

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA DE:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:
DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR SÍSMICO BIAxIAL DE 4 M2
CON UNA CARGA MÁXIMA DE 50 KG/M2 PARA ESTRUCTURAS DE
ACERO, ALUMINIO Y MADERA**

**AUTORES:
ESTEBAN GABRIEL MORALES VACA
BRYAN ESTEBAN TORRES JÁCOME**

**TUTOR:
WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA**

Quito, agosto del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Esteban Gabriel Morales Vaca con documento de identificación N°1724402803 y Bryan Esteban Torres Jácome con documento de identificación N°1723287841, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación titulado: “DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR SÍSMICO BIAXIAL DE 4 M2 CON UNA CARGA MÁXIMA DE 50 KG/M2 PARA ESTRUCTURAS DE ACERO, ALUMINIO Y MADERA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Esteban Gabriel Morales Vaca
C.I. 1724402803

.....
Bryan Esteban Torres Jácome
C.I. 1723287841

Quito, agosto de 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, “DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN SIMULADOR SÍSMICO BIAxIAL DE 4 M2 CON UNA CARGA MÁXIMA DE 50 KG/M2 PARA ESTRUCTURAS DE ACERO, ALUMINIO Y MADERA” realizado por Esteban Gabriel Morales Vaca y Bryan Esteban Torres Jácome, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para considerarse como trabajo final de titulación.



.....
William Gustavo Díaz Dávila

C.I.: 0400926184

Quito, agosto del 2020

DEDICATORIA

Quiero dedicar este Proyecto Técnico a mi familia, por su apoyo, confianza y motivación en el transcurso de mi carrera y por siempre mantenerse a mi lado.

A mis Padres y Abuelitas, por todo lo que me han dado en la vida, por sus sabios consejos y especialmente por creer siempre en el esfuerzo que desarrolle al pasar de los años.

Esteban Gabriel

Son muchas personas las cuales contribuyeron a mi proceso de formación y el presente Proyecto Técnico es dedicado a ellas. En primer lugar, quiero dedicar este proyecto a la memoria de mi difunto padre Galo Torres, quien, con su ayuda, su educación, sus consejos y sus sacrificios me permiten que hoy yo pueda estar aquí. Sé que tu mayor sueño fue verme convertido en un profesional, y aunque no estés aquí celebrando esto conmigo, te agradeceré infinitamente por esto.

A mi madre Indira, ya que sus sacrificios son impresionantes. Quiero agradecerte por nunca darte por vencida y motivarme a seguir adelante, me has proporcionado todo y tu ayuda fue fundamental para culminar este Proyecto de Grado, y por eso tengo mucho que agradecerte.

A mi hermana por siempre darme su apoyo y cariño incondicional, siempre en mis logros estuvo presente. Sin olvidar a todas aquellas personas que creyeron en mí y me ayudaron a continuar en momentos difíciles.

Bryan Esteban

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a nuestro tutor, Ingeniero William Díaz Dávila, por la confianza depositada, dedicación y respaldo mostrado hacía este trabajo. Quien, con mucho ahincó y apoyo nos ha guiado con sus valiosas ideas para lograr obtener este excelente proyecto.

A todas aquellas personas que de una u otra forma nos brindaron su colaboración y participaron a lo largo de este proceso de formación profesional.

Esteban y Bryan

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Sismicidad.....	4
1.1.1 Los inicios de la sismología.....	4
1.1.2 Sismo	5
1.1.3 ¿Cómo se originan los sismos?.....	5
1.1.4 Características de los sismos.....	6
1.1.5 Escala de intensidad sísmica.....	7
1.1.6 Correlación de Aceleración y velocidad sísmica con la escala Mercalli Modificada.....	10
1.1.7 Sismos en términos de sismo-resistencia: Aceleración y frecuencia	11
1.1.8 Fallas Sísmicas en Ecuador.....	11
1.1.9 Zonas sísmicas del Ecuador.....	12
1.1.10 Antecedentes Sísmicos en Ecuador	13
1.2 Ensayos sísmicos.....	15
1.2.1 Ensayos Cuasi estáticos	15

1.2.2	Ensayos en mesa vibratoria.....	15
1.2.3	Ensayos pseudodinámico.....	16
1.3	Simuladores Sísmicos	17
1.3.1	Rol de los simuladores sísmicos en la Ingeniería Sismo-Resistente	17
1.3.2	Diseño Mecánico	17
1.3.3	Principales componentes de un simulador sísmico.....	18
1.4	Situación actual de Edificaciones sismorresistentes en Ecuador	20
1.4.1	Configuración estructural	21
1.4.2	Características de una Edificación	23
1.4.3	Materiales utilizados en una Edificación	23
1.4.4	Tipos de Estructuras para Edificaciones	24
1.4.5	Conexiones.....	27
1.4.6	Uniones para elementos	28
CAPÍTULO II		30
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO		30
2.1	Alternativas de Diseño	30
2.2	Criterios de Evaluación	33
2.3	Selección de Alternativa	34
2.4	Estructuras modulares que podrían utilizarse para pruebas sísmicas.....	35
CAPÍTULO III.....		38
DISEÑO DEL SIMULADOR SÍSMICO BIAXIAL.....		38
3.1	Cálculos para la selección de elementos mecánicos	38
3.1.1	Selección de Rodamientos lineales.....	39
3.1.2	Selección de guías lineales	47
3.1.3	Selección del espesor correcto para las plataformas de Aluminio	51
3.1.4	Selección de Motores.....	59

3.2	Elementos mecánicos seleccionados.....	62
3.2.1	Plataformas	62
3.2.2	Rodamientos lineales	63
3.2.3	Guías lineales	63
3.2.4	Motores lineales	64
3.2.5	Chumaceras.....	64
3.3	Ensamble del Simulador Sísmico biaxial.....	65
3.4	Análisis estructural para una estructura modular	68
3.4.1	Método de la Rigidez de una Armadura Tridimensional.....	69
3.4.2	SAP2000	81
3.4.3	Comparación de resultados	83
3.4.4	Control del Simulador Sísmico.....	86
CAPÍTULO IV		89
SIMULACIÓN Y RESULTADOS		89
4.1	Construcción del modelo de Simulación.....	89
4.2	Simulación	91
4.3	Validación de Resultados	93
CAPÍTULO V		100
ANÁLISIS DE COSTOS		100
5.1	Costos Directos	100
5.2	Costos Indirectos	101
5.3	Costos Totales	101
CONCLUSIONES		102
RECOMENDACIONES		105
REFERENCIAS		107
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ondas sísmicas	7
Figura 2. Placas tectónicas del Continente Americano	12
Figura 3. Zonas sísmicas del Ecuador.....	13
Figura 4. Esquema de un simulador sísmico uniaxial.....	18
Figura 5. Sensores de desplazamiento	19
Figura 6. Variador de Frecuencia.....	19
Figura 7. Partes de un Motor Eléctrico	20
Figura 8. Mecanismo Biela - Manivela.....	20
Figura 9. Configuraciones estructurales complejas y sencillas en planta y elevación	22
Figura 10. Estructura de acero aporticada.....	25
Figura 11. Estructura modular de acero	25
Figura 12. Estructura de acero de tipo armadura	26
Figura 13. Estructura de acero de tipo colgante	27
Figura 14. Simulador sísmico uniaxial operable con Mecanismo Biela-manivela....	30
Figura 15. Mecanismo Polea-slider para mesa sísmica	31
Figura 16. Simulador sísmico uniaxial operable con Husillo	32
Figura 17. Simulador sísmico uniaxial operable con motor lineal.....	33
Figura 18. Estructura modular de 1 piso y 2 módulos	36
Figura 19. Estructura modular de 1 piso y 4 módulos.	36
Figura 20. Estructura modular de 4 pisos y 1 módulo.	37
Figura 21. Diagrama para el factor de duración de vida f_L	42
Figura 22. Diagrama para factor de dureza f_H	42
Figura 23. Caso de aplicación de la carga.....	47
Figura 24. Aplicación de la carga y dimensiones en placas.....	52
Figura 25. Aplicación de soportes longitudinales en placa de 200 x 200 cm	54

Figura 26. Plataforma de aluminio de 6 mm de espesor	63
Figura 27. Set Lineal con un Rodamiento Bosch Rexroth.....	63
Figura 28. Guía lineal hueca de acero inoxidable 420	64
Figura 29. Motor síncrono lineal Bosh Rexroth MLP300C.....	64
Figura 30. Chumacera UCPE212 NTN - SNR	65
Figura 31. Estructura de 3 pisos y 1 módulo.....	66
Figura 32. Estructura de madera con ángulos en las bases	67
Figura 33. Ensamble del primero, segundo y tercer nivel del Simulador	67
Figura 34. Simulador sísmico biaxial portando una estructura de 3 pisos.....	68
Figura 35. Estructura con numeración de nodos y miembros	69
Figura 36. Bosquejo de la armadura de Acero A36 con arriostramientos y cargas en cada eje.....	69
Figura 37. Diseño del perfil tipo L de Acero A36.	81
Figura 38. Estructura modular de Acero A36 construida en SAP2000.	82
Figura 39. Combinación de cargas en SAP2000.....	82
Figura 40. Cargas muertas y de sismo aplicadas sobre una estructura modular de Acero A36.....	83
Figura 41. Accionamiento directo lineal.....	86
Figura 42. Accionamiento directo lineal para el simulador sísmico biaxial	87
Figura 43. Acelerómetro modelo ACC103 de baja impedancia	88
Figura 44. Primer nivel del Simulador.....	89
Figura 45. Primer y segundo nivel del simulador.	90
Figura 46. Ensamble total del Simulador.....	90
Figura 47. Simulador sísmico biaxial ensamblado portando una estructura modular de 3 pisos.	91
Figura 48. Datos necesarios para el movimiento del motor lineal.....	92
Figura 49. Carga permanente en el tercer piso de la estructura modular.	92

Figura 50. Carga sísmica para una estructura de Acero A36.....	93
Figura 51. Desplazamientos máximos y mínimos para una estructura de Acero A36 en el eje x.	94
Figura 52. Desplazamientos máximos y mínimos para una estructura de aluminio..	96
Figura 53. Fuerzas máximas y mínimas en juntas para una estructura de madera de pino en el eje y	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala Mercalli modificada.....	8
Tabla 2. Escala de C. Richter	9
Tabla 3. Correlación de aceleración y velocidad sísmica con Mercalli Modificada .	10
Tabla 4. Matriz selección alternativa	34
Tabla 5. Evaluación y selección de alternativa	35
Tabla 6. Datos técnicos de diseño para un simulador sísmico biaxial.....	38
Tabla 7. Factor de temperatura para rodamientos lineales.....	43
Tabla 8. Valores en función de η para una placa apoyada.....	54
Tabla 9. Carga máxima soportada por el motor del segundo nivel del simulador.....	59
Tabla 10. Carga máxima soportada por el motor del primer nivel del simulador	60
Tabla 11. Carga total en Kg del Simulador Sísmico biaxial.....	62
Tabla 12. Errores encontrados para el desplazamiento de las juntas de una estructura de Acero A36 para cada caso analizado.....	84
Tabla 13. Errores encontrados para el desplazamiento de las juntas de una estructura de Aluminio 6061 para cada caso analizado.....	84
Tabla 14. Errores encontrados para el desplazamiento de las juntas de una estructura de Pino para cada caso analizado.....	84
Tabla 15. Errores encontrados para las fuerzas de los miembros de una estructura de Acero A36 para cada caso analizado.....	85
Tabla 16. Errores encontrados para las fuerzas de los miembros de una estructura de Aluminio 6061 para cada caso analizado.....	85
Tabla 17. Errores encontrados para las fuerzas de los miembros de una estructura de Pino para cada caso analizado.....	85
Control de grados sísmicos	88
Para una mejor interpretación del control de grados sísmicos en el controlador.....	88
Tabla 18. Relación entre Corriente, aceleración y escala sísmica	88
Tabla 19. Resultados máximos para el desplazamiento en estructura de acero A36.	94

Tabla 20. Resultados mínimos para el desplazamiento en estructura de acero A36..	95
Tabla 21. Resultados máximos para las fuerzas en las juntas en estructura de acero A36.....	95
Tabla 22. Resultados mínimos para las fuerzas en las juntas en estructura de acero A36.....	95
Tabla 23. Resultados máximos para el desplazamiento en estructura de aluminio 6061.	96
Tabla 24. Resultados mínimos para el desplazamiento en estructura de aluminio 6061.	96
Tabla 25. Resultados máximos para las fuerzas en las juntas en estructura de aluminio 6061.....	97
Tabla 26. Resultados mínimos para las fuerzas en las juntas en estructura de aluminio 6061.....	97
Tabla 27. Resultados máximos para el desplazamiento en estructura de madera de pino.	97
Tabla 28. Resultados mínimos para el desplazamiento en estructura de madera de pino.	98
Tabla 29. Resultados máximos para las fuerzas en las juntas en estructura de madera de pino.....	98
Tabla 30. Resultados mínimos para las fuerzas en las juntas en estructura de madera de pino.....	98
Tabla 31. Costos de los materiales utilizados en el simulador.....	100
Tabla 32. Tabla de costos directos	101
Tabla 33. Tabla de costos indirectos	101
Tabla 34. Tabla de costos totales	101

RESUMEN

Este proyecto técnico radica en el diseño, desarrollo y validación de un simulador sísmico biaxial, para estructuras más comunes utilizadas en la construcción; tomando en cuenta estructuras metálicas como el acero y el aluminio, al igual que las estructuras de madera. La principal característica de este simulador sísmico biaxial es la facilidad con la cual se puede realizar análisis estructurales de una forma rápida y precisa, tomando en cuenta el comportamiento de estructuras, como son las deformaciones en los elementos utilizados, así como en las uniones y anclajes de estas al momento de simular un movimiento telúrico en el simulador. Dicho Simulador está diseñado para simular movimientos sísmicos utilizando varias velocidades, aceleraciones y por ende frecuencias basadas en escalas sísmicas.

El proyecto se divide en dos ramas importantes. La primera de estas ramas es el diseño de cada componente integrado en el Simulador, incluyendo variantes como tipos de materiales a utilizar; así como la comprobación de dichos componentes a través de cálculos pertinentes, siendo esta la base principal del proyecto. La segunda rama se apoyará en simulaciones realizadas tanto del simulador, como en el análisis de cada estructura dependiendo su material.

Finalmente, es necesario mencionar que el proyecto se sustentó en una metodología especializada en aplicación de softwares técnicos, como el INVENTOR, que realiza planos de trabajo y componentes. Así como también el SOLIDWORKS que simula el movimiento y la fuerza aplicada del simulador, y por último el SAP 2000 y Excel para realizar el análisis estructural.

Palabras claves: diseño, validación, simulador sísmico Biaxial, estructuras, acero, aluminio, madera.

ABSTRACT

This technical project contains of the design, development, and validation of a biaxial seismic simulator, for the most common structures used in construction, considering metallic structures such as steel and aluminum, as well as wooden structures. The main characteristic of this biaxial seismic simulator is the ease with which structural analysis can be carried out quickly and precisely, taking into account the behavior of structures, such as deformations in the elements used, as well as in the joints and anchors of these when simulating a telluric movement in the simulator. Said Simulator is designed to simulate seismic movements using various speeds, accelerations and therefore frequencies based on seismic scales.

The project is divided into two important branches. The initial of these branches is the design of each component integrated into the Simulator, including variants such as types of materials to use; as well as the verification of said components through pertinent calculations, this being the main basis of the project. The second branch will be supported by simulations carried out both on the simulator and on the analysis of each structure depending on its material.

Lastly, it is essential to say that the project was based on a specialized methodology in the application of technical software, such as INVENTOR, which performs work plans and components. As well as SOLIDWORKS that simulates the movement and the applied force of the simulator, and lastly SAP 2000 and Excel to carry out the structural analysis.

Keywords: design, validation, Biaxial seismic simulator, structure, steel, aluminum, wood.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación, tesis, se centra en el diseño, simulación y análisis de un simulador sísmico biaxial para estructuras utilizadas en construcción. Se enfoque se basa en los parámetros que intervienen en las fallas estructurales ocurridas a la aplicación de cargas sísmicas en los elementos que lo componen.

La fase de la investigación del presente proyecto se desarrolla secuencialmente a partir de los siguientes capítulos:

Capítulo I: Establece o determina conceptos básicos referente a los movimientos sísmicos, como son características, orígenes, entre otros; así como las escalas, las cuales permiten medir sus intensidades, pasando por las zonas sísmicas dentro del mundo y específicamente dentro del Ecuador. Mencionando el tipo de ensayos en los cuales los simuladores sísmicos se encuentran involucrados, para finalizar con los tipos de elementos más utilizados dentro de la construcción.

Capítulo II: Detalla todo tipo de alternativas de construcción del simulador sísmico, así como el funcionamiento y el método de evaluación para cada una de las alternativas, eligiendo así la más apta para el proyecto técnico. Finalizando con el tipo de estructuras que se simularán.

Capítulo III: Refleja el diseño de cada componente integrado en el simulador sísmico, de este modo se realizarán cálculos de cada elemento del simulador para la mejor elección en cuestión de materiales y componentes. Realizando también un análisis analítico de las estructuras a estudiar. Terminando así con un ensamble completo del simulador realizado en un software especializado.

Capítulo IV: Enfoca la realización de diferentes tipos de simulación producidas por softwares técnicos, tanto en el simulador como en la estructura; en los cuales se analizarán movimientos, fuerzas ejercidas, deformaciones, entre otras. Para así realizar el análisis correspondiente y efectuar la comparación de los resultados tanto del método de simulación como el método analítico realizado en el capítulo anterior.

Finalmente, se sintetiza todas las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el proyecto técnico, desde un punto de vista basado en ingeniería, y brindando así algunas soluciones en la implementación de nuevos métodos de construcción al igual que materiales utilizados en simuladores sísmicos.

Los efectos que pueden ocasionar los movimientos sísmicos en estructuras reales y a escala es uno de los principales problemas en el mundo de la ingeniería, por lo que es de vital importancia disponer de herramientas que proporcionen información del comportamiento de una determinada estructura bajo actividades sísmicas.

En la actualidad, un simulador de sismo es la aproximación más real a un movimiento sísmico, siendo el más utilizado un simulador de sismo biaxial (mesas vibratorias) debido a que los efectos más destructivos de los sismos son causados por movimientos en el eje X - Y.

En la ingeniería estructural es sumamente importante evitar cometer errores en una edificación real, por lo tanto, es ideal incursionar en simuladores que minimicen daños y costos estructurales ocasionados por un sismo [1].

Este proyecto se enfoca en el diseño y validación de un simulador sísmico con el fin de predecir el comportamiento de una estructura ante un movimiento telúrico de gran magnitud. En la actualidad, las estructuras resistentes a cargas sísmicas deben estar aprobados por varios estudios los cuales deben corroborarse de manera experimental [2].

Sin embargo, aunque Ecuador es un país muy vulnerable ante un sismo al encontrarse dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, no existen las herramientas necesarias para investigar el comportamiento de los materiales o nuevas técnicas de construcción antisísmicas.

Por este motivo, es de trascendental importancia incurrir en el diseño de un simulador sísmico que tenga la capacidad de replicar un sismo con estructuras industriales a escala y poder obtener información sobre cargas y deformaciones de los materiales

más comúnmente utilizados en la construcción. Esta investigación es imprescindible para poder predecir y analizar los comportamientos de dichas estructuras, y al obtener datos experimentales se crea bases de diseño de nuevas estructuras sísmo resistentes capaces de soportar grandes cargas sísmicas.

El objetivo general consiste en diseñar y validar un simulador sísmico biaxial de 4 m² que soporte una carga máxima de 50 kg/m² para estructuras de acero, aluminio y madera.

Los objetivos específicos son:

- Identificar las características esenciales de un sismo y la situación sísmica del Ecuador
- Seleccionar la mejor alternativa para el diseño del simulador sísmico.
- Diseñar la estructura del simulador sísmico para soportar una carga de servicio máxima de 50 kg/m².
- Determinar la carga sísmica según la Norma NEC para una aceleración de 4g para efectuar un análisis estructural por medio de softwares apropiados.
- Analizar los resultados obtenidos a partir de la simulación realizada bajo cargas sísmicas aplicadas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Desde hace cientos de años la comunidad científica ha sentido la curiosidad de comprender todo lo que ocurre a su alrededor. Sin lugar a duda, el movimiento desmedido y violento del suelo es catalogado como un gran enigma, no solo por sus efectos, sino también por su origen.

Con el paso del tiempo, el progreso logrado científicamente en este tema ha permitido tener un leve conocimiento sobre el complicado mecanismo que origina este fenómeno. Debido al gran crecimiento que tiene la población en el mundo entero, los efectos de los sismos han ido aumentando paulatinamente sobre estructuras y construcciones. Por esta razón los avances en el estudio de movimientos telúricos han generado varias alternativas para disminuir los efectos que estos generan sobre las estructuras [3].

1.1 Sismicidad

1.1.1 Los inicios de la sismología

La sismología, tal y como es conocida en la actualidad, surge entre los siglos XIX y XX con la creación de nuevos equipos que revolucionarían el campo científico de los sismos, llamados sismógrafos. Se instalaron alrededor del mundo con el objetivo de obtener los primeros registros sísmicos. La sismología como ciencia ha contribuido considerablemente al estudio y comprensión de la estructura del planeta Tierra. Entre las primeras contribuciones figuran los estudios realizados por Richard Oldham en el año de 1906 sobre el núcleo. Posteriormente, en 1936, el estudio desarrollado por la sismóloga Inge Lehmann sobre la propagación de las ondas sísmicas y su velocidad en el interior de la Tierra, reveló que en el centro del planeta existe un núcleo sólido y líquido con altas temperaturas. Mientras tanto, en el año de 1935 un científico estadounidense llamado Charles Richter, determinó una nueva fórmula que logra cuantificar el tamaño de un sismo, al igual que su magnitud [3].

De acuerdo con Sarría [4], a partir de la teoría de la “elasticidad y la resistencia de los materiales” surge el estudio de los sismos. Las notables contribuciones realizadas por

Galilei, Hooke, Navier, Cauchy y Poisson son las que fundamentan a la actual sismología.

Pero no fue hasta el año de 1935, cuando C. Richter plantea la escala de magnitudes para lograr valorar y estudiar la energía redimida por un terremoto.

En el año de 1960, la ingeniería sísmica tuvo lugar con la aparición de computadores y microprocesadores, que aceleraron el registro de sismos y por lo tanto aumento notablemente el estudio de la sismología. Así, en la década de 1990, se desarrolló una nueva forma de evaluar lo que sucedía sobre estructuras y edificaciones por la influencia de los movimientos sísmicos, se construyeron mesas vibratorias a escala normal y reducida las cuales simulaban de manera teórica un sismo.

1.1.2 Sismo

Según Carrillo et al. [5], a un sismo se lo define como: “La liberación de energía elástica almacenada durante años por movimientos relativos entre las placas tectónicas”. La liberación de esta energía elástica es debido a grandes rupturas generadas en los contactos de las placas tectónicas, lo cual causa fuertes vibraciones en la corteza terrestre. Es decir, esta energía liberada en la superficie, llamada sismo, genera fuertes vibraciones y alteraciones que son transmitidos a las edificaciones o construcciones en términos de aceleraciones sísmicas, velocidades sísmicas y desplazamientos. Un sismo puede representar una enorme pérdida no solo humana, sino también una millonaria pérdida en la infraestructura de un país, colapsando por completo la economía de éste. El nulo poder de predicción, junto con el gran poder de destrucción de un sismo, lo ha convertido en uno de los fenómenos naturales más mortal y peligroso en el mundo.

1.1.3 ¿Cómo se originan los sismos?

Un sismo se origina cuando en la capa superior de la Tierra, también llamado manto superior o corteza terrestre, se produce una serie de fuertes movimientos repentinos de rocas que son transmitidas mediante vibraciones que varían intensidad hacia la superficie terrestre. El lugar exacto donde se origina este movimiento es denominado

foco o hipocentro, y la proyección vertical de este punto sobre la superficie terrestre se llama epicentro.

Debido a que el mayor porcentaje de la superficie del planeta Tierra está cubierta por agua, y sobre el lecho marino se encuentran las dorsales oceánicas, la mayor cantidad de sismos se producen en esa zona y por ello son casi imperceptibles en las zonas terrestres [6].

1.1.4 Características de los sismos

De acuerdo con Ochoa et al. [7], las ondas sísmicas que existen son: Internas y superficiales.

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

Las ondas S llegan a ser mucho más destructivas para las estructuras que las ondas P, debido a que poseen mayor amplitud. Pero las ondas P alcanzan mayores velocidades de desplazamiento, teniendo en cuenta similares periodos de difusión. Los tipos de ondas llamadas P pueden transitar en fluidos, las S no.

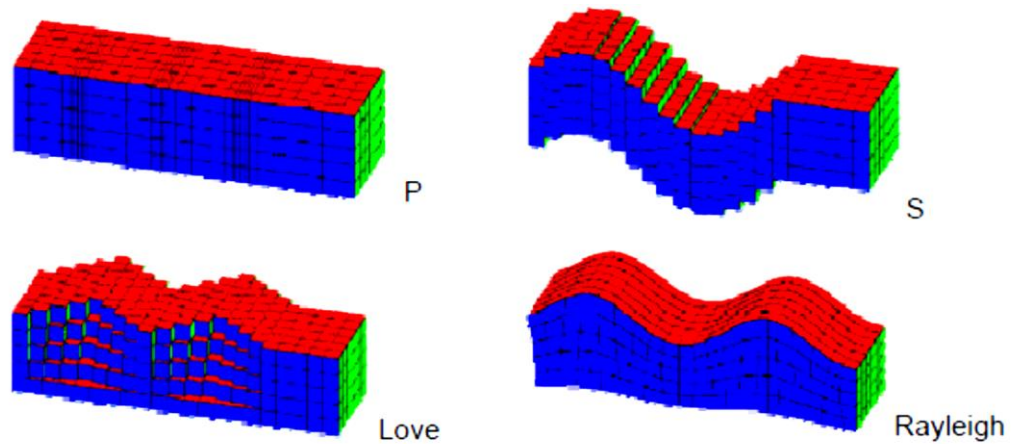


Figura 1. Ondas sísmicas [7]

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

Las ondas de Love poseen una gran similitud a las ondas S, como se puede observar en la Figura 1, y para que puedan propagarse es necesario exista una capa con rigidez sumamente distinta a la rigidez del medio inferior. Mientras que las ondas de Rayleigh necesitan de una sola superficie para llevar a cabo su propagación.

Cabe recalcar que, si el medio de transmisión de las ondas fuera semejante, el resultado de los rompimientos de las placas sería únicamente ondas armónicas. Aunque, en la realidad esto no llega a ocurrir, debido a que la naturaleza de los sismos es producir un movimiento, y por lo tanto una ruptura, más caótica.

1.1.5 Escala de intensidad sísmica

De acuerdo con Barbat [8], hablar de intensidad sísmica es referirse a los efectos que ocasionan los sismos sobre estructuras y personas, y está estrechamente relacionado con el nivel de destrucción de los terremotos. A través de los años se han identificado diferentes escalas de intensidad sísmica, que pueden ser objetivas y subjetivas.

Una de las escalas subjetivas es la escala elaborada por Mercalli en 1902, conocida como Mercalli modificada, la cual clasifica a los sismos en doce grados de intensidad, como se muestra en la Tabla 1, de acuerdo con los efectos que los sismos producen sobre personas, estructuras y objetos.

Tabla 1. Escala Mercalli modificada [8]

Grado del sismo	Efectos ocasionados en personas, objetos y construcciones
I	El sismo es exiguo para la gente, incólume para las que se encuentra en lugares favorables, como en construcciones muy altas
II	El sismo suele ser captado por un mínimo de personas, quienes suelen estar en las plantas superiores de los edificios.
III	Sismo de duración estimable, captado por pocas personas que están en el interior de edificios en pisos superiores.
IV	Captado por un gran número de personas ubicadas en el interior de los edificios. En afueras del edificio es poco perceptible.
V	Todas las personas logran sentirlo. Daños menores en mampostería; existen objetos con poca estabilidad.
VI	Sismo de mayor duración y notado por todos, provocando pánico. Daños estructurales de menor importancia en los edificios mal construidos
VII	El sismo provoca pánico. Se registran daños menores en edificios acertadamente diseñados y construidos. Averías tenues hasta moderadas de las estructuras de resistencia normales. Graves daños en construcciones informales.
VIII	Estructuras antisísmicas presentan ligeros daños. Averías considerables de las construcciones normales. Inmersión de las construcciones mal ejecutadas. Se desarticulan los tabiques de mampostería.
IX	Estructuras antisísmicas presentan importantes averías, volcamiento de edificaciones bien diseñadas. Caen las estructuras mal ejecutadas. Surgen grietas en el suelo. Se rompen las tuberías subterráneas.
X	Las construcciones antisísmicas son arrasadas. En la tierra aparecen grandes grietas. Se producen deslizamientos de tierra.

XI	Pocas estructuras no son destruidas. Surgen grandes desperfectos en la superficie terrestre. Los conductos subterráneos se destruyen completamente
XII	Destrucción total. Se observan las ondas sísmicas en el manto terrestre. Los objetos son lanzados verticalmente al aire.

Otras de las escalas subjetivas son las de Cancany y Sieberg, elaboradas en 1904 y 1923 respectivamente, las cuales fueron muy utilizadas en Europa.

En el año de 1943, en Japón, se elabora una nueva escala de intensidad sísmica que está basada en criterios subjetivos. Sin embargo, maneja criterios como el comportamiento sísmico de las estructuras y la reacción psicológica de las personas generada por un efecto físico. La escala japonesa, como es conocida en la actualidad, utiliza 7 grados de intensidad.

Richter, en 1935, desarrollo la escala sísmica objetiva más utilizada alrededor del mundo, la cual está basada en una idea de K. Wadati (1931) y perfeccionado tiempo después por B. Gutenberg y C. Richter. Esta escala establece, que “la magnitud M constituye una medida de la energía del terremoto en el foco y se define como el logaritmo de base 10 de la amplitud del sismo, en micrones, registrada a 100 km del epicentro con un sismógrafo Wood-Anderson” [8]. En la Tabla 2 se describen los efectos ocasionados en un terremoto según la escala de C. Richter.

Tabla 2. Escala de C. Richter [9]

Grados sísmicos	Efecto del Sismo
Menos de 3.5	A menudo este sismo no se siente, pero si es registrado
3.5 a 5.4	Ocasiona daños menores, puede percibirse.
5.5 a 6.0	Ocasiona daños leves a casas y edificios
6.1 a 6.9	Causa severos daños en áreas pobladas
7.0 a 7.9	Sismo mayor, provoca grandes daños.
8 o mayor	Enorme terremoto. Destrucción en toda área poblada cercana.

1.1.6 Correlación de Aceleración y velocidad sísmica con la escala Mercalli Modificada

La aceleración sísmica horizontal es un factor de medida utilizado para cuantificar el daño que ocasiona un sismo a una determinada estructura [10] y establecer preceptivas sísmicas y zonas de peligro sísmico, es decir, es una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo [11]. En cuanto mayor es la aceleración del terreno, mayor pueden ser los daños que sufran las estructuras [10].

Por otro lado, al igual que la aceleración, la velocidad sísmica horizontal muestra que tan graves pueden ser los daños estructurales durante un sismo de gran magnitud. Es por ello, por lo que algunos sismólogos aseveran que es mucho más útil utilizar la velocidad sísmica como indicador de daños durante un sismo, puesto que en los últimos años se ha catalogado a la aceleración sísmica como un dato insatisfactorio para cuantificar los daños en estructuras [10].

En la Tabla 3 se proporciona información sobre aceleración del terreno entregada en unidades de %g ($g = 981 \text{ cm/s}^2$) y velocidad del terreno en cm/s durante un sismo, asociadas con la escala de intensidades sísmicas de Mercalli Modificada.

Tabla 3. Correlación de aceleración y velocidad sísmica con Mercalli Modificada [12]

Aceleración (%g)	Daño Potencial	Percepción del sismo
< 0.17	Ninguno	Imperceptible
.17- 1.4	Ninguno	Débil
1.4- 3.9	Ninguno	Ligero
3.9- 9.2	Muy ligero	Moderado
9.2- 18	Ligero	Fuerte
18-34	Moderado	Muy fuerte
34-65	Moderado/ Fuerte	Severo
65- 124	Fuerte	Violento
>124	Muy fuerte	Extremo

Velocidad (cm/s)	<0.1	0.1- 1.1	1.1- 3.4	3.4- 8.1	8.1- 16	16-31	31-60	60- 116	>116
Meralli Modificada	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

1.1.7 Sismos en términos de sismo-resistencia: Aceleración y frecuencia

Dentro de la Ingeniería Sísmica manipular una escala de intensidades sísmicas o deducir la energía redimida por un sismo en el hipocentro es poco productivo, debido a que no arrojan datos que sumen gran importancia. Es por esto, que en la ingeniería es vital calcular los sismos con datos que son posibles de recabar, es decir en términos de la aceleración que un cuerpo puede sufrir sobre la superficie terrena. Para lograr este suceso es ineludible utilizar la fuerza gravitatoria (g). Los sismos con mayor fuerza registrada han alcanzado aceleraciones de 1g, con un desplazamiento máximo de 10 cm en un suelo características adecuadas para la construcción.

En un sismo real se pueden encontrar un sin número de diferentes ondas, las cuales viajan sobre la corteza terrestre a diferentes frecuencias. Pero, las vibraciones que son observadas en la superficie de la tierra se localizan en una equivalente categoría de frecuencias, 0.5 Hz y 5 Hz, que permite identificar si el sismo ocurrió en suelos de solidez disminuida (baja frecuencia, gran fragmentación y densidad decadente) o en suelos de alta solidez (alta frecuencia) [7].

1.1.8 Fallas Sísmicas en Ecuador

Ecuador se encuentra en medio de una falla geológica, la cual se origina a partir de la “subducción de la placa de Nazca en el Océano Pacífico”, por debajo de la placa Sudamericana en el borde del continente. De este proceso se producen varias fracturas que ocasionan movimientos telúricos. Además, existen dos fallas secundarias, la primera llamada Quito-Latacunga y la otra que se ubica en la amazonia, y que es conocida como Sub andina Oriental [13].

En la Figura 2 se muestran las placas tectónicas presentes en el continente americano, causantes de cientos de movimientos telúricos por año.

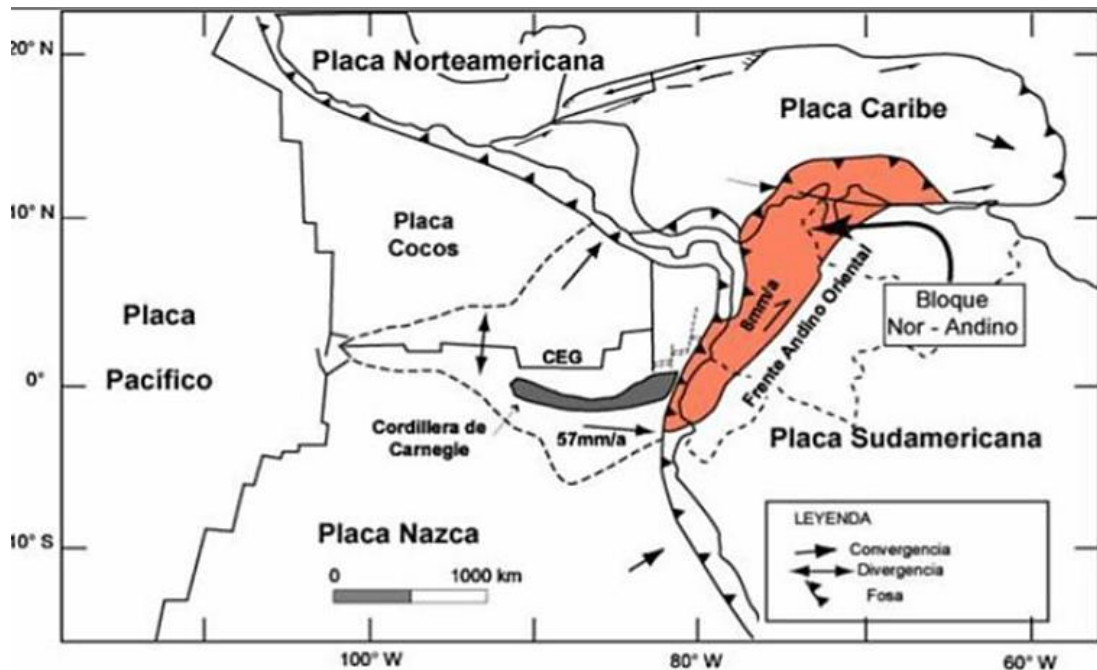


Figura 2. Placas tectónicas del Continente Americano [14]

1.1.9 Zonas sísmicas del Ecuador

La mayor cantidad del territorio ecuatoriano está ubicado en una zona de alta actividad sísmica, sin contar que la mayoría de las grandes edificaciones son susceptibles a daños sísmicas debido a que se encuentran en extensas ciudades que son vulnerables a peligrosidad sísmica. Esto se debe a que muchas de estas edificaciones se construyeron mucho antes de que fuera promulgada la norma NEC [15].

La Figura 3 muestra el Mapa para diseño sísmico establecido por la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 2015, en el cual se aprecia las amenazas sísmicas que puede llegar a tener el país desde la costa hacia el oriente. Es visible que la zona costera ecuatoriana es mucho más vulnerable a sismos de mayor escala, alcanzando aceleraciones sísmicas de 0.50 g (4.91 m/s^2) o mayores. Mientras que en la región sierra del Ecuador es posible alcanzar aceleraciones sísmicas en un rango de 0.35 g a 0.40 g ($3.43 - 3.93 \text{ m/s}^2$), en la Región Oriente de 0.15 g a 0.30 g ($1.47 - 2.94 \text{ m/s}^2$) y Galápagos 0.30 g (2.94 m/s^2).

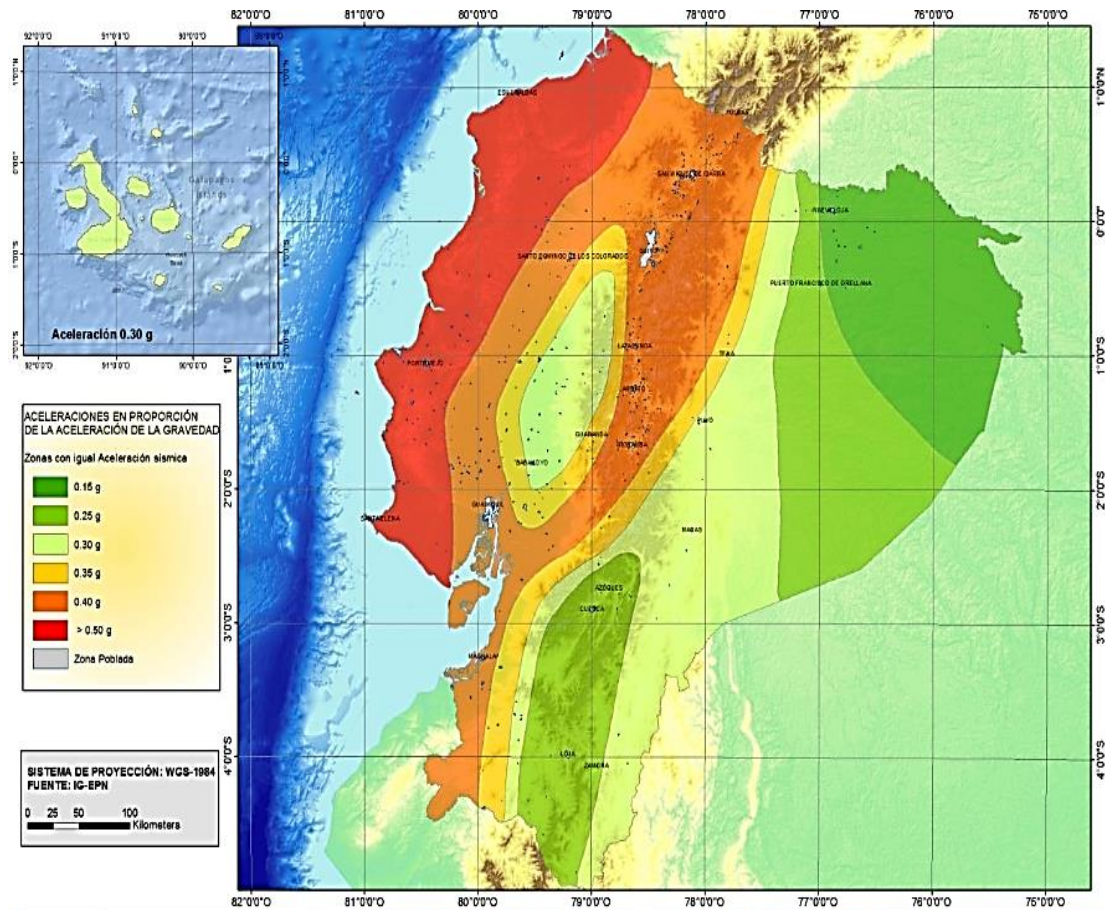


Figura 3. Zonas sísmicas del Ecuador [15]

1.1.10 Antecedentes Sísmicos en Ecuador

Ecuador al ser un país con alta actividad sísmica, ha tenido a lo largo de su historia varios terremotos que se detallan a continuación.

- Junio, 1698

Terremoto que destruyó comunidades desde Cotopaxi hasta Azuay. Donde Ambato fue la ciudad más afectada con más de 3000 muertos, le siguió Latacunga con unos 2000 y localidades aledañas alrededor de 2000 muertos. Algunos autores aseguran que las víctimas de aquel terremoto ascendieron a 8000 [16].

- 4 de febrero, 1797

Destruyo totalmente Riobamba, se registró una magnitud de 8.3 grados. Hubo daños en las provincias de Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua entre otras provincias. Fue tal la destrucción que se modificaron los paisajes debido a las grietas, cambiaron el curso de los ríos y se contabilizo una cifra de muertos de 31000 [16].

- **16 de agosto, 1868**

El sismo registrado en las provincias de Carchi e Imbabura fue aproximadamente de 7.2 grados. Donde la zona más afectada fue la de la provincia de Imbabura, horas después se registró un sismo de 6.6 en la provincia del Carchi dejando miles de muertos [17].

- **Enero, 1906**

Desde que existieron los sismógrafos este terremoto-tsunami se ha ubicado en el quinto puesto de terremotos más fuertes en todo el mundo. Teniendo una magnitud de 8.8 grados en escala de Richter. Se dio en la zona costera de Ecuador-Colombia [16].

- **5 de agosto, 1949**

El terremoto en la ciudad de Ambato alcanzó una magnitud sísmica de 6.8 grados. Desapareció Pelileo por completo y hubo 6000 muertos aproximadamente [16].

- **8 de abril, 1961**

Terremoto de magnitud de 7 grados, que afectó Chimborazo [16].

- **19 de mayo, 1964**

Terremoto de magnitud 8 grados en escala de Richter, afectó a Manabí [16].

- **5 de marzo, 1987**

Terremoto en Napo de magnitud 6.9 grados en escala de Richter [16].

- **2 de octubre 1995**

En la provincia de Morona Santiago. Un Terremoto de 6.9 grados en escala de Richter [16].

- **4 de agosto, 1998**

Bahía de Caráquez, magnitud de 7.1 grados en escala de Richter [16].

