplazamiento referencia LRCB30 EWELLIX	2	Und	\$ 2,009,707.56	\$ 8,456.85	\$462.43
Rodamientos lineales de bola LTCT 30D-2LS EWELLIX	4	Und	\$ 8,495,823.28	\$ 35,750.42	\$1,954.89
Actuador lineal hidráulico marca WEN TR3508A PSI ASAE	1	Und	\$ 930,620.38	\$ 3,916.05	\$214.14
VALOR TOTAL			\$30,305,874.96	\$ 127,527.12	\$6,973.38

Tabla 31. Modelo Análisis Precios Unitarios.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
PRECIOS REFERENCIALES - MODELAMIENTO Y DISEÑO DE UNA MESA VIBRATORIA UNIDIMENSIONAL PARA SIMULACIÓN SÍSMICA CON MODELOS REDUCIDOS					
Perfiles laminados en caliente Gerdau referencia IR 152x37.2					
Unitario: Und					
Cantidad: 4					
Moneda: Colombiana					
Descripción	Und.	Cantidad	%	Precio	Costo Total
			Productivo		
1.- MATERIALES					
Perfiles laminados en caliente Gerdau referencia IR 152x37.2	Und.	1		1,560,962.21	1,560,962.21
					0.00
					0.00
				TOTAL MATERIALES	1,560,962.21
2.- MANO DE OBRA					
OFICIAL	HR.	24.000		\$ 4,936.00	118,464.00
AYUDANTE	HR.	24.000		\$ 4,936.00	118,464.00
BENEFICIOS SOCIALES - % DE LA MANO DE OBRA				67.00%	158,741.76

	IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % MANO DE OBRA+CARGAS SOCIALES			19.00%	75,177.25
				TOTAL MANO DE OBRA	470,847.01
3.-	EQUIPO Y MAQUINARIA				
	CIERRA CIRCULAR	HR.	8.000	90.00%	27,000.000
	HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA				194,400.80
				5.00%	23,542.35
				TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA	217,943.15
4.-	GASTOS GENERALES Y ADMINISTR.				
	GASTOS GENERALES - %			8.00%	179,980.19
				TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTR.	179,980.19
5.-	UTILIDAD				
	UTILIDAD - %			5.00%	121,486.63
				TOTAL UTILIDAD	121,486.63
6.-	IMPUESTOS				
	IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %			19.00%	484,731.65
				TOTAL IMPUESTOS	484,731.65
				TOTAL PRECIO UNITARIO	3,035,950.84

5. Conclusiones

El objetivo general de esta tesis es el modelamiento y diseño de una mesa vibratoria unidimensional para simulación sísmica con modelos reducidos. Este objetivo se ha cumplido al realizar cada una de las fases señaladas.

En resumen, se ha diseñado una mesa vibratoria con una estructura resistente, construida con vigas IPR. La mesa estará equipada con rieles guías de desplazamiento EWELLIX LR3B30 para un movimiento lineal suave y rodamientos lineales de bola EWELLIX LTCT 30D-2LS para un deslizamiento preciso.

Para generar la vibración controlada, se propuso utilizar un actuador lineal hidráulico WEN TR3508A PSI ASAE, que estará conectado al software LabVIEW para un control preciso de la frecuencia, amplitud y duración de la vibración. El diseño del panel de control permitirá ajustar estos parámetros según las necesidades del usuario.

Con su diseño robusto, capacidad de control preciso y seguridad integrada, esta mesa vibratoria será versátil y podrá ser utilizada en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo pruebas de materiales, análisis de eficiencia de equipos industriales y ensayos de vibración para productos electrónicos.

En conclusión, este diseño de mesa vibratoria cumple con los requisitos y especificaciones establecidos, proporcionando una solución confiable y efectiva para cualquier aplicación que requiera una vibración controlada.

6. Referencias Bibliográficas

- Álvarez, R. J. (2008), Diseño, construcción, instalación e implementación de mesa vibratoria para la generación de sismos en estructuras a escala. (Tesis de maestría). Tecnológico de Monterrey, Monterrey, N.L, México.
- Ayllon, L. Diana, L. (2017). Implementación de una mesa vibradora unidireccional para simulación sísmica y experimentación con Modelos reducidos. (Tesis de maestría). Universidad privada de Tacna. Tacna, Perú.
- De Silva, P., & Kannangara, J. (2020). Cambios de temperatura, humedad y edad del material: Estudio de las vibraciones estructurales. *Revista de Ingeniería*, 8(2), 79-86.
- Carrillo, J., Bernal, R. N., Porras, P. (2013). Evaluación del diseño de una pequeña mesa vibratoria para ensayos en ingeniería sísmo-resistente. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*. Colombia. Vol 23 Núm. 1.
- Carrillo, J., Echeverri, F., & Aperador, W. (2015). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XVI (número 4), octubre-diciembre 2015: 479-490 ISSN 1405-7743 FI-UNAM (artículo arbitrado).
- Cartagena, C., & Ramírez, C. (2011). Diseño, modelado y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Clavijo, C.J.C., Ramírez, C. L.R. (2011), Diseño, Modelamiento y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica. (Monografía de pregrado). Escuela de ingeniería mecánica. Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Coral, H. A., Ramírez, J. M., Rosero, E.E., Thomson, P., Gómez, D., Marulanda, J. (2010). Diseño, construcción y control de un simulador sísmico uniaxial tele-operable para

