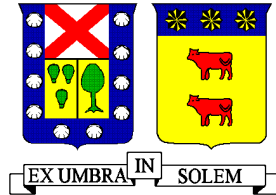


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



PLATAFORMA DE MEDICIÓN DE CORTE BASAL PARA ESTRUCTURAS A ESCALA REDUCIDA

ESTUDIO EXPERIMENTAL

Memoria de titulación presentada por
FELIPE ANDRÉS HINOJOSA TORRES

Como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
René Tobar Ramos

Enero 2018

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Ing. Sismorresistente del Departamento de Obras Civiles de la UTFSM, y tuvo como objetivo diseñar y construir una plataforma de medición directa para el corte basal que se genera en los modelos a escala al ser sometidos a movimientos sísmicos en la mesa de simulación del laboratorio. El gran peso del lastre que se coloca sobre los modelos, conlleva importantes fuerzas de roce que interfieren la medición de la fuerza en la horizontal, el trabajo se centró entonces en solucionar este problema

Lo usual en el Laboratorio Sismorresistente es medir el corte basal en forma indirecta, a partir de la aceleración de la masa del modelo, determinada mediante acelerómetros o por derivación numérica de los desplazamientos medidos por transductores tipo LVDT. En realidad, aunque existe un par de sensores para la medición directa del corte basal desarrollados en el mismo laboratorio, éstos tienen poca capacidad y son difíciles de usar.

La plataforma de medición posee una matriz de perforaciones roscadas para fijar sobre ella los modelos a ensayar y está posicionada sobre un conjunto de bielas birrotuladas, con muy poco roce, las cuales tienen integrado un transductor de fuerza en su parte intermedia. Las lecturas de todos estos instrumentos se ingresan a un sistema de adquisición de datos de alta velocidad y muestreo simultáneo, el cual las transfiere al computador donde a partir de ellas, se calcula el corte basal, el momento volcante y otras variables de interés.

Para probar la plataforma se utilizaron distintas estructuras representativas construidas con perfilería metálica a escala 1/10, algunas aisladas sísmicamente. Las pruebas fueron realizadas con registros de terremotos reales escalados y movimientos basales senoidales. Se realizaron también ensayos estáticos con la estructura sometida a fuerzas externas. En los ensayos se midieron fuerzas y aceleraciones en diversos puntos de la estructura aparte de las fuerzas de los transductores incorporados en la plataforma. El cruce de la información verificó que el corte y momento basal estaban siendo determinados correctamente.

El sistema permitió medir fácilmente el corte basal y momento volcante de la estructura sometida a prueba, aun soportando elevadas cargas verticales. Además la flexibilidad del diseño permitió instalar y sustituir fácilmente los diversos componentes según fuera necesario.

ABSTRACT

The objectives of this work were designing and constructing a base shear measurement system for scale models to be used on the shaking table of the Earthquake Simulation Laboratory at UTFSM.

The system consists of a rigid platform positioned on a set of steel rods oriented in different directions. Each rod has an accurate force transducer incorporated near its middle part and low friction hinges at its ends. The platform has a matrix of threaded holes which allow to grab firmly the model test at the desired position. Also, there is a base plate which keeps all components together and allows the easy installation or uninstallation of the system on the shaking table.

Weight of massive lead ballast pieces placed on models, entails important friction forces that interfere with horizontal force measurements. One of the main concerns of this work was to keep friction forces low enough to minimize the problem.

Several 1/10 scale metal structures, some of them seismically isolated, were used for testing the platform. The tests were performed under scaled earthquakes records and sinusoidal base movements. Signals from force transducers and other instruments were entered into a high speed data acquisition system (with simultaneous sampling and hold), and then transferred to a computer, where base shear, overturning moment and other variables of interest were calculated. Forces and accelerations were also measured in other places of the structure. Cross checking of all the information yielded that base shear and base moment were being determined correctly.

The system developed in this work allowed accurate measurements of base shear and overturning moment even under large vertical loads. Furthermore, the flexibility of its design made possible to change components easily, according to tests requirements.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2 SOLUCIONES PREVIAS	17
1.3 OBJETIVOS	19
1.4 ESQUEMA PRESENTACIÓN MEMORIA	21
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	22
2.1 ASPECTOS INICIALES	24
2.2 COMPONENTES SELECCIONADOS	27
2.2.1 <i>Viga de soporte</i>	29
2.2.2 <i>Viga de apoyo</i>	29
2.2.3 <i>Celdas de carga y apoyos</i>	29
2.3 PLANOS DE DISEÑO	31
2.4 CONSTRUCCIÓN DE ENSAMBLES.....	32
3. PIEZAS AUXILIARES PARA REALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	38
3.1 BASE DE FUNDACIÓN	39
3.2 PLACAS SOPORTANTES	40
3.3 BASE SOPORTANTE	41
4. ENSAYOS DE PREPARACIÓN	44
4.1 MESA SÍSMICA Y EQUIPAMIENTO.....	44
4.1.1 <i>Acondicionadores de señal</i>	46
4.1.2 <i>Adquisidor de datos y software</i>	46
4.1.3 <i>Celdas de carga para corte basal y momento volcante</i>	47
4.2 VERIFICACIÓN DE MEDICIONES.....	48
4.2.1 <i>Masa estática controlada</i>	49
4.2.2 <i>Modelo estructural sometido a terremoto escalado</i>	51
4.2.3 <i>Masa estática en apoyos</i>	54
4.2.4 <i>Columna sometida a movimientos basales cíclicos</i>	56
4.3 RESOLUCIÓN DEL SISTEMA.....	73
4.4 EFECTO DE LA INERCIA DE MASAS.....	77
5. DISEÑO Y MONTAJE DEL MODELO	82
5.1 DESCRIPCIÓN	83
5.2 UNIONES.....	85

5.3	MONTAJE.....	87
5.4	INSTRUMENTACIÓN	88
5.5	CÁLCULOS PREVIOS.....	91
5.5.1	<i>Modelo sin aislación</i>	91
5.5.2	<i>Modelo aislado</i>	93
5.5.3	<i>Análisis sísmico</i>	96
5.6	FACTORES DE ESCALA.....	99
6.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	102
6.1	RESULTADOS DEL MODELO AISLADO	103
6.1.1	<i>SOLUCIÓN NUMÉRICA</i>	107
6.1.2	<i>CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN DE CORTE BASAL</i>	108
6.2	RESULTADOS MODELO CON BASE FIJA.....	111
6.2.1	<i>CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN DE CORTE BASAL</i>	113
6.2.2	<i>MODELACIÓN EN PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS</i>	114
6.3	COMENTARIOS.....	115
7.	OTROS ENSAYOS	116
7.1	MODELO UNO.....	117
7.2	MODELO DOS	118
7.3	MODELO TRES.....	119
7.4	CORTE BASAL REGISTRADO	120
7.5	COMENTARIOS.....	121
8.	CONCLUSIONES.....	122
9.	REFERENCIAS	123

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: MODELO A ESCALA 1/10 DE UNA ESTRUCTURA DE DOS PISOS DE PERFILERÍA METÁLICA INSTALADO SOBRE EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FUERZAS Y ÉSTE SOBRE LA MESA SÍSMICA. LOS BLOQUES DE PLOMO SON LA MASA ADICIONAL REQUERIDA EN MODELOS DE RÉPLICA ADECUADA.	14
FIGURA 1-2: SISTEMA PARA MEDIR EL CORTE BASAL CON TRANSDUCTORES DESARROLLADOS EN LA UTFSM POR MIRANDA (2005). EN LA FIGURA APARECE EN USO EN UN ENSAYO DE UN MODELO DE MARCO DE MICROHORMIGÓN REALIZADO POR SCHNAIDT (2005).	16
FIGURA 1-3: SISTEMA DE MEDICIÓN DIRECTA DEL CORTE BASAL UTILIZADO POR OLMOS (2016) EN SUS ENSAYOS DE MARCOS DE MICRO-HORMIGÓN.	16
FIGURA 1-4: TRANSDUCTOR DE FUERZA ELABORADO EN EL LABORATORIO SISMORRESISTENTE, CON CUATRO ESTAMPILLAS EXTENSOMÉTRICAS INSTALADAS EN EL INTERIOR DE FORMA INCLINADA A 45° CON RESPECTO A LA HORIZONTAL. MIRANDA, E. (2004).	17
FIGURA 1-5: BASE DE MEDICIÓN DE FUERZA DE CORTE PARA MODELOS DE MARCOS SISMORRESISTENTES: (A) VISTA LATERAL, (B) VISTA SUPERIOR. OLMOS, E. (2016).....	18
FIGURA 2-1: DESPIECE DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN UBICADOS EN LA MESA DE SIMULACIÓN DE TERREMOTOS.	22
FIGURA 2-2: DISEÑO UNO, <i>FIJACIÓN CON SEIS BIELAS ORTOGONALES</i> . DISTRIBUCIÓN LÓGICA Y ESTABLE, PERO LA SUJECIÓN DE LAS BIELAS LATERALES REQUIEREN DE ESTRUCTURA ADICIONAL DIFÍCIL DE SITUAR, YA QUE NO EXISTE SOPORTE EN ESE SECTOR.	24
FIGURA 2-3: DISEÑO DOS. <i>FIJACIÓN CON DOS ARREGLOS DE CHEVRON LONGITUDINALES Y UNO TRANSVERSAL</i> . DISTRIBUCIÓN QUE TIENDE A SER INESTABLE, DADA LA PROXIMIDAD DE LOS ARROSTRAMIENTOS DE CHEVRON LONGITUDINALES, A MENOS QUE SE LES GIRE CON RESPECTO A LA VERTICAL, LO CUAL RESULTA COMPLICADO. EL CORTE BASAL DEPENDE DE CUATRO MEDICIONES INTERFERIDAS POR LA CARGA VERTICAL.	24
FIGURA 2-4: DISEÑO TRES. <i>FIJACIÓN CON UN ARREGLO DE CHEVRON LONGITUDINAL Y DOS TRANSVERSALES</i> . MUY ESTABLE, PERO LA DETERMINACIÓN DEL CORTE BASAL DEPENDE DE DOS MEDICIONES INTERFERIDAS POR LA CARGA VERTICAL.	25
FIGURA 2-5: DISEÑO CUATRO. <i>FIJACIÓN CON DOS ARREGLOS DE CHEVRON TRANSVERSALES, UNA BIELA LONGITUDINAL Y UNA BIELA TRANSVERSAL EN “L”</i> . BIELA LONGITUDINAL LOCALIZADA IDEALMENTE PARA DETERMINAR EL CORTE. ÉSTA CONFIGURACIÓN NO SE PUEDE MATERIALIZAR POR EXISTIR UN ATIESADOR EN LA VIGA DE SOPORTE EN EL PLANO TRANSVERSAL CENTRAL DONDE IRÍA LA PIEZA L.	25
FIGURA 2-6: DISEÑO CINCO. <i>FIJACIÓN CON DOS ARREGLOS DE CHEVRON TRASVERSALES, UNA BIELA LONGITUDINAL Y DOS BIELAS TRANSVERSALES EN “L”</i> . SE DUPLICA LA PIEZA EN L PARA PODER MATERIALIZAR LA CONFIGURACIÓN ANTERIOR.....	25
FIGURA 2-7: FOTOGRAFÍA DE LOS COMPONENTES REUTILIZADOS DEL LABORATORIO COMO LA VIGA DE SOPORTE Y VIGA DE APOYO.	27
FIGURA 2-8: VISTA ISOMÉTRICA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN: (A) <i>VIGA DE APOYO</i> . LA MATRIZ DE PERFORACIONES EN SU PARTE SUPERIOR ES DE 3/8”, LA QUE PERMITE FIJAR VARIOS	

