



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE QUIMICA

*VALIDACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE PUESTA A PUNTO, CALIBRACIÓN
Y PRUEBAS DEL LABORATORIO DE MESA VIBRADORA DEL INSTITUTO
DE INGENIERÍA DE LA UNAM*

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

INGENIERIA DE SISTEMAS –SISTEMAS DE CALIDAD

P R E S E N T A:

MIGUEL ANGEL MENDOZA GARCÍA



TUTOR:

Dra. MA. DE LOS ANGELES OLVERA TREVIÑO

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Estrada Orihuela Sergio

Secretario: M.I. Ruiz Botello Gerardo

Vocal: M.C. Alpizar Ramos María del Socorro

1^{er.} Suplente: Dra. López Arellano Raquel

2^{do.} Suplente: M.I. López Ortega Eugenio

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Instituto de Ingeniería de la UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dra. María de los Ángeles Olvera Treviño

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

- Dra. María de los Angeles Olvera Treviño, por todo su apoyo, orientación y tiempo dedicado en la realización de esta tesis.
- Dr. Julio Ricardo Landgrave Romero†, por su apoyo, orientación y confianza.
- A la maestra Rocío Cassaigne Hernández, por motivarme a retomar la realización de la tesis.
- A todos los miembros del Jurado, por sus observaciones, correcciones y sobre todos por el tiempo dedicado.
- A todos los profesores del posgrado en Sistemas de Calidad, por las enseñanzas transmitidas.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México, que además de la formación que me ha dado se a convertido en un segundo hogar.

DEDICATORIAS

- A mis padres que me han mostrado que aun en las peores condiciones y adversidades lo importante es seguir luchando, en especial a mi madre que ha mostrado una gran fortaleza para salir adelante de sus enfermedades y fortalecer cada vez a nuestra familia.
- A cada uno de mis hermanos que me han mostrado, que aunque diferentes, el cariño y la unión que tenemos hacen que las dificultades de la vida sean superables.
- A mi hermano Juan Franco, por su pronta recuperación.
- A todos mis compañeros del posgrado.
- A todos mis amigos, los cuales me han motivado a la terminación de este trabajo.

Índice

Capítulo 1. Introducción	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Características del sistema	4
1.2.1 Generalidades	4
1.2.2 Actuadores	5
1.2.3 Unidades de potencia hidráulica	5
1.2.4 Unidades de enfriamiento	5
1.2.5 Sistema oleodinámico de distribución	5
1.2.6 Apoyo estático de tipo neumático	6
1.2.7 Subsistema de control	6
1.2.8 Subsistema de captura de datos	7
1.2.9 Fabricantes	7
1.3 Transductores para las pruebas	8
1.4 Condiciones de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería	8
Capítulo 2. Hipótesis y objetivo	9
Capítulo 3. Metodología	9
Capítulo 4. Investigación documental	10
Capítulo 5. Definición de validación y conceptos relacionados	14
Capítulo 6. Procesos de puesta a punto, calibración de transductores, verificación de que equipo de captura.	19
6.1 Puesta a punto del sistema de control de la mesa vibradora (SCMV)	19
6.1.1 Ajuste de servo-válvulas	21
6.1.1.1 Ajuste del tercer estado de las servo-válvulas	23
6.1.1.2 Balanceo de las servo-válvulas	24
6.1.1.3 Balanceo de fuerzas	25
6.1.1.4 Puesta a punto de las servo-válvulas	26
6.1.2 Verificación de los acelerómetros	27
6.1.3 Ajuste de medición de los transductores de desplazamiento	28
6.1.4 Puesta a punto de la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería	31
6.2 Verificación de transductores y equipo de medición	33
6.2.1 Equipo y transductores patrón para la trazabilidad	34
6.2.2 Verificación de tarjetas de captura de datos	35
6.2.3 Verificación de acondicionadores	37

6.2.4 Verificación de transductores	39
6.2.4.1 Verificación de transductores de desplazamiento	40
6.2.4.2 Verificación de transductores de aceleración	42
6.2.4.3 Verificación de lecturas de deformación	45
6.3 Trazabilidad e incertidumbre	47
Capítulo 7. Validación de los procedimientos	48
7.1 Procedimiento de puesta a punto de la mesa vibradora	48
7.2 Validación de procedimientos de calibración del SCDMV	58
7.2.1 Procedimiento de verificación tarjeta de captura	59
7.2.2 Procedimiento de verificación de acondicionadores	63
7.2.3. Procedimiento de verificación de transductores	64
7.2.3.1 Verificación transductores de desplazamiento	65
7.2.3.2 Verificación transductores de aceleración	68
7.2.3.3 Verificación de transductores de deformación	71
Capítulo 8. Procedimiento para la realización de pruebas	72
8.1 Procedimiento para realización de pruebas en la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM	73
8.1.1 Cotización	73
8.1.1.1 Cotización a investigadores del Instituto de Ingeniería	74
8.1.1.2 Cotización a clientes externos	74
8.1.2 Diseño del protocolo de pruebas	76
8.1.3 Verificación del equipo a utilizar en la prueba	77
8.1.4 Puesta a punto de la mesa vibradora	78
8.1.5 Realización de pruebas	79
8.1.6 Entrega de resultados	83
8.1.7 Fallo técnico	84
Capítulo 9. Conclusiones	85
9.1 Procedimiento de puesta a punto	87
9.2 Calibración	87
9.3 Procedimiento de prueba	88
9.4 Conclusiones generales	88
Capítulo 10. Bibliografía	90
Capítulo 11. Agradecimientos	91

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM), figura 1.1, es uno de los sistemas simuladores de sismos para pruebas dinámicas más grandes y modernos del continente americano. Sus características y tecnología de control le permiten al II-UNAM estar a la vanguardia en estudios y pruebas dinámicas en estructuras y equipos.



Figura 1.1. Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM

1.1 Antecedentes

El sistema de mesa vibradora, inaugurado en junio de 1997, fue instalado para perseguir los siguientes objetivos:

- ❖ formación de recursos humanos
- ❖ investigación y desarrollo tecnológico
- ❖ certificación del equipo
- ❖ vinculación con la industria y práctica profesional

Este equipo es el tercero en su tipo en la historia del II-UNAM, el cual ha acumulado una importante experiencia en ensayos de mesa vibradora en modelos de presas de enrocamiento, de viviendas y estructuras de adobe, mampostería, concreto reforzado y acero, así como de elementos de disipadores de energía. Los conocimientos obtenidos

han contribuido a incrementar el entendimiento de la respuesta sísmica de estructuras, así como a mejorar las normas de diseño.

1.2 Características del sistema

1.2.1 Generalidades

La mesa vibradora del II-UNAM es de tipo biaxial, con un grado de libertad horizontal (X) y vertical (Z). El equipo de control, de tecnología digital, permite controlar el cabeceo (giro con respecto al eje Y), y aplica, aunque con magnitudes muy pequeñas, giros alrededor de X y Z. Con el cabeceo en los ejes X, Y y Z la mesa completa un sistema de movimiento con cinco grados de libertad.

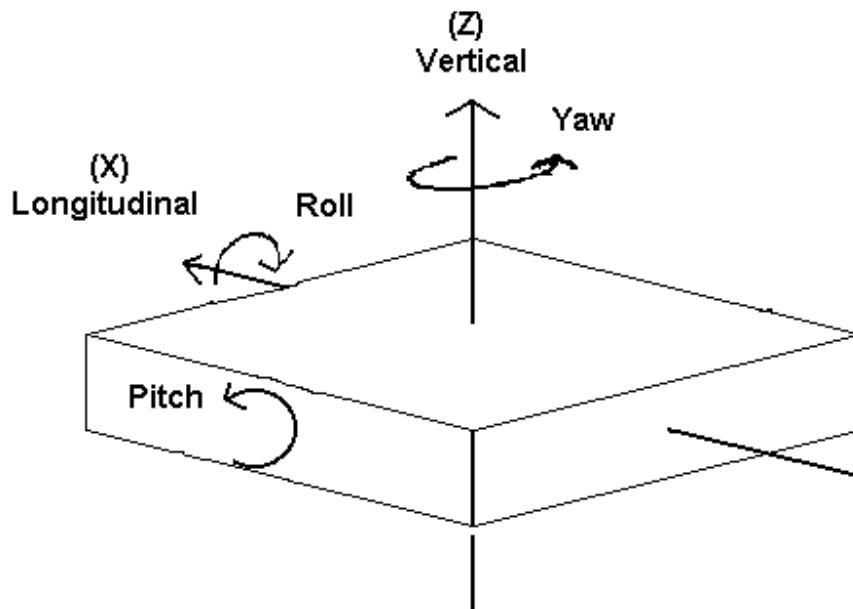


Figura 1. Grados de libertad de la mesa vibradora.

La mesa vibradora puede reproducir diferentes tipos de señales, entre las más importantes y que le dan una mayor versatilidad al equipo es la reproducción, es la de registros digitales de sismos o movimientos generados digitalmente.

El peso máximo de los modelos que se pueden ensayar es de 196,2 kN (20 tf). Las aceleraciones máximas, en las direcciones X y Z y con un modelo de 196,2 kN de peso, son de $9,810 \text{ m/s}^2$ (1 g). Para la mesa sola, sin espécimen, las aceleraciones máximas en las direcciones X y Z son $3,2 \text{ m/s}^2$ y $5,9 \text{ m/s}^2$ (3,2 g y 6 g), respectivamente.

Por las dimensiones y las posibilidades de carga la mesa es ideal para la prueba de modelos estructurales con bajo grado de escalamiento y de gran peso. También, se puede utilizar para las pruebas dinámicas a las que se deben sujetar equipos de generación y distribución eléctrica; así como de telecomunicaciones.

Las características más sobresalientes del sistema se resumen en la tabla 1. El funcionamiento del sistema se describe gráficamente en la figura 2.

Tabla 1. Resumen de las características de la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM

<ul style="list-style-type: none">• Grados de libertad: 5: 2 desplazamientos y 3 giros• Dimensiones de la mesa: 4 000 x 4 000 mm• Plataforma de aluminio 83,4 kN (8,5 tf)• Peso máximo de los modelos que pueden ser ensayados en la mesa: 196,2 kN (20 tf)• Actuadores<ul style="list-style-type: none">➤ Horizontales<ul style="list-style-type: none">❖ Número: 4❖ Carga máxima: 98,1 kN (10 tf)➤ Verticales<ul style="list-style-type: none">❖ Número: 4❖ Carga máxima: 196,2 kN (20 tf)• Desplazamiento horizontal máximo: +/- 150 mm• Desplazamiento vertical máximo: +/- 75 mm• Velocidad horizontal máxima (movimiento uniaxial): 1100 mm/s• Velocidad vertical máxima (movimiento uniaxial): 450 mm/s• Aceleración horizontal máxima: 9 810 mm/s² (1 g) con un modelo de 196,2 kN (20 tf) y un momento de volteo de 981 kN-m (100 t-m)• Aceleración vertical máxima: 9 810 mm/s² (1 g) con un modelo de 196,2 kN (20 tf) y un momento de volteo de 981 kN-m (100 t-m)• Intervalo de frecuencia: 0,1 a 50 Hz
--

1.2.2 Actuadores

Para transmitir el movimiento a la mesa, se utilizan ocho gatos hidráulicos de tipo dinámico (actuadores), cuatro verticales y cuatro horizontales de doble acción con las características indicadas en la figura 2 y en la tabla 1.

1.2.3 Unidades de potencia hidráulica

Par de unidades con bombas de pistón y flujo variable. Cada una tiene dos motores de 74,6 kW (100 HP). La capacidad de bombeo es de 416 l/min. Los motores son enfriados con agua.

1.2.4 Unidades de enfriamiento

Dos equipos con capacidad total de enfriamiento de 280 l/min. Cada una tiene un ventilador de tipo axial de 1220 mm de diámetro y un motor de 3,73 kW (5 HP). El agua para enfriamiento circula en un circuito cerrado mediante una bomba de 7,5 kW (10 HP).

1.2.5 Sistema oleodinámico de distribución

Distribuye el aceite a los actuadores. Está formado por tres tuberías de acero inoxidable, múltiples de servicio, acumuladores de presión, servo-válvulas de los actuadores y mangueras de hule. Las tuberías de presión y retorno son de 101 mm de diámetro y la línea auxiliar de drenaje a baja presión es de 51 mm de diámetro.

Los dos múltiples de servicio incluyen acumuladores para regular la presión, filtros para protección de las servo-válvulas y el control electrónico para alta y baja presión. El sistema trabaja a baja presión dentro de un intervalo de 0 a 4,13 MPa (0 a 600 lb/pulg²); la presión de trabajo (o alta presión) es de 20,7 MPa (3 000 lb/pulg²).

Los acumuladores se usan para cubrir las demandas de aceite que ocurren en ciclos a alta frecuencia. Básicamente están compuestos de dos partes, una cámara con nitrógeno, que es comprimido cuando en la segunda cámara entra el aceite bombeado a través de la línea de distribución.

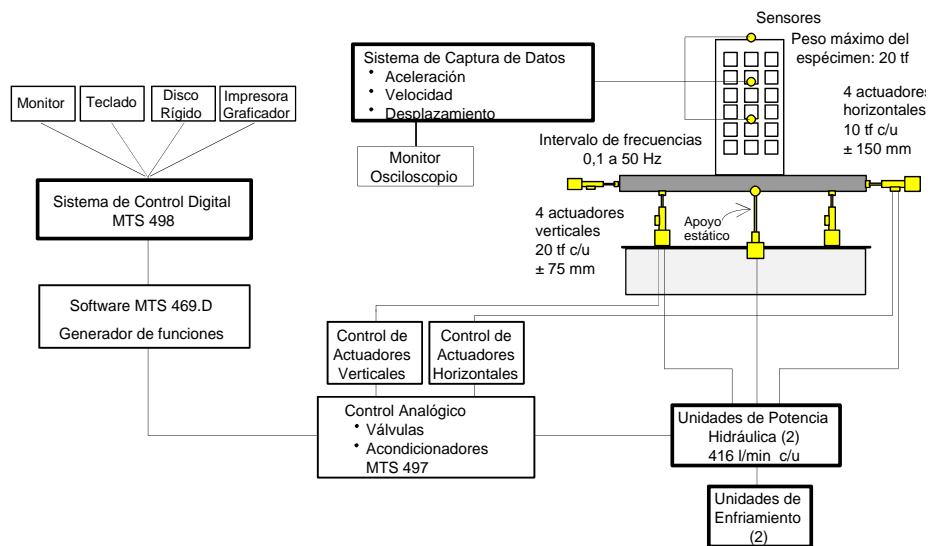


Figura 2 Diagrama de funcionamiento de la mesa vibradora

1.2.6 Apoyo estático de tipo neumático

Soporta los pesos de la mesa y de parte del espécimen durante una prueba. Está colocado bajo la mesa y está conectado en su centro geométrico. Cuenta con una guía interna que le da estabilidad lateral. La fuerza nominal de trabajo es de 206 kN (21 tf) a una presión de 0,69 MPa (100 lb/pulg²). El aire comprimido necesario para su funcionamiento se conduce a través de una tubería de cobre desde un compresor de 18,6 kW (25 HP) localizado en la parte posterior del cuarto de bombas.

1.2.7 Subsistema de control

La operación de la mesa vibradora se controla con un equipo de tecnología digital de punta conectado a una computadora personal del tipo 486/100 MHz con 16 MB en RAM. Permite controlar, en tiempo real, cinco grados de libertad (traslaciones horizontal y vertical, y tres giros), así como el desempeño de los componentes hidráulicos y mecánicos. El movimiento de la mesa es gobernado por el desplazamiento colectivo de los ocho actuadores. La sincronía de los actuadores se logra mediante el control simultáneo del desplazamiento, velocidad y aceleración.

Para disminuir los problemas de distorsión, debidos, entre otros, a resonancia e interacción de componentes y a no linealidad geométrica, el sistema usa varias técnicas de compensación dinámica. Estas son: compensación geométrica, balance de fuerza en los actuadores, estabilización de ΔP y linealización de flujos a través de servoválvulas.

El sistema de control permite aplicar los siguientes tipos de movimientos:

Función cíclica. De tipo senoidal, triangular o cuadrada. El control de la amplitud se hace por desplazamiento, velocidad o por aceleración.

Barrido de frecuencias. De tipo senoidal, triangular o cuadrado. La tasa de variación de crecimiento de las frecuencias puede ser lineal o logarítmica. El control de la amplitud se hace por aceleración.

Serie de tiempo grabada en disco. Permite la reproducción de historias de aceleración, velocidad o desplazamiento.

Sintéticas. Se obtienen series sintéticas de aceleración, velocidad o desplazamiento cuyos espectros de Fourier o de respuesta cumplen con los establecidos por el operador.

Aleatorias. Generación de movimientos aleatorios con control por desplazamiento, velocidad o aceleración en un intervalo de frecuencias.

El sistema de control permite visualizar en pantalla, por medio de un osciloscopio digital, las señales de comando y de retroalimentación (en función de las tres variables), el movimiento de cada actuador o de la mesa en conjunto. Para lograr una mayor fidelidad de los movimientos de la mesa, el programa de control permite aplicar técnicas de control activo para reducción de armónicos, de control adaptable inverso y de iteración en línea.

1.2.8 Subsistema de captura de datos

La mesa vibradora cuenta con un sistema de captura de datos con capacidad para 96 canales. Está instalado en una consola secundaria ubicada dentro de la Sala de Control. La consola tiene una computadora Pentium II a 233 MHz con 96 MB en RAM. La captura de información se hace a través de tarjetas analógico-digitales. De los 96 canales de entrada, 48 son de corriente directa de tipo *strain gauge* con acondicionamiento. Las señales pueden ser filtradas con filtros tipo Butterworth, Bessel, Chebyshev y lineal-elíptico. Las ganancias programables varían de 1 a 5000. El *software* para captura de datos fue elaborado por el II-UNAM en plataforma *LabView* de *National Instruments*.

1.2.9 Fabricantes

La mesa (plataforma), actuadores, unidades de potencia hidráulica, subsistema oleodinámico de distribución, apoyo estático y subsistema de control fueron fabricados por la empresa *MTS Systems Corporation* (Minneapolis, Estados Unidos de América). El sistema de captura de datos fue comprado a la compañía National Instruments, líder en desarrollo de sistema de captura de datos y parte de los acondicionadores de señales se compraron a MTS Systems Corporation.

1.3 Transductores para las pruebas

En la tabla 2, se muestran los transductores con que cuenta el laboratorio de Mesa Vibradora para la realización de ensayos.

Tabla 2. Tipo de transductores disponibles en la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM

Tipo de transductor	Cantidad	Intervalo de operación
Servoacelerómetros	2	± 2 g
	6	± 1 g
	6	± 0.5 g
Acelerómetros piezorresistivos	2	± 8 g
	8	± 4 g
	10	± 2 g
Transductores de desplazamiento con bayoneta	12	± 12,5 mm
	10	± 25 mm
	8	± 51 mm
	8	± 100 mm
	10	± 200 mm
Transductores de desplazamiento con cable	5	1000 mm de carrera
	2	1500 mm de carrera
	5	3750 mm de carrera

1.4 Condiciones de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería

Al igual que en muchos laboratorios del Instituto de Ingeniería y de la UNAM, el laboratorio de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM (LMV-II-UNAM), no cuenta con un sistema de gestión de la calidad que le permita garantizar los resultados de los ensayos que realiza. Sin embargo, realiza los ensayos conforme a la metodología del investigador responsable de las pruebas.

Esta situación causa en ocasiones problemas al realizar los ensayos en la mesa vibradora; debido a que el investigador no está familiarizado con la operación de la mesa vibradora y presupone condiciones que no se ajustan a las condiciones de

operación de la mesa vibradora. Esto en la mayoría de los casos hace que no todos los resultados obtenidos sean los que se esperaban del experimento.

Además de las situaciones descritas, la complejidad del equipo control de la LMV-II-UNAM y su forma de operar, es una parte importante a validar. Esto debido a que no se puede obtener un certificado de calibración del equipo del LMV-II-UNAM, por algún laboratorio de calibración.

Otro indicador es que los ensayos que se realizan en la LMV-II-UNAM, en su mayoría se deben diseñar a las necesidades del modelo o equipo que se ensaye. Esto porque, en los ensayos de investigación, es el investigador el que determina las pruebas que se deben realizar y sus características y por otra a que muchos equipos no cuentan con las especificaciones de prueba dinámicas que deben cumplir.

Tomando en consideración lo anterior y la necesidad de que el LMV-II-UNAM cuente con un sistema que le permita asegurar la calidad de los resultados de sus ensayos de investigación y de pruebas al sector industrial del país. En el presente trabajo se buscará la mejor forma de validar los procesos que se llevan a cabo para la realización de pruebas y que afectan en los resultados de los ensayos que realiza el laboratorio.

Los principales procesos que se buscan validar son: puesta a punto de la mesa vibradora, sistema de captura de datos, calibración de transductores y proceso de realización de pruebas.

En la calibración se considera la forma de obtener la trazabilidad de los transductores y equipos de medición del laboratorio. Ya que actualmente se cuenta solamente con la calibración original del fabricante, la cual en la mayoría de los casos no aplica en la forma que se utiliza en la mesa vibradora.

CAPÍTULO 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVO

Hipótesis

Se pueden desarrollar los métodos y/o técnicas de validación para los procesos de puesta a punto, pruebas, sistema de captura de datos, calibración de equipo y transductores del laboratorio de Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Objetivo

1. Determinar la normatividad que aplica a los equipos utilizados en el laboratorio de Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería.
2. Investigar los diferentes métodos y técnicas de validación de procedimientos.
3. Proponer los métodos de validación para los procesos de puesta a punto y verificación para el equipo de captura y control de la mesa vibradora.
4. Proponer el método de validación del proceso de realización de pruebas.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

1. Investigación documental de normas y procedimientos de calibración aplicables al equipo de la mesa vibradora.
2. Investigación documental de métodos y técnicas de validación de procedimientos de calibración y operativos.
3. Realización de Benchmarking con otros laboratorios similares.
4. Describir los procesos de puesta a punto y verificación para el equipo del Laboratorio de Mesa Vibradora.
5. Describir el procedimiento de pruebas del laboratorio de la mesa vibradora.
6. Comparar las metodologías de validación para cada procedimiento planteado.

CAPÍTULO 3. INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

La mesa vibradora del Instituto de Ingeniería pertenece al tipo de mesas diseñadas para realizar pruebas sísmicas de certificación y de investigación. Por sus dimensiones y capacidades se puede considerar una mesa de capacidades medias; ya que existen mesas con capacidades mayores en desplazamiento y carga. Sin embargo, sigue siendo la más grande que existe en Latinoamérica.

Este tipo de mesas son de características únicas; ya que el diseño de los materiales y sistemas de control se hace dependiendo de las dimensiones y capacidades del equipo utilizado. Además de que dependen de las características de movimiento. Así, por ejemplo, se pueden encontrar muchas mesas de un grado de libertad, pero en todas variará un parámetro, como puede ser desplazamiento, carga o movimientos que pueda reproducir.

Es por ello que las mesas vibradoras de grandes dimensiones son encaminadas principalmente a la investigación para la mitigación de daños por sismos, tanto de estructuras como de equipo utilizado en lugares de alta importancia como plantas generadoras de energía eléctrica y que son susceptibles a daños por movimientos telúricos.

Otra característica importante del tipo de mesas vibradoras es la aplicación que se le da. Por lo regular las mesas de pequeñas dimensiones se utilizan para pruebas de vibración de alta frecuencia, donde los desplazamientos son pequeños y se pueden tener altas magnitudes de aceleración. Mientras que las mesas de tamaño grande y mediano son de bajas frecuencias y desplazamiento grandes.

En la industria automotriz, electrónica y de piezas movibles se generan pruebas prototipos para asegurar que las piezas y equipo resistan choques y vibraciones fuertes. Para ello se utilizan mesas pequeñas donde se debe producir un solo tipo de movimiento de vibración y que es similar para todos los casos.

Para estas pruebas las industrias y autoridades tienen normalizadas las pruebas de este tipo de piezas y por lo regular son iguales en todo el mundo. Por ello, se puede encontrar que existen empresas que venden este tipo de mesas y se puede encontrar más de una con las mismas características.

Sin embargo, en las mesas vibradoras medianas y grandes, que se utilizan para pruebas sísmicas; solamente la industria eléctrica solicita a sus proveedores la realización de pruebas sísmicas a los equipos que compra. Por lo que solamente para este tipo de equipos se encuentra la existencia de normas para la realización de pruebas dinámicas, como los lineamientos de la *Especificación Técnica General ETG 1.015 de la Empresa Nacional de Electricidad, S.A., ENDESA, de la República de Chile del 2 de mayo de 1987, la IEEE AD199 P695, D6.2- 1997 "P693 Recommended Practices for Seismic Design of Substation"*.

Las dos normas se enfocan en los parámetros de diseño para equipos de producción de energía eléctrica de alta potencia. Donde especifican las pruebas y características de movimientos que se deben aplicar a los equipos a probar y los datos que se deben

reportar. En las pruebas también se incluyen pruebas no dinámicas o cálculos que se deben realizar y que están fuera de la competencia técnica del LMV-II-UNAM, así que no se aplica toda la norma.

Existen diferencias entre las dos normas; ya que la primera es de una empresa eléctrica chilena que ha propuesto sus propias pruebas y parámetros de diseño y la segunda corresponde a una norma internacional donde se busca englobar las necesidades de varios países.

En México la compañía de Luz y Fuerza está homologando sus pruebas a la norma de la IEEE, donde participan en la revisión de las mismas. Sin embargo, se encuentran con el problema de que existen pocas mesas vibratoras con las características suficientes para realizar este tipo de pruebas. Por lo que para el LMV-II-UNAM puede resultar un nicho de mercado, ya que es la única mesa de esas características en el país y en toda Centroamérica.

Ambas normas especifican las características de movimiento que debe tener la mesa vibradora, que en la mayoría de los casos se requiere que sea bidimensional y que sus movimientos sean en los ejes X y Y. En caso de que no sea así, dan la opción de probar los equipos en dos pruebas donde se apliquen los movimientos de prueba en ejes perpendiculares del equipo. Lo cual involucra la rotación del equipo.

Aunque la mesa tiene movimiento en dos ejes, no cuenta con el movimiento en el eje Y así que se debe optar por realizar los ensayos en dos pruebas moviendo el equipo y cambio el eje de aplicación del movimiento. Aunque ésta condición se presenta en la mayoría de las mesas vibratoras, ya que la mayoría es de un solo grado libertad y que es el movimiento en el eje longitudinal, eje X, hay otras mesas que se hacen ex profeso para cierto tipo de pruebas y se requiere por lo regular el movimiento vertical y uno longitudinal. Finalmente se tienen pocas mesas que se muevan en los tres ejes y que además tengan los seis grados de libertad. Por ello las normas permiten que las pruebas se puedan ajustar a las características de movimiento de las mesas vibratoras, marcando solamente la conveniencia de que la mesa en la que se haga se mueva en los ejes planos.

Lo que se refiere a componentes y equipos electrónicos se encontró que el organismo NYCE de México cuenta con varias normas para pruebas con vibración de componentes y equipos. Sin embargo, la mayoría entra en el tipo de pruebas que se realizan con las mesas pequeñas y que quedan fuera de la aplicación del LMV-II-UNAM. Solamente dos se podrían aplicar en la mesa vibradora como referencia y una es la *NMX-I-007/3-3- NYCE-1998 Equipos y componentes electrónicos – Métodos de pruebas ambientales y de durabilidad – Parte 3-3. Información de bases - Sección 3. Guía Métodos de pruebas sísmicas aplicables a los equipos*. En esta norma se hablan de las consideraciones que se deben tomar en cuenta en las pruebas que se realizan en mesas vibratoras y las posibilidades que hay en la aplicación de las pruebas dependiendo de las características de ésta. También cuenta con consideraciones prácticas para la realización de cálculos y el reporte de los resultados.

La otra fue la *NMX-I-007/2-62 NYCE 1998. Equipos y componentes electrónicos- Métodos de pruebas ambientales y de durabilidad parte 2-62. Prueba Ff. Vibraciones métodos de acelerogramas*. En esta norma al igual que el anterior se especifica la forma

de realizar las pruebas a equipos por medio de registros electrónicos de movimientos aleatorios. Aunque se enfoca también a equipos pequeños se puede aplicar a equipos de comunicaciones grandes; pero primero se debe estudiar las características de los acelerogramas para determinar si entran dentro de las capacidades y características de la mesa vibradora.