- Modolos a escala estructurales a pequeña escala. Ingeniería y competitividad, Volumen 12, No 2, p.95-115.
- Coronado, M. G. (2017). Implementación de una mesa vibratoria para simulación del comportamiento sísmico de estructuras en proyectos de investigación y la formación SENA. SENNOVA sistema de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.
- Dy Cornejo, K. I. (2021). Diseño de una mesa vibratoria a un eje y desarrollo de su simulación computacional. Calstate.edu. <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/xg94hv74x>
- García, J., & Sánchez, M. (2018). Diseño de la estructura: Diseño óptimo de estructuras para vibraciones. Revista de Ingeniería, 7(2), 57-64.
- Gómez, D. (2020). Colombia: Movimientos sísmicos y vibraciones en estructuras civiles.
- Hernandez Buitrago, A. (2017). Diseño e implementación de una mesa vibratoria para el estudio de los efectos de frecuencias naturales y de resonancia sobre estructuras mecánicas, para el departamento de diseño mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander.
- J.T.O' Hagan., Q.T.Ma (2013). Experimental assessment of PID control for uniaxial shake table. 15 WCEE, Lisboa.
- Lehmann, A., Bertero, A., Muñoz, S. (2019). Consideraciones de diseño y construcción de una mesa vibratoria para ejecución de ensayos dinámicos. Conferencia XXII Jornadas argentinas de ingeniería estructural. BuenosAires, Argentina.
- Leiva, C. J. E. (2007), Diseño y fabricación de mesa vibratoria uni- direccional con un actuador hidráulico. (Monografía de pregrado).
- Mathews, E.H., van Wyk, S. L., Richards, P.G., Rousseau, P. G. RenewableEnergy, Vol. 5, No 5-8, pp 1231-1234, aug 1994.
- Méndez, A., & Díaz, J. (2017). Frecuencia de vibración: Estudio de la frecuencia de vibración en estructuras. Revista de Ingeniería, 6(3), 65-72.

Rojas, J., & Gallegos, A. (2019). Calidad de la construcción: Diseño y construcción de estructuras resistentes a vibraciones. *Revista de Ingeniería*, 8(3), 87-94.

Romero, N. (2016). Implementación de una mesa vibratoria para el análisis dinámico de estructuras civiles a escala en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil de la universidad técnica de Ambato. (Monografía de pregrado). Ambato, Ecuador.

SAP2000. (2020). Software para análisis estructural y diseño [Software].

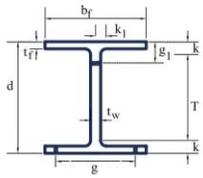
Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de ingeniería civil. Santiago de Chile, Chile.

7. Anexos

Perfiles laminados en caliente Gerdau.

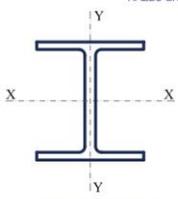
IR

PERFIL I
RECTANGULAR



DIMENSIONES

HAZLO EN GRANDE, PIENSA EN ACERO.