ESPECÍMENES. (B) CELDA DE CARGA Y APOYOS . LOS PASADORES DE ACERO, LOS CUALES TIENEN UN DIÁMETRO DE 16 [MM], SE FIJAN EN LOS APOYOS. (C) VIGA DE SOPORTE , ES DEL TIPO DOBLE T COMPLETAMENTE SOLDADA, CON SEIS ATIESADORES DISTANCIADOS A 20 [CM]. SE REALIZARON CORTES Y PERFORACIONES EN SUS EXTREMOS PARA LA SUJECCIÓN A LA MESA SÍSMICA, ADEMÁS DE PERFORACIONES PARA LOS APOYOS DE LAS CELDAS DE CARGA.....	28
FIGURA 2-9: CELDAS DE CARGA UTILIZADAS EN ESTA MEMORIA PARA LOS DIFERENTES ENSAMBLES CONSTRUIDOS. .	30
FIGURA 2-10: ISOMÉTRICA DEL ENSAMBLE BASE INCLUYENDO LAS CELDAS DE CARGA UTILIZADAS, DESCRITAS EN LA SECCIÓN 2.2.3	32
FIGURA 2-11: ISOMÉTRICA DEL ENSAMBLE I . LAS CELDAS DE CARGA INCLINADAS EN 45° CON RESPETO A LA HORIZONTAL TIENEN UN DISTANCIAMIENTO ENTRE ROTULAS DE 18.7 [CM]. ÉSTAS RESTRINGEN EL DESPLAZAMIENTO Y GIRO EN “X”, Y SOPORTAN UN PORCENTAJE DE LA CARGA VERTICAL.....	33
FIGURA 2-12: ISOMÉTRICA DEL ENSAMBLE II . LAS CELDAS DE CORTE HBM FUERON REMPLAZADAS POR CELDAS PHILLIPS MODELO PR 6246/12N. SE MANTUVO LA INCLINACIÓN DE 45° CON RESPETO A LA HORIZONTAL Y SU DISTANCIAMIENTO ENTRE RÓTULAS.....	33
FIGURA 2-13: ISOMÉTRICA PIEZA EN “L” . LA CHUMACERA TIENE PERFORACIONES PARA SER FIJADA A LA VIGA DE APOYO.....	34
FIGURA 2-14: ISOMÉTRICA ENSAMBLE III . SE UTILIZÓ UNA CELDA DE CARGA MARCA MEACON TIPO S CON CAPACIDAD DE 200 [KG] PARA LA MEDICIÓN DEL CORTE BASAL. LAS PIEZAS EN “L” SE ENCUENTRAN A 10 [CM] DEL PLANO TRANSVERSAL CENTRAL.	35
FIGURA 2-15: ISOMÉTRICA ENSAMBLE IV . CELDA DE CARGA GSE INC. CON CAPACIDAD 500 [KGF] DE FABRICACIÓN ESTADOUNIDENSE.	35
FIGURA 2-16: FOTOGRAFÍAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MEDICIÓN LOGRADOS. (A) ENSAMBLE I . (B) ENSAMBLE II (C) ENSAMBLE III	37
FIGURA 3-1: DIVERSOS ENSAYOS REALIZADOS EN LA MESA SÍSMICA DONDE SE APRECIAN: (A) BASES DE FUNDACIÓN (B) PLACAS SOPORTANTES (C) BASE SOPORTANTE	38
FIGURA 3-2: BASE DE FUNDACIÓN PARA MODELOS DE MARCOS SISMORRESISTENTE. SON DESARMABLES PARA FACILITAR EL DESMOLDE DE LA FUNDACIÓN POSTERIOR AL ENSAYO. SE SUJETAN A LA PLACA SOPORTANTE A TRAVÉS DE PERNOS 3/8”.....	39
FIGURA 3-3: PERSPECTIVA DE LAS DOS PLACAS SOPORTANTES APERNADAS A LA VIGA DE APOYO.....	40
FIGURA 3-4: LA BASE SOPORTANTE SE ENCUENTRA UNIDA A CUATRO AISLADORES ELASTOMÉRICOS. SE CONSTRUYÓ CON PERFILES ÁNGULOS 40x40x4 [MM]. SU DISEÑO FORMA UNA PARRILLA CON PERFORACIONES DE ½” PARA SITUAR PESO CON UNA CAPACIDAD DE 81 PLOMOS (370 [KG]).	41
FIGURA 3-5: SISTEMA DE MEDICIÓN CON BASE PARA EDIFICIOS AISLADOS VAN CONECTADOS POR SU PARTE SUPERIOR A LA BASE SOPORTANTE Y EN SU PARTE INFERIOR A LA PLATAFORMA A TRAVÉS DE LAS PLACAS DE ADAPTACIÓN. EL SISTEMA MÁS LA PLATAFORMA TIENEN UN PESO PROPIO DE 73 [KG].....	42
FIGURA 3-6: AISLADOR ELASTOMÉRICO ANULAR CON CONEXIONES APERNADAS DE 3/8”. EN SU PARTE SUPERIOR SE CONECTA A LA BASE SOPORTANTE Y LA INFERIOR A UNA PLETINA DE ACERO QUE SE UNA A LA PLACA SOPORTANTE.	43

FIGURA 3-7: FUNDACIÓN RÍGIDA QUE REEMPLAZA UN AISLADOR. TIENE UN DISEÑO EN FORMA DE DOBLE T, VA CONECTADO POR PERNOS DE 3/8", EN SU PARTE SUPERIOR A LA BASE SOPORTANTE Y EN SU PARTE INFERIOR A LAS PLACAS SOPORTANTES.	43
FIGURA 4-1: ESQUEMA DE LA MESA SÍSMICA DEL LABORATORIO INCLUYENDO LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN DESARROLLADA EN ESTA MEMORIA Y EQUIPOS USADOS EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS. EL COMPUTADOR PC 1 ENTREGA EL DESPLAZAMIENTO PROGRAMADO AL CONTROLADOR MTS 407, EL CUAL MANEJA EL ACTUADOR MTS 244 QUE SE ENCARGA DE MOVER LA MESA SÍSMICA. EL COMPUTADOR PC 2 TOMA LOS REGISTROS DEL ADQUISIDOR DE DATOS, EL CUAL SE ENCUENTRA CONECTADO A LOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL Y ESTE A LAS CELDAS DE CARGA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.	45
FIGURA 4-2: MESA DE EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN EN EL LABORATORIO SISMORRESISTENTE. SE OBSERVA LOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL Y EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	46
FIGURA 4-3: INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LA FUERZA DE CORTE Y MOMENTO VOLCANTE (A) CELDAS DE CARGA INCLINADAS EN 45° CORRESPONDIENTES AL ENSAMBLE II. (B) CELDA DE CARGA HORIZONTAL QUE MIDE EL CORTE CORRESPONDIENTE AL ENSAMBLE III. (C) PAR DE CELDAS DE CARGA SOPORTANTES QUE MIDE UNA DE LAS FUERZAS VERTICALES CORRESPONDIENTES AL MOMENTO VOLCANTE.	47
FIGURA 4-4: ENSAYO DE ESTRUCTURA DE PERFILERÍA METÁLICA ELABORADO POR ALUMNOS DEL CURSO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, LA QUE SE ENCUENTRA INSTALADA SOBRE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN.	48_Toc506632199
FIGURA 4-5: ESQUEMA DEL ENSAYO INCORPORACIÓN DE MASA CONTROLADA. LA DISTRIBUCIÓN DE CANALES ADOPTADA EN ESTA PRUEBA FUE CH0, CH1, CH2, CH3 PARA CELDAS SOPORTANTES, DEJANDO CH4 Y CH5 COMO CELDAS DE CARGA PARA MEDICIÓN DEL CORTE	50
FIGURA 4-6: FOTOGRAFÍA DEL MODELO SOBRE SISTEMA DE MEDICIÓN SIN AISLACIÓN SÍSMICA, LISTO PARA SER ENSAYADO.	51
FIGURA 4-7: ESPÉCIMEN COLAPSADO SOBRE SISTEMA DE MEDICIÓN, LUEGO DE ESTAR SOMETIDO AL TERREMOTO VIÑA DEL MAR 1985.	52
FIGURA 4-8: ESPÉCIMEN COLAPSADO SOBRE SISTEMA DE MEDICIÓN. CEDIERON LAS COLUMNAS DEL PLANO ESTRUCTURAL CON MENOR RIGIDEZ, PROVOCANDO EL COLAPSO EN SENTIDO TRANSVERSAL AL MOVIMIENTO. ..	52
FIGURA 4-9: CELDAS DE CARGA INCLINADAS DAÑADAS DESPUÉS DEL ENSAYO. ÉSTAS NO RESISTIERON LA CARGA DE IMPACTO AL COLAPSAR LA ESTRUCTURA.	52
FIGURA 4-10: FOTOGRAFÍA DEL ENSAMBLE TRES INSTALADO SOBRE LA MESA SÍSMICA	53
FIGURA 4-11: POSICIONAMIENTO DE INDIVIDUO DE 70 [KG] SOBRE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN EN EL APOYO "A". LOS VALORES ANOTADOS EN LA FIGURA CORRESPONDEN A LA COMPONENTE VERTICAL DE LAS CELDAS DE CARGA SOPORTANTES (+ COMPRESIÓN, - TRACCIÓN)	54
FIGURA 4-12: POSICIONAMIENTO DE INDIVIDUO SOBRE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN EN APOYO "B". LOS VALORES ANOTADOS EN LA FIGURA CORRESPONDEN A LA COMPONENTE VERTICAL DE LAS CELDAS DE CARGA SOPORTANTES (+ COMPRESIÓN, - TRACCIÓN)	55