- **16 de abril, 2016**

Terremoto en las costas noroccidentales del Ecuador, magnitud 7.8 grados, más de 600 muertos

1.2 Ensayos sísmicos

1.2.1 Ensayos Cuasi estáticos

Los ensayos cuasi estáticos, más conocidos como ensayos cíclicos, son aquellos donde la estructura está sometida a una historia de desplazamientos o fuerzas. En estos ensayos la velocidad es lenta en comparación a las velocidades que pueden desarrollarse en un terremoto. Este tipo de ensayos pueden realizarse tanto para pequeños elementos como para grandes estructuras, pero al ser un ensayo de baja velocidad, los materiales más utilizados para estructuras como son: el acero, aluminio, madera, hormigón entre otros, no varía significativamente los efectos obtenidos pero a cambio se mejora la eficacia en el control de los resultados y la precisión en las mediciones [2].

Cuando se aplica un ensayo cíclico a un componente, generalmente se asigna el movimiento en un solo lugar y hacia una sola orientación, realizando ciclos de amplitud progresiva. Pero al tratarse de una estructura de gran proporción es habitual utilizar fuerzas iguales que pretenda asociarlas con el primer modo y así poder determinar el proceder del elemento frente a un historial de deformaciones o esfuerzos, sin embargo, así no predicen cuál pudiera ser la respuesta sísmica ante sismo [2].

1.2.2 Ensayos en mesa vibratoria

Para este tipo de ensayos es muy comúnmente utilizado una mesa vibratoria uniaxial es decir que se permite el movimiento en una sola y única dirección (obtiene un grado de libertad. Pero existen mesas vibrantes que pueden tener hasta tres grados de libertad de desplazamiento y de rotación combinados [2].

En los ensayos de mesa vibratoria se introduce una velocidad real hacia la base de la estructura. Este ensayo se caracteriza por utilizar una placa rígida que se mueve a partir de motores controlados de tal modo que simulen un verdadero movimiento telúrico. El ensayo de mesa vibratoria brinda en si una lectura más realista para ensayos

sísmicos ya que se introduce movimiento con una real velocidad hacia la base y proporciona verdaderas deformaciones hacia la estructura debido a la masa de esta [2].

El ensayo en una mesa vibrante presenta ciertas limitaciones al momento de aplicarse, tales como, una fuerza y desplazamiento insuficientes debido a la forma de los pistones. Sin contar la exigencia en equipos más sofisticados y técnicas más precisas que en ensayos estáticos. Para una buena reproducción al simular un terremoto se debe trabajar con una masa inferior a la capacidad nominal de los actuadores, es decir de la mesa vibrante y no exagerar en la obtención de altas frecuencias. Teniendo en cuenta las limitaciones dichas anteriormente, las aplicaciones de este tipo de ensayo sugieren pequeñas estructuras a escala real o a modelos reducidos [2].

1.2.3 Ensayos pseudodinámico

El ensayo pseudodinámico es un tipo de ensayo estático en donde se presentan desplazamientos a varios sitios de una estructura con una velocidad baja, al contrario de los ensayos tipo cuasi estáticos donde los desplazamientos se originan en un solo punto de la estructura (en la base), pero la mayor diferencia entre estos dos tipos de ensayos es que en el ensayo pseudodinámico el desplazamiento no es aún conocido sino se calcula durante el ensayo a través de un modelo de integración por pasos y se lo crea de manera paralela a un método de integración con un modelado de elementos finitos [2].

Al momento de imitar una actividad sísmica dentro del simulador, las fuerzas (externas) son calculadas como fuerzas equivalentes tomando en cuenta la aceleración en el campo y la masa del espécimen. Para este método se logra obtener deformaciones reales en las estructuras analizadas pero a una velocidad muy baja, pero logra adaptar las ventajas obtenidas con una mesa vibratoria y las de un ensayo cuasi estático, y así obtener respuestas sísmicas reales como las que se obtiene en ensayos de mesa vibrante pero utilizando grandes estructuras y con mediciones precisas como en un ensayo cuasi estático [2].

1.3 Simuladores Sísmicos

Clavijo & Ramírez [18], describen a un simulador sísmico, mesas sísmicas o mesa vibratoria como un instrumento primordial para valorar el efecto de los sismos sobre una construcción cualquiera, ya que logran reproducir con precisión un movimiento telúrico (sismo). Las mesas vibratorias están compuestas de una plataforma usualmente construida a base de un metal resistente a las continuas vibraciones que genera, y esta soportada por una base de concreto.

Una mesa sísmica está apropiadamente controlada por medio de actuadores (mecánicos, hidráulicos o electromagnéticos) y controladores (computadores). Además, aquellas que están controladas dinámicamente en lazo cerrado, es decir que poseen una retroalimentación de la señal de salida, pueden disponer de 6 grados de libertad, lo cuales corresponden a 3 desplazamientos y 3 giros de un sólido rígido. Dimensiones, aceleraciones, velocidades, grados de libertad, desplazamientos máximos y capacidad de carga son las características técnicas principales que definen a una mesa sísmica.

1.3.1 Rol de los simuladores sísmicos en la Ingeniería Sismo-Resistente

En la actualidad, aún con toda la tecnología que se ha desarrollado, todavía no es posible predecir un sismo, pero si es posible contrarrestar los potenciales daños mediante la construcción de estructuras sismo-resistentes. Para la construcción de dichas estructuras es posibles utilizar dos tipos de técnicas de análisis y diseño, las cuales pueden ser de tipo determinista o probabilista. Las herramientas deterministas que más se utilizan son los modelos idealizados o matemáticos. Estos se basan en comparar los resultados obtenidos a partir de experimentos. Sin embargo, este modelo no logra identificar todas las situaciones aleatorias que podrían presentarse en un sismo real. Los métodos experimentales permiten realizar estudios más precisos sobre los efectos que proporcionan los sismos sobre las construcciones, completando así la técnica determinista [5].

1.3.2 Diseño Mecánico

Un simulador sísmico está compuesto de elementos mecánicos móviles y unos pocos estáticos. Rodamientos lineales, el mecanismo biela-manivela (en este caso) y la

plataforma son los elementos que pertenecen a los componentes móviles. Entre los elementos estáticos se encuentran los carriles que pertenecen a los rodamientos lineales y los soportes.

Los principales requerimientos que debe desempeñar el diseño de los elementos mecánicos son rigidez, resistencia, durabilidad y economía. Magnesio, acero y aluminio son los materiales que cumple con dichas exigencias [5].

1.3.3 Principales componentes de un simulador sísmico

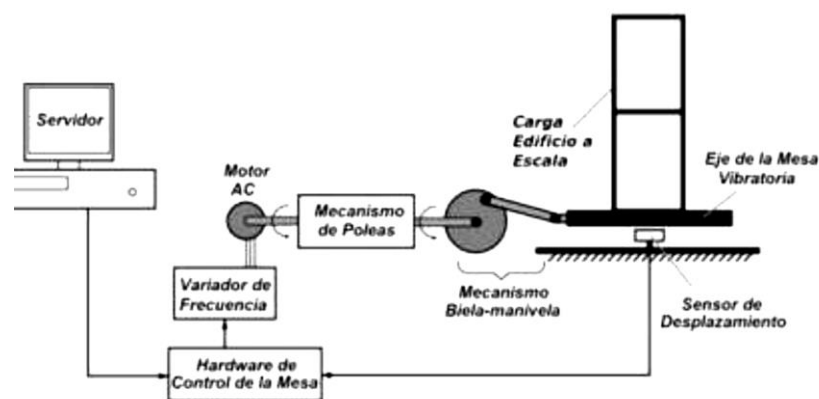


Figura 4. Esquema de un simulador sísmico uniaxial [19]

Los principales componentes que integran un simulador sísmico se presentan a continuación:

- Sensores de desplazamiento

Los sensores de desplazamiento o transductores de desplazamiento son dispositivos que están diseñados para medir los desplazamientos realizados de una forma lineal y de manera automática. Existen varias formas de clasificar este tipo de sensores. Pueden clasificarse según sus características eléctricas: resistivos, inductivos, capacitivos. Por su tipo: con contacto o sin contacto. Por su posición: Lineal o angular [20].

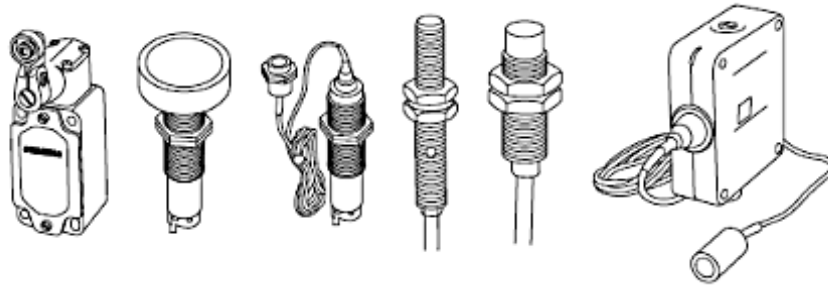


Figura 5. Sensores de desplazamiento [21]

- **Variador de Frecuencia**

Es un sistema que controla la velocidad a la que gira el rotor de un motor que funciona con corriente alterna (AC), mediante el control de la frecuencia entregada donde se alimenta el motor. Se podría decir que en el mercado existen algunos tipos de variadores de frecuencia. Así se puede encontrar variadores mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos [22].



Figura 6. Variador de Frecuencia [22]

- **Motor AC**

El motor de corriente alterna es un tipo de motor que está formado por un rotor que puede ser de bobinado o de jaula de ardilla, y por un estator, en donde se encuentra el bobinado. El funcionamiento de este tipo de motores está basado en el concepto de campo magnético, es decir que el estator se alimenta por una red eléctrica que puede ser monofásica o trifásica. Esto induce al rotor y permite el flujo de corriente magnética [22].

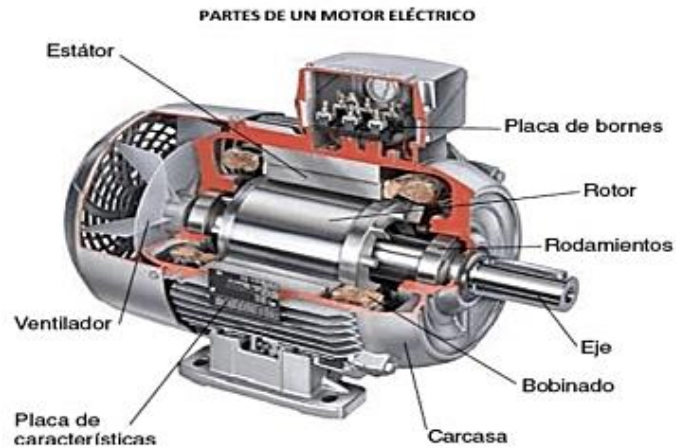


Figura 7. Partes de un Motor Eléctrico [22]

- Ordenador

El ordenador es el encargado del procesamiento de datos de forma rápida y eficiente, que es enviada desde los diferentes elementos. El ordenador analiza los datos recibidos y presenta los resultados al usuario para la correcta interpretación.

- Mecanismo Biela-Manivela

Es un mecanismo que transforma el movimiento circular proporcionado por un motor en un movimiento lineal o en sentido contrario. La mayor aplicación de este tipo de mecanismo se encuentra en el motor utilizado en vehículos [23].

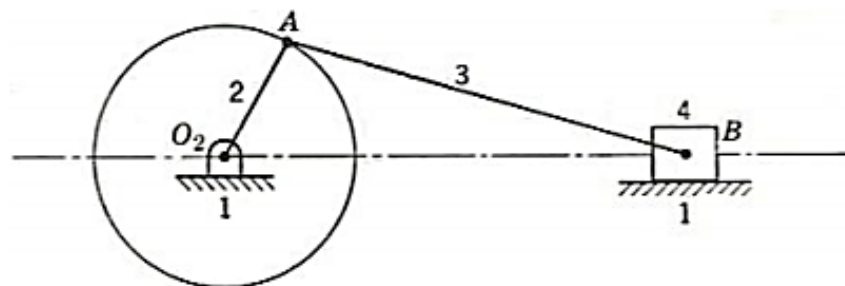


Figura 8. Mecanismo Biela - Manivela [23]

1.4 Situación actual de Edificaciones sismorresistentes en Ecuador

En el Ecuador, como en otros países, existen demasiadas construcciones que no cumplen con las normas de diseño sismo-resistente. Es decir, construcciones informales en las que en la fase de diseño y construcción no ha participado un

profesional, por lo cual son más propensas y vulnerables a sufrir daños durante un sismo.

Al momento de diseñar una infraestructura, es sumamente importante tomar en cuenta las normas sismo-resistentes y fiscalizar debidamente su ejecución para disminuir de manera considerable los daños ocasionados por un sismo. No obstante, acatar correctamente las Normas de Construcción para estas estructuras no garantiza que una estructura no sufra daños ante un sismo de gran magnitud.

La principal causa para que una edificación colapse por completo o presente daños graves durante un sismo, se debe a la falla de uno o más de sus elementos. Es decir, la resistencia o ductilidad de estos componentes estructurales no fueron lo necesario para soportar el movimiento sísmico.

La gran mayoría de daños que sufre una edificación durante un sismo se debe a que presenta una irregularidad en su configuración estructural: en planta y elevación [24].

1.4.1 Configuración estructural

A una estructura se la define como el conjunto de elementos rectilíneos unidos entre sí que conforman todas las partes de una construcción, cuyo objetivo es resistir todas las cargas a las que se encuentran sometidas [25]. Al momento de hablar sobre configuración estructural, es referirse al sentido o dirección que podrían tener los elementos de una edificación en forma horizontal y vertical. Mientras más compleja sea la configuración estructural de una edificación, mayor será el daño recibido durante un sismo de gran magnitud [24].

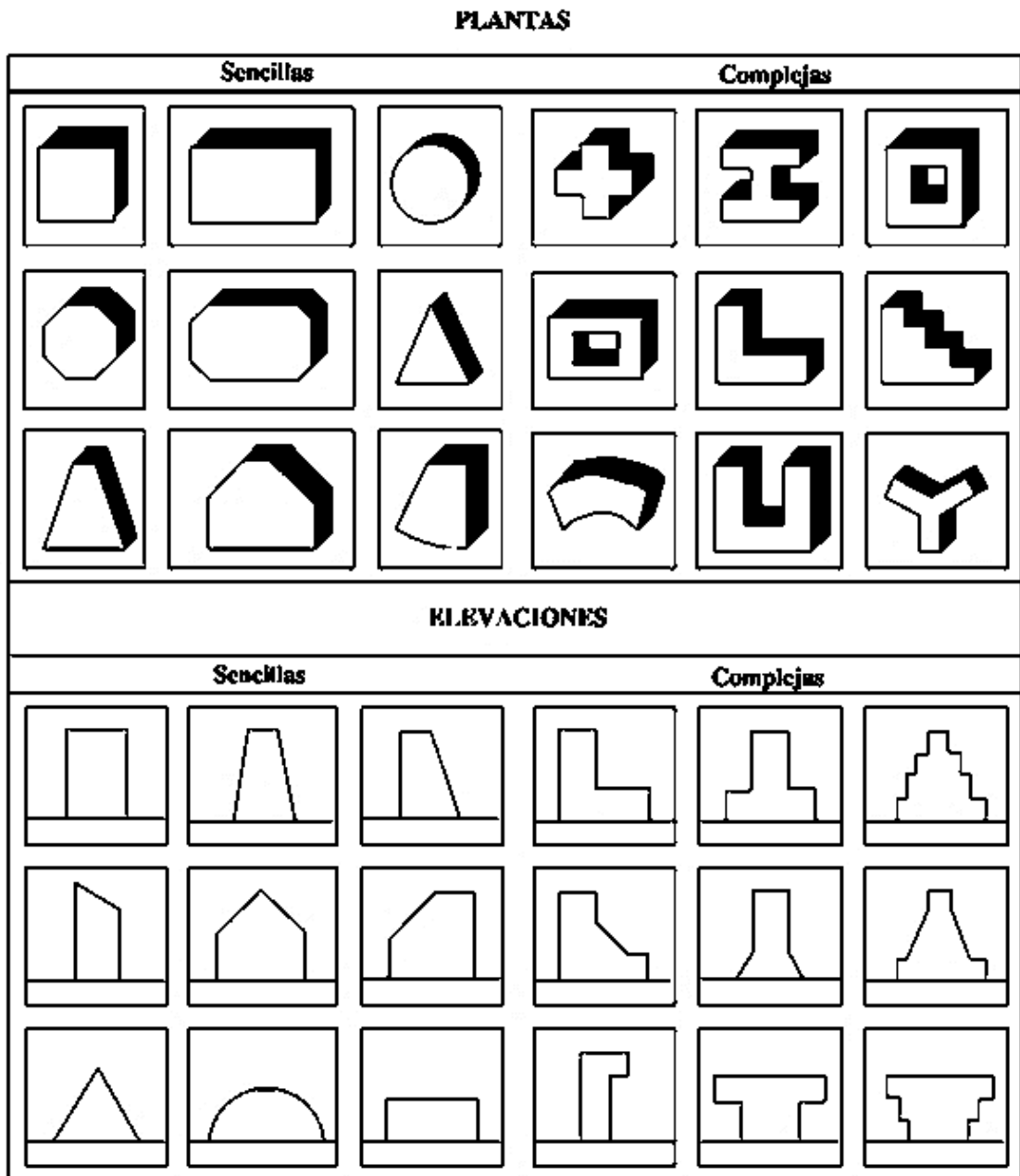


Figura 9. Configuraciones estructurales complejas y sencillas en planta y elevación [26]

Es imprescindible que durante la primera etapa del diseño arquitectónico la configuración de una estructura sea planteada, evitando por completo diseños de edificaciones con configuraciones estructurales peligrosas. El único objetivo de esto es que la configuración estructural escogida y diseñada sea perfectamente intuida por los ingenieros o arquitectos que estén relacionados con la edificación a desarrollarse [24].

1.4.2 Características de una Edificación

Para que una edificación califique como una estructura sismorresistente debe estar compuesta de ciertos elementos indispensables, para así cumplir condiciones mínimas, pero fundamentales [7].

Los elementos necesarios son columnas, vigas y mampostería o paredes. Las columnas es el elemento esencial de una estructura puesto que transmite cargas del edificio hacia el suelo. Las vigas son las que generan una sujeción horizontal, inmovilizando columnas y enmarcando paredes. Por último, la mampostería, es un elemento rígido que evita esfuerzos cortantes en la edificación y brinda una mejor apariencia a la misma [7].

Los arriostramientos son otro elemento necesario, pero habitualmente considerados como elementos secundarios dentro de una estructura. Sin embargo, es indispensable no prescindir de ellos puesto que poseen una misión fundamental, absorber los empujes longitudinales provocados por el viento debido a la presión que éste ejerce [27].

1.4.3 Materiales utilizados en una Edificación

Los materiales dentro de las construcciones deberían poseer una excelente calidad para asegurar una resistencia óptima donde el objetivo sea tanto absorber como dispersar toda la energía que el sismo brinda al momento del desplazamiento de las estructuras. Los materiales que son poco resistentes o bien frágiles al momento de un sismo se quiebran rápidamente, generando un peligro hacia los habitantes de estas [28].

Para que los materiales sean utilizados de una manera adecuada se debe seguir algunas recomendaciones y los materiales usados en construcción para estructuras que se encontraron son los siguientes materiales:

- **Acero**

Para el uso del acero se debe tomar en cuenta algunas recomendaciones. Primero se debe especificar el tipo de trabajo donde el acero se aplicará. Al momento de utilizar

el concreto se debe limpiar cualquier tipo de grasa y oxido. Usar acero de preferencia corrugado lo cual mejorará la adherencia del acero con el concreto [28]. Entre los aceros más comunes dentro de la construcción de estructuras se encuentran los aceros de medio carbón, alto carbón, aleados, inoxidable, entre otros [29].

- **Perfiles**

Los perfiles dentro de las estructuras metálicas son componentes prefabricados que se elaboran desde las distintas clases de acero con carbono que existen. Estos elementos se encargan de soportar trabajos o fuerzas ya sean a compresión, tensión, entre otros. Los perfiles también pueden emplearse en la utilización tanto de vigas como de columnas y existen diferentes tipos como son los perfiles I, W, MC, T, H, al igual que ángulos estructurales del tipo L [29].

1.4.4 Tipos de Estructuras para Edificaciones

El constante avance de la tecnología y la gran cantidad de materiales disponibles para la construcción es la razón por la cual existen distintos tipos de estructuras para edificaciones. Tal y como se mencionó antes, los principales componentes en cualquier tipo de estructura son el acero, concreto y tensores, elementos que comúnmente suelen combinarse para formar uno solo y lograr mejor resultados en la construcción [30].

Los tipos de estructuras comúnmente utilizados se dividen básicamente en 3 grupos los cuales son:

1.4.4.1 Estructuras de acero aporticadas

Las estructuras de acero de forma aporticada son un grupo de componentes en los cuales se encuentran tanto vigas como columnas, y estos elementos se encuentran trabajando con esfuerzos a tensión y también a compresión para cargas en el eje vertical. Estas estructuras también trabajan con cargas axiales y a deflexiones y éstas se vinculan entre sí mediante conexiones rígidas para permitirle a la estructura crear estabilidad. Sus usos más comunes se dan tanto para edificios de uno o más pisos y también para la construcción de puentes [29].



Figura 10. Estructura de acero aporticada [31]

Las estructuras modulares son estructuras que se caracterizan por edificarse fuera de su lugar de colocación, pero estas estructuras se construyen con los mismos parámetros y estándares con las que se construyen las estructuras convencionales, pero en una fracción de tiempo. Estas estructuras se las construye en módulos y suelen ser más resistentes que las construcciones convencionales ya que cada estructura modular debe aguantar todas las actividades de transporte que la involucran y estas pueden ser desarmables o permanentes [32].



Figura 11. Estructura modular de acero [33]

1.4.4.2 Estructuras de acero en armaduras

Las estructuras de acero del tipo armaduras, son estructuras en la cuales sus componentes comparten las cargas y esfuerzos que generalmente son fuerzas a compresión y a tensión. Este tipo de estructuras son aplicadas para cubrir espacios, y son muy típicos en edificaciones del tipo deportivo como son coliseos, estadios, entre otros [29].



Figura 12. Estructura de acero de tipo armadura [34]

1.4.4.3 Estructuras de acero colgantes

Se trata de estructuras combinadas donde sus principales elementos son cables los cuales soportan las cargas de dichas estructuras, y sus soportes suelen ser cables. Este tipo de estructuras se las observa generalmente en los conocidos puentes “colgantes” y en algunas edificaciones [29].



Figura 13. Estructura de acero de tipo colgante [35]

1.4.5 Conexiones

1.4.5.1 Columna-Columna y Viga-Viga

En las estructuras metálicas es primordial la conexión entre columnas o pilares al igual que las conexiones entre vigas ya que se requiere que la estructura obtenga continuidad y soportando todas las cargas que exista, o a su vez estas columnas o vigas se utilizan como articulaciones. Existen básicamente 3 maneras de conectar columnas y vigas entre sí [29].

- Placa como tapa

Para usar este método no es necesario que las columnas tengan el mismo tamaño. Si las columnas tienen el mismo tamaño es posible juntarlas y colocar una placa y sellarla con soldadura. De igual manera si las columnas son de iguales dimensiones se puede administrar tornillos. Para el caso donde las columnas sean desiguales se puede usar rigidizadores para que se pueda alargar las alas de dicho perfil [29].

- Tapajuntas

Para conectar dos columnas se puede usar el método de tapajuntas que consiste en colocar laminas en las alas del perfil en su parte exterior o también se puede colocar en el alma de las columnas y de igual manera se puede sellarlas mediante soldadura o con el uso de tornillos. En el caso de que sean de igual dimensiones. Para los perfiles

de diferentes medidas se puede utilizar una calza que se soldara al perfil más pequeño para fijarse mediante tornillos a la lámina de tapajuntas [29].

- **Soldadura**

Para este método solo se pueden conectar columnas o perfiles que tengan iguales medidas y se las unirá mediante un cordón de soldadura [29].

1.4.5.2 Columna-viga

Al igual que las conexiones columna-columna, las uniones viga-columna también tienen varios métodos de unión.

- **Soldadura**

Este método radica en la conexión de los perfiles tanto de la viga como de la columna mediante un cordón de soldadura ubicado en el alma y también en los patines de los perfiles [29].

- **Unión simple**

Este método se basa en la colocación de un ángulo entre la viga y la columna en donde se soldará en la parte de la columna y se atornillará en la viga [29].

- **Unión doble**

En la unión doble se coloca un ángulo entre la viga y la columna lo que la diferencia del método anterior es que se atornilla tanto en la viga como en la columna [29].

- **Unión compuesta**

Es un método que utiliza la unión doble es decir es una conexión doble pero la viga está apoyada sobre un ángulo y esta es atornillada en la viga [29].

1.4.6 Uniones para elementos

Existen varios métodos que intervienen en la unión de los elementos estructurales y se pueden dividir en 2 tipos: uniones rígidas y uniones articuladas [29].

1.4.6.1 Uniones Rígidas

En los elementos estructurales cuando se habla de uniones rígidas se refiere a la conexión mediante soldadura. Esto quiere decir que dos o más materiales metálicos se funden con la ayuda de un material de aportación comúnmente llamado electrodo con el fin de transformar estos elementos en uno solo [29]. Estas uniones se caracterizan por no ser desarmables es decir se necesita destruir el componente mediante herramientas mecánicas para poder desarmarlos [29].

1.4.6.2 Uniones articuladas

Las uniones articuladas se refieren a la unión de varios elementos mediante componentes mecánicos. Su principal característica es la de ser desarmable.

- **Uniones mediante remaches**

Este método radica en la unión de dos o más componentes metálicos a través de la aplicación de remaches. La forma de separar estos elementos se basa en la separación de la cabeza del remache para así poder retirar el vástago de este. Es un método donde el componente no es destruido [29].

- **Uniones mediante pernos o tornillos**

Las estructuras modernas se han primado el uso de este tipo de uniones ya que es sumamente rápido y no requiere mano de obra técnica como es el caso de la soldadura. Esto hace que este método sea mucho más económico. Este método al igual que el anterior enfatiza la unión de dos o más elementos mediante tornillos o pernos, pero estas uniones necesitan de elementos auxiliares como son tuercas, arandelas (de todo tipo) para que el conjunto sea completo. [29].

CAPÍTULO II

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

2.1 Alternativas de Diseño

Morales [19], describe algunas de las alternativas para diseñar una mesa sísmica. Se prosigue a exponer las más notables:

- Mecanismo biela manivela

Este conjunto va a estar compuesto de una plataforma encargada de alojar la estructura, una serie de soportes, un conjunto de rodamientos lineales que aseguran el movimiento de la placa en un solo curso y el mecanismo configurado por una rueda que cambia la holgura de circulación y un manubrio que conecta la rueda y la placa. La biela va conectada con el eje de salida del motor, transmitiendo el movimiento de rotación. Este mecanismo cuenta con un sistema de control, el cual se encarga de situar en funcionamiento el motor controlando velocidad y frecuencia.

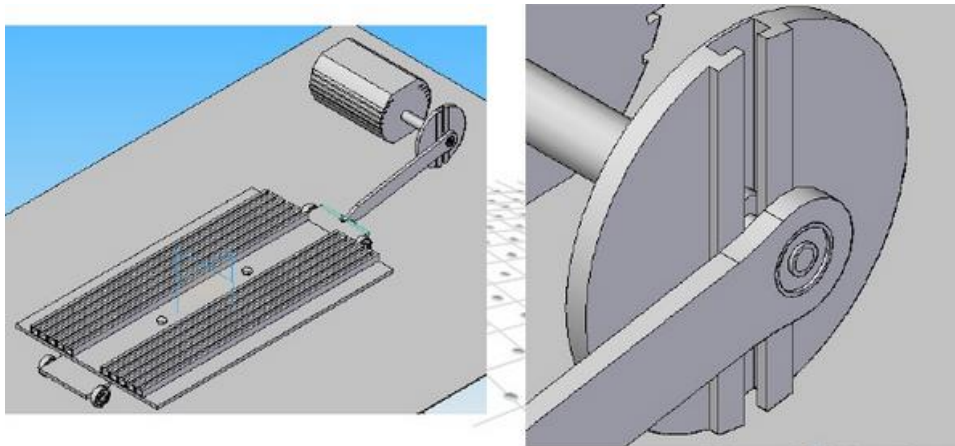


Figura 14. Simulador sísmico uniaxial operable con Mecanismo Biela-manivela [19]

- Mecanismo correa-polea o slider

La slider está compuesta de un carril motorizado que fija la dirección en la que se va a mover la plataforma. Este carril comúnmente es fabricado de aluminio, puesto que este material brinda precisión y suavidad en el movimiento de la plataforma.

La plataforma debe diseñarse de tal forma, que permita el movimiento longitudinal de la correa, y esta permanezca tensa y permita un suave movimiento. Para lograr esto, es

necesario contar con una garrucha con dientes, otra garrucha similar o una chumacera que acoja el viaje de una punta a la otra. Además, es necesario contar con una banda que se acople óptimamente con la garrucha dentada y que está fabricada de un componente endurecido con el único objetivo de no provocar amplitudes por plasticidad que posee el material. El empleo de poliuretano podría ser la opción más acertada para fabricar esta correa. El acople del motor con la polea dentada permite controlar efectivamente el sistema. Sin embargo, es necesario diseñar el soporte para el motor de un material sumamente rígido, tal y como lo es el aluminio o el acero.

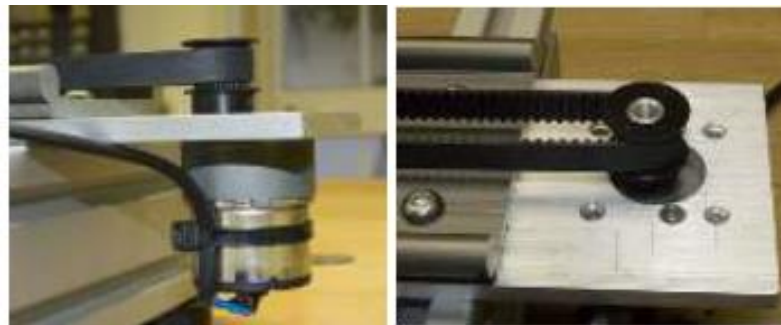


Figura 15. Mecanismo Polea-slider para mesa sísmica [19]

- **Mecanismo husillo y guías**

Este mecanismo posee un motor que hace girar al husillo sobre sí mismo y está unido a él por la acción de un acoplamiento. Un desplazador está unido al husillo, permitiendo el movimiento de la plataforma, la cual se desplaza de un extremo a otro gracias a las guías o rodamientos lineales acoplados.

El soporte del motor y del husillo debe diseñarse con material rígido y liviano como el aluminio, tomando en cuenta que el soporte del husillo debe posicionarse al extremo contrario del motor. Por último, en un extremo del husillo es necesario articular una rueda que permita la circulación producida manualmente del propio elemento y sirva como detención para el desplazamiento en el eje axial.

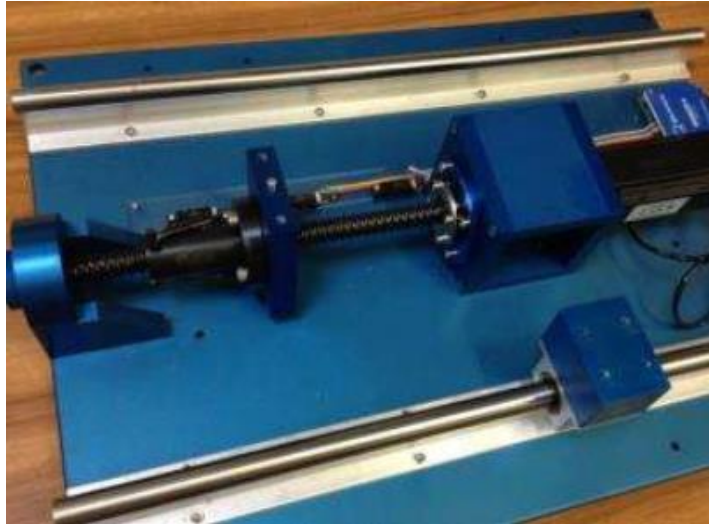


Figura 16. Simulador sísmico uniaxial operable con Husillo [19]

- **Motor lineal**

El encargado de vigilar el movimiento de un motor lineal es un controlador que requiere de una señal de referencia Set Point (SP) y una señal de retroalimentación para su correcto funcionamiento. Es decir, es necesaria una indicación que señale el desplazamiento (movimiento telúrico, armónico o exploración en frecuencia) y una resultante del controlador lineal que compare la rapidez y el movimiento de la plataforma vibratoria. La marca de referencia tiene su origen en un computador y es remitida en modo de voltaje por medio de una placa que adquiere y controla información, los cuales los envía hacía el controlador.

El sistema está compuesto de un conjunto de rodamientos lineales que deben soportar altas cargas y realizar el movimiento de la plataforma a altas velocidades, y con baja fricción. Además, es necesario incorporar un Encoder lineal, un controlador que entregue al motor las corrientes nominal y pico durante su funcionamiento, un ordenador que controle el movimiento del motor y un motor lineal síncrono de imanes permanentes (PMLSM), puesto que es el más utilizado para lograr grandes aceleraciones y nunca necesitará de elementos de emisión adicionales como cajas que reduzcan velocidades, cadenas o pernos de unión para transformar el desplazamiento de revolución en traslación puesto que produce una fuerza lineal en sentido de su longitud.

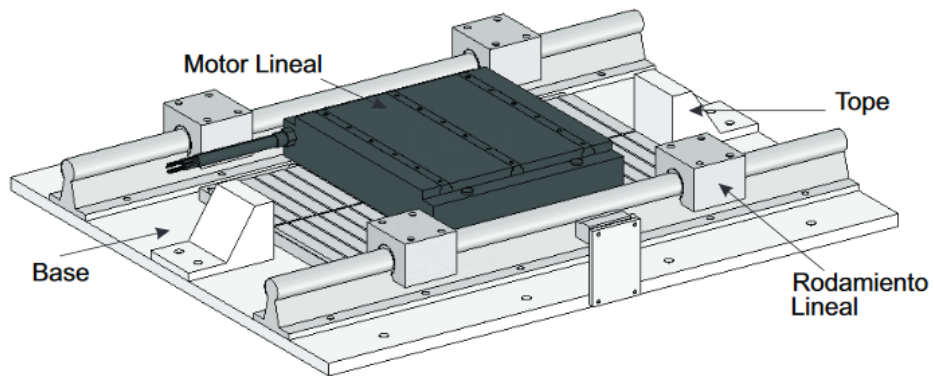


Figura 17. Simulador sísmico uniaxial operable con motor lineal [36]

2.2 Criterios de Evaluación

- **Costo Moderado:** Es necesario que el mecanismo utilizado no posea un costo demasiado elevado, pero que satisfaga el desempeño deseado.
- **Facilidad de fabricación:** El mecanismo seleccionado debe poseer un nivel de fabricación y montaje moderado.
- **Facilidad de mantenimiento:** Es indispensable que el simulador sísmico posea un mantenimiento sencillo, que no supere los 15 o 20 minutos en su desarrollo.
- **Funcionalidad:** El movimiento efectuado por el simulador debe ser de similar aspecto al de un sismo real.
- **Intercambiabilidad:** Se precisa que los recursos o piezas utilizadas sean de fácil sustitución en caso de falla o rotura.
- **Seguridad:** La interfaz usuario – máquina debe tener un alto nivel de seguridad, evitando que se susciten dificultades para el usuario.
- **Capacidad de carga:** El simulador debe ser capaz de resistir una carga máxima de 300 kg con un alto factor de seguridad.

- **Vida útil:** Los componentes utilizados en el mecanismo seleccionado deben poseer una larga duración, una vida útil alrededor de 2000 horas.
- **Facilidad para modificar el grado sísmico:** El simulador sísmico debe poseer un sencillo interfaz que permita modificar la intensidad sísmica del movimiento horizontal.

2.3 Selección de Alternativa

Para seleccionar la alternativa ideal, es necesario evaluar los posibles mecanismos que se van a utilizar en función de cada uno de los criterios seleccionados. Para ello, se asignan porcentajes a los criterios de evaluación, según el nivel de importancia generada para el simulador sísmico, y se otorgan las correspondientes puntuaciones a cada caso. De este modo en la Tabla 4, se observa un gráfico de selección de alternativa con la opción seleccionada en base de una media ponderada:

- Puntuaciones

5: Excelente **4:** Bueno **3:** Satisfactorio **2:** Regular **1:** Deficiente

Tabla 4. Matriz selección alternativa.

Criterios de Evaluación	Costo moderado	Facilidad de fabricación	Facilidad de mantenimiento	Funcionalidad	Intercambiabilidad	Seguridad	Capacidad de carga	Vida útil	Facilidad para modificar el grado sísmico	Total
%	10	15	15	15	5	10	10	5	15	100
Alternativas										

Biela manivela	4	4	4	5	4	5	5	4	3	4.2
Correa-polea	4	4	3	3	4	4	5	3	4	3.75
Husillo y guías	3	3	4	4	4	4	5	4	4	3.85
Motor Lineal	2	4	5	5	4	5	5	4	5	4.45

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Prosiguiendo, en la Tabla 5 se exhiben las alternativas nominadas junto con la ponderación obtenida, para así evaluar y seleccionar la mejor opción.

Tabla 5. Evaluación y selección de alternativa

Alternativas	Ponderación
Biela manivela	4.2
Correa-polea	3.75
Husillo y guías	3.85
Motor Lineal	4.45

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las alternativas que sobresalen con mayor puntuación son los mecanismos Biela-manivela y Motor lineal. La principal diferencia que existe entre estas dos alternativas son el costo y el número de componentes. Sin embargo, utilizar un motor lineal como principal mecanismo para producir un movimiento horizontal e impulsar la plataforma es la mejor opción, puesto que es compatible con las especificaciones y criterios necesarios para validar un simulador sísmico. Es importante destacar que esta alternativa se ha seleccionado con el fin de planear una futura construcción.

2.4 Estructuras modulares que podrían utilizarse para pruebas sísmicas

Una vez elegida la alternativa ideal para llevar a cabo la simulación de un simulador sísmico biaxial, es necesario especificar las estructuras que podrían utilizarse para realizar las respectivas pruebas de resistencia ante una carga sísmica. Es por lo que las estructuras ideales para llevar a cabo este trabajo son las estructuras modulares, debido a que estas estructuras son mucho más resistentes que una estructura convencional y expondrían lo que sucede con una estructura ante un sismo de gran magnitud.

Los materiales designados para construir dichas estructuras y demostrar el punto antes señalado son: aluminio, acero y madera. Un claro ejemplo de cómo serán las estructuras modulares se muestran en las Figuras 18, 19 y 20. Estas estructuras se construirán de un máximo de 4 pisos y podrán configurarse de la manera que se desee, pero sin superar el peso máximo. Además, las dimensiones de las estructuras no deberán superar el área total de la plataforma, es decir, un área de 4 m^2 .

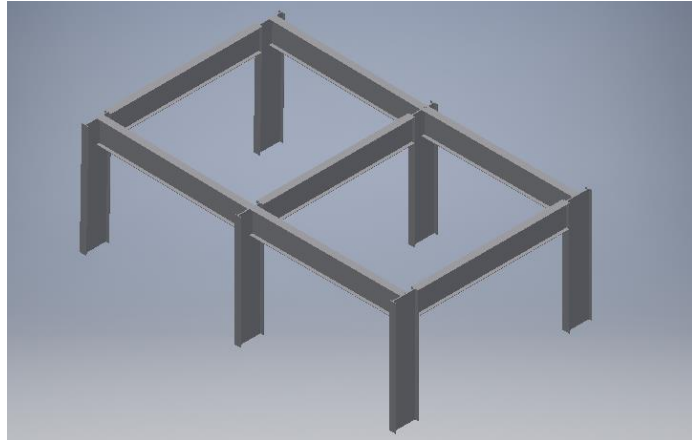


Figura 18. Estructura modular de 1 piso y 2 módulos
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

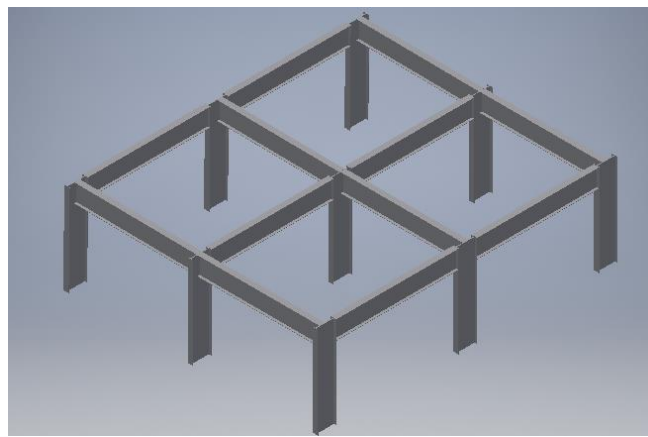


Figura 19. Estructura modular de 1 piso y 4 módulos
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

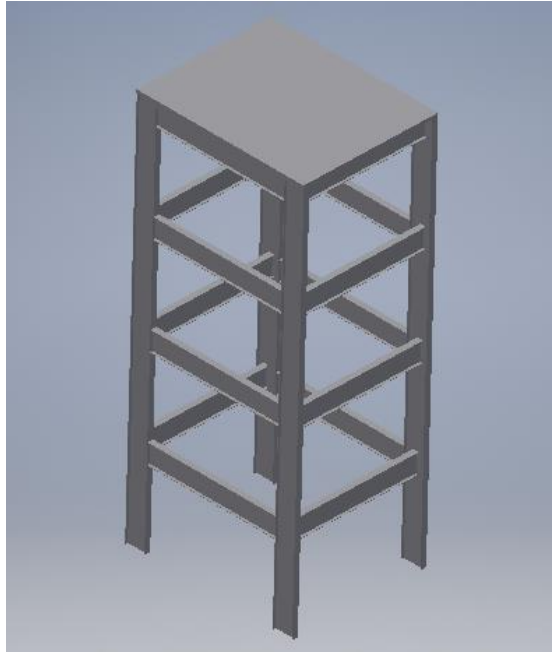


Figura 20. Estructura modular de 4 pisos y 1 módulo
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SIMULADOR SÍSMICO BIAxIAL

En esta sección se muestra el cálculo y boceto del simulador, pero antes se prima a pormenorizar los datos técnicos de diseño necesarios para desarrollar dicho simulador, como se expone en la Tabla 6:

Tabla 6. Datos técnicos de diseño para un simulador sísmico biaxial

Datos Técnicos	Valor	Unidades
Dimensiones del área de carga superior	2 · 2	m
Dimensiones del área de carga inferior	2 · 2	m
Dimensiones de la base	2 · 2	m
Máxima capacidad de carga	50	Kg/m ²
Carga máxima que soporta el simulador	302	Kg
Recorrido máximo	0.15	m
Frecuencia máxima	10	Hz
Aceleración pico	4	g's

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Estos datos técnicos de la Tabla 6 son seleccionados basados en investigaciones y artículos analizados previamente.

El mecanismo por simular debe constar de las siguientes partes:

- Plataformas
- Guías lineales
- Rodamientos lineales
- Motores lineales

3.1 Cálculos para la selección de elementos mecánicos

Una vez obtenidos los datos técnicos, por medio de un catálogo de las partes antes detalladas se procede a efectuar los cálculos correspondientes para su correcta selección.

3.1.1 Selección de Rodamientos lineales

El cálculo de tamaño y selección de rodamientos se lo ha realizado en base a un arduo análisis en el que intervienen conceptos sumamente importantes como la vida nominal, capacidad de carga y carga de seguridad estática ante los cuales los rodamientos deben estar expuestos para cumplir con las condiciones de trabajo necesarias [37].