PROPIEDADES

perfil	DIMENSIONES														PROPIEDADES														
	Designación		Peralte WH	d	Alma tw	Patin			Distancia			Gramil		Sujetadores		Área	Criterio de compactación	r _x	d / A _x	EJE X - X			EJE Y - Y			Constantes de Torsión		Módulo de Sección Plástico	
	mm" x kg/m	in x lb/ft				bf	tf	T	K	K _t	g	g ₁	Diámetro Mec. en patin	in	cm ²					bf/2tf	d/t _w	i	s	r	i	s	r	J	C _w
IR	102 x 194	4 x 13	H	106	7.1	103	8.8	71	17	11	60	50	12.7	12	24.7	5.9	14.9	2.8	1.17	470	89	4.4	161	31	2.5	6.2	3802.76	103	48
IR	127 x 237,0	5 x 16	H	127	6.1	127	9.1	89	19	11	70	50	19.0	34	23.7	6.9	20.8	3.5	1.1	887	140	5.4	313	49	3.2	7.9	10877.07	157	75
IR	127 x 281	5 x 19	H	131	6.9	128	10.9	90	21	11	70	55	22.2	78	28.1	5.9	19.0	3.5	0.94	1091	167	5.5	380	60	3.3	12.9	13702.81	190	91
IR	152 x 127	6 x 8.5	W	148	4.3	100	4.90	122.99	12.54	9.8	60	45	12.7	12	16.3	10.2	34.3	2.8	3.00	630	84	6.2	92	17	2.2	1.4	4222.30	93	25
IR	152 x 135	6 x 9	W	150	4.3	100	5.5	121	14	10	60	45	12.7	12	17.3	8.1	34.9	2.6	2.74	683	91	6.3	91	18	2.3	1.7	4752.26	102	29
IR	152 x 16.0	6 x 12	W	153	5.8	102	7.3	121	16	10	60	55	12.7	12	22.9	7.2	26.4	2.7	2.12	920	120	6.3	124	25	2.3	3.7	6598.91	136	138
IR	152 x 24.0	6 x 16	W	160	6.6	102	10.3	121	19	11	60	55	12.7	12	30.6	5.0	24.2	2.7	1.51	1336	167	6.6	184	36	2.5	9.2	10398.84	152	56
IR	152 x 22.4	6 x 15	H	152	5.8	152	6.6	120	16	10	90	55	22.2	78	28.6	11.5	26.2	4.1	1.51	1211	159	6.5	308	51	3.7	4.2	3058.33	177	78
IR	152 x 26.7	6 x 20	H	157	6.6	153	9.3	119	19	11	90	55	22.2	78	37.9	6.2	23.8	4.2	1.11	1723	220	6.8	554	72	3.8	6.9	3024.18	244	110
IR	152 x 37.2	6 x 25	H	162	8.1	154	11.6	121	21	11	90	60	25.4	1	47.4	6.6	20.0	4.2	0.91	2223	274	6.9	712	92	3.9	18.1	4026.88	310	140
IR	203 x 15.0	8 x 10	W	200	4.3	100	5.2	169	16	11	60	55	12.7	12	18.1	9.6	46.5	2.5	3.85	1262	128	8.2	87	17	2.1	1.7	6203.48	145	27
IR	203 x 19.4	8 x 13	W	203	5.8	102	6.5	168	17	11	60	55	12.7	12	24.8	7.9	36.0	2.6	3.68	1648	162	8.2	114	22	2.1	3.7	11004.49	187	35
IR	203 x 22.5	8 x 15	W	206	6.2	102	8.0	168	19	13	60	55	12.7	12	28.6	6.4	33.2	2.6	2.52	1998	193	8.4	142	28	2.2	5.8	13917.42	223	44

Rodamientos lineales EWELLIX

3.4.10 Standard tandem units - LTCT/LTCF

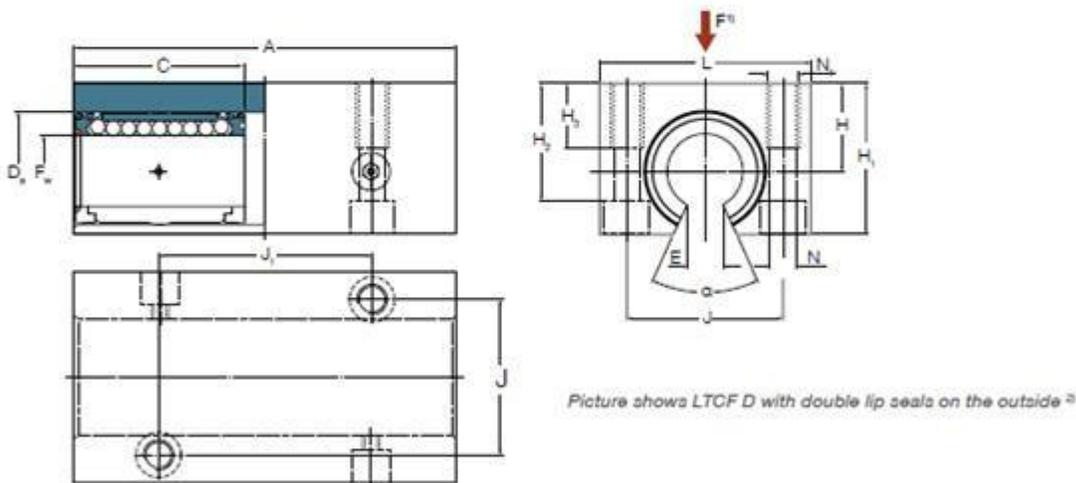
- LTCT with rigid LBCT bearing
- LTCF with self-aligning LBCF bearing
- LTCT PA with LPAT linear plain bearing