FIGURA 4-13: COLUMNA TIPO OMEGA (Ω) SOMETIDA A SOLICITACIONES BASALES SENOIDALES PARA LA PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA PARA MEDIR CORTE Y MOMENTO VOLCANTE.	56
FIGURA 4-14: UBICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES DE FUERZA UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN.	58
FIGURA 4-15: ENSAYO CUANTIFICACIÓN DEL ROCE ESTÁTICO SIN BLOQUES DE PLOMO. EL VALOR MEDIDO POR EL DINAMÓMETRO FUE DE 1.1 [KGF].	74
FIGURA 4-16: ENSAYO CUANTIFICACIÓN DEL ROCE ESTÁTICO CON 150 [KG] DE CARGA. EL VALOR MEDIDO POR EL DINAMÓMETRO FUE DE 3.1 [KGF]	74
FIGURA 4-17: PRUEBA PRELIMINAR CUANTIFICACIÓN DEL ROCE ESTÁTICO. MEDICIÓN DE 3.1 [KGF] CON CARGA ADICIONAL DE 150 [KG]CARGA ADICIONAL	74
FIGURA 4-18: SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CORTE BASAL CON ESTRUCTURA MODULAR PARA EXPERIENCIAS EN DINÁMICA BÁSICA. LA ESTRUCTURA SE ENCUENTRA EN VIBRACIONES LIBRES DEL CUAL SE OBTIENEN DATOS DE FUERZA Y DESPLAZAMIENTO EN TIEMPO REAL. EN LA PARTE INFERIOR IZQUIERDA SE OBSERVA UN OSCILOSCOPIO CON LA GRÁFICA FUERZA-DEFORMACIÓN LA QUE EVIDENCIA UN ELEVADO ROCE (MONTIEL, 2018).	76
FIGURA 4-19: IRREGULARIDADES EN LAS CURVAS CORTE BASAL – DESPLAZAMIENTO QUE SE OBSERVAN GENERALMENTE CUANDO EL CORTE SE OBTIENE DE LA ACELERACIÓN ABSOLUTA. AL EXISTIR GOLPES DE LOS BLOQUES DE PLOMO DEL LASTRE ENTRE SÍ Y CON LA ESTRUCTURA, LAS CUALES SE REFLEJAN EN VARIACIONES SÚBITAS DE ACELERACIÓN DE LA MASA, LA MEDICIÓN DEL CORTE EN FORMA INDIRECTA RESULTA ALTERADA. EN LOS RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DIRECTA DEL CORTE BASAL ESTE EFECTO PRÁCTICAMENTE NO EXISTE.	77
FIGURA 4-20: EFECTO DE INERCIA DE MASAS EN MARCO. LAS GRÁFICAS CORRESPONDEN AL CORTE BASAL INDIRECTO PARA EL INSTANTE INDICADO. LAS PROPORCIONES DE LOS ELEMENTOS SE HAN CAMBIADO PARA UNA MEJOR VISUALIZACIÓN. OLMOS. E (2016).....	79
FIGURA 4-21: BLOQUE DE PLOMO INSTRUMENTADO CON UN ACELERÓMETRO INDUCTIVO.....	79
FIGURA 5-1: MODELO DE PERFILERÍA METÁLICA ESCALA 1:10, MONTADO EN LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN INSTRUMENTADO CON TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO (LVDT), ACELERÓMETROS Y CÁMARAS. ADEMÁS, SE SITUARON VERTICALMENTE BARRAS DE ACEROS SUELTAS EN VARIOS PUNTOS DEL MODELO, LAS CUALES REPRESENTAN PERSONAS.	82
FIGURA 5-2: ISOMÉTRICA MODELO ESTRUCTURAL TIPO DE PERFILERÍA METÁLICA MONTADA SOBRE BASE SOPORTANTE. EN LA MADERA CONTRACHAPADA EXISTE UNA VIGA DINTEL, PARA EVITAR DEFLEXIONES EN EL PLANO SIN DIAGONALES, Y PERFORACIONES DE ½” PARA LA SUJECCIÓN DE LOS BLOQUES DE PLOMOS.....	83
FIGURA 5-3: PLANOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURA DE PERFILERÍA METÁLICA CON SISTEMA DE AISLACIÓN. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN [MM].	84
FIGURA 5-4: DETALLE DE LAS UNIONES.....	85
FIGURA 5-5: UNIONES INFERIORES DEL MODELO DE PERFILERÍA METÁLICA (A) UNIONES ENTRE ELEMENTOS RESISTENTES Y BASE SOPORTANTE (VISTA FRONTAL). (B) UNIÓN ENTRE COLUMNA Y DIAGONAL (VISTA LATERAL).	86
FIGURA 5-6: VISTA LATERAL DEL MODELO ESTRUCTURAL: (A) DISTRIBUCIÓN DE MASAS EN EL PRIMER Y SEGUNDO NIVEL OBTENIENDO UNA MASA MÓVIL DE 415 [KG] SOBRE EL SISTEMA DE AISLACIÓN. (B) COLAPSO REPENTINO	

DEL ESPÉCIMEN PROVOCADO POR EL DESLIZAMIENTO DE UNA DE SUS GATAS TIJERA LA QUE FUNCIONABA DE SOPORTE DURANTE DEL MONTAJE.	87
FIGURA 5-7: FOTOGRAFÍA DE ACELERÓMETRO INDUCTIVO, UBICADO EN ENTREPISO DE MADERA DEL MODELO DE PERFILERÍA METÁLICA.	88
FIGURA 5-8: ACELERÓMETRO INDUCTIVO, UBICADO EN LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN ESPECÍFICAMENTE EN LA VIGA DE APOYO.	88
FIGURA 5-9: TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO LVDT Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL UBICADO EN ESTRUCTURA DE REACCIÓN.	89
FIGURA 5-10: ESQUEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA EL ENSAYO DE ESTRUCTURAS DE PERFILERÍA METÁLICA CON AISLAMIENTO SÍSMICO.	90
FIGURA 6-1: ESTRUCTURA SIN AISLACIÓN SÍSMICA DESPUÉS DE SER SOMETIDA AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985.	102
FIGURA 6-2: EDIFICIO CON SISTEMA DE AISLACIÓN LUEGO DE SER SOMETIDO AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985. SE OBSERVA QUE LAS BARRAS DE ACERO QUE TRATAN DE REPRESENTAR PERSONAS, FUERA DEL EDIFICIO SE VOLCARON Y DENTRO NO.	104
FIGURA 6-3: ESTRUCTURA SIN SISTEMA DE AISLACIÓN LUEGO DE SER SOMETIDA REGISTRO DE VIÑA DEL MAR '85 AMPLIFICADO AL 250%. FALLA DE PANDEO A FLEXIÓN EN LAS DIAGONALES Y POSTERIOR FALLA POR PANDEO LOCAL.	111
FIGURA 7-1: ESTRUCTURAS DE PERFILERÍA METÁLICA ENSAYADAS EN LA MESA SÍSMICA DEL LABORATORIO SISMORESISTENTE. EN LAS FOTOGRAFÍAS SE OBSERVAN SEIS DE LAS OCHO ESTRUCTURAS ENSAYADAS.	117
FIGURA 7-2: SECUENCIA FOTOGRÁFICA DEL COLAPSO DEL MODELO UNO , LUEGO DE SER SOMETIDA AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 ESCALADO AL 250 %. (A) COMIENZO DEL MOVIMIENTO BASAL (B) NÓTESE QUE PANDEA UNA DE LAS DIAGONALES E INMEDIATAMENTE FALLA LA COLUMNA (C) COMIENZA A FLUIR UNA SEGUNDA DIAGONAL (D) FINALMENTE EL COLAPSO.	118
FIGURA 7-3: SECUENCIA FOTOGRÁFICA DEL COLAPSO DEL MODELO DOS , LUEGO DE SER SOMETIDA AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 ESCALADO AL 250 %. (A) COMIENZO DEL MOVIMIENTO BASAL (B) NÓTESE QUE PANDEAN DOS DIAGONALES. (C) COMIENZA A FLUIR SIMULTÁNEAMENTE LAS OTRAS DOS DIAGONALES. (D) FINALMENTE EL COLAPSO.	118
FIGURA 7-4: SECUENCIA FOTOGRÁFICA DEL COLAPSO DEL MODELO TRES , LUEGO DE SER SOMETIDA AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 ESCALADO AL 200 %. (A) COMIENZO DEL MOVIMIENTO BASAL (B) NÓTESE QUE PANDEA UNA DIAGONALES. (C) COMIENZA A PANDEAR LA DIAGONAL HERMANA. (D) FINALMENTE PANDEA LA COLUMNA, PERO NO ALCANZA A COLAPSAR.	119

