	ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 1

**PRUEBA DE VIBRACIÓN SENOIDAL EN LOS EJES X, Y y Z  
 DEL CONJUNTO DE PANELES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO  
 E-AXIAL QUE FORMA UNA ESQUINA USADOS PARA LA  
 CONSTRUCCIÓN DE UNA SALA LIMPIA Y QUE SOLICITA GRUPO  
 ELUR.**

<b>EDICIÓN</b>	1.0	1.1				
<b>FECHA</b>	20-04-2017	26-06-2017				



	<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
<b>PREPARADO POR:</b>	Alma Rosa García González Héctor Díaz García.	Investigador IPN		
<b>VERIFICADO POR:</b>	Daniel Lara Favela	Investigador IPN		
<b>AUTORIZADO POR:</b>	Héctor Díaz García	Investigador IPN		

El Instituto Politécnico Nacional tiene los derechos sobre este documento, el cual es confidencial y no será usado para ningún otro propósito, salvo para el que fue suministrado, y no podrá ser reproducido o transmitido total o parcialmente por cualquier medio sin el permiso de su Titular:

**Instituto Politécnico Nacional - IPN**

Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco,  
Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México, Distrito Federal, 2009-2010

<http://www.ipn.mx>



		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 2

**CUADRO PARA DISTRIBUCIÓN INTERNA Y EXTERNA**

<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>
IPN	Ing. Héctor Díaz García
ELUR	Alejandro Garcia Paz Sergio Delgadillo María del Pilar P. Torres Gabriela Fuentes Peña

**REGISTRO DE CAMBIOS EN EL DOCUMENTO**

<b>PAG.</b>	<b>EDICIÓN</b>	<b>DETALLE DEL CAMBIO</b>
Varias	1.1	Se atendieron indicaciones de la empresa solicitante.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 3

## Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	Objeto.....	4
1.2	Alcance.....	4
1.3	Objetivos de la Prueba.....	4
1.4	Abreviaturas .....	5
1.5	Definiciones .....	5
1.6	Documentos Aplicables Mandatorios .....	6
1.7	Documentos Aplicables de Referencia.....	6
2	PRUEBA DE VIBRACION SINUSOIDAL.....	7
2.1	Responsabilidad de seguridad en pruebas.....	7
2.2	Requerimientos de Aprobación.....	7
2.3	Equipo.....	7
3	PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN .....	9
3.1	Tareas.....	9
3.2	Lugar de Realización.....	10
3.3	Fecha y condiciones de realización de la prueba.....	11
3.4	Restricciones.....	11
3.5	Personal requerido.....	11
4	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....	12
4.1	Reglamentación Vigente y disponible.....	12
4.2	Cálculos no considerados.....	12
4.3	Valores a considerar.....	12
4.4	Valores del espectro a considerar simulación del sismo (Máximos)..	14
4.5	Consideraciones sobre la mesa de prueba, modelo y valores del espectro para la prueba.	14
5	PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN .....	16
5.1	Prueba senoidal eje X.....	16
5.2	Prueba senoidal eje y.....	16
5.3	Prueba senoidal eje z.....	16
5.4	Terminación de la prueba.....	16
5.5	Desmontar la prueba.....	16
6	DE LOS RESULTADOS.....	18
6.1	Rangos exigidos .....	18
6.2	Determinación de Masa del modelo de prueba y del acoplamiento del modelo de prueba y su placa soporte.....	19
6.3	Registro de la prueba en el eje X,.....	19
6.4	Registro de la prueba en el eje Y,.....	23
6.5	Registro de la prueba en el eje Z,.....	24
6.6	Comprobación de la prueba exitosa .....	27

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 4

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objeto

Los resultados en este reporte confirman que el arreglo de paneles sanitarios de resina fenólica de la línea constructiva e-axial que forman que forman una esquina para la construcción de un cuarto limpio y que presenta la empresa GRUPO ELUR, fue probado de acuerdo con la solicitud de pruebas de vibración senoidal con base en el espectro de vibración proporcionado y con los límites la máquina de pruebas de Vibración de la ESIME Ticomán y que al final de las mismas pruebas, el modelo descrito no presento daño alguno visible.

## 1.2 Alcance

Este documento presenta las condiciones de prueba, las configuraciones, la máquina y los sensores usados durante la prueba para someter al modelo señalado a la prueba de vibración senoidal en los tres ejes ortogonales.



No fueron realizadas pruebas de vibración Aleatoria ni pruebas de Impacto.

## 1.3 Objetivos de la Prueba.

Demostrar que el arreglo de paneles del sistema constructivo e-axial mantiene su integridad estructural después de haber sido sometido a las pruebas descritas que simulan un sismo de gran magnitud y otros fenómenos no previstos

- El modelo en su totalidad deberá mantener una integridad estructural después de someterse a prueba en dichos regímenes de vibraciones mecánicas.