- Open design in sizes from 12 mm to 50 mm
- Aluminium housing with 2 mounted bearings
- Available as sealed or shielded variant
- Available as bearing steel (standard) or stainless steel variant
- Factory pre-lubricated with SKF LGEP 2 grease, ready for use
- Equipped with grease fitting
- Able to bolt from top or bottom side

Please find suitable shaft blocks or shaft supports in chapter 3.6 and shafts in chapter 3.7



Pictured is LTCF 30 D-2LS ²⁾



Dimensions															
F _w mm	A	C	D _s	H	H ₁	H ₂	H ₃	J	J ₁	L	N ^{s)}	N _i -	E ^{s)} mm	α Deg.	
12	76	32	22	18	29	23,5	13	30	40	42	5,3	M6	8	78	
16	84	36	26	22	35	28	13	36	45	50	5,3	M6	10	78	
20	104	45	32	25	42	33,5	18	45	55	60	6,4	M8	11	60	
25	130	58	40	30	51	40	22	54	70	74	8,4	M10	13	60	
30	152	68	47	35	60	46,5	26	62	85	84	10,5	M12	14	50	
40	176	80	62	45	77	61	34	80	100	108	13	M16	19	50	
50	224	100	75	50	88	72	34	100	125	130	13	M16	23,6	50	

¹⁾Direction for max. load ratings

²⁾Picture with non D-series bearing or plain bearing differs

³⁾For cylinder head screws with internal hexagon according to ISO 4762

⁴⁾Minimum sector width at diameter F_w

LTCT

Designations			Mass	Basic load ratings ¹⁾			
LBCT bearing inside		Stainless steel variant of LBCT bearing inside		dynamic C		static C ₀	
with shields	with double lip seal	with double lip seal	kg	min	max	min	max
-	-	-	-	N	-	-	-
LTCT 12 D ¹⁾	LTCT 12 D-2LS ¹⁾	LTCT 12 D-2LS/HV6 ¹⁾	0,189	1 120	2 000	1 020	2 040
LTCT 16 D ¹⁾	LTCT 16 D-2LS ¹⁾	LTCT 16 D-2LS/HV6 ¹⁾	0,296	1 250	2 450	1 180	2 750
LTCT 20 D ¹⁾	LTCT 20 D-2LS ¹⁾	LTCT 20 D-2LS/HV6 ¹⁾	0,646	3 000	5 200	2 700	5 400
LTCT 25 D ¹⁾	LTCT 25 D-2LS ¹⁾	LTCT 25 D-2LS/HV6 ¹⁾	1,004	4 400	7 500	4 000	8 000
LTCT 30 D ¹⁾	LTCT 30 D-2LS ¹⁾	LTCT 30 D-2LS/HV6 ¹⁾	1,548	6 700	11 600	6 000	12 000
LTCT 40 D ¹⁾	LTCT 40 D-2LS ¹⁾	LTCT 40 D-2LS/HV6 ¹⁾	2,918	10 400	18 000	8 500	17 000
LTCT 50 ¹⁾	LTCT 50-2LS ¹⁾	LTCT 50-2LS/HV6 ¹⁾	4,880	9 500	21 600	10 600	24 500

LTCF

Designations			Mass	Basic load ratings ¹⁾			
Self-aligning LBCF bearing inside		Stainless steel variant of self-aligning LBCF bearing inside		dynamic C		static C ₀	
with shields	with double lip seal	with double lip seal	kg	min	max	min	max
-	-	-	-	N	-	-	-
LTCF 12 D ¹⁾	LTCF 12 D-2LS ¹⁾	LTCF 12 D-2LS/HV6 ¹⁾	0,189	980	1 760	830	1 700
LTCF 16 D ¹⁾	LTCF 16 D-2LS ¹⁾	LTCF 16 D-2LS/HV6 ¹⁾	0,296	1 080	2 160	965	2 240
LTCF 20 D ¹⁾	LTCF 20 D-2LS ¹⁾	LTCF 20 D-2LS/HV6 ¹⁾	0,644	2 360	4 050	1 830	3 660
LTCF 25 D ¹⁾	LTCF 25 D-2LS ¹⁾	LTCF 25 D-2LS/HV6 ¹⁾	1,000	3 750	6 300	2 450	4 900
LTCF 30 D ¹⁾	LTCF 30 D-2LS ¹⁾	LTCF 30 D-2LS/HV6 ¹⁾	1,544	5 300	9 300	3 900	7 800
LTCF 40 D ¹⁾	LTCF 40 D-2LS ¹⁾	LTCF 40 D-2LS/HV6 ¹⁾	2,910	9 000	15 300	6 000	11 800
LTCF 50 ¹⁾	LTCF 50-2LS ¹⁾	LTCF 50-2LS/HV6 ¹⁾	4,840	8 000	18 300	6 000	14 000