En la parte de ingeniería civil, dado que es una de las áreas donde se utilizan las mesas vibratoras de grandes y medianas capacidades, no se encontró ninguna norma nacional o internacional que se refiriera a pruebas específicas de mesa vibradora. Por lo regular en esta área se hacen pruebas sobre materiales y elementos y no sobre un modelo completo. La utilización de estas mesas en la ingeniería civil se utiliza principalmente en investigación, por ello es que no se cuenta con una norma que especifique las características de este tipo de pruebas.

Al realizar pruebas de investigación, es el investigador el que propone las características de las pruebas y que siempre deben estar dentro de las posibilidades de la mesa vibradora donde vaya a realizar el ensaye.

Los requisitos que se indican en las normas están basados principalmente en las características de reproducción y capacidades de los equipos. Sin profundizar en las características operativas y de calidad que se deban cumplir. Esto se debe principalmente a las características únicas de las mesas vibratoras y a que no existe una organización que rija o agrupe a los laboratorios de este tipo.

Con el fin de obtener una guía de qué requisitos y formas de poder validar los proceso de la mesa vibradora se pasó a la búsqueda de normatividad o guías que se enfocaran a la realización de pruebas en laboratorios de cualquier tipo. Con respecto a normas de calidad se encontró la norma NMX-CC-17025 para la acreditación de laboratorios de ensayos y calibración.

También se encontró que hay industrias, como la farmacéutica que tienen normatividades donde se especifica la realización de validaciones y en algunos casos cómo realizarlo en las pruebas de sus laboratorios.

Durante la investigación documental, surgió la inquietud de realizar también entrevistas con especialistas en las áreas de medición que realiza la mesa vibradora, para obtener su punto de vista y orientación de la forma de poder validar los procesos que realiza el LMV-II-UNAM y en caso dado se podría obtener la acreditación. Por lo cual se concertaron entrevistas con personal de la EMA y el CENAM con el fin de responder algunas preguntas que se tenían, obtener comentarios sobre la forma en que se realizan las pruebas en la mesa vibradora y sugerencias de cómo mejorar los procesos apegados a la normatividad vigente.

De la visita a la EMA se respondió a la pregunta de si es posible acreditar la mesa tomando como enfoque general la realización de pruebas dinámicas y no solamente algunas de las normas encontradas y que solamente cubren parte de las pruebas que realiza el LMV-II-UNAM. Aunque no es intención del trabajo cubrir la parte de acreditación se hizo interesante saber si el proceso de validación podría ayudar a la obtención de la acreditación. Durante la entrevista se preguntó sobre lo aceptable que es la realización de calibraciones internas de los transductores con que cuenta el

laboratorio. A lo que respondieron que no había ningún problema y que era valido hacerlas siempre y cuando se justificara técnicamente o económicamente su realización. Por lo que esto también se justifica el trabajo que se realiza en esta tesis en validar los procedimientos de calibración de los transductores.¹

Durante la visita al área de medidas físicas del CENAM nos mostraron la forma en que realizan las calibraciones de acelerómetros y sus equipos de mesa vibradora, que entran dentro de la categoría de mesas vibratoras chicas y de frecuencias altas. También nos respondieron que todavía no tenían la capacidad para calibrar nuestros acelerómetros en los intervalos de frecuencia y magnitud que es necesario para las lecturas de la mesa vibradora. Pero que estaban en proceso de construir un equipo con el que podrían realizarlas.

Ante esto se les pregunto si el LMV-II-UNAM podría realizar sus propias calibraciones, solamente obteniendo un instrumento patrón para la realización de las calibraciones a lo que respondieron que sí. Solamente se tendría que validar el proceso de calibración y el cálculo de incertidumbres.

Se intentó tener contacto con otros laboratorios del mismo tipo a nivel internacional, lo cual fue imposible de manera personal y solamente se obtuvo las experiencias de investigadores que han realizado visitas o estancias en otras universidades o centros de investigación. Los comentarios de todos los investigadores a sido la forma de operar de los laboratorios, donde de manera reiterada se vio, que los mismos laboratorios realizan la puesta a punto de su equipo conforme a las características de operación y que tienen formas distintas de operar su equipo de captura de datos. Además que solamente recuren al fabricante para el mantenimiento o puesta apunto general de la mesa vibradora cuando es estrictamente necesario.

En todos los casos es que estos laboratorios no siguen una norma específica y que se adaptan los requerimientos de pruebas a las características de la mesa vibradora. Además de que ninguno cuenta con una acreditación como laboratorio de prueba y no es su intención obtenerla. En cada caso los sistemas de validación y prueba los determina el equipo de operación y la principal actividad del laboratorio son las pruebas de investigación o certificación de equipo.

En la ciudad de México se encontró que el laboratorio de alumbrado público del Distrito Federal realizaba pruebas con una mesa vibradora eléctrica de pequeñas dimensiones. Al realizar la visita del laboratorio se constato que las pruebas que realizaban en su mesa vibradora se basaban en un movimiento senoidal en tres distintas frecuencias. Para validar los movimientos que reproduce su mesa vibradora, recuren al CENAM quien verifica que la mesa se mueva en las frecuencias que tiene programadas el equipo y les extiende un certificado de los resultados obtenidos durante los movimientos y las pruebas realizadas con el equipo.

¹ Al momento de realizar la investigación documental y las entrevistas se consideraba valido la realización de calibraciones internas de los laboratorios sin la necesidad de estar acreditados como laboratorios de calibración de los transductores o equipos. En investigación reciente en el “Manual de procedimientos para trazabilidad e incertidumbre de mediciones” publicado por la EMA se corroboró que todavía los laboratorios pueden realizar sus propias calibraciones; pero para que sean reconocidas el laboratorio se debe acreditar como laboratorio de calibraciones.

La mesa vibradora la utilizan para las pruebas de las conexiones de los postes de alumbrado público y donde las normas especifican la frecuencia, magnitud y tiempo de duración de la prueba. Aunque el LMV-II-UNAM puede realizar algunas de estas pruebas, otras quedan fuera del rango de operación de la mesa vibradora. Además se identificó que sería interesante no solamente probar una parte de la conexión, sino realizar la prueba de todo el poste de alumbrado público ante movimientos sísmicos y senoidales y ver su comportamiento. Pero como esto, no está establecido en la norma solamente quedó como sugerencia para investigación y posibles mejoras a las normas.

En esta visita se vio una forma de poder realizar la validación del procedimiento de puesta a punto de la mesa vibradora. La cual se refiere a que el CENAM pueda realizar pruebas de los movimientos que realiza la mesa vibradora; aunque se tendrá que analizar la factibilidad de esta opción, ya que la forma de operar de las mesas es muy diferente.

Hasta este punto se llegó en la investigación de la normatividad y forma de operar las mesas vibratoras. Con el fin de obtener métodos normalizados de operación y medición en mesas vibratoras.

Como segunda parte de la investigación se buscó la forma de realizar la validación de los procesos que se realizan en la mesa vibradora. Para ello principalmente se buscó en apuntes y libros que hablaran de validación de métodos, procedimiento y programas.

Se encontró que las normas ISO-9000 e ISO 17025 sugieren la validación y la forma en que se puede realizar, dejando al usuario de la norma el determinar la mejor forma para realizarla. Especifican la conveniencia de utilizar métodos normalizados y en caso de no ser posible la utilización de métodos propuestos por el mismo laboratorio conforme a sus necesidades y experiencia.

También se consultó apuntes o presentaciones de diversa índole respecto a la validación de métodos, procedimientos, etc. En la mayoría de ellos se hace referencia a la norma ISO-17025 o ISO-9000. Algunas otras hacen referencia a normatividades específicas del área de aplicación, farmacéutica y automotriz principalmente.

Antes de hablar sobre lo que se quiere validar y la forma de realizarlo, en el siguiente capítulo se hablará sobre que es la validación y algunas definiciones encontradas, así como los métodos para realizarla.

CAPÍTULO 3. DEFINICIÓN DE VALIDACIÓN Y CONCEPTOS RELACIONADOS

Existen diferentes definiciones de validación, aunque son similares tienen sus diferencias y están debidas al campo de aplicación. Las principales que se encontraron fueron las que dan las normas ISO-9000, ISO-17025, VIM y NOM-059 que se presentan a continuación.

ISO 9000 – 2000. **“Validación: Confirmación del cumplimiento de los requisitos particulares para un uso específico, por medio de un examen y aporte de evidencia objetiva”.**

NMX-EC-17025- IMNC 2000 e ISO/IEC 17025: 1999: **“Validación: Confirmación por examen y la provisión de evidencia objetiva de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico propuesto”.**

VIM **“Validación: Confirmación a través de un examen de un artículo dado y proporción de evidencia objetiva que cumpla con los requisitos para un uso intencional declarado”.**

NOM-059-SSA1-1993 **“Validación: Evidencia documentada que demuestra a través de un proceso específico se obtiene un producto que cumple consistentemente con especificaciones y los atributos de calidad establecida”.**

Las cuatro definiciones hablan del cumplimiento de requisitos, especificaciones y atributos establecidos para un uso o de calidad especificada. Existen alcances diferentes en cada una de las definiciones; ya que mientras la ISO-9000 se aplica para cualquier tipo de organización, la ISO-17025 se aplica a laboratorios de ensayo y/o calibración y la NOM-059 para establecimientos que se dedican a la fabricación de medicamentos.

Aunadas a estas definiciones de las normas, en la “Guía sobre la calificación de equipo de instrumentos analíticos publicada por el CENAM”⁹ definen la validación de la siguiente forma:

“Validación: Es el proceso de evaluación del funcionamiento de un procedimiento de medición específico y revisa que el funcionamiento cumpla criterios pre-establecidos. La validación establece y proporciona evidencia documentada de que el procedimiento de medición se establece para un propósito particular”.

Por otro lado, los apuntes de un curso impartido por la ema sobre validación de métodos de medición¹², se define la validación de la siguiente manera:

“Validación de un método de medición: Confirmación, mediante la examinación y presentación de evidencia objetiva de que los requerimientos para un uso particular son totalmente cumplidos. Demostrar que las características de desempeño de un método de medición son adecuadas para la exactitud requerida”¹².

“Cuando se habla de métodos de medición, la validación es el proceso para establecer las características de comportamiento y limitaciones de un método de medición. Esto incluye la identificación de las influencias que pueden cambiar estas características y su extensión”¹².

La realización de la validación se puede realizar tomando en consideración los siguientes criterios.

- Realización de experimentos físicos en los que se obtiene información del comportamiento del método de medición, se ordena, se analiza y se hacen conclusiones.
- Suposiciones teóricas basadas en experiencia, considerando la probabilidad de que sean ciertas.

En lo que se refiere a métodos de medición, la validación se puede conceptualizar en dos tipos:

1. “Diseño: Se aplica durante el desarrollo de un nuevo método de medición para demostrar que el método de medición es lo suficientemente exacto para los requerimientos establecidos”¹².
2. “Control de calidad: Se aplica rutinariamente para demostrar que el método establecido, en condiciones normales de medición, cumple con los parámetros establecidos en la etapa de diseño”¹².

La forma de validar el diseño es implícito en el mismo diseño y desarrollo del método. Ya que durante estos pasos se tiene que obtener los datos que demuestren que el método desarrollado cumple con los requisitos propuestos.

En los que se refiere al control de calidad, existen diferentes criterios y formas de realizarla. La norma ISO-17025 propone las siguientes cinco formas de realizarla.

1. Calibración usando patrones de referencia: Se usa cuando se quiere demostrar el dominio de un método normalizado de medición o calibración.
2. Comparación de resultados alcanzados con otros métodos: Se usa cuando se cambia un método normalizado o se realiza alguna modificación al método.
3. Comparación entre laboratorios: Se utiliza cuando no se tiene un patrón de referencia, se tiene un nuevo método no normalizado y hay otros laboratorios que lo utilizan.
4. Evaluación sistemática de los factores de influencia en los resultados: Se usa cuando se requiere una validación operativa, se cambió el método, se modificó el método, se solicita por normatividad y por recomendación.
5. Evaluación de la incertidumbre de los resultados con base en el conocimiento científico de los principios teóricos del método de la experiencia práctica: Se usa cuando de forma teórica se pueden establecer parámetros de comparación contra la aplicación del método de medición o ensaye.

En cualquiera de los casos la validación debe contener por lo menos los siguientes elementos:

- Objeto de la validación: Que se pretende validar

- Requisitos del objeto: Características de lo que se pretende validar
- Uso intencional declarado: Especificar cómo y para qué se va a utilizar, así como los requisitos para su uso
- Examen: Descripción y datos obtenidos de las pruebas que se llevaron a cabo para demostrar el cumplimiento de los requisitos.
- Expresión de los resultados: Declaración del cumplimiento de los requisitos y observaciones.

En el caso de métodos de calibración se pueden establecer como:

- Título: Descripción general del documento de validación
- Alcances e incertidumbre que persigue el método: Definición del tipo de prueba o calibración pretendida y límites del método. Incertidumbre asociada pretendida de la prueba de calibración empleando el método
- Descripción del método: Explicación general del principio teórico y detalles operativos del método.
- Evaluación del método: Explicación general y detalles teóricos del procedimiento de validación empleado. Resultados y comparación con el alcance e incertidumbre perseguidos con el método.
- Conclusión: Declaración de validez del método

La validación se puede aplicar tanto a métodos, procesos, procedimientos, diseños, instrumentos, sistemas, productos, servicios, modelos y etc. Por ello las diferentes formas de poder realizar la validación. En cada caso el enfoque puede ser diferente, pero el fin es el mismo, demostrar que se cumple con los requisitos especificados para un uso declarado.

Aunado a la definición de validación se hace necesario definir los conceptos de calibración, confirmación metrológica, confirmación de métodos, y verificación. Esto es porque en el LMV-II-UNAM en algunos casos se hará una verificación y/o confirmación de método. Además de la calibración en muchos casos se debe realizar una confirmación metrológica, para determinar si el equipo utilizado es del intervalo y resolución requerida por el ensayo.

ISO 10012-1 1992 **“Calibración: Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición o un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de una cantidad obtenida por un patrón de referencia”.**

NOM-059 SSA1-1993 **“Calibración: Demostración de que un dispositivo de medición produce resultados dentro de los límites especificados con referencia a un estándar con un rango apropiado de medida”.**

ISO 10012-1 1992 **“Confirmación metrológica: Conjunto de operaciones requeridas para asegurar que un elemento del equipo de medición este conforme con los requisitos para el uso intencionado”.**

“Confirmación metrológica: Conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que los equipos de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto”.

“Confirmación de métodos: En caso de la utilización de métodos normalizados, se debe realizar una confirmación de que se puede operar el método conforme lo establece la norma. Esta confirmación es equivalente a la validación pero no es propiamente una validación.”

“Verificación: Confirmación a través de un examen de un artículo dado y proporción de evidencia objetiva que cumple con los requisitos”.

Estas son las definiciones encontradas en normas, notas de cursos y libros sobre calidad. Partiendo de las definiciones y de la necesidad de validar, verificar y confirmar metrológicamente los resultados generados en los ensayos del LMV-II-UNAM se propondrá la metodología conveniente para cada uno procesos de operación críticos en la realización de pruebas.

Antes de la propuesta se describirá brevemente cada uno de los procesos que se consideran críticos en la generación de resultados. Principiando por el equipo de control de la Mesa Vibradora y pasando después al equipo de captura de datos.

CAPÍTULO 3. PROCESOS DE PUESTA A PUNTO, CALIBRACIÓN DE TRANSDUCTORES Y VERIFICACIÓN DE EQUIPO DE CAPTURA

El LMV-II-UNAM cuenta con diversos equipos y transductores necesarios para la realización de los ensayos. Los cuales se han agrupado en los dos sistemas principales y que son independientes en su funcionamiento. El primer sistema corresponde al equipo de control para el movimiento de la mesa vibradora y el segundo es el sistema de captura de datos.

En el sistema de control se agrupa todo el equipo relacionado con la operación de la mesa vibradora, como son la consola de control, servo-válvulas, transductores de realimentación (acelerómetros, LVDT, celdas de presión y de temperatura), acondicionadores, actuadores hidráulicos y bombas aceite principalmente.

Mientras que el sistema de captura de datos se incluyeron los transductores de aceleración y desplazamiento que se utilizan en la instrumentación de los modelos, cables de conexión, las tarjetas de captura de datos, acondicionadores para los transductores y equipo patrón para verificación de los transductores y equipo de captura de datos.

Entre los dos sistemas, la mesa vibradora cuenta por lo menos con 100 transductores y acondicionadores, dos equipos de captura de datos y un control que se deben verificar por lo menos una vez al año. En otras ocasiones, se debe revisar las constantes de los transductores y en especial la puesta a punto de la mesa vibradora para cada ensayo que se realiza.

Además de ello, se debe tomar en cuenta la forma en que se realiza el ensayo o las pruebas. La forma de operar determina en la mayoría de los casos la obtención de un mayor número de resultados útiles. Esto debido a que una de las complicaciones de las pruebas realizadas en el LMV-II-UNAM es el número de transductores y sensores utilizados. Donde en pruebas de investigación se llegan a utilizar todos los canales disponibles en el sistema de captura de datos, lo cual dificulta el seguimiento y verificación de que todos los canales estén funcionando durante la prueba.

En los siguientes acápites se hace una explicación general de la forma en que se realiza la puesta a punto de la mesa vibradora, la calibración del equipo del sistema de captura y de los transductores con que cuenta el LMVI-II-UNAM. Además de la manera en que normalmente se llevan acabo las pruebas.

3.1 Puesta a punto del sistema de control de la mesa vibradora (SCMV)

La puesta a punto del SCMV de la mesa vibradora consiste en la realización de ajustes en los parámetros de acondicionamiento de las señales de retroalimentación del sistema de control y de los ajustes de operación de las servo-válvulas que controlan el flujo de aceite a los actuadores hidráulicos. Además de realizar los ajustes pertinentes a los parámetros del programa de control. En los siguientes párrafos se explica brevemente como se realizar estos ajustes.

Las partes principales del SCMV son los controladores para las servo-válvulas, acondicionadores de los transductores de realimentación y los parámetros del programa de operación. Cabe mencionar, que por lo cerrado del SCMV, todas las puestas a punto se realizan con el programa de operación de la mesa vibradora, figura 6.1.1.

Este programa está diseñado para controlar, capturar y operar cada uno de los componentes del SCMV y que depende de los parámetros internos de este programa el buen funcionamiento de la mesa vibradora. Por lo que, es necesario siempre utilizar este programa para realizar la puesta a punto o ajustes de los componentes de la mesa vibradora. En la figura 6.1.2 se puede visualizar la forma en que el programa de operación interactúa con los diferentes componen del SCMV.



Figura 6.1.1. Ventana del programa de control de la Mesa Vibradora

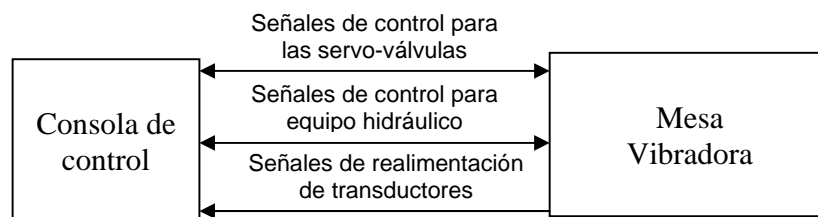


Figura 6.1.2 Diagrama de flujo de información del SCMV

La puesta a punto del SCMV consiste en ajustar cada una de las servo-válvulas y transductores por medio de su respectivo controlador o acondicionador. Además del ajuste individual se debe realizar una puesta a punto de todos los componentes en conjunto para mejorar la respuesta de la mesa vibradora, en la figura 6.1.3 se muestra el diagrama de flujo de la puesta a punto del SCMV. Esta puesta a punto tiene como fin la obtención de los parámetros de operación de la mesa vibradora sin peso y que sirva de referencia para los ajustes que se deban realizar con cada modelo que se vaya ensayar.

Aunque las bombas de aceite, acumuladores y demás equipo hidráulico son parte del SCMV, pero solamente se les realiza trabajos de mantenimiento y ajuste de valores mecánicos rutinarios. Los cuales influyen en el funcionamiento de la mesa vibradora y que cada vez que se realizan se debe realizar una puesta a punto de la mesa vibradora. Sin embargo, no participan en el proceso de puesta a punto que se describe ya que no es necesario ejercer un control sobre estos equipos. Por lo que no se incluyen en la descripción de la puesta a punto.

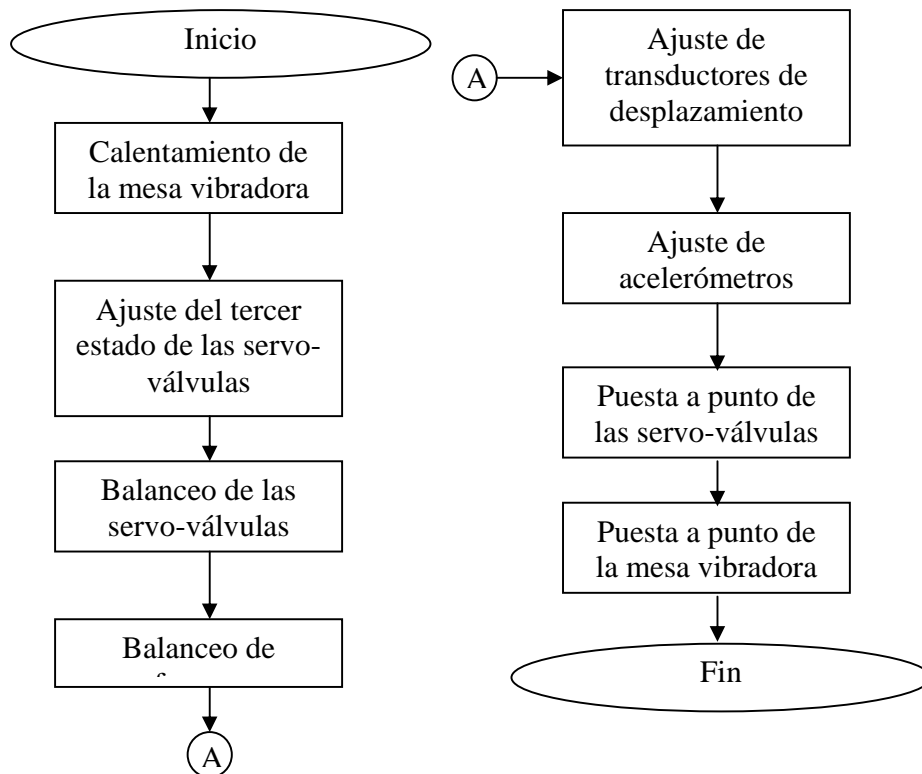


Figura 6.1.3. Diagrama de flujo de la calibración del SCMV

El proceso de puesta a punto de la mesa vibradora se encuentra detallado en el manual de puesta a punto de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este manual fue realizado tomando como base la forma en que realizó el personal de MTS Systems la puesta a punto de la mesa vibradora y con la experiencia obtenida durante las puestas a punto realizadas posteriores por el personal del LMV-II-UNAM.

Los siguientes puntos son un resumen de este manual y solamente se realiza para dar una idea de las tareas que se deben realizar para la puesta a punto de la mesa vibradora en forma general y para cada ensayo. Con ello esto después se describirá la forma en que se propone la validación de este proceso de operación de la mesa vibradora.

3.1.1 Ajuste de servo-válvulas.

Con las servo-válvulas se controla el movimiento de los ocho actuadores hidráulicos de la mesa vibradora y se pueden ajustar aun sin que se hayan realizado los trabajos de mantenimiento a los demás equipos del sistema hidráulico. Sin embargo, si se realiza algún trabajo de mantenimiento al equipo hidráulico, se deberá realizar un nuevo ajuste.

El programa de operación debe calcular que tanto flujo de aceite debe dejar pasar en cada uno de los actuadores para que se muevan de forma simultánea y sincronizada. Para ello debe calcular las señales que son necesarias enviar a los controladores de las

servo-válvulas, que convierten los valores que les envía el programa de control en la señal analógica de voltaje que requiere la bobina de la servo-válvula. Además de ello, los controladores reciben las señales de realimentación que tienen las servo-válvulas para que el programa de control pueda calcular los ajustes que debe realizar en la apertura y cierre de la servo-válvula.

Aunque el ajuste es de forma independiente, se tiene que cuidar que los cambios realizados en los parámetros de las servo-válvulas no afecten el funcionamiento en conjunto de los actuadores; ya que se puede llevar a la mesa vibradora a un estado de inestabilidad que produzca daños al equipo. En la explicación de cada parte del ajuste se mencionan los valores característicos y límites que se deben tener para considerar que el ajuste esta bien realizado.

Para cualquier proceso a ajuste de las servo-válvulas y de la mesa en su conjunto, se debe realizar el movimiento de calentamiento de la mesa vibradora previamente. Otro punto importante es que el ajuste de las servo-válvulas y la verificación de los transductores de realimentación se debe realizar sin modelos o equipos sobre la mesa; ya que existe el riesgo de que la mesa vibradora se salga de control si uno de los parámetros no se ajusta bien.

Los ajustes a los parámetros de las servo-válvulas se realizan en cuatro procesos secuenciales. El primero es la ajuste del tercer estado, el segundo el balanceo, el tercero es el balanceo de las fuerzas aplicadas por los actuadores y el cuarto es la puesta a punto de los de las servo-válvulas.

Los procesos anteriores se realizan al ajustar los parámetros de control en el subprograma de control de las servo-válvulas, figura 6.1.4. Este programa se selecciona en el programa principal después de haber realizado el proceso de calentamiento de la mesa vibradora y de haberla llevado al punto de paro total.



Figura 6.1.4. Ventana del programa de control de las servo-válvulas

La puesta a punto de las servo-válvulas se realiza después de haber verificado los transductores de desplazamiento y aceleración, como se muestra en la figura 6.1.3.

Esto se debe principalmente a que el proceso de puesta a punto se realiza con la mesa en movimiento y es necesario tener primero verificados los transductores de realimentación del SCMV.

6.1.1.1 Ajuste del tercer estado de las servo-válvulas

El ajuste del tercer estado de las servo-válvulas consiste en ajustar los parámetros de “Spool zero”, “Conditioner gain” y “Demond phase”, en el programa de control de las servo-válvulas, hasta que los niveles de voltaje de apertura en ambos sentidos de la válvula sean lo más cercanos a (+10.0 y -10.0 Volts). Esto se realiza con el fin de que la entrada y salida del aceite a los actuadores sea el indicado en cada servo-válvula.

En este proceso el operador de la mesa debe seguir el procedimiento que se da en el manual de calibración de la mesa vibradora, paso por paso y en algunos puntos debe aplicar su experiencia para resolver las desviaciones que se presentan en el funcionamiento de las servo-válvulas.

La finalización del proceso de ajuste del tercer estado se logra cuando la apertura de la servo-válvula en los dos sentidos produce un voltaje entre 9.9 y 10 V, ya sea negativo o positivo. Este valor se verifica en la ventana “Digital Meter A”, figura 6.1.5, en donde se ha seleccionado previamente la variable “Debug Input A”. Previamente al ajuste, se hace una conexión externa de la señal de salida del controlador de la servo-válvula a la entrada “Debug Input A” del SCMV.



6.1.5 Ventana digital meter A

Como los valores se muestran dependiendo de la posición de la servo-válvula, es necesario anotar los valores que aparecen en la ventana “Digital Meter A” para cada posición de apertura. La servo-válvula permite la entrada y salida de aceite, además de una posición central donde no deja entrar ni salir el aceite y que es donde comúnmente se encuentra al momento de iniciar el ajuste. Por ejemplo, para dejar entrar el aceite, a la servo-válvula se le debe aplicar un valor positivo que va entre 0 y 10 V; para que salga el aceite se debe aplicar un voltaje entre 0 y -10 V.

Por eso el ajuste del tercer estado de la servo-válvula consiste en llevar a los extremos a la servo-válvula y tener un voltajes similares para la apertura total en cada sentido, pero con signo contrario. Para lograr los valores entre 9.9 y 10 V es necesario variar los valores de “Spool zero” y “Conditioner gain” en la ventana de “Valve Drive” y verificar el efecto que produce en los valores de apertura y cierre. Aquí hay que mencionar que el incrementar el valor en un extremo significa que disminuya en el contrario.

Debido a que es importante tener la simetría en la apertura de la servo-válvula en sus dos sentidos, se debe realizar este paso antes que cualquier otro en la calibración de

las servo-válvulas. Porque hará que los siguientes pasos de la calibración parten del equilibrio en la apertura de la servo-válvula, con lo que se obtiene que el ajuste es más eficiente; ya que esta comprobado por experiencia que la calibración de la mesa no se mantiene por mucho tiempo cuando no está ajustado el tercer estado de las servo-válvulas.