La construcción de salas limpias y otros recintos de trabajo, requiere que estos mantengan su integridad estructural durante y después de presentarse fenómenos naturales o inducidos, así es necesario demostrar que sus elementos pueden soportar cargas estructurales inducidas ya sea por sismos, terremotos, viento, vibraciones por movimiento de la estructura del edificio que las contiene o por vibraciones inducidas por motores, o algún otro dispositivo con movimiento interno y que se encuentre cerca del recinto analizado.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 5



## 1.4 Abreviaturas

<b>LIPAE</b>	Laboratorio de Integración y Pruebas AeroEspaciales.
<b>IPN</b>	Instituto Politécnico Nacional
<b>ESIME-TICOMAN</b>	Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica – Unidad Ticomán
<b>ELUR</b>	GRUPO ELUR Grupo de empresas (ELUR, ETIC, LODI) dedicadas a la ingeniería e instalaciones de salas limpias, áreas industriales y zonas críticas de ambiente controlado.
<b>IBC</b>	International Building Code
$A_{FLX-H}$	Aceleración Espectral Horizontal para elementos flexibles (Horizontal Spectral acceleration calculated for flexible components)
$A_{RIG-H}$	Aceleración Espectral Horizontal calculada para componentes rígidos
$A_{FLX-V}$	Aceleración Espectral Vertical para elementos flexibles.
$A_{RIG-V}$	Aceleración Espectral Vertical calculada para componentes rígidos
$z/h$	Factor de altura, para componentes no estructurales se considera igual a cero
$S_{DS}$	Aceleración de Diseño en respuesta espectral en período corto
$S_{MS}$	Aceleración Máxima considerada en terremoto en respuesta espectral
$F_A$	Coefficiente de “lugar”, según tablas 1613.5.3(1) de la sección 1613 del IBC <sup>1</sup>
$S_S$	Respuestas modales espectral para periodos cortos.
$W_p$	Peso del componente.

## 1.5 Definiciones

<b>ENSAMBLE</b>	Colocación de elementos estructurales, equipos, cables y sus elementos de fijación en su lugar.
<b>INTEGRACIÓN</b>	Interconexión entre los diferentes equipos y sistemas, así como pruebas del buen funcionamiento (pruebas acumulativas)
<b>PRUEBAS FUNCIONALES</b>	Verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes, equipos, sistemas hasta el nivel de vehículo integrado.
<b>PRUEBAS AMBIENTALES</b>	Verificar la correcta funcionalidad del modelo integrado ante los diferentes ambientes que éste encontrará durante su vida útil.
<b>VERIFICACIÓN</b>	Es la prueba que se realiza a un componente para confirmar que se comporta en la misma forma que el prototipo.

<sup>1</sup> [http://www.optasoft.com/applications/codes/2006IBC/HTMLHelp/table\\_1613.5.3\(1\).htm](http://www.optasoft.com/applications/codes/2006IBC/HTMLHelp/table_1613.5.3(1).htm)

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 6

- VALIDACIÓN** Es la prueba que se realiza a un componente para confirmar que tiene los mismos valores y comportamiento que el prototipo.
- PRUEBA DE ACEPTACIÓN** Están orientadas a prototipos finales en el ambiente máximo pronosticado. El objetivo de estas pruebas es confirmar el proceso de control incluyendo el embarque.
- PRUEBAS DE CALIFICACIÓN** Están orientadas a prototipos sin la intención de “venta” pero con el objetivo de generar confianza en el diseño, si el prototipo pasa las pruebas se dice que el diseño está calificado. El prototipo debe fabricarse con el mismo diseño y el mismo proceso de manufactura que el modelo final, aunado a que las pruebas ambientales deben ser más severas que las del modelo final

## 1.6 Documentos Aplicables Mandatorios

- MIL-STD-1540C Department Of Defense Standard Practice (Product Verification Requirements For Launch, Upper State, And Space Vehicles).
- GSFC-STD-7000 GSFC-STD-7000, General Environmental Verification Standard.

## 1.7 Documentos Aplicables de Referencia

- AC 156 ACCEPTANCE CRITERIA FOR SEISMIC CERTIFICATION BY SHAKE-TABLE TESTING OF NONSTRUCTURAL COMPONENTS
- ATS Job No. X-210394 FEA REPORT, CWL-17 & CWL-21, arcoplastbio, arcoplast, APPLIED TECHNICAL SERVICES, INC.  
NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO.  
<http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/739.htm>  
RIESGO SÍSMICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, Dr. Eduardo Reinoso Angulo; Academia de Ingeniería, México 2007  
PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO POR SISMO PARA EL DF; M. Ordaz, E. Miranda y J. Avilés, Instituto de Ingeniería, UNAM y otros  
Preliminary Seismic Hazard Model for South America; Mark Petersen, Steve Harmsen, Kathy Haller, Chuck Mueller, Nicolas Luco, Gavin Hayes, Jim Dewey, and Ken Rukstales  
U.S. Geological Survey, Golden, CO.  
ICC-ES Acceptance Criteria for Test Reports (AC 85)

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 7

## 2 PRUEBA DE VIBRACION SINUSOIDAL.

### 2.1 Responsabilidad de seguridad en pruebas.

La siguiente tabla define la responsabilidad compartida entre el Administrador del Proyecto y el Administrador de las Instalaciones de prueba para planear y reforzar las medidas de seguridad industrial durante las pruebas para la protección del personal, el prototipo, y las instalaciones donde se realizará la prueba.

Análisis de riesgo operacional	Administrador de instalaciones. Administrador del proyecto.
Manejo de riesgos.	Administrador de instalaciones. Administrador del proyecto.
Seguridad de instalaciones	Administrador de instalaciones de prueba.
Seguridad durante la prueba.	Oficial de seguridad provisto por Administrador de instalaciones Oficial de seguridad provisto por el Administrador del proyecto

### 2.2 Requerimientos de Aprobación.

Las pruebas de vibración sinusoidal de barrido son realizadas para cualificar el prototipo por las vibraciones transitorias y de baja frecuencia durante un sismo, y proveer de una prueba de mano de obra, que está expuesta a ese ambiente y que normalmente responde significativamente a los ambientes vibro acústicos.