LTCT PA

Designations	Mass	Basic load ratings		static ¹⁾ C ₀
		dynamic C	at 4 m/s	
LPAT linear plain bearing inside	kg	at 0,1 m/s N		
-	-	-	-	-
LTCT 12 PA ¹⁾	0,173	2 120	52	7 300
LTCT 16 PA ¹⁾	0,280	3 360	86	117 00
LTCT 20 PA ¹⁾	0,600	5 400	136	19 000
LTCT 25 PA ¹⁾	0,916	8 800	220	30 600
LTCT 30 PA ¹⁾	1,412	12 000	300	41 600
LTCT 40 PA ¹⁾	2,684	17 300	432	60 000
LTCT 50 PA ¹⁾	4,640	25 400	640	90 000

Guías de desplazamiento para los rodamientos EWELLIX

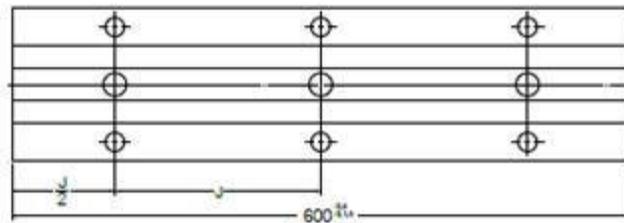
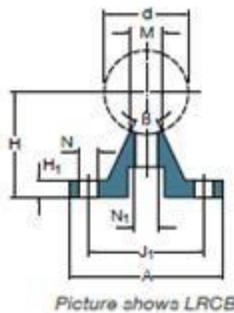
3.6.6 Standard shaft supports - LRCB/LRCC

- LRCB with mounting holes
- LRCC without mounting holes

- Designed for all open type linear bearings and units
- Sizes from size 12 mm to 50 mm in aluminium material
- For complete or partial shaft support
- Able to bolt from top or bottom side to the surface
- LRCB with Ewellix standard shaft hole pattern ESSC8 (→ chapter 3.7)
- LRCC machined for customised hole patterns



Pictured is LRCB



Dimensions									
d	A	H ±0,02	H ₁	J	J ₁	M	N ¹⁾	N ₁ ¹⁾	β
mm									Deg.
12	40	22	5	75	29	5,8	4,5	4,5	50
16	45	26	5	100	33	7	5,5	5,5	50
20	52	32	6	100	37	8,3	6,6	6,6	50
25	57	36	6	120	42	10,8	6,6	9	50
30	69	42	7	150	51	11	9	11	50
40	73	50	8	200	55	15	9	11	50
50	84	60	9	200	63	19	11	13	46
60	94	68	10	300	72	25	11	15,5	46
80	116	86	12	300	92	34	13	17,5	46