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: DIMENSIONES DE CELDAS DE CARGA Y SUS RÓTULAS, OCUPADAS EN ESTA MEMORIA.	31
TABLA 4-1: PRUEBA MASA ESTÁTICA CONTROLADA, COMPONENTE VERTICAL DE LAS CELDAS SOPORTANTES. LA MASA AGREGADA SE DISTRIBUYÓ SIMÉTRICAMENTE.....	50
TABLA 4-2: PRUEBA MASA ESTÁTICA CONTROLADA, COMPONENTE VERTICAL DE CADA CELDA DE CORTE A 45°.....	50
TABLA 4-3: FRECUENCIA Y AMPLITUD DE SOLICITACIONES BASALES APLICADAS AL SISTEMA DE LA FIGURA 4-13.....	57
TABLA 4-4: MEDICIONES PRUEBA DE CUANTIFICACIÓN DEL ROCE EN EL ENSAMBLE III.....	75
TABLA 5-1: FACTORES DE ESCALA.	99
TABLA 5-2: RELACIÓN ENTRE MODELO Y PROTOTIPO. LA MASA TIENE UN FACTOR DE ESCALA IGUAL A LA FUERZA.	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 4-1: FUERZAS MEDIDAS POR LAS CELDAS DE CARGA DEL SISTEMA, PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10[MM] Y FRECUENCIA 0.1 [Hz] . LA FIGURA UBICADA EN LA ESQUINA SUPERIOR DERECHA MUESTRA LOS COLORES ASIGNADOS PARA CADA CELDA DE CARGA DEL SISTEMA.....	59
GRAFICO 4-2: FUERZAS MEDIDAS POR CELDAS DE CARGA DEL SISTEMA, PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10[MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz] . NOTAR LA POCA DIFERENCIA DE LOS VALORES MEDIDOS CON RESPECTO A LA GRÁFICA 4-1, EXCEPTO EN LA CURVA DE CORTE (ROJO).	59
GRAFICO 4-3: FUERZAS MEDIDAS POR LA CELDA DE CARGA DE CORTE Y LA CELDA DE CARGA EN EL TOPE DE LA COLUMNA, PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 0.1 [Hz]	60
GRAFICO 4-4: FUERZAS MEDIDAS POR LA CELDA DE CARGA DE CORTE Y CELDA DE CARGA EN EL TOPE DE LA COLUMNA, PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz] . LA DIFERENCIA EN LA FORMA DE LAS CURVAS SE DEBE PRINCIPALMENTE AL ACOMODAMIENTO MECÁNICO PROPIO DE LA PLATAFORMA. LA DIFERENCIA DE AMPLITUDES SE DEBE PRINCIPALMENTE AL EFECTO DE LA INERCIA PROVOCADO POR LA MASA DE LA VIGA DE APOYO	60
GRÁFICO 4-5: CURVA MOMENTO VOLCANTE PROVENIENTE DE LA CELDA DE CARGA EN EL TOPE DE LA COLUMNA (MORADO) COMPARADO CON EL OBTENIDO DE LAS CUATRO CELDAS DE CARGA SOPORTANTES (CELESTE), PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 0.1 [Hz]	61
GRAFICO 4-6: CURVA MOMENTO VOLCANTE PROVENIENTE DE LA CELDA DE CARGA EN EL TOPE DE LA COLUMNA (MORADO) COMPARADO CON EL OBTENIDO DE LAS CUATRO CELDAS DE CARGA SOPORTANTES (CELESTE), PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz] . SE APRECIA UNA PEQUEÑA DIFERENCIA ENTRE LAS CURVAS DEBIDO AL EFECTO DE LA INERCIA ROTACIONAL PROVOCADO POR LA VIGA DE APOYO.....	61

GRAFICO 4-7: CURVA FUERZA- DESPLAZAMIENTO SEGÚN LAS MEDICIONES DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA INCORPORADA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 6 [MM] Y FRECUENCIA 0.1 [Hz]	62
GRAFICO 4-8 : CURVA DE FUERZA – DESPLAZAMIENTO SEGÚN LAS MEDICIONES DE LA CELDAS DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA INCORPORADA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 0.1 [Hz]	62
GRAFICO 4-9: CURVA DE FUERZA – DESPLAZAMIENTO SEGÚN LAS MEDICIONES DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA INCORPORADA EN LA COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 2 [MM] Y FRECUENCIA 0.5 [Hz]	63
GRAFICO 4-10: CURVA FUERZA - DESPLAZAMIENTO SEGÚN MEDICIONES DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA INCORPORADA EN LA COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 4 [MM] Y FRECUENCIA 0.5 [Hz]	63
GRAFICO 4-11: CURVA DE FUERZA – DESPLAZAMIENTO SEGÚN LAS MEDICIONES DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA EN COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 6 [MM] Y FRECUENCIA 0.5 [Hz]	63
GRAFICO 4-12: CURVA DE FUERZA – DESPLAZAMIENTO SEGÚN LAS MEDICIONES DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA EN COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 4 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz]	64
GRAFICO 4-13: CURVA DE FUERZA – DESPLAZAMIENTO SEGÚN LAS MEDICIONES DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA EN COLUMNA (MORADO) PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz]	64
GRAFICO 4-14: FUERZA SEGÚN MEDICIÓN DEL CORTE BASAL LA CUAL INCLUYE EL TÉRMINO INERCIAL (VERDE). ADEMÁS SE AÑADIERON LAS CURVAS DE LAS FUERZAS MEDIDAS POR LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA EN EL TOPE DE LA COLUMNA (MORADO), PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz]	67
GRAFICO 4-15: CURVAS DE FUERZA – DESPLAZAMIENTO SEGÚN MEDICIÓN DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE LA QUE INCLUYE EL TÉRMINO INERCIAL (VERDE). ADEMÁS, SE INCORPORÓ LAS CURVAS DE LAS FUERZAS MEDIDAS POR LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO) Y CELDA DE CARGA EN EL TOPE DE LA COLUMNA (MORADO), PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz]	67
GRAFICO 4-16: CURVA DEL TÉRMINO INERCIAL (VERDE) Y CURVA DE LAS FUERZAS MEDIDAS POR LA CELDA DE CARGA DE CORTE (ROJO), PARA UN MOVIMIENTO BASAL SENOIDAL DE AMPLITUD 10 [MM] Y FRECUENCIA 4 [Hz] . LA CURVA DE FUERZA OBTENIDA DE LA SUMA LOS TÉRMINOS (CORTE BASAL CORREGIDO) SE MOSTRÓ EN LA GRÁFICA 4-14.	72
GRÁFICA 4-17: RESUMEN DE LAS MEDICIONES DEL CORTE BASAL DIRECTO PARA UN BARRIDO DE FRECUENCIA DE 0 A 20 [Hz]	80
GRÁFICO 5-1: VIBRACIONES LIBRES DEL MODELO DE PERFILERÍA METÁLICA SIN AISLACIÓN, CON UNA MASA DE 150 [KGF] Y UN PERIODO NATURAL DE 0.03 [S].	91