El rango de frecuencias típicas de la prueba sinusoidal es 0.33 a 33 Hz, pero el rango de la prueba puede limitarse dependiendo en las especificaciones de la máquina de pruebas.



El barrido de vibración sinusoidal deberá ser aplicado en la base del adaptador en cada uno de los tres ejes ortogonales, donde uno es paralelo al eje de potencia. El radio de barrido deberá ser de 2 octavas por minuto para simular las vibraciones sinusoidales transitorias de un sismo.

Durante la prueba, el componente deberá estar en configuración operativa, tal y como será instalado en el edificio.

### 2.3 Equipo.

El equipo disponible para el desarrollo adecuado de la prueba se menciona a continuación:

**Mesa de vibraciones LDS V722:** La mesa de vibraciones LDS V722 es una máquina que le permite al usuario realizar pruebas de vibración sinusoidal, vibración aleatoria y pruebas de impacto, la cual cuenta con los siguientes componentes:

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 8

- Generador de campo LDS FPS – 10L
- Amplificador LDS PA 1000L
- Control de mesa (software) LDS DACTRON



Las especificaciones del sistema se dan a continuación.

**Tabla 1**

<b>Sine force peak</b>	2900N
<b>Max random force rms</b>	1900N
<b>Velocity sine peak</b>	0.7 m/s
<b>Useful frequency</b>	5 – 4000 Hz.

Se necesita una interface o soporte entre la mesa y el modelo de Prueba. La cual fue fabricada en Nylon y adaptada en los orificios de la mesa para vibración horizontal y vertical además soporta las bases para la estructura del modelo de Prueba. Dicha interface puede ser observada en las fotografías presentadas durante el reporte.

Nota: se realizó una prueba de comparación entre la máquina sola y la interface, encontrando que no existen diferencias entre las lecturas de las dos mediciones, por lo que se considera que la base es aceptable para la prueba.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 9

### 3 PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN

#### 3.1 Tareas.

##### 3.1.1.- Reunión preparatoria del personal

- Reunión preparatoria entre el equipo del modelo de prueba y el equipo de apoyo del centro de pruebas
- En esta reunión se hará un breve recordatorio sobre:
  - El procedimiento general de prueba.
  - Las precauciones a mantener dentro de la fase de prueba.
  - Los procedimientos de emergencia.
  - La localización de los suministros de energía y otros aditamentos necesarios para la prueba.
  - Consideraciones básicas de las características de la sala de pruebas.

##### 3.1.2.- Preparación y verificación de los medios de prueba

- Prueba de funcionamiento de la máquina de vibraciones mecánicas.
- Calibración de la máquina de vibraciones mecánicas.


##### 3.1.3.- Preparación y verificación del modelo de prueba.

- Transportar modelo de prueba hasta la sala de pruebas.
- Verificar masa y centro de gravedad del modelo de prueba.
- Colocar modelo de prueba en el soporte y verificar sus puntos de fijación y ajustes mecánicos.
- Colocar el soporte sobre una mesa de trabajo debidamente localizada, verificar las marcas de orientación y ajustes mecánicos.
- Apretar los tornillos al llegar en forma secuencial opuesta.
- Hacer una inspección visual y toma de fotografías al momento.
- Repetir las secuencias que procedan para cada uno de los ejes de prueba.

##### 3.1.5.- Instalación de sensores en el modelo de prueba.

- Verificación de los acelerómetros de control sobre la máquina de vibración.
- Colocación de los acelerómetros con base en las disposiciones del modelo de prueba (si procede) y si es posible colocar algún sensor, dependiendo de masa, disponibilidad de espacio y configuración estructural del modelo de prueba.

Nota: Los acelerómetros serán colocados por el personal del centro de pruebas, como parte de los servicios proporcionados; por lo cual es de suma importancia proporcionar la situación de los puntos críticos del modelo de prueba, así como la orientación de cada uno de los acelerómetros a colocar a fin de que esto pueda llevarse a cabo.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 10

### 3.1.6.- Instalación del cableado e interfaces eléctricas.

- Verificar de manera visual las características de suministro de energía de la sala de pruebas (Previamente investigadas).
- Colocar el sistema de adquisición de datos en el lugar asignado para ello.
- Conectar el sistema de adquisición de datos al suministro de energía.
- Efectuar las conexiones entre el sistema de adquisición de datos y las salidas funcionales del modelo de prueba.
- Colocar y conectar del cableado al medio de tratamiento de la información (computadora).
- Verificar de forma visual las conexiones efectuadas.
- Verificar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos por medio de un programa de verificación preparado previamente (Demo).
- Conexión y verificación de todo el cableado (modelo de prueba - medios de prueba).
- Verificación visual de todas las conexiones y tarjetas de interfaces.
- Comprobar la instrumentación.

### 3.1.7.- Verificación final (opcional o si la prueba ha sido interrumpida).



- Prueba de salud sobre el sistema de adquisición y tratamiento de datos.
- Encendido de la computadora del modelo de prueba.
- Prueba de salud de la modelo de prueba.
- Prueba Breve en régimen senoidal durante 5 segundos.
- Chequeo del buen registro de datos.
- Breve análisis de los resultados obtenidos.