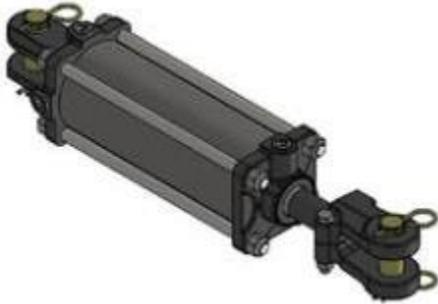
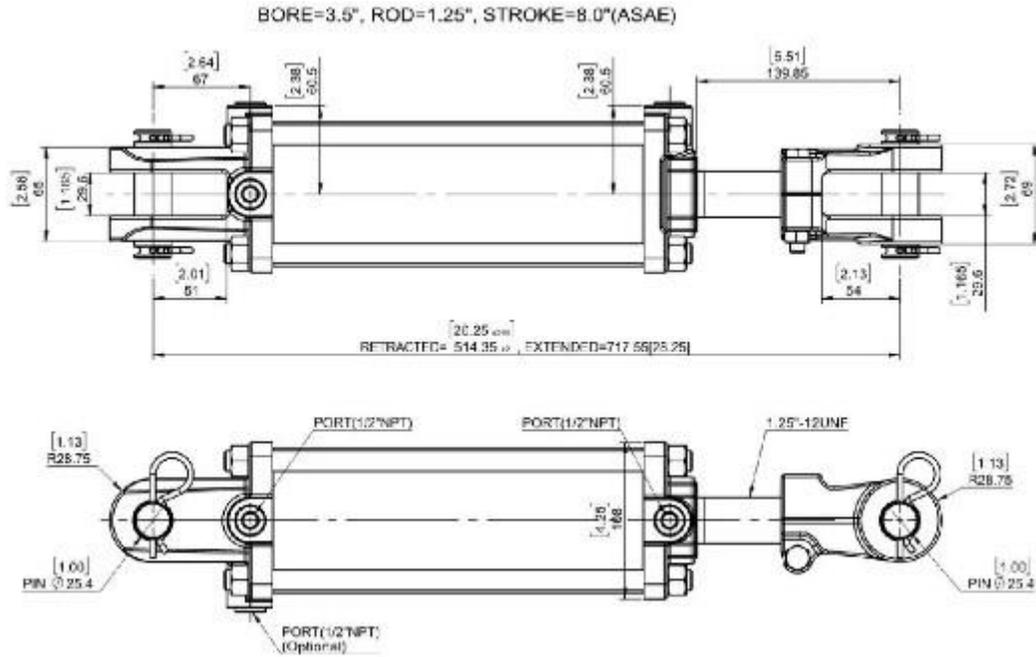
Designations		Mass	Mass	Shaft attachment screw ¹⁾
Shaft support with mounting holes	without mounting holes	LRCB kg	LRCC kg	
-	-	-	-	-
LRCB 12	LRCC 12 *	0,44	0,46	M4×16
LRCB 16	LRCC 16 *	0,55	0,56	M5×20
LRCB 20	LRCC 20 *	0,8	0,81	M6×25
LRCB 25	LRCC 25 *	0,9	0,92	M8×25
LRCB 30	LRCC 30 *	1,13	1,18	M10×30
LRCB 40	LRCC 40 *	1,6	1,62	M10×35
LRCB 50	LRCC 50 *	2,1	2,16	M12×40
LRCB 60	LRCC 60 *	2,37	2,41	M14×45
LRCB 80	LRCC 80 *	4,9	4,99	M16×55

Items without letter footnote are usually available from stock.

* Delivery time usually 10 days for max. quantity of 4; larger quantities on request

¹⁾ LRCB has holes for cylinder head screws with internal hexagon according to ISO 4762

Actuador lineal hidráulico, marca WEN



SPECIFICATION:

TYPE : DOUBLE ACTING
 BORE : \varnothing 3.5"
 ROD : \varnothing 1.25"
 STROKE : 8.0"(ASAE)

WORKING PRESSURE : 2500PSI
 TEST PRESSURE : 3800PSI

PORTS : 1/2"NPT



PARTS LIST			
No.	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
A	R-CLIP	SPR. STEEL	4
B	CLEVIS PIN	AISI1045	2
C	END CLEVIS	ASTM A536 DUCTILE	1
D	PISTON NUT	LOCK NUT (G10)	1
E	PISTON	ASTM A536 DUCTILE	1
F	TUML	AISI 1020	1
G	PISTON ROD	AISI 1045	1
H	GLAND	ASTM A536 DUCTILE	1
I	ROD END CLEVIS	ASTM A536 DUCTILE	1
J	TIE-ROD	ALLOY STEEL	4
K	TIE-ROD NUT	M14 (G10)	8
L	ROD CLEVIS BOLT	M10x1.5 (G10.9)	1
M	ROD CLEVIS NUT	M10x1.5 (G10)	1
N	PORT PLUG - 1/2"	STEEL	3

SEAL LIST			
No.	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY
1	TUBE SEAL	O-Ring + Back-up Ring	2
2	PISTON WEAR RING	F.O.M	1
3	PISTON SEAL	Poly	1
4	PISTON ID SEAL	O-Ring (NBR)	1
5	ROD SEAL	Poly	1
6	ROD WIPER	Poly	1



Cotización Software LabVIEW

[PÁGINA PRINCIPAL](#) / [PRODUCTOS](#) / [¿QUÉ ES LABVIEW?](#) / [SELECCIONE SU EDICIÓN DE LABVIEW](#)

Seleccione su edición de LabVIEW

Elija la edición que mejor cumpla con sus necesidades, o considere comprar LabVIEW como parte de **Test Workflow**.

[Aprenda más sobre LabVIEW](#)

Esta tabla compara las ediciones que usted puede usar si está desarrollando nuevas aplicaciones de software. Las **licencias de depuración e implementación** también están disponibles para que usted pueda resolver problemas con los sistemas y aplicaciones de producción.