6.1.1.2 Balanceo de las servo-válvulas

El balanceo de la servo-válvula consiste en corregir la desviación que tenga la misma de su punto de equilibrio. Aunque se puede confundir con el ajuste del tercer estado de las servo-válvulas, donde se busca que la servo-válvula se abra lo mismo en los dos sentidos de movimiento que tiene; en el balanceo de las servo-válvulas se busca que en la parte central del movimiento de la válvula tenga un valor lo más cercano a cero.

Para ello el operador de la mesa vibradora tiene dos opciones para realizarlo. El primero consiste en un ajustar el valor del control "Balance" de la ventana del controlador de servo-válvulas y el segundo consiste en realizar el ajuste mecánicamente en el tornillo de balanceo de las servo-válvulas. En los dos casos se debe interactuar con el programa de control de la mesa vibradora.

El realizar uno u otro proceso de ajuste el operador de la mesa vibradora debe determinar si es necesario el ajuste para ello, el ajuste modificando el valor del control "Balance" de la ventana de control de las servo-válvulas se realiza si estando la servo-válvula en la posición de cierre el valor de salida es menor a 0.05 V y este valor se debe monitorear en la ventana "Digital Meter A" habiendo seleccionado "Debug Input A", como se realizó en el ajuste del tercer estado.

Si el valor en la Ventana "Digital Meter A" es mayor de 0.01 y menor de 0.05, ya sean positivos o negativos, se puede realizar el ajuste con el control "Balance". Si el valor es mayor de 0.05 V se deberá realizar un ajuste mecánico y por último si el valor es menor a 0.01 V no se deberá realizar ningún ajuste.

Cabe mencionar que los ajustes del tercer estado y el balanceo se realizan sin presión en el sistema hidráulico del SCMV, ya que se esta interactuando con las servo-válvulas y en caso de haber presión en el sistema se movería la mesa de una manera brusca y podría dañar componentes.

Ajuste del valor del control "Balance"

Cuando la desviación del cero no es mayor de ± 0.05 V, se realiza el ajuste por medio de la variación del valor del control "Balance" de la ventana del controlador de servo-válvulas del programa de control. Con la variación de este parámetro, se hace que el controlador mueva la servo-válvula hasta una posición donde la desviación del cero no sea mayor de ± 0.01 V.

Al igual que con la calibración del tercer estado de la servo-válvulas, en el manual de calibración de la mesa vibradora, existe un procedimiento que se debe seguir para realizar este ajuste.

Balanceo de las servo-válvulas por ajuste mecánico.

Aquí el operador, después de seleccionar y preparar la servo-válvula que vaya a ajustar por medio del programa de control, debe ir hasta el actuador donde se encuentra la servo-válvula con dos llaves que le permitirán ajustar la tuerca y el tornillo que permiten ajustar la apertura de la válvula. También es necesario que se lleve un medidor de voltaje que este conectado a la consola de control y que pueda medir el voltaje correspondiente a la apertura de la servo-válvula.

El proceso lo podrá dar por terminado en cada servo-válvula cuando el voltaje de la desviación del cero no sea mayor a ± 0.01 V. En el manual de calibración se encontrará el procedimiento a seguir para realizar el ajuste mecánico, el cual incluye fotografías y figuras de las herramientas necesarias.

Realizar el ajuste mecánico da mejores resultados que el del ajuste del valor del control en el programa. Sin embargo, se recomienda hacerlo una vez cada seis meses o al año, con el fin de no desgastar las partes mecánicas de la servo-válvula.

En cualquiera de los dos casos, se busca obtener el mismo resultado, que la válvula este lo más cerrada posible cuando está en la posición de cierre.

6.1.1.3 Balanceo de fuerzas.

Balancear las fuerzas; consiste en intentar dejar los niveles fuerza que aplican los actuadores, estando en la posición de inicio de movimiento, en el mismo valor. Para ello se debe variar el valor del control "Spool zero" en la ventana del controlador de las servo-válvulas.

Este control se ajusta en la calibración del tercer estado y ahora se debe ajustar para dejar que todos los actuadores del mismo eje apliquen una fuerza similar, la cual debe estar por debajo de las tres toneladas y lo más cercana a cero que sea posible. Esto hará que la mesa se mueva sin torsión en algunos de los ejes. El monitoreo de la fuerza aplicada por los actuadores se realiza con las ventanas "Digital Meter A" y "Digital Meter B" y seleccionado en estas ventanas la variable de fuerza correspondiente a cada actuador. En la figuras 6.1.6 a y b se muestra la selección de la fuerza de los actuadores X1 y X2.



Figuras 6.1.6 a y b. En la figura "a" se muestra la ventana "Digital Meter A" con el canal "X1 Force fbk" y en la figura "b" la ventana "Digital Meter B" con el canal "X2 Force fbk" para la revisión de las fuerzas en cada uno de los actuadores

El proceso se debe hacer con cuidado; ya que en paso ya se activo de nuevo la presión de aceite en el sistema hidráulico, para llevar a la mesa a la posición de inicio de movimiento. En este proceso, al variar la fuerza que aplica cada uno de los actuadores,

se puede hacer que la mesa se ladee lo suficiente para que exista una fuga de aceite en los apoyos laterales. Si sucede este se tendrá que parar el procedimiento y se tendrá que ajustar de nuevo la posición de los apoyos laterales y reponer el aceite que se haya perdido en la fuga. Además de reiniciar el procedimiento de calibración del SCMV.

Con el fin de que no suceda el ladeo de la mesa vibradora se deben llevar la fuerza de todos los actuadores al mismo tiempo y no intentar llevar uno por uno. El hacerlo así, hace que se cuiden los cambios de fuerza que hay en cada actuador y detectar con oportunidad los cambios que pueda ver en la fuerza aplicada por uno de ellos debido a los ajustes realizados en uno de los controladores.

Al final de este proceso se tienen calibrados los parámetros de apertura de las servo-válvulas, de todos los actuadores. Falta realizar un ajuste en los parámetros que realizan la sincronización entre las servo-válvulas. Para lo cual se realiza el procedimiento de puesta a punto.

6.1.1.4 Puesta a punto de las servo-válvulas.

Para la puesta a punto de las servo-válvulas se hace que el control de la mesa vibradora reproduzca una señal aleatoria en el intervalo de frecuencias de movimiento de la mesa vibradora (0 a 50 Hz) y en un intervalo de ± 0.5 cm. Esta señal, hace que el programa de control ponga a trabajar a todas las servo-válvulas de un eje simultáneamente.

Para poner a punto se utiliza un programa de análisis en frecuencia del mismo programa de control de la mesa vibradora. Se utiliza este programa para obtener la fase entre la señal que envía el programa de control y la señal de realimentación de la servo-válvula.

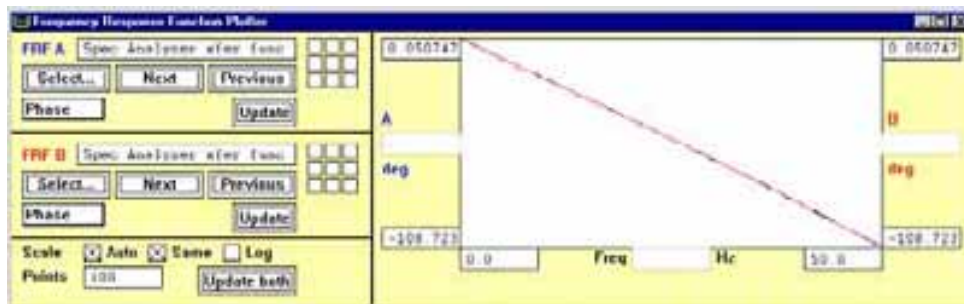


Figura 6.1.7. Ventana del programa de análisis en frecuencia del programa de control, con la respuesta en fase de las servo-válvulas.

Utilizando como referencia la señal de fase de la primera servo-válvula que se haya seleccionado, se realiza el procesamiento de la señal tomando como señal de salida la generada por el programa de control y como salida la generada por el controlador de la servo-válvula. Como primer paso se calcula la función de transferencia de estas señales y en ventana de "Frequency Response Function Plotter", figura 6.1.7, se muestra el resultado del procesamiento de las señales, seleccionado la presentación de la fase. A la primera servo-válvula seleccionada no se le realiza ningún ajuste.

Después de calculada la función de transferencia y obtenida la fase de la servo-válvula seleccionada como referencia, se cambia a que el programa calcule la función de transferencia de la siguiente servo-válvula y se monitorea el resultado con la opción "FRF B", de la ventana "Frequency Response Function Plotter" y que corresponde al color rojo de la gráfica. Actualizando los valores de la opción "FRF B" se dibujara la respuesta en fase de la servo-válvula que se esta monitoreando y el la opción "FRF A" se tendrá la respuesta en fase de la servo-válvula seleccionada como referencia.

Los ajustes en la fase de las señales de las servo-válvulas se realiza modificando los valores de los controles "Proportional gain" y "Rate gain" en la ventana del programa de control de las servo-válvulas, figura 6.1.3. El procedimiento para balancear las servo-válvulas se encuentra en el manual de calibración de la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería.

La variación de los controles "Proporcional gain" y "Rate gain" se deben realizar hasta que fase de la servo-válvula que se esta ajustando cubra hasta la respuesta de la servo-válvula de referencia o por lo menos haya una desviación en los valores de ± 0.5 grados.

Al terminar con la puesta a punto de las servo-válvulas; se terminan todos los ajustes que se le deben realizar a los parámetros de las servo-válvulas. Con estos cambios se tienen ajustados los parámetros de apertura y sincronía de todas las servo-válvulas.

Por ultimo se deberá realizar la puesta a punto de la mesa vibradora en su conjunto. Porque hasta el momento solamente se han utilizado las señales correspondientes a las servo-válvulas y ahora se deben realizar los ajustes necesarios en los parámetros generales de operación. El proceso que se debe realizar para poner a punto a la mesa vibradora se explica en acápite 6.1.4. "Puesta a punto de la mesa vibradora", después de describir como se realiza el ajuste de los parámetros de acondicionamiento de los transductores de realimentación.

3.1.2 Ajuste de acondicionamiento de los acelerómetros

La mesa cuenta con siete acelerómetros ubicados en la parte inferior de la placa de aluminio que conforma el cuerpo de la mesa vibradora. De estos siete acelerómetros, cinco son para los movimientos verticales y dos para los movimientos horizontales.

El programa de operación de la mesa vibradora se puede realizar un proceso de ajuste en los parámetros de acondicionamiento de los acelerómetros. Para ello se utiliza el programa de control de los acondicionadores de los transductores de corriente directa del programa de operación de la mesa vibradora.

El programa de operación ya tiene una constante de calibración para cada uno de los acelerómetros y que no se puede cambiar por encontrarse en el código del programa. Por lo que el ajuste a la ganancia y corrección de la deriva de la señal de los acelerómetros hará que se ajusten las lecturas que se tengan de cada acelerómetro.

Las variaciones a la ganancia del acondicionador se hacen en base a la amplitud máxima que puede medir el equipo de captura de la consola de control de la mesa

vibradora y se busca que la máxima aceleración que miden los acelerómetros corresponda a al voltaje máximo que puede leer el equipo de captura. Como el valor de ganancia para los acelerómetros ya se tiene registrada, este valor no se varía y solamente se ajustar el valor del error "Offset zero".

En la figura 6.1.8 se muestran la ventana de "DC Conditioner" que es donde el programa permite modificar los valores de acondicionamiento de los acelerómetros, transductores de presión y temperatura. Mientras que en la figura 6.1.9. se muestra la variable correspondiente a uno de los acelerómetros longitudinales.

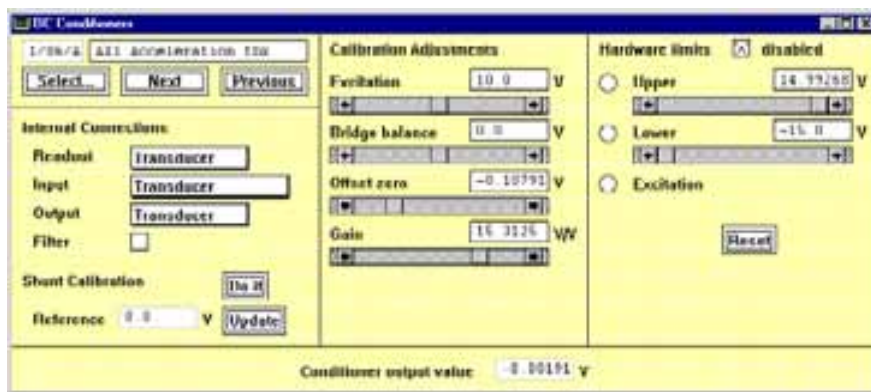


Figura 6.1.8. Ventana "DC Conditioner"

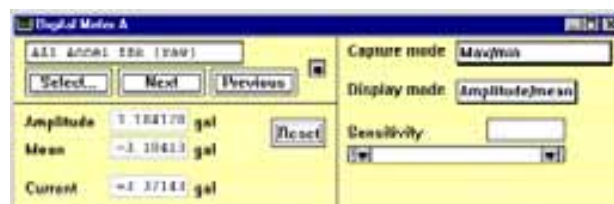


Figura 6.1.9. Ventana "Digital Meter A"

Si el valor que se ve en la ventana "Digital Meter A" y que corresponde al acelerómetro que se quiere ajustar el valor promedio es mayor a $\pm 20 \text{ cm/s}^2$ (gal) se debe corregir el valor hasta que sea cercano a cero. El ajuste del error se puede realizar aunque los valores no sean mayores al propuesto.

El ajuste de los acelerómetros se realiza tomando en consideración que las lecturas obtenidas por el programa de control son correctas y en ningún caso este proceso de ajuste se considera una calibración de los acelerómetros del SCMV. Por lo que no tiene validez como calibración, pero si como ajuste para el buen funcionamiento de la mesa vibradora.

3.1.3 Ajustes de las mediciones de los transductores de desplazamiento

Cada uno de los actuadores de la SCMV tiene un transductor de desplazamiento del tipo LVDT, con lo que se miden los desplazamientos del embolo del actuador. Estos LVDT permiten realizar la realimentación en desplazamiento del proceso de control del SCMV.

Al igual que con los acelerómetros, con el programa de operación del SCMV solamente se realiza un ajuste a los valores de la ganancia y deriva de los acondicionadores de los LVDT. Con ello se busca que todos los transductores de desplazamiento, de un mismo eje, tengan las mismas lecturas de desplazamientos cuando se mueven los actuadores simultáneamente.

Para ello el procedimiento consta de hacer que los actuadores se desplacen toda su carrera. Mientras se realiza el desplazamiento se observa que las variaciones o lecturas de los transductores de cada uno de los actuadores se muevan al mismo tiempo de los demás transductores de desplazamiento. Al llegar al extremo de la carrera se anotan los valores en una de registro y con ello se verifica que los desplazamientos medidos en los extremos sean los mismos.

Como primer paso se debe verificar que los actuadores se muevan igualmente. En la figura 6.1.10 se muestra la ventana del generador de funciones del programa de control del SCMV. En este el control "Setpoint" se modifico a -20 cm, lo cual hace que los actuadores horizontales se muevan hasta el extremo negativo de movimiento. En la figura 6.1.11, se presenta la ventana del Osciloscopio digital del programa de control y donde se debe verificar que el movimiento de los actuadores sea igual.

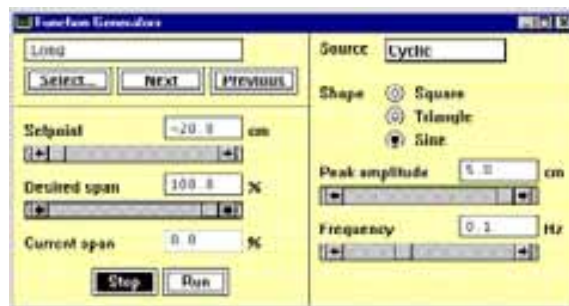


Figura 6.1.10 Generador de funciones con el "Setpoint" en -20.0 cm

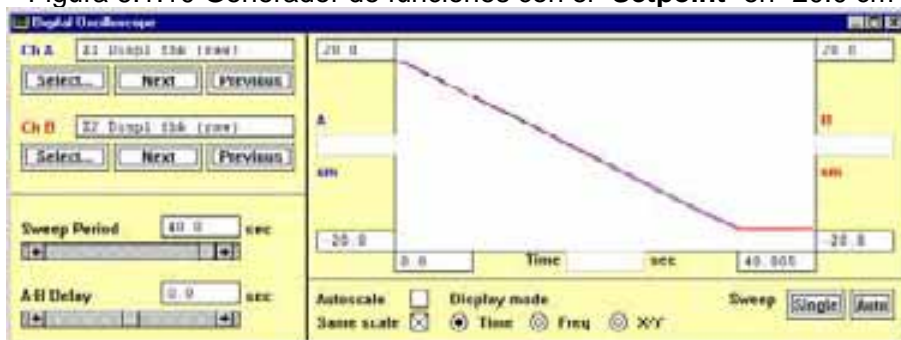


Figura 6.1.11 Osciloscopio digital con las señales de desplazamiento de dos de los actuadores horizontales.

La verificación de los desplazamientos se lleva a cabo viendo los desplazamientos de los dos actuadores que se mueven en el mismo sentido. Por ejemplo, en la figura se muestra la señal de los actuadores X1 y X2 del SCMV. En la figura se ve que los actuadores empiezan a moverse al mismo tiempo y con la misma velocidad. Llegan también, al mismo tiempo hasta el otro extremo de su carrera. Esto quiere decir que

estos actuadores no tienen problemas en realizar su movimiento de forma sincronizada y por ende no se debe realizar ninguna modificación para corregir su funcionamiento.

Los demás actuadores se deben verificar de la misma forma, es decir en pares que se mueven en el mismo sentido y verificando que su movimiento sea igual.

Para verificar que el movimiento de los actuadores es simétrico, se debe realizar el movimiento de los actuadores hasta los extremos contrarios de movimiento al modificar el valor de "Setpoint" en la ventana del generador de funciones. Cuando los actuadores se encuentran en un extremo se anota el valor que despliega la ventana de "Digital Meter" con la selección de los desplazamiento de los actuadores del eje que se este movimiento, como se puede ver en la figura 6.1.12.

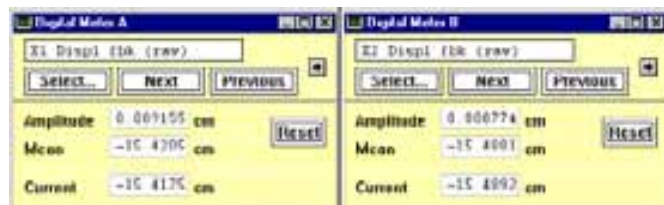


Figura 6.1.12. Ventanas "Digital Meter A y B" con los desplazamientos de los actuadores X1 y X2 horizontales.

Cuando al restar los valores leídos en ambos extremos de movimientos, es mayor de ± 0.01 cm se deberá realizar el ajuste de la deriva del transductor de desplazamiento hasta que la resta de estos valores sea menor al intervalo indicado. Para ello se debe modifica el control "Offset zero" de la ventana "AC Conditioner" que se muestra en la figura 6.1.13. El proceso de ajuste se acaba hasta que los cuatro actuadores del mismo sentido tengas diferencias en la restas de sus lecturas menores al intervalo indicado.

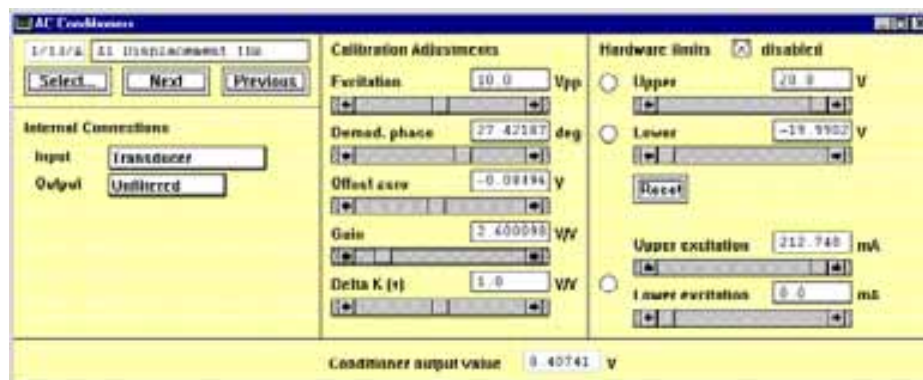


Figura 6.1.13. Ventana de control de los acondicionadores de desplazamiento.

Como la mesa se mueve en dos ejes "X" y "Z" primero se debe realizar el ajuste en uno de los ejes y después en el otro. Por lo regular se realiza primero el eje X y después el Z. Las modificaciones para que los actuadores se muevan igual se deben realizar con la MV en la posición de paro; ya que las modificaciones en la ganancia de los acondicionadores ocasiona que el programa de control realice ajustes para continuar con la posición de paro y de estar con presión el SCMV significarían movimientos bruscos de la mesa y el posible daño del equipo.

El proceso anterior, al igual que los de los acelerómetros, sigue sin ser una calibración propiamente dicha. Ya que no se tiene una comparación con un patrón de referencia. Por lo tanto el proceso solamente es de ajuste.

3.1.4 Puesta a punto de la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería (MVII)

Cuando se ha terminado con la puesta a punto de las servo-válvulas y de ajustar los parámetros de acondicionamiento de los transductores de realimentación del SCMV, se debe realizar la puesta a punto general de la mesa vibradora. La cual consiste en modificar los parámetros de control que aplica el programa de control a las señales que le envía a cada servo-válvula.

Para ello el operador de la mesa vibradora, debe calentar previamente la mesa vibradora, entre 15 a 30 minutos. Después debe aplicar una señal de ruido blanco en un intervalo de 0 a 55 Hz y con una amplitud de 50 cm/s^2 . La señal se debe aplicar solamente en el eje que se desea calibrar.

Los parámetros que se deben modificar corresponden a la venta "Three-Variable Controllers", ventana de variables de control, del programa de control de la mesa vibradora, figura 6.1.14. Los controles de esta venta influyen directamente en la forma en que se mueve la mesa vibradora en el momento, por lo que las modificaciones a estos valores se deben de hacer sin llegar a que el movimiento de la mesa vibradora se vuelva inestable y pueda causar daños serios al equipo.

El proceso de ajuste en los valores consiste en variar los controles de la venta de las variables de control hasta que la función de transferencia entre la señal generada por el programa de control y la señal de realimentación de los transductores sea lo más cercana a uno posible en el intervalo de 0.5 a 50 Hz. La obtención de la función de transferencia se hace utilizando el programa de análisis espectral que tiene el programa de control de la mesa vibradora.

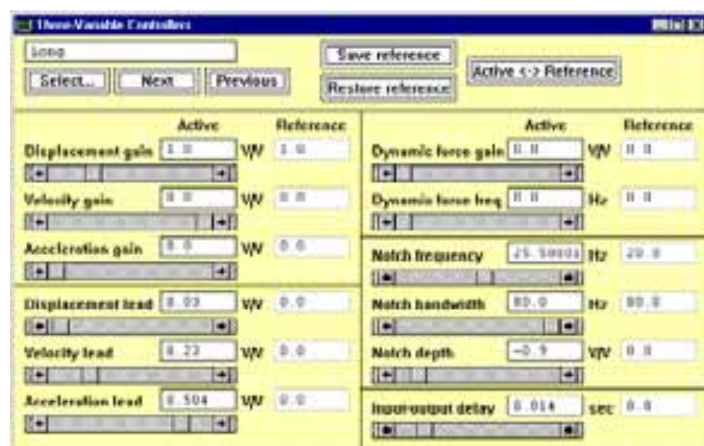


Figura 6.1.14. Ventana de variables de control del SCMV.

En la figura 6.1.15 se muestra la función de transferencia a la que se debe llegar en la puesta a punto de la mesa vibradora. En esta figura se aprecia que el resultado de la función de transferencia no es exactamente uno en todo el intervalo de la puesta

apunto. Por lo que el proceso, busca que la función de transferencia este entre 0.9 y 1.1 en todo el intervalo.

Sin embargo, en las frecuencias de resonancia de la mesa vibradora y de la columna de aceite puede resultar muy complicado llegar a éste intervalo. Por lo que se puede llegar a dejar fuera que en algunas frecuencias no este en el intervalo de 0.9 a 1.1, claro sin que la desviación sea mucho mayor a estos valores.

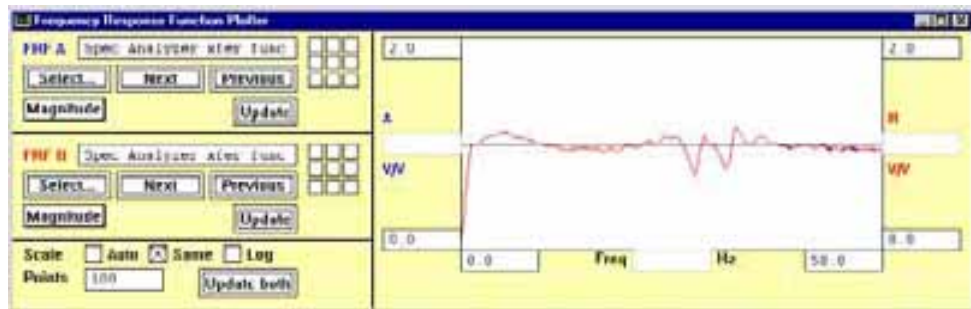


Figura 6.1.15. Función de transferencia característica de la puesta a punto de la MV.

En este caso la experiencia del operador de la mesa vibradora es determinante, ya que no se tiene la seguridad de en que frecuencia se presentaran las frecuencias de resonancia de la columna de aceite y de la mesa vibradora, y es el operador el que determinará la mejor respuesta que puede obtener en el proceso.

Esta a puesta a punto se recomienda que se revise por lo menos una vez al mes. Para tener la certeza de cuando es necesario volver a ajustar los parámetros de control y de ser necesario realizar un ajuste completo de las servo-válvulas.

La puesta a punto de la mesa vibradora no se puede considerar una calibración ya que no se obtienen una trazabilidad e incertidumbre del proceso. Además de que la puesta a punto principalmente sirve para que los parámetros de control sean los más óptimos para las condiciones mecánicas e hidráulicas del sistema de la mesa vibradora.

El que se tenga una buena función de transferencia no garantiza que para cualquier movimiento que se desee aplicar se cumpla que la señal que se genera en el control sea la misma que se reproduce aun con las desviaciones que se obtuvieron de la puesta a punto.

También se debe considerar que cuando se tenga un modelo o equipo en la mesa vibradora, la interacción de este con la mesa puede cambiar la función de transferencia que se obtiene cuando la mesa vibradora no tiene ningún peso sobre ella. Por ello y si es necesario se debe realizar otra puesta punto de la mesa para corregir tener la mejor respuesta posible.

Aun cuando no se puede garantizar que las desviaciones durante las pruebas sean las mismas que las que se obtienen cuan se realiza la puesta a punto; se puede garantizar, que con los ajustes necesarios, las desviaciones de la reproducción sean lo menores posibles.

3.2 Verificación de transductores y equipo de medición

La contraparte del SCMV es el Sistema de Captura de Datos de la Mesa Vibradora (SCDMV) el cual fue integrado por personal del Instituto de Ingeniería. Se realizó de este modo, con el fin de que el sistema cumpliera con los requisitos de las pruebas de investigación y a que el Instituto cuenta con personal calificado en la integración de sistemas de captura de datos.

A diferencia del SCMV el sistema de captura de datos de la mesa vibradora (SCDMV), los componentes del sistema de captura de datos si se pueden calibrar cada uno de ellos o en conjunto. Esto se debe principalmente a que el equipo de captura no esta sujeto a una posición en particular y/o sujeto aun programa de control que capture e interprete sus señales. Por lo que se puede realizar una calibración de ellos donde se puede utilizar los resultados en la interpretación de sus señales. Es más, en el equipo de captura se tiene la posibilidad de agregar nuevos componentes que aumenten su capacidad de captura.