Antes de presentar el análisis, es preciso comprender cada uno de los conceptos y fórmulas que se utilizarán en el proceso de selección, tal y como se muestra a continuación:

a. Duración de vida nominal

Se define como la duración de vida que pueden poseer los rodamientos en condiciones de servicio usuales. En la industria existen 3 niveles de confiabilidad con una probabilidad del 90%, 95% y 100%. Para rodamientos que están expuestos a condiciones de trabajo similares, como las del simulador sísmico, se utilizara una confiabilidad del 95% ante fallos [37].

b. Capacidad de carga dinámica C

Es la carga radial que teóricamente puede llegar a soportar un rodamiento lineal, y se caracteriza al no variar ya sea por el tamaño y/o la dirección que el rodamiento pueda llegar a poseer para una duración de vida equivalente a 10^5 m de recorrido [37].

c. Capacidad de carga estática C_0

Se considera como capacidad de carga estática a un esfuerzo máximo de 5300 MPa, el cual es calculado en el punto medio de contacto, es decir, entre el cuerpo del rodamiento lineal y el cuerpo del eje, que corresponde a una carga estática radial que se encuentra en dirección de la carga [37].

Para realizar el cálculo y selección correspondiente de rodamientos lineales es imperativo utilizar las siguientes formulas:

$$L = \left(\frac{C}{F_m} \cdot f_H \cdot f_t \cdot f_s \right)^3 \cdot 10^5 \quad (1)$$

Duración de vida nominal en metros (m) [37]

$$L_h = \frac{L}{2 \cdot s \cdot n_s \cdot 60} \quad (2)$$

Duración de vida nominal en horas (h) [37]

$$C_{req} = \frac{F_m}{f_H \cdot f_t \cdot f_s \cdot f_L} \quad (3)$$

Capacidad de carga dinámica requerida [37]

$$S_0 = \frac{C_0}{F_{0max}} \quad (4)$$

Carga de seguridad estática [37]

Donde, Rexroth Bosch Group [37] define los parámetros como:

L	Duración de vida nominal	m
L _h	Duración de vida nominal	h
C	Capacidad de carga dinámica	N
F _m	Carga dinámica equivalente	N
f _H	Factor de dureza para la dureza de ejes	-
f _t	Factor de temperatura	-
f _s	Factor para carrera corta	-
f _L	Factor de duración de vida	-
s	Longitud de carrera	m
n _s	Frecuencia de ciclo	/min
C _{req}	Capacidad de carga dinámica requerida	N
S ₀	Carga de seguridad estática	-
C ₀	Capacidad de carga estática	N
F _{0max}	Carga estática máxima	N

Para iniciar el proceso de cálculo del tamaño de los rodamientos lineales es necesario tener en cuenta que cada nivel del simulador sísmico tendrá su propio estudio, puesto que la carga que debe soportar los rodamientos lineales en cada nivel es distinta.

La carga en el tercer y segundo nivel se considerarán como uniformemente distribuida sobre los cuatro rodamientos lineales dispuestos para cada nivel. Las plataformas

tendrán un recorrido de ida y vuelta máximo de 0.15 m con una frecuencia máxima de 10 Hz. La duración de vida mínima requerida deberá ser de 2000 h para los rodamientos del primer nivel y 3000 h para los rodamientos del segundo nivel a una temperatura de servicio que no supere los 100° C.

$$n_s = 10 \frac{\text{ciclos}}{s} \cdot \frac{60s}{1\text{min}} \cdot \frac{2\text{carreras}}{1\text{ciclo}} = 1200 \frac{\text{carreras dobles}}{\text{min}}$$

El peso que posee el tercer nivel es:

$$\text{Peso tercer nivel} = 302.4 + 43.36 = 345.76\text{kg}$$

Donde,

43.36kg Peso de la plataforma de $2m \cdot 2m \cdot 4 \times 10^{-3}m$

302.4kg Peso total máximo de una estructura

- Segundo Nivel

$$F = 345.76\text{kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 3391.91\text{N}$$

La carga dinámica equivalente se la obtiene dividiendo la carga F para los 4 rodamientos:

$$F_m = \frac{3391.91 \text{ N}}{4} = 847.97\text{N}$$

La duración de vida mínima, expresada en metros, se la obtiene a partir de la Ecuación 2:

$$L = 2 \cdot s \cdot n_s \cdot 60 \cdot L_h$$

$$L = 2 \cdot 0.15\text{m} \cdot 1200 \frac{\text{carreras dobles}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1\text{h}} \cdot 3000\text{h}$$

$$L = 648 \times 10^5 \text{m}$$

Para una duración de vida de $648 \cdot 10^5 \text{m}$ el factor de duración de vida f_L es de 0.12, tal y como se puede observar en la Figura 21, que corresponde al factor de duración de vida.

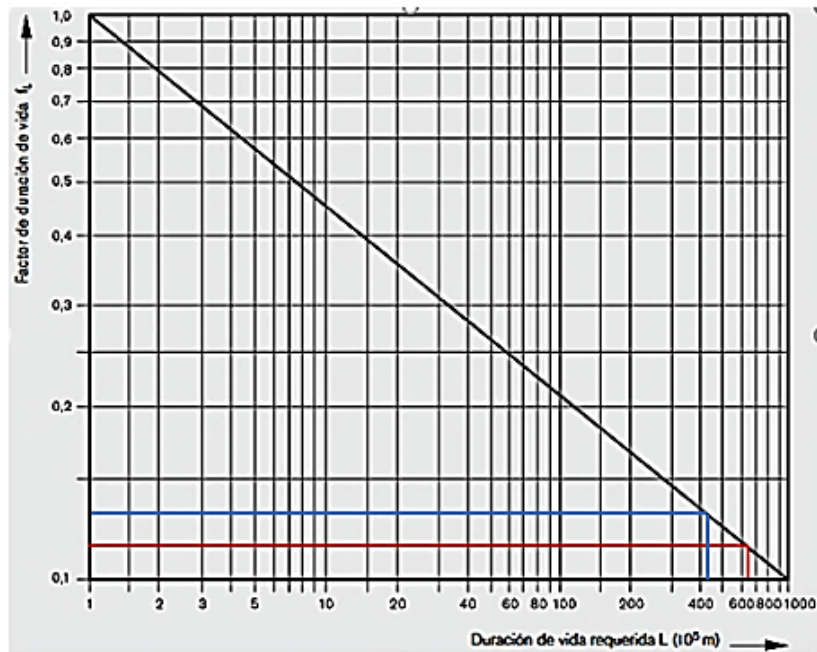


Figura 21. Diagrama para el factor de duración de vida f_L [37]

$$f_L = 0.12$$

Ahora, para un eje hueco de acero inoxidable 420 con una dureza de HRC 50 (ver Anexo 1) corresponde un factor de dureza f_H de 0.5, resultante del diagrama de la Figura 22.

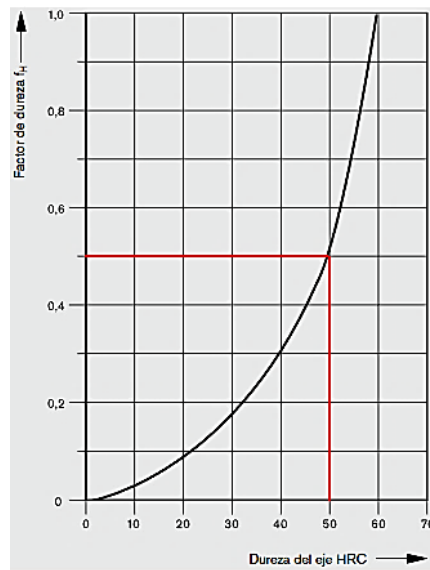


Figura 22. Diagrama para factor de dureza f_H [37]

$$f_H = 0.5$$

El factor de temperatura se obtiene a partir de la Tabla 7, la cual muestra la temperatura de trabajo del rodamiento lineal y el factor de temperatura f_t

Tabla 7. Factor de temperatura para rodamientos lineales [37]

Temperatura del rodamiento (°)	100	125	150	175	200
Factor de temperatura f_t	1	0.92	0.85	0.77	0.70

$$f_t = 1$$

El factor de carrera corta en este caso es igual a 1, debido a que la carrera a recorrer es de 0,15 m supera tres veces la longitud del rodamiento lineal.

$$f_s = 1$$

Así, la capacidad de carga dinámica requerida para los 4 primeros rodamientos lineales es de:

$$C_{req} = \frac{F_m}{f_H \cdot f_t \cdot f_s \cdot f_L}$$

$$C_{req} = \frac{847.97 \text{ N}}{0.5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.12} = \mathbf{14132.94N}$$

El rodamiento lineal que cumple con la capacidad de peso inminentemente superior es el Set R1701 260 20 de Bosch Rexroth (ver Anexo 2) con las siguientes cargas mínimas dinámica y estática:

$$C_{min} = 23500N$$

$$C_{0min} = 18700N$$

Con la ayuda de la Ecuación 1 se puede calcular la duración de vida nominal en metros para el rodamiento seleccionado:

$$L = \left(\frac{C}{F_m} \cdot f_H \cdot f_t \cdot f_s \right)^3 \cdot 10^5$$

$$L = \left(\frac{23500N}{847.97N} \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 1 \right)^3 \cdot 10^5$$

$$L = 266.05 \times 10^6 m$$

La duración de vida nominal en horas se la puede calcular a partir de la Ecuación 2, como se muestra a continuación:

$$L_h = \frac{L}{2 \cdot s \cdot n_s \cdot 60}$$

$$L_h = \frac{266.05 \times 10^6 m}{2 \cdot 0.15m \cdot 1200 \frac{\text{carreras dobles}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 h}}$$

$$L_h = 12317.38 h$$

De esta forma se cumplen las 3000 horas requeridas que se plantearon para el correcto funcionamiento del simulador sísmico. Es notable el sobre dimensionamiento de vida útil para estos rodamientos.

El cálculo de la carga de seguridad estática para el rodamiento seleccionado se obtiene a partir de la Ecuación 4:

$$S_0 = \frac{C_0}{F_{0max}}$$

$$S_0 = \frac{18700N}{3391.91N}$$

$$S_0 = 6$$

Las condiciones de aplicación con las que va a trabajar los rodamientos lineales seleccionados son con fuertes golpes o vibraciones lo que se define con un $S_0 = 4 \dots 6$, lo cual cumple con los valores calculados.

- Primer Nivel

$$\text{Peso segundo nivel} = 345.76 + 71.54 + 5.2 \cdot 4 + 27.78 \cdot 2 + 4.8 \cdot 4 + 74.9$$

$$= 587.76kg$$

Donde.

- 71.54kg Peso de la plataforma de $2m \cdot 2m \cdot 6 \times 10^{-3}m$
- 5.2kg Peso de los rodamientos lineales segundo nivel
- 27.78kg Peso de la posible guía lineal de 0.06 m
- 4.8kg Peso de la posible chumacera
- 74.9kg Peso del posible motor

$$F = 587.76kg \cdot 9.81m/s^2 = 5765.93N$$

La carga dinámica equivalente se la obtiene dividiendo la carga F para los 4 rodamientos:

$$F_m = \frac{5765.93}{4} = 1441.48N$$

La duración de vida mínima, expresada en metros, se la obtiene a partir de la Ecuación 2:

$$L = 2 \cdot s \cdot n_s \cdot 60 \cdot L_h$$
$$L = 2 \cdot 0.15m \cdot 1200 \frac{\text{carreras dobles}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1h} \cdot 2000h$$
$$L = 432 \times 10^5 m$$

Los factores de dureza, temperatura y carrera corta se mantienen exactamente igual, puesto que las condiciones bajo las cuales se los selecciona no han cambiado. Pero el factor de duración de vida ha cambiado, por lo que fue elegido nuevamente en la Figura 21, puesto que la duración de vida mínima se lo ha establecido en 2000 h.

$$f_L = 0.16$$

Así, la capacidad de carga dinámica requerida para los 4 rodamientos lineales restantes es de:

$$C_{req} = \frac{F_m}{f_H \cdot f_t \cdot f_s \cdot f_L}$$

$$C_{req} = \frac{1441.48N}{0.5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.16} = \mathbf{18018.52N}$$

El rodamiento lineal que cumple con la capacidad de carga inminentemente superior es el Set Lineal R1701 260 20 de Bosch Rexroth (ver Anexo 2) con las siguientes cargas mínimas dinámica y estática:

$$C_{min} = \mathbf{23500N}$$

$$C_{0min} = \mathbf{18700N}$$

Con la ayuda de la Ecuación 1 se puede calcular la duración de vida nominal en metros para el rodamiento seleccionado:

$$L = \left(\frac{C}{F_m} \cdot f_H \cdot f_t \cdot f_s \right)^3 \cdot 10^5$$

$$L = \left(\frac{23500N}{1441.48} \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 1 \right)^3 \cdot 10^5$$

$$L = \mathbf{541.6 \times 10^5 m}$$

La duración de vida nominal en horas se la puede calcular a partir de la Ecuación 2, como se muestra a continuación:

$$L_h = \frac{L}{2 \cdot s \cdot n_s \cdot 60}$$

$$L_h = \frac{541.6 \times 10^5 m}{2 \cdot 0.15m \cdot 1200 \frac{\text{carreras dobles}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1h}}$$

$$L_h = \mathbf{2507.46 h}$$

De esta forma se cumplen las 2000 horas requeridas que se plantearon para el correcto funcionamiento del simulador sísmico.

El cálculo de la carga de seguridad estática para el rodamiento seleccionado se obtiene a partir de la Ecuación 4:

$$S_0 = \frac{C_0}{F_{0max}}$$

$$S_0 = \frac{18700N}{5765.93N}$$

$$S_0 = 4$$

Los rodamientos seleccionados cumplen con las condiciones de aplicación estipuladas por el fabricante.

3.1.2 Selección de guías lineales

Cuando se utilizan barras de acero como guías lineales para rodamientos es sumamente necesario garantizar que la flexión generada a causa de la carga se mantenga dentro de ciertos valores permisibles. Caso contrario es probable que la duración de vida y la función a la que el eje está destinado se vean perjudicados en un lapso menor al esperado [38].

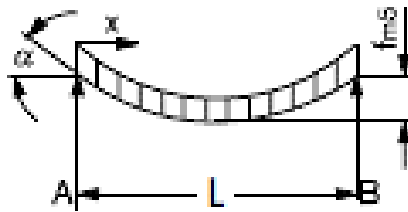


Figura 23. Caso de aplicación de la carga [38]

De este modo, se presentan las fórmulas correspondientes al caso de estudio de aplicación de carga que se muestra en la Figura 23.

$$f_m = \frac{5 \cdot F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} \quad (5)$$

Flexión máxima del eje [38]

$$\tan \alpha_{(x=0)} = \frac{F \cdot l^2}{24 \cdot E \cdot I} \quad (6)$$

Inclinación del eje en el rodamiento lineal [38]

Donde, Rexroth Bosch Group [38] define los parámetros como:

F	Carga	N
l	Longitud del eje	m
E	Módulo de elasticidad	N/m ²
I	Momento de inercia de la superficie	m ⁴
f_m	Flexión máxima del eje	m
α	Inclinación del eje en el rodamiento lineal	(°)
[Δ]	Deflexión admisible	m

- Segundo Nivel

Para seleccionar con eficacia el eje ideal para el simulador sísmico, es necesario tomar en cuenta ciertos datos que optimizaran considerablemente la ejecución de los cálculos, tales como:

$$l = 2m$$

$E \cdot I = 1.15 \times 10^5 N \cdot m^2$; visualizar Anexo 3 para un eje hueco de 0.06 m de diámetro

$$F = 345.76kg + (5.20kg \cdot 4) = 366.56kg \cdot 9.81m/s^2 = 3595.95N$$

Con la ayuda de la Ecuación 5 se calculará la flexión máxima del eje con el fin de conocer que tanto va a flectar la guía lineal.

$$f_m = \frac{5 \cdot F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$f_m = \frac{5 \cdot 3595.95N \cdot (2m)^3}{384 \cdot 1.15 \times 10^5 N \cdot m^2}$$

$$f_m = 3.257 \times 10^{-3} m$$

El valor obtenido en el cálculo anterior para un eje hueco de acero de 0.06 m de diámetro presenta una flexión mínima, que no representa un problema para el

simulador. Pero es necesario comparar el valor obtenido con el siguiente criterio de deflexión admisible:

$$f_m < [\Delta] \quad (7)$$

Criterio de deflexión admisible

En donde,

$$[\Delta] = \frac{l}{425} \quad (7)$$

Deflexión admisible [39].

$$[\Delta] = \frac{2}{425} = 4.7 \times 10^{-3} m$$

Entonces,

$$3.257 \times 10^{-3} m < 4.7 \times 10^{-3} m$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de deflexión mostrado en la Ecuación 7, sin representar una complicación para el simulador.

Más adelante, se encuentra la Ecuación 6, útil para calcular la inclinación de la guía lineal en el rodamiento lineal seleccionado.

$$\begin{aligned} \tan \alpha_{(x=0)} &= \frac{F \cdot l^2}{24 \cdot E \cdot I} \\ \tan \alpha_{(x=0)} &= \frac{3595.95 N \cdot (2m)^2}{24 \cdot 1.15 \times 10^5 N \cdot m^2} \\ \tan \alpha_{(x=0)} &= 5.21 \times 10^{-3} \\ \alpha &= \tan^{-1}(5.21 \times 10^{-3}) \\ \alpha &= 0.3^\circ \end{aligned}$$

El ángulo de inclinación obtenido para la guía lineal seleccionada cumple con los parámetros y valores del ángulo de inclinación máximo admisible (0.489°) para un eje

de acero con un diámetro de 0.06 m, el cual encaja a la perfección con los rodamientos previamente seleccionados, tal y como se lo puede visualizar en el Anexo 5.

$$\tan \alpha_{adm} = 5.7 \times 10^{-4} \cdot \frac{0.06 \text{ m}}{4 \text{ rodamientos}}$$

$$\alpha_{adm} = 0.489^\circ$$

$$\alpha < \alpha_{adm}$$

- Primer Nivel

Para seleccionar el eje preciso para este nivel, es necesario seguir el mismo procedimiento preliminarmente examinado en el segundo nivel.

$E \cdot I = 1.34 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^2$; visualizar Anexo 4 para un eje macizo de 0.06 m de diámetro

$$F = 366.56 + (5.20 \cdot 4) + (27.78 \cdot 2) + 74.9 + 4.8 \cdot 4 + 74.9 = 608.56 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 5969.97 \text{ N}$$

$$f_m = \frac{5 \cdot F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$f_m = \frac{5 \cdot 5969.97 \text{ N} \cdot (2 \text{ m})^3}{384 \cdot 1.34 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^2}$$

$$f_m = 4.64 \times 10^{-3} \text{ m}$$

El valor obtenido en el cálculo anterior para un eje de acero macizo de 0.06 m de diámetro presenta una flexión mínima, que no representa un problema para el simulador. Pero es necesario comparar el valor obtenido con el siguiente criterio de deflexión admisible:

$$f_m < [\Delta]$$

En donde,

$$[\Delta] = \frac{2}{425} = 4.7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Entonces,

$$4.64 \times 10^{-3} m < 4.7 \times 10^{-3} m$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de deflexión utilizado sin representar una complicación para el simulador.

$$\begin{aligned}\tan \alpha_{(x=0)} &= \frac{F \cdot l^2}{24 \cdot E \cdot I} \\ \tan \alpha_{(x=0)} &= \frac{5969.97 N \cdot (2m)^2}{24 \cdot 1.34 \times 10^5 N \cdot m^2} \\ \tan \alpha_{(x=0)} &= 7.43 \times 10^{-3} \\ \alpha &= \tan^{-1}(7.43 \times 10^{-3}) \\ \alpha &= 0.43^\circ\end{aligned}$$

El ángulo de inclinación obtenido para la guía lineal seleccionada cumple con los parámetros y valores del ángulo de inclinación máximo admisible (0.489°) para un eje de acero con un diámetro de 0.06 m.

$$0.43 < 0.489^\circ; \alpha < \alpha_{adm}$$

3.1.3 Selección del espesor correcto para las plataformas de Aluminio

Para la correcta selección de plataformas, si a espesores se refiere, se debe garantizar que el peso tanto de las estructuras a simular como de los elementos que componen el simulador sísmico no provoquen deformaciones ni pandeos que puedan comprometer el correcto funcionamiento y movilidad del simulador.

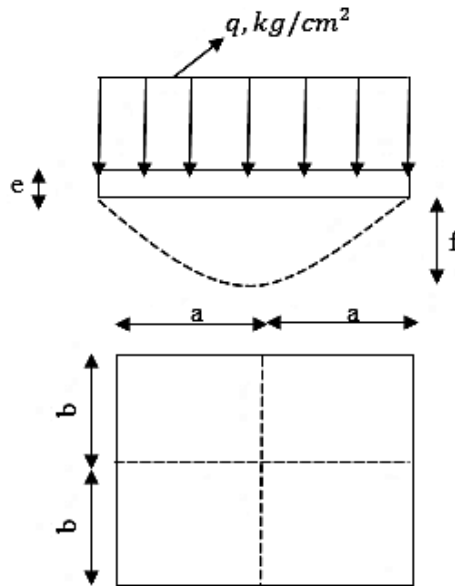


Figura 24. Aplicación de la carga y dimensiones en placas [40].

De este modo, se presentan las fórmulas correspondientes para el diseño de placas:

$$\tau_{ad} = \frac{Fy}{n} \quad (9)$$

Esfuerzo admisible en la placa [40]

$$\eta = \frac{a}{b} \quad (10)$$

Relación entre dimensiones principales [40]

$$e = \sqrt{\frac{\varphi_y \cdot q \cdot b^2}{\sigma_y}} \quad (11)$$

Espesor de la placa [40]

$$f = \psi \cdot \frac{q \cdot b^4}{e^3 \cdot E} \quad (12)$$

Flecha o flexión máxima en la placa [40]

$$f_{adm} = K \cdot F \frac{l^3}{E \cdot e^3} \quad (13)$$

Flexión admisible para placas [41]

$$f \leq f_{adm} \quad (14)$$

Criterio de deflexión admisible para placas [41]

Donde, Larburu [40] y Hufnagel [41] define los parámetros como:

τ_{ad}	Esfuerzo admisible	N/m^2
F_y	Esfuerzo de fluencia	N/m^2
n	Factor de seguridad	-
η	Relación entre dimensiones principales	-
e	Espesor de la placa	m
q	Carga soportada	N/m^2
σ_y	Tensión en el eje y	N/m^2
E	Módulo de elasticidad (aluminio)	GPa
f_{adm}	Flecha admisible	m
F	Fuerza exterior actuante	N/m
K	Constante según la condición de apoyo	-
l	Longitud de la placa	m

Según Larburu [40]. Para el diseño adecuado de placas se toma en cuenta el caso de placa apoyada para los siguientes cálculos y factores a tomar en cuenta.

- Primer Nivel

Con la ayuda de la Ecuación 9 se calcula el esfuerzo admisible que se tiene en la placa. Para ello el esfuerzo a la fluencia será de $125.04 \times 10^6 N/m^2$ para el aluminio 6061 y con un factor de seguridad de 2.

$$\tau_{ad} = \frac{F_y}{n}$$

$$\tau_{ad} = \frac{125.04 \times 10^6 N/m^2}{2}$$

$$\tau_{ad} = 62.521 \times 10^6 N/m^2$$

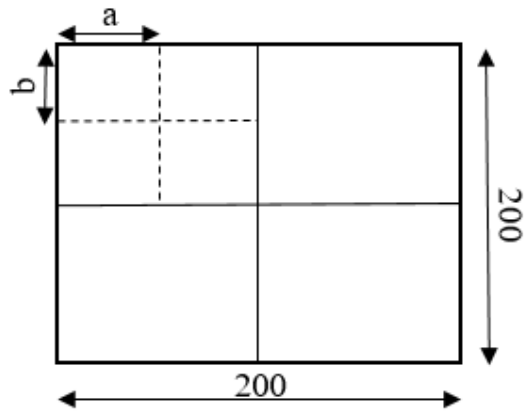


Figura 25. Aplicación de soportes longitudinales en placa de 200 x 200 cm

Para el primer nivel se aplican 2 soportes en el medio de la plancha, esto con el fin de rigidizar la placa en sí, ver Figura 25. Tomando en cuenta dichas especificaciones y las dimensiones de la sección de la placa se utiliza la Ecuación 10:

$$\eta = \frac{a}{b}$$

$$\eta = \frac{0.5 \text{ m}}{0.5 \text{ m}}$$

$$\eta = 1$$

Con el valor de η se buscan los valores de los factores en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores en función de η para una placa apoyada [40]

Valores en función de η para una placa apoyada				
η	φ_x	φ_y	ψ	k
1	1.15	1.15	0.71	0.26
1.5	1.20	1.95	1.35	0.34
2	1.11	2.44	1.77	0.37
3	0.97	2.85	2.14	0.37
4	0.92	2.96	2.24	0.38
∞	0.90	3.00	2.28	0.38

Para el valor de $\eta = 1$ se obtienen los siguientes valores:

$$\varphi_x = 1.15$$

$$\varphi_y = 1.15$$

$$\psi = 0.71$$

$$k = 0.26$$

Para este nivel la carga total es de $q = 8039.88 \text{ N/m}^2$ ya que soporta un peso total de 8039.88 N .

Entonces, según la Ecuación 11 se tiene:

$$e = \sqrt{\frac{\varphi_y \cdot q \cdot b^2}{\sigma_y}}$$
$$e = \sqrt{\frac{1.15 \cdot 8039.88 \text{ N/m}^2 \cdot (0.5 \text{ m})^2}{62.521 \times 10^6 \text{ N/m}^2}}$$
$$e = 6.08 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Luego, para el aluminio el módulo de elasticidad $E = 70 \text{ GPa}$ y se aplica la Ecuación 12.

$$f = \psi \cdot \frac{q \cdot b^4}{e^3 \cdot E}$$
$$f = 0.71 \cdot \frac{8039.88 \text{ N/m}^2 \cdot (0.5 \text{ m})^4}{(6.08 \times 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$
$$f = 22.67 \times 10^{-3} \text{ m}$$

En el ámbito industrial y comercial no se encuentran espesores de 6.08 mm. Por lo tanto, se utilizó una placa de 6 mm de espesor. Entonces realizando los cálculos con el espesor dado se tiene el siguiente valor de flexión de la plataforma:

$$f = \psi \cdot \frac{q \cdot b^4}{e^3 \cdot E}$$

$$f = 0.71 \cdot \frac{8039.88 \text{ N/m}^2 \cdot (0.5 \text{ m})^4}{(6 \times 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$f = 23.59 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Para la deformación admisible según Hufnagel [41] se considera la constante K igual a 1, para una placa de 0.5 m x 0.5 m, y utilizando la Ecuación 13 se tiene:

$$f_{adm} = K \cdot F \frac{l^3}{E \cdot e^3}$$

$$f_{adm} = 1 \cdot 4152.08 \text{ N/m} \frac{(0.5 \text{ m})^3}{70 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot (6 \times 10^{-3} \text{ m})^3}$$

$$f_{adm} = 34.32 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Luego, utilizando la Ecuación 14 se obtiene:

$$f \leq f_{adm}$$

$$23.59 \times 10^{-3} \text{ m} \leq 34.32 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de deflexión utilizado para el diseño de placas.

- Segundo Nivel

Para el segundo nivel se obtiene el mismo $\tau_{ad} = 62.521 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Además, se realiza el mismo procedimiento del nivel anterior, colocando 2 soportes en la mitad de la placa; así su relación de dimensiones principales es igual al del nivel anterior y se obtiene una sección cuadrada de 0.5m x 0.5m. Es decir que los valores de los factores son:

$$\varphi_x = 1.15$$

$$\varphi_y = 1.15$$

$$\psi = 0.71$$

$$k = 0.26$$

Este nivel soporta una carga total de $q = 5064.51 \text{ N/m}^2$, ya que soporta un peso total de 5064.51 N .

Entonces,

$$e = \sqrt{\frac{\varphi_y \cdot q \cdot b^2}{\sigma_y}}$$

$$e = \sqrt{\frac{1.15 \cdot 5064.51 \text{ N/m}^2 \cdot (0.5 \text{ m})^2}{62.521 \times 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$e = 4.83 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Con el espesor encontrado de 4.83 mm, se resuelve utilizar una placa de aluminio de espesor comercial de 6 mm

$$f = \psi \cdot \frac{q \cdot b^4}{e^3 \cdot E}$$

$$f = 0.71 \cdot \frac{5064.51 \text{ N/m}^2 \cdot (0.5 \text{ m})^4}{(6 \times 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$f = 14.86 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Para la deformación admisible en una sección de $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, se tiene:

$$f_{adm} = K \cdot F \frac{l^3}{E \cdot e^3}$$

$$f_{adm} = 1 \cdot 2530.98 \text{ N/m} \frac{(0.5 \text{ m})^3}{70 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot (6 \times 10^{-3} \text{ m})^3}$$

$$f_{adm} = 20.92 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Luego,

$$f \leq f_{adm}$$

$$14.86 \times 10^{-3} \text{ m} \leq 20.92 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de deflexión utilizado para el diseño de placas.

- Tercer Nivel

Para el tercer nivel se tiene un peso de 302 kg; por lo tanto, la carga que soporta esta placa es de $q = 2962.62 \text{ N/m}^2$ y el mismo $\tau_{ad} = 62.521 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Al igual que los niveles anteriores se colocaron 2 soportes en la mitad de la placa. Entonces su relación de dimensiones principales es igual a de los otros niveles ya que es una sección cuadrada de $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$. Es decir que los valores de los factores son:

$$\varphi_x = 1.15$$

$$\varphi_y = 1.15$$

$$\psi = 0.71$$

$$k = 0.26$$

Entonces, para la sección dada la carga soportada es de $q = 0.0512 \text{ kg/cm}^2$

$$e = \sqrt{\frac{\varphi_y \cdot q \cdot b^2}{\sigma_y}}$$

$$e = \sqrt{\frac{1.15 \cdot 2962.62 \text{ N/m}^2 \cdot (0.50 \text{ m})^2}{62.521 \times 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$e = 3.69 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Luego, para el espesor dado de 4 mm se tiene:

$$f = \psi \cdot \frac{q \cdot b^4}{e^3 \cdot E}$$

$$f = 0.71 \cdot \frac{2962.62 \text{ N/m}^2 \cdot (0.5 \text{ m})^4}{(4 \times 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$f = 29.35 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Para la deformación admisible en una sección de $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, se tiene:

$$f_{adm} = K \cdot F \frac{l^3}{E \cdot e^3}$$

$$f_{adm} = 1 \cdot 1412.64 \text{ N/m} \frac{(0.5 \text{ m})^3}{70 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot (4 \times 10^{-3} \text{ m})^3}$$

$$f_{adm} = 39.42 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Luego,

$$f \leq f_{adm}$$

$$29.35 \times 10^{-3} \text{ m} \leq 39.42 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de deflexión utilizado para el diseño de placas.

3.1.4 Selección de Motores

Para seleccionar el motor lineal adecuado para cada eje (X, Y), es necesario definir la carga máxima que debe soportar cada motor como se detalla en las Tablas 9 y 10. La carga máxima se deduce de la sumatoria de masas de elementos que intervienen en el funcionamiento del motor.

$$M_3 = m1 + m2 + m3 + 4m4 \quad (15)$$

Carga máxima tercer nivel [36].

Donde:

Tabla 9. Carga máxima soportada por el motor del segundo nivel del simulador

Carga máxima tercer nivel	M ₃	kg
m1	Masa de la estructura modular máxima	302
m2	Masa plancha de aluminio 4 mm espesor	43.36
m3	Masa del motor lineal	0
4m4	Masa de los rodamientos lineales	20.8
Total		366.56

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

$$M_2 = m1 + m2 + m3 + 4m4 + 4m5 + 2m6 \quad (16)$$

Carga máxima segundo nivel [36].

Donde,

Tabla 10. Carga máxima soportada por el motor del primer nivel del simulador

Carga máxima segundo nivel	M ₂	kg
m1	Masa del tercer nivel	366.56
m2	Masa plancha de aluminio 4 mm espesor	71.54
m3	Masa del motor lineal	0
4m4	Masa de los rodamientos lineales	20.8
4m5	Masa de los soportes de eje segundo nivel (chumaceras)	19.2
2m6	Masa de las guías del segundo nivel	55.56
Total		533.66

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los datos mostrados están disponibles en los Anexos 6, 7 y 8.

Luego, es necesario calcular la fuerza máxima requerida por el motor F para lograr acelerar a su valor pico dicha carga máxima.

$$F = Ma + Fr \quad (17)$$

Fuerza máxima requerida por el motor lineal [36]

Donde, M es la carga máxima que debe soportar el motor, a la aceleración máxima del simulador, Fr es la fuerza de fricción entre las guías y los rodamientos lineales. Todo esto, suponiendo que el motor no posee una masa móvil.

Los datos utilizados para el siguiente cálculo provienen de: una aceleración pico de 4g equivalente a $a = 4 \cdot 9.81 m/s^2 = 39.24 m/s^2$ y una fuerza de fricción de 5N (ver Anexo 9)

- **Fuerza requerida segundo nivel:**

$$F_3 = 366.56 kg \cdot 39.24 m/s^2 + 5N = 14388.81N$$

- **Fuerza requerida primer nivel:**

$$F_2 = 533.66kg \cdot 39.24m/s^2 + 5N = \mathbf{20945.82 N}$$

Una vez obtenida la fuerza requerida, es necesario seleccionar un motor lineal con una fuerza superior a la hallada y posteriormente realizar nuevamente el cálculo, pero esta vez teniendo en cuenta la masa y fuerza de atracción correspondiente al motor seleccionado.

Teniendo en cuenta los cálculos realizados, para el segundo nivel se selecciona el motor lineal MLP300C-0120 que posee una fuerza pico de 21500 N, un peso de 74.9 kg y una fuerza de atracción de 30700 N. Mientras que para el primer nivel se ha seleccionado el motor lineal MLP300C₁-0120 con una fuerza pico de 30000 N, un peso de 104.5 kg y una fuerza de atracción de 42600 N. Ver Anexo 10 y 11.

Una vez que se han seleccionado los motores, es necesario calcular de nuevo la fuerza máxima requerida, pero teniendo en cuenta los datos obtenidos. Para ello es necesario desglosar la Ecuación 17, con el fin de incluir la fuerza de atracción de cada motor. Tomando en cuenta que $F_r = \mu \cdot N$

$$M_3 = 366.56 + 74.9 = \mathbf{441.46kg}$$

$$F_3 = 441.46Kg \cdot 39.24m/s^2 + \frac{5N}{9.81m/s^2 \cdot 441.46kg} \cdot [9.81m/s^2 \cdot (441.46kg) + 30700N] = \mathbf{17363.33 N}$$

$$M_2 = 533.66 + 74.9 + 104.5 = \mathbf{713.06kg}$$

$$F_2 = 713.06kg \cdot 39.24m/s^2 + \frac{5N}{9.81m/s^2 \cdot 713.06kg} \cdot [9.81m/s^2 \cdot (713.06kg) + 42600N] = \mathbf{28015.92 N}$$

De los anteriores cálculos, se deduce que los motores seleccionados cumplen satisfactoriamente con todos los requerimientos.

$$F_3 < F_{p1}$$

$$17363.33N < 21500N$$

$$F_2 < F_{p2}$$

$$28015.92N < 30000N$$

Es decir, los motores pueden mover y acelerar su propio peso, el peso del simulador y el peso de una estructura modular sin ningún problema.

De acuerdo con los cálculos de carga realizados, el peso total del simulador sísmico biaxial es de 588.7 kg \approx 589 kg, y se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11. Carga total en Kg del Simulador Sísmico biaxial.

Descripción	Kg
Masa total del primer nivel	43.36
Masa total del segundo nivel	242.04
Masa de la plataforma del tercer nivel	303.30
Peso Total del Simulador	588.7

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

3.2 Elementos mecánicos seleccionados

3.2.1 Plataformas

En cuanto a las plataformas que se utilizarán se destinan dimensiones de $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ para el primer (base del simulador) y segundo nivel con un espesor de 6 mm . Para el tercer nivel se designó una plataforma de $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ con un espesor de 4 mm .

Para todas estas plataformas se utilizará aluminio 6061 con dobleces en los extremos para generar rigidez.

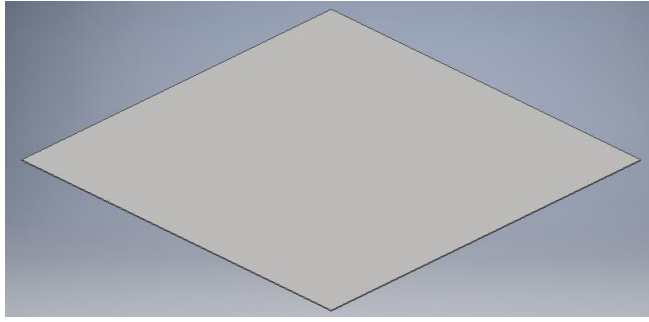


Figura 26. Plataforma de aluminio de 6 mm de espesor
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

3.2.2 Rodamientos lineales

Para permitir el movimiento de las plataformas con el motor se utilizarán Sets Lineales R1701 260 20 de Bosch Rexroth con un diámetro interior de 60 *mm* para el primer y segundo nivel. La Figura 27 muestra un set lineal con un rodamiento lineal en su interior que se utilizará en el segundo nivel del simulador.

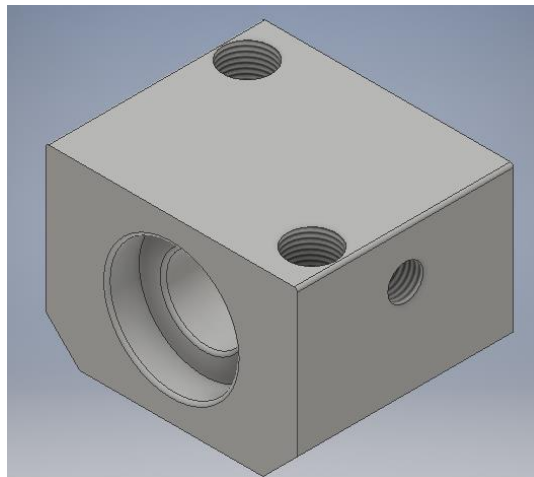


Figura 27. Set Lineal con un Rodamiento Bosch Rexroth [38].

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

3.2.3 Guías lineales

Las guías lineales que se emplean en el simulador son construidas con acero inoxidable 420 y constan de la siguiente descripción:

- Ejes huecos de 2 *m* de longitud que cuentan con un diámetro externo de 60 *mm* y un diámetro interno de 36.5 *mm* para el segundo nivel.
- Ejes macizos de 2 *m* de longitud con un diámetro exterior de 60 *mm*.

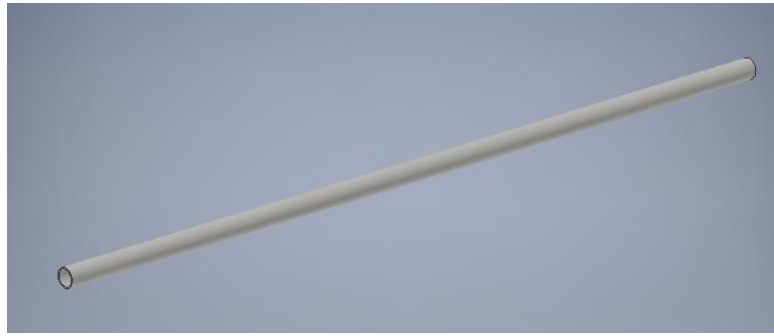


Figura 28. Guía lineal hueca de acero inoxidable 420
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

3.2.4 Motores lineales

Para el movimiento de las plataformas se utilizarán 2 motores lineales Bosch Rexroth, seleccionados previamente, los cuales son: MLP300C que posee una fuerza pico de 21500 N y MLP300C₁ con una fuerza pico de 30000 N.

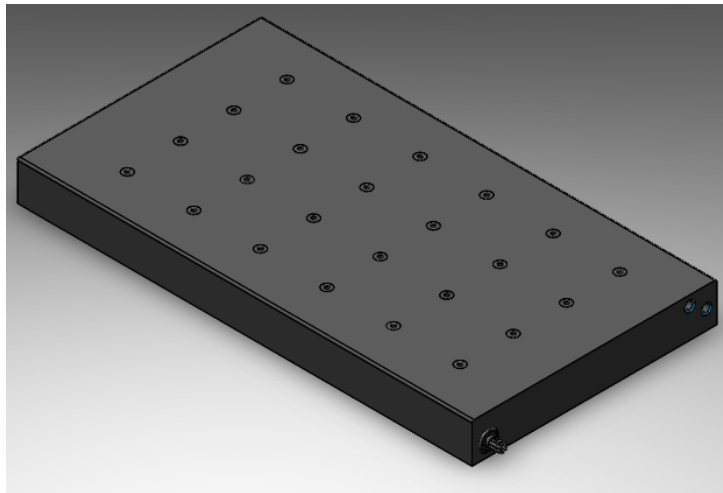


Figura 29. Motor síncrono lineal Bosh Rexroth MLP300C [42]

3.2.5 Chumaceras

Las guías seleccionadas descansaran en chumaceras metálicas con un diámetro de 60 mm, las cuales permiten el movimiento correcto de los rodamientos lineales antes seleccionados.

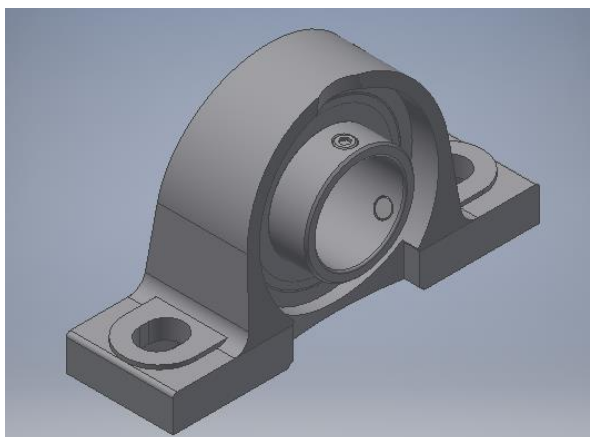


Figura 30. Chumacera UCPE212 NTN - SNR [43]

En el Anexo 12 se muestran los planos correspondientes al Simulador Sísmico Biaxial y cada uno de los elementos mecánicos que se diseñaron para ejecutar la simulación y sea el caso de una futura construcción.

3.3 Ensamble del Simulador Sísmico biaxial

Una vez seleccionados todos los elementos necesarios para iniciar la simulación de un simulador sísmico biaxial, se requiere un bosquejo general de cómo será el simulador y cómo serán las estructuras que servirán para desarrollar los respectivos ensayos de simulación de un sismo.

De este modo, se muestra la configuración principal de la estructura modular necesaria para lograr el objetivo planteado, como se ejemplifica en la Figura 31.