Todas las ediciones de LabVIEW están disponibles en Inglés, Francés, Alemán, Coreano, Japonés y Chino Simplificado

	LabVIEW Base	LabVIEW Completo	LabVIEW Profesional
Desde	\$ 580.00/año	\$ 1,830.00/año	\$ 3,050.00/año
Seleccione la edición de software	SELECCIONAR	SELECCIONAR	SELECCIONAR
Prueba gratis	—	—	PRUEBA GRATIS
	Recomendado para construir aplicaciones simples de pruebas v	Recomendado para aplicaciones que requieren análisis o procesamiento	Recomendado para ingenieros que necesitan herramientas para Representante comercial >

Cotización Perfiles laminados en caliente Gerdau referencia IR 152x37.2 y 127x23.70



OPERADORA DE FRANQUICIAS DE ACERO S.A.P.I. DE C.V.

Avenida Jesús Reyes Heróles
Valle Ceylan, Tlalnepantla de Baz. CP: 54150

Cotización

88384

Lugar de expedición: CEYLAN CP: 54150
TEL: 5559-898802 ó 5580947253 ó 5580-941359

CLIENTE:

CLIENTE DE MOSTRADOR		FECHA: 2/10/23 04:56 PM	
AV JESUS REYES HEROLES		VENTA: 88384	
VALLE CEYLAN		CLIENTE: 000173	
TLALNEPANTLA DE BAZ		VENDEDOR: SUSANA CRUZ	
C.P.	RFC	VENCE: null	
5559898802	Contácto	TIPO: NAL	
		No. ext. 138	
		TLALNEPANTLA DE BAZ	
		XAXX010101000	

CANTIDAD	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	\$ PRECIO LISTA	DESC	\$ PRECIO	\$ IMPORTE
1.0	IPR-5X5X23.8-	VIGA IPR 5X5 EN 23.80 KG/MT A 12.20 16 LB	\$ 8,534.48	null	\$ 8,534.48	\$ 8,534.48
1.0	IPR-6X6X37.2-	VIGA IPR 6X6 EN 37.2 K/M A 12.20 MTS 25 LB	\$ 13,017.24	%0.0	\$ 13,017.24	\$ 13,017.24
1.0	VIG-IPR6X6X37.2-	VIGA IPR 6X6 EN 37.2 K/M A 6.10 MTS 25 LB	\$ 6,568.97	null	\$ 6,568.97	\$ 6,568.97

Cotización Soldadura E-7018, Tornillos de acero de 5/16" y Tornillos expansivos de 3/8"



Bucaramanga
26
Mi Cuenta

Carro
Entrega
Pago

Carro de compras 26

	<p>BAUKER Electrodo 7018 x 1/8 kilo Código 103225</p> <p>✓ Envío a domicilio ✓ Retiro en tienda</p>	<input type="button" value="-"/> <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="+"/>	<p>\$24.900 und \$24.900,00 kg</p> <p style="color: blue; font-size: small;">Eliminar</p>
Total producto:		\$249.000	
	<p>FIXSER Tornillo Hexagonal 5/16X1-1/4 3un Código 73939</p> <p>✓ Envío a domicilio ✓ Retiro en tienda</p>	<input type="button" value="-"/> <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="+"/>	<p>\$3.700 und \$1.233,33 und</p> <p style="color: blue; font-size: small;">Eliminar</p>
Total producto:		\$37.000	
	<p>FIXSER Chazo Expansivo 3/8x3pg 4und Código 76334</p> <p>✓ Envío a domicilio ✓ Retiro en tienda</p>	<input type="button" value="-"/> <input type="text" value="6"/> <input type="button" value="+"/>	<p>\$11.900 und \$2.975,00 und</p> <p style="color: blue; font-size: small;">Eliminar</p>
Total producto:		\$71.400	

Resumen de tu compra

Sub total \$357.400

Total a pagar \$357.400

El costo del envío no está incluido en el total.

+ Agrega un cupón de descuento

Continuar

Precios y opciones de entrega basados en tu ubicación actual: Bucaramanga

Cash
VISA
MasterCard
Interac
Neteller
PSE
efecty

Compra segura Ver más

Tus datos personales se mantienen bajo estricta confidencialidad y están protegidos.

Satisfacción Garantizada Ver más

Puedes devolver tu compra en un plazo máximo de 30 días, el producto debe estar en perfecto estado: sin uso, tener todos sus accesorios, manuales y embalaje original. Si tienes dudas, comunícate a nuestra línea de atención al cliente desde Bogotá 3077115 o a la línea nacional 320 889 9933.

¿Necesitas ayuda?