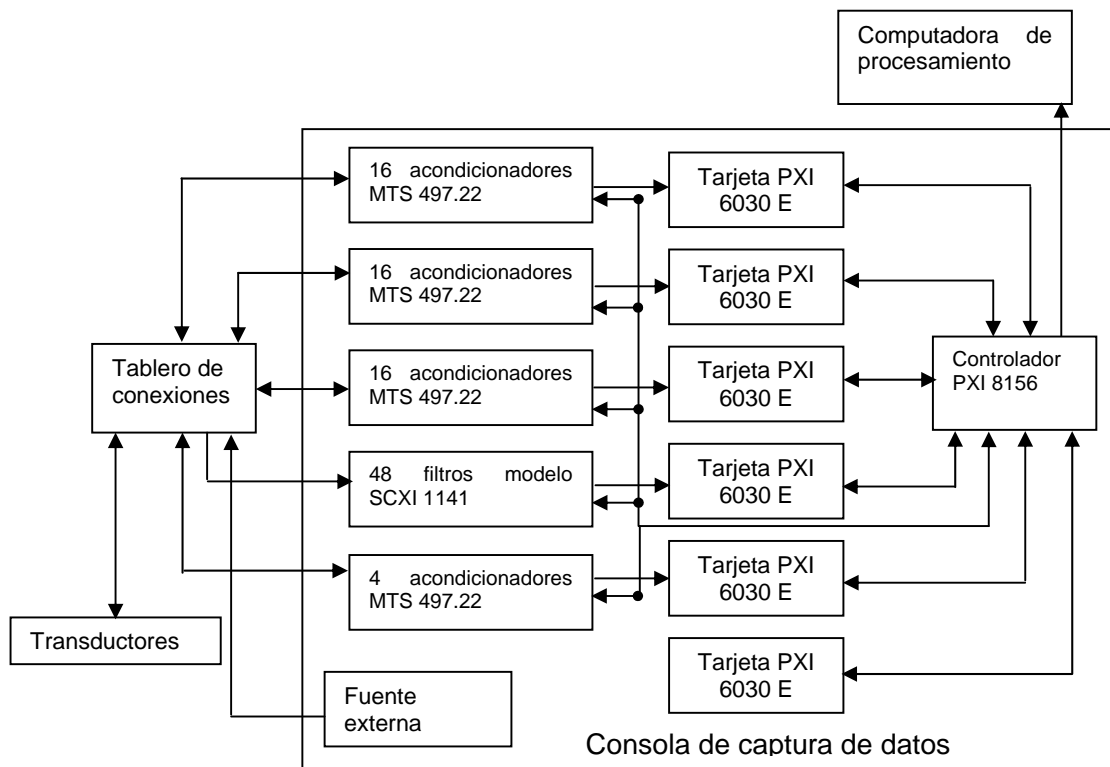


Figura 6.2.1. Diagrama esquemático del SCDMV.

Por la flexibilidad del sistema y la importancia de los resultados que se obtienen en los ensayos de la mesa vibradora hace de suma importancia el contar con procedimientos de operación, calibración y verificación de sus componentes.

El SCDMV se puede dividir en los siguientes equipos: transductores, acondicionadores, tarjetas de captura de datos y computadora de almacenamiento de datos. La figura

6.2.1. muestra esquemáticamente como esta integrado el SCDMV y el flujo de señales entre sus diferentes componentes.

En la figura 6.2.1 se puede apreciar, que además de los cuatro componentes mencionados, una computadora de procesamiento. Este equipo no se incluye en los procesos de validación, ya que puede o no ser una computadora que pertenezca al LMV-II-UNAM y tampoco se tiene control sobre el software para el procesamiento final de la información capturada. Ya que esto depende enteramente del investigador o responsable de la prueba. Por lo que el trabajo se enfoca solamente en los componentes del SCDMV.

Antes de empezar con la descripción de los procedimientos de calibración o verificación se mencionará el equipo y transductores necesarios para la calibración interna del SCDMV. Este equipo es fundamental para obtener la trazabilidad de las calibraciones del equipo de captura y de transductores del LMV-II-UNAM.

3.2.1 Equipo y transductores patrón para la trazabilidad.

Con el fin de contar con la trazabilidad de los equipos y transductores de la mesa vibradora, se tendrán equipos y transductores que sirvan como patrones. Estos patrones deberán de calibrarse periódicamente con una entidad calibradora que esté acreditada.

Los equipos y transductores patrón necesarios para las calibraciones internas en el LMV-II-UNAM se escogerán con base a las características del equipo y transductores del laboratorio. A continuación se lista el equipo y transductores considerados, con sus características.

1. Un voltmetro de precisión, con resolución de $1 \mu\text{V}$ y con un intervalo de ± 10 VDC. Con el voltmetro se calibrará un programa que genera una señal analógica constante a diferentes niveles de voltaje. La señal se utilizará para calibrar las tarjetas de captura de datos en comparación con las lecturas del voltmetro patrón.
2. Un osciloscopio con resolución de $1 \mu\text{V}$ y con un intervalo de ± 10 VDC. Con el osciloscopio se verificará que las señales capturadas y reproducidas por los programas sean iguales a las señales de prueba.
3. Un sistema de fijación y calibración para transductores de desplazamiento, con una resolución de un milímetro y un intervalo de 0 a 5 m. En el cual se puedan montar y verificar los transductores de cable.
4. Un tornillo milimétrico de 0 a 10 cm con una resolución de milésimas de milímetro. Con este equipo se verificarán los transductores de desplazamiento.
5. Un acelerómetro patrón de ± 1 g. Para verificar de forma dinámica a los acelerómetros de ± 2 g y la verificación de las aceleraciones que reproduce la mesa vibradora.

6. Un acelerómetro patrón de ± 2 g. Para verificar de forma dinámica a los acelerómetros de ± 4 g y la verificación de las aceleraciones que reproduce la mesa vibradora.
7. Un acelerómetro patrón de ± 4 g. Para verificar de forma dinámica a los acelerómetros de ± 8 g y la verificación de las aceleraciones que reproduce la mesa vibradora.

Todos los equipos listados anteriormente se mandarían a calibrar de forma externa a una entidad que tenga acreditación de laboratorio de calibración. Por ejemplo, los acelerómetros se mandarían a calibrar al CENAM, ya que es la única entidad nacional que puede realiza la calibración de estos transductores con los requerimientos necesarios para las pruebas del LMV-II-UNAM. El tornillo milimétrico y el voltmetro se enviaran al proveedor para su calibración. El único dispositivo que no se enviará a calibrar será el sistema de verificación de los transductores de cable; ya que su diseño consta de la utilización de una regla graduada, la cual solamente se verifica utilizando un medidor láser de desplazamiento que mide distancias de hasta 5 m.

Sin embargo, para garantizar los resultados de los transductores de cable, se realizará una verificación fina con el tornillo milimétrico. Para ello se diseñara un dispositivo que permita conectar el cable del transductor de cable al vástago del tornillo milimétrico. Como el tornillo milimétrico solo tiene una carrera de 10 cm, solamente puede cubrir un 10% del intervalo total de medición de los transductores de cable más chicos.

Además de la utilización de los patrones se deberá validar los procedimientos de calibración internos de los transductores y equipo del LVM-II-UNAM.

3.2.2 Verificación de tarjetas de captura de datos

En un sistema de captura de datos digital una de las partes principales es el equipo de conversión analógico-digital. Por lo regular este equipo esta compuesto por una tarjeta de captura de datos o un instrumento de medición.

El SCDMV esta compuesto por seis tarjetas PXI 6030E, cada una de ellas puede realizar la captura de hasta 16 señales analógicas a una velocidad de 100 000 muestras por segundo. Las señales analógicas deben estar en un intervalo de ± 10 V y no mayores de 100 mA.

Al momento entrar en funcionamiento la tarjeta de captura de datos procede a realizar la conversión del valor que tenga en ese momento en cada una de sus entradas y genera un valor digital, el cual es almacenado y procesado internamente por la tarjeta y después se transmiten estos valores algún sistema de almacenamiento. Esto proceso se realiza a la velocidad a la que se haya programado y de esta velocidad dependerá que la señal se pueda regenerar posteriormente con los datos capturados.

Las señales capturadas por las tarjetas de forma digital, luego se procesan en algún programa que reconstruye la señal analógica con los puntos capturados. Una buena

reconstrucción de la señal analógica dependerá esencialmente de la velocidad de conversión de la tarjeta, sensibilidad del convertidor y el ruido del sistema.

Por este motivo, es necesario cuantificar las desviaciones que se producen al digitalizar las señales analógicas por medio de la tarjeta PXI-6030E. Para ello, es necesario realizar una verificación de la tarjeta con señales de valor constante y de patrón de variación conocido (señales senoidales, cuadradas, triangulares, etc). Estas señales son utilizadas porque es sencillo conocer sus valores que pueden ser comparados tanto en el dominio del tiempo y de frecuencia.

En la verificación de las tarjetas PXI-6030E del SCDMV se utilizan señales constantes de varias amplitudes y señales senoidales de diferente magnitud y periodo. Con esto se pretende tener una verificación tanto de valores estáticos y dinámicos.

El procedimiento de verificación de las tarjetas se dividió en dos partes, la primera corresponde a la verificación de la tarjeta con señales constantes y la segunda con señales dinámicas. Aunque la verificación con valores constantes es más que suficiente se decidió incluir las señales dinámicas para verificar el funcionamiento de tarjeta en capturas dinámicas y obtener los parámetros de captura dinámica del SCDMV. Así se tendrá una mayor seguridad de que las señales capturadas durante las pruebas de mesa vibradora son correctas.

La verificación de la tarjeta PXI-6030E con señales constantes se realiza para determinar la incertidumbre y error que se producen al realizar la conversión analógica-digital de las señales. Estos errores y la incertidumbre se deben conocer para incluirlos en la verificación de los acondicionadores y transductores.

La señal de voltaje de valor constante, para la verificación, se obtiene de una de las salidas analógicas de una de las tarjetas PXI-6030E. Con un programa se genera una señal del valor que se quiera probar y se mide con el volmetro patrón. Al mismo tiempo que se captura con uno de los canales de la tarjeta PXI-6030E que se este verificando.

Esta tarea se realiza con diferentes valores de voltaje y a diferentes ganancias de la tarjeta PXI-6030E. Con esto se busca tener la verificación de cada una de las ganancias de la tarjeta. Los diferentes niveles de voltaje se utilizan para trazar la curva de verificación de la tarjeta y verificar los niveles de influencia del ruido del SCDMV tiene a diferentes niveles de voltaje y poder determinar a partir de que umbrales de señal se pueden considerar validas las señales capturadas.

Por ejemplo para el intervalo de captura de ± 10 V, que corresponde a una ganancia unitaria, se utilizan voltajes constantes de 0.001; 0.010; 0.100; 1.000 y 10.000 V. El valor de 0.001 V, corresponde a por lo menos tres veces el valor mínimo que puede convertir la tarjeta PXI-6030E en el intervalo de ± 10 V. Además del intervalo del ejemplo, la tarjeta de captura de datos puede ser configurada a los intervalos de ± 5 , ± 1 , ± 0.5 y ± 0.1 V.

Para cada voltaje capturado se calcula la diferencia que existe entre el valor que se obtiene con el volmetro patrón y el valor capturado con la tarjeta. De estas diferencias se selecciona la mayor y se toma como error máximo que se genera en la conversión

analógica digital. Con todos los valores se procede a calcular la incertidumbre que genera el convertidor tomando como referencia el volmetro patrón.

Tanto los valores capturados, como la incertidumbre y error calculados son salvados en un archivo que tiene la identificación de la tarjeta y canal utilizado para la verificación. También se realiza una impresión de los datos generados para archivarlos en la carpeta de verificación de equipos del SCDMV.

Sirve aclarar que la verificación de la tarjeta se realiza solamente con un solo canal; debido a que tarjeta solamente tiene un convertidor analógico-digital, el cual es multiplexado para cubrir los 16 canales. Además en la verificación de los acondicionadores se utiliza cada uno de los canales con que cuenta el SCDMV y en estos momentos se calcula la incertidumbre y error que se genera para cada uno de los canales con todos los cables conectados. Por lo que la verificación de las tarjetas se utiliza principalmente para obtener un parámetro en el cálculo de la incertidumbre con los acondicionadores conectados.

En lo que se refiere al procedimiento de verificación dinámica se considera la utilización de una señal senoidal de un volt pico a pico, la cual se le hace variar su frecuencia. La señal senoidal se genera en frecuencias de 1, 10 y 25 Hz, la cuales se capturan a velocidades de 10, 100 y 250 muestras por segundo.

La señal senoidal se genera por medio de uno de los canales D/A (convertido digital-analógico) de una de las tarjetas PXI-6030E del SCDMV o por un generador de señales analógico externo. En cualquiera de los casos la señal generada debe ser verificada que cumple con los parámetros propuestos en el procedimiento.

A la señal capturada con uno de los canales de la tarjeta PXI-6030E se le calculan los valores máximos, la frecuencia y se comparan con los de la señal generada. La desviación máxima que se aceptada en magnitud es del $\pm 1\%$ y en calculo de la frecuencia esta debe coincidir con la de señal y las desviaciones dependerán del método de calculo que se utilice.

Con este procedimiento se obtendrán para cada uno de los casos si la tarjeta de captura de datos esta cumpliendo con los requisitos de captura del LMV-II-UNAM. Además de que sirve para detectar un mal funcionamiento en la tarjeta de captura de datos o en el programa de captura de datos.

Los resultados arrojados por este procedimiento de verificación, le darán al responsable del SCDMV los parámetros necesarios para determinar que tarjetas están dentro de los parámetros y que tarjetas deben ser revisadas más con mayor detalle y determinar si es necesario mandarlas a reparar o darlas de baja definitivamente.

3.2.3 Verificación de acondicionadores

Los acondicionadores en el SCDMV tienen como fin mejorar la señal que generan los transductores. Para ello los acondicionadores acoplan en impedancia, amplifican y filtran las señales de los transductores antes de que llegue a la tarjeta de captura de datos.

El acondicionamiento de la señal que generan los transductores puede ser la diferencia entre una señal que resulte útil a otra que simplemente no sirva para el análisis de lo ocurrido durante las pruebas. Esta diferencia, se da principalmente cuando la señal del transductor es muy pequeña y/o es muy ruidosa.

Cuando la señal es muy pequeña el acondicionador sirve para amplificarla y hacer así que su magnitud sea lo suficientemente grande para que el convertidor analógico-digital de la tarjeta pueda digitalizar bien la señal. Porque sino se pueden perder detalles de la señal, por el hecho de que la resolución del convertidor analógico-digital no alcanza para convertir los valores pequeños.

El filtrado de señal se hace necesario para quitar los ruidos producidos en el medio ambiente y que se infiltran en la señal por medio de los cables, conexiones y en algunos casos por el mismo funcionamiento de los equipos. La filtración de las señales es una parte importante en la captura de datos con sistemas de captura de datos digital, ya que también sirve como prevención del efecto alias.

Mientras que el acoplamiento de impedancia, permite que la señal del transductor no sufra una atenuación debido a la impedancia de salida del transductor y la impedancia de entrada del sistema de captura de datos. Donde la primera debe ser por lo menos 10 veces menor que la segunda.

El SCDMV cuenta con 96 acondicionadores, de los cuales 48 son de marca MTS y otros 48 de la marca National Instruments. Aunque los dos tipos de acondicionadores tienen características similares, su funcionamiento es diferente. Por lo que la verificación de uno y otro se debe realizar por separado.

Los procedimientos de verificación de los acondicionadores, son muy similares al procedimiento de verificación de la tarjeta de captura de datos, ya que se realizan con el mismo tipo de señales. La diferencia consiste en los resultados que se van a obtener; ya que en vez de programar diferentes niveles de señal, lo que se hará es utilizar el amplificador del acondicionador y comprobar su funcionamiento y verificar que verdaderamente se este amplificando la señal por el factor que se está seleccionando.

Con la verificación de los acondicionadores también se verifica el funcionamiento de las conexiones y todos los canales de las tarjetas de captura a donde están conectados. Aunque se realiza una verificación del funcionamiento de las conexiones y de los acondicionadores antes de cada prueba, en la verificación se pueden detectar problemas de amplificación, atenuación u otros que no es factible detectar durante la verificación de conexiones antes de las pruebas.

El procedimiento de verificación no contempla la utilización del filtrado, esto con el fin de obtener la respuesta de los amplificadores sin los efectos de atenuación que genera el filtro. Sin embargo, no se descarta que el encargado de la verificación decida utilizar el filtrado de la señal en caso de que la señal utilizada lo requiera.

La verificación de los acondicionadores sirve para conocer las distorsiones que se pueden generar en las señales al momento de amplificar las señales. Así como el verdadero factor de amplificación que aplican los acondicionadores. Lo cual nos dará

otro factor de incertidumbre que se le debe aplicar a los valores que se obtienen con el SCDMV durante los ensayos.

Además del procedimiento de verificación, se hizo la sugerencia de realizar una prueba donde se obtenga los efectos del filtrado de las señales. Esta prueba se sugirió para tener una medida de los efectos que produce la filtración sobre la señales y verificar que los filtros de los acondicionadores estén funcionando correctamente. Lo cual puede prevenir la invalidación de datos por la aplicación de un filtrado o una posible corrección de los datos generados cuando se ha filtrado.

Como se menciona al inicio, el SCMDV cuenta con dos tipos de acondicionadores. Aunque tienen la misma función, no cuentan con las mismas opciones y la operación su operación es distinta. Por ejemplo, los acondicionadores National Instruments cuentan con una mayor posibilidad de filtrado que los acondicionadores de MTS. Sin embargo, a estos acondicionadores se les puede conectar la señal de un deformímetro; lo cual no se puede hacer con los acondicionadores National Instruments.

Existen otras diferencias en las posibilidades de acondicionamiento de las señales. Pero la principal diferencia es la forma en que operan. Por que mientras que para los acondicionadores MTS se necesita un canal por acondicionador, con lo acondicionadores SCXI de National Instruments se capturan las señales de los 48 acondicionadores con un solo canal. Esto hace que la configuración y operación de las tarjetas y acondicionadores sea distinta en cada caso.

Así que la persona responsable del SCDMV tiene que estar pendiente de que las configuraciones de los acondicionadores sea correcta. Por este motivo cobra mayor importancia la verificación de los acondicionadores y así conocer su comportamiento en las diferentes condiciones que se pueden utilizar durante una prueba. Con lo cual el responsable de la captura de datos durante los ensayos puede determinar si existe algún problema de acondicionamiento antes de que se realice la prueba y corregirla.

Llevando a cabo todo lo anterior ayuda de forma sustancial en el aseguramiento de que los datos capturados durante las pruebas sean útiles. Además de proporcionar una base para el sistema de gestión de calidad del laboratorio.

3.2.4 Verificación de transductores

Como parte esencial de los procedimientos de verificación y del aseguramiento de la calidad de resultados que se obtienen en las pruebas en el LMV-II-UNAM es la verificación de los transductores utilizados. La verificación de los transductores sirve para obtener las constantes que se le deben aplicar a las señales de voltaje que capturan las tarjetas de captura de datos.

Debido a que existen muchas incertidumbres generadas por todas las conexiones existentes, es necesario realizar una verificación de los transductores conectados a los acondicionadores del equipo de SCDMV. Esto hará que las constantes obtenidas se apeguen más a la realidad de lo que se está midiendo. Aunque es cierto, los valores obtenidos en la verificación deben ser muy parecidos a los obtenidos por una entidad calibradora con sus equipos de captura de datos.

Además los datos generados por los transductores patrón y las desviaciones detectadas, en la verificación de los acondicionadores y tarjetas de captura de datos, permitirán obtener la incertidumbre que se genera en las mediciones que se realizan al utilizar los transductores de la mesa vibradora durante de los ensayos.

Con respecto a los transductores patrón se considero contar con uno de cada tipo de los que se tienen en la mesa vibradora (esto se aplica solamente para los transductores de aceleración). El patrón se utilizara como referencia para la verificación de los demás transductores del mismo tipo.

Los transductores que regularmente se utilizan son de desplazamiento, aceleración y de deformación. En cada caso se pueden tener transductores que midan la misma variable de forma diferente. Por ejemplo, para medir desplazamiento se utilizan transductores del tipo inductivo o resistivo, sin descartar otras formas de medir el desplazamiento.

La variedad de transductores con que cuenta el laboratorio hace necesario que se cuente con procedimientos de verificación para cada uno de ellos. Por que en algunos casos el método de comparación y en otros se utiliza un dispositivo que funge como el instrumento patrón. Además que de un mismo tipo de transductor, se pueden tener diferentes instrumentos patrón debido a las características de conexión y de intervalo en los que operan.

El LMV-II-UNAM necesita verificar transductores de desplazamiento y de aceleración constantemente. Se considero la opción de mandar a calibrar todos los transductores con entidades calibradoras, pero debido a la cantidad de transductores y las características del equipo de captura se tomo la decisión que en vez de la calibración externa de los transductores se hiciera una verificación interna y solamente se mandará a calibrar los transductores patrón y equipos necesarios para la realización de la verificación y contar así con la trazabilidad con un organismo calibrador.

En la implementación de los procedimientos de verificación de los transductores, se ha tomado en cuenta el procedimiento que se sigue en otros laboratorios del Instituto de Ingeniería y que se aplico de inicio en el LMV-II-UNAM. En realidad se adaptaron los procedimientos de verificación a las características del equipo de la mesa vibradora y se adopto, como parte de la implementación de un sistema de calidad, el mandar a calibrar los equipos y transductores patrón.

A continuación se describen los procedimientos de verificación interna de los transductores de desplazamiento y aceleración. En el caso de los transductores de deformación se presenta un procedimiento para verificar el funcionamiento de los acondicionadores para este tipo de transductores y la obtención de la constante que se debe aplicar a los datos capturados.

3.2.4.1 Verificación de transductores de desplazamiento

El LMV cuenta 40 de transductores de desplazamiento, de los cuales 30 son DCDT y 10 son de cable. Dadas sus características de funcionamiento y de acondicionamiento su operación y lecturas son distintas. Además los intervalos de medición son distintos, mientras que los DCDT de mayor intervalo pueden medir ± 50 mm los transductores de cable pueden medir hasta ± 1016 mm o ± 4865 mm dependiendo del modelo.

Los DCDT se utilizan para medir desplazamientos pequeños y por su tamaño deben estar colocados muy cerca al punto de medición. Mientras que por las longitudes de los transductores de cable se pueden utilizar para medir desplazamientos grandes y su colocación puede se puede realizar lejos del punto de medición.

Por las características de las pruebas que se realizan en la mesa vibradora, se utilizan los DCDT cuando se requiere tener una mayor resolución en las mediciones. Mientras que los transductores de cable se utilizan cuando los desplazamientos que se van a medir sobrepasan en intervalo de medición de los DCDT. Esto principalmente a la resolución que tienen los transductores de cable.

El proceso de verificación de los transductores es similar y se utiliza el mismo programa. Sin embargo, se utilizan dispositivos diferentes. Mientras que para los DCDT se utilizan esencialmente un tornillo milimétrico, para los transductores de cable se debe utilizar un dispositivo diseñado y desarrollado por el laboratorio para realizar una verificación de un intervalo mayor.

A los transductores de cable se les realiza una verificación fina, en la cual se utiliza el tornillo milimétrico en toda su carrera (± 50 mm). Con lo cual se obtiene la resolución de estos transductores con el SCDMV.

El proceso de verificación de los transductores consiste en conectarlos a uno de los canales del SCDMV utilizando una de las extensiones, que para su conexión se tienen en el laboratorio. Por lo regular se utiliza la misma extensión para todos los transductores y en algunos casos, cuando ya se tiene identificada la extensión que se utilizará con el transductor en las pruebas, se utilizan diferentes extensiones. Después se fijan al tornillo milimétrico o al dispositivo de verificación de los transductores de cable.

Antes de ejecutar el programa de verificación y si se utiliza los acondicionadores MTS, se deberá configurar el acondicionador con los parámetros que requiere el transductor (voltaje de alimentación, ganancia y en algunos casos el filtrado).

Se ejecuta el programa de verificación de los transductores de cable, cuando el programa inicia, se selecciona el transductor a verificar de la base de datos, las características de captura de datos para la verificación y se selecciona de la base de datos el nombre de la persona que opera el programa. Cuando se terminan de seleccionar los datos, se procede a presionar el botón de inicio.

Por lo menos se deben tomar 10 puntos de medición para realizar la verificación. Es decir, se dividirá el intervalo de medición del transductor o la carrera del tornillo milimétrico entre 10 y el resultado será los desplazamientos entre punto y punto de medición que se le aplicarán al transductor.

Cuando el programas esta listo para capturar los datos, se debe primero capturar el valor del arreglo X, que corresponde al dato de la carátula del tornillo milimétrico y después se presiona el botón de capturar, para que el programa capture 1 000 puntos en un intervalo de dos segundos de la señal del transductor. Después el programa calcula el promedio de los valores capturados y lo toma como el valor de voltaje que corresponde al desplazamiento del transductor.

Para cada punto capturado el programa realiza el cálculo de la pendiente y de la ordenada, tomando en consideración que la respuesta del transductor es lineal. Los datos calculados por el programa se muestran en la pantalla, tanto en forma de grafica, como los datos puntuales. Una vez que el programa calcula los datos para el punto se puede llevar al transductor al siguiente punto de la verificación y repetir el proceso.

Durante la verificación, es importante seguir la respuesta del transductor, tanto en la grafica donde se muestran la señal del transductor como en la gráfica que muestra los resultados de la linealización de los datos. Por que en estas graficas la persona que calibra puede ver si los datos calculados están bien y si la respuesta del transductor realmente es lineal.

Cuando se terminan de capturar todos los puntos, se deberá presionar el botón de terminar. Así el programa dará la opción de guardar los datos capturados y los imprimirá en papel para que se guarden en la carpeta de verificación de los transductores de desplazamiento.

Para tener una mayor seguridad con respecto a las constantes calculadas, se deberá realizar la verificación con diferentes condiciones de amplificación y de intervalo de captura de las tarjetas. Ya que por experiencia, las incertidumbres y errores en la medición pueden ser diferentes a si se considera solamente la constante para la ganancia unitaria y un intervalo de captura de la tarjeta.

En el caso de los transductores de cables se deberá realizar una calibración fina con el tornillo milimétrico. Con lo cual se puede determinar la incertidumbre que se puede tener cuando se utilizan el transductor para medir intervalos de desplazamiento pequeños.

Como la verificación de los transductores se puede hacer filtrando la señal, se deberá anexar una nota, tanto en el archivo digital como en la impresión, donde se especifique los datos de filtrado y ganancia utilizados. Estos datos y los resultados de la verificación determinaran los parámetros de captura para cada uno de los transductores durante las pruebas.

Todas las verificaciones que se realizan de los transductores se archivan en la carpeta destinada a los transductores de desplazamiento. Con esto se generará una historia del comportamiento de los transductores.

3.2.4.2 Verificación de transductores de aceleración

El SCDMV cuenta con 20 transductores de aceleración (acelerómetros) del tipo piezoeléctrico para la instrumentación de los modelos. Sin embargo, en ocasiones se pueden utilizar otros acelerómetros para completar el número de transductores de aceleración que requiera el ensaye.

Para determinar bien las características de los acelerómetros del LMV-II-UNAM, se realizan dos tipos de verificación. Una verificación estática y una dinámica. Es pertinente aclarar que la verificación estática solamente se puede realizar con acelerómetros con intervalos de medición estática y dinámica.

Todos los acelerómetros de la mesa vibradora responden de forma estática y en acelerómetros externos que se piensen utilizar en las pruebas se recomienda que por lo menos respondan a frecuencias de 0.1 Hz. Con lo cual se pueden garantizar que los resultados obtenidos con estos acelerómetros sean útiles al tipo de investigación que se realiza en la mesa vibradora.

En la verificación estática se utiliza la fuerza de la gravedad para obtener lecturas de los acelerómetros a diferentes ángulos de inclinación. El valor en voltaje que se lea al cambiar el ángulo de inclinación esta directamente relacionado con la aceleración de la gravedad y el seno del ángulo.

Como la aceleración de la gravedad es una constante, la única variable es el ángulo de inclinación al que está el acelerómetro. En las verificaciones estáticas se utiliza un teodolito que permite nivelar la superficie donde se coloca el acelerómetro y cuenta con un compás de 360° que permite medir el ángulo de inclinación.

La incertidumbre del teodolito es de un grado y también se tienen los errores debido a las lecturas del ángulo de inclinación. Para calcular el error y la incertidumbre de la verificación se utiliza un programa similar al utilizado con los transductores de desplazamiento, y en el que solamente cambia la forma de calcular la constante.

La verificación estática consta de tomar por lo menos diez lecturas de la señal del acelerómetro a diferentes ángulos de inclinación. Para ello en el programa se debe capturar el ángulo de inclinación y después se captura el valor de la señal del acelerómetro. Con el primer dato se calcula la aceleración a que está sujeto el acelerómetro y el segundo corresponde al voltaje de salida del acelerómetro para esa aceleración.