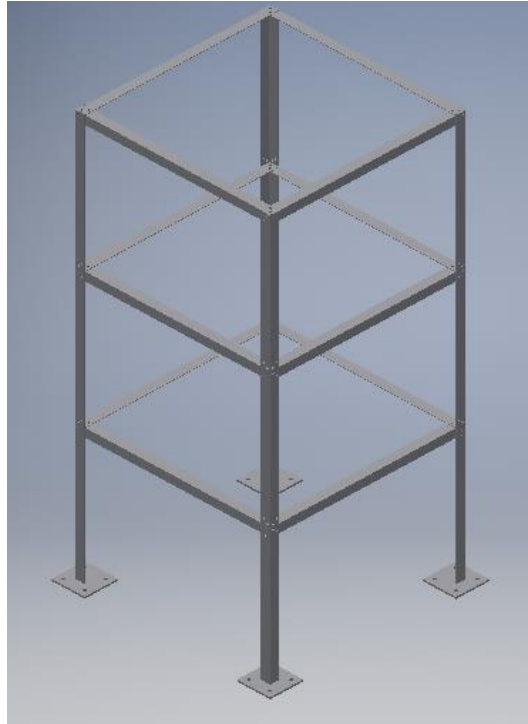


Figura 31. Estructura de 3 pisos y 1 módulo
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Dichas estructuras utilizan diferentes tipos de sujeciones, ya sea soldadura, o la aplicación de elementos de fijación como son los tornillos, pernos, remaches, etc. Para este proyecto, las fijaciones varían dependiendo el material utilizado. Por ejemplo, en el caso del aluminio se utilizaron pernos de cabeza hexagonal M6 debido a su tamaño es decir su diámetro nominal de la rosca exterior del perno. Según Imporpernos [44], estos elementos de sujeción tienen un máximo esfuerzo a tracción de 380 MPa lo cual es mucho mayor a los resultados que se esperan obtener en los distintos softwares.

Tanto para el aluminio como el acero, sus bases se sueldan a las columnas, utilizando soldadura TIG con electrodo E4043 y SMAW con electrodo E6011 respectivamente; así obteniendo una mejor fijación. La madera al igual que el aluminio utiliza tornillos M6 por su mayor resistencia a la tracción. Para unir las columnas a sus bases se aplicó pequeños ángulos atornillados como se ve en la Figura 32.

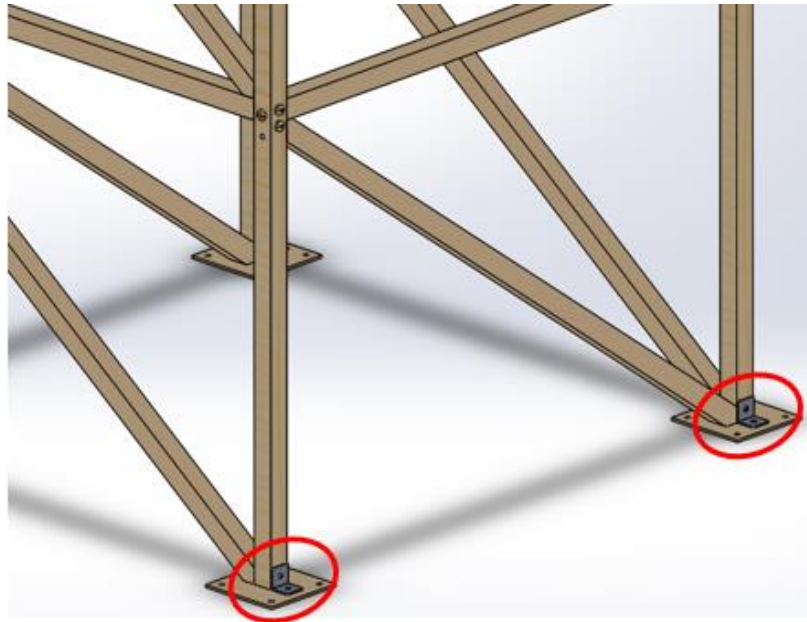


Figura 32. Estructura de madera con ángulos en las bases

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Para comprender por completo de lo que se trata un simulador sísmico biaxial es indefectible mostrar cada uno de los niveles de los que está compuesto dicha máquina. Es por lo que en la Figura 33 se expone un modelo del simulador junto con los elementos que intervienen en la movilidad de este, tales como: motor lineal, guías lineales, rodamientos lineales y chumaceras.

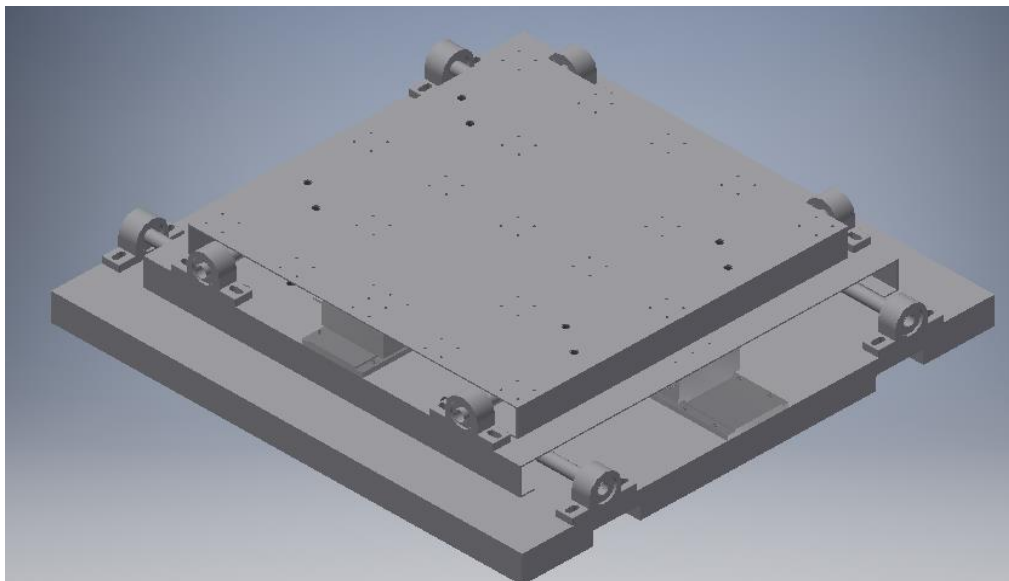


Figura 33. Ensamble del primero, segundo y tercer nivel del Simulador

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Si bien el Simulador va a constar de elementos mucho más pequeños que no figuran en este ensamble, en la Figura 34 se muestra un diseño más completo de lo que significa poseer un simulador sísmico biaxial con la respectiva estructura modular que se fabricará de acero, aluminio y madera.

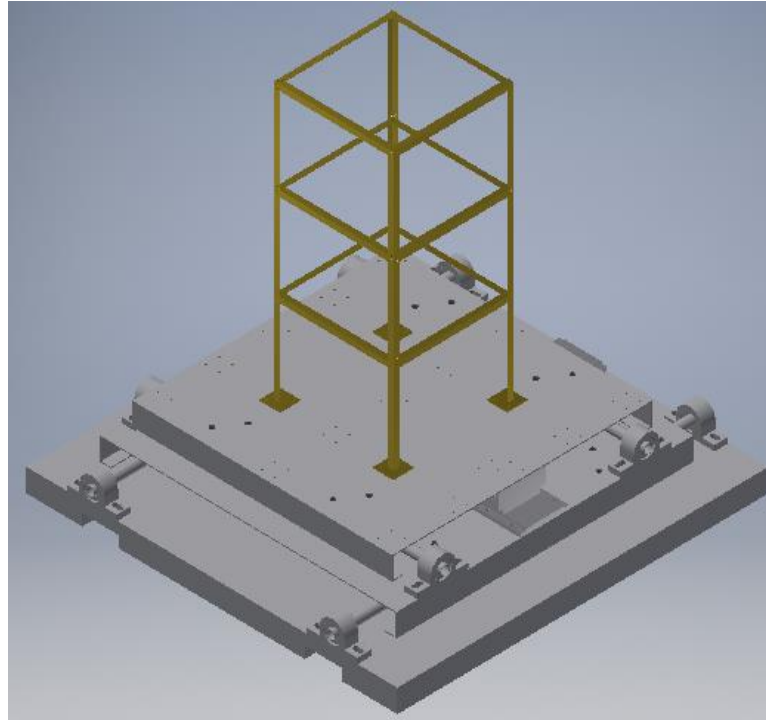


Figura 34. Simulador sísmico biaxial portando una estructura de 3 pisos

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

3.4 Análisis estructural para una estructura modular

La estructura modular mostrada en la Figura 33 se seleccionó para desarrollar un análisis estructural sobre ella. Esta estructura posee dimensiones típicas utilizadas en edificios industriales de $6m \times 6m \times 4.5m$, pero para utilizarse sobre el simulador sísmico es necesario utilizar una escala normalizada. La escala seleccionada para este proyecto es de 1:5 proporcional a la medida de la plataforma de aluminio superior con el fin de no sobrepasar la carga máxima que el simulador soporta. Siendo así el caso, las medidas de la estructura son de $1.2m \times 1.2m \times 0.9m$.

Para llevar a cabo el respectivo análisis se utilizarán dos recursos (softwares) importantes con el objetivo de relacionar los datos obtenidos y lograr un análisis más y más preciso.

3.4.1 Método de la Rigidez de una Armadura Tridimensional

Para resolver una armadura tridimensional por este método matricial es necesario desarrollar un esquema, en el cual se muestren la cantidad de nudos, reacciones, cargas y número de elementos que posee el conjunto, y se logra ver en la Figura 35.

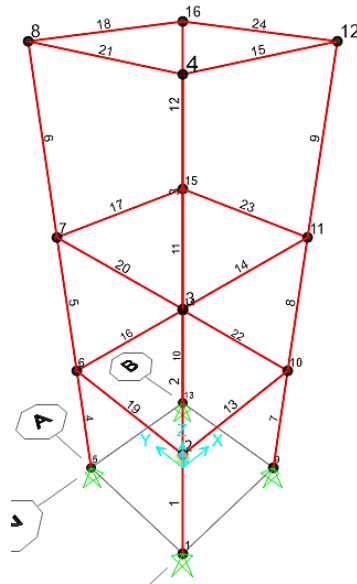


Figura 35. Estructura con numeración de nudos y miembros.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

En la Figura 36, se muestra un bosquejo de la estructura junto con las cargas [N] disponibles para el análisis correspondiente.

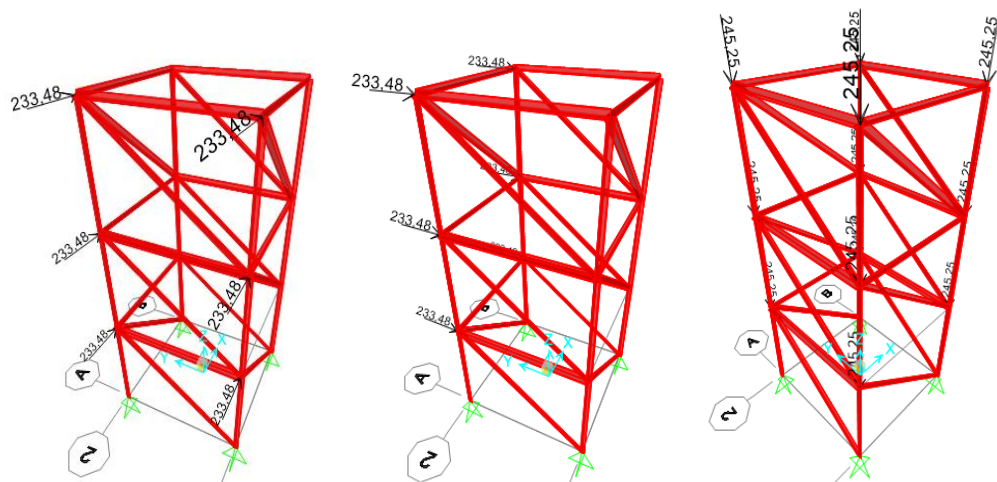


Figura 36. Bosquejo de la armadura de Acero A36 con arriostramientos y cargas en cada eje.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Con el esquema listo, es preciso establecer la determinación de la estructura a través de la Ecuación 18, como se muestra a continuación:

$$3NJ = NM + MR \quad (18)$$

Ecuación para definir la determinación [45]

Donde,

- NJ Número de juntas
- NM Número de miembros
- NR Número de componentes de reacción

Ahora, es preciso analizar el esquema de la estructura para poder ingresar los datos en la estructura y estar al tanto si la armadura es determinada o indeterminada.

$$3 \cdot 16 = 36 + 12$$

$$\mathbf{48 = 48}$$

Por lo tanto, la armadura es determinada, es decir, posee el mismo número de ecuaciones y el mismo número de incógnitas (matriz de 48×48).

Es necesario aclarar que una matriz determinada (cuadrada) no siempre tiene solución, esto ocurre cuando una fila o una columna poseen todos sus elementos nulos o iguales a cero y por lo tanto su determinante es cero.

Para realizar el análisis estructural de la armadura determinada de la Figura 38, se debe construir una serie de matrices y realizar operaciones matriciales simples, tal y como lo sugiere Laible [45] con la siguiente sucesión de pasos:

- a. Crear la matriz estática $[B]$,
- b. Crear la matriz de compatibilidad $[B]^T = [BT]$

- c. Crear la matriz no ensamblada [k] a partir de la Ecuación 19, para cada uno de los miembros de la estructura:

$$k = \frac{A \cdot E}{L} \quad (19)$$

Rigidez de un miembro [45]

Donde:

k	Rigidez de un miembro	N/m
A	Área del miembro	m^2
E	Módulo de elasticidad (aluminio, acero y pino)	N/ m^2
L	Longitud del miembro	m

Los datos útiles (ver Anexo 13) para crear la matriz [k] son:

$$L_1 = 1.2m$$

$$L_2 = 0.9m$$

$$L_3 = 1.5m$$

Para conocer el área de las secciones a utilizar en cada una de las estructuras es necesario llevar a cabo el cálculo de los perfiles.

Según la NEC 2015 [46]

$$|\sigma_{cl}| = \frac{R}{bd} < f_t \quad (20)$$

Esfuerzo máximo admisible en tracción paralela a la fibra [46].

$$\lambda = \frac{kl}{r_{min}} \quad (21)$$

Esbeltez [46]

Donde,

σ_{cl}	Esfuerzo a compresión calculada	MPa
R	Fuerza de reacción	N

b	Base de la sección del perfil	m
f_t	Esfuerzo máximo admisible	MPa
λ	Esbeltez	-
k	Constante tipo de conexión	-
l	Longitud entre apoyos	m
r_{min}	Radio mínimo de giro	m

La carga máxima soportada en el perfil de madera es de 2065 N, y tiene una longitud de 1.2 m

Entonces,

$$|\sigma_{cl}| = \frac{R}{bd} < f_t$$

$$|\sigma_{cl}| = \frac{2065 \text{ N}}{(40 \times 10^{-3} \text{ m})(40 \times 10^{-3} \text{ m})} < f_t$$

$$|\sigma_{cl}| = \frac{2065 \text{ N}}{1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2} < f_t$$

$$|\sigma_{cl}| = 1.290 \text{ MPa} < f_t$$

Según la NEC 2015 [46], para la madera seleccionada se elige un f_t de 7.5 MPa

Entonces,

$$\mathbf{1.290 \text{ MPa} < 7.5 \text{ MPa}}$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de esfuerzo admisible a compresión utilizado para la estructura de madera.

Para la carga máxima que soporta se debe calcular la esbeltez con ayuda de la Ecuación 21.

$$\lambda = \frac{kl}{r_{min}}$$

$$\lambda = \frac{1 \cdot 1.2}{0.015}$$

72

$$\lambda = 78.5$$

Con la esbeltez calculada, hallamos el esfuerzo admisible a compresión que se encuentran tabuladas. Entonces el esfuerzo admisible es de 107.42 MPa

Por lo tanto,

$$|\sigma_{cl}| = \frac{R}{bd}$$
$$107.42 \text{ MPa} = \frac{R}{(40 \times 10^{-3} \text{ m})(40 \times 10^{-3} \text{ m})}$$
$$R = 171872 \text{ N}$$

Para el perfil seleccionado en madera la carga máxima que soportaría dicho elemento sería de 171872 N y la que soporta es de 2065 N lo cual es mucho menor y por lo tanto se puede hacer el estudio con dicho perfil.

Para el acero y aluminio se obtiene el mismo análisis, con la diferencia que para el acero y el aluminio se eligen ángulos L. Entonces tenemos.

Para el acero

$$|\sigma_{cl}| = \frac{R}{bd} < f_t$$
$$|\sigma_{cl}| = \frac{2311.74 \text{ N}}{(40 \times 10^{-3} \text{ m})(40 \times 10^{-3} \text{ m})} < f_t$$
$$|\sigma_{cl}| = \frac{2311.74 \text{ N}}{1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2} < f_t$$
$$|\sigma_{cl}| = 7.22 \text{ MPa} < f_t$$

Según el manual de construcción en acero AISC [47], para el acero se tiene un f_t de 148.92 MPa

Entonces,

$$\mathbf{7.22 \text{ MPa} < 148.92 \text{ MPa}}$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de esfuerzo admisible a compresión utilizado para la estructura de acero.

Para la carga máxima que soporta se debe calcular la esbeltez con ayuda de la Ecuación 21.

$$\lambda = \frac{kl}{r_{min}}$$
$$\lambda = \frac{1 \cdot 1.2}{0.0116}$$
$$\lambda = 103.37$$

Con la esbeltez calculada, hallamos el esfuerzo admisible a compresión que se encuentran tabuladas. Entonces el esfuerzo admisible es de 86.80 MPa

Por lo tanto,

$$|\sigma_{cl}| = \frac{R}{bd}$$
$$86.80 \text{ MPa} = \frac{R}{(40 \times 10^{-3} \text{ m})(40 \times 10^{-3} \text{ m})}$$
$$R = 27776 \text{ N}$$

Para el perfil seleccionado en acero la carga máxima que soportaría dicho elemento sería de 27776 N y la que soporta es de 2311.74 N lo cual es mucho menor y por lo tanto se puede hacer el estudio con dicho perfil.

Para el aluminio

$$|\sigma_{cl}| = \frac{R}{bd} < f_t$$
$$|\sigma_{cl}| = \frac{1952 \text{ N}}{(40 \times 10^{-3} \text{ m})(40 \times 10^{-3} \text{ m})} < f_t$$
$$|\sigma_{cl}| = \frac{1952 \text{ N}}{1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2} < f_t$$
$$|\sigma_{cl}| = 6.10 \text{ MPa} < f_t$$

Para el aluminio se tiene un f_t de 239.31 MPa tabulados según Marmolejo [48]

Entonces,

$$\mathbf{6.10\ MPa < 239.31\ MPa}$$

Por lo tanto, cumple satisfactoriamente el criterio de esfuerzo admisible a compresión utilizado para la estructura de acero.

Para la carga máxima que soporta se debe calcular la esbeltez con ayuda de la Ecuación 21.

$$\lambda = \frac{kl}{r_{min}}$$
$$\lambda = \frac{1 \cdot 1.2}{0.0116}$$
$$\lambda = 103.37$$

Con la esbeltez calculada, hallamos el esfuerzo admisible a compresión que se encuentran tabuladas. Entonces el esfuerzo admisible es de 86.80 MPa

Por lo tanto,

$$|\sigma_{ct}| = \frac{R}{bd}$$
$$86.80\ MPa = \frac{R}{(40 \times 10^{-3}\ m)(40 \times 10^{-3}\ m)}$$
$$R = 27776\ N$$

Para el perfil seleccionado en aluminio la carga máxima que soportaría dicho elemento sería de 27776 N y la que soporta es de 2311.74 N lo cual es mucho menor y por lo tanto se puede hacer el estudio con dicho perfil.

En base a los cálculos anteriores, el perfil seleccionado para construir la estructura de madera es una sección cuadrada de $40mm \times 40mm$, mientras que para las estructuras de acero y aluminio se usará un ángulo tipo L de $40mm \times 40mm \times 4mm$.

Las áreas correspondientes para estas secciones son:

$$A_{L40x40x4} = 3.2 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{40x40} = 1.6 \times 10^{-3} m^2$$

En cuanto a los componentes de reacción que posee la estructura, los datos necesarios para calcular su rigidez son:

$$A = 1m^2$$

$$L = 0.1m$$

W incluye la carga propia de la estructura y un peso permanente por cada piso del conjunto.

$$CP = 1.2m \cdot 1.2m \cdot 50kg/m^2 = 72kg$$

$$CP = 72kg \cdot 3 \text{ pisos} = 216kg$$

$$CM_{A36} = 84kg \quad CM_{AL} = 37.3kg \quad CM_{Pino} = 51.8kg$$

$$\text{Acero A36} \rightarrow E = 200GPa \quad W = 300kg \cdot 9.81m/s^2 = 2943N$$

$$\text{Aluminio 6061} \rightarrow E = 70GPa \quad W = 253.3kg \cdot 9.81m/s^2 = 2484.9N$$

$$\text{Madera de Pino} \rightarrow E = 11GPa \quad W = 268kg \cdot 9.81m/s^2 = 2629N$$

- d. Crear la matriz de carga $[P]$, tomando en cuenta cargas muertas (carga de la estructura más la carga permanente distribuida en sus 12 nodos sobre el eje Z) y cargas sísmicas (en los ejes X y Y).

$$D = W \tag{22}$$

Carga muerta [45]

$$\begin{aligned}
 D_{ACERO} &= \frac{2943N}{12} & D_{ALUMINIO} &= \frac{2484.9N}{12} & D_{MADERA} &= \frac{2629N}{12} \\
 &= 245,25N & &= 207.1N & &= 219.1N
 \end{aligned}$$

La Ecuación 23 está compuesta de diversos factores que deben aplicarse para llevar a cabo un correcto diseño sismo resistente.

$$V = \frac{I \cdot S_a}{R \cdot \theta_p \cdot \theta_E} \cdot W \quad (23)$$

Cortante basal de diseño para sismos [49]

Donde, la NEC 2015 [49] define los parámetros como:

- I Coeficiente de importancia
- S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones
- R Factor de reducción de resistencia sísmica
- θ_p Coeficiente de regularidad en planta
- θ_E Coeficiente de regularidad en elevación
- W Carga sísmica reactiva

Para encontrar el espectro de respuesta elástico de aceleraciones es necesario utilizar la Ecuación 24, la cual se observa en lo siguiente:

$$S_a = \eta \cdot Z \cdot F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_C \quad (24)$$

Espectro de respuesta flexible de aceleraciones [49]

$$T = C_t \cdot h_n^\alpha \quad (25)$$

Periodo de vibración [49]

$$T_C = 0.55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} \quad (26)$$

Ciclo límite de vibración en el espectro sísmico flexible de aceleraciones [49]

Donde, NEC 2015 [49] define los parámetros como:

- η Razón entre la aceleración espectral S_a
- Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño
- F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó
- F_s Coeficiente de amplificación de suelo
- F_d Coeficiente de amplificación de suelo
- C_t Coeficiente que depende del tipo de edificio
- h_n Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
- α Coeficiente

Los factores antes descritos se hallaron a partir de los datos obtenidos de la Norma NEC-2015 [49] (ver Anexo 14), los cuales son:

$$\mathbf{Z = 0.40}$$

El valor del factor Z se seleccionó para una representación del peligro sísmico alta, una zona sísmica V.

$$\mathbf{\eta = 2.48;}$$
 Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Los coeficientes de amplificación del suelo F_a, F_d, F_s se seleccionaron en función del Factor Z y para un tipo de perfil de suelo D hallado en provincias de la Sierra.

$$\mathbf{F_a = 1.2}$$

$$\mathbf{F_d = 1.19}$$

$$\mathbf{F_s = 1.28}$$

Los coeficientes que siguen dependen del tipo de estructura diseñada (ver Anexo 14) y estos son:

$$\mathbf{C_t = 0.073}$$

$$\mathbf{h_n = 3 \text{ pisos} \cdot 0.9m = 2.7m}$$

$$\mathbf{\alpha = 0.75}$$

Entonces,

$$T_c = 0.55 \cdot 1.28 \cdot \frac{1.19}{1.2} = 0.96$$

$$T = 0.073 \cdot 2.7^{0.75} = 0.15$$

$$\mathbf{0 \leq 0.15 \leq 0.96 \text{ Cumple}}$$

Por lo tanto, el espectro de respuesta plástica de aceleraciones es

$$S_a = 2.48 \cdot 0.4 \cdot 1.2$$

$$\mathbf{S_a = 1.19}$$

Los datos faltantes para lograr calcular el cortante basal por sismos son:

$$\mathbf{I = 1}$$

La estructura diseñada se clasificará en la categoría de “Otras estructuras” debido a que dicha edificación se destinará a la industria albergando a menos de 300 personas.

$$\mathbf{R = 2.5}$$

El coeficiente R posee este valor ya que el sistema estructural pertenece a la categoría de conjuntos de acero conformado en frío, aluminio y madera.

Mientras que los factores θ_p y θ_E serán igual a 1, puesto que la estructura diseñada carece de irregularidades como las descritas dentro de la norma NEC 2015.

Entonces,

$$\mathbf{Acero \rightarrow W = 2943N \quad V = \frac{1 \cdot 1.19}{2.5 \cdot 1 \cdot 1} \cdot 2943N = 1400.87N}$$

$$\mathbf{Aluminio \rightarrow W = 2394N \quad V = \frac{1 \cdot 1.19}{2.5 \cdot 1 \cdot 1} \cdot 2484.9N = 1182.8N}$$

$$\text{Madera} \rightarrow W = 2198N \quad V = \frac{1 \cdot 1.19}{2.5 \cdot 1 \cdot 1} \cdot 2629N = 1251.4N$$

La norma NEC 2015 dicta que las cargas laterales sísmicas totales sean repartidas en la altura de la estructura, por lo tanto, la Ecuación 27 muestra la forma de hacerlo:

$$F = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \cdot V \quad (27)$$

Fuerza lateral sísmica [49].

Donde, NEC 2015 [49] define los parámetros como:

w_x Peso asignado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de W

w_i Peso asignado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de W

n Número de pisos de la estructura

h_x Altura del piso x de la estructura

h_i Altura del piso i de la estructura

k Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T

$k = 1$ para $T = 0.15$; visualizar Anexo 14

$$F_{ACERO} = \frac{(981N) \cdot 0.9^1}{\sum_{i=1}^3 (981N) \cdot 0.9^1} \cdot 1400.87N = 466.96N$$

$$F_{ALUMINIO} = \frac{(828.3N) \cdot 0.9^1}{\sum_{i=1}^3 (828.3N) \cdot 0.9^1} \cdot 1182.8N = 394.27N$$

$$F_{MADERA} = \frac{(872.36N) \cdot 0.9^1}{\sum_{i=1}^3 (872.36N) \cdot 0.9^1} \cdot 1251.4N = 417.1N$$

- e. Crear el producto matricial $[k] \cdot [B]^T = [kB]$
- f. Crear la matriz de rigidez $[B] \cdot [k] \cdot [B]^T = [B] \cdot [kB] = [K]$
- g. Formar la inversa de la matriz $[K]$, $[K]^{-1} = [KI]$
- h. Calcular los desplazamientos de las juntas $[\Delta] = [KI] \cdot [P]$
- i. Calcular las fuerzas de los miembros $[FS] = [kB] \cdot [\Delta]$

Este proceso se lo realiza con el fin obtener los resultados deseables como: desplazamiento de la estructura o de las juntas $[\Delta]$ y fuerzas de los miembros $[FS]$, como se muestra en el Anexo 15.

3.4.2 SAP2000

Analizar una estructura en un software especializado, como lo es SAP2000, genera mayor confiabilidad al momento de llevar a cabo el proceso de diseño de dicha estructura. En este caso, involucra corroborar y comparar con los datos obtenidos de un método manual.

Para llevar a cabo el análisis estructural se procedió a dibujar la estructura modular principal a partir de perfiles tipo L para el acero y el aluminio. Mientras que para la madera se utilizó perfiles cuadrados. En la Figura 37 se expone el cuadro de diseño para dicho perfil y la selección del material previamente creado dentro del programa. El procedimiento es el mismo para cada uno de los materiales.

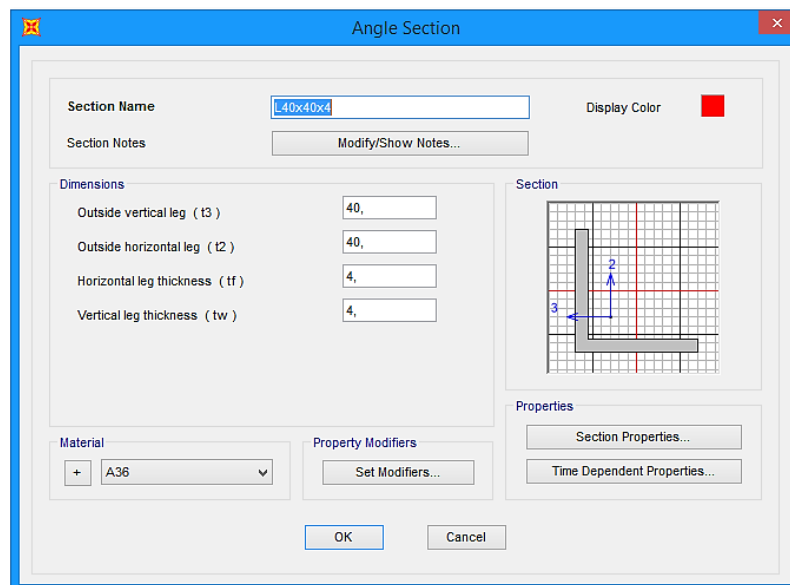


Figura 37. Diseño del perfil tipo L de Acero A36.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

El perfil diseñado posee una dimensión de L 40 x 40 x 4 mm, una vez ensamblada por completo en la estructura el resultado se puede distinguir en la Figura 38.

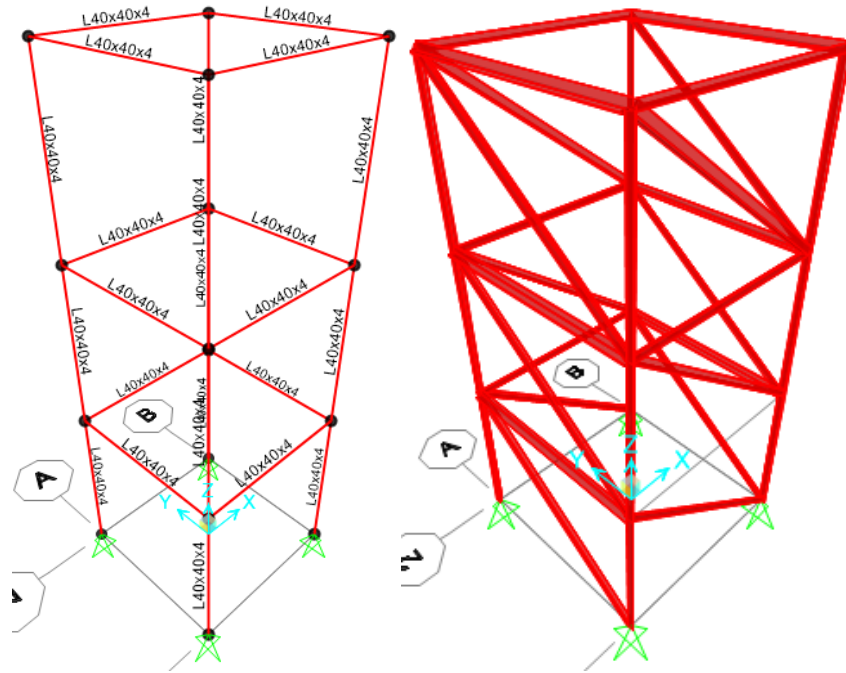


Figura 38. Estructura modular de Acero A36 construida en SAP2000.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

El próximo paso por seguir fue crear los factores de carga muerta y carga por sismo que se calcularon previamente. Además, es obligatorio definir las combinaciones necesarias para llevar cabo el análisis, como muestra la Figura 39, en este caso se añadió la combinación $COMB1 = D + Sismo X + Sismo Y$.

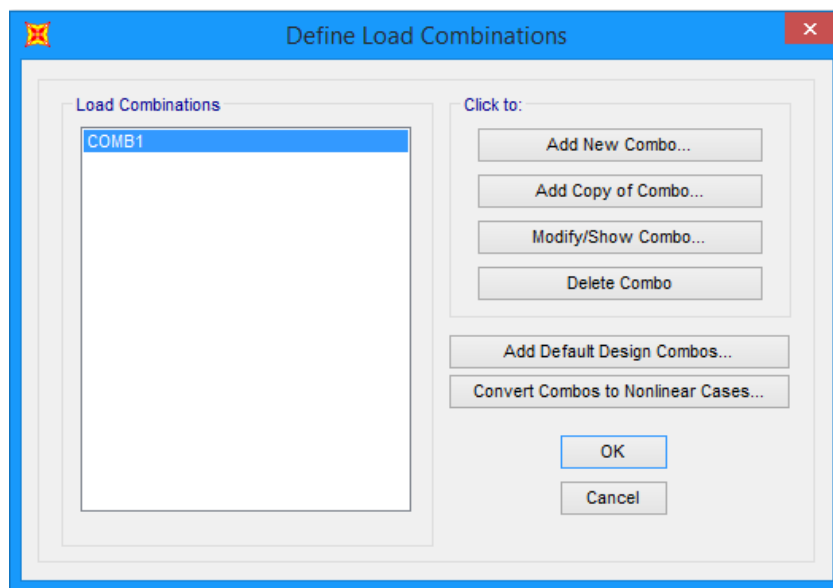


Figura 39. Combinación de cargas en SAP2000.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Y, por último, se colocó cada una de las cargas mencionadas en el nodo que corresponde dentro de la estructura. Visualizar la Figura 38.

Ya que el procedimiento se completó se procedió a ejecutar un análisis que lo realiza el programa. La Figura 40 muestra lo que ocurrió con la estructura una vez que se aplicaron los factores y cargas correspondientes. Es evidente que la estructura sufre una deformación. Todo esto ocurriría si se suscitara un sismo de alta peligrosidad, es decir, que posea una aceleración sísmica de 0.4 g. El Anexo 16 muestra los resultados obtenidos tras el análisis para cada uno de los materiales involucrados. Es preciso recalcar que los resultados se obtuvieron en unidades de [N] y [mm].

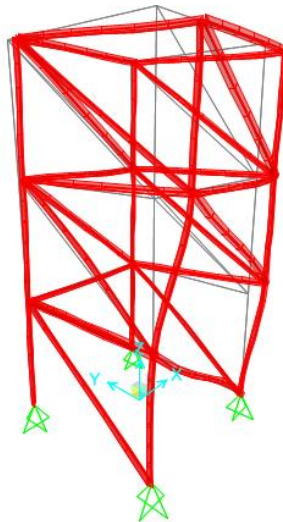


Figura 40. Cargas muertas y de sismo aplicadas sobre una estructura modular de Acero A36.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

3.4.3 Comparación de resultados

Ahora que los resultados de los dos métodos han sido obtenidos se procedió a compararlos, para ello se necesita calcular el error absoluto entre los dos datos conseguidos para cada miembro o junta y por último calcular el error relativo para cada caso analizado (cargas muertas y cargas por sismo). Con este procedimiento ejecutado, se puede obtener un porcentaje de error promedio total, tal y como se muestra en el Anexo 17.

3.4.3.1 Desplazamiento de la estructura o de las juntas [Δ]

El error relativo promedio y el promedio global de error encontrado entre los datos analizados correspondientes al desplazamiento de la estructura son:

Tabla 12. Errores encontrados para el desplazamiento de las juntas de una estructura de Acero A36 para cada caso analizado.

Acero A36			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
Error Relativo	2.99%	2.60%	2.92%
Error Global	2.84%		

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Tabla 13. Errores encontrados para el desplazamiento de las juntas de una estructura de Aluminio 6061 para cada caso analizado.

Aluminio 6061			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
Error Relativo	4.00%	2.73%	2.91%
Error Global	3.22%		

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Tabla 14. Errores encontrados para el desplazamiento de las juntas de una estructura de Pino para cada caso analizado.

Pino Douglas			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
Error Relativo	0.59%	0.90%	0.86%
Error Global	0.78%		

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los porcentajes de error examinados entre los dos métodos antes mencionados muestran una gran similitud en cuanto a cargas muertas con un error básicamente nulo, mientras que para las cargas sísmicas posicionadas en los dos flancos de la estructura muestran un porcentaje de error relativamente bajo.

Es así como el error global promedio encontrado es imperceptible ante la gran cantidad de datos que se analizaron para cada uno de los métodos desarrollados.

3.4.3.2 Fuerzas de los miembros [FS]

El error relativo promedio y el promedio global de error encontrado entre los datos analizados correspondientes a las fuerzas de los miembros son:

Tabla 15. Errores encontrados para las fuerzas de los miembros de una estructura de Acero A36 para cada caso analizado.

Acero A36			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
Error Relativo	0.11%	0.23%	0.20%
Error Global	0.18%		

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Tabla 16. Errores encontrados para las fuerzas de los miembros de una estructura de Aluminio 6061 para cada caso analizado.

Aluminio 6061			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
Error Relativo	0.08%	0.27%	0.17%
Error Global	0.27%		

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Tabla 17. Errores encontrados para las fuerzas de los miembros de una estructura de Pino para cada caso analizado.

Pino Douglas			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
Error Relativo	0.06%	0.24%	0.27%
Error Global	0.19%		

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los porcentajes de error calculados para las fuerzas de los miembros no superan el margen del 1% para los casos analizados y por ende el error global en cada estructura

es sumamente bajo. Cualquiera de los dos métodos utilizados proporciona una confiabilidad satisfactoria.

3.4.4 Control del Simulador Sísmico

Poder controlar el simulador sísmico biaxial es esencial para lograr replicar un sismo de cualquier magnitud, es por lo que se necesita un controlador de accionamiento diseñado para motores lineales y que sea capaz de entregar las corrientes que van a consumir los motores durante su funcionamiento [36].

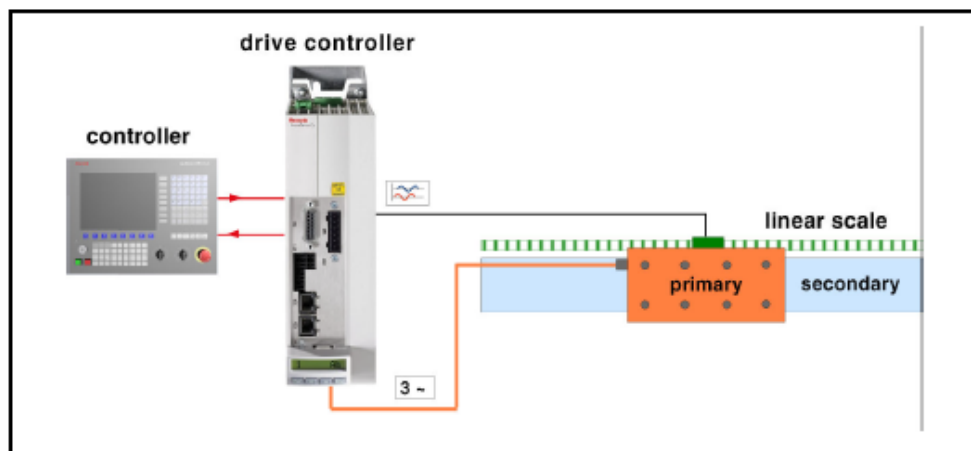


Figura 41. Accionamiento directo lineal [42]

La Figura 41 muestra un accionamiento directo lineal completo, el cual posee un motor lineal síncrono, un sistema de escala de longitud, un controlador de accionamiento (drive controller) y un controlador maestro [42].

El controlador de accionamiento será el encargado de la modificación de corriente y de rapidez, mientras que el controlador maestro se encargará del control de la posición del motor para así generar movimientos definidos con la ayuda de un sistema de escala de longitud (codificador lineal) que mide la rapidez y el movimiento de la plataforma. Manteniendo una constante comunicación entre estos dos elementos se obtendrá el correcto funcionamiento del simulador sísmico.

De esta manera Bosch Rexroth sugiere utilizar un controlador de accionamiento HMS01.1N-W0350 en conjunto con una unidad de suministro HMV01.1R-W0120 para cada uno de los motores lineales seleccionados con anterioridad.

Los controladores HMS01.1N-W0350 poseen un voltaje de entrada DC y generan un voltaje de salida AC, el cual se reguló con amplitud y frecuencia variables para la operación de un motor. Controlando de este modo la corriente que recibe el motor [50].

Las unidades HMV01.1R-W0120 son unidades de suministro de voltaje, es decir, generan y regulan un voltaje DC a un nivel constante para la alimentación de la unidad HMS01 [51].

Mientras que, para el control maestro, el fabricante sugiere utilizar un PLC XLC/MLC 14VRS, ya que dispone de las entradas y salidas necesarias para los controladores de accionamiento, así como para el encoder lineal. Además, actúa como interfaz entre sensores y actuadores regularizando el control de movimiento de los motores [52].

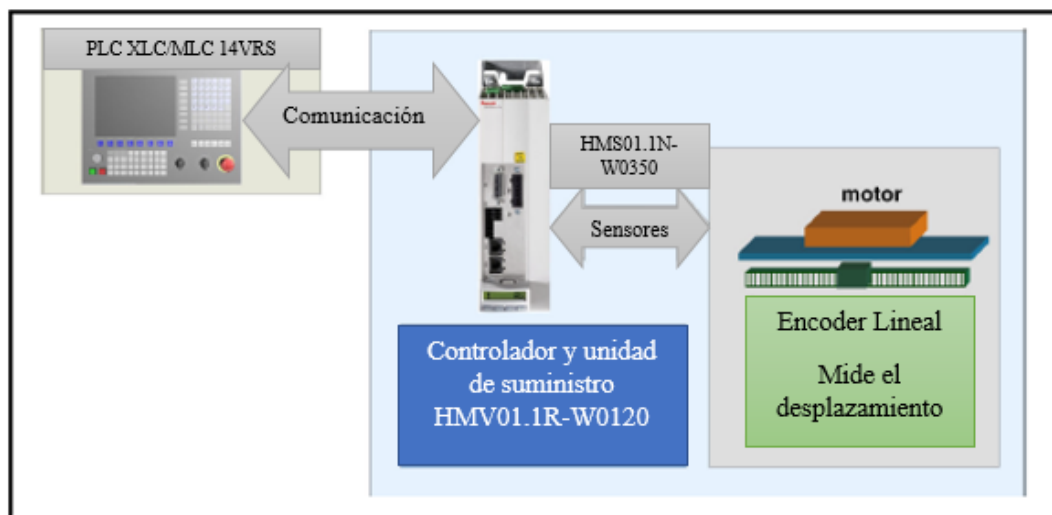


Figura 42. Accionamiento directo lineal para el simulador sísmico biaxial [42].

En cuanto a sensores, se utilizará un acelerómetro, que es el encargado de medir vibraciones producidas por el cambio de movimiento, en otras palabras, las aceleraciones que se obtengan por el movimiento de la estructura. El acelerómetro escogido es el de tipo salida de baja impedancia como el que se muestra en la Figura 43. Según Omega [53] estos acelerómetros son los más utilizados a nivel industrial, al tener una salida de baja impedancia debido a un microcircuito y un transistor de efecto de campo (FET) los hace mucho más amigables con la instrumentación básica.

Para ser más específicos el modelo que mejor se adapta a este proyecto es el acelerómetro ACC103 de la marca Omega, ya que es utilizado para realizar ensayos de vibraciones al igual que en ensayos para pruebas sísmicas. Este dispositivo pesa tan solo 15 gramos y posee un rango de frecuencia que va desde los 2 Hz hasta los 10 KHz. Para más especificaciones revisar Anexo 18.



Figura 43. Acelerómetro modelo ACC103 de baja impedancia [53]

Control de grados sísmicos

Para una mejor interpretación del manejo de grados sísmicos, se relacionó la magnitud del sismo, según la escala de Mercalli, que se va a simular con la cantidad de corriente que el controlador HMS01.1N-W0350 va a enviar al simulador. El PLC escogido será el encargado de recibir la información y enviar la señal al controlador seleccionado. El amperaje máximo que ingresa al simulador es de 300 A, ver Anexo 10, dando como resultado un sismo de grado VIII es decir tiene una aceleración de 4g's. Así mismo el mínimo amperaje con el que trabaja el simulador es de 45.2 A, teniendo como resultado un sismo de grado I. Según la Tabla 18 se observa la relación entre corriente, aceleración y escala sísmica.