GRÁFICO 5-2: VIBRACIONES LIBRES ESTRUCTURA DE PERFILERÍA METÁLICA AISLADA, CON UNA MASA MÓVIL DE 415 [KG] Y PERIODO NATURAL DE 0.12 [S].	93
GRÁFICA 6-1: REGISTRO DE ACELERACIONES DEL TERREMOTO VIÑA DEL MAR COMPONENTE S20°W OBTENIDAS POR: (A) ACELERÓMETRO UBICADO EN LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN. (B) ESPECTRO DE ACELERACIÓN ASOCIADO AL REGISTRO.	103
GRÁFICO 6-1: CURVAS OBTENIDAS DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE DE LA PLATAFORMA EN LOS ENSAYOS DEL MODELO CON EL SISTEMA DE AISLACIÓN, SOMETIDO AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 SIN AMPLIFICAR Y AMPLIFICADO AL 250%.	105
GRÁFICO 6-2: CURVAS DE MOMENTO VOLCANTE OBTENIDAS DE LA CELDA DE CARGA SOPORTANTE DE LA PLATAFORMA EN LOS ENSAYOS DEL MODELO CON EL SISTEMA DE AISLACIÓN, SOMETIDO AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 SIN AMPLIFICAR Y AMPLIFICADO AL 250%.	105
GRÁFICO 6-3: CURVAS OBTENIDAS DEL ACELERÓMETRO UBICADO EN EL SEGUNDO NIVEL DEL MODELO (MASA MÓVIL) EN LOS ENSAYOS CON EL SISTEMA DE AISLACIÓN, SOMETIDO AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 SIN AMPLIFICAR Y AMPLIFICADO AL 250%.	106
GRÁFICO 6-5: CURVAS DE DESPLAZAMIENTOS OBTENIDAS DE LA APROXIMACIÓN DE LA RESPUESTA POR EL MÉTODO DE NEWMARK (CELESTE) Y DEL LVDT (GRIS) UBICADO EN EL SEGUNDO NIVEL DEL MODELO EN LOS ENSAYOS CON SISTEMA DE AISLACIÓN, SOMETIDO REGISTRO DE VIÑA DEL MAR 1985, AMPLIFICADO AL 250%.	107
GRÁFICO 6-6: CURVAS DE FUERZA SEGÚN MEDICIÓN DEL CORTE BASAL, LA CUAL INCLUYE EL TÉRMINO INERCIAL DE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN (ROJO). ADEMÁS, SE AÑADIÓ LA CURVA DE CORTE OBTENIDA DE LA MULTIPLICACIÓN DE LA MASA MÓVIL Y LA SUMA DE ACELERACIONES, LO QUE REPRESENTA EL CORTE INDIRECTO (AZUL).	109
GRÁFICO 6-7: CURVAS DE FUERZA SEGÚN MEDICIÓN DEL TÉRMINO INERCIAL DE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN (AZUL) SOMETIDO AL REGISTRO DE VIÑA DEL MAR DE 1985 AMPLIFICADO AL 250%. ADEMÁS SE AÑADIÓ LA CURVA DE CORTE OBTENIDA DE LA CELDA DE CARGA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN (ROJO) PARA SU COMPARACIÓN.	110
GRÁFICO 6-8: CURVA OBTENIDA DE LA CELDA DE CARGA DE CORTE DE LA PLATAFORMA EN LOS ENSAYOS DEL MODELO SIN SISTEMA DE AISLACIÓN (CON FUNDACIONES RÍGIDAS), SOMETIDO AL TERREMOTO ESCALADO DE VIÑA DEL MAR 1985 AMPLIFICADO AL 250%.	112
GRÁFICO 6-9: CURVA MOMENTO VOLCANTE PROVENIENTE DE LAS CUATRO CELDAS DE CARGA SOPORTANTES EN EL ENSAYO DEL MODELO SIN SISTEMA DE AISLACIÓN, SOMETIDO AL TERREMOTO ESCALADO DE VIÑA DEL MAR 1985 AMPLIFICADO AL 250%.	112
GRÁFICO 6-10: CURVAS DE FUERZA SEGÚN MEDICIÓN DEL CORTE BASAL LA CUAL INCLUYE EL TÉRMINO INERCIAL DE LA PLATAFORMA DE MEDICIÓN (ROJO).	113
GRÁFICO 6-11: CURVA DE CORTE BASAL EN LA DIRECCIÓN “X” OBTENIDAS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA REALIZADO EN EL PROGRAMA SAP2000 CON LA OPCIÓN DE INTEGRACIÓN DIRECTA CON UN AMORTIGUAMIENTO DEL 2% (ROJO). ADEMÁS, SE AÑADIÓ LA CURVA DE FUERZA CORTE BASAL CORREGIDO AMPLIFICADO A ESCALA NATURAL (CELESTE).	114

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la mesa sísmica del Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente del Departamento de Obras Civiles de la UTFSM, se ensayan diferentes tipos de modelos a escala reducida construidos de diversos materiales. Lo usual es que estos modelos sean sometidos a movimientos senoidales y a registros de terremotos reales escalados, midiendo en ambos casos fuerzas y desplazamientos, para posteriormente caracterizar efectivamente su comportamiento a través de una curva de histéresis. Si bien, lo normal es que no haya gran dificultad para la medición de los desplazamientos del modelo, no ocurre lo mismo para el caso de las fuerzas.

Esta memoria presenta una herramienta para medir las fuerzas que se generan en los modelos a escala ensayados, como se muestra en la figura 1-1. Esta consiste en una plataforma rígida apoyada en un conjunto de celdas de carga orientadas en diferentes direcciones y sobre la cual se coloca el modelo. El sistema permite determinar fácilmente el corte basal y el momento volcante de la estructura sometida a prueba. Además se pueden instalar o sustituir rápidamente los diversos componentes según sea requerido.

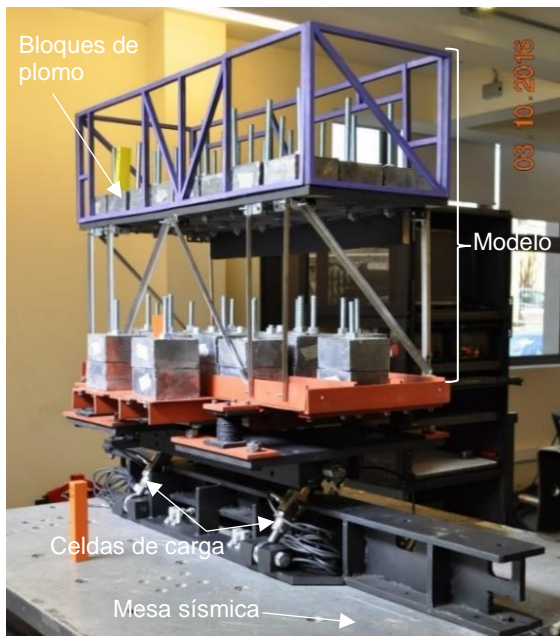


Figura 1-1: Modelo a escala 1/10 de una estructura de dos pisos de perfilado metálico instalado sobre el sistema de medición de fuerzas y éste sobre la mesa sísmica. Los bloques de plomo son la masa adicional requerida en modelos de réplica adecuada.

El corte basal es el parámetro más importante, ya que define el grado de resistencia para una estructura y al graficar ésta fuerza contra el desplazamiento caracteriza el comportamiento. Este concepto es utilizado por las diferentes normas sísmicas chilenas en el desarrollo del diseño estructural.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Determinar el corte basal en forma directa no es fácil debido al gran peso del lastre que generalmente se coloca sobre los modelos, lo cual conlleva importantes fuerzas de roce que interfieren constantemente en las mediciones. La fuerza de corte, al no ser correctamente medida, afecta la utilidad de los ensayos provocando anomalías en las curvas de comportamiento de la estructura difíciles de interpretar.

La cantidad de lastre es bastante variable en los modelos ensayados lo cual depende del tamaño de la estructura a representar y del material de construcción. Por ejemplo, en los marcos planos de un nivel construidos con micro-hormigón armado en escala 1/10 se utiliza un lastre de unos 150 [kg], mientras que en sistemas estructurales tridimensionales de acero de varios niveles se ha llegado a utilizar un lastre de 1000 [kg] (Aravena 2010 y Sepúlveda 2017))

Actualmente unos pocos fabricantes especializados venden transductores que miden las seis componentes de fuerzas y momento en una sola celda de carga y podrían ayudar a resolver el problema, pero el costo de estos transductores es muy elevado. ([ATI Industrial Automation, 2017](#)).

En las figuras 1-2 y 1-3 se describen algunos sistemas de medición de fuerzas desarrollados en el Laboratorio y que han sido usados para estimar el corte basal en diversos ensayos de modelos a escala.

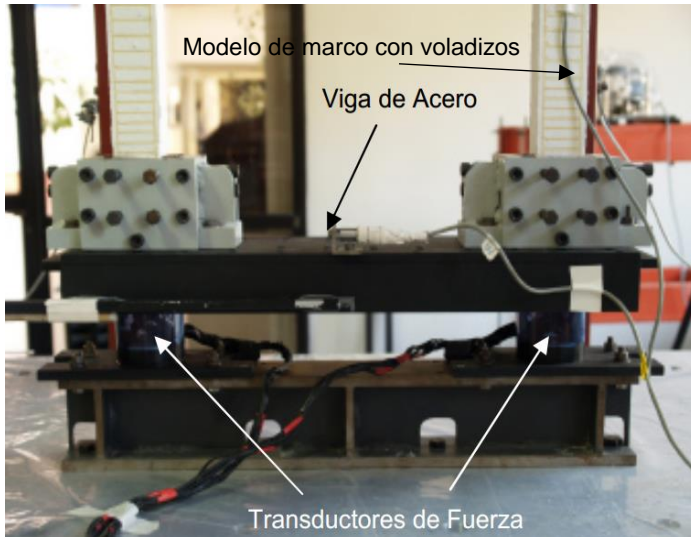


Figura 1-2: Sistema para medir el corte basal con transductores desarrollados en la UTFSM por Miranda (2005). En la figura aparece en uso en un ensayo de un modelo de marco de microhormigón realizado por Schnaidt (2005).

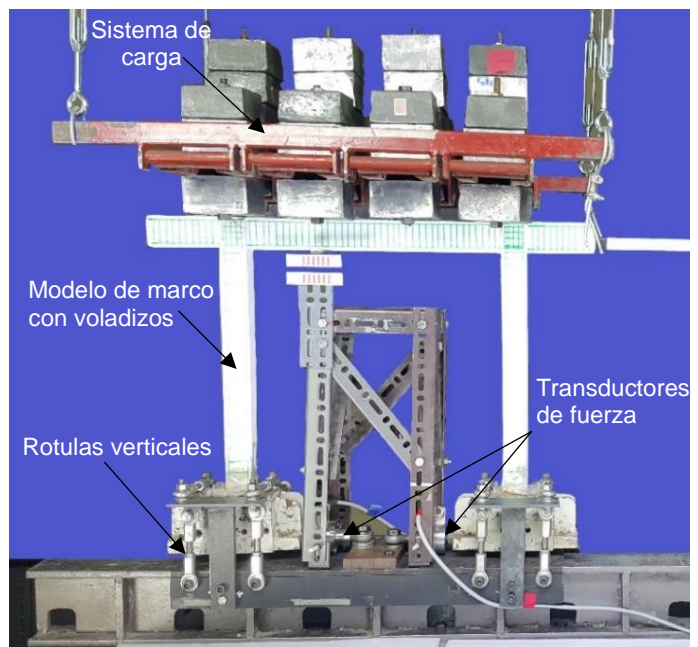


Figura 1-3: Sistema de medición directa del corte basal utilizado por Olmos (2016) en sus ensayos de marcos de micro-hormigón.