Durante las capturas el programa va mostrando gráficamente los resultados de la verificación. La respuesta del acelerómetro debe ser lineal, por lo que si en las graficas se detecta una respuesta no lineal es que hay problemas. Se tendrá que parar la verificación y determinar cual es problema con la señal del acelerómetro.

Al finalizar la verificación, el programa da la opción de guardar los datos en un archivo y manda a imprimir los datos para que sean guardados en la carpeta de verificaciones de los acelerómetros. Esto de forma similar a la que se realiza para los transductores de desplazamiento.

Aunque la verificación estática no cubre todo el intervalo de medición de los acelerómetros; los datos de incertidumbre, error y la constante son validos, ya que su funcionamiento es lineal en todo su intervalo. Estos resultados se confirman después con los resultados de la verificación dinámica y en comparación con el acelerómetro patrón.

Después de terminar con la verificación estática de todos los acelerómetros se realiza la calibración dinámica de todos ellos al mismo tiempo. Para ello se utiliza las opciones de movimiento que tiene la mesa vibradora y la posibilidad de poder fijar a todos los acelerómetros sobre la mesa.

En un inicio se tomaba como referencia las señales generadas por la mesa vibradora. Pero al avanzar con el trabajo de investigación de la tesis se determinó que la mesa vibradora no es la mejor referencia para la verificación. Esto debido a que el ruido de la mesa y a que los acelerómetros de la mesa no están calibrados lo cual genera mucha incertidumbre en los resultados obtenidos.

Así que se buscó la forma de poder realizar la verificación dinámica y que esta fuera lo más confiable posible. Para ello se procedió a realizar una visita al CENAM y platicar con ellos con respecto a la calibración de la mesa vibradora y de los acelerómetros. En esta plática se obtuvieron dos formas de realizar la calibración dinámica de los acelerómetros.

La opción más recomendable era la de enviar todos los acelerómetros a que se calibrarán al CENAM. La segunda opción es que se utilizará la mesa vibradora para generar los movimientos y que por medio de un acelerómetro patrón se realizará la verificación de los demás acelerómetros.

Debido a los tiempos de entrega, movimiento de equipo y al costo de enviar todos los acelerómetros a calibrar al CENAM, se decidió explorar la segunda opción. Donde primero se deberá enviar a calibrar por lo menos un acelerómetro, de cada uno de los intervalos, para llevar a cabo la verificación de todos los demás acelerómetros en la mesa vibradora.

Aquí es importante mencionar que no se quiere convertir a la mesa vibradora en un laboratorio de calibración de acelerómetros y que el hecho de que se hagan las verificaciones de forma interna es debido a la cantidad de transductores que se deben calibrar. Además de la conveniencia de contar con una verificación que incluya el equipo de captura de datos de la mesa vibradora, ya que en la calibración que se haga el CENAM no se contaría con el equipo de captura de datos y de acondicionamiento utilizado en la mesa.

La verificación dinámica de los acelerómetros consiste en colocarlos sobre una superficie a la que se le genera un movimiento variable en frecuencia. Se decidió que los movimientos aplicados fueran senoidales y de ruido blanco. Los movimientos senoidales se aplicarán en frecuencias de interés y con estas se comprobará la medición en magnitud de los acelerómetros a frecuencias dadas. Mientras que el ruido blanco permitirá conocer el comportamiento de los acelerómetros en el intervalo completo de movimiento de la mesa vibradora.

Con la mesa en movimiento y todos los acelerómetros a verificar conectados al SCDMV se realiza una captura de datos entre uno y tres minutos. El tiempo de captura dependerá del tipo de movimiento. Por experiencia, se recomienda que en los movimientos de ruido blanco sean tres minutos de captura y en los movimientos senoidales un minuto.

Después de realizar la captura de las señales de los acelerómetros viene el proceso de análisis de la información, donde el encargado de la verificación debe revisar los datos en tiempo capturados y determinar la desviación de cada acelerómetro con respecto al acelerómetro patrón y determinar la mejor constante para cada uno de los acelerómetros. Además del análisis en tiempo de las señales se hará un análisis en

frecuencia, donde se determinará también las frecuencias donde las constantes tienen su mayores desviaciones.

En sí, con la verificación dinámica se busca corregir el valor de la constante del acelerómetro. Ya que en algunas constantes estáticas, de algunos acelerómetros, pueden tener hasta un 10 por ciento de error en una frecuencia específica con respecto al acelerómetro de referencia. En la mayor parte del intervalo de frecuencia de interés las desviaciones no son mayores al 5 por ciento, lo cual se considera normal para acelerómetros.

Además de poder corregir las constantes de los acelerómetros, la verificación dinámica sirve para determinar la respuesta en frecuencia de todos los acelerómetros y así determinar si alguno tiene algún problema de lectura que lo haga no apto para las pruebas dinámicas de la mesa vibradora. Por ejemplo, si la respuesta del acelerómetro es a partir de los 10 Hz, los valores antes de esta frecuencia serán atenuados por el mismo acelerómetro y al realizar el análisis en frecuencia se verá claramente como las frecuencias antes de 10 Hz no pueden ser medidas por el acelerómetro. Esto mismo sucede si en alguna frecuencia intermedia tiene algún problema el acelerómetro, las lecturas se verán atenuadas lo cual hará que las lecturas se vean atenuadas o amplificadas en esa frecuencia con respecto a las lecturas del acelerómetro patrón.

Aunque para todos los transductores es muy importante la respuesta en frecuencia, para determinar su uso en las pruebas de mesa vibradora, con los acelerómetros es mayor su relevancia. Debido a que el intervalo de frecuencias de las lecturas de aceleración es mucho mayor que las de desplazamiento. Esto se puede ver por el hecho a que altas frecuencias los desplazamientos generados son muy pequeños y se pueden considerar despreciables comparados a los que se obtienen a bajas frecuencias. Mientras que las aceleraciones obtenidas a altas frecuencias pueden ser de mayor o igual magnitud a las obtenidas a bajas frecuencias.

El análisis en frecuencia de los datos obtenidos en la verificación dinámica es la parte más importante de la verificación misma. Por ello el encargado de realizarla debe tener el conocimiento suficiente para hacer la interpretación de estos análisis y poder obtener las modificaciones a la constante del acelerómetro. Así como ser capaz de determinar si el acelerómetro es apto para las pruebas a las que será destinado.

Los programas utilizados en la verificación estática y dinámica de los acelerómetros son distintos. Mientras que el programa de verificación estática se realizó para este fin; para la verificación dinámica no existe un programa especial. Para esta última se utiliza el programa de captura de la mesa vibradora y las subrutinas de análisis del mismo. La interpretación y generación de reportes se hace de manera independiente al programa de captura.

En el procedimiento de verificación dinámica se enlistan los resultados y documentos que se deben ser generados para el seguimiento de las verificaciones. Por lo que el encargado de las verificaciones deberá poner especial cuidado en la generación de estos documentos.

3.2.4.3 Verificación de lecturas de deformación

Para medir esfuerzos en los modelos y equipos que se prueban en el LMVI-II-UNAM, se utilizan deformímetros (Strain Guage, su nombre en inglés). Estos se pegan sobre los modelos, en la parte donde se desea medir la deformación, y no son recuperables.

Estos transductores de deformación no pueden ser sujetos a una verificación de su constante. En muchos casos lo que se hace es aplicar una fuerza conocida al cuerpo donde fueron pegados y obtener la lectura del sensor y realizar una verificación de los esfuerzos del material donde fue pegado a partir de las lecturas. Aquí solamente se puede apreciar si el sensor esta funcionando o no.

Debido a que no son recuperables los deformímetros, en vez de hacer una verificación del mismo se hace una verificación del dispositivo con el que se va a leer la diferencia en la resistencia del deformímetro. Para ello normalmente se pega un deformímetro, de las mismas características que los utilizados en las pruebas, a una barra de aluminio o acero. Después se conecta aun equipo que sirve como referencia y se toma la lectura de la deformación a la que está sujeta el deformímetro. Después se conecta al equipo de acondicionamiento de la mesa vibradora y se toma el valor de voltaje. Esto se repite con diferentes opciones de carga sobre la barra donde está el deformímetro.

Cuando se tienen algunas lecturas, se aplica a los valores obtenidos del acondicionador la constante que se obtiene de la ecuación del tipo de acondicionador. Después se comparan con los valores del equipo de referencia. De ser necesario se hace una corrección de la constante y se toma esta última como la constante a aplicar durante las pruebas.

Aquí es importante mencionar que los deformímetros modifican su resistencia al alargarse o contraerse. Estas variaciones en la resistencia generan una variación en el voltaje de salida del acondicionador. La variación en voltaje es directamente proporcional a la deformación que tiene el material utilizado. Con este valor de deformación y la constante del material se puede conocer el esfuerzo generado por la fuerza aplicada.

Otra forma de hacer una verificación de los dispositivos de acondicionamiento y lectura de los deformímetros, es la utilización de un equipo que permita variaciones pequeñas de resistencia. Con este equipo se simula la conexión de un deformímetro a la entrada del acondicionador o equipo de lectura. Después depende de hacer que el equipo varíe su valor de resistencia. Estas variaciones de resistencias son representativas de las que tendrá el deformímetro al estar conectado.

La principal ventaja de utilizar este equipo, es que no se debe desperdiciar un deformímetro para obtener la constante a aplicar a las lecturas de voltaje de los acondicionadores del SCDMV. Aparte de conveniencia que hay de tener variaciones de resistencias controladas y conocidas.

Para realizar la verificación de las lecturas de deformación con el SCDMV, es necesario conectar primero los acondicionadores MTS para la lectura de deformímetros y después conectar el equipo de simulación de deformaciones. También se deberá contar con el equipo de referencia para las lecturas de deformación. Este último equipo se utiliza para verificar que las lecturas obtenidas por el programa de verificación esta

bien calculadas y que se puede tomar como buena el cálculo de la constante para los deformímetros.

Si por alguna razón, existe una diferencia muy grande entre los valores del equipo de referencia y los obtenidos en SCDMV, se deberá verificar que las conexiones y configuración del acondicionador están bien. En caso que las diferencias sean pequeñas, se deberá realizar un ajuste al cálculo de la constante para las lecturas del SCDMV.

Con respecto al equipo simulador de deformación, se deberá verificar que los valores de sus resistencias sean los que se quieren obtener, tomando en consideración la incertidumbre y el error del mismo equipo.

Al final de la verificación del acondicionador y del SCDMV se deberá generar una hoja con las constantes que se deberán aplicar para cada canal de lectura de deformación. Aunque se podría realizar la calibración de un solo canal y utilizar la constante de éste para todos los demás, se decidió realizarlo con todos para tener la seguridad que la configuración de los acondicionadores sea la correcta y verificar el buen funcionamiento de los mismos.

3.3 *Trazabilidad e incertidumbre*

Una parte importante de los procedimientos de verificación es la obtención de la trazabilidad e incertidumbre en cada caso. Para ello en cada procedimiento se realiza el cálculo de la incertidumbre tomando en cuenta las fuentes de incertidumbre involucradas en la medición.

En la mayoría de los casos se toman la incertidumbre calculadas en la verificación de los equipos utilizados en el SCDMV y que también son verificados por medio de otros equipos calibrados. Así que la mayoría de los procedimientos de verificación sirven para obtener la incertidumbre total en el proceso de medición.

También en el proceso de verificación de los transductores se realiza el cálculo de su sensibilidad. Esto permite conocer hasta donde son válidos los datos obtenidos con los transductores debido al sistema de captura de datos y a sus características de medición. La sensibilidad es importante para el planteamiento de la instrumentación a utilizar y que este de acuerdo a los alcances de las pruebas.

La trazabilidad de las lecturas se obtendrá por medio de los equipos y transductores patrón que se utilizan para la verificación. Estos son los equipos que se mandan a calibrar y que tienen por ende una trazabilidad con un patrón externo al laboratorio.

El único procedimiento que no conlleva el cálculo de incertidumbre y la trazabilidad es el de puesta a punto de la mesa vibradora. Esto debido a sus características y alcance; donde lo que se busca son los parámetros óptimos de operación. Sin embargo, durante la realización de pruebas y verificación de los transductores de aceleración se realizan verificaciones de los valores obtenidos en la reproducción de la mesa vibradora y los transductores de aceleración. Con ello se busca identificar el momento en que la mesa vibradora tenga desviaciones considerables en la reproducción de los movimientos y saber cuales son las desviaciones que se están obteniendo al reproducir un movimiento.

CAPÍTULO 7. VALIDACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS

En este capítulo se propondrán las formas de validación de aquellos procedimientos que se crean necesarios y en los demás se mencionará el porqué no se opta por una validación. Esto debido a que por la forma en que se realizan se considera más una forma de verificar valores y/o de funcionamiento de los equipos y transductores.

Se seguirá el mismo orden que en el capítulo anterior, empezando por el sistema de control de la mesa vibradora y después para todos los componentes del SCDMV. Recordando que en el acápite anterior se explicó resumidamente en que consisten los procedimientos de puesta a punto de la mesa vibradora y de verificación de los componentes del SCDMV.

7.1 Procedimiento de puesta a punto de la mesa vibradora.

Anteriormente se explicó de forma resumida como se realiza una puesta a punto de la mesa vibradora. Este procedimiento de operación se realiza siguiendo las instrucciones y recomendaciones de la empresa que instaló la mesa vibradora.

El procedimiento está ajustado al programa de control y a las características del equipo que compone la mesa vibradora. Así que el procedimiento de puesta a punto de la mesa vibradora es un método normalizado por el fabricante del equipo para la puesta a punto de la mesa vibradora. En sí, el procedimiento no se tiene que validar, si no confirmar que utilizándolo se obtienen los resultados esperados.

Como ya se tiene el procedimiento de puesta a punto, el equipo, las instalaciones y las condiciones. Solamente queda documentar que se puede llevar a cabo el procedimiento.

Para ello se proponen la siguiente forma de documentar la realización del procedimiento; la cual servirá también para crear un archivo con las diferentes puestas a punto y los resultados obtenidos.

Primero la utilización de un formato de captura de parámetros iniciales y cambios en las variables de control durante el ajuste del tercer estado, balanceo y puesta a punto de las servo-válvulas. Además del registro durante la verificación de los transductores de desplazamiento. En el apéndice 1 se muestra el formato de registro completo y a continuación solamente se presentan las tablas de registro sugeridas.

La tabla 1 se utiliza para registrar los valores de las variables de control que se cambian durante la primera parte de la puesta a punto de las servo-válvulas y que son "Conditioner Gain", "Spool Zero", "Demand Phase" y "Balance". Los valores de "Conditioner Gain", "Spool Zero" y "Demand Phase" se modifican durante el ajuste del tercer estado de las servo-válvulas. En este paso el valor que más sufre cambio es la variable de "Conditioner Gain". El valor de "Balance", se ajusta durante el balanceo de las servo-válvulas.

Es importante anotar estos valores; ya que servirán de referencia en caso de que se tengan problemas con la puesta a punto y se deban dejar los valores que estaban con anterioridad.

TABLA 1.
VALORES INICIALES

Servo válvula	Conditioner Gain	Spool Zero	Demond Phase	Balance
Z1				
Z2				
Z3				
Z4				
X1				
X2				
X3				
X4				

En la tabla 2 se anotaran los valores que se obtienen al ajustar el valor de "Conditioner Gain" y "Spool Zero". No es necesario anotar todos los cambios que se realizan y por ello solamente se proporcionan tres renglones para anotar los cambios que se acercan más a la diferencia que se debe lograr entre el estado "Inverted" y "No Inverted".

Para "C.G." y "S.Z." solamente se anotara el valor final. El valor final de "S.Z." es deseable que sea cero y que el ajuste del tercer estado sea solamente con la variable "Conditioner Gain"; porque más adelante se deberá ajustar de nuevo el valor de "S.Z.". Sin embargo, puede ser necesario, que con alguna servo-válvula, sea necesario ajustar el "Spool Zero" al no lograr llegar a la diferencia deseada con "C.G."

TABLA 2.
REGISTRO DE VALORES DEL AJUSTE DEL TERCER ESTADO

Z1			Z2			Z3			Z4		
I	N.I.	Dif	I	N.I.	Dif	I	N.I.	Dif	I	N.I.	Dif
C.G			C. G.			C. G.			C. G.		
S.Z.			S. Z.			S. Z.			S. Z.		

C.G.- Conditioner Gain. S.Z.- Spool Zero.

X1			X2			X3			X4		
I	N.I.	Dif	I	N.I.	Dif	I	N.I.	Dif	I	N.I.	Dif
C. G.			C. G.			C. G.			C. G.		
S. Z.			S. Z.			S.Z.			S.Z.		

Solamente se deben registrar los valores finales de "Conditioner Gain" y "Spool Zero", en las columnas de "I" (Inverted) y "N.I" (No Inverted) se debe registrar el valor de voltaje que aparece en la ventana digital meter para cada caso. La columna "Dif" sirve para apuntar la diferencia que hay entre los valores absolutos de cada columna.

En la tabla 3 solamente se registraran tres valores de la variable de control “Balance” y la lectura en la ventana “Digital Meter A” asociada al valor de “Balance”. El primer valor es el inicial, el segundo se recomienda que sea el primer valor que este cercano al valor que sea llegar y el tercero sea el último valor con el que se da por terminado el balanceo de las servo-válvulas.

TABLA 3.
REGISTRO DEL BALANCEO DE LAS SERVO-VALVULAS

Z1		Z2		Z3		Z4	
Balance	V. S.	Balance	V. S.	Balance	V. S.	Balance	V. S.

V.S.- Valor de salida en la ventana Digital Meter A

X1		X2		X3		X4	
Balance	V. S.	Balance	V. S.	Balance	V. S.	Balance	V. S.

V.S.- Valor de salida en la ventana Digital Meter A

En la columna “Balance” se apunta el valor que tiene la variable de control en la ventana “Valve Driver”; mientras que en la columna “V.S.” se registra el valor de salida que aparece en la ventana “Digital Meter A” para el valor de “Balance”.

TABLA 4.
REGISTRO DEL BALANCEO DE FUERZAS

X1		X2		X3		X4	
Spool Z.	V [ton]	Spool Z.	V [ton]	Spool Z.	V [ton]	Spool Z.	V [ton]

V.- Valor de salida en la ventana Digital Meter A y Digital Meter B

Z1		Z2		Z3		Z4	
Spool Z.	V [ton]	Spool Z.	V [ton]	Spool Z.	V [ton]	Spool Z.	V [ton]

V- Valor de salida en la ventana Digital Meter A y Digital Meter B

En la columna “Spool Z.” se registran los valores que se pongan en la variable de control “Spool Zero” de la ventana “Valve Driver”. La columna V[ton] es para registrar el valor que se lee en las ventanas “Digital Meter A y B”

La tabla 4 registra el proceso de balanceo de fuerzas. Este proceso, por experiencia, es que requiere de mayor número de cambios de valor de la variable de control “Spool Zero”. Por ello se recomienda que solamente se anoten valores iniciales y algunos valores cuando se encuentre cercano al intervalo deseado (que las fuerzas estén por debajo de tres toneladas y que los valores entre actuadores sean lo más cercano posibles, sin que el valor de “Spool Zero” aumente demasiado.

En la tabla 5 se registran los desplazamientos de la verificación de los transductores de desplazamiento. Es la única tabla donde no se registra el valor que se cambia en el controlador de los acondicionadores; ya que el proceso sirve como verificación y solamente se harán cambios si es necesario realizar un ajuste de los parámetros de acondicionamiento de los transductores y esto se registrarán en otra tabla que se refiere a otro procedimiento extra.

TABLA 5.
REGISTRO EN LAS CORRECCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS

X1			X2			X3			X4		
+20	-20	Dif	+20	-20	Dif	+20	-20	Dif	+20	-20	Dif

+20 cm y -20 cm.

Z1			Z2			Z3			Z4		
+10	-10	Dif	+10	-10	Dif	+10	-10	Dif	+10	-10	Dif

+10 cm y -10 cm

Las columnas “+20” y “+10” se registra la lectura que aparece en la ventana “Digital Meter A y B” para cada uno de los transductores de desplazamiento en la condición de desplazamiento de carrera total positiva. Mientras que en las columnas “-20” y “-10” se registra la lectura en la condición de desplazamiento de carrera total negativa. La columna de “Dif” se registra la diferencia del los valores absolutos de las otras dos columnas.

Durante la puesta a punto de las servo-válvulas se deben modificar los valores de las variables de control “Proportional Gain” y “Rate Gain” esto con la finalidad de variar la respuesta en fase de la señal. Aquí las modificaciones en cada una de las servo-válvulas se hace hasta que haya una diferencia menor de +/- 0.5 grado entre la gráfica de referencia y la grafica de la servo-válvula que se esta ajustando. Como se muestra en la figura 7.1.1. Solamente es necesario apuntar el valor inicial y final.

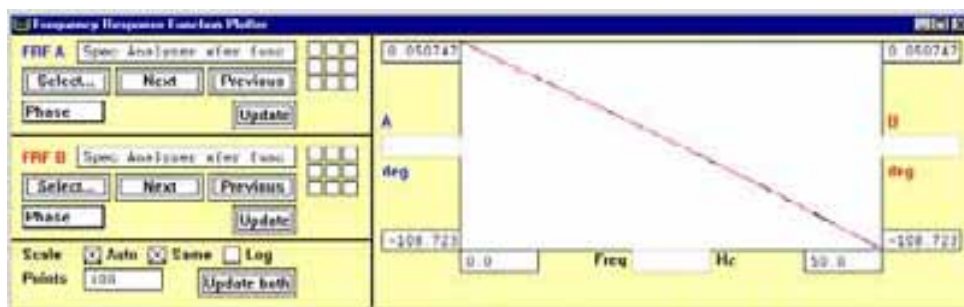


Figura 7.1.1. Ventana del programa de análisis en frecuencia del programa de control, con la respuesta en fase de las servo-válvulas.

TABLA 6
REGISTRO DURANTE LA PUESTA A PUNTO DE LAS SERVO-VÁLVULAS

X1		X2		X3		X4	
Proportional Gain	Rate Gain	Proportional Gain	Rate Gain	Proportional Gain	Rate Gain	Proportional Gain	Rate Gain

Z1		Z2		Z3		Z4	
Proportional Gain	Rate Gain	Proportional Gain	Rate Gain	Proportional Gain	Rate Gain	Proportional Gain	Rate Gain

En las columnas “Proportional Gain” y “Rate Gain” se registra el valor inicial y final de las variables de control del mismo nombre de la ventana “Valve Drive” durante la puesta a punto de las servo-válvulas.

Adicional al formato de registro se propone la generación de dos archivos electrónico por puesta a punto. El primero de ellos corresponde a un archivo de imagen de la función de transferencia (figura 7.1.2) y otro a un registro de 5 minutos de las diferentes señales de control que genera la mesa vibradora. La finalidad de tener estos archivos es el de crear un archivo electrónico con las diferentes puesta a punto de la mesa vibradora y las condiciones en que se realizo. Por otro lado el archivo con los datos de las diferentes variables de control permitirá realizar diferentes análisis que permitan conocer con mayor precisión las características de movimiento de la mesa vibradora.



Figura 7.1.2. Función de transferencia final de proceso de puesta a punto.

Las anteriores tablas, la gráfica y el archivo de datos es la manera de confirmar que se puede llevar a cabo el procedimiento de puesta a punto y obtener los valores especificados. Esto sería equivalente a validar el procedimiento de puesta a punto.

Al inicio del trabajo de tesis se considero que la parte medular para dar una certidumbre sobre el buen funcionamiento de la mesa vibradora era el de validar (en este caso confirmar) solamente el procedimiento de puesta a punto. Ya que consideraba que con la obtención de una buena función de transferencia en este proceso garantizaba la buena reproducción de todas las señales que puede reproducir la mesa vibradora. Pero durante el avance del trabajo y la realización de ensayos en la mesa vibradora, se vio que esto no es suficiente para garantizar la reproducción de las diferentes señales de prueba y que solamente proporciona la garantía de que los componentes de la mesa están funcionando de forma correcta.

La mayoría de los ensayos que se realizan en la mesa vibradora requieren la reproducción de señales senoidales, ruido blanco, barrido de señales y/o un registro sísmico. Estas señales son de características distintas a la señal que se utiliza para la puesta a punto (ruido blanco entre 0 y 50 Hz), lo que hace que la respuesta de la mesa no tenga la misma función de transferencia estos diferentes movimientos.

En la práctica se ha visto que la magnitud, frecuencia, opciones de control y los modelos a probar influyen en la respuesta de la mesa vibradora, en diferentes frecuencias. Por ejemplo, cuando se hace la reproducción de una señal senoidal y por las características del empotramiento de los actuadores y su funcionamiento aparecen armónicos. Además de que la señal puede estar desfasada, atenuada o amplificada, dependiendo de la frecuencia.

Para corregir la amplitud y fase de las señales senoidales se tiene el subprograma de corrección de fase y amplitud. El cual utilizando las señales de retroalimentación calcula la corrección de fase que tiene que aplicar y que tanto debe corregir la amplitud.

El operador de la mesa vibradora no tiene forma calcular o saber la desviación en la respuesta de la mesa vibradora antes de reproducirla. Lo cual hace que se deban utilizar los subprogramas de control para contrarrestar los efectos de ciertos movimientos o de los modelos. También se llega a realizar una puesta a punto de la mesa vibradora, en la cual solamente se procede a modificar la función de transferencia para que la reproducción en ciertas frecuencias sea mejorada.

El que la mesa tenga diferentes respuestas a diferentes señales y modelos es característico de las mesas vibratoras y por ello es importante generar un archivo de las características de reproducción de la mesa vibradora ante diferentes condiciones de prueba. Esto con el fin de conocer y verificar que la mesa vibradora puede reproducir las diferentes tipos de señales y con que calidad.

Ante ello se proponen las siguientes acciones a realizar para documentar y conocer las características de moviendo previas a cada prueba. Estas acciones no tienen el fin de validar algún procedimiento y son más bien parte de la documentación y registro del funcionamiento de la mesa vibradora. Aunque no se descarta que en un futuro sean parte de un procedimiento de validación.

1. Regularmente se deberá verificar que las magnitudes reproducidas y capturadas por la mesa vibradora sean correctas. Para ello se puede optar por la realización de capturas de comparación con equipos del CENAM y/o la utilización de transductores patrón durante la reproducción de diferentes tipos de movimientos.
2. En las pruebas que lo permitan se deberá verificar las características de movimiento de la mesa vibradora, obteniendo la función de transferencia de la mesa con el modelo antes de llevar acabo las pruebas.
3. Como parte del procedimiento de realización de pruebas, la generación de archivos donde se guarden los datos de los transductores de realimentación de la mesa vibradora y las señales de referencia durante los movimientos reproducidos.

La primera medida, es para verificar los resultados que se obtienen con los transductores de realimentación de la mesa vibradora, comparándolos con los resultados que se obtienen con los transductores patrón y el SCDMV o con los transductores y sistema de registro del CENAM.

Hasta el momento se tienen comparaciones entre la señal de referencia y la señal de retroalimentación y las desviaciones que se tienen al momento de su reproducción. Esto se muestra en la figura 7.1.3, donde se muestra los datos en tiempo de una señal aleatoria y su captura con diferentes transductores de aceleración. En la figura 7.1.4 se muestra el análisis en frecuencia de los datos de un archivo de datos y la señal de referencia que genera el programa de control de la mesa vibradora.

En la gráfica de las señales de aceleración nos permite comparar las magnitudes obtenidas con diferentes transductores y la señal que sirve como referencia. En estas se aprecia que hay ciertas diferencias en magnitud y fase que se deben principalmente a las características de captura. Donde el mismo sistema de registro de la mesa vibradora tiene un desfaseamiento entre las señales que captura. El retraso o adelanto de la señal provoca que en los cambios rápidos de la señal se tengan diferentes valores y algunos sean unos picos mayores. Sin embargo, las señales de todos siguen una misma secuencia de datos.

Con la figura 4 se quiere mostrar las diferencias que se pueden encontrar con la simple conversión del archivo de datos a un archivo binario. Aunque estas diferencias son cuando los valores en frecuencia son pequeños y se pude deber a redondeos que hace el sistema.