Tabla 18. Relación entre Corriente, aceleración y escala sísmica

Corriente (A)	Aceleración (m/s ²)	Escala Sísmica Mercalli
112.5	14.7	VI
225	29.4	VII
300	39.2	VIII

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se detalla el proceso de simulación y validación en SolidWorks del simulador sísmico biaxial previamente diseñado en conjunto con las estructuras modulares de cada uno de los materiales mencionados, para así obtener los resultados pertinentes.

4.1 Construcción del modelo de Simulación

Para llevar a cabo la simulación de un equipo o máquina para su uso dentro de la industria se requiere de un minucioso proceso en el cual cada pieza es diseñada, construida y ensamblada para así obtener un modelo lo suficientemente útil para satisfacer su principal objetivo de funcionamiento.

Para obtener un ensamble útil, es decir con suficiente detalle y exactitud, se utilizó un software de diseño que brinda la posibilidad de crear cada una de las piezas necesarias y ensamblarlas con el fin de lograr el simulador sísmico biaxial requerido.

A continuación, se mostrará cada nivel por el que está compuesto el simulador.

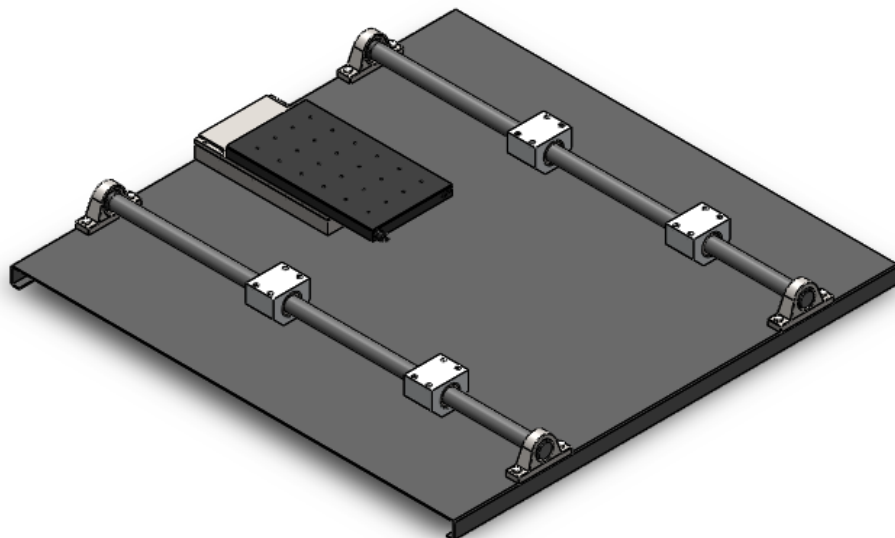


Figura 44. Primer nivel del Simulador.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

La Figura 44 muestra el primer nivel del simulador, compuesto de una plataforma de aluminio 6061, 2 guías lineales macizas, 4 sets de rodamientos lineales, 4 chumaceras y un motor lineal.

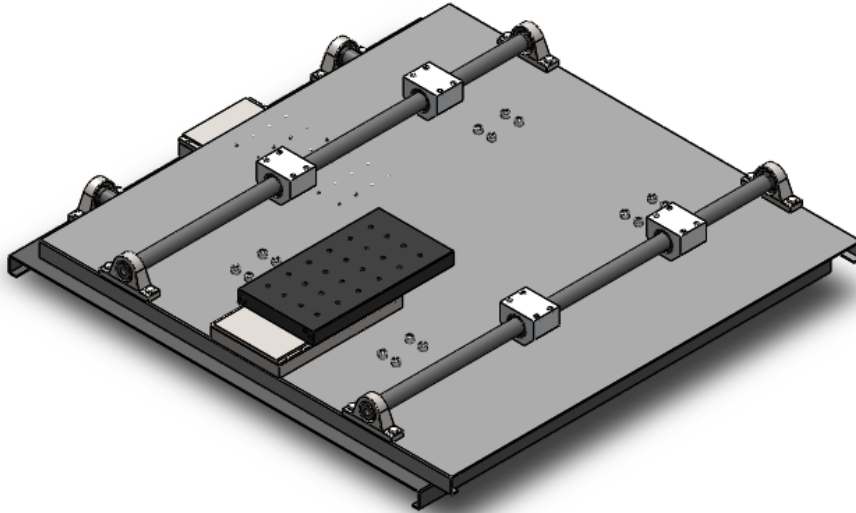


Figura 45. Primer y segundo nivel del simulador.
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

La Figura 45 muestra el ensamble del primer y segundo nivel del simulador. El segundo nivel contiene elementos similares al del primer nivel, únicamente cambian sus especificaciones.

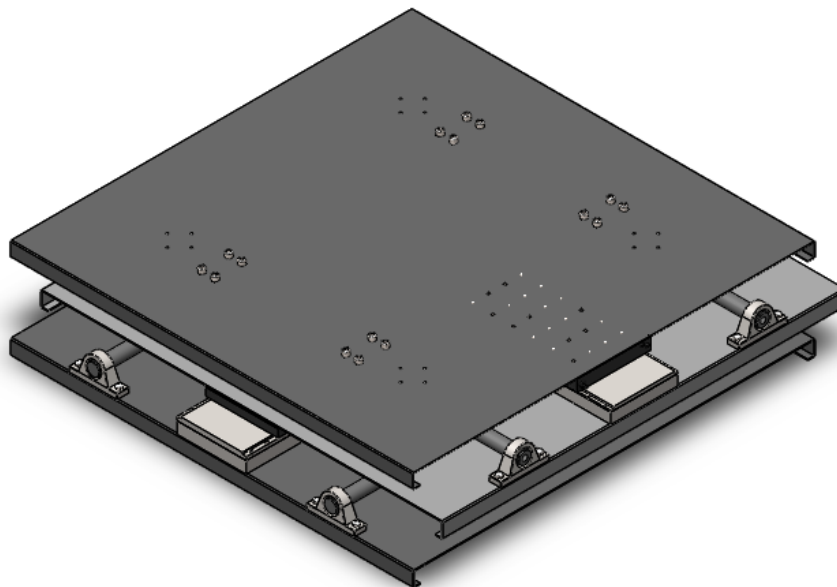


Figura 46. Ensamble total del Simulador.
Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

La Figura 46 muestra el ensamble total del Simulador acorde a los planos mostrados en el Anexo 12 y listo para su validación.

4.2 Simulación

Con el simulador listo y el conjunto modular montado como se exhibe en la Figura 47, solo resta iniciar el proceso de simulación, para lo cual es necesario suministrar el movimiento adecuado de cada uno de los motores lineales.

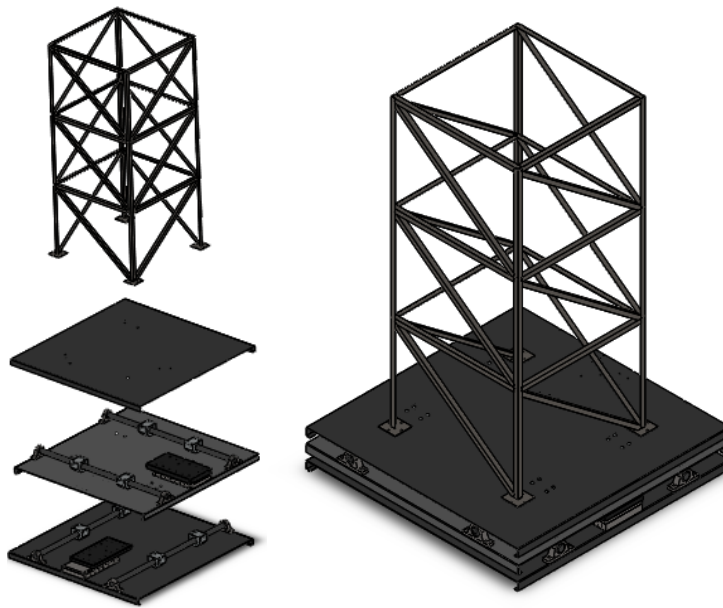


Figura 47. Simulador sísmico biaxial ensamblado portando una estructura modular de 3 pisos.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Para ello, se debe realizar el análisis de movimiento, en el cual se debe especificar el tipo de movimiento deseado, la distancia que deben recorrer cada plataforma en la dirección especificada y la frecuencia con la que va a trabajar.

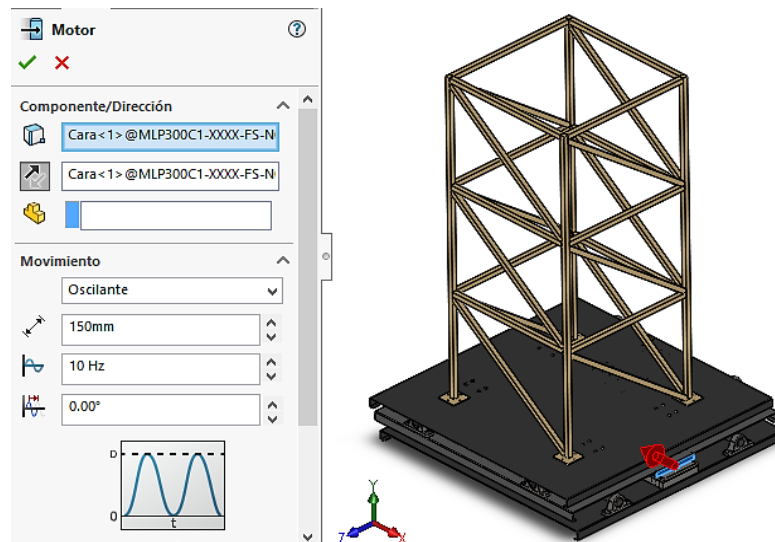


Figura 48. Datos necesarios para el movimiento del motor lineal.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

De este modo en la Figura 48 se detallan los datos requeridos para lograr el movimiento biaxial del simulador sísmico.

Además, es preciso colocar la carga permanente de 705.6 N en cada piso de las estructuras modulares como se muestra en la Figura 49 y colocar la carga sísmica adecuada según el material como se ve en la Figura 50.

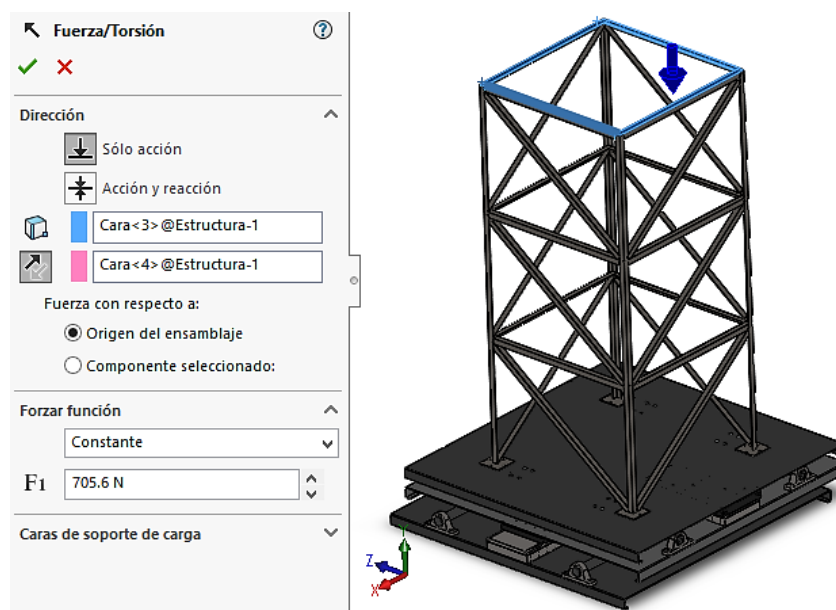


Figura 49. Carga permanente en el tercer piso de la estructura modular.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

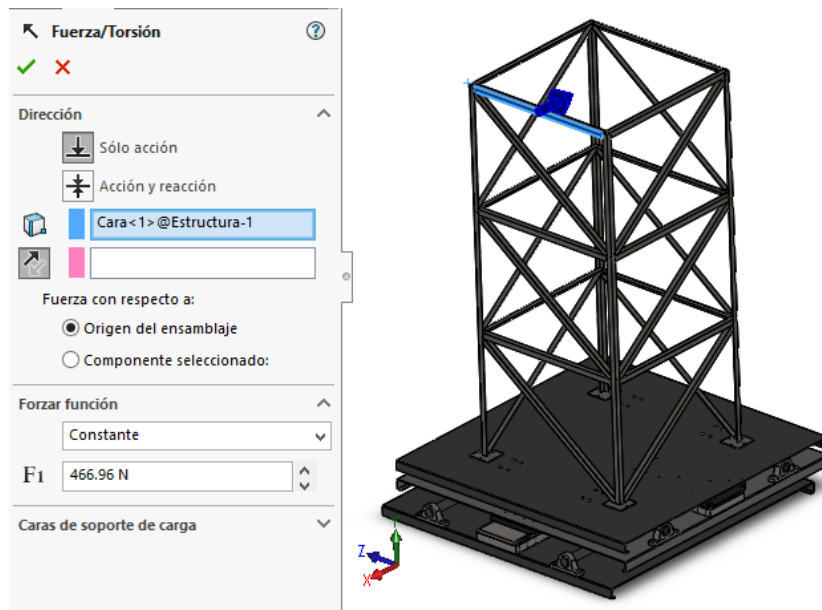


Figura 50. Carga sísmica para una estructura de Acero A36.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Una vez realizado el análisis de movimiento, se puede observar el funcionamiento deseado para este simulador con la frecuencia, distancia y carga permanente máxima sin presentar ningún inconveniente.

4.3 Validación de Resultados

Con la simulación completa realizada en SOLIDWORKS con cargas sísmicas aplicadas a una estructura de cada material, se obtuvieron resultados en torno a la funcionalidad del simulador y se los comparó con los resultados que se obtuvo mediante el software SAP 2000. En dicha simulación se obtuvo valores de desplazamiento y fuerzas producidas por el simulador hacia la estructura.

Estos valores máximos y mínimos de desplazamiento y fuerza de los materiales analizados como son el acero, aluminio y el pino, se detallan y se comparan en las siguientes Tablas.

- Acero

Tabla 19. Resultados máximos para el desplazamiento en estructura de acero A36.

Desplazamiento Máximo Acero A36 (mm)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-0.012	0.11	0.012
SAP 2000	-0.01	0.11	0.01

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

En la Figura 53 se observa los resultados mayores y menores de los desplazamientos en la estructura modular de acero en el eje x.

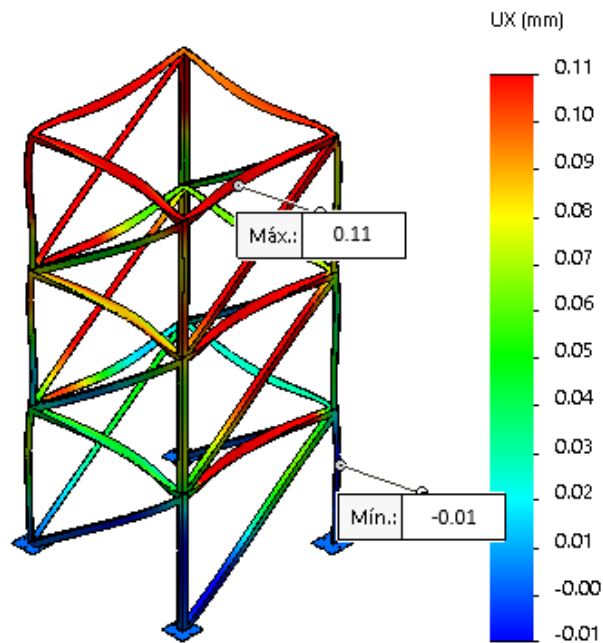


Figura 51. Desplazamientos máximos y mínimos para una estructura de Acero A36 en el eje x.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los desplazamientos mínimos para el acero se puntualizan en la siguiente Tabla

Tabla 20. Resultados mínimos para el desplazamiento en estructura de acero A36.

Desplazamiento Mínimo Acero A36 (mm)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-0.019	-0.01	-0.0119
SAP 2000	-0.02	-0.01	-0.11

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las fuerzas máximas en los elementos para el acero se puntualizan en la siguiente Tabla

Tabla 21. Resultados máximos para las fuerzas en las juntas en estructura de acero A36.

Fuerza Máxima Acero A36 (N)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-249.264	1059.639	1059.639
SAP 2000	-245.25	1050.66	1050.66

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las fuerzas mínimas en los elementos para el acero se detallan en la siguiente Tabla

Tabla 22. Resultados mínimos para las fuerzas en las juntas en estructura de acero A36.

Fuerza Mínima Acero A36 (N)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-733.27	-1059.271	-1059.271
SAP 2000	-735.75	-1050.66	-1050.66

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

- **Aluminio 6061**

En las siguientes tablas se tiene una comparación para la estructura modular de aluminio donde se detalla los valores de desplazamiento y fuerzas hacia la estructura antes mencionada

Tabla 23. Resultados máximos para el desplazamiento en estructura de aluminio 6061.

Desplazamiento Máximo Aluminio 6061 (mm)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-0.014	0.305	0.037
SAP 2000	-0.01	0.27	0.04

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los desplazamientos mínimos para el aluminio se puntualizan en la siguiente Tabla

Tabla 24. Resultados mínimos para el desplazamiento en estructura de aluminio 6061.

Desplazamiento Mínimo Aluminio 6061 (mm)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-0.040	-0.037	-0.306
SAP 2000	-0.04	-0.04	-0.27

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

En la Figura 54 se observa los resultados máximos al igual que los resultados mínimos de los desplazamientos en la estructura modular de aluminio 6061 en el eje z; en otras palabras, son el peso muerto de la estructura.

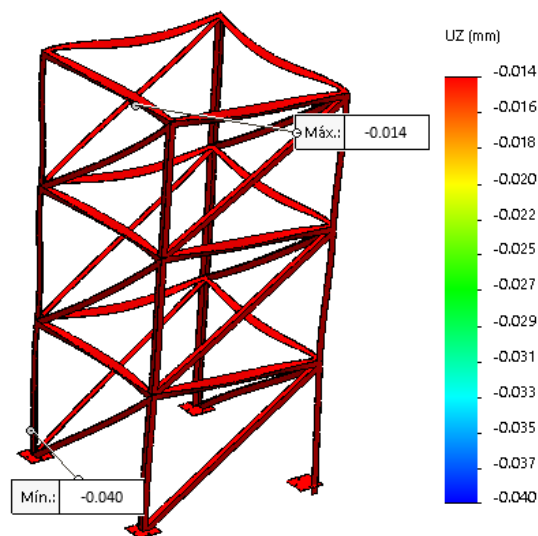


Figura 52. Desplazamientos máximos y mínimos para una estructura de aluminio 6061 en el eje z.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las fuerzas máximas en los elementos para el aluminio 6061 se detallan en la siguiente Tabla

Tabla 25. Resultados máximos para las fuerzas en las juntas en estructura de aluminio 6061.

Fuerza Máxima Aluminio 6061 (N)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-201.360	887.160	887.160
SAP 2000	-207.10	887.13	887.13

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las fuerzas máximas en los elementos para el aluminio se puntualizan en la siguiente Tabla

Tabla 26. Resultados mínimos para las fuerzas en las juntas en estructura de aluminio 6061.

Fuerza Mínima Aluminio 6061 (N)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-629.307	-887.13	-887.607
SAP 2000	-621.30	-887.13	-887.13

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

- Pino

Al igual que en las anteriores estructuras, en las siguientes tablas se tiene la comparación entre desplazamientos y fuerzas ejercidas a estructuras de madera de pino

Tabla 27. Resultados máximos para el desplazamiento en estructura de madera de pino.

Desplazamiento Máximo Pino (mm)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-0.017	0.468	0.055
SAP 2000	-0.01	0.36	0.05

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los desplazamientos mínimos para el pino se puntualizan en la siguiente Tabla

Tabla 28. Resultados mínimos para el desplazamiento en estructura de madera de pino.

Desplazamiento Mínimo Pino (mm)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-0.069	-0.055	-0.369
SAP 2000	-0.07	-0.05	-0.37

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las fuerzas máximas en los elementos para el pino se puntualizan en la siguiente Tabla

Tabla 29. Resultados máximos para las fuerzas en las juntas en estructura de madera de pino.

Fuerza Máxima Pino (N)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-220.641	937.864	937.864
SAP 2000	-219.10	938.57	938.57

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Las fuerzas mínimas en los elementos para el pino se especifican en la siguiente Tabla

Tabla 30. Resultados mínimos para las fuerzas en las juntas en estructura de madera de pino.

Fuerza Mínima Pino (N)			
	Carga Muerta	Sismo X	Sismo Y
SolidWorks	-658.255	-938.863	937.864
SAP 2000	-657.30	-938.57	-938.57

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

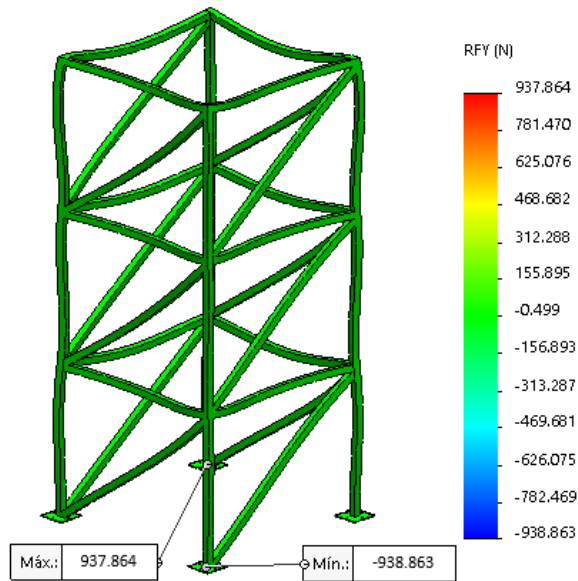


Figura 53. Fuerzas máximas y mínimas en juntas para una estructura de madera de pino en el eje y.

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Dentro de la simulación se obtuvieron otros resultados como son valores de tensión utilizando el método de Von Mises, es decir es el valor máximo donde los elementos podrían fallar. Otro de los resultados obtenidos, es el factor de seguridad donde se enfoca los factores con los cuales los elementos de la estructura de cada material trabajarán. Dichos resultados están reflejados en los Anexos 19 y Anexos 20 para el acero A36, los Anexos 21 y Anexos 22 para el aluminio 6061 y los Anexos 23 y Anexos 24 para el pino, respectivamente.

En los Anexos 25, 26 y 27 se encuentran detallados los resultados de las deformaciones unitarias realizadas en la estructura de acero A36. Mientras que en los Anexos 28, 29 y 30 se ven reflejados los resultados de deformaciones en la estructura de aluminio 6061. Para la madera de pino las deformaciones unitarias se encuentran en los Anexos 31, 32 y 33.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Costos Directos

Para este proyecto técnico se ha elaborado el análisis económico, donde se ha detallado valores directos como son: el costo de cada material o componente empleado para este trabajo técnico; así como simulaciones para corroborar el diseño y la importación de ciertos componentes.

Tabla 31. Costos de los materiales utilizados en el simulador

Costos por Materiales			
Denominación	Cantidad	Valor	Total
Planchas de Aluminio	3	138	414
Soldadura Acero y Aluminio	1	233.21	233.21
Eje Hueco	2	14.16	28.32
Eje Macizo	2	135	270
Rodamientos Lineales	8	52	416
Chumaceras	8	13.73	109.84
Motores Lineales	2	570	1140
Sistema de Control	1	370	370
Perfiles de Acero	24	7	168
Perfiles de Aluminio	24	10	240
Perfiles de Madera	24	2	48
Pernos y Tornillos	150	0.04	6
		Total	\$ 3443.37

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

Los costos directos se especifican en la siguiente Tabla:

Tabla 32. Tabla de costos directos

Costos Directos			
Denominación	Cantidad	Valor	Total
Materiales	1	3443.37	3443.37
Simulaciones	1	500.00	500.00
		Total	\$ 3943.37

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

5.2 Costos Indirectos

Se ha estimado un porcentaje de los costos directos para calcular los costos indirectos, tomando así el 15% para el diseño ingenieril. Ya que este proyecto es utilizado para fines de estudio, no se tomará en cuenta un porcentaje para utilidad; es decir se tendrá un porcentaje del 0%. Los valores de los costos directos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 33. Tabla de costos indirectos

Costos Indirectos			
Denominación	Porcentaje	Valor	Total
Diseño ingenieril	15%	606.50	606.50
Utilidad	0%	0	0
		Total	\$ 606.50

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

5.3 Costos Totales

El costo total viene representado en la siguiente tabla donde se suman los costos tanto directos como indirectos para el siguiente proyecto

Tabla 34. Tabla de costos totales

Costos Totales			
Denominación	Cantidad	Valor	Total
Directos	1	4043.37	3943.37
Indirectos	1	606.50	606.50
		Total	\$ 4549.87

Elaborado por: Esteban Morales & Bryan Torres

CONCLUSIONES

Para culminar este proyecto técnico se mostrarán las conclusiones obtenidas tras el desarrollo, diseño y validación de un simulador sísmico biaxial, enfocándose en mostrar los beneficios obtenidos del proyecto y con el fin de que obtenga continuidad.

- En este proyecto técnico se diseñó y validó un simulador sísmico biaxial de 4 m² para que soporte una carga máxima de 50 kg/m² para estructuras de acero, aluminio y madera. Lo más importante de diseñar el simulador sísmico fue calcular y seleccionar los componentes ideales para soportar una carga máxima de 302 Kg sobre la plataforma, en función de los motores disponibles en el mercado. Mientras que lo más difícil de llevar a cabo este proceso fue validar el proyecto en un software especializado como lo es SolidWorks debido a que se debe lograr congruencias con los valores anteriormente conseguidos por otros softwares.
- Un sismo es el fenómeno natural más destructivo en el mundo debido a la gran cantidad de energía que liberan las placas tectónicas, provocando movimientos que son transmitidos a los conjuntos modulares en expresiones de aceleraciones, desplazamientos y rapidez, siendo estas sus características esenciales. Ecuador tiene un gran historial sísmico, en donde la máxima aceleración sísmica bordea las 0.5 g's (4.91 m/s²) y la velocidad los 50 a 60 cm/s. La mayoría de las edificaciones en el Ecuador no cumplen con la norma de construcción NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción), esto sumado a que la mayor cantidad del territorio ecuatoriano está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, lo convierte en un ente vulnerable ante sismos de gran magnitud, por lo que es imprescindible invertir en herramientas para estudiar el efecto de un sismo sobre estructuras y edificaciones, y así contrarrestar daños inminentes en su configuración estructural en niveles de planta y elevaciones.
- Para poder llevar a cabo el diseño del simulador sísmico se seleccionó la alternativa más adecuada a través de una ponderación, en donde los motores lineales obtuvieron el valor más alto con 4.45 puntos, 0.25 puntos más que la segunda alternativa (biela manivela), es decir un 5.62% mayor. El resultado de

esto fue implementar al simulador el uso de motores lineales, ya que son los más apropiados para alcanzar la aceleración pico del simulador de $4g$ ($39.24 m/s^2$), y así replicar un sismo de alto peligro.

- El proceso de cálculo y diseño de la estructura del simulador sísmico se basó en cumplir algunos criterios permisibles como flexión admisible para plataformas y guías lineales; vida útil para rodamientos lineales y fuerza máxima para los motores lineales. Estos criterios mostraron que el peso máximo que soporta el simulador sísmico es de $302 kg$, siendo los motores lineales el principal responsable. Lo cual limita al simulador a utilizar estructuras de máximo 4 pisos y dimensiones en las cuales la carga muerta no supere el peso máximo descrito. De esta manera se consiguió un simulador biaxial con un peso de $589 kg$ capaz de lograr una aceleración pico de $4g$ a una frecuencia de $10 Hz$ y desplazamientos de $0.15 m$ en cada dirección.
- En el capítulo 3 se determinó la carga sísmica para una estructura modular de 3 pisos basado en la norma ecuatoriana de construcción, la cual dicta que es necesario obtener factores y coeficientes basados en la aceleración y peligro sísmico, en el que se encuentre el suelo en donde va a estar la estructura; el producto de todos estos factores es de $0.476 W$ y que para cada estructura es una carga de $466.96 N$ para el acero, $394.27 N$ para el aluminio y $417.1 N$ para la madera, por cada piso. Al efectuar el análisis estructural con la carga sísmica calculada se obtuvieron deformaciones en un rango de 0 a $0.11 mm$ para el acero A36, de 0 a $0.27 mm$ para el aluminio 6061 y de 0 a $0.37 mm$ para el Pino y tanto en Excel como en SAP2000 los valores obtenidos fueron similares con un error relativo global del 2.84%, 3.22% y 0.78% para el acero A36, aluminio 6061 y Pino respectivamente.
- Con el progreso de la simulación se validó los datos conseguidos por el software SOLIDWORKS, al compararlos con los resultados ya expuestos anteriormente en el software SAP2000. Siguiendo así el diseño detallado posteriormente realizado. Al efectuar la simulación en SOLIDWORKS se obtuvieron desplazamientos en las estructuras de acero A36, aluminio 6061 y

madera de pino; así obteniendo valores máximos de 0.12 mm , 0.305 mm , 0.468 mm respectivamente, y logrando valores mínimos de -0.119 mm , -0.306 mm , -0.369 mm respectivamente. Al contrastar los resultados logrados con los del software SAP2000, se obtuvieron valores similares para las estructuras de acero A36, aluminio 6061 y madera de pino; teniendo así resultados máximos de 0.11 mm , 0.27 mm , 0.36 mm respectivamente y consiguiendo valores mínimos de -0.11 mm , -0.27 mm , -0.37 mm respectivamente.

- En el capítulo 4 se resolvió obtener las fuerzas tanto máximas como mínimas que se encuentran en los elementos de las estructuras modulares; teniendo así una fuerza máxima de 1059.639 N y mínima de -1059.639 N . Para una estructura de acero A36. Mientras que para una estructura de aluminio 6061 se obtuvo una fuerza máxima de 887.160 N y mínima de -887.160 N . Para el pino se consiguió una fuerza máxima y mínima de 937.864 N y -938.863 N respectivamente. Todos estos resultados se lograron gracias al software SOLIDWORKS y al compararlo con los valores obtenidos en SAP2000, se determinaron valores similares; teniendo así un máximo de 1050.66 N para el acero A36 y un mínimo de -1050.66 N para el mismo material. Para el aluminio una fuerza máxima de 887.13 N Y mínima de -887.13 N . Así mismo para el pino obteniendo así una fuerza máxima y mínima de 938.57 N y -938.57 respectivamente.
- Para este proyecto técnico, el valor total se estima en \$4549.87 dólares.

RECOMENDACIONES

De las experiencias abordadas en este proyecto técnico existen ciertos puntos que pueden mejorarse en futuras investigaciones, de esta manera, se recomienda:

- Incorporar información sobre el crecimiento de la población ecuatoriana, y el tipo de construcciones que realizan puede indicar el riesgo latente al cual está expuesta la población ante la llegada de un sismo de gran magnitud; y de esta manera deducir minuciosamente él porque es tan importante el uso de herramientas que estudien los efectos de un sismo en estructuras o edificaciones.
- En este trabajo de titulación se seleccionó la alternativa que mejor se ajustaba a replicar un sismo biaxialmente. Es conveniente analizar el uso de otras alternativas más económicas y con capacidades de carga mucho mayores. Ello permitiría utilizar estructuras mucho más grandes y con diferentes configuraciones.
- La carga de servicio o carga permanente utilizada limita al simulador a soportar una carga muerta (carga permanente + peso propio de la estructura) máxima de 302 kg. Es por lo que se recomienda utilizar una carga permanente menor, para poder utilizar diferentes configuraciones estructurales y con dimensiones variadas. Además, se recomienda realizar perforaciones en las plataformas de aluminio, con el fin de disminuir el peso total del simulador sísmico.
- Para el diseño de las estructuras modulares se recomienda utilizar acoples diagonales, o arriostramiento simple en conjunto, como recomienda la norma NEC; ya que de esta manera la estructura se convierte en una armadura mucho más estable, a diferentes tipos de cargas y es menos probable que falle. Además, se podrían utilizar anclajes o apoyos móviles en la base de las estructuras con el fin de analizar el comportamiento de la edificación durante un sismo. En las conexiones se deben aplicar, para el caso del aluminio 6061 y la madera, perfiles perforados y apernarlos con arandelas de presión tanto en vigas y columnas, como en las arriostras; así se previene el desgaste producido

por las vibraciones del simulador. Para el acero es permisible utilizar soldadura, así se obtiene una mejor sujeción y su costo no es tan elevado.

- Es imprescindible calcular las cargas sísmicas en base al procedimiento que dicta la norma NEC 2015, y aplicar metodologías o softwares de análisis más avanzados para así comparar los resultados obtenidos ante un sismo peligroso.
- Es importante para obtener resultados mucho más precisos, al momento de simular en SOLIDWORKS, utilizar un mallado lo más fino posible y trabajar con las condiciones antes propuestas, es decir utilizar una frecuencia que varié entre los *2.5* y *10 Hz*, así se logrará movimientos con aceleraciones hasta de *4 g's* y un desplazamiento lineal de cada plataforma de *15 cm*, dependiendo de los requerimientos según sea el caso de estudio.

REFERENCIAS

- [1] Á. Artero Real, J. Blanco Claraco, A. Giménez Fernández, J. López Martínez y J. Torres Moreno, «Simulador sísmico de bajo coste para uso en prácticas de docencia,» *Actas de las XXXIX Jornadas de Automática*, pp. 300 - 305, 2018.
- [2] V. Renda, G. Mangonette, G. Verzeletti y F. Bono, «Ensayo Sísmico de Estructuras,» *Física la tierra*, vol. 11, pp. 285-305, 1999.
- [3] V. H. Espíndola Castro y X. Pérez Campos, «¿Qué son los SISMOS, dónde ocurren y cómo se miden?,» *Ciencia*, vol. 69, n° 3, pp. 8 - 15, 2018.
- [4] A. Sarria, *Ingeniería Sísmica*, Santa Fe de Bogotá: Editorial Presencia, 1995.
- [5] J. Carrillo, N. Bernal Ruíz y P. Porras, «EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA PEQUEÑA MESA VIBRATORIA PARA ENSAYOS EN INGENIERÍA SISMO-RESISTENTE,» Bogotá, 2013.
- [6] Colegio Nacional de Matemáticas, *Guía práctica para el examen de ingresos a la Universidad*, Primera ed., L. Moreno Olvera, Ed., México: Pearson Educación, 2009.
- [7] C. Ochoa Cardona, J. Uribe Dorado, J. Londoño Vargas y S. Peláez Castaño, «Diseño y desarrollo de una experiencia interactiva que trata el tema del comportamiento de edificaciones frente a sismos, para la sala Colombia geodiversa del Parque Explora,» Universidad EAFIT, Medellín, 2006.
- [8] A. Barbat, *Cálculo Sísmico de las Estructuras*, Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A., 1983.
- [9] Servicio Geológico Mexicano, «SGM,» 15 Enero 2017. [En línea]. Available:
https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalas-sismos.html. [Último acceso: 09 Enero 2020].
- [10] World Nuclear Association, «World Nuclear Association,» Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.world-nuclear.org/information->

- library/safety-and-security/safety-of-plants/nuclear-power-plants-and-earthquakes.aspx. [Último acceso: 05 Febrero 2020].
- [11] N. Carazo, «NC Arquitectura,» 15 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://ncarquitectura.com/que-es-la-aceleracion-sismica/>. [Último acceso: 05 Febrero 2020].
- [12] United States Geological Survey's, «USGS,» 11 Marzo 2011. [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20110603223949/http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/background.php#intmaps>. [Último acceso: 05 Febrero 2020].
- [13] El Comercio, «Ecuador está asentado sobre tres sistemas de fallas geológicas,» *El Comercio*, 26 Agosto 2014.
- [14] G. A. Jaramillo Guerra y M. V. Rocha Andino, «Comparación entre la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 y la Norma American Society of Civil Engineers 07-10 para diseño Sismo-resistente: Corte Basal,» Quito, 2013.
- [15] Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC- SE-RE 2015, «Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-RE-Riesgo-s%C3%ADsmico.pdf>. [Último acceso: 14 Febrero 2020].
- [16] El Universo , «Sismos más potentes que han afectado Ecuador,» *El Universo*, 17 Abril 2016.
- [17] Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, «Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional,» 15 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/cayambe/808-el-16-de-agosto-se-recuerda-el-gran-terremoto-de-ibarra>. [Último acceso: 11 Febrero 2020].
- [18] J. C. Clavijo Cartagena y L. R. Ramirez Contreras, «DISEÑO, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UNA MESA SISMICA UNIDIRECCIONAL HIDRAULICA,» Bucaramanga, 2011.
- [19] J. Morales Reyes, «Diseño, prototipaje y caracterización de una mesa sísmica de 1 grado de libertad a escala,» Valladolid, 2017.

- [20] E. García, «UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID,» [En línea]. Available: <http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/instrumentacion-electronica-i/material-de-clase-1/Tema7.pdf>. [Último acceso: 05 Enero 2020].
- [21] A. Valdéz, «DocPlayer,» 2017. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/17828442-3-sensores-y-transductores-3-1-sensores-y-transductores.html>. [Último acceso: 05 Enero 2020].
- [22] L. Arana, «UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR,» 03 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1/T-UCE-0010-002-2017.pdf>. [Último acceso: 05 Enero 2020].
- [23] J. F. Acosta y D. H. Carrillo, «ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO,» 21 Febrero 2007. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/2412/1/T-ESPE-014431.pdf>. [Último acceso: 05 Enero 2020].
- [24] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Secretaria de Gestion de Riesgos, Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015, Quito, 2016.
- [25] L. Villegas, «Docsity,» 23 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.docsity.com/es/armaduras-estructurales/4665065/>. [Último acceso: 24 Enero 2020].
- [26] O. Cardona, «Health Library for disaster,» [En línea]. Available: <http://helid.digicollection.org/en/d/Js8287s/6.3.1.1.html>. [Último acceso: 10 Enero 2020].
- [27] Universidad de Oviedo, «UniOvi,» [En línea]. Available: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/3211/mod_resource/content/1/Teoria/Cap_XI_I.pdf. [Último acceso: 24 Enero 2020].
- [28] Asociacion Colombiana de Ingeniería Sísmica, [En línea]. Available: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ais_mamposteria_fraccionado_es.pdf. [Último acceso: 13 Enero 2020].

- [29] C. A. Vélez, «UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA,» 2004. [En línea]. Available: bdigital.unal.edu.co/3609/1/8220216.2004.pdf. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [30] P. Ochoa, «Bibliotecas Universidad de las Americas Puebla,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/ochoa_p_m/capitulo_6.pdf. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [31] M. D. Rojas y J. J. Arenas, «Escuela de Ingeniería Civil,» 14 Enero 2008. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v75n155/a05v75n155.pdf>. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [32] ABC ARQUITECTURA MODULAR, «ABC ARQUITECTURA MODULAR,» [En línea]. Available: <https://abcm modular.com/construccion-modular>. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [33] Ecohab, «Ecohab,» [En línea]. Available: <https://www.ecohab.es/>. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [34] Guia de la construcción, «Guia de la construcción,» [En línea]. Available: <https://guia-construccion.com/types/estructura-metalica-liviana/>. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [35] CHINA HARZONE INDUSTRY CORPORATION, «spanish steel trussbridge,» [En línea]. Available: <http://spanish.steel-trussbridge.com/sale-580516-simple-structure-steel-cable-suspension-bridge-for-longest-spans-river.html>. [Último acceso: 30 Enero 2020].
- [36] H. Coral, J. Ramírez, E. Rosero, P. Thomson, D. Gómez y J. Marulanda, «Diseño, construcción y control de un simulador sísmico uniaxial teleoperable para modelos estructurales a pequeña escala,» *Ingeniería y Competitividad*, vol. 12, n° 2, pp. 95 - 115, 2010.
- [37] Rexroth Bosch Group, «DBR Automation,» Marzo 2007. [En línea]. Available: https://www.dbrautomation.com/doc/pdf/Lineal/rodamientos_lineales.pdf. [Último acceso: 10 Marzo 2020].

- [38] Rexroth Bosch Group, «Lineartec,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.lineartec.com.ar/catalogos/7RodamientosLinealesBosch.pdf>. [Último acceso: 15 Marzo 2020].
- [39] Asefa, «Asefa,» [En línea]. Available: <https://www.asefa.es/images/stories/asefa/pdf/patologias/patologia38.pdf>. [Último acceso: 01 Junio 2020].
- [40] N. Larburu, Máquinas Prontuario Técnicas Máquinas Herramientas, Madrid: Paraninfo, 2008.
- [41] W. Hufnagel, Manual del aluminio, Barcelona: Reverté, S.A, 1992.
- [42] Bosch Rexroth AG, «Bosch Rexroth AG,» Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.boschrexroth.com/electrics>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [43] NTN - SNR, «NTN - SNR,» Mayo 2015. [En línea]. Available: https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-05/snr_general_catalogue_es.pdf. [Último acceso: 25 Mayo 2020].
- [44] Imporpernos, «Importadora de pernos Imporpernos,» 12 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.imporpernos.com/blog/resistencia-de-pernos-milimetricos>. [Último acceso: 12 Julio 2020].
- [45] J. P. Laible, Análisis Estructural, Primera ed., Mexico D. F.: McGraw-Hill, 1985.
- [46] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, «Habitat y Vivienda,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-4-MADERA.pdf>. [Último acceso: 16 Junio 2020].
- [47] Instituto Americano De la Construcción en Acero, Manual of steel construction, Chicago, 1989.
- [48] C. Marmolejo, «Universidad Autónoma de Mexico,» Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4060/Manual%20de%20dise%C3%B1o%20de%20estructuras%20de%20aluminio.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 17 Agosto 2020].

- [49] Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-DS 2015, «Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [50] Bosch Rexroth AG, «Rexroth IndraDrive Drive Controllers Power Sections HMS01,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.boschrexroth.com/>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [51] Bosch Rexroth AG, «BEC,» Enero 2004. [En línea]. Available: <http://www.bec.as/upload/files/faq/Bosch%20Rexroth/Drives/Indradrive/Hardware/Indradrive+supplyunits+projectplanning.pdf>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [52] Bosch Rexroth AG, 02 Febrero 2020. [En línea]. Available: <http://www.boschrexroth.com/>. [Último acceso: 23 Junio 2020].
- [53] Omega, «Omega engineering,» [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/acelerometro.html>. [Último acceso: 29 Junio 2020].