1.2 SOLUCIONES PREVIAS

Previo a esta memoria, en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente el corte basal se ha estado midiendo en diversas formas directas e indirectas, a veces más y otras veces menos exitosas. Miranda, E. (2004) construyó un par de transductores para medir fuerza axial, corte y momento, uno de los cuales se observa en la figura 1-4. Aunque con capacidad limitada, estos instrumentos fueron útiles durante varios años. Como es usual en transductores de fuerza, su funcionamiento se basó en estampillas extensométricas (strain gages) dispuesta en un elemento elástico alojado en el interior, formando un puente de Wheatstone.

Los valores medidos de la fuerza de corte y momento volcante estuvieron dentro de un rango de error aceptable del 3%. Sin embargo, un problema fue que las mediciones de estas dos variables interferían entre sí, obligando a resolver un sistema de ecuaciones en cada punto. Para la fuerza axial los errores fueron mayores.

En la actualidad ha habido un avance considerable en cuanto a la facilidad para la adquisición de transductores de fuerza o celdas de carga, lo que permite disponer de productos certificados y de alta precisión para la configuración de un nuevo sistema de mediciones.

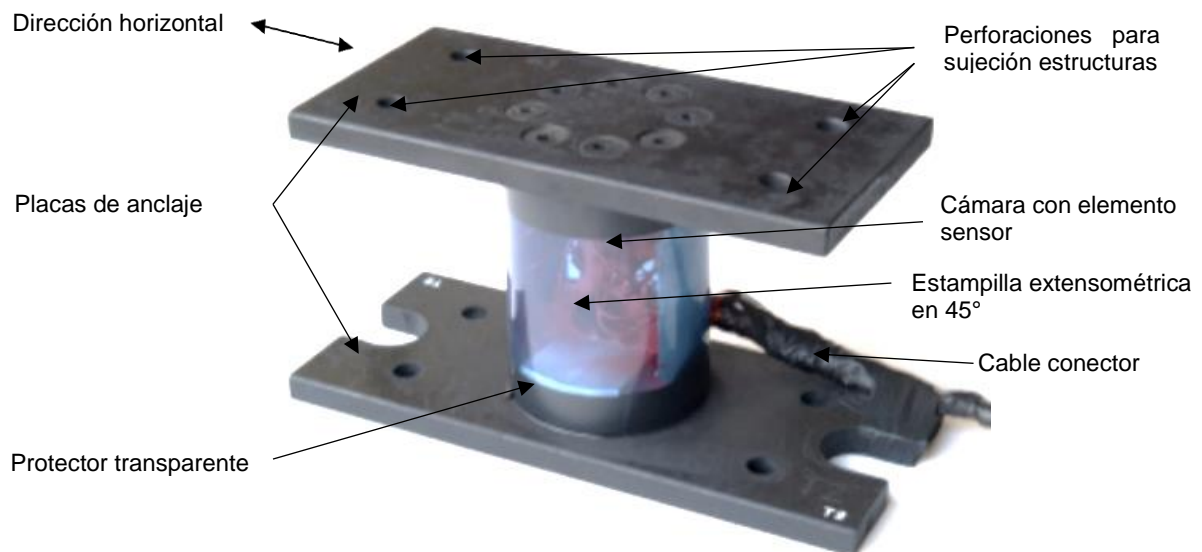


Figura 1-4: Transductor de fuerza elaborado en el Laboratorio Sismorresistente, con cuatro estampillas extensométricas instaladas en el interior de forma inclinada a 45° con respecto a la horizontal. Miranda, E. (2004).

Para la memoria de Olmos, E. (2016), con la colaboración del autor de este trabajo, se configuró un sistema de medición de corte basal que se utilizó en dos ensayos de modelos de marco a escala 1:10 como se muestra en la figura 1-3. En este sistema, cada una de las fundaciones de acero estaba sujeta a seis bielas birrotuladas. En la dirección de análisis “x”, el sistema proporcionó la medición del corte basal para cada columna en forma independiente, por medio de un transductor de fuerza ubicado en la base de la fundación de cada columna. En la figura 1-5 se muestra dos vistas del sistema de medición mencionado.

Las bielas birrotuladas utilizadas no habrían soportado las elevadas cargas verticales producidas por la masa adicional artificial necesaria en los modelos que vinieron después. Además, las celdas de carga que medían el corte basal tenían conexión rotulada sólo en un extremo, de modo que cualquier desalineación originaba un momento en la celda de carga produciendo errores en la medición. Por ello fue necesario desarrollar un nuevo sistema de uso general y que no tuviera estos inconvenientes, lo que originó el presente trabajo.

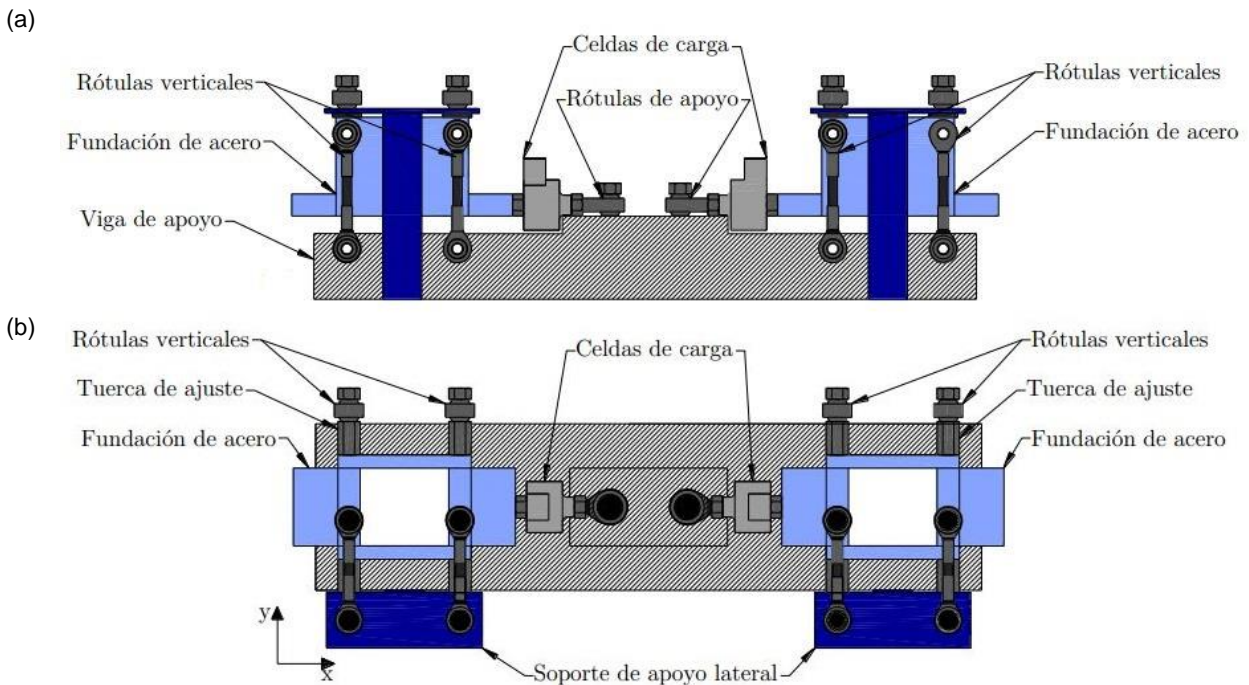


Figura 1-5: Base de medición de fuerza de corte para modelos de marcos sismorresistentes: (a) Vista lateral, (b) Vista superior. Olmos, E. (2016)

En estructuras como las ensayadas en el laboratorio, el corte basal se puede medir en forma indirecta a partir de la aceleración de la masa del modelo, obtenida por acelerómetros o por derivación numérica de las mediciones de transductores de desplazamiento o de velocidad que se hayan colocado en la estructura. En los ensayos desarrollados en esta memoria se utiliza esta forma indirecta para realizar cruces de datos y verificar que el corte y momento basal estén siendo determinados correctamente por el sistema directo desarrollado.

Para medir desplazamientos últimamente se han incorporado métodos de análisis de imágenes, donde se analiza cuadro a cuadro el ensayo haciendo un seguimiento de un target especial o detectando un área específica de píxeles. Con esta información se puede obtener desplazamiento, velocidad o aceleración. Sin embargo, para obtener datos útiles este método requiere considerable trabajo en la imagen, lo cual generalmente no permite resultados en tiempo real.

1.3 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo general contribuir a las facilidades para la investigación y la docencia disponibles para la comunidad académica, mejorando la instrumentalización de los ensayos que son susceptibles de realizarse en la mesa sísmica de la UTFSM.

Específicamente, se trata de diseñar y construir un sistema de medición directo del corte basal y momento volcante que se genera en los modelos a escala al ser sometidos a sollicitaciones basales o fuerzas laterales. El sistema debe medir el corte basal con poca interferencia de otras sollicitaciones, soportar elevadas cargas verticales y mantener su integridad estructural después de los ensayos. Además debe ser flexible para incorporar modificaciones futuras, ya sea por requerimientos de los ensayos o por nuevas tecnologías.

Se pretende además ampliar el rango y número de las estructuras que usualmente se ensayan en el Laboratorio incorporando numerosas piezas auxiliares que permiten un montaje y retiro más rápido de las experiencias realizadas, incluyendo casos con aislamiento sísmico.

En esta etapa el alcance se limita a ensayar especímenes contruidos con perfilería metálica a escala 1/10 sometidos a terremotos simulados. Algunas estructuras se probarán con aislación sísmica, con lo que se requiere medir las bajas fuerzas de corte que coexisten con las altas fuerzas verticales provenientes del peso propio y lastre del modelo. Además se quiere afinar las técnicas de construcción de los modelos metálicos a escala, lo cual es también otro objetivo de la memoria.

Por último, otro objetivo importante es renovar el material fílmico y fotográfico de los ensayos para ser ocupado en docencia.