### 3.1.8.- Equipo de Filmación y de fotografía.

- Se recomienda utilizar equipo de filmación para seguir todos los trabajos que se realizan con respecto a las pruebas del prototipo.
- Se recomienda que durante la filmación de las pruebas la cámara tenga habilitado la grabación de la hora en todo momento.
- Se deben de hacer tomas fijas durante la realización de las pruebas y registrar los eventos importantes en una bitácora de papel indicando la hora para fines de sincronización con la cámara.
- Se deben de tomar fotos fijas de las condiciones iniciales, durante la prueba y al termino de estas de los componentes que han intervenido en la realización de las mismas.
- Se debe de consultar las condiciones de seguridad del sitio de pruebas para no faltar a las reglas de confidencialidad o de privacidad de otros proyectos que se realicen al momento de la prueba.

## 3.2 Lugar de Realización.

**LIPAE, Laboratorio de Integración y Pruebas AeroEspaciales, ESIME U. P. Ticomán, Av. Ticomán 600, Col San José Ticoman, C. P. 07400, Ciudad de México.**

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 11

### 3.3 Fecha y condiciones de realización de la prueba.

- Realización de la prueba el 06 de Abril de 2017.
- Hora de inicio. 16:20 Hrs.
- Hora de Termino 21:00 Hrs
- Temperatura promedio de 22° C
- Humedad relativa de 37 %

### 3.4 Restricciones.

#### 3.4.1.- De operación y manipulación del modelo de prueba

- No tocar los instrumentos del modelo de prueba mientras éste se manipule.



#### 3.4.2.- Del personal operador

El personal deberá estar debidamente vestido de acuerdo a las normas siguientes:

- El personal autorizado para manipular el modelo de prueba y si es necesario personal de apoyo adicional deberá ser autorizado por el mismo equipo.
- Todo el personal involucrado en la realización de la prueba deberá tener al momento de la misma una carta de confidencialidad con el dueño del proyecto debidamente firmada.

### 3.5 Personal requerido.

- Responsable del modelo de prueba.
- Responsable de operación de la máquina de pruebas.
- Tres personas de apoyo técnico.
- Personas autorizadas por parte del Director Técnico del proyecto.
- El personal autorizado para manipular el modelo de prueba y si es necesario personal de apoyo adicional deberá ser autorizado por el mismo equipo.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 12

## 4 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

### 4.1 Reglamentación Vigente y disponible.

Se realizó una búsqueda en los diferentes servidores y se encontró que para la simulación sismos y terremotos, no existe una normatividad mexicana que proporcione algún parámetro o valor para simular sobre una mesa de vibraciones, por tanto, se decidió utilizar el procedimiento descrito en la criterio de aceptación “AC 156” emitida por el “International Code Council”<sup>2</sup> ya que es observado por otras pruebas sísmicas referenciadas y que a la vez refiere a la “ASCE 7”<sup>3</sup>..

### 4.2 Cálculos no considerados.

Por ser solamente requerida la prueba de simulación de un sismo, no se realizaron los cálculos estructurales para determinar las cargas críticas que el modelo presentado puede soportar, así como

### 4.3 Valores a considerar.

Con base en AC 156, los puntos a considerar para cumplir con el espectro de vibración propuesto Figura 1, son los siguientes.

$$A_{FLX-H} = S_{DS} \left( 1 + 2 \frac{Z}{h} \right)$$

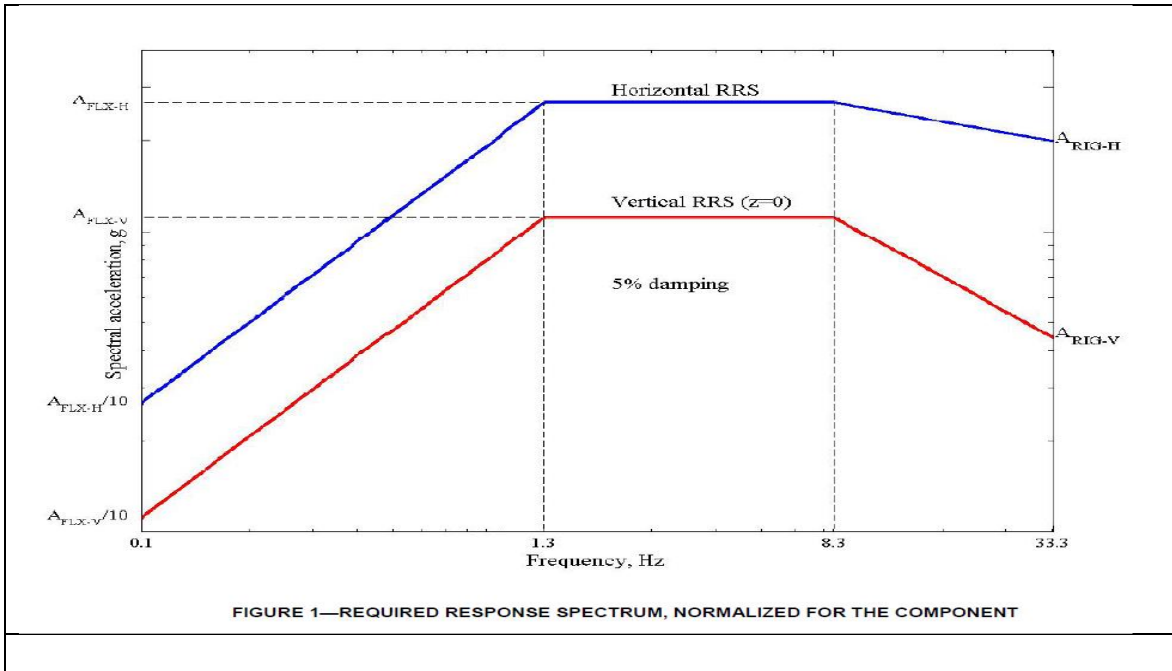
$$A_{RIG-H} = 0.4 S_{DS} \left( 1 + 2 \frac{Z}{h} \right)$$

$$A_{FLX-V} = 0.67 S_{DS}$$

$$A_{RIG-V} = 0.27 S_{DS}$$

<sup>2</sup> <http://shop.iccsafe.org/ac156-seismic-certification-by-shake-table-testing-of-nonstructural-components-approved-october-2010-editorially-revised-may-2015-pdf-download.html>