ANEXOS

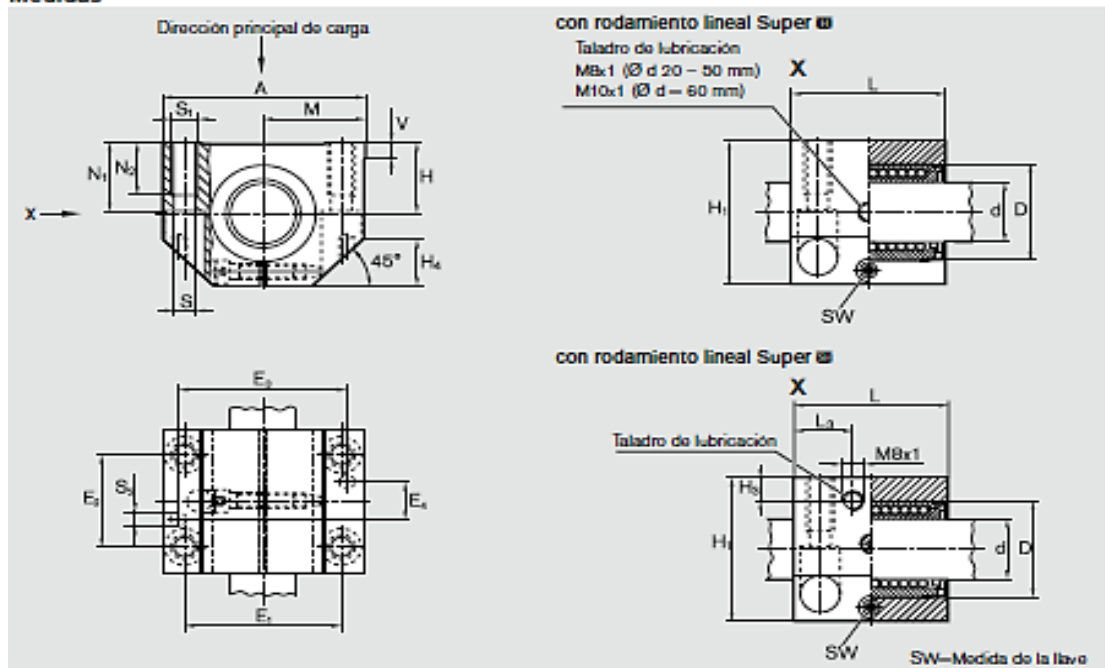
Anexo 1. Dureza acero inoxidable 420

TABLA 8 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable
 Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de acero inoxidable	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
Tipo 301	recocido en tira	40	276	110	758	60	85HRB
	laminado en frío	165	1 138	200	1 379	8	41HRC
Tipo 302	recocido en hojas	40	276	90	621	50	85HRB
	laminado en frío	165	1 138	190	1 310	5	40HRC
Tipo 304	recocido en hojas	35	241	85	586	50	80HRB
	laminado en frío	160	1 103	185	1 276	4	40HRC
Tipo 314	laminado en barra	50	345	100	689	45	180HB
Tipo 316	recocido en hojas	40	276	90	621	50	85HRB
Tipo 330	laminado en caliente	55	379	100	689	35	200HB
	recocido	35	241	80	552	50	150HB
Tipo 410	recocido en hoja	45	310	70	483	25	80HRB
	tratamiento térmico	140	965	180	1 241	15	39HRC
Tipo 420	recocido en barra	50	345	95	655	25	92HRB
	tratamiento térmico	195	1 344	230	1 586	8	500HB

Anexo 2. Set lineal R1701 260 20 de 60 mm de diámetro

Medidas



Medidas (mm)																				
$\varnothing d$	D	H^{10} +0,008 -0,016	H_1	M^{10} $\pm 0,01$	A	L	E_1	E_2	E_3	E_4	S	S_1	S_2	N_1	N_2	H_3	L_3	V	SW	H_4
20	32	25	50	30	60	46	45 \pm 0,15	32 \pm 0,15	50	15	6,6	M8	5	24	18	10	16	5	4	18
25	40	30	60	39	78	59	60 \pm 0,15	40 \pm 0,15	64	17	8,4	M10	6	29	22	10	21	6,5	5	20
30	47	35	70	43,5	87	69	68 \pm 0,15	45 \pm 0,15	72	20	8,4	M10	6	34	22	11,5	26	8	5	22
40	62	45	90	54	108	81	86 \pm 0,15	58 \pm 0,15	90	25	10,5	M12	8	44	26	14	30	10	6	28
50	75	50	105	66	132	101	108 \pm 0,20	50 \pm 0,20	108	35	13,5	M16	10	49	34	12,5	30	12	8	37
60	90	60	125	82	164	126	132 \pm 0,20	65 \pm 0,20	132	108	17,5	M20	12	59	42	-	-	13	10	45

Eje $\varnothing d$ (mm)	Juego radial ²⁾ (μ m)		Capacidades de carga ³⁾ (N) con rodamiento lineal Super			
	R1701 Eje h6	R1702	C	C_0	C	C_0
20	+43 +11		2520	1880	3530	2530
25	+43 +11		4430	3360	6190	4530
30	+43 +11		6300	5230	8800	7180
40	+50 +12		9680	7600	13500	10400
50	+50 +12		16000	12200	22300	16800
60	+56 +14		23500	18700	-	-

de tabla con un eje h5 (mínimo inferior) ajustado sin juego cuando está fijo

- 1) Estando fijo (con los tornillos apretados) referido al $\varnothing d$.
- 2) Estando fijo (con los tornillos apretados).
- 3) Las capacidades de carga son válidas para la dirección principal de carga.

El cálculo de la capacidad de carga dinámica se basa en 100.000 m de recorrido. Si se basa en 50.000 m, se deberá multiplicar los valores C según la tabla por 1,26.

Anexo 3. Valores de $E \cdot I$ útil para la selección de guías lineales hueca de 60 mm

Ejes huecos			
Diámetro del eje externo (mm)	Diámetro del eje interno (mm)	$E \cdot I$ (N · mm ²)	Peso (kg/m)
10	4	1,00 · 10 ⁸	0,51
12	3,4	2,12 · 10 ⁸	0,81
16	8	6,33 · 10 ⁸	1,18
20	14	1,25 · 10 ⁹	1,25
25	14	3,63 · 10 ⁹	2,63
30	19	7,01 · 10 ⁹	3,30
40	26,5	2,13 · 10 ¹⁰	5,50
50	29,6	5,65 · 10 ¹⁰	9,95
60	36,5	1,15 · 10 ¹¹	13,89
80	57,4	3,10 · 10 ¹¹	19,02

Valores de cálculo:
módulo de elasticidad = 2,1 · 10⁵ N/mm²
densidad = 7,8 g/cm³

Anexo 4. Valores de $E \cdot I$ útil para la selección de guías lineales macizas de 60 mm

Ejes macizos		
$\varnothing d$ (mm)	$E \cdot I$ (N · mm ²)	Peso (kg/m)
3	8,35 · 10 ⁵	0,06
4	2,64 · 10 ⁶	0,10
5	6,44 · 10 ⁶	0,15
8	4,22 · 10 ⁷	0,39
10	1,03 · 10 ⁸	0,61
12	2,14 · 10 ⁸	0,88
14	3,96 · 10 ⁸	1,20
16	6,76 · 10 ⁸	1,57
20	1,65 · 10 ⁹	2,45
25	4,03 · 10 ⁹	3,83
30	8,35 · 10 ⁹	5,51
40	2,64 · 10 ¹⁰	9,80
50	6,44 · 10 ¹⁰	15,32
60	1,34 · 10 ¹¹	22,05
80	4,22 · 10 ¹¹	39,21

Anexo 5. Angulo de inclinación admisible para el eje seleccionado

Eje Ø d (mm)	tan α	α	
		(10 ⁻³ °)	(°)
5	12,3	70,5	0,0705
8	10,0	57,3	0,0573
12	10,1	57,9	0,0579
16	8,5	48,7	0,0487
20	8,5	48,7	0,0487
25	7,2	41,3	0,0413
30	6,4	36,7	0,0367
40	7,3	41,8	0,0418
50	6,3	36,1	0,0361
60	5,7	32,7	0,0327
80	5,7	32,7	0,0327

Anexo 6. Peso de la plataforma de aluminio 6061 de 2 m x 2 m de 4 mm y 6 mm.

Catálogo de ACERAL

ESPESOR	ANCHO	LARGO	PESO APROX.
mm	m	m	Kg.
0,4	1	2	2,17
0,5	1	2	2,71
0,7	1,22	2,44	5,65
1	1,22	2,44	8,07
1,25	1,22	2,44	9,68
1,5	1,22	2,44	12,1
2	1,22	2,44	16,13
3	1,22	2,44	24,2
4	1,22	2,44	32,27
6	1,22	2,44	48,4
9	1,22	2,44	72,6

Anexo 7. Peso de los rodamientos seleccionados. Catalogo BOSCH REXROTH



Eje Ø d (mm)	Referencias con rodamiento lineal Super		Peso (kg) con rodamiento lineal Super	
	■	■	■	■
20	R1701 220 20	R1701 420 20	0,29	0,31
25	R1701 225 20	R1701 425 20	0,58	0,63
30	R1701 230 20	R1701 430 20	0,88	0,97
40	R1701 240 20	R1701 440 20	1,63	1,86
50	R1701 250 20	R1701 450 20	2,70	3,10
60	R1701 260 20	-	5,20	-

Anexo 8. Peso de las chumaceras UCPE205 con rodamiento interno UC205G2.

Catalogo NTN

Dimensiones principales [mm]					Cuerpos de soportes	Rodamiento inserto	Tapón de protección abierto*	Tapón de protección cerrado**	Capacidad dinámica	Capacidad estática	Peso	Diámetro del eje
D1	D2	G	Z	Dz								
53,0	-	R1/8"	66,8	88,0	PE208	UC208G2	CO	CC	29,60	18,20	1,8	40
53,0	-	R1/8"	66,8	88,0	PE208	US208G2	CO	CC	29,60	18,20	1,8	
-	60,3	R1/8"	79,0	88,0	PE208	ES208G2	COE	CCE	29,60	18,20	1,8	
-	60,3	R1/8"	79,0	88,0	PE208	EX208G2	COE	CCE	29,60	18,20	2,0	
-	65,0	R1/8"	67,8	95,0	PE209	UK209G2H	CO	CC	31,85	20,80	2,3	
57,2	-	R1/8"	67,8	95,0	PE209	UC209G2	CO	CC	31,85	20,80	2,2	45
57,2	-	R1/8"	67,8	95,0	PE209	US209G2	CO	CC	31,85	20,80	2,1	
-	63,5	R1/8"	82,0	95,0	PE209	ES209G2	COE	CCE	31,85	20,80	2,2	
-	63,5	R1/8"	82,0	95,0	PE209	EX209G2	COE	CCE	31,85	20,80	2,4	
-	70,0	R1/8"	74,6	100,0	PE210	UK210G2H	CO	CC	35,10	23,20	2,9	
61,8	-	R1/8"	74,6	100,0	PE210	UC210G2	CO	CC	35,10	23,20	2,7	50
61,8	-	R1/8"	74,6	100,0	PE210	US210G2	CO	CC	35,10	23,20	2,7	
-	69,9	R1/8"	90,0	100,0	PE210	ES210G2	COE	CCE	35,10	23,20	2,7	
-	69,9	R1/8"	90,0	100,0	PE210	EX210G2	COE	CCE	35,10	23,20	2,9	
-	75,0	R1/8"	75,2	110,0	PE211	UK211G2H	CO	CC	43,55	29,20	3,5	
69,0	-	R1/8"	75,2	110,0	PE211	UC211G2	CO	CC	43,55	29,20	3,4	55
69,0	-	R1/8"	75,2	110,0	PE211	US211G2	CO	CC	43,55	29,20	3,4	
-	76,2	R1/8"	102,0	110,0	PE211	ES211G2	COE	CCE	43,55	29,20	3,2	
-	76,2	R1/8"	102,0	110,0	PE211	EX211G2	COE	CCE	43,55	29,20	3,7	
74,9	-	R1/8"	87,8	120,0	PE212	UC212G2	CO	CC	52,50	32,80	4,8	
74,9	-	R1/8"	87,8	120,0	PE212	US212G2	CO	CC	52,50	32,80	4,6	
-	84,2	R1/8"	109,0	120,0	PE212	ES212G2	COE	CCE	52,50	32,80	4,5	
-	84,2	R1/8"	109,0	120,0	PE212	EX212G2	COE	CCE	52,50	32,80	5,1	
-	85,0	R1/8"	88,8	132,0	PE213	UK213G2H	CO	CC	57,20	40,00	7,3	

Anexo 9. Fuerza de fricción entre los rodamientos y guías lineales de 60 mm

(extrapolación). Catalogo BOSCH REXROTH

Eje Ø d (mm)	Fuerza de arranque apróx. ¹⁾ (N) ca.	Fuerza de fricción apróx. ¹⁾ (N) ca.
8	0,8	0,4
10	1	0,5
12	1,5	0,8
14	1,8	0,9
16	2	1
20	3	1,5
25	4,5	2
30	6	2,5
40	8	3
50	10	4

Anexo 10. Hoja Técnica de motor lineal MLP300C-0120

Parameter	Symbol	Unit	MLP300		
Frame lengths			C		
Winding			0060	0090	0120
Maximum force	F_{max}	N	21,500.0		
Continuous nominal force	F_N	N	6,720.0		
Maximum current	$I_{max(eff)}$	A	143.1	205.0	300.0
Rated current	I_N	A	29.6	35.8	45.2
Maximum velocity at F_{max}	v_{Fmax}	m/min	60	90	120
Nominal velocity	v_N	m/min	110	150	180
Force constant	K_{FN}	N/A	226.90	187.90	148.90
Voltage constant	K_{EMK}	Vs/m	130.9	108.4	85.9
Winding resistance at 20 °C	R_{12}	Ohm	2.4	1.56	1.02
Winding inductivity	L_{12}	mH	11.4	7.6	4.9
Power wire cross-section	A	mm ²	4.0	6.0	10.0
Pole width	t_p	mm	37.5		
Attractive force	F_{ATT}	N	30,700.0		
Thermal time constant	T_{th}	min	2.4		
Mass primary part with thermo encapsulation	m_{PT}	kg	74.9		
Data liquid cooling					
Power loss to be dissipated	P_V	W	3,200		
Necessary coolant flow at P_V	Q_{min}	l/min	4.6		
Pressure loss at Q_{min}	Δp	bar	2.8		
Constant to determine the pressure loss	$K_{\Delta p}$	--	0.19		
Volume of coolant duct Thermal encapsulation	$V_{cool,T}$	l	0.471		
Maximum allowed inlet pressure	P_{max}	bar	10.0		

Anexo 11. Hoja Técnica de motor lineal MLP300C₁-0120

Parameter	Symbol	Unit	MLP300		
Frame lengths			C ₁		
Winding			0060	0090	0120
Maximum force	F_{max}	N	30,000.0		
Continuous nominal force	F_N	N	8,720.0		
Maximum current	$I_{max(eff)}$	A	143.1	205.0	300.0
Rated current	I_N	A	29.6	35.8	45.2
Maximum velocity at F_{max}	v_{Fmax}	m/min	60	90	120
Nominal velocity	v_N	m/min	110	150	180
Force constant	K_{FN}	N/A	226.90	187.90	148.90
Voltage constant	K_{EMK}	Vs/m	130.9	108.4	85.9
Winding resistance at 20 °C	R_{12}	Ohm	2.4	1.56	1.02
Winding inductivity	L_{12}	mH	11.4	7.6	4.9
Power wire cross-section	A	mm ²	4.0	6.0	10.0
Pole width	t_p	mm	57.5		
Attractive force	F_{ATT}	N	40,000.0		
Thermal time constant	T_{th}	min	2.4		
Mass primary part with thermo encapsulation	m_{PT}	kg	104.5		
Data liquid cooling					
Power loss to be dissipated	P_V	W	3,200		
Necessary coolant flow at P_V	Q_{min}	l/min	6.6		
Pressure loss at Q_{min}	Δp	bar	3.8		
Constant to determine the pressure loss	K_{dp}	--	0.19		
Volume of coolant duct Thermal encapsulation	$V_{cool,T}$	l	0.471		
Maximum allowed inlet pressure	P_{max}	bar	10.0		

Anexo 12. Planos

Anexo 13. Módulos de elasticidad para Acero A36, Aluminio 6061 y Pino Douglas.

Apéndice B Mecánica de Materiales de Beer & Johnston Quinta edición

Material	Densidad, kg/m ³	Resistencia última			Cedencia ³		Módulo de elasticidad, GPa	Módulo de rigidez, GPa
		Tensión, MPa	Compresión, ² MPa	Cor-tante, MPa	Tensión, MPa	Cor-tante, MPa		
Acero								
Estructural (ASTM-A36)	7 860	400			250	145	200	77.2
Alta resistencia-aleación baja								
ASTM-A709 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2
ASTM-A913 Grado 450	7 860	550			450		200	77.2
ASTM-A992 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2
Templado								
ASTM-A709 Grado 690	7 860	760			690		200	77.2
Inoxidable, AISI 302								
Laminado en frío	7 920	860			520		190	75
Recocido	7 920	655			260	150	190	75
Acero de refuerzo								
Resistencia media	7 860	480			275		200	77
Alta resistencia	7 860	620			415		200	77
Fundición								
Fundición gris								
4.5% C, ASTM A-48	7 200	170	655	240			69	28
Hierro fundido								
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7 300	345	620	330	230		165	65
Aluminio								
Aleación 1100-H14 (99% Al)	2 710	110		70	95	55	70	26
Aleación 2014-T6	2 800	455		275	400	230	75	27
Aleación 2024-T4	2 800	470		280	325		73	
Aleación 5456-H116	2 630	315		185	230	130	72	
Aleación 6061-T6	2 710	260		165	240	140	70	26
Aleación 7075-T6	2 800	570		330	500		72	28
Madera⁴ secada al aire								
Pino-Douglas	470	100	50	7.6			13	0.7
Picea, Sitka	415	60	39	7.6			10	0.5
Pino de hoja corta	500		50	9.7			12	
Pino blanco	390		34	7.0			10	
Pino Ponderosa	415	55	36	7.6			9	
Roble blanco	690		51	13.8			12	
Roble rojo	660		47	12.4			12	
Abeto occidental	440	90	50	10.0			11	
Nogal de corteza fibrosa	720		63	16.5			15	
Secoya	415	65	42	6.2			9	

Anexo 14. Factores de diseño para el cálculo de Carga sísmica. NEC 2015

Factor Z

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Coefficiente Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Coefficiente Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Coeficiente F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Factor n

- $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

Coeficiente I

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Factor T

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Coeficiente R

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Coeficiente k

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Anexo 15. Análisis estructural desarrollado en Excel. Método manual

Acero A36

Desplazamiento de las juntas [mm]

Fuerzas en los miembros [N]

	DEAD	SISMO X	SISMO Y		DEAD	SISMO X	SISMO Y	
1	0,00	0,00	0,00	1	-735,75	1050,66	525,33	
	0,00	0,00	0,00		2	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00		3	-735,75	-525,33	525,33
2	0,00	0,00	0,00	4	0,00	-875,55	0,00	
	0,00	0,00	0,00	5	0,00	0,00	-233,48	
	0,00	0,00	0,00	6	0,00	0,00	875,55	
3	0,00	0,00	0,00	7	-735,75	-525,33	-1050,66	
	0,00	0,00	0,00	8	0,00	-875,55	0,00	
	0,00	0,00	0,00	9	-735,75	1050,66	-1050,66	
4	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	11	0,00	0,00	-233,48	
	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	875,55	
5	-0,01	0,04	0,01	13	-490,50	175,11	525,33	
	-0,01	0,01	0,01	14	0,00	-233,48	0,00	
	-0,01	0,01	-0,04	15	-490,50	-525,33	525,33	
6	-0,01	0,04	0,01	16	0,00	583,70	0,00	
	-0,01	-0,01	0,01	17	0,00	0,00	0,00	
	-0,01	-0,01	-0,04	18	-490,50	-525,33	-175,11	
7	-0,01	0,04	-0,01	19	0,00	0,00	-583,70	
	-0,01	-0,01	-0,01	20	0,00	0,00	0,00	
	-0,01	-0,01	-0,04	21	-490,50	175,11	-175,11	
8	-0,01	0,04	-0,01	22	0,00	583,70	0,00	
	-0,01	0,01	-0,01	23	0,00	0,00	0,00	
	-0,01	0,01	-0,04	24	0,00	0,00	-583,70	
9	0,00	0,08	0,00	25	-245,25	175,11	0,00	
	-0,02	0,02	0,01	26	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,01	-0,08	27	-245,25	0,00	0,00	
10	0,00	0,08	0,00	28	0,00	-291,85	0,00	
	-0,02	-0,01	0,01	29	0,00	0,00	-233,48	
	0,00	0,00	-0,08	30	0,00	0,00	291,85	
11	0,00	0,08	-0,01	31	-245,25	0,00	-175,11	
	-0,02	-0,01	-0,02	32	0,00	-291,85	0,00	
	0,00	0,00	-0,08	33	-245,25	175,11	-175,11	
12	0,00	0,08	-0,01	34	0,00	0,00	0,00	
	-0,02	0,02	-0,02	35	0,00	0,00	-233,48	
	0,00	0,01	-0,08	36	0,00	0,00	291,85	
13	-0,01	0,11	0,00	37	0,00	0,00	-700,44	
	-0,02	0,02	0,01	38	-735,75	1050,66	1050,66	
	-0,01	0,01	-0,11	39	0,00	0,00	0,00	
14	-0,01	0,11	0,00	40	0,00	0,00	-700,44	
	-0,02	-0,01	0,01	41	-735,75	-1050,66	1050,66	
	-0,01	0,00	-0,11	42	0,00	700,44	0,00	
15	-0,01	0,11	-0,01	43	0,00	0,00	0,00	
	-0,02	-0,01	-0,02	44	-735,75	-1050,66	-1050,66	
	-0,01	0,00	-0,11	45	0,00	700,44	0,00	
16	-0,01	0,11	-0,01	46	0,00	0,00	0,00	
	-0,02	0,02	-0,02	47	-735,75	1050,66	-1050,66	
	-0,01	0,01	-0,11	48	0,00	0,00	0,00	

Aluminio 6061

Desplazamiento de las juntas [mm]

Fuerzas en los miembros [N]

	DEAD	SISMO X	SISMO Y		DEAD	SISMO X	SISMO Y
1	0,00	0,00	0,00	1	-621,30	887,13	443,57
	0,00	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	3	-621,30	-443,57	443,57
2	0,00	0,00	0,00	4	0,00	-739,28	0,00
	0,00	0,00	0,00	5	0,00	0,00	-197,14
	0,00	0,00	0,00	6	0,00	0,00	739,27
3	0,00	0,00	0,00	7	-621,30	-443,57	-887,13
	0,00	0,00	0,00	8	0,00	-739,28	0,00
	0,00	0,00	0,00	9	-621,30	887,13	-887,13
4	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	11	0,00	0,00	-197,14
	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	739,28
5	-0,02	0,09	0,01	13	-414,20	147,86	443,57
	-0,02	0,04	0,02	14	0,00	-197,14	0,00
	-0,02	0,03	-0,10	15	-414,20	-443,57	443,57
6	-0,02	0,09	0,01	16	0,00	492,85	0,00
	-0,02	-0,02	0,02	17	0,00	0,00	0,00
	-0,02	-0,01	-0,10	18	-414,20	-443,57	-147,85
7	-0,02	0,09	-0,03	19	0,00	0,00	-492,85
	-0,02	-0,02	-0,04	20	0,00	0,00	0,00
	-0,02	-0,01	-0,09	21	-414,20	147,86	-147,86
8	-0,02	0,09	-0,03	22	0,00	492,85	0,00
	-0,02	0,04	-0,04	23	0,00	0,00	0,00
	-0,02	0,03	-0,09	24	0,00	0,00	-492,85
9	-0,01	0,19	0,00	25	-207,10	147,86	0,00
	-0,04	0,04	0,04	26	0,00	0,00	0,00
	-0,01	0,02	-0,18	27	-207,10	0,00	0,00
10	-0,01	0,18	0,00	28	0,00	-246,43	0,00
	-0,04	-0,04	0,04	29	0,00	0,00	-197,14
	-0,01	0,00	-0,18	30	0,00	0,00	246,43
11	-0,01	0,18	-0,02	31	-207,10	0,00	-147,86
	-0,04	-0,04	-0,04	32	0,00	-246,43	0,00
	-0,01	0,00	-0,18	33	-207,10	147,86	-147,86
12	-0,01	0,18	-0,02	34	0,00	0,00	0,00
	-0,04	0,04	-0,04	35	0,00	0,00	-197,14
	-0,01	0,02	-0,18	36	0,00	0,00	246,43
13	-0,01	0,27	0,00	37	0,00	0,00	-591,42
	-0,05	0,05	0,04	38	-621,30	887,13	887,13
	-0,01	0,03	-0,28	39	0,00	0,00	0,00
14	-0,01	0,27	0,00	40	0,00	0,00	-591,42
	-0,05	-0,04	0,04	41	-621,30	-887,13	887,13
	-0,01	0,00	-0,28	42	0,00	591,42	0,00
15	-0,01	0,27	-0,03	43	0,00	0,00	0,00
	-0,05	-0,04	-0,05	44	-621,30	-887,13	-887,13
	-0,01	0,00	-0,27	45	0,00	591,42	0,00
16	-0,01	0,27	-0,03	46	0,00	0,00	0,00
	-0,05	0,05	-0,05	47	-621,30	887,13	-887,13
	-0,01	0,03	-0,27	48	0,00	0,00	0,00

Madera de Pino Douglas

Desplazamiento de las juntas [mm]

Fuerzas en los miembros [N]

	DEAD	SISMO X	SISMO Y		DEAD	SISMO X	SISMO Y
1	0,00	0,00	0,00	1	-657,30	938,56	469,28
	0,00	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	3	-657,30	-469,28	469,28
2	0,00	0,00	0,00	4	0,00	-782,14	0,00
	0,00	0,00	0,00	5	0,00	0,00	-208,57
	0,00	0,00	0,00	6	0,00	0,00	782,14
3	0,00	0,00	0,00	7	-657,30	-469,28	-938,56
	0,00	0,00	0,00	8	0,00	-782,14	0,00
	0,00	0,00	0,00	9	-657,30	938,57	-938,57
4	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	11	0,00	0,00	-208,57
	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	782,14
5	-0,03	0,12	0,02	13	-438,20	156,43	469,28
	-0,03	0,05	0,02	14	0,00	-208,57	0,00
	-0,03	0,04	-0,13	15	-438,20	-469,28	469,28
6	-0,03	0,12	0,02	16	0,00	521,42	0,00
	-0,03	-0,02	0,02	17	0,00	0,00	0,00
	-0,03	-0,02	-0,13	18	-438,20	-469,28	-156,43
7	-0,03	0,12	-0,04	19	0,00	0,00	-521,42
	-0,03	-0,02	-0,05	20	0,00	0,00	0,00
	-0,03	-0,02	-0,12	21	-438,20	156,43	-156,43
8	-0,03	0,12	-0,04	22	0,00	521,43	0,00
	-0,03	0,05	-0,05	23	0,00	0,00	0,00
	-0,03	0,04	-0,12	24	0,00	0,00	-521,43
9	-0,01	0,26	0,00	25	-219,10	156,43	0,00
	-0,06	0,06	0,05	26	0,00	0,00	0,00
	-0,01	0,03	-0,25	27	-219,10	0,00	0,00
10	-0,01	0,25	0,00	28	0,00	-260,71	0,00
	-0,06	-0,05	0,05	29	0,00	0,00	-208,57
	-0,01	0,00	-0,25	30	0,00	0,00	260,71
11	-0,01	0,25	-0,03	31	-219,10	0,00	-156,43
	-0,06	-0,05	-0,06	32	0,00	-260,71	0,00
	-0,01	0,00	-0,25	33	-219,10	156,43	-156,43
12	-0,01	0,25	-0,03	34	0,00	0,00	0,00
	-0,06	0,06	-0,06	35	0,00	0,00	-208,57
	-0,01	0,03	-0,25	36	0,00	0,00	260,71
13	-0,02	0,36	0,00	37	0,00	0,00	-625,71
	-0,07	0,06	0,05	38	-657,30	938,56	938,57
	-0,02	0,04	-0,37	39	0,00	0,00	0,00
14	-0,02	0,36	0,00	40	0,00	0,00	-625,71
	-0,07	-0,05	0,05	41	-657,30	-938,57	938,56
	-0,02	0,00	-0,37	42	0,00	625,71	0,00
15	-0,02	0,36	-0,04	43	0,00	0,00	0,00
	-0,07	-0,05	-0,06	44	-657,30	-938,56	-938,56
	-0,02	0,00	-0,36	45	0,00	625,71	0,00
16	-0,02	0,36	-0,04	46	0,00	0,00	0,00
	-0,07	0,06	-0,06	47	-657,30	938,57	-938,57
	-0,02	0,04	-0,36	48	0,00	0,00	0,00

Anexo 16. Resultados obtenidos tras el análisis estructural en SAP2000

Acero A36

Desplazamiento de las juntas [mm]

Joint	OutputCase	U1	U2	U3
Text	Text	mm	mm	mm
1	CARGA MUERTA	0,000	0,000	0,000
1	SISMO X	0,000	0,000	0,000
1	SISMO Y	0,000	0,000	0,000
1	COMB1	0,000	0,000	0,000
18	CARGA MUERTA	-0,008	-0,008	-0,011
18	SISMO X	0,038	0,011	0,015
18	SISMO Y	-0,012	-0,039	-0,015
18	COMB1	0,019	-0,035	-0,011
19	CARGA MUERTA	-0,008	-0,008	-0,011
19	SISMO X	0,038	-0,006	-0,008
19	SISMO Y	-0,012	-0,039	-0,016
19	COMB1	0,019	-0,052	-0,034
20	CARGA MUERTA	0,000	0,000	0,000
20	SISMO X	0,000	0,000	0,000
20	SISMO Y	0,000	0,000	0,000
20	COMB1	0,000	0,000	0,000
21	CARGA MUERTA	-0,003	-0,003	-0,018
21	SISMO X	0,079	0,000	-0,015
21	SISMO Y	-0,009	-0,080	-0,018
21	COMB1	0,067	-0,083	-0,052
22	CARGA MUERTA	-0,005	-0,006	-0,022
22	SISMO X	0,115	0,001	-0,015
22	SISMO Y	-0,011	-0,116	-0,021
22	COMB1	0,099	-0,121	-0,058
23	CARGA MUERTA	-0,003	-0,003	-0,018
23	SISMO X	0,084	0,009	0,018
23	SISMO Y	-0,009	-0,080	-0,018
23	COMB1	0,072	-0,073	-0,018
24	CARGA MUERTA	-0,008	-0,008	-0,011
24	SISMO X	0,039	-0,006	-0,008
24	SISMO Y	0,006	-0,043	0,008
24	COMB1	0,036	-0,057	-0,011
25	CARGA MUERTA	-0,003	-0,003	-0,018
25	SISMO X	0,080	0,000	-0,016
25	SISMO Y	0,000	-0,080	0,016
25	COMB1	0,077	-0,083	-0,018
26	CARGA MUERTA	-0,008	-0,008	-0,011
26	SISMO X	0,039	0,011	0,016
26	SISMO Y	0,006	-0,043	0,008
26	COMB1	0,036	-0,040	0,012
27	CARGA MUERTA	-0,003	-0,003	-0,018
27	SISMO X	0,085	0,009	0,018
27	SISMO Y	0,000	-0,080	0,015
27	COMB1	0,082	-0,073	0,016
28	CARGA MUERTA	-0,006	-0,005	-0,022
28	SISMO X	0,117	0,011	0,021
28	SISMO Y	0,000	-0,120	0,015
28	COMB1	0,111	-0,115	0,015
29	CARGA MUERTA	-0,005	-0,005	-0,022
29	SISMO X	0,115	0,011	0,021
29	SISMO Y	-0,011	-0,116	-0,021
29	COMB1	0,099	-0,110	-0,022
30	CARGA MUERTA	-0,006	-0,006	-0,022
30	SISMO X	0,117	0,001	-0,016
30	SISMO Y	0,000	-0,121	0,016
30	COMB1	0,111	-0,126	-0,022
31	CARGA MUERTA	0,000	0,000	0,000
31	SISMO X	0,000	0,000	0,000
31	SISMO Y	0,000	0,000	0,000
31	COMB1	0,000	0,000	0,000
32	CARGA MUERTA	0,000	0,000	0,000
32	SISMO X	0,000	0,000	0,000
32	SISMO Y	0,000	0,000	0,000
32	COMB1	0,000	0,000	0,000

Fuerzas en los miembros [N]

OutputCase	P	CARGA MUERTA	
Text	N		
CARGA MUERTA	-1,34	SISMO X	-244,82
SISMO X	-292,08	SISMO Y	-0,2
SISMO Y	0,0679	COMB1	0,39
COMB1	-293,35	CARGA MUERTA	-244,63
CARGA MUERTA	-2,85	SISMO X	-488,33
SISMO X	582,77	SISMO Y	-527,22
SISMO Y	0,17	COMB1	526,23
COMB1	580,09	CARGA MUERTA	-489,31
CARGA MUERTA	-1,1	SISMO X	-733,57
SISMO X	-878,48	SISMO Y	-528,28
SISMO Y	2,35	COMB1	527,13
COMB1	-877,23	CARGA MUERTA	-734,73
CARGA MUERTA	-1,36	SISMO X	-734,96
SISMO X	-290,66	SISMO Y	1042,52
SISMO Y	-1,16	COMB1	-1046,59
COMB1	-293,18	CARGA MUERTA	-739,03
CARGA MUERTA	-2,34	SISMO X	-488,92
SISMO X	578,75	SISMO Y	174,96
SISMO Y	0,6	COMB1	-174,66
COMB1	577,01	CARGA MUERTA	-488,62
CARGA MUERTA	-1,82	SISMO X	-243,9
SISMO X	-870,58	SISMO Y	174,33
SISMO Y	-3,2	COMB1	-174,06
COMB1	-875,6	CARGA MUERTA	-243,64
CARGA MUERTA	-1,35	SISMO X	1,58
SISMO X	0,68	SISMO Y	-0,25
SISMO Y	290,19	COMB1	0,97
COMB1	289,52	CARGA MUERTA	2,31
CARGA MUERTA	-2,35	SISMO X	1,44
SISMO X	-1,66	SISMO Y	-231,79
SISMO Y	-581,15	COMB1	0,11
COMB1	-585,16	CARGA MUERTA	-230,24
CARGA MUERTA	-1,86	SISMO X	1,49
SISMO X	4,96	SISMO Y	1,79
SISMO Y	872,6	COMB1	-233,51
COMB1	875,7	CARGA MUERTA	-230,22
CARGA MUERTA	-1,25	SISMO X	1,54
SISMO X	-1,45	SISMO Y	1,4
SISMO Y	291,22	COMB1	-0,83
COMB1	288,52	CARGA MUERTA	2,11
CARGA MUERTA	-2,76	SISMO X	1,43
SISMO X	0,34	SISMO Y	0,5
SISMO Y	-583,2	COMB1	-0,56
COMB1	-585,63	CARGA MUERTA	1,36
CARGA MUERTA	-0,94	SISMO X	1,57
SISMO X	-5,05	SISMO Y	-232,88
SISMO Y	876,14	COMB1	-0,03912
COMB1	870,15	CARGA MUERTA	-231,34
CARGA MUERTA	-244,39	SISMO X	0,52
SISMO X	0,46	SISMO Y	-0,24
SISMO Y	-174,82	COMB1	-232,66
COMB1	-418,75	CARGA MUERTA	-232,39
CARGA MUERTA	-489,03	SISMO X	0,53
SISMO X	-521,86	SISMO Y	0,02446
SISMO Y	-176,29	COMB1	0,02539
COMB1	-1187,18	CARGA MUERTA	0,58
CARGA MUERTA	-735,4	SISMO X	0,51
SISMO X	-519,89	SISMO Y	0,48
SISMO Y	-1052,75	SISMO Y	-232,95
COMB1	-2308,04	COMB1	-231,96
CARGA MUERTA	-244,4	CARGA MUERTA	1,38
SISMO X	175,45	SISMO X	0,57
SISMO Y	0,15	SISMO Y	-0,66
COMB1	-68,8	COMB1	1,29
CARGA MUERTA	-489,01	CARGA MUERTA	1,43
SISMO X	177,66	SISMO X	-1,03
SISMO Y	523,39	SISMO Y	-233,16
COMB1	212,04	COMB1	-232,76
CARGA MUERTA	-735,31	CARGA MUERTA	0,54
SISMO X	1055,69	SISMO X	-0,63
SISMO Y	522,68	SISMO Y	0,48
COMB1	843,06	COMB1	0,39

Aluminio 6061

Desplazamiento de las juntas [mm]

Joint	OutputCase	U1	U2	U3
Text	Text	mm	mm	mm
1	DEAD	0	0	0
1	SISMO X	0	0	0
1	SISMO Y	0	0	0
1	COMB1	0	0	0
2	DEAD	-0,019551	-0,019548	-0,026249
2	SISMO X	0,09269	0,027553	0,037229
2	SISMO Y	-0,027793	-0,092949	-0,037374
2	COMB1	0,045346	-0,084945	-0,026394
3	DEAD	-0,006683	-0,006683	-0,04371
3	SISMO X	0,202607	0,022294	0,043477
3	SISMO Y	-0,022867	-0,192205	-0,043612
3	COMB1	0,173057	-0,176594	-0,043845
5	DEAD	0	0	0
5	SISMO X	0	0	0
5	SISMO Y	0	0	0
5	COMB1	0	0	0
6	DEAD	-0,019614	-0,01948	-0,026261
6	SISMO X	0,093631	0,027504	0,037699
6	SISMO Y	0,013824	-0,104051	0,018665
6	COMB1	0,087841	-0,096027	0,030103
9	DEAD	0	0	0
9	SISMO X	0	0	0
9	SISMO Y	0	0	0
9	COMB1	0	0	0
10	DEAD	-0,019476	-0,019628	-0,026264
10	SISMO X	0,092679	-0,013549	-0,018566
10	SISMO Y	-0,027746	-0,093378	-0,037594
10	COMB1	0,045456	-0,126555	-0,082424
13	DEAD	0	0	0
13	SISMO X	0	0	0
13	SISMO Y	0	0	0
13	COMB1	0	0	0
14	DEAD	-0,019541	-0,019557	-0,026199
14	SISMO X	0,093698	-0,013463	-0,018865
14	SISMO Y	0,013784	-0,104496	0,018824
14	COMB1	0,087941	-0,137516	-0,02624
17	DEAD	-0,013032	-0,013036	-0,052421
17	SISMO X	0,278373	0,026511	0,049702
17	SISMO Y	-0,027229	-0,279209	-0,049827
17	COMB1	0,238112	-0,265734	-0,052546
18	DEAD	-0,013006	-0,013324	-0,052458
18	SISMO X	0,278342	0,00131	-0,037185
18	SISMO Y	-0,027206	-0,280651	-0,050133
18	COMB1	0,23813	-0,292664	-0,139775
19	DEAD	-0,006615	-0,006869	-0,04373
19	SISMO X	0,191571	0,000795	-0,037201
19	SISMO Y	-0,022862	-0,193142	-0,04389
19	COMB1	0,162094	-0,199216	-0,124821
20	DEAD	-0,006793	-0,006803	-0,043639
20	SISMO X	0,193531	0,000822	-0,037693
20	SISMO Y	-0,000377	-0,193174	0,037616
20	COMB1	0,186362	-0,199155	-0,043716
21	DEAD	-0,006867	-0,006615	-0,043726
21	SISMO X	0,20462	0,022318	0,044044
21	SISMO Y	-0,000375	-0,192232	0,037356
21	COMB1	0,197377	-0,176529	0,037674
22	DEAD	-0,013304	-0,013011	-0,052454
22	SISMO X	0,281263	0,0265	0,050309
22	SISMO Y	-0,000573	-0,290287	0,037361
22	COMB1	0,267385	-0,276798	0,035216
22	DEAD	-0,013279	-0,013299	-0,052383
23	SISMO X	0,281264	0,001333	-0,0377
23	SISMO Y	-0,000572	-0,291743	0,03763
23	COMB1	0,267413	-0,303709	-0,052452

Fuerzas en los miembros [N]

OutputCase	P		
Text	N		
DEAD	-206,63	DEAD	-206,37
SISMO X	880,26	SISMO X	0,39
SISMO Y	-883,69	SISMO Y	-147,61
COMB1	-624,07	COMB1	-353,59
DEAD	-412,86	DEAD	-412,96
SISMO X	147,72	SISMO X	-440,63
SISMO Y	-147,48	SISMO Y	-148,85
COMB1	-412,61	COMB1	-1002,44
DEAD	-1,15	DEAD	1,33
SISMO X	-245,42	SISMO X	-0,21
SISMO Y	-0,98	SISMO Y	0,82
COMB1	-247,55	COMB1	1,95
DEAD	-620,93	DEAD	1,26
SISMO X	891,38	SISMO X	1,51
SISMO Y	441,33	SISMO Y	-197,16
COMB1	711,78	COMB1	-194,39
DEAD	-1,98	DEAD	1,22
SISMO X	488,67	SISMO X	-195,72
SISMO Y	0,5	SISMO Y	0,09501
COMB1	487,2	COMB1	-194,4
DEAD	-1,53	DEAD	1,17
SISMO X	-735,08	SISMO X	0,48
SISMO Y	-2,7	SISMO Y	-0,56
COMB1	-739,32	COMB1	1,09
DEAD	-621	DEAD	-412,37
SISMO X	-438,97	SISMO X	-445,16
SISMO Y	-888,89	SISMO Y	444,33
COMB1	-1948,87	COMB1	-413,2
DEAD	-1,14	DEAD	1,33
SISMO X	0,57	SISMO X	-196,63
SISMO Y	245,02	SISMO Y	-0,03302
COMB1	244,46	COMB1	-195,34
DEAD	-1,98	DEAD	1,21
SISMO X	-1,4	SISMO X	0,42
SISMO Y	-490,7	SISMO Y	-0,48
COMB1	-494,08	COMB1	1,15
DEAD	-619,46	DEAD	1,3
SISMO X	-446,06	SISMO X	1,18
SISMO Y	445,08	SISMO Y	-0,7
COMB1	-620,43	COMB1	1,78
DEAD	-1,57	DEAD	1,2
SISMO X	4,19	SISMO X	-0,87
SISMO Y	736,78	SISMO Y	-196,87
COMB1	739,4	COMB1	-196,53
DEAD	-1,13	DEAD	-412,94
SISMO X	-246,62	SISMO X	150,01
SISMO Y	0,05741	SISMO Y	441,92
COMB1	-247,7	COMB1	179
DEAD	-2,41	DEAD	-206,39
SISMO X	492,07	SISMO X	148,14
SISMO Y	0,14	SISMO Y	0,13
COMB1	489,8	COMB1	-58,12
DEAD	-0,93	DEAD	0,44
SISMO X	-741,75	SISMO X	-0,21
SISMO Y	1,99	SISMO Y	-196,45
COMB1	-740,69	COMB1	-196,22
DEAD	-1,06	DEAD	0,45
SISMO X	-1,22	SISMO X	0,02062
SISMO Y	245,89	SISMO Y	0,02141
COMB1	243,62	COMB1	0,49
DEAD	-2,33	DEAD	-206,74
SISMO X	0,28	SISMO X	-0,17
SISMO Y	-492,43	SISMO Y	0,33
COMB1	-494,48	COMB1	-206,58
DEAD	-0,79	DEAD	0,43
SISMO X	-4,26	SISMO X	0,4
SISMO Y	739,77	SISMO Y	-196,69
COMB1	734,72	COMB1	-195,86
DEAD	0,46	DEAD	-205,96
SISMO X	-0,54	SISMO X	147,19
SISMO Y	0,41	SISMO Y	-146,97
COMB1	0,33	COMB1	-205,74