1.4 ESQUEMA PRESENTACIÓN MEMORIA

A continuación se explica brevemente en qué consisten los siguientes capítulos:

Capítulo 2: Se presenta el diseño del sistema de medición, describiendo las diferentes distribuciones de las celdas de carga consideradas hasta llegar al diseño final, además de la selección de los componentes del sistema. En el anexo II se encuentran los Modelos 3D y planos de detalles de cada componente.

Capítulo 3: Se aborda la construcción y los diferentes ensambles logrados con la plataforma de medición, mencionando las ventajas y limitantes de cada uno de ellos. En complemento, en el anexo III se ubica el material fotográfico y fílmico de la secuencia constructiva del ensamble finalmente ocupado.

Capítulo 4: Se detallan diferentes pruebas para verificar el comportamiento del sistema. En el anexo IV se localizan los manuales de cada equipo utilizado en la obtención de datos, asimismo de los datos obtenidos de las distintas verificaciones realizadas.

Capítulo 5: Se detalla el diseño y montaje del ensayo de una estructura con aislamiento sísmico, también se hizo la descripción del modelo en estudio y su instrumentación, además de los factores de escala utilizados. En el anexo V se presentan las mediciones obtenidas por los transductores de fuerza y de desplazamiento utilizados en los cálculos de periodo y frecuencia de este modelo.

Capítulo 6: Se presentan resultados de los ensayos sísmicos del modelo descrito en el capítulo 5, específicamente registros de las celdas de carga de la plataforma y sensores de desplazamiento del modelo de perfilería metálica, el que fue sometido al registro de Viña del Mar del 03 de marzo de 1985 escalado. En el Anexo VI se encuentran los registros de las distintas celdas del sistema, fotografías y videos del ensayo.

Capítulo 7: Se presentan resultados de los ensayos de estructuras de perfilería metálica realizados con un curso de arquitectura, incluyendo casos con aislación sísmica. En el anexo VI se encuentran los resultados obtenidos de los ocho modelos ensayados.

Finalmente, en el capítulo 8 se resumen las conclusiones obtenidas en este estudio.

CAPITULO II

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Este capítulo trata del diseño de la plataforma de medición y explica las distintas distribuciones de celdas de carga que fueron consideradas, revisando los pasos y decisiones con los que se llegó al diseño final. Además, se explica el proceso de construcción de la plataforma con los distintos ensambles tentativos hasta llegar a la configuración definitiva que es utilizada en los ensayos. En la figura 2-1 se muestra el despiece del sistema definitivo sobre la mesa sísmica.

Los ensambles fueron pensados originalmente para ensayar modelos de estructuras planas, aunque algunos casos de modelos tridimensionales pueden ser estudiados pero con ciertas dificultades.

Como los ensayos que se desarrollan en la mesa sísmica pueden ser muy diferentes entre sí, desde un principio se pensó que la plataforma de medición debía consistir en una variedad de piezas intercambiables, lo cual permitiría al usuario disponer de los componentes de apoyos, celdas de carga y piezas de ajuste más adecuadas para cada caso.

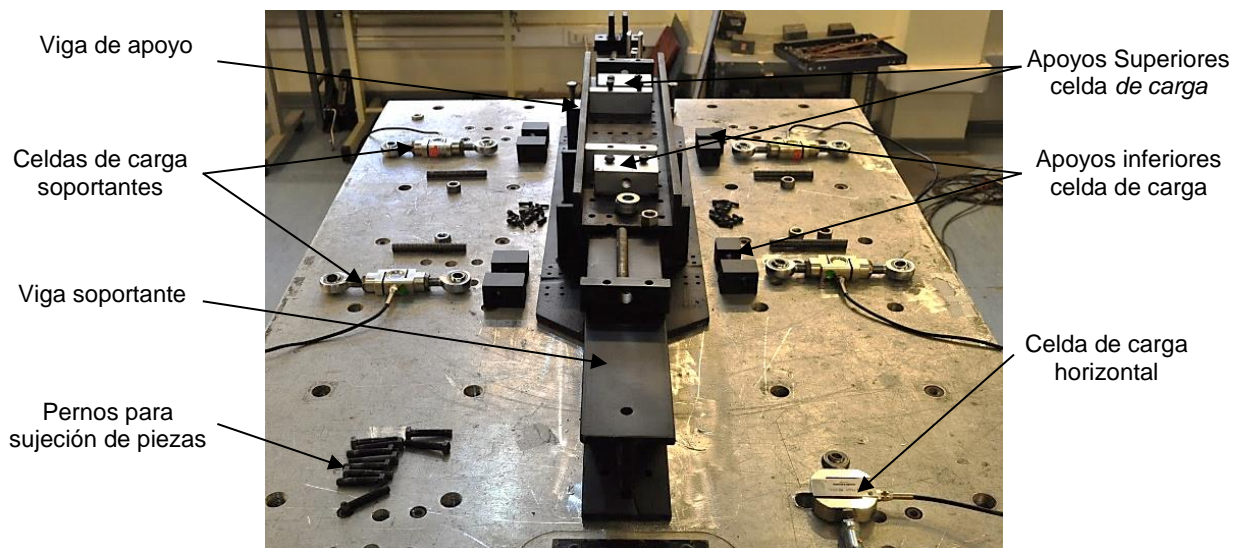


Figura 2-1: Despiece de los diferentes elementos de la plataforma de medición ubicados en la mesa de simulación de terremotos.

La capacidad vertical del sistema se encuentra limitada por las cuatro celdas de carga birrotuladas, que soportan la plataforma para la sujeción de los modelos. Se decidió que éstas debían elegirse para soportar en conjunto una carga máxima de 1500 [kgf]. Por otro lado, la capacidad máxima en la dirección del movimiento de la mesa sísmica depende de las celdas de carga que miden el corte basal. Para este efecto, se estimó que es práctico ocupar en el sistema celdas de carga de corte con capacidades entre 50 [kgf] y 1000 [kgf], siendo una de 200 [kgf] la que quedaría instalada finalmente.

El roce del sistema de medición se encuentra controlado por las diferentes rótulas utilizadas en la sujeción de las celdas de carga y es un factor determinante para validar los registros obtenidos, por ello se decidió probar diferentes rótulas de manera de obtener el mínimo roce al momento de medir fuerzas con el sistema durante los movimientos basales. Finalmente se consideró una fuerza de roce de tres kilogramos en total como aceptable para los ensayos.

2

2.1 ASPECTOS INICIALES

Inicialmente se discutieron diferentes opciones de distribución de bielas birrotuladas siguiendo la idea de restringir los seis grados de libertad que tiene todo cuerpo rígido. Los distintos diseños analizados se numeraron y se muestran a continuación en las figuras 2-2 a 2-6.

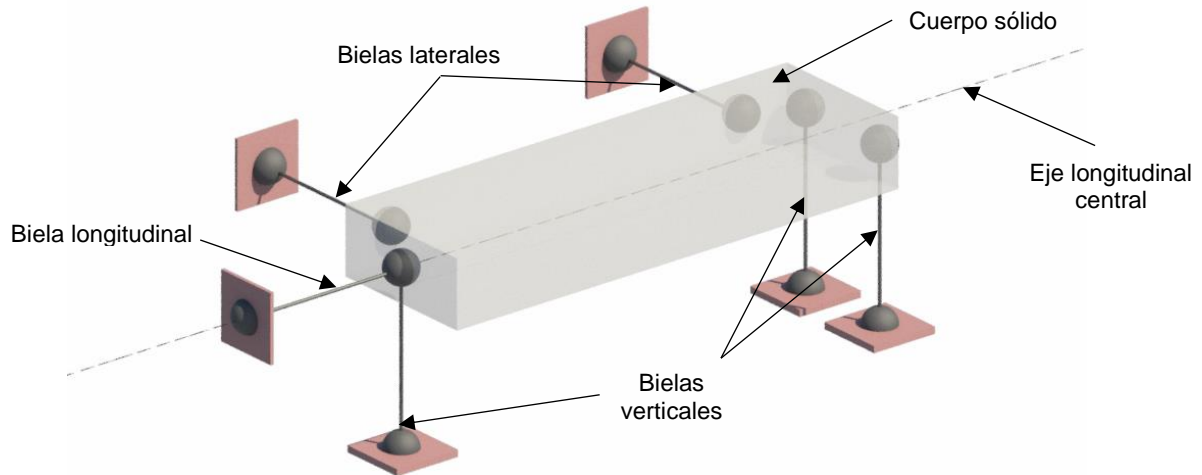


Figura 2-2: Diseño uno, *Fijación con seis bielas ortogonales*. Distribución lógica y estable, pero la sujeción de las bielas laterales requieren de estructura adicional difícil de situar, ya que no existe soporte en ese sector.

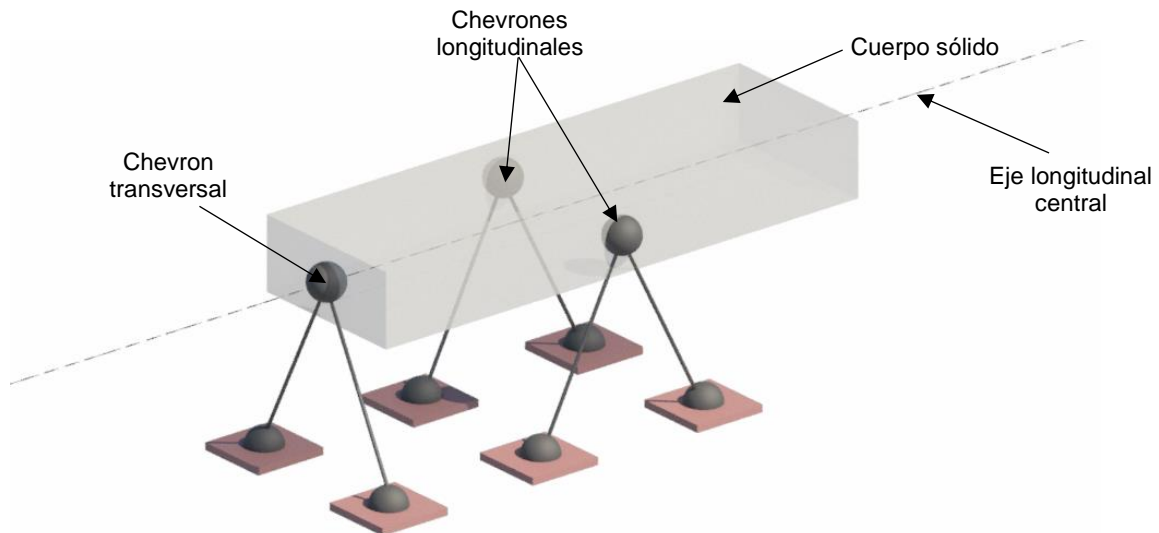


Figura 2-3: Diseño dos. *Fijación con dos arreglos de chevron longitudinales y uno transversal*. Distribución que tiende a ser inestable, dada la proximidad de los arrostros de chevron longitudinales, a menos que se les gire con respecto a la vertical, lo cual resulta complicado. El corte basal depende de cuatro mediciones interferidas por la carga vertical.