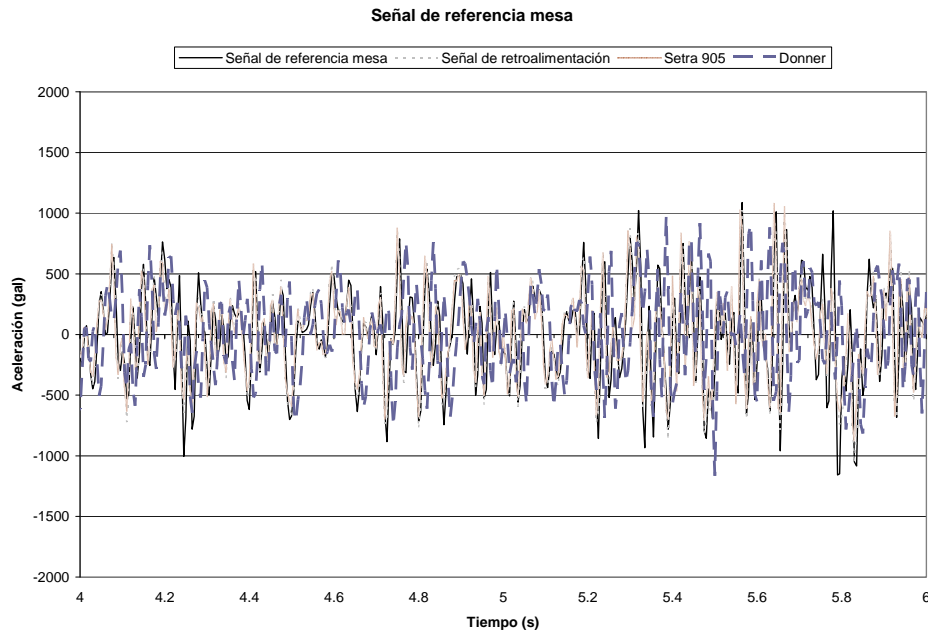


Figura 7.1.3 Gráfica de señales de diferentes fuentes para una misma señal de la mesa vibradora.

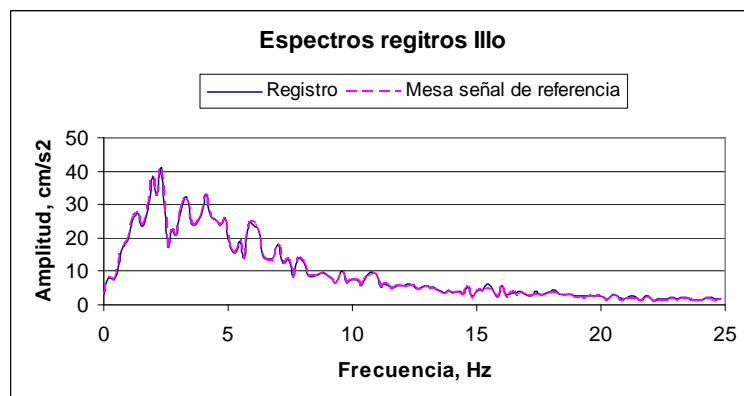


Figura 7.1.4 Espectros de frecuencia de un archivo de registro y la señal de referencia de la mesa vibradora

La primera propuesta permitirá hacer este o otros tipos de comparaciones entre las señales registradas por diferentes tipos de señales. Hay que mencionar que con esto solamente se podrán obtener porcentajes de desviaciones entre la señal de referencia y la señal reproducida y que sirvan para establecer la mejor forma de corregir e interpretar los datos generados por la mesa y el sistema de captura.

Hay que hacer énfasis que estas comparaciones no se hacen en condiciones de prueba y que es una tarea adicional a la puesta a punto.

La segunda propuesta esta encaminada a conocer cuales son las modificaciones que ha sufrido la mesa vibradora cuando se ha colocado el modelo y las características de reproducción que se tendrán al realizar la prueba. En la figura 7.1.5, se muestra una función de transferencia con un modelo pesado, donde las altas frecuencias se encuentran atenuadas y algunas frecuencias bajas amplificadas.



Figura 7.1.5 Función de transferencia con un peso 8.4 toneladas.

En estos casos se valora las frecuencias de los movimientos que se quieren aplicar y si están dentro de las frecuencias que no sufren atenuación se puede realizar la prueba; pero si las señales están dentro de las frecuencias atenuadas se debe realizar un proceso de corrección de amplitudes con los diferentes programas de control que permiten mejorar la respuesta de la mesa vibradora.

El registro de esta función de transferencia aunado a las características del modelo permitirá prever con anticipación las modificaciones que sufrirá la respuesta de la mesa vibradora y tomarlo en cuenta para establecer los alcances del ensayo.

No siempre será posible obtener la función de transferencia; ya que muchos casos se opta por no realizarla y cuidar la integridad del modelo.

La tercera propuesta está encaminada a capturar las señales de los transductores de realimentación de la mesa vibradora y conocer su respuesta durante las pruebas. Con esto se podrán despejar dudas sobre desviaciones que se presentan al analizar los datos capturados en el SCDMV. En la figuras 7.1.6 a la 7.1.8 se muestra algunos de los análisis que se realizan para conocer la respuesta de la mesa vibradora durante una prueba.

Debido a las variaciones en las características de movimiento de la mesa vibradora conforme al modelo, cambia sus propiedades dinámicas lo que trae como consecuencia que la respuesta inicial de la mesa vibradora varíe. Por ejemplo, algunas frecuencias se amplifican y otras sufren atenuación.

Por lo que, el tener los datos que registra el sistema de control de la mesa vibradora permitirán conocer las características de los movimientos y cuantificar el desempeño de la mesa vibradora durante las pruebas. Además permite generar una historia de los resultados obtenidos por el equipo en diferentes condiciones de uso, lo cual permitirá tomar mejores decisiones en la operación de la mesa vibradora.

Hay pruebas donde el modelo y el protocolo de pruebas permiten que realizar movimientos de ruido blanco con la mesa vibradora. En estos casos se recomienda verificar la función de transferencia de la mesa vibradora. Lo cual permitirá que el encargado de operar la mesa vibradora se de cuenta de las cambios que hay en las características de movimiento.

En caso de haber modificaciones en las características de movimiento se deberá tomar la decisión de corregirlas o de seguir con estas nuevas características. La decisión le corresponde al responsable de la prueba y es deber del encargado del movimiento de la mesa informarle de los cambios sufridos en la función de transferencia y sus posibles consecuencias en la reproducción de los movimientos.

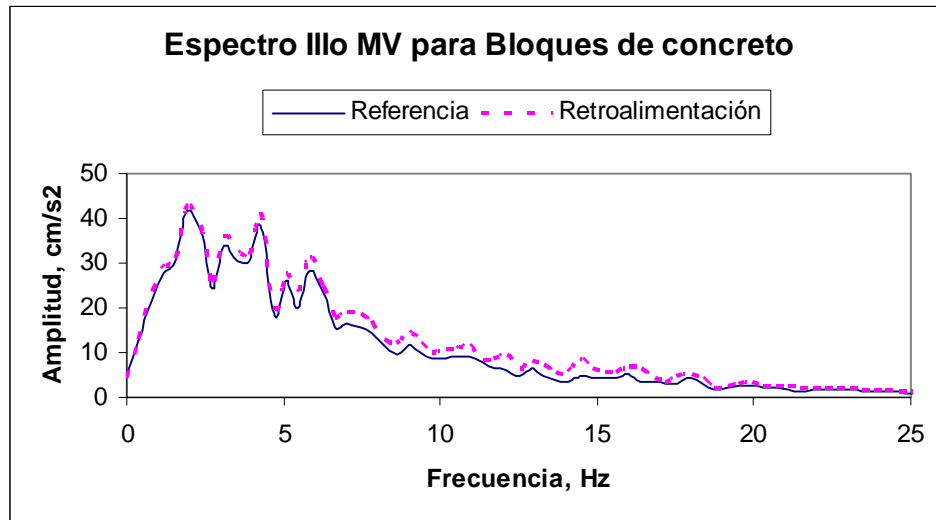


Figura 7.1.6. Espectro de potencia de un registro sísmico

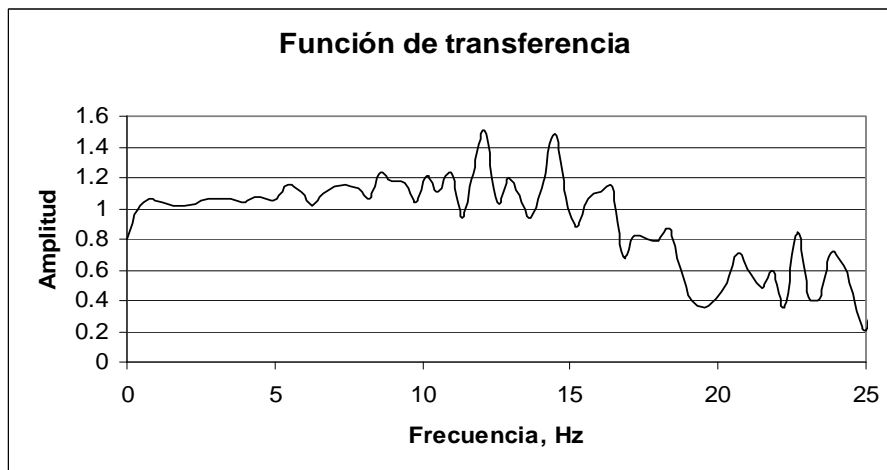


Figura 7.1.7. Función de transferencia

Figura 7.1.8. Coherencia entre las señales de la función de transferencia

La anterior propuesta se incluye en el procedimiento de realización de ensaye y depende del personal a cargo de la mesa vibradora su realización durante cada ensaye.

Hasta el momento la propuesta tres se realiza en la mayoría de los ensayos y cuando la capacidad de memoria de la computadora de control lo permite.

Para que esta información sea útil y permita con el tiempo conocer cada vez más las características de la mesa vibradora, es necesario que genere un historial de los análisis realizados y se interpreten. Porque hasta el momento solamente se utilizan cuando surgen dudas en los resultados obtenidos en el SCDMV o surge alguna diferencia entre los resultados esperados y los obtenidos.

7.2 Validación de procedimientos de calibración del SCDMV

En la sección 6.2 del capítulo anterior se explicó la forma en que se realizan las verificaciones de los diferentes componentes del sistema de captura de datos de la mesa vibradora (SCDMV). Al iniciar el trabajo de investigación era posible que el mismo laboratorio hiciera sus calibraciones y solamente tenía que validarlas. Sin embargo, por nuevas disposiciones el laboratorio no puede decir que realiza sus propias calibraciones, si no se encuentra acreditado ante la "ema" para realizarlas y por ende no se puede emitir un certificado de calibración de los diferentes transductores. Aunque la forma de realizarlos pueda dar los mismos resultados que una calibración formal.

Por el momento no es de interés del LMV-II-UNAM acreditarse como laboratorio de calibración en las variables que se miden. Pero por seguridad en los datos que se obtienen con el SCDMV se siguen haciendo las verificaciones de todos los equipos y transductores utilizados durante las pruebas. Ante esto se decide no utilizar el término calibración y sustituirlo por verificación. En el capítulo 6, ya se utilizó como título y aquí solamente se da la explicación del cambio.

La flexibilidad y diversidad de que equipos y transductores del SCDMV hace difícil tener un solo proceso de verificación, por eso en la sección 6.2 se explica la forma en que se verifican las tarjetas de captura de datos, acondicionadores y los diversos transductores que se utilizan.

Los procedimientos utilizados para la verificación no están o se pueden considerar normalizados; por ello es necesario realizar un procedimiento para validar que cumplen con el objetivo propuesto. A continuación se harán las propuestas de los procedimientos de validación de los procesos de verificación de los componentes del SCDMV.

7.2.1. Validación del procedimiento de verificación de tarjetas de captura de datos.

Aplica a: verificación de las tarjetas de captura de datos del SCDMV.

Descripción del método: Consiste en la captura, por medio de cada una de las tarjetas del SCDMV, de señales de voltaje de corriente directa. Las señales aplicadas son de dos tipos: Las primeras son de voltaje constante y se utilizarán para determinar el error y la incertidumbre en la conversión por parte de las tarjetas. La segunda son señales senoidales a diferentes frecuencias y una amplitud de 1 V; esta señal permitirá determinar si no existe algún problema para la captura de señales dinámicas.

El error y la incertidumbre se obtendrán al comparar las lecturas de voltaje de la tarjeta con las de un volmetro patrón. Mientras que en las señales dinámicas se hará solamente una comparación en frecuencia entre la señal generada y la señal capturada por las tarjetas. Además de verificar que no existen problemas de desfase entre canales de la misma tarjeta.

Las pruebas y lecturas se harán con la conexión normal del sistema de captura de datos y se deberán configurar los acondicionadores con una ganancia unitaria. Así que los datos obtenidos de error e incertidumbre corresponderán tanto a la tarjeta como al acondicionador.

Evaluación del método:

En la tabla 1 se capturan los valores registrados para los diferentes voltajes de prueba. La lectura de la tarjeta de captura corresponde al valor promedio de una muestra de 500 lecturas por parte de la tarjeta a una velocidad de conversión de 1000 muestras por segundo.

Tabla 1.
Registro de voltajes, tarjeta []

	Voltaje	Volmetro patrón [V]	Tarjeta de captura [V]	Vmx [V]	Vmn [V]	E
1	0.001					
2	0.010					
3	0.100					
4	1.000					
5	10.000					

La determinación del error en las lecturas de las tarjetas se hace obteniendo las lecturas del máximo, mínimo y el valor promedio en una muestra de 500 lecturas. Al valor promedio se le restan los valores máximo y mínimo por separado. El error estará dado por el valor absoluto mayor de estas diferencias; es decir que si la diferencia entre el valor promedio y el valor máximo es mayor que la diferencia entre el valor promedio y el valor mínimo; el error en las lecturas estará dado por la diferencia que hay entre el valor promedio y el valor máximo. El error se expresara como +/- de la mayor diferencia.

Ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{Valor promedio} &= V_p = 1.001 \text{ V;} \\ \text{Valor máximo} &= V_{mx} = 1.006 \text{ V y} \\ \text{Valor mínimo} &= V_{mn} = 0.998 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p - V_{mx} &= 1.001 - 1.006 = -0.005 \text{ y} \\ V_p - V_{mn} &= 1.001 - 0.998 = 0.003 \end{aligned}$$

Por ende, el error asociado a la lectura es de +/- 0.005 V. Este error se debe calcular para cada uno de los valores de prueba. El error general de las lecturas se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Error} = 1/n (\sum E_i)$$

Donde :

Error = Error aleatorio de la tarjeta.

n = Número de lecturas tomadas.

E_i = error de la lectura i

Con estos valores se calcula la incertidumbre de los valores de la tarjeta aplicando una relación directa entre el volmetro patrón y la tarjeta de captura de datos $V_p = V_t$, donde la incertidumbre se obtiene de la siguiente forma:

$$U_{tc} = \sqrt{U_t^2 + U_v^2}$$

Donde:

U_{tc} .- Es la incertidumbre expandida de la tarjeta.

U_t .- Es la incertidumbre tipo B de la tarjeta

U_v .- Es igual a la incertidumbre del volmetro patrón.

La incertidumbre tipo B de la tarjeta será igual al error aleatorio; esto debido a que el valor nos proporciona el intervalo donde se encuentra el valor que se está leyendo. Por otro lado la incertidumbre del volmetro patrón se debe obtener de su certificado de calibración y en caso de no contar con el se tomara como incertidumbre el siguiente valor.

$$U_v = \frac{\text{Resolución máxima}}{2\sqrt{3}}$$

Donde la resolución máxima se refiere, al valor mínimo que se pueda leer a la escala más alta utilizada durante la verificación; ya que algunos volmetros son auto escala.

Esta es una forma sencilla de obtener la incertidumbre asociada a las lecturas de las tarjetas. Esta incertidumbre se utilizará en los cálculos de incertidumbre de los transductores.

Sin embargo, por el volmetro que se utiliza no es valido realizarlo de esta manera ya que la resolución de la tarjeta es mayor que la del volmetro. Pero por el momento sirve para verificar que los valores que se están capturando por parte de la tarjeta son correctos. Cuando se tenga el volmetro que funcione como patrón y este calibrado se podrá tener la incertidumbre correcta y la trazabilidad a un patrón primario.

La segunda parte de la verificación corresponde a las señales dinámicas, donde se capturan señales senoidales a diferentes frecuencias y a una amplitud de 1 V. Aquí es importante que se verifiquen dos aspectos de la captura de señal en forma dinámica: Que la digitalización de la señal se haga bien y que no haya cambios en sus parámetros.

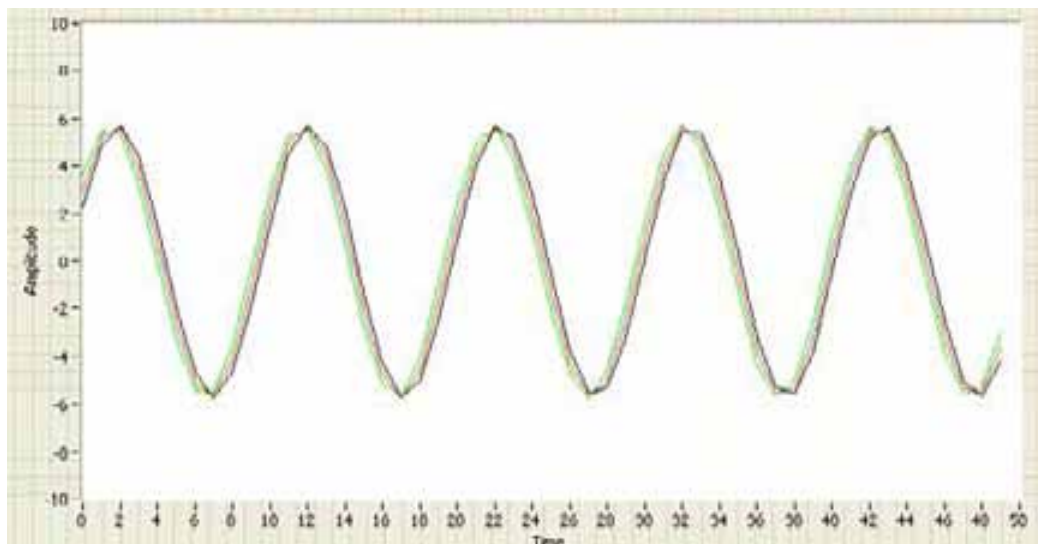
Primero se genera una señal senoidal (con un generador de funciones externo o con la salida analógica de la tarjeta) a un hertz y una amplitud de 1 V y se conecta a dos o más canales de la tarjeta de captura de datos. La señal se visualizara y se capturara para su análisis.

En la figura 7.2.1.1 se muestra una señal senoidal característica de prueba, no a +/- 1 volts como se sugiere, si no a +/- 6 volts. Pero se hace como ejemplo de lo que se quiere verificar en cuestión de la forma de capturar la por medio de la tarjeta desfase la señal cuando se captura por más de un canal.

Así el operador del sistema de captura de datos podrá confirmar que el programa esta funcionando bien y que en las señales capturadas durante las pruebas tengan o no un factor de desfase desconocido. Para tener una referencia de estas pruebas se debe anotar en la tabla 2 que se hayan verificado la captura dinámica, registrando "bien" en caso de que no haya desfase y "mal" si se presento algún desfase entre las señales.

Tabla 2.
Captura de verificación de captura dinámica de las tarjetas

Señal	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1 Hz						
10 Hz						
25 Hz						



La figura 7.2.1.1 Señal senoidal de +/- 6 V y donde se aprecia un desfase entre las señales

Si existe algún desfase entre las señales será necesario hacer una verificación del programa de captura y de la tarjeta para encontrar el problema corregirlo. Al finalizar la corrección de deberá realizar la prueba de nueva cuenta.

La captura de la señal de prueba se hará por el intervalo de un minuto y se generará un archivo electrónico en "Excel" donde se documente los resultados de la prueba y se genere una grafica como de la figura 7.2.1.2.

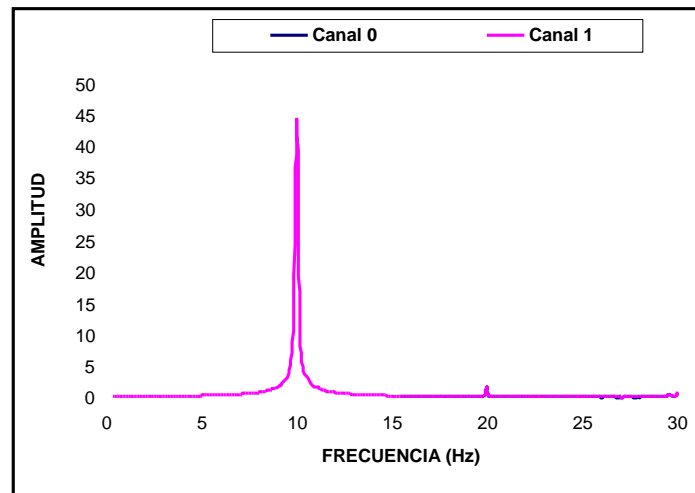


Figura 7.2.1.2. Análisis en frecuencia de la señal senoidal.

El análisis mostrado en la figura 7.2.1.2 proporciona la evidencia que al capturar la señal con la tarjeta de captura de datos no se están variando sus características de frecuencia. Además se agregan los análisis de función de transferencia, coherencia y fase entre la señales se puede documentar con mayor precisión las características de captura del sistema.

Tanto las tablas y los archivos electrónicos se deben archivar como evidencia del funcionamiento del sistema y que sirva como validación o verificación del procedimiento de verificación de las tarjetas.

Conclusión:

A la falta de resultados concretos no se puede dar como valido el procedimiento. Este se deberá confirmar con pruebas concretas en el sistema cuando se tenga el volmetro patrón y el osciloscopio para verificar las características de las señales dinámicas generadas. Pero en las aplicaciones parciales del método han dado resultados positivos que hacen pensar que no habrá problema en validar el procedimiento y solamente se deberán hacer ajustes en la definición de valores esperados.

7.2.2. Verificación de acondicionadores.

Aplica a: verificación de los acondicionadores del SCDMV.

Descripción del método: Consiste en la captura a diferentes ampliaciones de una señal de 0.001 volts. La cual se amplificara en 10, 100 y 1000 veces su valor. Esto se

hará para cada uno de los amplificadores que se tengan conectados al SCDMV y de forma independiente. Al final se deberá tener un estimado de la incertidumbre y error de cada canal para cada una de las ganancias propuestas.

Evaluación del método:

Debido a que no se cuenta todavía con un volmetro patrón calibrado, se realiza la comparación con un volmetro Steren con una presión de 0.01 V para señales mayores a 4 volts y de 0.001 V para señales menores. Su incertidumbre es desconocida, así que se le asigna una incertidumbre de +/- 0.001 V para voltajes menores a 4 volts y de +/- 0.01 V para voltajes mayores.

En la tabla 1 se capturan los valores registrados para los diferentes voltajes de prueba. La lectura de la tarjeta de captura corresponde al valor promedio de una muestra de 500 lecturas por parte de la tarjeta a una velocidad de conversión de 1000 muestras por segundo.

La incertidumbre se cálculo en la verificación de las tarjetas de captura y es para una amplificación unitaria. Así que en este proceso se verificará el error de la ganancia unitaria y se harán los cálculos de error para cada una de las ganancias.

Adicional al cálculo del error se deberá calcular la ganancia real que se esta aplicando, tomando como referencia el voltaje del volmetro patrón y el voltaje promedio. Este dato es importante para cada una de las ganancias y determinar la ganancia real que se está aplicando.

$$\text{Ganancia real} = Gr = \text{Voltaje patrón} / \text{Voltaje promedio}$$

Tabla 1.
Registro de voltajes, tarjeta []

Canal	Ganancia 1			Ganancia 10			Ganancia 100			Ganancia 1000		
	Vp	Vmx	Vmn	Vp	Vmx	Vmn	Vp	Vmx	Vmn	Vp	Vmx	Vmn
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

Aunado al registro en la tabla se ha generado un archivo en Excel que hará los cálculos de error y ganancia real aplicada para cada canal. Esto con el fin de aligerar el trabajo. Solamente se deberán capturar los valores del formato de captura a la hoja de Excel.

El error para cada ganancia será el que se obtenga de hacer las diferencias entre el valor promedio con el valor máximo y mínimo. La diferencia mayor de éstas será el error que se tendrá en las lecturas que se hagan con ese acondicionador y ganancia.

Como no se tiene disponible la salida de voltaje de los acondicionadores; no se calcula una incertidumbre para cada ganancia y se sigue utilizando la incertidumbre de la tarjeta que se calculo con ganancia unitaria.

Conclusión:

El procedimiento está como propuesta y por el momento no se ha realizado la validación del mismo. Pero los datos obtenidos de verificaciones puntuales, han demostrado que el procedimiento es útil y servirá para realizar la validación del procedimiento. Tal vez solamente sea necesario hacer modificaciones en cuestión de los valores sugeridos para adaptarlos a las características del equipo.

7.2.3. Verificación de transductores.

La verificación de los transductores es diferente para cada uno de tipos de transductores que se utiliza en las pruebas. La diferencia es la utilización de equipos y la forma de realizarlos.

En la sección 6.2.4 se mencionaron los tipos de transductores a los que comúnmente se les realiza la verificación en la mesa vibradora y es a estos procedimientos a los que se les propone la forma de validarlos.

Se empezará con los transductores de desplazamiento y siguiendo con los acelerómetros. Para los deformímetros solamente se hará el proceso de comparación para los acondicionadores contra un equipo de referencia.

7.2.3.1. Procedimiento de verificación de transductores de desplazamiento.

Aplica a: verificación de transductores de desplazamiento (DCDT) con tornillo milimétrico

Descripción del método:

Consiste en capturar por medio de la tarjeta de captura de datos el voltaje de salida del DCDT a verificar. El transductor se fija en el dispositivo de verificación junto con el tornillo milimétrico y se fija la punta del vástago del DCDT a la punta del vástago del tornillo milimétrico. Se debe verificar que la mesa donde se realice la verificación sea estable y fija para que no introduzca errores por su movimiento.

Se conecta el DCDT al SCDMV a un canal y acondicionador específico. La primera verificación se realiza a ganancia unitaria del acondicionador y si es necesario se realizan otras verificaciones a las ganancias que se piensan utilizar para acondicionar la señal del transductor.

Por medio del programa de calibración del SCDMV se realiza la captura de los diferentes puntos de calibración

Evaluación del método:

Una vez obtenidas todas las lecturas necesarias se calcularán la ordenada y la pendiente utilizando el método de los mínimos cuadrados, tomando como base la siguiente ecuación.

$$m = \frac{n * \sum (XY) - \sum X * \sum Y}{n * \sum X^2 - (\sum X)^2}$$
$$b = \frac{\sum X^2 * \sum Y - \sum X * \sum (XY)}{n * \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Donde:

X = Lecturas del volmetro o sistema de captura
Y = Desplazamiento del vástago del DCDT y tornillo milimétrico
n = Número de lecturas
m = pendiente
b = ordenada al origen

Con estos datos se calcula m y b de la siguiente ecuación con las que se caracteriza el funcionamiento del DCDT con respecto a los valores de voltaje que se leen de su señal de salida.

$$des = m * V + b$$

Donde:

des = desplazamiento del vástago del DCDT
m = pendiente
V = voltaje del volmetro o sistema de captura
b = ordenada al origen

También se aplicará el análisis de significancia de coeficientes, para determinar si se puede descartar la ordenada al origen y solamente quede la ecuación como:

$$des = m * V$$

Para ello se calculará la varianza como de la siguiente manera:

$$S^2 = \frac{\sum (Y_0 - \bar{Y})^2}{n-2}$$

y la significancia para la ordenada como:

$$S_b^2 = S^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{X^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \right]$$

La hipótesis a considerar es que “b = 0” y la alterna es que “b ≠ 0”. Para ello se calcula el factor para la distribución “t” de students para una $\alpha = 0.025$ y los grados de libertad serán n-2, a sí la región de no rechazo de la hipótesis en la distribución normal queda en el 95%. El factor “t” se calcula de la siguiente manera:

$$T_b = \frac{b}{\sqrt{S_b^2}}$$

y la significancia para la pendiente como:

$$S_m^2 = \frac{S^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

La hipótesis a considerar es que “m = 0” y la alterna es que “m ≠ 0”. Para ello se calcula el factor para la distribución “t” de students para una $\alpha = 0.025$ y los grados de libertad serán n-2, a sí la región de no rechazo de la hipótesis en la distribución normal queda en el 95%. El factor “t” se calcula de la siguiente manera:

$$T_b = \frac{b}{\sqrt{S_b^2}}$$

En ambos casos si el valor del factor t es menor que el valor en la tabla de t_α , para una $\alpha = 0.025$ y $v = n-2$ se considerará que la hipótesis es verdadera y que ya sea “b” o “m” se pueden descartar de la ecuación.