Pino Douglas

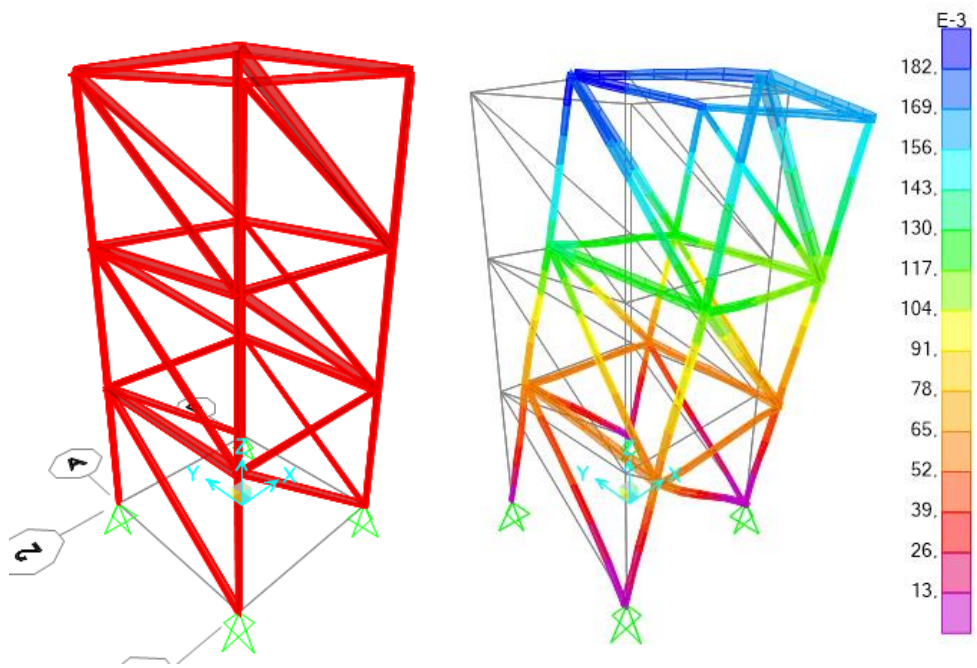
Desplazamiento de las juntas [mm]

Joint	OutputCase	U1	U2	U3
Text	Text	mm	mm	mm
1	DEAD	0	0	0
1	SISMO X	0	0	0
1	SISMO Y	0	0	0
1	COMB1	0	0	0
2	DEAD	-0,025065	-0,025065	-0,033578
2	SISMO X	0,118715	0,035381	0,0477
2	SISMO Y	-0,035346	-0,118637	-0,04768
2	COMB1	0,058303	-0,108321	-0,033559
3	DEAD	-0,008469	-0,008469	-0,055933
3	SISMO X	0,259442	0,028938	0,05568
3	SISMO Y	-0,028877	-0,245302	-0,05564
3	COMB1	0,222095	-0,224834	-0,055894
4	DEAD	-0,008415	-0,008697	-0,05597
4	SISMO X	0,245337	0,000802	-0,047649
4	SISMO Y	-0,028857	-0,247437	-0,056269
4	COMB1	0,208065	-0,255332	-0,159887
5	DEAD	0	0	0
5	SISMO X	0	0	0
5	SISMO Y	0	0	0
5	COMB1	0	0	0
6	DEAD	-0,025154	-0,025008	-0,033608
6	SISMO X	0,119643	0,035294	0,048173
6	SISMO Y	0,017455	-0,132773	0,023792
6	COMB1	0,111944	-0,122487	0,038357
7	DEAD	-0,008697	-0,008415	-0,05597
7	SISMO X	0,261435	0,028918	0,056269
7	SISMO Y	-0,000873	-0,245362	0,047655
7	COMB1	0,251864	-0,224859	0,047955
8	DEAD	-0,008639	-0,008639	-0,055875
8	SISMO X	0,247303	0,000819	-0,048164
8	SISMO Y	-0,00089	-0,247464	0,048207
8	COMB1	0,237774	-0,255284	-0,055831
9	DEAD	0	0	0
9	SISMO X	0	0	0
9	SISMO Y	0	0	0
9	COMB1	0	0	0
10	DEAD	-0,025008	-0,025154	-0,033608
10	SISMO X	0,118688	-0,017477	-0,023795
10	SISMO Y	-0,035257	-0,119624	-0,048186
10	COMB1	0,058423	-0,162256	-0,105589
11	DEAD	-0,016647	-0,017012	-0,067146
11	SISMO X	0,35641	0,00132	-0,047632
11	SISMO Y	-0,034171	-0,359527	-0,064265
11	COMB1	0,305592	-0,375219	-0,179043
12	DEAD	-0,01667	-0,01667	-0,067095
12	SISMO X	0,356454	0,034309	0,063627
12	SISMO Y	-0,034201	-0,356335	-0,063569
12	COMB1	0,305584	-0,338696	-0,067037
13	DEAD	0	0	0
13	SISMO X	0	0	0
13	SISMO Y	0	0	0
13	COMB1	0	0	0
14	DEAD	-0,025098	-0,025098	-0,03354
14	SISMO X	0,119685	-0,017398	-0,024108
14	SISMO Y	0,017375	-0,133832	0,024128
14	COMB1	0,111962	-0,176328	-0,033521
15	DEAD	-0,017012	-0,016647	-0,067146
15	SISMO X	0,359447	0,034279	0,064282
15	SISMO Y	-0,001413	-0,370485	0,047649
15	COMB1	0,341022	-0,352853	0,044785
16	DEAD	-0,016991	-0,016991	-0,067061
16	SISMO X	0,35944	0,001343	-0,048172
16	SISMO Y	-0,001437	-0,373715	0,048225
16	COMB1	0,341013	-0,389362	-0,067008

Fuerzas en los miembros [N]

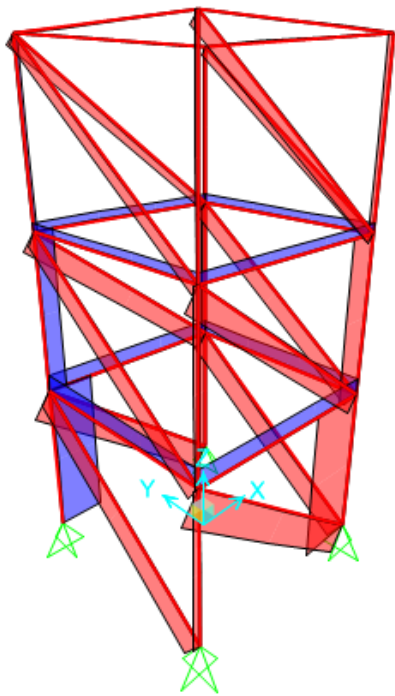
OutputCase	P		
Text	N		
DEAD		DEAD	-218,75
SISMO X	-656,64	SISMO X	-0,16
SISMO Y	932,79	SISMO Y	0,35
COMB1	-932,41	COMB1	-218,56
DEAD	-656,26	DEAD	-218,57
SISMO X	-437,15	SISMO X	156,7
SISMO Y	156,05	SISMO Y	-0,13
COMB1	-155,67	COMB1	-61,99
DEAD	-436,76	DEAD	0,8
SISMO X	-437,3	SISMO X	-0,29
SISMO Y	-466,46	SISMO Y	-0,87
COMB1	-158,07	COMB1	-0,37
DEAD	-1061,83	DEAD	0,85
SISMO X	-657,22	SISMO X	0,24
SISMO Y	942,04	SISMO Y	-0,39
COMB1	465,26	COMB1	0,7
DEAD	750,09	DEAD	0,85
SISMO X	0,85	SISMO X	-207,27
SISMO Y	-0,39	SISMO Y	-0,24
COMB1	1,3	COMB1	-206,67
DEAD	1,75	DEAD	0,8
SISMO X	0,85	SISMO X	-206,87
SISMO Y	-1,28	SISMO Y	0,3
COMB1	-207,33	COMB1	-205,77
DEAD	-207,76	DEAD	-0,84
SISMO X	-657,22	SISMO X	-259,64
SISMO Y	-465,33	SISMO Y	-1,24
COMB1	-942,3	COMB1	-261,71
DEAD	-2064,85	DEAD	-1,34
SISMO X	-437,3	SISMO X	517,31
SISMO Y	158,34	SISMO Y	0,45
COMB1	466,67	COMB1	516,42
DEAD	187,7	DEAD	-1,11
SISMO X	0,83	SISMO X	-778,53
SISMO Y	0,62	SISMO Y	-3,89
COMB1	-1,17	COMB1	-783,53
DEAD	0,27	DEAD	-0,84
SISMO X	-655,9	SISMO X	1,2
SISMO Y	-471,45	SISMO Y	258,65
COMB1	471,83	COMB1	259
DEAD	-655,52	DEAD	-1,34
SISMO X	-436,76	SISMO X	-0,34
SISMO Y	-470,41	SISMO Y	-518,36
COMB1	470,88	COMB1	-520,04
DEAD	-436,3	DEAD	-1,11
SISMO X	0,83	SISMO X	3,69
SISMO Y	1,17	SISMO Y	777,94
COMB1	-208,37	COMB1	780,52
DEAD	-206,38	DEAD	-0,76
SISMO X	-218,57	SISMO X	-261,04
SISMO Y	0,32	SISMO Y	0,98
COMB1	-156,36	COMB1	-260,82
DEAD	-374,62	DEAD	-1,74
SISMO X	-218,29	SISMO X	520,09
SISMO Y	155,42	SISMO Y	-0,31
COMB1	-155,05	COMB1	518,04
DEAD	-217,92	DEAD	-0,48
SISMO X	0,33	SISMO X	-783,92
SISMO Y	-0,65	SISMO Y	3,65
COMB1	0,44	COMB1	-780,75
DEAD	0,12	DEAD	-0,76
SISMO X	0,33	SISMO X	-0,96
SISMO Y	-0,44	SISMO Y	260,09
COMB1	-207,53	COMB1	258,38
DEAD	-207,64	DEAD	-1,74
SISMO X	0,32	SISMO X	0,19
SISMO Y	0,35	SISMO Y	-521,38
COMB1	-208,1	COMB1	-522,93
DEAD	-207,43	DEAD	-0,48
SISMO X	0,32	SISMO X	-3,46
SISMO Y	-0,09983	SISMO Y	783,64
COMB1	-0,34	COMB1	779,7
DEAD	-0,13		

Acero A36



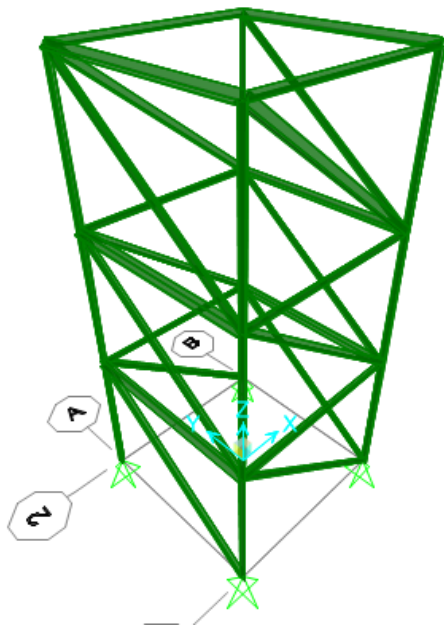
Estructura sin deformación

Estructura deformada después del sismo diseñado

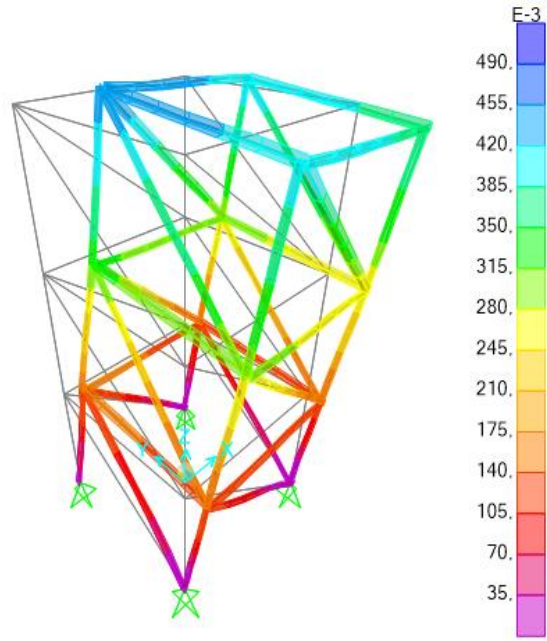


Fuerzas

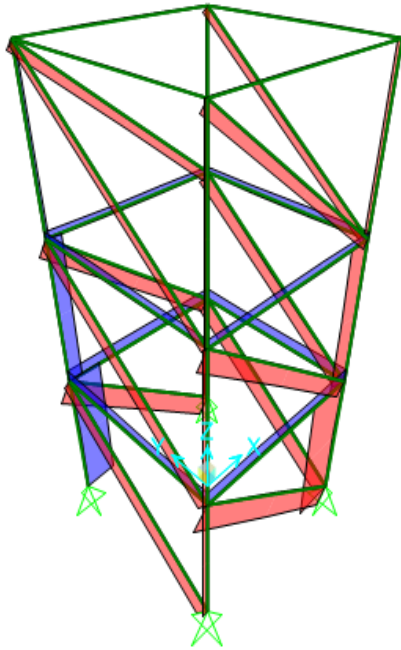
Aluminio 6061



Estructura sin deformación

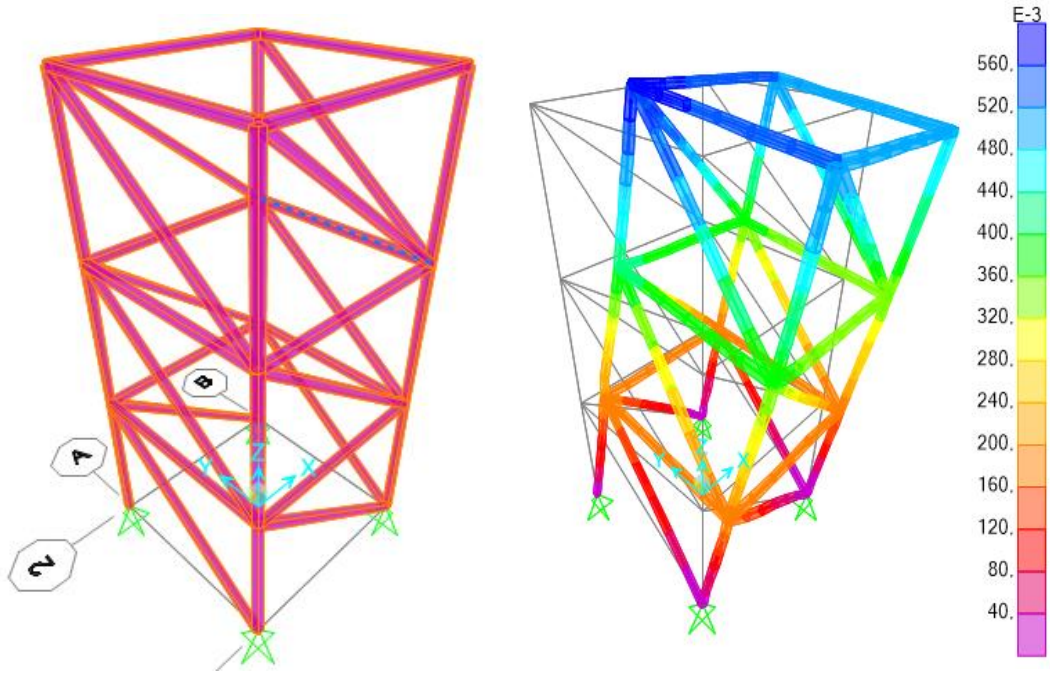


Estructura deformada después del sismo diseñado



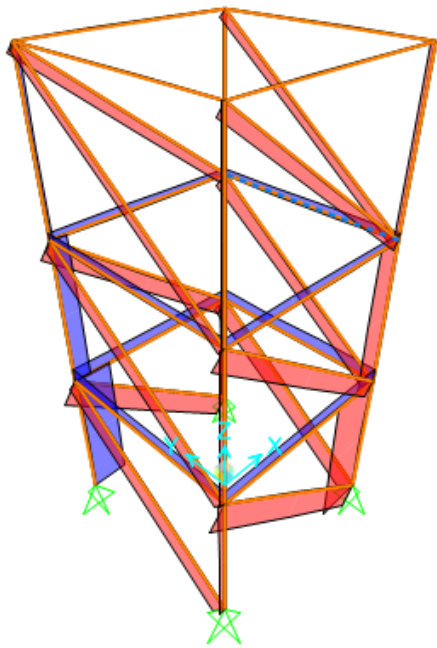
Fuerzas

Madera Pino Douglas



Estructura sin deformación

Estructura deformada después del sismo diseñado



Fuerzas

Anexo 17. Comparación de resultados entre los dos métodos utilizados

Acero A36

Desplazamiento de las juntas [mm]

	CARGA MUERTA					SISMO X			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO		EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	0,000	0,000	0,000	0,00%	1	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
2	0,000	0,000	0,000	0,00%	2	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
3	0,000	0,000	0,000	0,00%	3	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
4	0,000	0,000	0,000	0,00%	4	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
5	-0,008	-0,008	0,000	0,00%	5	0,037	0,038	0,001	2,63%
	-0,010	-0,011	0,001	9,09%		0,015	0,015	0,000	0,00%
	-0,008	-0,008	0,000	0,00%		0,011	0,011	0,000	0,00%
6	-0,008	-0,008	0,000	0,00%	6	0,037	0,038	0,001	2,63%
	-0,010	-0,011	0,001	9,09%		-0,007	-0,008	0,001	12,50%
	-0,008	-0,008	0,000	0,00%		-0,006	-0,006	0,000	0,00%
7	-0,008	-0,008	0,000	0,00%	7	0,037	0,039	0,002	5,13%
	-0,010	-0,011	0,001	9,09%		-0,007	-0,008	0,001	12,50%
	-0,008	-0,008	0,000	0,00%		-0,006	-0,006	0,000	0,00%
8	-0,008	-0,008	0,000	0,00%	8	0,037	0,039	0,002	5,13%
	-0,010	-0,011	0,001	9,09%		0,015	0,016	0,001	6,25%
	-0,008	-0,008	0,000	0,00%		0,011	0,011	0,000	0,00%
9	-0,003	-0,003	0,000	0,00%	9	0,080	0,085	0,005	5,88%
	-0,017	-0,018	0,001	5,56%		0,017	0,018	0,001	5,56%
	-0,003	-0,003	0,000	0,00%		0,009	0,009	0,000	0,00%
10	-0,003	-0,003	0,000	0,00%	10	0,076	0,079	0,003	3,80%
	-0,017	-0,018	0,001	5,56%		-0,015	-0,015	0,000	0,00%
	-0,003	-0,003	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
11	-0,003	-0,003	0,000	0,00%	11	0,076	0,084	0,008	9,52%
	-0,017	-0,018	0,001	5,56%		-0,015	-0,016	0,001	6,25%
	-0,003	-0,003	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
12	-0,003	-0,003	0,000	0,00%	12	0,076	0,080	0,004	5,00%
	-0,017	-0,018	0,001	5,56%		0,017	0,018	0,001	5,56%
	-0,003	-0,003	0,000	0,00%		0,009	0,009	0,000	0,00%
13	-0,005	-0,005	0,000	0,00%	13	0,110	0,115	0,005	4,35%
	-0,021	-0,022	0,001	4,55%		0,020	0,021	0,001	4,76%
	-0,005	-0,006	0,001	16,67%		0,011	0,011	0,000	0,00%
14	-0,005	-0,005	0,000	0,00%	14	0,110	0,115	0,005	4,35%
	-0,021	-0,022	0,001	4,55%		-0,015	-0,015	0,000	0,00%
	-0,005	-0,006	0,001	16,67%		0,000	0,000	0,000	0,00%
15	-0,005	-0,005	0,000	0,00%	15	0,110	0,117	0,007	5,98%
	-0,021	-0,022	0,001	4,55%		-0,015	-0,016	0,001	6,25%
	-0,005	-0,006	0,001	16,67%		0,000	0,000	0,000	0,00%
16	-0,005	-0,005	0,000	0,00%	16	0,110	0,117	0,007	5,98%
	-0,021	-0,022	0,001	4,55%		0,020	0,021	0,001	4,76%
	-0,005	-0,006	0,001	16,67%		0,011	0,011	0,000	0,00%
			PROMEDIO	2,99%				PROMEDIO	2,60%

	SISMO Y			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
2	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
3	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
4	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
5	0,006	0,006	0,000	0,00%
	0,007	0,008	0,001	12,50%
	-0,041	-0,043	0,002	4,65%
6	0,006	0,006	0,000	0,00%
	0,007	0,008	0,001	12,50%
	-0,041	-0,043	0,002	4,65%
7	-0,011	-0,012	0,001	8,33%
	-0,015	-0,016	0,001	6,25%
	-0,037	-0,039	0,002	5,13%
8	-0,011	-0,012	0,001	8,33%
	-0,015	-0,015	0,000	0,00%
	-0,037	-0,039	0,002	5,13%
9	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,015	0,015	0,000	0,00%
	-0,076	-0,080	0,004	5,00%
10	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,015	0,016	0,001	6,25%
	-0,076	-0,080	0,004	5,00%
11	-0,009	-0,009	0,000	0,00%
	-0,017	-0,018	0,001	5,56%
	-0,076	-0,080	0,004	5,00%
12	-0,009	-0,009	0,000	0,00%
	-0,017	-0,018	0,001	5,56%
	-0,076	-0,080	0,004	5,00%
13	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,015	0,015	0,000	0,00%
	-0,115	-0,120	0,005	4,17%
14	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,015	0,016	0,001	6,25%
	-0,115	-0,121	0,006	4,96%
15	-0,011	-0,011	0,000	0,00%
	-0,020	-0,021	0,001	4,76%
	-0,110	-0,116	0,006	5,17%
16	-0,011	-0,011	0,000	0,00%
	-0,020	-0,021	0,001	4,76%
	-0,110	-0,116	0,006	5,17%
		PROMEDIO	2,92%	

PROMEDIO TOTAL
2,84%

Fuerzas en los miembros [N]

	CARGA MUERTA					SISMO X			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO		EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	-735,75	-733,35	2,40	0,33%	1	1050,66	1042,52	8,14	0,78%
2	0,00	-0,94	0,94	0,00%	2	0,00	0,00	0,00	0,00%
3	-735,75	-733,57	2,18	0,30%	3	-525,33	-521,86	3,47	0,66%
4	0,00	0,51	0,51	0,00%	4	-875,55	-870,58	4,97	0,57%
5	0,00	0,00	0,00	0,00%	5	0,00	0,00	0,00	0,00%
6	0,00	0,00	0,00	0,00%	6	0,00	0,46	0,46	0,00%
7	-735,75	-735,31	0,44	0,06%	7	-525,33	-528,28	2,95	0,56%
8	0,00	-1,36	1,36	0,00%	8	-875,55	-878,48	2,93	0,33%
9	-735,75	-732,18	3,57	0,49%	9	1050,66	1055,69	5,03	0,48%
10	0,00	0,00	0,00	0,00%	10	0,00	0,00	0,00	0,00%
11	0,00	0,00	0,00	0,00%	11	0,00	0,00	0,00	0,00%
12	0,00	0,52	0,52	0,00%	12	0,00	0,34	0,34	0,00%
13	-490,50	-488,92	1,58	0,32%	13	175,11	174,96	0,15	0,09%
14	0,00	0,00	0,00	0,00%	14	-233,48	-232,88	0,60	0,26%
15	-490,50	-489,01	1,49	0,30%	15	-525,33	-519,89	5,44	1,05%
16	0,00	0,00	0,00	0,00%	16	583,70	578,75	4,95	0,86%
17	0,00	0,00	0,00	0,00%	17	0,00	0,00	0,00	0,00%
18	-490,50	-489,03	1,47	0,30%	18	-525,33	-527,22	1,89	0,36%
19	0,00	0,00	0,00	0,00%	19	0,00	0,48	0,48	0,00%
20	0,00	0,00	0,00	0,00%	20	0,00	0,57	0,57	0,00%
21	-490,50	-488,33	2,17	0,44%	21	175,11	175,45	0,34	0,19%
22	0,00	0,00	0,00	0,00%	22	583,70	582,77	0,93	0,16%
23	0,00	0,00	0,00	0,00%	23	0,00	0,00	0,00	0,00%
24	0,00	0,00	0,00	0,00%	24	0,00	-1,03	1,03	0,00%
25	-245,25	-244,82	0,43	0,18%	25	175,11	174,33	0,78	0,45%
26	0,00	0,00	0,00	0,00%	26	0,00	-1,66	1,66	0,00%
27	-245,25	-244,40	0,85	0,35%	27	0,00	-0,63	0,63	0,00%
28	0,00	-1,25	1,25	0,00%	28	-291,85	-290,66	1,19	0,41%
29	0,00	0,00	0,00	0,00%	29	0,00	0,00	0,00	0,00%
30	0,00	-1,10	1,10	0,00%	30	0,00	-0,25	0,25	0,00%
31	-245,25	-244,39	0,86	0,35%	31	0,00	-1,45	1,45	0,00%
32	0,00	0,53	0,53	0,00%	32	-291,85	-292,08	0,23	0,08%
33	-245,25	-243,90	1,35	0,55%	33	175,11	177,66	2,55	1,44%
34	0,00	0,00	0,00	0,00%	34	0,00	0,00	0,00	0,00%
35	0,00	0,54	0,54	0,00%	35	0,00	0,00	0,00	0,00%
36	0,00	-1,35	1,35	0,00%	36	0,00	0,50	0,50	0,00%
37	0,00	0,00	0,00	0,00%	37	0,00	-0,24	0,24	0,00%
38	-735,75	-732,77	2,98	0,41%	38	1050,66	1042,52	8,14	0,78%
39	0,00	0,00	0,00	0,00%	39	0,00	0,00	0,00	0,00%
40	0,00	0,00	0,00	0,00%	40	0,00	-0,20	0,20	0,00%
41	-735,75	-734,96	0,79	0,11%	41	-1050,66	-1054,73	4,07	0,39%
42	0,00	0,00	0,00	0,00%	42	700,44	701,18	0,74	0,11%
43	0,00	0,00	0,00	0,00%	43	0,00	0,00	0,00	0,00%
44	-735,75	-735,40	0,35	0,05%	44	-1050,66	-1054,73	4,07	0,39%
45	0,00	0,00	0,00	0,00%	45	700,44	701,39	0,95	0,14%
46	0,00	0,00	0,00	0,00%	46	0,00	0,00	0,00	0,00%
47	-735,75	-731,60	4,15	0,57%	47	1050,66	1058,80	8,14	0,77%
48	0,00	0,00	0,00	0,00%	48	0,00	0,00	0,00	0,00%
			PROMEDIO	0,11%				PROMEDIO	0,23%

			SISMO Y	
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	525,33	522,68	2,65	0,51%
2	0,00	0,07	0,07	0,00%
3	525,33	527,13	1,80	0,34%
4	0,00	0,15	0,15	0,00%
5	-233,48	-233,16	0,32	0,14%
6	875,55	876,14	0,59	0,07%
7	-1050,66	-1046,59	4,07	0,39%
8	0,00	-1,16	1,16	0,00%
9	-1050,66	-1040,43	10,23	0,98%
10	0,00	-0,04	0,04	0,00%
11	-233,48	-233,51	0,03	0,01%
12	875,55	872,60	2,95	0,34%
13	525,33	523,39	1,94	0,37%
14	0,00	0,03	0,03	0,00%
15	525,33	526,23	0,90	0,17%
16	0,00	0,07	0,07	0,00%
17	0,00	-3,20	3,20	0,00%
18	-175,11	-176,29	1,18	0,67%
19	-583,70	-583,20	0,50	0,09%
20	0,00	0,11	0,11	0,00%
21	-175,11	-174,06	1,05	0,60%
22	0,00	0,48	0,48	0,00%
23	0,00	0,97	0,97	0,00%
24	-583,70	-581,15	2,55	0,44%
25	0,00	0,17	0,17	0,00%
26	0,00	0,15	0,15	0,00%
27	0,00	0,39	0,39	0,00%
28	0,00	0,11	0,11	0,00%
29	-233,48	-232,95	0,53	0,23%
30	291,85	291,22	0,63	0,22%
31	-175,11	-174,82	0,29	0,17%
32	0,00	-0,66	0,66	0,00%
33	-175,11	-174,66	0,45	0,26%
34	0,00	-0,83	0,83	0,00%
35	-233,48	-232,66	0,82	0,35%
36	291,85	290,19	1,66	0,57%
37	-700,44	-701,77	1,33	0,19%
38	1050,66	1052,75	2,09	0,20%
39	0,00	0,17	0,17	0,00%
40	-700,44	-703,24	2,80	0,40%
41	1050,66	1052,75	2,09	0,20%
42	0,00	-0,56	0,56	0,00%
43	0,00	0,39	0,39	0,00%
44	-1050,66	-1052,75	2,09	0,20%
45	0,00	0,60	0,60	0,00%
46	0,00	0,48	0,48	0,00%
47	-1050,66	-1034,27	16,39	1,58%
48	0,00	0,03	0,03	0,00%
			PROMEDIO	0,20%

PROMEDIO TOTAL
0,18%

Aluminio 6061

Desplazamiento de las juntas [mm]

	CARGA MUERTA					SISMO X			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO		EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	0,000	0,000	0,000	0,00%	1	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,001	0,001	0,00%	
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
2	0,000	0,000	0,000	0,00%	2	0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
3	0,000	0,000	0,000	0,00%	3	0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
4	0,000	0,000	0,000	0,00%	4	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,001	0,001	0,00%	
	0,000	0,000	0,000	0,00%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
5	-0,019	-0,020	0,001	4,55%	5	0,089	0,093	0,004	4,38%
	-0,025	-0,026	0,001	4,95%	0,036	0,037	0,002	4,26%	
	-0,019	-0,020	0,001	4,27%	0,027	0,027	0,000	0,88%	
6	-0,019	-0,020	0,001	4,61%	6	0,089	0,093	0,004	4,39%
	-0,025	-0,026	0,001	4,90%	-0,018	-0,019	0,001	5,52%	
	-0,019	-0,019	0,001	3,89%	-0,013	-0,014	0,000	1,35%	
7	-0,019	-0,020	0,001	4,22%	7	0,089	0,094	0,005	5,36%
	-0,025	-0,026	0,001	4,71%	-0,018	-0,019	0,001	4,00%	
	-0,019	-0,019	0,001	3,87%	-0,013	-0,013	0,000	0,72%	
8	-0,019	-0,020	0,001	4,19%	8	0,089	0,094	0,005	5,42%
	-0,025	-0,026	0,001	4,94%	0,036	0,038	0,002	5,45%	
	-0,019	-0,020	0,001	4,24%	0,027	0,027	0,000	0,84%	
9	-0,006	-0,007	0,001	9,12%	9	0,194	0,205	0,011	5,24%
	-0,042	-0,044	0,002	4,86%	0,042	0,043	0,002	4,35%	
	-0,006	-0,007	0,000	6,62%	0,022	0,022	0,000	0,08%	
10	-0,006	-0,007	0,001	8,26%	10	0,183	0,192	0,008	4,30%
	-0,042	-0,044	0,002	4,81%	-0,036	-0,038	0,002	5,45%	
	-0,006	-0,007	0,000	5,66%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
11	-0,006	-0,007	0,001	9,15%	11	0,183	0,203	0,019	9,51%
	-0,042	-0,044	0,002	4,66%	-0,036	-0,037	0,002	4,18%	
	-0,006	-0,007	0,000	5,66%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
12	-0,006	-0,007	0,001	8,13%	12	0,183	0,194	0,010	5,27%
	-0,042	-0,044	0,002	4,85%	0,042	0,044	0,002	5,58%	
	-0,006	-0,007	0,000	6,62%	0,022	0,022	0,000	0,18%	
13	-0,012	-0,013	0,001	6,18%	13	0,266	0,278	0,012	4,31%
	-0,050	-0,052	0,003	4,83%	0,048	0,050	0,002	4,38%	
	-0,012	-0,013	0,001	4,25%	0,027	0,028	0,001	2,80%	
14	-0,012	-0,013	0,001	6,32%	14	0,266	0,278	0,012	4,32%
	-0,050	-0,052	0,002	4,76%	-0,036	-0,038	0,002	5,43%	
	-0,012	-0,013	0,001	4,07%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
15	-0,012	-0,013	0,001	6,15%	15	0,266	0,281	0,015	5,30%
	-0,050	-0,052	0,002	4,69%	-0,036	-0,037	0,002	4,14%	
	-0,012	-0,013	0,001	4,03%	0,000	0,000	0,000	0,00%	
16	-0,012	-0,013	0,001	6,01%	16	0,266	0,281	0,015	5,30%
	-0,050	-0,052	0,003	4,82%	0,048	0,050	0,003	5,53%	
	-0,012	-0,013	0,001	4,22%	0,027	0,028	0,001	2,98%	
			PROMEDIO	4,00%				PROMEDIO	2,73%

	SISMO Y			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
2	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
3	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	-0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
4	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	-0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
5	0,013	0,014	0,000	3,03%
	0,018	0,019	0,001	5,32%
	-0,099	-0,104	0,005	5,09%
6	0,013	0,014	0,000	3,31%
	0,018	0,019	0,001	4,51%
	-0,099	-0,104	0,005	4,68%
7	-0,027	-0,027	0,000	1,82%
	-0,036	-0,037	0,002	4,63%
	-0,089	-0,093	0,004	4,66%
8	-0,027	-0,027	0,000	1,74%
	-0,036	-0,038	0,002	5,18%
	-0,089	-0,093	0,005	5,10%
9	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,036	0,038	0,002	5,24%
	-0,183	-0,193	0,010	5,09%
10	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,036	0,037	0,002	4,58%
	-0,183	-0,192	0,009	4,63%
11	-0,022	-0,023	0,001	2,58%
	-0,042	-0,044	0,002	4,65%
	-0,183	-0,192	0,009	4,61%
12	-0,022	-0,023	0,001	2,56%
	-0,042	-0,044	0,002	5,25%
	-0,183	-0,193	0,010	5,08%
13	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,036	0,038	0,002	5,28%
	-0,277	-0,292	0,015	5,09%
14	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,036	0,037	0,002	4,59%
	-0,277	-0,290	0,013	4,61%
15	-0,027	-0,028	0,001	3,81%
	-0,048	-0,050	0,002	4,62%
	-0,266	-0,279	0,013	4,61%
16	-0,027	-0,028	0,001	3,65%
	-0,048	-0,050	0,003	5,20%
	-0,266	-0,281	0,014	5,10%
			PROMEDIO	2,91%

PROMEDIO TOTAL
3,22%

Fuerzas en los miembros [N]

		DEAD						SISMO X			
		EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO			EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	-621,30	-621,97	0,67	0,11%	1	887,13	880,26	6,87	0,78%		
2	0,00	-1,13	1,13	0,00%	2	0,00	-1,22	1,22	0,00%		
3	-621,30	-620,63	0,67	0,11%	3	-443,57	-445,16	1,60	0,36%		
4	0,00	1,33	1,33	0,00%	4	-739,28	-741,75	2,48	0,33%		
5	0,00	-0,79	0,79	0,00%	5	0,00	-0,87	0,87	0,00%		
6	0,00	-1,06	1,06	0,00%	6	0,00	-0,54	0,54	0,00%		
7	-621,30	-620,63	0,67	0,11%	7	-443,57	-438,97	4,60	1,05%		
8	0,00	1,22	1,22	0,00%	8	-739,28	-735,08	4,20	0,57%		
9	-621,30	-621,00	0,30	0,05%	9	887,13	891,38	4,25	0,48%		
10	0,00	-0,76	0,76	0,00%	10	0,00	-0,47	0,47	0,00%		
11	0,00	-0,75	0,75	0,00%	11	0,00	-0,32	0,32	0,00%		
12	0,00	1,30	1,30	0,00%	12	0,00	-195,72	195,72	0,00%		
13	-414,20	-412,86	1,34	0,32%	13	147,86	147,19	0,67	0,45%		
14	0,00	-0,20	0,20	0,00%	14	-197,14	-196,63	0,51	0,26%		
15	-414,20	-412,96	1,24	0,30%	15	-443,57	-446,06	2,50	0,56%		
16	0,00	-1,98	1,98	0,00%	16	492,85	488,67	4,18	0,86%		
17	0,00	1,20	1,20	0,00%	17	0,00	-4,26	4,26	0,00%		
18	-414,20	-412,37	1,83	0,44%	18	-443,57	-440,63	2,94	0,67%		
19	0,00	0,52	0,52	0,00%	19	0,00	0,57	0,57	0,00%		
20	0,00	-1,98	1,98	0,00%	20	0,00	3,08	3,08	0,00%		
21	-414,20	-412,94	1,26	0,31%	21	147,86	150,01	2,16	1,44%		
22	0,00	1,26	1,26	0,00%	22	492,85	492,07	0,78	0,16%		
23	0,00	-0,93	0,93	0,00%	23	0,00	-1,40	1,40	0,00%		
24	0,00	1,21	1,21	0,00%	24	0,00	-0,25	0,25	0,00%		
25	-207,10	-206,74	0,36	0,17%	25	147,86	147,72	0,14	0,09%		
26	0,00	-1,53	1,53	0,00%	26	0,00	4,19	4,19	0,00%		
27	-207,10	-205,96	1,14	0,55%	27	0,00	-0,21	0,21	0,00%		
28	0,00	1,33	1,33	0,00%	28	-246,43	-245,42	1,01	0,41%		
29	0,00	-0,13	0,13	0,00%	29	0,00	-0,21	0,21	0,00%		
30	0,00	1,17	1,17	0,00%	30	0,00	-3,07	3,07	0,00%		
31	-207,10	-206,37	0,73	0,35%	31	0,00	1,18	1,18	0,00%		
32	0,00	-2,33	2,33	0,00%	32	-246,43	-246,62	0,20	0,08%		
33	-207,10	-206,39	0,71	0,34%	33	147,86	148,14	0,29	0,19%		
34	0,00	0,43	0,43	0,00%	34	0,00	-0,17	0,17	0,00%		
35	0,00	0,43	0,43	0,00%	35	0,00	0,02	0,02	0,00%		
36	0,00	-1,15	1,15	0,00%	36	0,00	0,24	0,24	0,00%		
37	0,00	-1,57	1,57	0,00%	37	0,00	1,51	1,51	0,00%		
38	-621,30	-621,97	0,67	0,11%	38	887,13	880,26	6,87	0,78%		
39	0,00	0,43	0,43	0,00%	39	0,00	0,28	0,28	0,00%		
40	0,00	0,46	0,46	0,00%	40	0,00	0,48	0,48	0,00%		
41	-621,30	-620,63	0,67	0,11%	41	-887,13	-894,00	6,87	0,77%		
42	0,00	-2,41	2,41	0,00%	42	591,42	588,27	3,15	0,54%		
43	0,00	0,44	0,44	0,00%	43	0,00	0,39	0,39	0,00%		
44	-621,30	-619,46	1,84	0,30%	44	-887,13	-880,26	6,87	0,78%		
45	0,00	-1,14	1,14	0,00%	45	591,42	593,78	2,36	0,40%		
46	0,00	0,45	0,45	0,00%	46	0,00	0,40	0,40	0,00%		
47	-621,30	-620,93	0,37	0,06%	47	887,13	894,00	6,87	0,77%		
48	0,00	0,46	0,46	0,00%	48	0,00	0,42	0,42	0,00%		
				PROMEDIO	0,08%					PROMEDIO	0,27%

	SISMO Y			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	443,57	445,08	1,52	0,34%
2	0,00	-0,56	0,56	0,00%
3	443,57	441,33	2,24	0,51%
4	0,00	-2,70	2,70	0,00%
5	-197,14	-196,69	0,45	0,23%
6	739,27	736,78	2,50	0,34%
7	-887,13	-883,69	3,44	0,39%
8	0,00	0,50	0,50	0,00%
9	-887,13	-890,57	3,44	0,39%
10	0,00	-0,48	0,48	0,00%
11	-197,14	-196,87	0,27	0,14%
12	739,28	739,77	0,50	0,07%
13	443,57	444,33	0,77	0,17%
14	0,00	-0,16	0,16	0,00%
15	443,57	441,92	1,65	0,37%
16	0,00	0,82	0,82	0,00%
17	0,00	-0,03	0,03	0,00%
18	-147,85	-146,97	0,89	0,60%
19	-492,85	-490,70	2,15	0,44%
20	0,00	0,02	0,02	0,00%
21	-147,86	-148,85	1,00	0,67%
22	0,00	-0,98	0,98	0,00%
23	0,00	0,06	0,06	0,00%
24	-492,85	-492,43	0,42	0,09%
25	0,00	1,99	1,99	0,00%
26	0,00	0,45	0,45	0,00%
27	0,00	0,10	0,10	0,00%
28	0,00	1,44	1,44	0,00%
29	-197,14	-196,45	0,69	0,35%
30	246,43	245,02	1,41	0,57%
31	-147,86	-147,48	0,38	0,25%
32	0,00	-0,70	0,70	0,00%
33	-147,86	-147,61	0,25	0,17%
34	0,00	0,13	0,13	0,00%
35	-197,14	-197,16	0,02	0,01%
36	246,43	245,89	0,54	0,22%
37	-591,42	-589,72	1,70	0,29%
38	887,13	890,57	3,44	0,39%
39	0,00	0,14	0,14	0,00%
40	-591,42	-592,22	0,80	0,14%
41	887,13	883,69	3,44	0,39%
42	0,00	0,47	0,47	0,00%
43	0,00	0,33	0,33	0,00%
44	-887,13	-883,69	3,44	0,39%
45	0,00	-1,72	1,72	0,00%
46	0,00	0,41	0,41	0,00%
47	-887,13	-888,89	1,76	0,20%
48	0,00	0,42	0,42	0,00%
			PROMEDIO	0,17%

PROMEDIO TOTAL
0,17%

Pino Douglas

Desplazamiento de las juntas [mm]

	CARGA MUERTA					SISMO X			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO		EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	0,000	0,000	0,000	0,00%	1	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
2	0,000	0,000	0,000	0,00%	2	0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
3	0,000	0,000	0,000	0,00%	3	0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
4	0,000	0,000	0,000	0,00%	4	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%		0,000	0,000	0,000	0,00%
5	-0,025	-0,025	0,000	0,57%	5	0,119	0,119	0,001	0,55%
	-0,034	-0,034	0,000	0,23%		0,048	0,048	0,000	0,64%
	-0,025	-0,025	0,000	0,22%		0,036	0,034	0,002	5,01%
6	-0,025	-0,025	0,000	0,57%	6	0,119	0,119	0,001	0,53%
	-0,034	-0,034	0,000	0,12%		-0,024	-0,024	0,000	0,42%
	-0,025	-0,025	0,000	0,80%		-0,018	-0,017	0,001	2,98%
7	-0,025	-0,025	0,000	0,44%	7	0,119	0,120	0,000	0,25%
	-0,034	-0,034	0,000	0,03%		-0,024	-0,024	0,000	0,89%
	-0,025	-0,025	0,000	0,80%		-0,018	-0,017	0,001	3,45%
8	-0,025	-0,025	0,000	0,44%	8	0,119	0,120	0,000	0,29%
	-0,034	-0,034	0,000	0,03%		0,048	0,048	0,000	0,35%
	-0,025	-0,025	0,000	0,22%		0,036	0,034	0,002	4,92%
9	-0,008	-0,008	0,000	0,14%	9	0,261	0,261	0,000	0,12%
	-0,056	-0,056	0,000	0,27%		0,056	0,056	0,000	0,58%
	-0,008	-0,009	0,000	3,38%		0,030	0,029	0,001	3,73%
10	-0,008	-0,008	0,000	0,78%	10	0,247	0,245	0,002	0,63%
	-0,056	-0,056	0,000	0,17%		-0,048	-0,048	0,000	0,35%
	-0,008	-0,008	0,000	0,78%		0,000	0,000	0,000	0,00%
11	-0,008	-0,009	0,000	2,73%	11	0,247	0,247	0,000	0,17%
	-0,056	-0,056	0,000	0,10%		-0,048	-0,048	0,000	0,74%
	-0,008	-0,008	0,000	0,14%		0,000	0,000	0,000	0,00%
12	-0,008	-0,009	0,000	2,73%	12	0,247	0,259	0,013	4,84%
	-0,056	-0,056	0,000	0,10%		0,056	0,056	0,000	0,47%
	-0,008	-0,009	0,000	3,38%		0,030	0,029	0,001	3,66%
13	-0,017	-0,017	0,000	0,95%	13	0,359	0,356	0,002	0,62%
	-0,067	-0,067	0,000	0,20%		0,064	0,064	0,000	0,59%
	-0,017	-0,017	0,000	1,21%		0,036	0,035	0,001	1,99%
14	-0,017	-0,017	0,000	0,82%	14	0,359	0,356	0,002	0,63%
	-0,067	-0,067	0,000	0,25%		-0,048	-0,048	0,000	0,33%
	-0,017	-0,017	0,000	0,95%		0,000	0,000	0,000	0,00%
15	-0,017	-0,017	0,000	1,09%	15	0,359	0,359	0,001	0,21%
	-0,067	-0,067	0,000	0,12%		-0,048	-0,048	0,000	0,78%
	-0,017	-0,017	0,000	0,82%		0,000	0,000	0,000	0,00%
16	-0,017	-0,017	0,000	1,09%	16	0,359	0,359	0,001	0,22%
	-0,067	-0,067	0,000	0,12%		0,064	0,064	0,000	0,44%
	-0,017	-0,017	0,000	1,21%		0,036	0,035	0,001	1,74%
			PROMEDIO	0,58%				PROMEDIO	0,90%