<sup>3</sup> 2010 Edition of ASCE 7 Minimum Design Loads for Building and Other Structures.



Considerando que no se tiene una estructura que soporte carga  $\frac{z}{h} = 0$   
 Además;

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

Donde

$$S_{MS} = F_A S_S$$


TABLE 1613.5.3(1)  
 VALUES OF SITE COEFFICIENT  $F_s^a$

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIOD				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

a. Use straight-line interpolation for intermediate values of mapped spectral response acceleration at short period,  $S_s$ .

b. Values shall be determined in accordance with Section 11.4.7 of ASCE 7.

Tabla 1613.5.3 según referencias

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 14

En donde se obtiene un valor de  $F_A = 1.4$  para un valor de  $S_1 = 0.50$  según recomendaciones para el cálculo por las propias referencias.

El valor de  $S_s$ , Respuestas modales espectral para periodos cortos, se determina en función de mapas de riesgos de diferentes zonas, el caso peor se considera un valor 2 para el estado de california.

En el caso específico de la ciudad se cuenta con mapas de riesgo por zonas y consultando con la Empresa sobre la localización aproximada del lugar de la instalación se considera un valor de 0.7, aunque para mostrar mayor severidad e considera  $S_s = 2$ .

Así los valores máximos son:

$$S_{MS} = (1.4)(2)_A = 2.8 \text{ g}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3}(2.8) = 1.86 \text{ g}$$

$$A_{FLX-H} = S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) = 1.86 \text{ g}$$

$$A_{RIG-H} = 0.4 S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) = 0.774 \text{ g}$$

$$A_{FLX-V} = 0.67 S_{DS} = 1.221 \text{ g}$$



$$A_{RIG-V} = 0.27 S_{DS} = 0.5022 \text{ g}$$

#### 4.4 Valores del espectro a considerar simulación del sismo (Máximos).

Criterio de Prueba	$S_{DS} (g)$	z/h	HORIZONTAL		VERTICAL	
			$A_{FLX-H}$	$A_{RIG-H}$	$A_{FLX-V}$	$A_{RIG-V}$
	1.86	0	1.86	0.774	1.221	0.5022

#### 4.5 Consideraciones sobre la mesa de prueba, modelo y valores del espectro para la prueba.

La mesa de vibraciones de la ESIME U. P. Ticomán es un medio de prueba especializado para la parte mecánica y de componentes más especializados, no está diseñada específicamente para la simulación de sismos, lo que limita considerablemente los parámetros de prueba en el modelo, ya sea en las dimensiones máximas (Tamaño de la mesa

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 15

y espacio entre el piso y el techo), peso máximo y frecuencias y aceleraciones capaces de desarrollar.

Así una vez puestas las consideraciones ante el solicitante y con la aprobación del mismo se procedió a realizar un modelo que simula una esquina de un cuarto limpio, con paneles de resina fenólica, los materiales, método de ensamble y sellado establecido en el sistema constructivo e-axial, propiedad de Grupo ELUR para las salas limpias. El modelo resultante se muestra en las siguientes fotografías, así como la interface de acoplamiento entre el modelo y la mesa de pruebas para los tres ejes ortogonales.



Fotografía 1 Ensamble



Fotografía 2 Ensamble




Fotografía 3 Ensamble



Fotografía 4 Ensamble sobre la mesa de acoplamiento.

Los valores de prueba aceptados por la máquina se muestran en la sección 6 de este informe.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 16

## 5 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

### 5.1 Prueba senoidal eje X.

- Colocar la máquina de vibración para configuración de la prueba en el eje X.
- Montar el modelo de prueba alineado en el eje X el eje de vibración de la máquina.
- Colocar las interfaces y conexiones.
- Prueba en espectro senoidal sobre el eje X.
- Inspección visual.
- Desmontar el modelo de prueba de la máquina y colocarlo manualmente sobre la mesa de apoyo.
- Realizar inspección visual a detalle del modelo de prueba.

### 5.2 Prueba senoidal eje y.

- Colocar la máquina de vibración para configuración de la prueba en el eje Y.
- Montar el modelo de prueba alineado en el eje Y el eje de vibración de la máquina.
- Colocar las interfaces y conexiones.
- Prueba en espectro senoidal sobre el eje Y.
- Inspección visual.
- Desmontar el modelo de prueba de la máquina y colocarlo manualmente sobre la mesa de apoyo.
- Realizar inspección visual a detalle del modelo de prueba.



### 5.3 Prueba senoidal eje z.

- Colocar la máquina de vibración para configuración de la prueba en el eje Z.
- Montar el modelo de prueba alineado en el eje Z el eje de vibración de la máquina.
- Colocar las interfaces y conexiones.
- Prueba de vibración senoidal en el eje Z.
- Inspección visual.
- Desmontar el modelo de prueba de la máquina y colocarlo manualmente sobre la mesa de apoyo.
- Realización de pruebas de Salud y funcionales a nivel modelo de prueba.