Finalmente se deberá reportar los valores de “m” y “b” finales al igual que la incertidumbre obtenida por el volmetro o el sistema de captura y el error que se obtiene al considerar los valores de “m” y “b” calculados en la ecuación de la línea recta de respuesta del DCDT y tomando como referencia los valores de voltaje leídos durante la calibración. Para ello se utilizara la siguiente ecuación:

$$\text{Error} = 1/n (\sum (\text{des}_c - \text{des}_i)^2)$$

Donde :

Error = Error aleatorio por la utilización de la ecuación de la línea.

N = Número de lecturas tomadas en cuenta para el cálculo del error.

Des_c = Desplazamiento calculado con la ecuación de la línea para un valor de voltaje.

Des_i = Desplazamiento leído para el valor de voltaje utilizado para el cálculo de des_c.

La incertidumbre de la ecuación estará dada por la siguiente ecuación:

$$U_{\text{des}} = \sqrt{m * U_t}$$

Donde:

U_{des} .- Es la incertidumbre del cálculo de desplazamiento.

m .- Es la constante de la pendiente de la ecuación de la línea recta

U_t .- Es igual a la incertidumbre de la tarjeta.

Conclusión:

El procedimiento está como propuesta y por el momento no se ha realizado la validación del mismo. Pero los datos obtenidos de verificaciones puntuales, han demostrado que el procedimiento es útil y servirá para realizar la validación del procedimiento.

7.2.3.2. Procedimiento de verificación de transductores de aceleración (estática).

Aplica a: verificación de transductores de aceleración (acelerómetros).

Descripción del método:

Consiste en capturar por medio de la tarjeta de captura de datos el voltaje de salida del acelerómetro a verificar. El transductor se fija en una placa que es parte de un teodolito. Se debe verificar que la mesa donde se realice la verificación sea estable y fija para que no introduzca errores por su movimiento.

Se conecta el acelerómetro al SCDMV a un canal y acondicionador específico. La primera verificación se realiza a ganancia unitaria del acondicionador y a ganancia 10 que es la ganancia utilizada durante la mayoría de las pruebas.

Dependiendo de los puntos que se desean de calibración; se pueden hacer en cambios de cinco o diez grados por punto de calibración, hasta completar una inclinación de 90

grados. Se relaciona el ángulo de inclinación con la aceleración de la gravedad y se obtiene un equivalente en cm/s^2 de la aceleración correspondiente para cada ángulo de inclinación del teodolito.

Como complemento de la calibración se deben realizar las mismas mediciones para el sentido negativo; donde el acelerómetro tiene una salida negativa y significa que el movimiento se está realizando en el sentido inverso de su orientación positiva.

Evaluación del método:

Una vez obtenidas todas las lecturas necesarias se calcularán la ordenada y la pendiente utilizando el método de los mínimos cuadrados, tomando como base la siguiente ecuación.

$$m = \frac{n \cdot \sum (XY) - \sum X \cdot \sum Y}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$
$$b = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X \cdot \sum (XY)}{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Donde:

- X = Lecturas del sistema de captura
- Y = Aceleración en cm/s^2 correspondientes a la inclinación del teodolito
- n = Número de lecturas
- m = pendiente
- b = ordenada al origen

Con estos datos se calcula m y b de la siguiente ecuación con las que se caracteriza el funcionamiento del acelerómetro con respecto a los valores de voltaje que se leen de su señal de salida.

$$\text{Ace} = m \cdot V + b$$

Donde:

- Ace = aceleración debida a la atracción de la tierra
- m = pendiente
- V = voltaje del volmetro o sistema de captura
- b = ordenada al origen

También se aplicará el análisis de significancia de coeficientes, para determinar si se puede descartar la ordenada al origen y solamente quede la ecuación como:

$$\text{Ace} = m \cdot V$$

Para ello se calculará la varianza como de la siguiente manera:

$$S^2 = \frac{\sum (Y_0 - \bar{Y})^2}{n - 2}$$

y la significancia para la ordenada como:

$$S^2_b = S^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{X^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \right]$$

La hipótesis a considerar es que “b = 0” y la alterna es que “b ≠ 0”. Para ello se calcula el factor para la distribución “t” de students para una $\alpha = 0.025$ y los grados de libertad serán n-2, a sí la región de no rechazo de la hipótesis en la distribución normal queda en el 95%. El factor “t” se calcula de la siguiente manera:

$$T_b = \frac{b}{\sqrt{S^2_b}}$$

y la significancia para la pendiente como:

$$S^2_m = \frac{S^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

La hipótesis a considerar es que “m = 0” y la alterna es que “m ≠ 0”. Para ello se calcula el factor para la distribución “t” de students para una $\alpha = 0.025$ y los grados de libertad serán n-2, a sí la región de no rechazo de la hipótesis en la distribución normal queda en el 95%. El factor “t” se calcula de la siguiente manera:

$$T_b = \frac{b}{\sqrt{S^2_b}}$$

En ambos casos si el valor del factor t es menor que el valor en la tabla de t_{α} , para una $\alpha = 0.025$ y $v = n-2$ se considerará que la hipótesis es verdadera y que ya sea “b” o “m” se pueden descartar de la ecuación.

Finalmente se deberá reportar los valores de “m” y “b” finales al igual que la incertidumbre obtenida por el volmetro o el sistema de captura y el error que se obtiene al considerar los valores de “m” y “b” calculados en la ecuación de la línea recta de respuesta del acelerómetro y tomando como referencia los valores de voltaje leídos durante la calibración. Para ello se utilizara la siguiente ecuación:

$$\text{Error} = 1/n (\sum (Ace_c - Ace)^2)$$

Donde :

Error = Error aleatorio por la utilización de la ecuación de la línea.

N = Número de lecturas tomadas en cuenta para el cálculo del error.

Ace_c = Aceleración calculada con la ecuación de la línea para un valor de voltaje.

Ace_l = Aceleración leída para el valor de voltaje utilizado para el cálculo de Ace_c .

La incertidumbre de la ecuación estará dada por la siguiente ecuación:

$$U_{ace} = \sqrt{m * U_v}$$

Donde:

U_{ace} .- Es la incertidumbre del cálculo de aceleración.

m .- Es la constante de la pendiente de la ecuación de la línea recta

U_v .- Es igual a la incertidumbre de la tarjeta de captura.

Conclusión:

Este procedimiento no se ha llevado a cabo para validar el procedimiento de verificación de estática de los acelerómetros. Pero durante las calibraciones estáticas que se han realizado no se han presentado problemas en la obtención de las constantes y en pruebas de comparación con movimientos dinámicos se han obtenidos buenos resultados. Este método no se puede dar como validado hasta que no se realice de manera formal y se tengan los registros que demuestren que validan los resultados.

7.2.3.3. Procedimiento de verificación de transductores de deformación.

El hecho de que los transductores de deformación que se utilizan no se puedan recuperar, no permite realizar la verificación de las lecturas de estos. Por ello no existe un procedimiento para la verificación de estos transductores y solamente se verifica su funcionamiento antes de cada prueba.

La verificación consiste en que se pueda acondicionar la señal y no se tenga saturada la señal. No es hasta las pruebas donde se puede determinar si los transductores están funcionando correctamente. En algunos casos, donde el modelo lo permite, se realizan pruebas para verificar las constantes de los acelerómetros y su funcionamiento.

Lo que se verifica es que el equipo de acondicionamiento y la tarjeta de captura pueda leer la señal de estos transductores y se determina la constante que se debe aplicar de acuerdo a las características que proporciona el fabricante.

Hasta el momento no se realiza un cálculo de incertidumbre y/o error para estos transductores. Pero se recomienda que la incertidumbre se calcule por medio del ruido

que se tiene presente al acondicionar el transductor y estarse aplicando ningún movimiento o esfuerzo. Esta sería una incertidumbre del tipo B, donde los valores se deben tomar de una historia de tiempo capturada por medio de la tarjeta de captura de datos del SCDMV multiplicada por la constante del transductor de deformación.

Todos estos procesos de validación o confirmación de procedimientos están como propuesta para aplicarse de formalmente en los procedimientos de verificación de transductores. Pero hasta el momento no se podido establecer formalmente la utilización de los procedimientos de verificación y por lo tanto tampoco se ha llevado acabo la validación de los mismos.

Sin embargo, los procedimientos de verificación fueron realizados a partir de la forma de operar del laboratorio; así que no se cree que haya ningún problema en que se puedan utilizar los procedimientos y su posterior validación por parte del personal del LMV del II.

CAPÍTULO 7. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS

El fin de que la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería cuente con un procedimiento para realizar pruebas es el de tener una guía que sirva, al personal del laboratorio, en la planeación, trabajos previos, realización de ensayos y en la entrega de resultados.

Durante la investigación bibliográfica se buscó alguna norma que sirviera como guía en la forma de realizar las pruebas de mesa vibradora. No se encontró ninguna que específicamente determinará la forma de operar estos laboratorios.

Sin embargo, se encontraron normas que especificaban las pruebas dinámicas a las que se deben someter cierto tipo de equipos. En estas normas también se especificaban los requisitos de movimiento que debe tener la mesa vibradora y recomendaciones sobre la forma de reportar los datos.

Al leer estas normas se vio que la mayoría de las pruebas que se realizan en las mesas vibradoras son para determinar el cumplimiento de los equipos a ciertos parámetros especificados de fabricación. Cada una propone los movimientos y mediciones que se deben realizar para evaluar la conformidad del equipo que se este probando. Además de los datos que se deben calcular y los datos que se deben reportar en el informe técnico.

Con las especificaciones y datos contenidos en estas normas y las solicitudes de clientes para la realización de pruebas de certificación de equipos eléctricos se confirmó la necesidad de contar con un proceso que permitiera realizar diferentes tipos de pruebas y cumplir con las diferentes especificaciones que marcan las diferentes normas para probar equipos en la mesa vibradora.

Además de ello se cuenta con las especificaciones que determinan los proyectos de investigación. Donde la característica de la investigación hace que se propongan los pasos a seguir en las pruebas de la mesa vibradora. Principalmente las pruebas de investigación es donde surgen la mayor parte de los cambios y sugerencias al proceso de ensaye.

Para contar con un proceso de prueba que permita realizar tanto la certificación de productos a la industria como pruebas de investigación, se decidió plantear un procedimiento para la realización pruebas dinámicas de cualquier tipo en la mesa vibradora. El cual permita tomar en cuenta las normas para las pruebas de equipos, las especificaciones de ensayos determinados por los investigadores que utilizan la mesa vibradora y la realización de pruebas que no están especificadas por ninguna norma y que no son de investigación sino de validación o confirmación de características de materiales y/o equipos.

A continuación se describe en que consiste el procedimiento propuesto para la realización de pruebas en la mesa vibradora y en el cual se recopila la experiencia obtenida en la realización de pruebas de investigación y pruebas de equipos eléctricos bajo especificaciones de normas internacionales.

8.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS EN LA MESA VIBRADORA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

El procedimiento propuesto tiene como objetivo el servir de guía al personal de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM en la realización de ensayos. También servir de referencia de los puntos básicos que se deben cuidar al realizar un ensaye.

El alcance del procedimiento es cubrir todo tipo de ensayos que se realicen en la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería.

Los responsables de su aplicación son el encargado y responsable del laboratorio. Donde el encargado es la persona designada por el Director del Instituto de Ingeniería y/o Coordinador de Estructuras y Materiales para hacerse cargo del LMV-II-UNAM. Mientras que el responsable del laboratorio se encarga de coordinar los aspectos administrativos y de operación del LMV-II-UNAM y tiene bajo su cargo al encargado del mismo.

El procedimiento se divide en siete procesos secuenciales. Donde cada proceso cuenta con su propio procedimiento de realización. Sin embargo, se pueden presentar situaciones donde uno de ellos no aplique debido a la característica de la prueba. Cuando esto suceda se deberá documentar el motivo de que no aplique.

Los procesos para la realización de pruebas en la mesa vibradora son los siguientes:

1. Cotización
2. Diseño de la prueba
3. Verificación del equipo a utilizar en la prueba
4. Puesta a punto de la Mesa Vibradora
5. Realización de la prueba
6. Entrega de resultados
7. Fallo técnico

Los procedimientos que se aplican en cada caso se describen a continuación.

8.1.1 Cotización.

En la mayoría de los ensayos realizados en la mesa vibradora se realiza una cotización basándose en el tiempo de utilización de la Mesa Vibradora y en los recursos necesarios para su consecución del ensaye completo. En estos se incluye el tiempo de de puesta a punto, preparación de la instrumentación y del sistema de captura de datos.

Los costos adicionales de la realización del ensaye se cotizan dependiendo del tipo de ensaye que se vaya a realizar. Por que en la mesa se tienen identificados dos tipos de clientes. Como cliente principal y que cuenta con preferencias son los investigadores del Instituto de Ingeniería, el otro cliente son empresas o el sector público que desea realizar alguna prueba para la certificación o comprobación de características dinámicas de algún equipo.

El objetivo de contar con un proceso documentado de cotización para los dos casos de pruebas que se presentan en la Mesa Vibradora, es para que el responsable y encargado del laboratorio tenga un documento de referencia de cómo se debe realizar la cotización en cada uno de los casos, que información y documentos deberá almacenar.

8.1.1.1 Cotización a investigadores del Instituto de Ingeniería.

Cuando la solicitud de ensayo proviene de un investigador se le pide una estimación de tiempo de utilización de la Mesa Vibradora en forma de cronograma. Cuando el investigador proporciona sus tiempos de utilización, el responsable y encargado del laboratorio calculan el costo del ensayo en función del tiempo efectivo de uso de la Mesa Vibradora para la puesta a punto y la realización del ensayo.

En el costo que se calcula no se incluyen tiempos del personal del laboratorio; ya que esto lo debe cotizar o prever el investigador cuando realiza su propuesta económica de su investigación. Por lo que el encargado de la Mesa Vibradora le puede ayudar al investigador, siempre y cuando lo solicite, a realizar su propuesta económica en lo referentes a los costos del ensayo de la mesa vibradora.

Lo último no siempre sucede debido a tiempos de entrega que tienen los investigadores y por ello la coordinación de Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería cuenta con un documento que indica como se debe calcular los costos de la Mesa Vibradora y a distribuido electrónicamente a los investigadores que conforman la coordinación. Cuando un investigador de otra área desea conocer esta forma de cálculo se le proporciona la asesoría necesaria para la realización del cálculo.

La petición de cotización formal por parte de un investigador por lo regular se realiza cuando el tiene aprobado ya su proyecto de investigación y cuenta con los recursos para llevar acabo las pruebas. En este momento el investigador le solicita al responsable de la Mesa Vibradora que le indique el monto de la transferencia de recursos que deberá hacer a los fondos de mantenimiento de la Mesa Vibradora, o en caso de que se haya acordado que el pago fuera en especie, le solicita que realice la orden de compra del equipo o material para equipamiento o mantenimiento de la Mesa Vibradora.

Todo este proceso se realiza por medio de correos electrónicos o llamadas telefónicas. Por parte de la mesa, solamente se archivan los datos correspondientes a la petición, entrega de la cotización y aceptación de la cotización que se hayan generado.

En resumen la cotización cuando se trata de una prueba solicitada por un investigador, solamente se tomara en cuenta el tiempo efectivo de la prueba y se le indicará el costo de la utilización de la Mesa Vibradora y no se abrirá un proyecto interno por la realización de la prueba.

8.1.1.2 Cotización a clientes externos.

Cuando el ensaye es pedido directamente de un cliente externo (patrocinador¹) público o privado a la mesa vibradora se realiza una cotización utilizando los criterios de apertura de proyectos del Instituto de Ingeniería y además se agregan los costos de operación de la Mesa Vibradora que se han establecido por la coordinación de Estructuras y Materiales en conjunto con el responsable del laboratorio.

El hecho de abrir un proyecto y tener contacto directo con el patrocinador, le permite al responsable de la Mesa Vibradora cotizar lo referente al tiempo de personal, insumos necesarios, trabajos de instrumentación y otros rubros de la preparación, realización y entrega de resultados que no se hacen en cuando se trata de una prueba programada por un investigador. Todos estos rubros se especifican en la propuesta económica que el responsable de la Mesa Vibradora le hace llegar al patrocinador.

Para realizar una cotización a un cliente externo, se siguen los siguientes pasos:

- a. Estudio de factibilidad de la prueba: Cuando el patrocinador entra en contacto con el responsable o encargado de la Mesa Vibradora para solicitar una cotización de la prueba que desea realizar. Tanto el responsable como el encargado deben preguntarle al patrocinador las características de las pruebas que desea realizar para determinar la factibilidad de la prueba.
- b. Reuniones o platicas con el patrocinador: Una vez estudiadas las características de la(s) prueba(s) solicitada(s) el encargado y/o responsable de la Mesa Vibradora se pondrá en contacto con el patrocinador para darle a conocer la factibilidad de realizar las pruebas propuestas y si es el caso proponerle la forma de realizarla tomando en cuenta las características de la Mesa Vibradora. En las reuniones o pláticas con el patrocinador se llegará a un acuerdo de si se pueden realizar o no las pruebas que se proponen.

Durante estas pláticas el responsable o encargado de la Mesa Vibradora pueden dar un estimado de cuanto podría ser el monto de la prueba. Sin llegar a establecer el monto total. El cual será establecido hasta que se presente una petición formal de cotización.

- c. Obtener solicitud formal de cotización por parte del patrocinador: Cuando se llega a un acuerdo de que se puede realizar la prueba propuesta por el patrocinador, el responsable de la Mesa Vibradora deberá solicitar una propuesta formal de cotización de la prueba; donde se especifiquen las características de la prueba que ya se han discutido.
- d. Una vez que el patrocinador ha enviado la petición de formal, el responsable y/o encargado de la Mesa Vibradora realizarán la cotización de la prueba en base a la propuesta ya discutida con el patrocinador. Donde además de los costos de operación de la Mesa Vibradora, se deberán incluir la compra de

¹ Patrocinador: En el Instituto de Ingeniería se realizan aperturas de proyectos, donde se especifican las actividades que realizará el Instituto de Ingeniería en la solución de un problema o solicitud de servicio a un cliente externo o de algún proyecto de investigación básica con recursos de fondos de investigación privado, público o del mismo Instituto. En la apertura de proyecto se denomina patrocinador al cliente externo que provee los recursos monetarios y materiales para la realización de las pruebas y/o investigación para la solución de los problemas.

materiales, tiempo de personal que participará y los porcentajes correspondientes a la UNAM y el Instituto de Ingeniería por la firma de proyectos con patrocinadores.

- e. El encargado de la Mesa Vibradora le hace llegar al coordinador, subdirector del área de Mesa Vibradora la propuesta económica para realizar el ensaye. Tanto el subdirector y el coordinador deben estar de acuerdo y el subdirector le hará llegar la propuesta económica al director para su visto bueno. Cuando el director le da el visto bueno a la propuesta económica, se le envía al patrocinador con la petición de que conteste por escrito que esta de acuerdo en los términos de la propuesta.
- f. El proceso de cotización termina cuando el patrocinador contesta de aceptado. En caso de no aceptar la cotización, se intentará negociar con el patrocinador, hasta donde sea posible para el Instituto de Ingeniería. Por lo que el proceso deberá regresar al paso 4 siempre y cuando la dirección del Instituto considere necesario. Si se da el caso de que no es aceptada la cotización por parte del patrocinador se deberá documentar el motivo de la negativa junto con las propuestas que se realizaron.

Cuando se ha concluido con éxito el proceso de cotización, se continua con el procedimiento de realización de pruebas y se pasa el procedimiento dos.

8.1.2 Diseño del protocolo de prueba.

Una vez aceptada la cotización por el cliente (sea un investigador o patrocinador), el encargado de la Mesa Vibradora, con supervisión del responsable de la mesa y en conjunto con el cliente diseñaran un protocolo de prueba. Donde se retomarán las características de las pruebas propuestas por el cliente.

El protocolo de prueba tiene el fin de contar con el proceso documentado de cómo se realizará la prueba en la mesa vibradora. Aunque parte del protocolo ya se ha plasmado en la propuesta económica, se deberá complementar con especificaciones de operación, objetivos, alcances y los pasos a seguir hasta terminar con la prueba.

Al realizar el diseño de la prueba y el protocolo se podrán realizar ajustes que no se contemplaron durante el estudio de factibilidad y las reuniones con el cliente, en el caso de pruebas patrocinadas. Se deberá tener cuidado que estos ajustes no se salgan del presupuesto propuesto en la cotización. En caso de que los ajustes, propuestos por el cliente, hagan necesario realizar un ajuste en la cotización se le deberá comunicar al cliente por escrito de estos ajustes y esperar su aprobación también por escrito.

Una vez terminado el diseño de la prueba se determinaran las fechas para su realización. Estas fechas incluyen los tiempos estimados desde la cotización para la preparación de la mesa hasta la entrega de resultados. Aquí el encargado de la Mesa Vibradora deberá tener cuidado de no empalmar los tiempos de dos pruebas.

Cuando ya se han acordado el protocolo de prueba y las fechas de realización, tanto el cliente como el encargado y/o responsable de la Mesa Vibradora deberán firmar el

protocolo generado. Se deberá proporcionar una copia de este documento al cliente para que lo tenga de referencia y lo pueda consultar durante las pruebas.

Es factible realizar cambios del protocolo de pruebas, cuando los resultados obtenidos durante las pruebas a si lo sugieran. Estos cambios al protocolo se deberán documentar y tanto el encargado de la mesa como el cliente deberán de estar de acuerdo en los cambios.

8.1.3 Verificación del equipo a utilizar en la prueba

Aunque el laboratorio lleva un control del equipo de medición y transductores que utiliza de forma programada. Es recomendable que el encargado de la Mesa Vibradora junto con el personal de apoyo realice una verificación del equipo a utilizar. Esta verificación empieza con la determinación del equipo a utilizar para la prueba y sus características.

Al tener especificado el equipo a utilizar, el encargado deberá verificar que el equipo este en condición de uso. La verificación va desde verificar en los registros del equipo que no tenga problemas de funcionamiento hasta una inspección visual o de funcionamiento según lo considere conveniente el encargado.

Una vez que se tiene localizado y verificado el equipo se procederá a su acondicionamiento para fijarlo sobre el modelo o en los aditamentos que se hayan considerado necesarios para llevar acabo la medición. Esta tarea estará bajo la responsabilidad del encargado del laboratorio cuando se trate de un proyecto patrocinado. En los caso de proyectos de investigación será responsabilidad del investigador y de su equipo de apoyo la colocación de la instrumentación sobre su modelo. El encargado de la mesa o el personal encargado de los transductores o instrumentos deberán verificar y asesorar en caso necesario al investigador para el buen uso del equipo.

Cuando se trata de pruebas de investigación es común que el investigador proponga la utilización de transductores y equipos que no están bajo el control del laboratorio. En estos casos es responsabilidad del encargado de la Mesa Vibradora verificar que el equipo propuesto por el investigador se pueda utilizar con el equipo del laboratorio. Si el equipo no puede ser utilizado en conjunto con el equipo del laboratorio se le deberá informar al investigador antes de empezar las pruebas para que tome las medidas pertinentes para el registro de los datos que quiere obtener con estos equipos.

También se pueden presentar casos donde, tanto pruebas de investigación como patrocinadas necesiten de transductores prestados por otros laboratorios del Instituto de Ingeniería o de otros laboratorios de investigación. Aquí el encargado de la Mesa Vibradora deberá valorar nuevamente la utilización de estos transductores con los equipos del laboratorio. En caso de ser factible su utilización se deberá verificar su funcionamiento y realizar las adecuaciones necesarias para conectarlo a los equipos de medición del laboratorio. Así como una verificación de la constante de calibración del transductor con el equipo de medición del laboratorio.

A la par de las tareas de verificación del equipo de medición se deberá avanzar con el paso cuatro del procedimiento de realización de ensayos. Aunque el paso cuatro se

podría considerar dentro del paso tres, por sus características se decidió que fuera un proceso por separado y que el encargado de la Mesa Vibradora determinara el tiempo y forma para realizarlo.

8.1.4 Puesta a punto de la Mesa Vibradora.

La puesta a punto de la Mesa Vibradora tiene como fin el de verificar que sus parámetros de funcionamiento son los correctos para la prueba que se vaya a realizar. Para ello el encargado de la mesa o el operador de la Mesa Vibradora deberán realizar una puesta a punto como se menciona en el punto 5.1.4 de este trabajo. En caso de que la Mesa Vibradora se encuentre en malas condiciones de operación se deberá realizar una puesta a punto general, la cual incluye a las servo válvulas y demás componentes sistema de control de la Mesa Vibradora.

En la puesta a punto se deberá considerar el modelo o equipo que se vaya a probar. En los casos que el modelo modifica la forma de moverse de la mesa por la interacción de los movimientos de ambos. Se deberá informar al investigador o patrocinador de la posibilidad de que exista la interacción y afecte en los resultados de las pruebas. Para ello el encargado de la Mesa Vibradora le explicara que se debe realizar una puesta a punto de la mesa con el modelo sobre ella y de que características son los movimientos que se aplicarán.

Aquí es prerrogativa del investigador o cliente decidir la realización de la puesta a punto con su modelo. Ya que es el único facultado para decidir si su modelo puede ser afectado o no por los movimientos de la puesta a punto.

Los casos en que se deba realizar una puesta a punto con el modelo sobre la mesa se deberán prever desde la realización del diseño del ensayo y/o prueba. Así el cliente podrá dar su autorización con anterioridad a la puesta a punto. En el caso que no se haya previsto durante el diseño, el encargado podrá sugerir la conveniencia de realizarlo al cliente antes y durante las pruebas.

Cuando el modelo no permita verificar la puesta a punto de la Mesa Vibradora, el encargado informará al cliente de que se pueden presentar diferencias entre la señal de salida con respecto a la señal de entrada y que estas diferencias son producto de la interacción del modelo con la Mesa Vibradora. Con el fin de conocer estas diferencias, es práctica del laboratorio generar un registro electrónico con la señal de entrada y la señal de salida generadas por la mesa durante su movimiento.

El operador de la Mesa Vibradora tendrá que guardar evidencia de la puesta a punto. La cual por lo regular es una imagen donde se presenta la función de transferencia de la señal de entrada contra la señal de salida. En esta imagen se debe poder determinar la máxima desviación de la puesta a punto.

También se podrá optar por contar con un registro de la señal de entrada y salida durante un movimiento de la Mesa Vibradora después de realizado la puesta a punto. Con este registro el operador puede generar los análisis necesarios para determinar a posteriori las características finales de la puesta a punto.

Si la puesta a punto se realiza con el modelo sobre ella, el operador de la Mesa Vibradora determinará hasta donde es posible realizar la puesta a punto. Esto debido a que la interacción del modelo con la mesa hacen muy complicado obtener que la desviación máxima este entre el $\pm 10\%$ en todo el intervalo de frecuencias de reproducción de la Mesa Vibradora.

Por ejemplo, cuando el modelo pesa más de cinco toneladas y se distribuye uniformemente sobre la superficie de la Mesa Vibradora se presentará una atenuación de parte de las altas frecuencias, por lo regular entre los 14 y 30 Hz. Aquí el operador deberá variar los parámetros de control para que el sistema de control mejore la respuesta de la mesa a altas frecuencias hasta donde le sea posible.

En el caso de que la puesta a punto de la Mesa Vibradora no se pueda obtener las desviaciones especificadas como tolerables en un rango de frecuencias. El operador de la Mesa Vibradora le deberá comunicar al encargado de la Mesa Vibradora, para que este determine con el cliente si existe alguna afectación en los resultados esperados y se puedan tomar las medidas necesarias para mejorar la realización de la prueba.

El encargado de la Mesa Vibradora determinará cuando se puede dar como bueno y por terminado el proceso de la puesta a punto. Si la característica del ensaye lo requiere, el encargado deberá pedirle su opinión al cliente sobre la puesta a punto y con ello determinar si es necesario seguir realizando ajustes a los parámetros de operación de la mesa hasta llegar a una puesta a punto en el intervalo de interés del cliente.

8.1.5 Realización de las pruebas

Al tener listos los equipos de medición y se ha terminado la puesta a punto de la mesa, sigue el proceso de realización de las pruebas. Aquí el encargado y/o responsable de la Mesa Vibradora deberán establecer el plan de trabajo. Para ello deberá seleccionar y solicitar el apoyo del personal que se requiera para llevar acabo la prueba. Aunque en la estructura de la Mesa Vibradora se toma en cuenta la existencia de personal administrativo de apoyo; esté no esta de tiempo completo en la Mesa Vibradora y forma parte de otras áreas del Instituto. Por lo que es importante que tanto el responsable como encargado conformen su equipo de trabajo y le avisen de la necesidad de su apoyo.