Si necesitas ayuda para completar tu compra llámanos al 320 889 9933

Cotización Placa Acero Inoxidable T304 1/4" (120cm X 120cm)

Disney+ STAR+ INCLUIDOSSuscríbete a **me!+** por \$99

Ingresa tu código postalCategoríasOfertasHistorialSupermercadoModaVenderAyudaCrea tu cuentaIngresaMis compras

También puede interesarte: riel din - balero - loctite 495 - aceite de linaza para madera - tapete sanitizante - moleteado - balluff

Volver al listado | Industrias y Oficinas > Herramientas Industriales > Repuestos > Otros

[Compartir](#) | [Vender uno igual](#)



Nuevo

Placa Acero Inoxidable T304 1/4" (120cm X 120cm) 

\$ 24,740⁷⁷

en 15x \$ 1,649³⁸ sin interés
IVA incluido

[Ver los medios de pago](#)

Envío gratis a todo el país

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

Vendido por NIVJM

Disponible 1 día después de tu compra

Cantidad: 1 unidad (2 disponibles)

Comprar ahora

Cotización Guías de desplazamiento y los rodamientos EWELLIX



RS
 Fort Worth, TX 76118
 Tel: 817.595.3500
 Fax: 817.595.6464
<https://us.rs-online.com>

Quote

9/12/2023

Bill To				Ship To	
UFPS				UFPS	
Customer Information				RS Information	
Purchase Order #:				Sales Order #:	
Customer #: 1XUSA00USD				CSOP #: 16951983	
Shipping Conditions: None				Document Date: 9/12/2023	
Purchase Order Date: 9/12/2023				Currency: USD	
Payment Terms:				Customer Contact Name: Karla Casadiegos	
				Inside Sales Rep:	
Line #	Order Items				Extended Price
	Qty	RS #	Mfr Part #	Unit Price	
10	Tandem Linear ball bearing; open; shaft block; relube; 2 seal; 30mm; 6550N static load;				
	4	71332056	LTCT 30-2LS	\$389.550	EA \$1558.20
20	Shaft support with bore holes; LRCB 30;				
	2	71331904	LRCB 30	\$176.410	EA \$352.82

Materials	\$1911.02
Handling	\$0.00
Freight	\$0.00
Estimated Tax	\$0.00
Subtotal	\$1911.02

Cotización Actuador lineal hidráulico, marca WEN

ENVÍO GRATIS EN COMPRAS SUPERIORES A \$25 PARA TODOS LOS ESTADOS UNIDOS CONTIGUOS

W WEN SINCE 1951

¿Qué estás buscando?

Les mejores ofertas
Compre aquí

Acceso

Hogar Herramientas eléctricas Césped y jardín Generadores Accesorios Piezas de repuesto Artículos reacondicionados Los recién llegados Comprar todo

Hogar > WEN TR3508A Cilindro hidráulico con barra de acoplamiento ASAE de 2500 PSI con diámetro de 3,5 pulg. y carrera de 8 pulg.

WEN TR3508A Cilindro hidráulico con barra de acoplamiento ASAE de 2500 PSI con diámetro de 3,5 pulg. y carrera de 8 pulg.

Agotado \$90.29

Título Individual

Cantidad 1 **Agotado**

- El diseño certificado ASAE soldado con acero de doble acción crea una presión de hasta 2500 PSI
- Cuenta con un diámetro de 3,5 pulgadas, una carrera de 8 pulgadas y un diámetro de varilla de 1,25 pulgadas.
- El puerto NPT de 1/2 pulgada se conecta a cualquier manguera hidráulica estándar
- El cilindro retraído de 20,25 pulgadas se extiende hasta 28,25 pulgadas de largo
- Incluye un pasador de acero galvanizado de 1 pulgada, una varilla cromada pulida y una garantía de dos años.

¿Recuerdas cuando tenías un cilindro que duraba? Maximice la confiabilidad en agricultura, construcción, fabricación, maquinaria y más con un cilindro hidráulico con trantes WEN. Este cilindro hidráulico de varilla de acoplamiento soldado de acero de doble acción crea presiones de funcionamiento de 2500 PSI. El tamaño del puerto NPT de 1/2 pulgada se conecta fácilmente a cualquier manguera hidráulica estándar. Con un diámetro de 3,5 pulgadas y una carrera de 8 pulgadas, este cilindro duradero va desde una longitud retraída de 20,25 pulgadas hasta una longitud extendida de 28,25 pulgadas. Este cilindro con certificación ASAE también incluye un sello de tubo con junta tórica reforzada, un tubo estirado en frío para maximizar la vida útil del sello, un pasador de acero galvanizado de 1 pulgada de diámetro, una varilla cromada pulida y rectificada de alta resistencia, un certificado ASTM Pistón de hierro dúctil A536 65-45-12 y horquillas hembra de hierro dúctil con tuercas de sujeción de grado 8. Y como es un producto WEN,

Haga clic para ampliar