### 5.4 Terminación de la prueba.



- Inspección y análisis previo de los resultados de las pruebas de vibración de los espectros.
- Comprobación de la prueba exitosa y pruebas funcionales.
- Si se está seguro de tener todos los resultados y las pruebas realizadas, continuar a desmontar la prueba.

### 5.5 Desmontar la prueba.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 17

Nota: Este procedimiento debe ser autorizado para su ejecución el responsable del modelo de prueba y el responsable de la máquina y de mutuo acuerdo

- Inspección y análisis previo general de todos los resultados de las pruebas de vibración.
- Quitar los acelerómetros, interfaces mecánicas y eléctricas (conexiones).
- Colocar el modelo de prueba en su contenedor.
- Recoger herramientas y equipo de mantenimiento.
- Finalización de la prueba.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 18

## 6 DE LOS RESULTADOS.

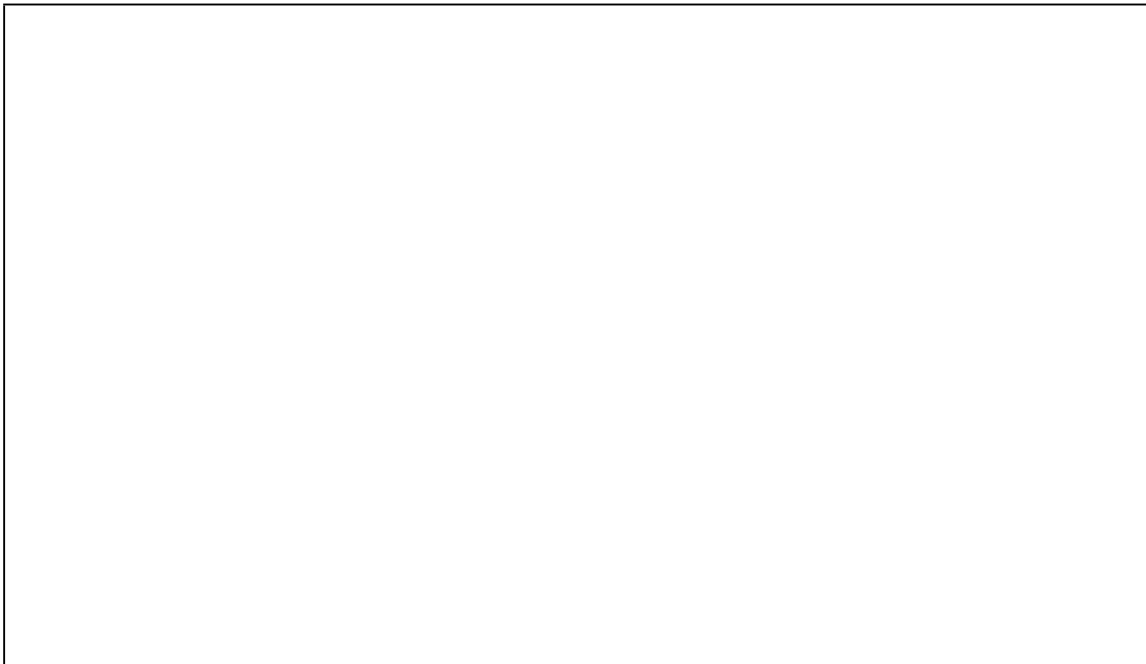
### 6.1 Rangos exigidos

Los resultados evaluar están basados en los lineamientos generales para la aplicación de la prueba, explicados en la sección 4, del presente reporte, las limitaciones del equipo, las que se derivan directamente de las condiciones impuestas por los estándares aplicables para la simulación de un sismo y la condición general, una vez terminada la prueba de que el modelo de prueba:

- no presente daño alguno (verificar uniones, empotramientos y sellos o juntas de las partes)
- que presente un correcto funcionamiento en sus sistemas (en su caso).

Debido a las restricciones de la máquina de prueba y del modelo, aunque la normativa exige un mayor nivel para la prueba horizontal en magnitud de aceleración a baja frecuencia que en vertical y considerando que se desea estresar el modelo lo más posible para demostrar su integridad una vez terminada la prueba se decidió que el perfil horizontal de prueba sea el mismo que el vertical. (ver figura 1, sección 4.

Así después de varias simulaciones buscando los valores máximos de operación de la máquina se encontró lo siguiente:



Perfil de prueba senoidal aplicado durante la prueba.

Tabla Valores de Frecuencia y Aceleración para la prueba senoidal

<u>Frecuencia</u>	<u>Aceleración (g)</u>
<u>5</u>	<u>0.5</u>
<u>8.3</u>	<u>0.5</u>
<u>33.3</u>	<u>0.2</u>

## 6.2 Determinación de Masa del modelo de prueba y del acoplamiento del modelo de prueba y su placa soporte.

Masa del modelo de Prueba más acoplador	22 Kgs.
Dimensiones (LxAxH)	41 x 41 x 170 ctms
Placa soporte	60 x 40 x 2.5 ctms

Apéndice 1, Foto 1 y 2

## 6.3 Registro de la prueba en el eje X,

La prueba en el eje X fue realizada con base en los parámetros establecidos y con base en la configuración que muestra la siguiente fotografía



Foto. Modelo de Prueba y Acoplador para la prueba en el eje X.