	SISMO Y			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	-0,001	0,001	0,00%
2	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	-0,001	0,001	0,00%
3	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	-0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
4	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,000	-0,001	0,001	0,00%
	0,000	0,000	0,000	0,00%
5	0,018	0,017	0,001	3,11%
	0,024	0,024	0,000	0,51%
	-0,134	-0,134	0,000	0,20%
6	0,018	0,017	0,001	3,59%
	0,024	0,024	0,000	0,90%
	-0,134	-0,133	0,001	0,59%
7	-0,036	-0,034	0,002	5,25%
	-0,048	-0,048	0,000	0,68%
	-0,119	-0,119	0,001	0,59%
8	-0,036	-0,034	0,002	5,34%
	-0,048	-0,048	0,000	0,38%
	-0,119	-0,120	0,000	0,24%
9	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,048	0,048	0,000	0,42%
	-0,247	-0,247	0,001	0,23%
10	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,048	0,048	0,000	0,74%
	-0,247	-0,245	0,002	0,65%
11	-0,030	-0,029	0,001	3,95%
	-0,056	-0,056	0,000	0,65%
	-0,247	-0,245	0,002	0,62%
12	-0,030	-0,029	0,001	3,88%
	-0,056	-0,056	0,000	0,47%
	-0,247	-0,247	0,001	0,22%
13	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,048	0,048	0,000	0,46%
	-0,373	-0,374	0,001	0,22%
14	0,000	0,000	0,000	0,00%
	0,048	0,048	0,000	0,73%
	-0,373	-0,370	0,002	0,65%
15	-0,036	-0,035	0,001	1,84%
	-0,064	-0,064	0,000	0,68%
	-0,359	-0,356	0,002	0,66%
16	-0,036	-0,035	0,001	2,10%
	-0,064	-0,064	0,000	0,41%
	-0,359	-0,360	0,001	0,24%
			PROMEDIO	0,86%

PROMEDIO TOTAL
0,78%

Fuerzas en los miembros [N]

		CARGA MUERTA					SISMO X		
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO		EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	-657,30	-657,96	0,66	0,10%	1	938,56	932,79	5,78	0,62%
2	0,00	-0,84	0,84	0,00%	2	0,00	-0,39	0,39	0,00%
3	-657,30	-656,64	0,66	0,10%	3	-469,28	-466,46	2,82	0,60%
4	0,00	-1,11	1,11	0,00%	4	-782,14	-778,53	3,61	0,46%
5	0,00	-0,48	0,48	0,00%	5	0,00	-0,34	0,34	0,00%
6	0,00	-1,74	1,74	0,00%	6	0,00	-2,56	2,56	0,00%
7	-657,30	-655,90	1,40	0,21%	7	-469,28	-465,33	3,95	0,85%
8	0,00	-0,84	0,84	0,00%	8	-782,14	-783,92	1,78	0,23%
9	-657,30	-656,64	0,66	0,10%	9	938,57	942,04	3,48	0,37%
10	0,00	-0,48	0,48	0,00%	10	0,00	-0,29	0,29	0,00%
11	0,00	-0,01	0,01	0,00%	11	0,00	-0,28	0,28	0,00%
12	0,00	0,80	0,80	0,00%	12	0,00	-0,44	0,44	0,00%
13	-438,20	-437,15	1,05	0,24%	13	156,43	156,70	0,27	0,17%
14	0,00	-0,76	0,76	0,00%	14	-208,57	-207,27	1,30	0,63%
15	-438,20	-436,76	1,44	0,33%	15	-469,28	-471,45	2,17	0,46%
16	0,00	-0,01	0,01	0,00%	16	521,42	517,31	4,12	0,80%
17	0,00	-1,34	1,34	0,00%	17	0,00	-0,21	0,21	0,00%
18	-438,20	-437,30	0,90	0,21%	18	-469,28	-470,41	1,13	0,24%
19	0,00	0,85	0,85	0,00%	19	0,00	1,20	1,20	0,00%
20	0,00	0,85	0,85	0,00%	20	0,00	-206,87	206,87	0,00%
21	-438,20	-437,30	0,90	0,21%	21	156,43	158,34	1,91	1,21%
22	0,00	0,80	0,80	0,00%	22	521,43	520,09	1,34	0,26%
23	0,00	-0,59	0,59	0,00%	23	0,00	-0,16	0,16	0,00%
24	0,00	-1,11	1,11	0,00%	24	0,00	3,69	3,69	0,00%
25	-219,10	-218,57	0,53	0,24%	25	156,43	155,42	1,01	0,65%
26	0,00	-1,34	1,34	0,00%	26	0,00	-3,46	3,46	0,00%
27	-219,10	-218,29	0,81	0,37%	27	0,00	-0,10	0,10	0,00%
28	0,00	0,25	0,25	0,00%	28	-260,71	-261,04	0,33	0,13%
29	0,00	0,35	0,35	0,00%	29	0,00	0,19	0,19	0,00%
30	0,00	-1,74	1,74	0,00%	30	0,00	-0,65	0,65	0,00%
31	-219,10	-218,57	0,53	0,24%	31	0,00	0,24	0,24	0,00%
32	0,00	-0,76	0,76	0,00%	32	-260,71	-259,64	1,07	0,41%
33	-219,10	-218,75	0,35	0,16%	33	156,43	156,05	0,38	0,24%
34	0,00	0,85	0,85	0,00%	34	0,00	0,24	0,24	0,00%
35	0,00	0,25	0,25	0,00%	35	0,00	-1,28	1,28	0,00%
36	0,00	0,83	0,83	0,00%	36	0,00	-0,96	0,96	0,00%
37	0,00	-0,59	0,59	0,00%	37	0,00	-0,39	0,39	0,00%
38	-657,30	-657,96	0,66	0,10%	38	938,56	932,79	5,78	0,62%
39	0,00	0,32	0,32	0,00%	39	0,00	0,32	0,32	0,00%
40	0,00	0,85	0,85	0,00%	40	0,00	2,60	2,60	0,00%
41	-657,30	-657,22	0,08	0,01%	41	-938,57	-944,34	5,78	0,61%
42	0,00	0,35	0,35	0,00%	42	625,71	623,18	2,53	0,41%
43	0,00	0,32	0,32	0,00%	43	0,00	0,35	0,35	0,00%
44	-657,30	-656,64	0,66	0,10%	44	-938,56	-932,79	5,78	0,62%
45	0,00	0,83	0,83	0,00%	45	625,71	627,64	1,93	0,31%
46	0,00	0,33	0,33	0,00%	46	0,00	0,62	0,62	0,00%
47	-657,30	-657,22	0,08	0,01%	47	938,57	944,34	5,78	0,61%
48	0,00	0,33	0,33	0,00%	48	0,00	1,17	1,17	0,00%
			PROMEDIO	0,06%				PROMEDIO	0,24%

	SISMO Y			
	EXCEL	SAP2000	E. ABSOLUTO	E. RELATIVO
1	469,28	470,88	1,60	0,34%
2	0,00	-1,24	1,24	0,00%
3	469,28	465,26	4,02	0,86%
4	0,00	0,44	0,44	0,00%
5	-208,57	-208,10	0,47	0,23%
6	782,14	777,94	4,20	0,54%
7	-938,56	-932,41	6,16	0,66%
8	0,00	-3,89	3,89	0,00%
9	-938,57	-944,72	6,16	0,65%
10	0,00	-0,39	0,39	0,00%
11	-208,57	-207,53	1,04	0,50%
12	782,14	783,64	1,50	0,19%
13	469,28	471,83	2,55	0,54%
14	0,00	-0,34	0,34	0,00%
15	469,28	466,67	2,61	0,56%
16	0,00	-2,76	2,76	0,00%
17	0,00	3,65	3,65	0,00%
18	-156,43	-155,67	0,76	0,49%
19	-521,42	-518,36	3,07	0,59%
20	0,00	0,45	0,45	0,00%
21	-156,43	-156,36	0,07	0,04%
22	0,00	0,47	0,47	0,00%
23	0,00	-0,31	0,31	0,00%
24	-521,43	-521,38	0,05	0,01%
25	0,00	-0,24	0,24	0,00%
26	0,00	0,98	0,98	0,00%
27	0,00	1,30	1,30	0,00%
28	0,00	-1,17	1,17	0,00%
29	-208,57	-208,37	0,20	0,10%
30	260,71	258,65	2,06	0,80%
31	-156,43	-155,05	1,38	0,89%
32	0,00	-0,24	0,24	0,00%
33	-156,43	-158,07	1,64	1,04%
34	0,00	-0,13	0,13	0,00%
35	-208,57	-207,33	1,24	0,60%
36	260,71	260,09	0,62	0,24%
37	-625,71	-622,96	2,75	0,44%
38	938,57	944,72	6,16	0,65%
39	0,00	0,27	0,27	0,00%
40	-625,71	-627,72	2,01	0,32%
41	938,56	932,41	6,16	0,66%
42	0,00	-0,87	0,87	0,00%
43	0,00	0,28	0,28	0,00%
44	-938,56	-932,41	6,16	0,66%
45	0,00	2,72	2,72	0,00%
46	0,00	0,30	0,30	0,00%
47	-938,57	-942,30	3,74	0,40%
48	0,00	0,35	0,35	0,00%
49	-392,40	-391,98	0,42	0,11%
			PROMEDIO	0,27%

PROMEDIO TOTAL
0,19%

LABORATORY ACCELEROMETER FOR HIGH VIBRATION LEVELS

10 mV/g OUTPUT TO 500 g

ACC103



- ✓ Ideal for Laboratory Shake Testing
- ✓ High Shock/Acceleration Range Up to ± 500 g
- ✓ Fast Turn-On Time (1 s)

At only 15 grams, the ACC103 laboratory accelerometer is ideal for applications in which low weight is critical, such as shake tests and vibration labs. It has a 10 mV/g output and can measure vibrations up to 500 g.

SPECIFICATIONS

Frequency Response: 1 Hz to 10 kHz (up to $\pm 10\%$ rated output shift)

Rated Output: 10 mV/g nominal @ 100 Hz

Frequency Range: 2 Hz to 10 kHz (up to $\pm 5\%$ rated output shift)

Amplitude Range: ± 500 g peak

Amplitude Linearity: $\pm 2\%$ up to 500 g peak

Temperature Range: -60 to 120°C (-60 to 250°F)

Temperature Sensitivity Effect: 0.06% FS/°F

Discharge Time Constant: 0.5 s minimum

Transverse Sensitivity: 5% of axial maximum

Strain Sensitivity: 0.001 g per microstrain @ 25°/μr

Maximum g Without Clipping: ± 1000 g

Mounted Resonance Frequency: > 40 kHz

Output Impedance: 100 Ω

Bias Voltage: 10V nominal

Base Strain: 0.03 g/microstrain nominal

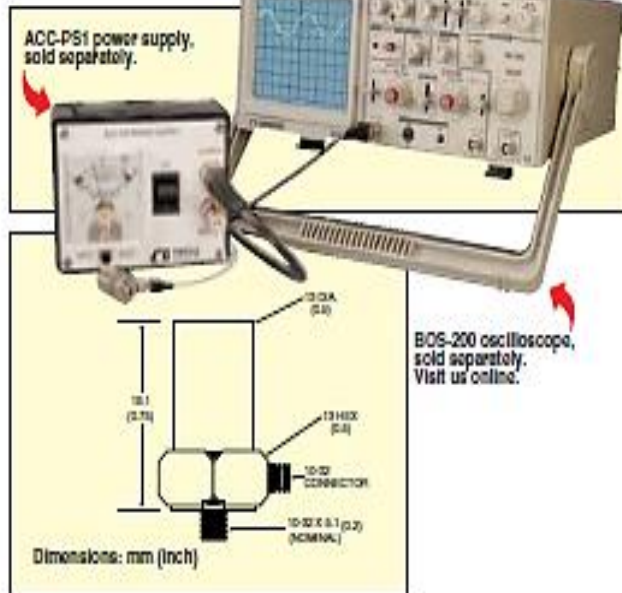
Noise Floor (Wideband): 0.007 g (rms)

Weight: 1.5 g (0.05 oz) nominal (without cable)

Material: Stainless steel

Dimensions: 7.11 H x 6.35 mm hex base (0.28 x 0.25")

Connector: 10-32 male, cable not included (order model no. ACC-CB2-10)



To Order

MODEL NO.	DESCRIPTION
ACC103	Accelerometer for high vibration levels
ACC-CB2-10	3 m (10') coaxial cable (10-32/BNCM) required

ACCESSORIES

MODEL NO.	DESCRIPTION
MAGNET2	Magnetic mounting base (10 lb holding force) 10.1 Dia. x 10.1 mm high (0.75 x .75")
POWER SUPPLIES	
ACC-PS1	Battery power supply/amplifier (BNC/F connections)
ACC-PS2	Battery power supply/amplifier (BNC/F connections)
ACC-PS3	AC power supply/amplifier (BNC/F connections)
INTERFACE CABLES USED BETWEEN POWER SUPPLY AND INSTRUMENTATION	
ACC-CB4-15	4.6 m (15') coaxial cable (BNCM/BNCM)
ACC-CB5-2	0.6 m (2') coaxial cable (BNCM/banana plug)
ACC-CB6	178 mm (7") coaxial cable (BNCM/pigtail)

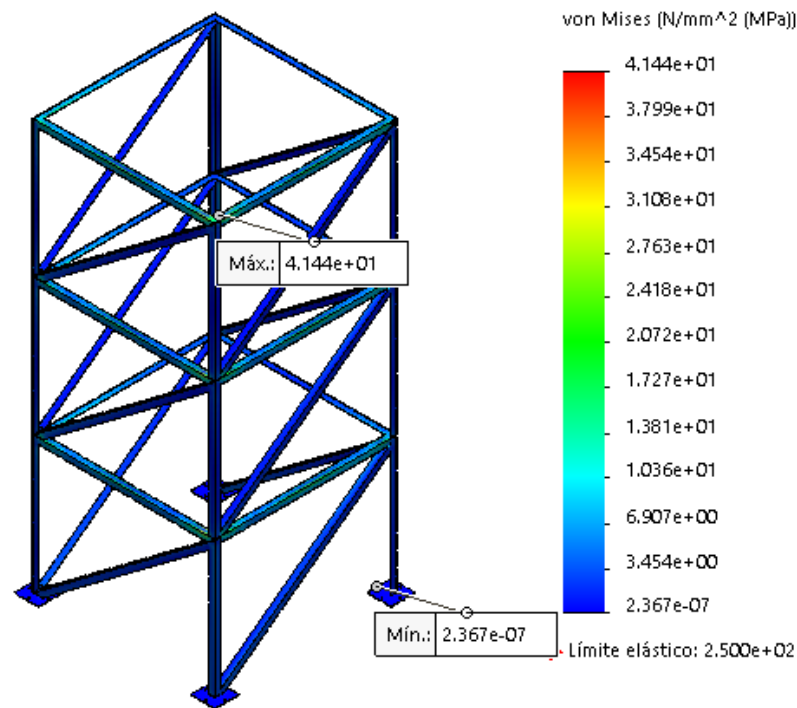
Comes complete with instruction sheet.

Visit us online for details on the above accessories.

Ordering Example: ACC103, accelerometer, ACC-CB2-10, coaxial cable, ACC-PS1, power supply, and ACC-CB5-2, coaxial cable.

Anexo 19. Resultados SolidWorks Von Mises

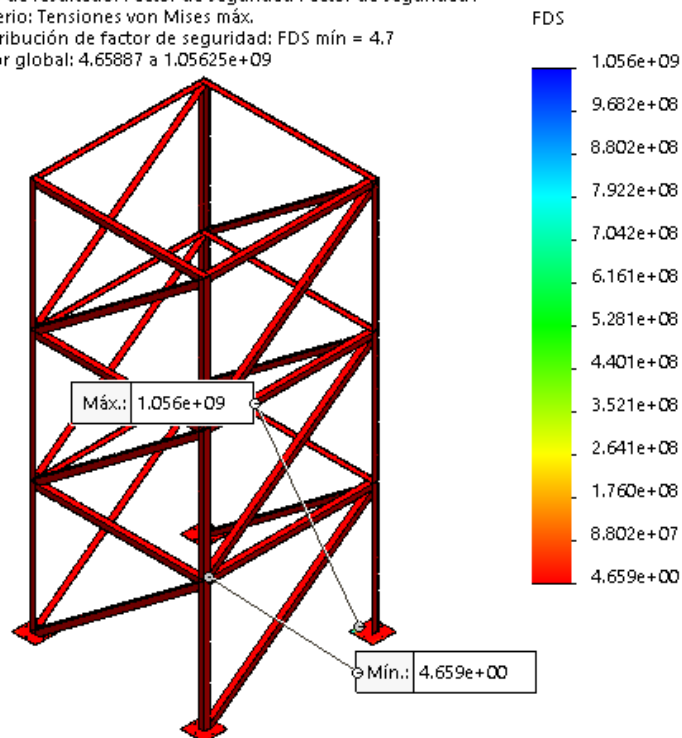
Tensión Von Mises



Anexo 20. Resultados SolidWorks Factor de Seguridad

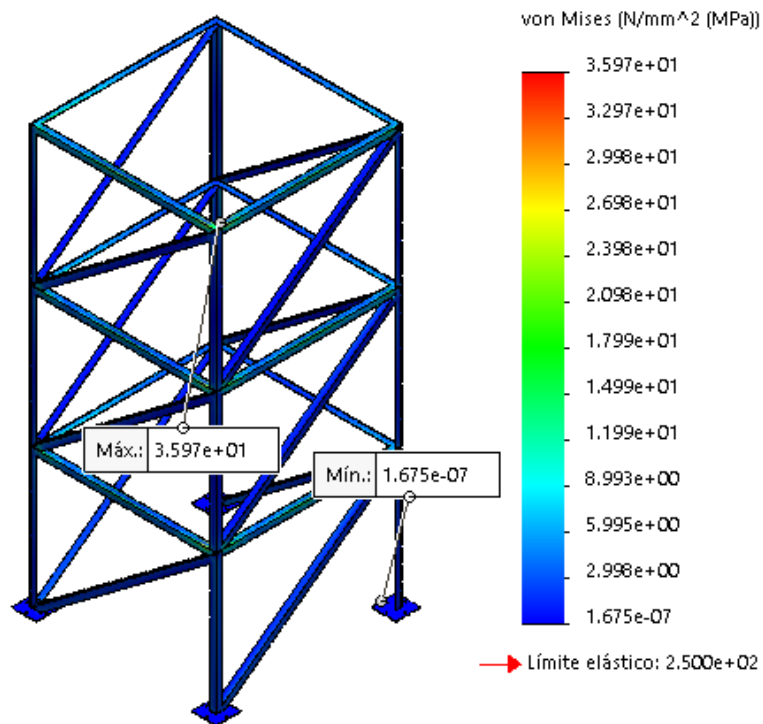
Factor de Seguridad

Nombre del modelo: Análisi Estructura 1
Nombre de estudio: Análisi estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4,7
Valor global: 4.65887 a 1.05625e+09



Anexo 21. Resultados SolidWorks Von Mises

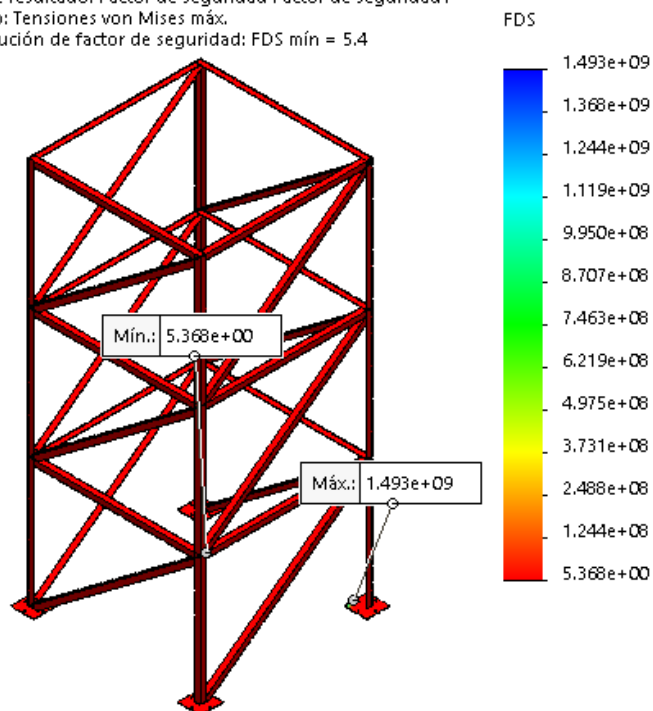
Tensión Von Mises



Anexo 22. Resultados SolidWorks Factor de Seguridad

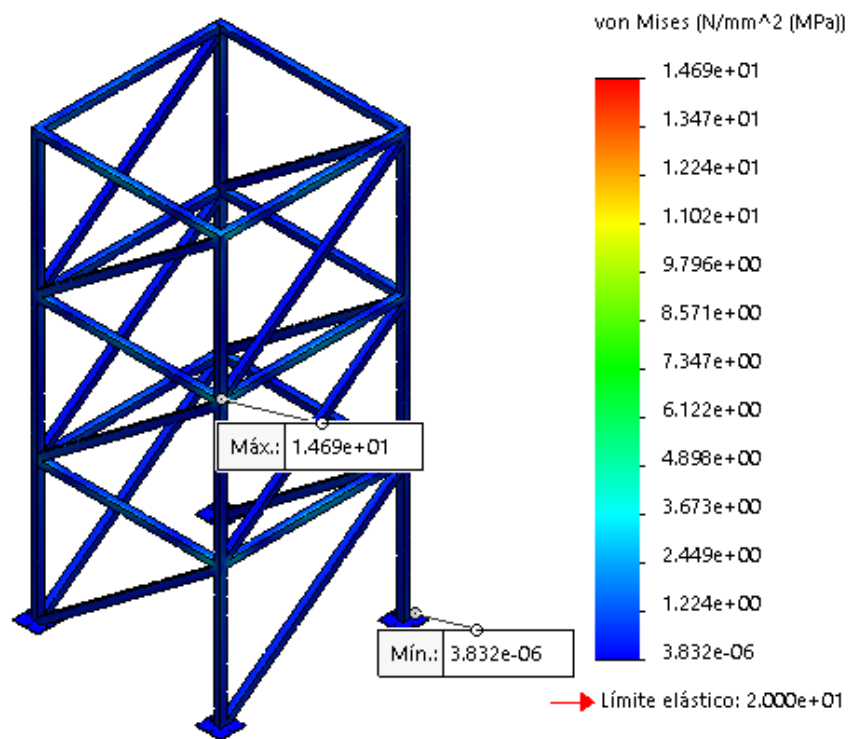
Factor de Seguridad

Nombre del modelo: Análisis Estructura 1
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 5.4



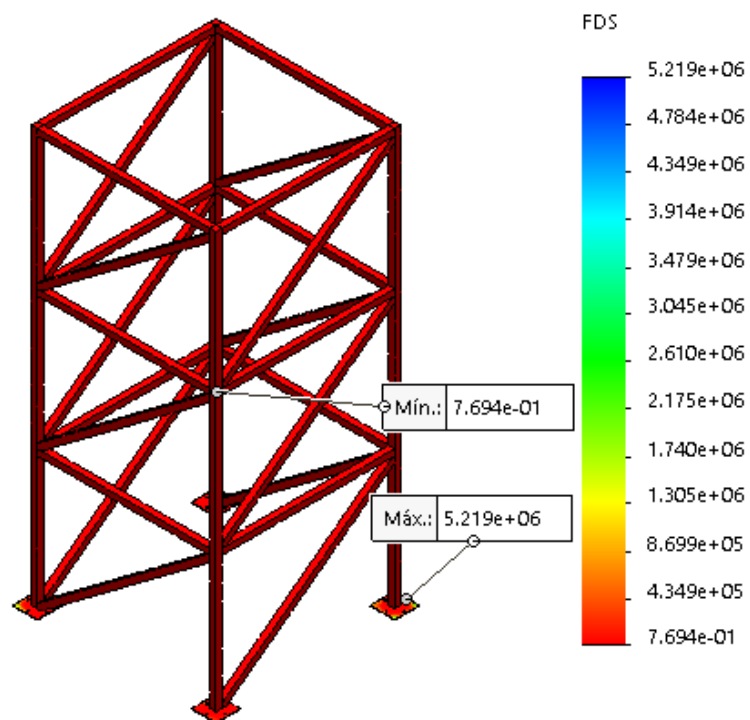
Anexo 23. Resultados SolidWorks Von Mises

Tensión Von Mises

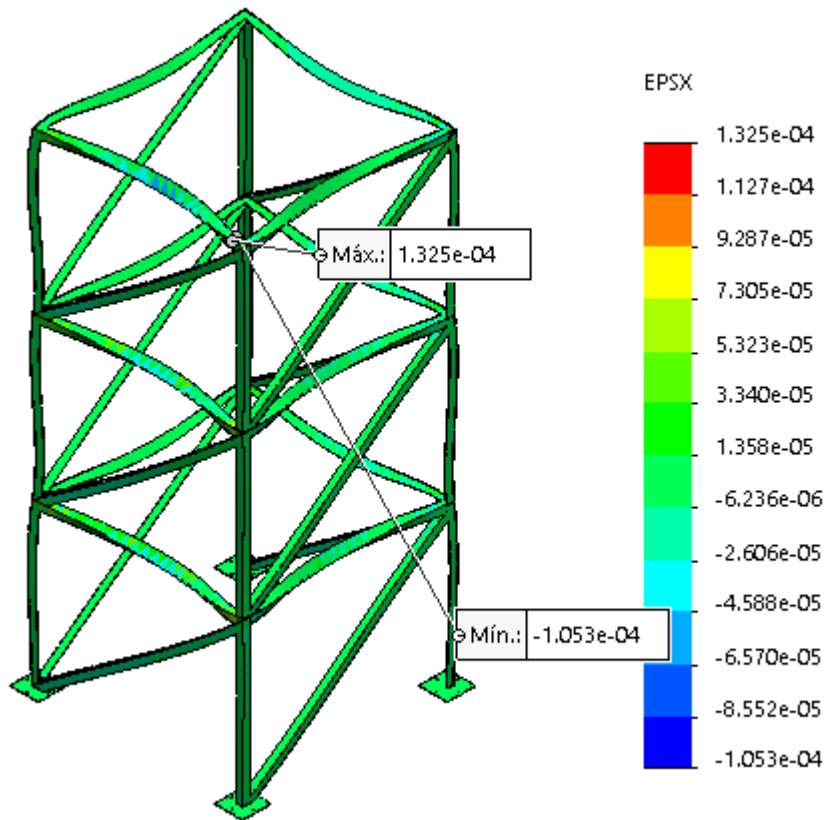


Anexo 24. Resultados SolidWorks Factor de Seguridad

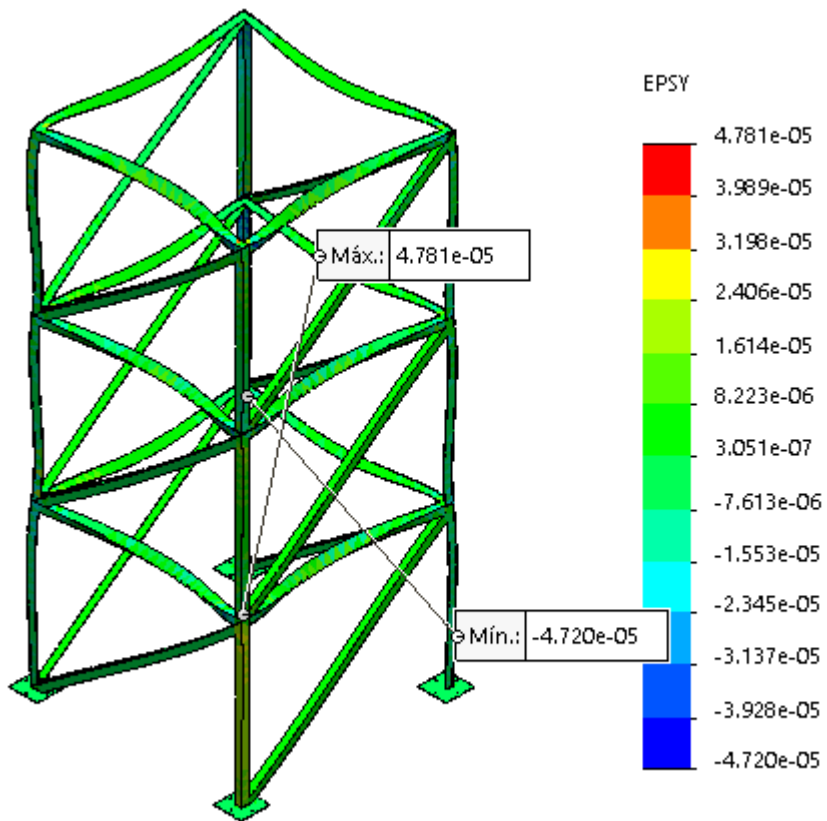
Factor de Seguridad



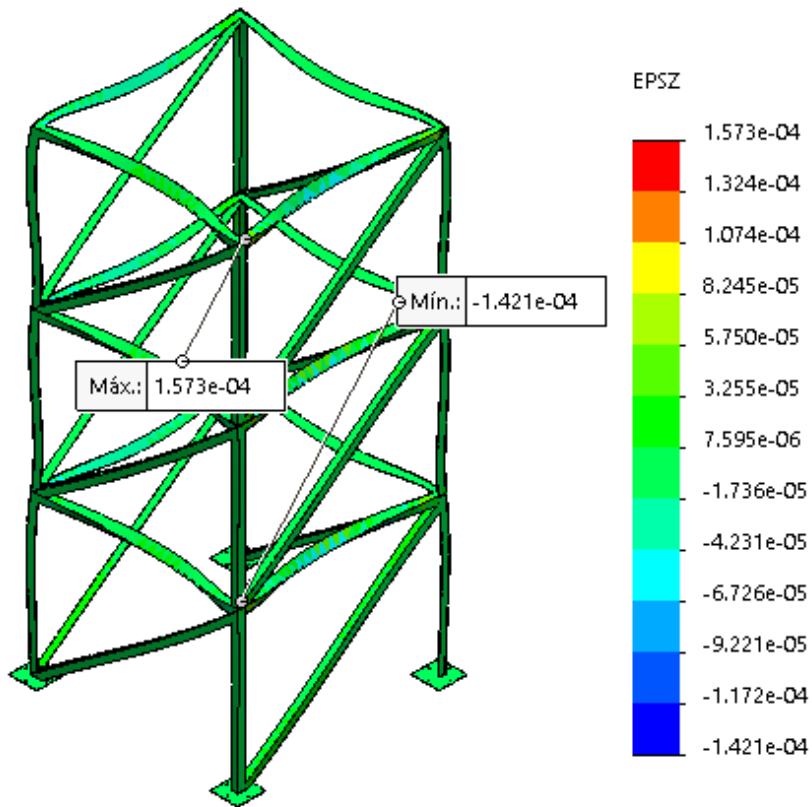
Anexo 25. Desplazamiento sismo en el eje X acero



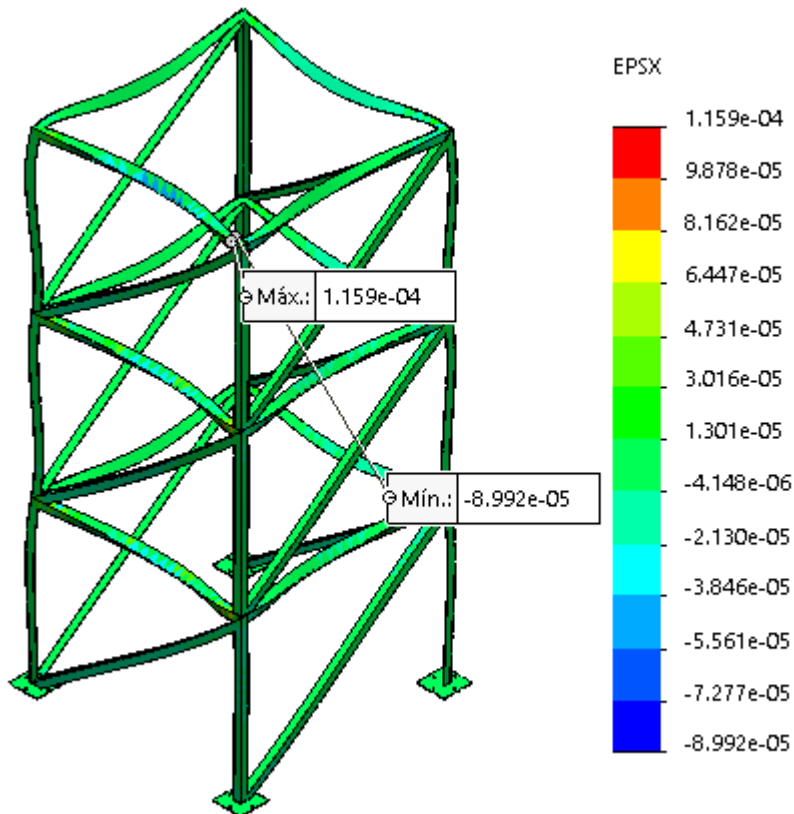
Anexo 26. Desplazamiento sismo en el eje Y acero



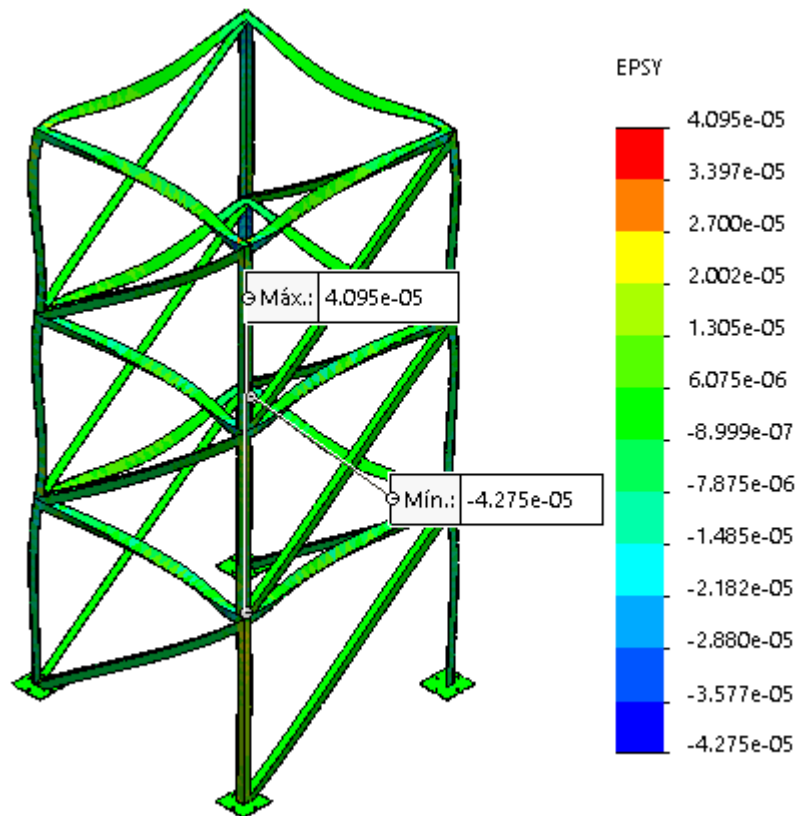
Anexo 27. Desplazamiento sismo en el eje Z acero



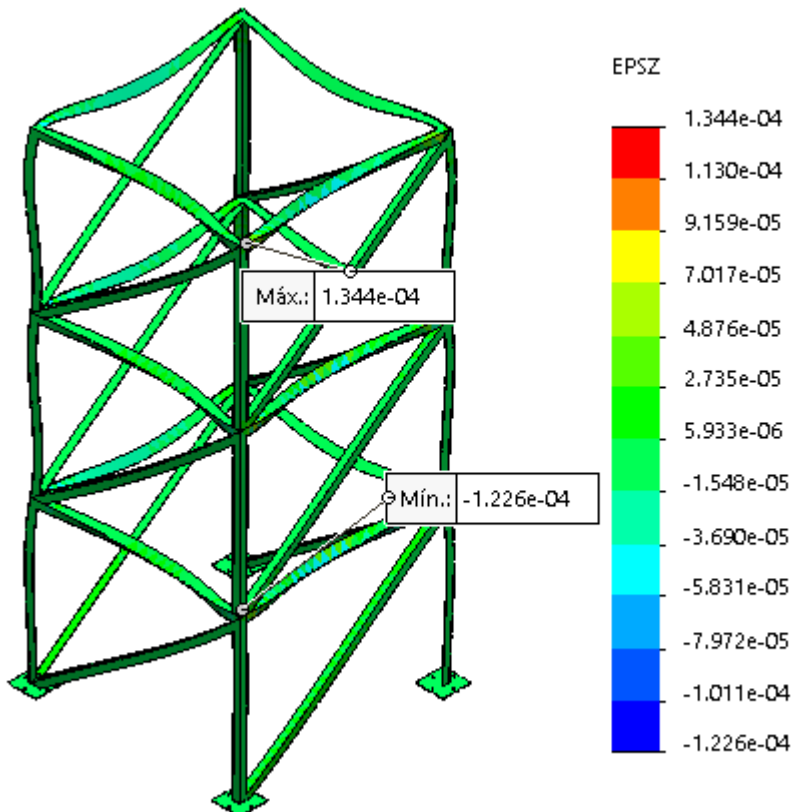
Anexo 28. Desplazamiento sismo en el eje X aluminio



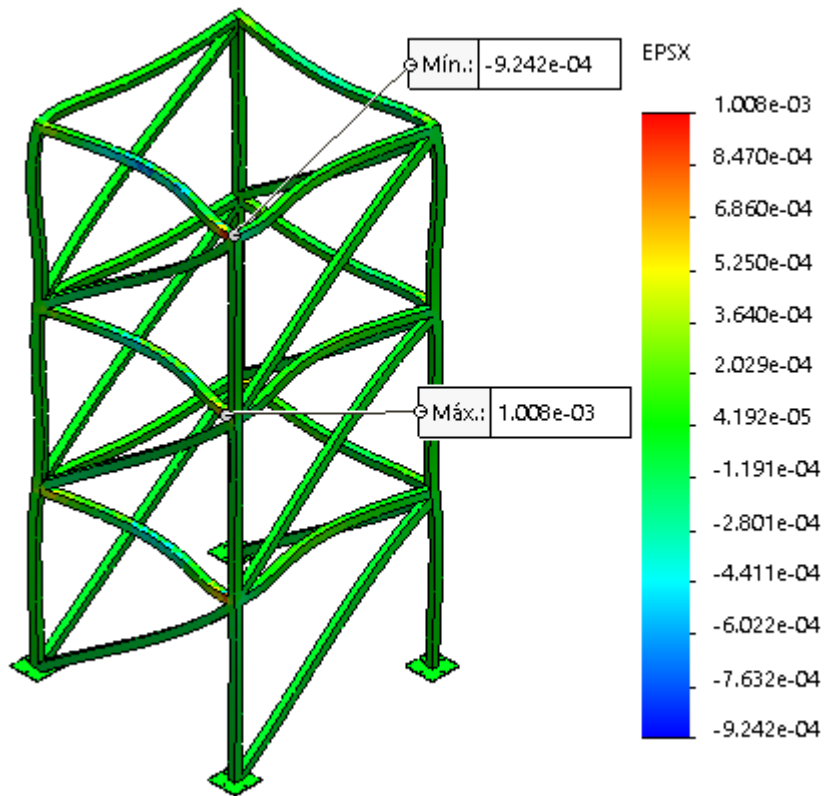
Anexo 29. Desplazamiento sismo en el eje Y aluminio



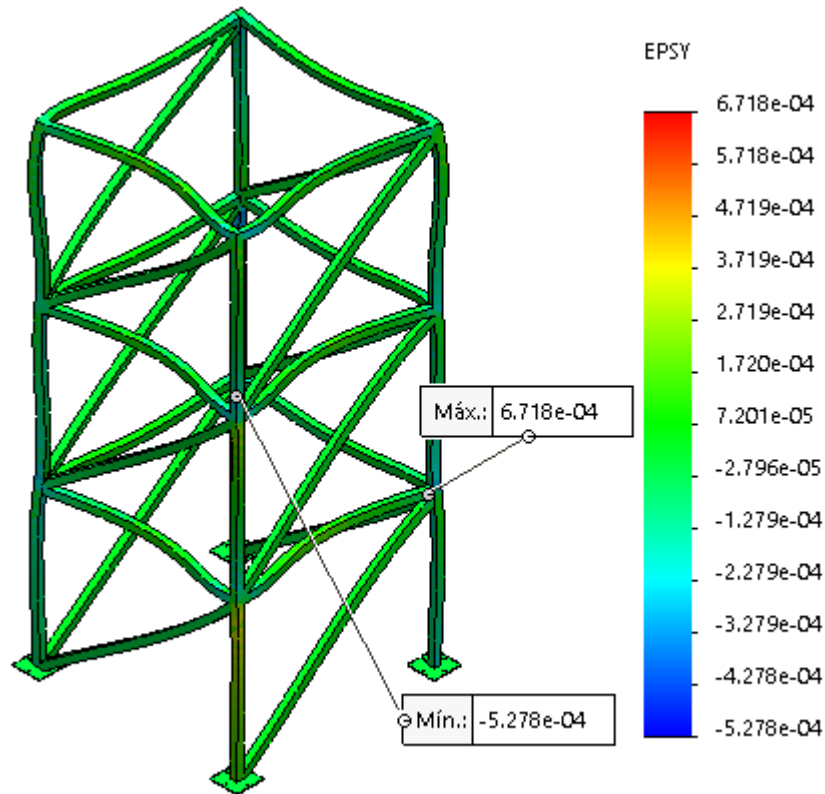
Anexo 30. Desplazamiento sismo en el eje Z aluminio



Anexo 31. Desplazamiento sismo en el eje X madera



Anexo 32. Desplazamiento sismo en el eje Y madera



Anexo 33. Desplazamiento sismo en el eje Z madera