En la actualidad el encargado de la Mesa Vibradora es también el operador del equipo de control de la mesa. Así que el encargado ya tiene establecida esta función y además se debe hacer cargo de coordinar la tareas del equipo de apoyo antes y durante las pruebas.

Por eso es tarea primordial del encargado de la Mesa Vibradora el conseguir el apoyo del personal administrativo y/o académico que necesite. También se podrá incluir la participación de becarios, prestadores de servicio social y tesisistas en la conformación del equipo de apoyo.

Cuando el encargado tenga el planificado la realización del ensayo, deberá reunir a su equipo de apoyo para explicarles el plan de pruebas y las tareas que le corresponde a cada quien. En el plan se establecerá las necesidades de capacitación de aquel

personal de apoyo que no tenga experiencia en la del equipo a operar. Pero siempre se buscará que las personas con poco o sin experiencia en la operación del equipo de la Mesa Vibradora se encarguen de las tareas que no afecten la calidad de los resultados del ensaye.

En lo que se refiere a la operación del equipo de captura se deberá revisar su correcta operación antes de iniciar la prueba. Esto debe ser contemplado por el encargado de la mesa, en el caso de que el sea el único con experiencia en la operación del equipo de captura deberá realizar la verificación del funcionamiento del equipo antes de iniciar la prueba y explicar el funcionamiento del programa de captura y las anotaciones que se deberán realizar a la persona que se encargara de vigilarlo durante las pruebas.

Las demás tareas de apoyo se refieren a la operación de equipo de video y fotografía. Donde se le pide al personal de apoyo que tome evidencia de la realización de las pruebas y sus resultados. Cuando se trata de un proyecto de investigación, esto lo realiza el equipo del investigador y el encargado solamente se encarga de proporcionarles el equipo con que cuenta la mesa si le es requerido.

Si las pruebas son de patrocinio, es tarea del equipo de apoyo del encargado el realizar la toma de video y fotografías. Así que el encargado de la mesa deberá decirles lo que necesita que filmen y saquen fotografías para tener evidencias gráficas de la prueba realizada. Como estas tareas no influyen en la calidad de los resultados del ensaye se podrán encomendar al personal con poca experiencia.

La mayoría de las pruebas realizadas en la mesa no requieren de la presencia del responsable. Por lo que solamente será convocado cuando las necesidades de la prueba así lo requieran y su función será de supervisión de las pruebas. En los casos que los proyectos sean patrocinados el responsable de la Mesa Vibradora fungirá como anfitrión de los patrocinadores.

Sin embargo, aunque el responsable de la Mesa Vibradora esté presente, es función del encargado de la Mesa Vibradora el coordinar las actividades durante la realización de las pruebas. El responsable, además de la supervisión podrá realizar algunas tareas de apoyo y tomar decisiones en referente al cambio en el protocolo de prueba.

La magnitud e importancia de las pruebas realizadas en la Mesa Vibradora hacen que la presencia del cliente sea conveniente. Pero es decisión del cliente la realización de las pruebas sin su presencia o la de un representante. Además de la presencia del cliente se puede contar con la presencia de un observador invitado por el cliente. Lo cual es común en las pruebas de certificación de equipo realizado.

Cualquiera que sea el caso, el encargado de la Mesa Vibradora es el responsable de la realización de las pruebas y solamente informara al responsable, cliente y observadores sobre los resultados y cambios al plan de pruebas que no afecten al protocolo de prueba. Cuando los cambios al plan de pruebas hagan necesario cambios al protocolo de prueba será necesario llegar a un acuerdo con el cliente para su realización. En este punto es importante el apoyo del responsable de la mesa para que se realice el acuerdo con el cliente.

Si los cambios al protocolo de pruebas provienen del cliente y son aceptados por el encargado y/o responsable. El encargado de la Mesa Vibradora deberá hacer los cambios necesarios al protocolo y plan de pruebas e informar al equipo de apoyo de los cambios y como se afectan las tareas que deben realizar para que estén enterados.

El encargado de la mesa vibradora estará pendiente a cualquier anomalía que se pueda presentar en el funcionamiento del equipo de control y captura de la Mesa Vibradora. Además le debe pedir a su equipo de apoyo que le haga saber cualquier problema o circunstancia que detecten.

La seguridad de las personas asistentes a las pruebas de la Mesa Vibradora, son responsabilidad del encargado. Así que tendrá que informar a los presentes de las medidas de seguridad previstas en la realización de la prueba. Por ningún motivo, el encargado deberá permitir situaciones que pongan en riesgo la integridad del personal y personas visitantes.

Al estar preparados para iniciar la prueba el encargado, avisara a los visitantes y equipo de apoyo que se iniciaran las pruebas. El encargado deberá verificar que todos integrantes de su equipo están listos para dar inicio a la prueba.

Cuando la mesa vibradora esta en movimiento el encargado y/o operador de la mesa deberán estar pendientes de que la mesa reproduzca la señal programada. Esto importante; debido a los múltiples cambios que se pueden realizar en las formas de movimiento y donde el operador del sistema de control se puede equivocar y reproducir una señal fuera de la secuencia de prueba.

No es común, pero puede llegar a ser necesario que se realice una puesta a punto de la mesa a la mitad de las pruebas programadas. Aquí el encargado y/o responsable deben otra vez valorar la conveniencia de realizarla y su negociación con el cliente en caso de que se comprometa la integridad del espécimen.

Al realizar pruebas donde se deben generar archivos con las señales de entrada y salida. El operador del sistema de control deberá llevar dos registros. El primero, y que siempre se utiliza, es el registro donde se capturan los tiempos de operación de la mesa vibradora, parámetros de las servo-válvulas, los movimientos aplicados y las observaciones del funcionamiento o problemas que se puedan presentar durante la operación de la mesa.

En un segundo formato se capturaran los datos referentes a los nombres de archivos que se generen para guardar las señales de entrada y salida de las pruebas. También tendrá las características del movimiento aplicado. Este documento se genera para tener una relación de la prueba realizada y archivo en que se almacenaron los datos. También el escribir observaciones sobre las incidencias de las pruebas que sirvan de referencia en el análisis de datos.

Cuando se termina el movimiento de la mesa vibradora el encargado avisara a todo su equipo de la terminación del movimiento para que procedan a su siguiente tarea, según el plan de la prueba.

Antes de que se inicie el movimiento, el operador de la mesa deberá avisar a la persona encargada del SCDMV que puede iniciar la captura de las señales de los transductores colocados sobre el modelo y la mesa. Esto se debe hacer para que el programa de captura de datos tenga el tiempo suficiente para iniciar la captura de los datos antes de que la mesa empiece su movimiento. Así poder garantizar que se tendrán las señales completas de las pruebas.

Durante la prueba el encargado del SCDMV deberá verificar el funcionamiento del equipo de captura como de los transductores. Por la cantidad y características de las señales que se capturan, el encargado del sistema de captura puede no ver algún problema y que se presente durante el movimiento de la mesa.

Si la persona responsable del SCDMV detecta algún problema, le deberá avisar inmediatamente al operador de la mesa para que detenga el inicio de movimiento de la mesa y se pueda corregir el problema. Aquí tanto el encargado y el responsable de la SCDMV deberán identificar y solucionar la causa del problema lo más rápido posible para continuar con las pruebas.

En caso de que se presente un problema en el SCDMV que no tenga solución rápida y que involucre la pérdida de una o más señales programadas a capturar. El encargado y/o responsable deberán valorar la conveniencia de suspender la prueba hasta solucionar el problema o si es factible continuar la prueba sin la captura de estas señales. En cualquiera de los dos casos, tanto el responsable y el encargado de la mesa deberán informar al cliente y obtener su consentimiento para suspender la prueba y reprogramarla o en su caso el continuar con la prueba sin la captura de las señales en que se tiene problemas.

La persona responsable del SCDMV deberá llenar un registro donde capture los nombres de los archivos de datos que se están generando y las observaciones pertinentes a cada uno de estos. También deberá verificar que la asignación de canales programado corresponda a la conexión física de los transductores. Esta verificación la deberá realizar previo al inicio de la prueba y corroborar que el registro que tenga corresponda a la última configuración programada y tenga todos los datos pertinentes.

De encontrar alguna anomalía deberá realizar las modificaciones necesarias y anotar el cambio en el registro de canales que realiza el programa de captura e imprimir el registro de canales para tenerlo disponible y sea más fácil la verificación de la información.

Otro factor de modificación del registro y asignación de canales se puede deber al cambio de transductores o cambio de posición de los mismos. Lo cual deberá ser registrado, tanto en el registro de canales como en las observaciones del registro de archivos generados.

Es vital que el encargado del SCDMV haga eficientemente estas tareas para asegurar resultados válidos de las pruebas. Se debe tomar en cuenta que en las pruebas se pueden capturar hasta 96 canales diferentes y al momento de realizar el análisis es importante tener identificado cada uno de los canales con el transductor utilizado y poder realizar una trazabilidad de los datos obtenidos. Así, si se cometió un error de

captura será más sencillo corregir el error y determinar los valores correctos de las señales.

Esto también es útil para el cliente, cuando se trata de una prueba de investigación, ya que es él quien va a realizar el análisis de la información y tiene que saber que datos está analizando. Por ello, el encargado de la mesa deberá hacerle ver a la persona encargada del sistema la importancia de verificar el SCDMV y registrar todo cambio o anomalía que detecte.

Las tareas de verificación y de inicio se deben plasmar en el plan de prueba. Pero también el encargado de la mesa debe hacer énfasis a su equipo de apoyo en los puntos que se debe poner especial atención para asegurar que la prueba sea un éxito.

Durante las pruebas de investigación o de certificación de equipo es común el realizar cálculos con los datos capturados que indican el valor de entrada para la siguiente prueba o permitan decidir sobre la aplicación de un ensayo o no. En estos casos la persona designada en plan de pruebas deberá realizar los cálculos y generar un registro escrito o electrónico de los resultados.

Al terminar con los cálculos se continuará con las pruebas según el plan de pruebas y con base a lo propuesto en el protocolo de prueba. Si se presentan desviaciones en la obtención de resultados se pueden repetir ciertas pruebas como parte de verificación de que los datos capturados hayan sido los capturados. De seguir las inconsistencias y no haberse determinado en el protocolo de pruebas esta circunstancia, se deberá considerar las opciones que marque el cliente y que estén dentro de las posibilidades de la mesa y de los alcances de la prueba.

Estos son los principales puntos a cuidar durante la ejecución de una prueba. Como se podrá ver la responsabilidad de la realización recae sobre el encargado de la mesa. Por lo que esta persona deberá tener una buena capacitación y experiencia en la realización de pruebas de laboratorio.

8.1.6 Entrega de resultados

Al finalizar las pruebas, por lo regular no se entregan resultados. Sin embargo, y si es petición del cliente, se pueden entregar los resultados parciales obtenidos durante la prueba. Así que dependerá del tiempo y factibilidad de que el encargado pueda entregar los resultados.

En los casos de proyecto de investigación y por ser lo más común se le entrega al investigador una copia de los datos capturados. La entrega es en forma electrónica y se puede realizar desde entregar un disco compacto hasta realizar el traspaso de la información por medio de la red del Instituto. El método se determinará por la conveniencia de ambas partes. Cuando lo requiera el investigador también se le pueden proporcionar copia de los registros generados durante la prueba y que le puedan servir como referencia en sus análisis.

Si la prueba fue de un proyecto patrocinado, se tendrá el tiempo estipulado en la propuesta económica para entregar el informe de resultados de la prueba. En este tipo de pruebas le corresponde al encargado y responsable de la mesa realizar el informe

correspondiente a la prueba. Así que corresponde al personal asignado en la planeación del ensayo el análisis de la información y su presentación en un informe².

La entrega del informe de resultados no la realiza directamente el responsable o encargado de la mesa. Esto es tarea del departamento administrativo del Instituto de Ingeniería encargado de la firma y seguimiento de convenios³. Con el original y material audiovisual de las pruebas el departamento administrativo se los hace llegar al cliente junto con la factura del costo de la prueba.

Si el cliente tiene alguna observación sobre los resultados obtenidos es responsabilidad del encargado de la Mesa Vibradora darle seguimiento a las observaciones del cliente. También será tarea obtener la opinión del cliente del servicio prestado con el fin de la mejora en los procesos de realización de pruebas.

8.1.7 Fallo técnico

Solamente se dará un fallo técnico cuando se halla establecido como alcance en el protocolo de pruebas y en la propuesta económica. El fallo técnico se dará con los alcances de competencia que tiene el Instituto, ya que el laboratorio no está acreditado para dar un fallo técnico con respecto a alguna norma.

Por eso cuando se estable la negociación con los patrocinadores se les establece el alcance que tiene la prueba realizada en la Mesa Vibradora y la cual debe ser aceptada por el cliente. Es por eso, que es común que en las pruebas que pretenden certificar un equipo se encuentre un observador invitado por el cliente y quien será el que les valide la prueba realizada en la Mesa Vibradora como parte de la certificación de su equipo por su cliente.

El fallo técnico en dado caso de proceder se presentará dentro del informe y no se generará un documento adicional.

Los siete procesos anteriores son los comúnmente utilizados para la realización de una prueba en la Mesa Vibradora. Aunque alguno de ellos no intervienen en la calidad de los resultados de las pruebas, son importantes para mejorar la atención del cliente desde que se pone en contacto con el laboratorio. Por eso se incluyó el proceso de cotización en sus dos variantes.

² Informe: Es regla en el Instituto de Ingeniería que los resultados obtenidos en un proyecto patrocinado se presenten en forma de informe y con ciertas características. Por lo que pegado a esta regla del Instituto la Mesa Vibradora deberá entregarle al cliente un informe con el cual se dará por terminado el proyecto.

³ Convenio. Cuando un patrocinador acepta una cotización y se hace la apertura del proyecto por parte del responsable de la Mesa Vibradora. El área administrativa del Instituto de Ingeniería elabora un convenio en base a la propuesta económica y agregándole las cláusulas legales correspondientes. En este proceso el responsable de la Mesa Vibradora interviene solamente para aclarar los alcances del proyecto y hacer alguna negociación adicional con el cliente.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Al plantear el tema de tesis se consideró como un problema no poder contar con un certificado de calibración de la Mesa Vibradora, lo cual debería pegar fuertemente a la credibilidad en los resultados obtenidos. Sin embargo, al revisar las normatividades nacionales e internacionales para pruebas dinámicas de equipo eléctrico se vio que las mismas normas no especifican que la mesa vibradora deba estar calibrada, pero si debe estar dentro de cierta tolerancia en la reproducción de las señales.

Comparando con otros laboratorios del mismo tipo encontramos que tampoco pueden realizar una calibración de su mesa. Al igual solamente realizan una puesta a punto que este dentro de cierta tolerancia.

También durante la realización del trabajo se cambió el concepto de calibración por verificación, en el caso del sistema de captura y de puesta a punto en relación al sistema de control. Se vio que en la realización de ensayos los sistemas operan independientemente pero que la obtención de resultados involucra que se operen correctamente ambos sistemas.

Con el fin de clarificar cuales son las principales mediciones que están involucradas en la validación de los procedimientos del sistema de control y de captura de datos de la mesa vibradora, se muestra la siguiente tabla. Donde además de mostrar las mediciones se plasman las magnitudes que se están midiendo, el intervalo y resolución que se requiere para cada caso donde esta especificado en manual o por las características del equipo. En el caso de los transductores no se puede especificar un solo intervalo y/o resolución; ya que depende de las características propias de transductor y al acondicionamiento que se realice a su señal analógica.

En los párrafos siguientes se presentan las conclusiones por separado de cada tema tratado en el trabajo de tesis. Se empieza con la validación del procedimiento de puesta a punto, continuando con la calibración y procedimientos de prueba.

Tabla de procesos de medición de la mesa vibradora

Proceso	Magnitud	Intervalo	Resolución	Equipo de medición	Referencia	Tipo de medición	Actividad
Tercer estacio de servo válvulas	Voltaje	+/- 12.5 V	0.001 V	Sistema de control MV	Valor de manual entre 8.9 y 10 V	Directa	Verificación
Balaceo de servo válvulas	Voltaje	+/- 12.5 V	0.001 V	Sistema de control MV	Entre +/- 0.05 V	Directa	Verificación
Balaceo de fuerzas	Toneladas Fuerza	+/- 20 t	0.01 t	Sistema de control MV	Entre +/- 3 t	Directa	Verificación
Puesta a punto de las servo-válvulas	Angulo de fase	+/- 200 °	1	Sistema de control MV	Se toma el valor de la primera +/- 1 °	Indirecta 1	Verificación
Acelerómetros	galles o cm/s ²	+/- 8 g	1 gal	Sistema de control MV	Procedimiento de puesta a punto	Directa	Verificación
LVDT	cm	+/- 20 cm	0.01 cm	Sistema de control MV	Procedimiento de puesta a punto	Directa	Verificación
Puesta a punto de mesa vibradora	Adimensional		10	Sistema de control MV	Entre +/- 10 %	Indirecta 2	Verificación
Tarjeta de captura de datos	Voltaje	+/- 10 V	1 uV	Multímetro	Ruido de 2 bit como máximo	Directa	Ve-Cal
Acondicionadores	Voltaje	+/- 10 V	1 mV	Tarjeta de captura	Ganancia aplicada +/- 1%	Indirecta 3	Verificación
Transductores de desplazamiento	mm	*	**	Tarjeta de captura	***	Directa	Ve-Cal
Transductores de aceleración	galles o cm/s ²	*	**	Tarjeta de captura	***	Directa	Ve-Cal
Transductores de deformación	micro-deformaciones	*	**	Tarjeta de captura	***	Indirecta 4	Verificación

Indirecta 1.- Se calcula la función de transferencia entre señal de entrada y salida a la servo válvula, para obtener el ángulo de fase entre ellas.
 Indirecta 2.- Se calcula la función de transferencia entre la señal de referencia y retroalimentación del sistema de control de la Mesa Vibradora
 Indirecta 3.- Se calcula la ganancia que aplica el acondicionador a una señal de magnitud conocida y se compara con el valor programado
 Indirecta 4.- Se verifica que el cálculo de la constante sea correcta utilizando un equipo de lectura de deformación patrón
 * El intervalo dependerá del transductor y ganancia aplicada por el acondicionador
 ** La resolución dependerá del transductor, la resolución de la tarjeta y la amplificación que se aplique
 *** La referencia se aplica conforme a la determinación de las características del transductor y su calibración

9.1 Procedimiento de puesta a punto.

Se considera factible que se pueda confirmar la aplicación adecuada de este procedimiento. De forma adicional se debe garantizar que la mesa reproduzca, dentro de las tolerancias impuestas por la normatividad de pruebas de equipos o la de los investigadores, las señales de prueba. Para ello se deben tomar en cuenta las propuestas hechas en el capítulo siete e integrarlas como parte permanente del proceso de realización de ensayos del laboratorio.

Claro se deberán documentar todas las desviaciones que son posibles en la reproducción de las señales, para determinar que tipo de pruebas es factible realizar en la Mesa Vibradora y cuales quedan fuera de las posibilidades de movimiento y ruido de la misma. Es por ello que en el procedimiento de realización de pruebas se enfatiza que antes de cotizar o realizar una prueba se determine si la mesa puede cumplir con los requisitos de movimiento que se proponen.

Otro punto importante es la documentación del estado de la Mesa Vibradora cada vez que se realiza una prueba o se realizan trabajos de mantenimiento. Ello permitirá aprender como se comporta la mesa en diferentes situaciones y se podrá conocer con anticipación las dificultades que se pueden presentar cuando se vaya a realizar una prueba y la forma de solucionarlas. Es decir se adquirirá experiencia en el comportamiento del equipo.

También en las revisiones de la normatividad se encontró que dentro de las tolerancias y/o limitantes de los equipos de prueba se permite hacer modificaciones al protocolo de prueba que proponen en la norma. Lo cual se ha visto es debido principalmente a que no todas las mesas vibradoras son iguales y a que la respuesta dinámica de equipos y estructuras se complementan y hacen que los movimientos aplicados tengan ciertas variaciones que no siempre se pueden controlar.

Aprovechando la experiencia plasmada en las normas se considero hacer también flexible el procedimiento de realización de pruebas para que durante la realización de las pruebas se tuviera la facilidad de hacer cambios pertinentes, tanto por parte del laboratorio como del cliente. Además de pedir que se documente bien las desviaciones que se pueden tener en la reproducción de señal por parte de la mesa vibradora. Así que con esto se considera, que se pueden verificar los resultados obtenidos.

9.2 Calibración

Al inicio del trabajo de tesis se tenía una gran duda de poder llegar a un procedimiento de calibración de los transductores que se utilizaban que se pudiera validar. Ello porque no existía una entidad calibradora para la mayoría de los transductores que se utilizan en la mesa. Pero se vio que los procedimientos de calibración¹ que se han estado

¹ Al inicio del trabajo se consideraban los procedimientos como de calibración, conforme se avanzo en el trabajo y conforme a la nueva normatividad solamente se pueden considerar como procedimientos de verificación. Pero como se esta haciendo referencia al inicio de trabajo se decidió dejar el termino de calibración.

utilizando por años en los laboratorios del Instituto son factibles de validar y de utilizar como fuente de validación del sistema de captura.

Solamente es necesario incluir procesos que permitan contar con una trazabilidad con patrones internacionales o nacionales. Durante la investigación se encontraron diferentes opciones para la calibración de patrones que permitan verificar los transductores y la forma de calcular su incertidumbre.

Estos procedimientos apenas están en implementación y falta la parte principal. Conseguir los recursos para enviar los equipos, que fungirán como patrones internos y que permitirán la trazabilidad, al verificar. Además de ello la adquisición del equipo tendrá el papel de referencia en ciertas verificaciones. Cuando se cuente con los patrones y el equipo de referencia se podrá contar con la trazabilidad de los equipos utilizados en la captura de datos. Además se podrá validar que los procedimientos cumplen con el objetivo propuesto.

El SCDMV también es factible de validar y por ende de proporcionar datos validos. Aunque se debe tener cuidado en la operación; ya que el sistema pueda dar datos erróneos e inservibles si no se pone atención en las características de las pruebas y transductores utilizados y por ende configurar erróneamente al SCDMV.

Lo cual también se documenta en el procedimiento de realización de pruebas, donde se le pide al personal responsable que verifique bien el funcionamiento del programa y la asignación de canales. Al aplicar la verificación se disminuyen los errores y se tiene un alto porcentaje de señales validas y útiles.

9.3. Procedimientos de prueba

Aunque los procedimientos operativos son más complicados de validar; es factible realizar esta validación si el procedimiento expresa con claridad los puntos que se deben medir para verificar que los resultados de su aplicación cumplen con los objetivos esperados en la aplicación del mismo.

En el caso del procedimiento para las pruebas en la mesa vibradora, el objetivo es que sirva como guía para la realización de pruebas y aunque se busca cubrir todos los aspectos de las pruebas, se considera que da las pautas para realizar cualquier tipo de prueba en el laboratorio.

Por ello se considera que también es factible de validar; pero creo que en este caso es más importante tomarlo como un procedimiento operativo que puede cambiar en algunos aspectos dependiendo del tipo de prueba y que se debe revisar al terminar con cada prueba para verificar si cumplió con el objetivo propuesto.

9.4 Conclusión general

Retomando la hipótesis del trabajo de tesis, de que puede desarrollar métodos para la validación de los procedimientos de puesta a punto, calibración y prueba de la mesa vibradora. La conclusión final es que se pueden validar todos los procedimientos cuando se cuenten con todos los equipos y transductores patrón necesarios para tener una trazabilidad hacia patrones nacionales o internacionales.

En los procedimientos donde no es necesario la utilización de patrones, solamente es necesario que se implementen los procesos de medición que permitan validar los alcances de los procedimientos y con ello confirmar que su implementación cumple con el objetivo declarado.

Así que se puede esperar que con la aplicación de los procedimientos mejore la eficacia y eficiencia del laboratorio. También es cierto que los procedimientos propuestos deberán ser perfeccionados conforme se vayan trabajando.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

Informes y manuales internos del Instituto de Ingeniería:

1. Sergio M Alcocer, Miguel Ángel Mendoza. "Respuesta Sísmica de viviendas de mampostería en México. Configuración del Sistema Digital de Captura de Datos de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería para ensayos de modelos a escala de viviendas de mampostería", Proyecto 9519, diciembre de 1999.
2. Sergio M. Alcocer, Miguel Ángel Mendoza, "Manual de calibración de la Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería", junio 2001.
3. LabView, Fuction and VI Reference Manual. National Instruments, enero 1998.
4. LabView, User Manual, National Instruments, enero 1996.
5. PXI-1000 User Manual, National Instruments, enero 1998.
6. PXI-8150 series, User Manual, National Instruments, octubre 1997.
7. SCXI Getting Started with SCXI, National Instruments, enero 2000.
8. DAQ PXI E Series, User Manual, National Instruments, febrero 1998.
9. SCXI-1520, User Manual, National Instruments, diciembre 2003.
10. Reference Manual, Job # 949.16 Universidad Nacional Autónoma de México, volumen 4 of 4, MTS System Corporation, enero 1990.
11. MTS Seismic Test Execution Software, Job # 949.16, Universidad Nacional Autónoma de México, volumen 1 of 4, febrero 1990.
12. MTS Digital Seismic Control System, for UNAM, MTS Job # 316.12, diciembre 1997.
13. UNAM Digital Seismic Control System, Product Information, Job # 316.12, diciembre 1997.
14. UNAM Digital Seismic Control System, Assembly Drawings, Job # 316.12, diciembre 1997.

Normas:

15. NMX-EC-17025-IMNC-2000, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. COTENNSISCAL e IMNC.
16. NMX-I-007/3-3-NYCE-1998, Equipos y componentes electrónicos- métodos de pruebas ambientales y durabilidad. Parte 3-3. Información de bases – Sección 3: Guía. Métodos de pruebas sísmicas aplicables a los equipos. NYCE
17. NMX-CC-017/1: 1995 IMNC. Requisitos de aseguramiento de la calidad para equipo de medición. Parte 1. IMNC
18. NMX-CC-9001: IMNC-200, Sistema de gestión de la calidad- Requisitos. COTENNSISCAL e IMNC
19. NOM-059-SSA1-1993, Buenas prácticas de fabricación para establecimientos de la industria Químico Farmacéutica dedicados a la fabricación de medicamentos. Secretaría de Salud.
20. ETG – 1.015, Especificaciones Técnicas Generales de Diseño Sísmico. ENDESA, mayo 1987.
21. IEEE - 344 Recommended Practice for Seismic Qualification of class 1E Equipment for Nuclear Generating Station. ANSI/IEEE, 1987.
22. IEEE – 693 Recommended Practice for Seismic Design of Substations. IEEE draft 9, 2004.

Artículos:

23. Guía sobre la calificación de equipo de instrumentos analíticos. CENAM
24. Guía para estimar la incertidumbre de la medición. Wolfgang A. Schmid, Ruben J. Lazos Martínez. CENAM. Abril 2004.
25. Guía genérica para la elaboración de guías técnicas en mediciones físicas. CENAM-EMA, octubre de 2003.
26. CNM-MRD-PT-030. Métodos analíticos adecuados a su propósito. Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados. Segunda edición, CENAM. Noviembre 2005.
27. Herramientas de la metrología en sistemas de calidad. Raúl Velasco, Benjamín Soriano. Metas y Metrólogos Asociados. 2005

Apuntes:

28. Validación de Métodos de Medición; cuaderno de trabajo. Martínez Ramírez Ricardo, ema, 2005.
29. Metrología de Masa (Principios y fundamentos). Félix Pezet Sandoval, Jorge Mendoza Illescas, CENAM, Octubre 1997.

Presentaciones

30. Propuesta de Documentación de Validación de Métodos para cumplir con la Norma ISO/IEC 17025:1999. José Angel Moreno Hernández, CENAM. Junio 2005.
31. Validación de Métodos de Medición, María de los Ángeles Olvera Treviño, Julio 2005.

CAPÍTULO 8. AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de metrología física del CENAM y laboratorio de alumbrado publico del Distrito Federal por acceder a una visita a sus instalaciones y contestar a nuestras preguntas. También a la EMA por acceder a una entrevista y contestar nuestras dudas sobre la posibilidad de acreditación de la mesa vibradora.