Foto. Localización del acelerómetro de respuesta en la estructura para la prueba en el eje X

Nota: Los Formatos se mantienen en el idioma original para evitar una mala interpretación y permitir a la vez que el reporte sea leído internacionalmente.

#### Shaker Parameters

Shaker Name:	V721/2-PA1000L
Positive Displacement Limit Peak:	0.50 in
Negative Displacement Limit Peak:	0.50 in
Maximum Velocity Peak:	27.60 in/s
Maximum Acceleration Peak:	66.30 Gn
Minimum Drive Frequency:	5.00 Hz
Maximum Drive Frequency:	4000.00 Hz
Maximum Drive Peak:	2.00 Volts
Orientation:	Horizontal
Assume Noisy Measurement:	No



#### Channel Parameters

##### Input Channel Parameters

Input	Type	Analysis	Max. Volts	mv/(EU)	Weighting	Coupling	Quantity	I.D.	Location
2	Response	Filter	1.0	98.4326mv/(gn)	1.0000	ICP	Acce.		Model
4	Control	Filter	1.0	98.2262mv/(gn)	1.0000	ICP	Acce.		Table

##### Output Channel Parameters

Output	Type	Max. Volts
1	Output	10.00

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 21

#### Channel Status Parameters

Chan#	Clipped	Clipped #	Units	Max	Min	Peak	RMS
2	No	0	gn	0.393	-0.406	0.004	0.206
4	No	0	gn	0.376	-0.364	0.002	0.169

#### Control Parameters

#### Test Parameters

Max. Test Frequency:	75.00 Hz
Sweep Type:	Logarithmic
Sweep Rate:	1.000000 Oct/Min
Measurement Strategy:	Single Channel
Filter Type:	Proportional
Band Width:	25%
Drive Limit:	1.40 Volts
Abort Latency:	0.30 seconds
Compression Speed Type:	Adaptive
Compression Speed:	Fast

#### Initial Ramp-up Parameters

Initial Peak Drive:	0.001000 Volts
Ramp-Up Rate:	Fast
Maximum Drive during Ramp-up:	0.700000 Volts

#### Transmissibility Parameters

Name	Type	Response (Numerator)	Excitation (Denominator)
Transmissibility2,4(f)	Complex	Input 2	Input 4

#### Profile Parameters

#### Profile 1

Profile name:	Low Level
Profile Maximum Acceleration (Peak):	0.5000 gn
Profile Maximum Velocity (Peak):	6.1448 in/s
Profile Maximum Displacement (Peak-Peak):	0.3912 in
Shaker Acceleration (Peak):	66.3000 gn
Shaker Velocity (Peak):	27.6000 in/s
Shaker Displacement (Peak-Peak):	1.0000 in

**Profile Table:**

Frequency Hz	Acceleration (gn) Peak	Velocity (in/s) Peak	Displacement (in) Peak-Peak	Segment Type	High Abort dB	High Alarm dB	Low Alarm dB	Low Abort dB
5.0	0.5	6.14479	0.39119	Const. Ampl.	10.00	6.00	-6.00	-10.00
8.3	0.5	3.70168	0.141962		10.00	6.00	-6.00	-10.00
33.3	0.2	0.369057	0.00352776		10.00	6.00	-6.00	-10.00

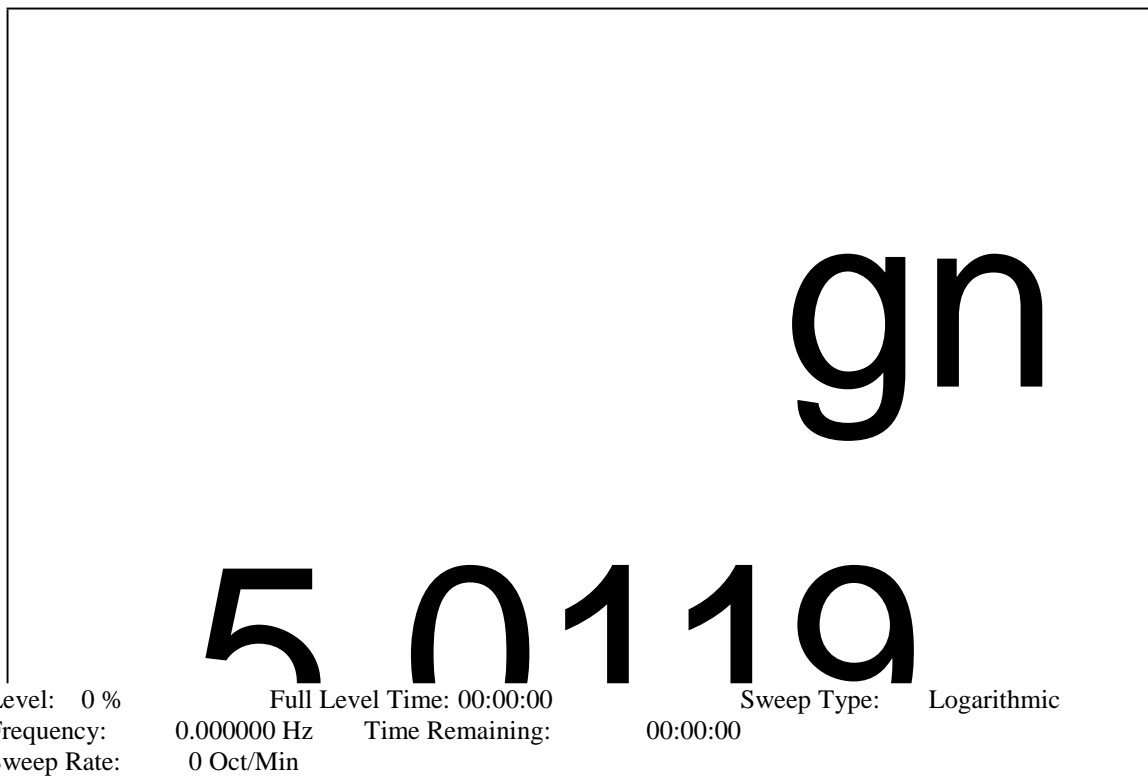
Serial Number:

Project File Name: SINE\_X.prj

Profile Name: ELUR SINE

Test Type: Swept Sine



Run Folder: .\SINE\_X(SINE)



Perfil de prueba senoidal realizada en el Eje X

**Interpretación de la gráfica.**

- Las líneas amarillas y rojas son los valores máximos a los que el registro de control puede llegar a tener durante la realización de la prueba. (margen de seguridad).
- La línea Negra sobre la verde es la lectura de control y demuestra que la maquina cumplió con el parámetro establecido para la prueba.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 23

- La línea Cian, representa la respuesta dinámica registrada por el segundo acelerómetro colocado en el extremo superior de la estructura, como puede verse se encuentra un sector de amplificación en donde la aceleración máxima supero los 7 g y se considera que entro en resonancia a los 13 Hz, así mismo se nota que existe un sector de amortiguamiento después de los 27 Hz.

Nota: Los valores obtenidos por los acelerómetros se encuentran en un archivo electrónico resguardado.

#### 6.4 Registro de la prueba en el eje Y,

La prueba en el eje Y fue realizada con base en los parámetros establecidos y con base en la configuración que muestra la siguiente fotografía



Foto. Modelo de Prueba y Acoplador para la prueba en el eje Y.

Los parámetros de configuración de la máquina son similares a los de la prueba en eje X, por tal razón se omiten los valores y solo se presenta la gráfica del espectro de vibración

gn

5 6 2 3 4



Perfil de prueba senoidal realizada en el Eje Y

(gn)/(gr)

1 2 5 8 9 3

Perfil transmisibilidad realizada en el Eje Y

## 6.5 Registro de la prueba en el eje Z,

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 25

La prueba en el eje Z fue realizada con base en los parámetros establecidos y con base en la configuración que muestra la siguiente fotografía, cabe destacar que el cilindro del actuador de la máquina de vibraciones mecánicas fue girado y puesto en su configuración vertical.



Foto Colocación del modelo de prueba Eje Z,

Los parámetros de configuración de la máquina son similares a los de la prueba en eje X, solo se diferencia el parámetro de orientación del cilindro vibrador y por tal razón se omiten los valores y solo se presenta la gráfica del espectro de vibración

#### Shaker Parameters

Shaker Name:	V721/2-PA1000L
Positive Displacement Limit Peak:	0.50 in
Negative Displacement Limit Peak:	0.50 in
Maximum Velocity Peak:	27.60 in/s
Maximum Acceleration Peak:	66.30 gn
Minimum Drive Frequency:	5.00 Hz
Maximum Drive Frequency:	4000.00 Hz
Maximum Drive Peak:	2.00 Volts
Orientation:	Vertical
Assume Noisy Measurement:	No



# gn

# 12 5893



Perfil de prueba senoidal realizada en el Eje Z

# (gn)/(c

# 74 9894

Perfil transmisibilidad realizada en el Eje Y

Nota: Se hace notar que la prueba fue inicialmente realizada hasta los 33.3 Hz, según la especificación de forma satisfactoria, como el equipo noto que no se había logrado llegar a la frecuencia natural de vibración del modelo y con la finalidad de poder conocer lo mejor

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 27



posible al mismo se extendió la prueba hasta los 80 Hz, encontrando así que la frecuencia natural en el eje vertical está a los 47 Hz.

#### **6.6 Comprobación de la prueba exitosa**

- Verificar que los valores de las frecuencias de vibración permanezcan por encima del límite de las especificaciones.
- Inspeccionar visualmente la estructura y todos los equipos, por lo que todos los elementos deben presentar un buen estado de ensamblado.
- Verificar la integración (interconectividad de equipos y funcionalidad), mediante una prueba funcional general del sistema.
- La memoria de la realización de la prueba ha sido hecha.
- No existe daño alguno en el funcionamiento del modelo ni en sus componentes.

**Así en lo que refiere al Modelo de Prueba presentado y probado en el Laboratorio de Integración y Pruebas Aeroespaciales de la ESIME Ticomán, y por los resultados obtenidos, la inspección visual después de las pruebas y los resultados obtenidos por GRUPO ELUR como pruebas de estado podemos afirmar que el dispositivo es apto (No sufrió daños visibles después de las pruebas realizadas)**

FIN.

		ELUR-IPN-6300-VIBT-08-Ed1.0	
		Fecha: 26/06/2017 Hora Ed: 13:38	
		Ed.: 1.1	Pág.: 28

## 7 Anexo 1



Foto 1 Peso del modelo (no muestra el valor máximo registrado).



Foto 2. Peso del modelo.



Foto 3. Modelo de prueba y adaptador sobre la mesa vibradora durante la prueba en el eje Z.



Foto 4. Equipo de prueba y algunos de los asistentes durante la realización de la prueba en el eje Z.