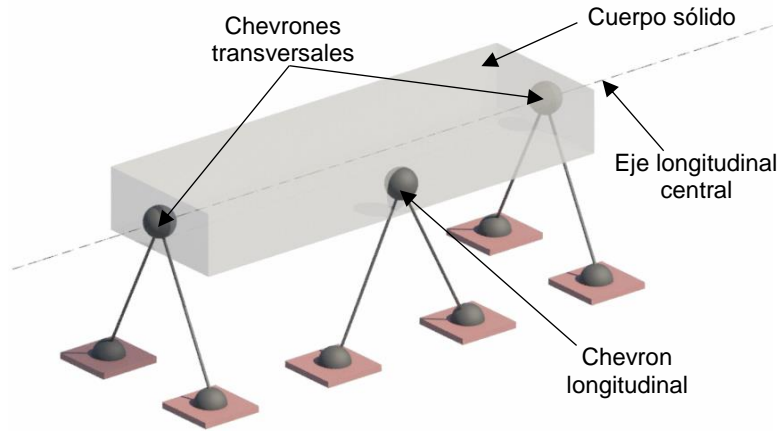


Figura 2-4: Diseño tres. *Fijación con un arreglo de chevron longitudinal y dos transversales.* Muy estable, pero la determinación del corte basal depende de dos mediciones interferidas por la carga vertical.

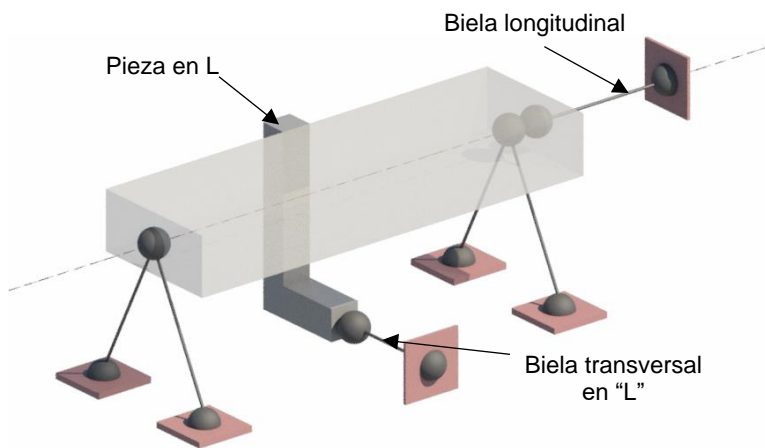


Figura 2-5: Diseño cuatro. *Fijación con dos arreglos de chevron transversales, una biela longitudinal y una biela transversal en "L".* Biela longitudinal localizada idealmente para determinar el corte. Esta configuración no se puede materializar por existir un atiesador en la viga de soporte en el plano transversal central donde iría la pieza L.

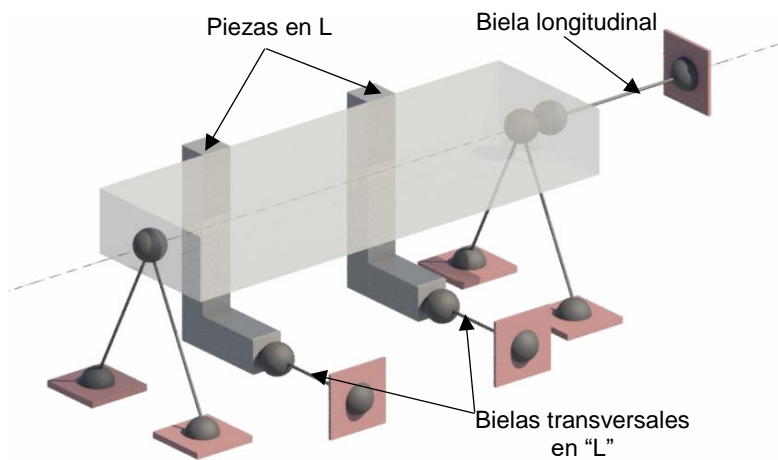


Figura 2-6: Diseño cinco. *Fijación con dos arreglos de chevron transversales, una biela longitudinal y dos bielas transversales en "L".* Se duplica la pieza en L para poder materializar la configuración anterior.

En el diseño tres, **fijación con un arreglo de chevron longitudinal y dos transversales**, el problema fue que trabajar con dos celdas de carga que miden el corte resultó más difícil de lo que se pensó. El hecho que las fuerzas verticales y horizontales se interfieran entre sí hace más difícil verificar que el sistema funcione correctamente en la etapa de montaje. Por otro lado, el arreglo con chevron longitudinal que mide el corte, al estar sometido permanentemente a la carga vertical, necesita ser de mayor capacidad, y consecuentemente la resolución de la medición se perjudica.

Dentro de los objetivos de esta memoria, el más importante es medir el corte basal con bajo error, por ello, considerando lo expuesto en el párrafo anterior se decidió destinar una celda exclusivamente para medir el corte, la que fue situada en un extremo del sistema coincidiendo con el eje longitudinal central, como se muestra en las figuras 2-5 y 2-6. Por ello, se decidió mantener los dos chevrones transversales del diseño tres, mostrado en la figura 2-4, ya que sus conexiones superiores coinciden con el eje longitudinal central y en consecuencia con la celda de carga de corte situada al extremo del sistema.

En el diseño cuatro, **fijación con dos arreglos de chevron transversales, una biela longitudinal y una biela transversal en "L"**, la incorporación de una pieza en "L" al sistema de medición cumple la función de restringir el giro en torno al eje longitudinal, dejando un pivote para el movimiento con una biela birrotulada. Sin embargo, no se pudo materializar debido a un atiesador existente en la viga soportante en el plano transversal central, el cual es inamovible. Por esta razón se crearon dos piezas en "L".

En el diseño cinco, **fijación con dos arreglos de chevron trasversales, una biela longitudinal y dos bielas transversales en "L"**, se utilizaron dos bielas "L" dejando una configuración hiperestática, lo que dificultó la medición del efecto del momento torsor a un eje vertical, pero esto es irrelevante para el caso.

2.2 COMPONENTES SELECCIONADOS

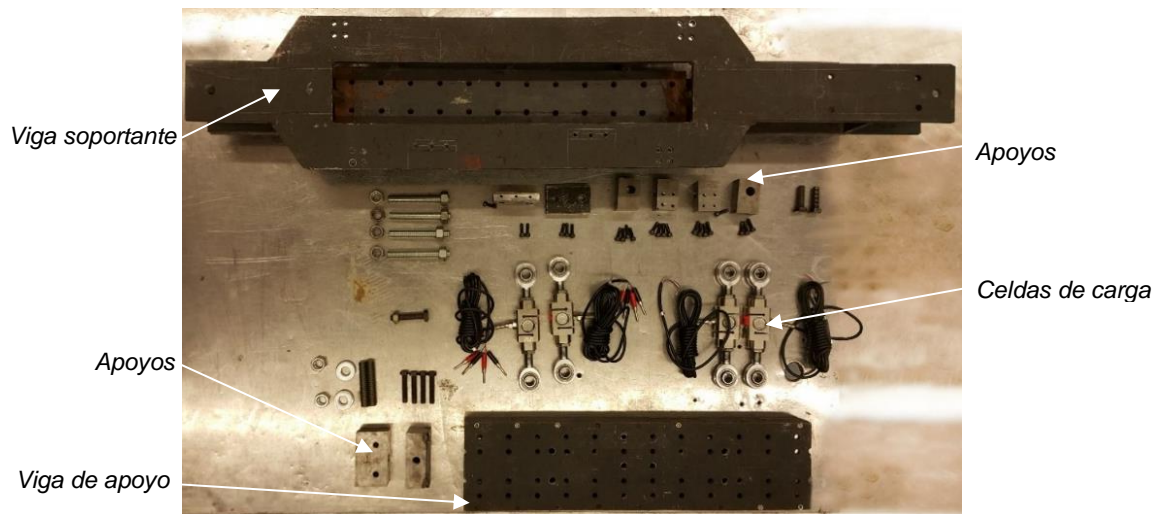


Figura 2-7: Fotografía de los componentes reutilizados del Laboratorio como la viga de soporte y viga de apoyo.

En realidad el primer diseño construido fue el diseño tres, **fijación con un arreglo de chevron longitudinal y dos transversales** mostrado en la figura 2-4, realizando mejoras durante su manufactura. Para los componentes del sistema se reutilizaron elementos sobrantes de otros ensayos con el fin de reducir costos, como se muestra en la figura 2-7. Las modificaciones necesarias a los componentes fueron hechas por el autor utilizando herramientas disponibles en el taller de modelos a escala, mientras que los trabajos que requerían más precisión se externalizaron.

A continuación se explica la función de cada componente del sistema.

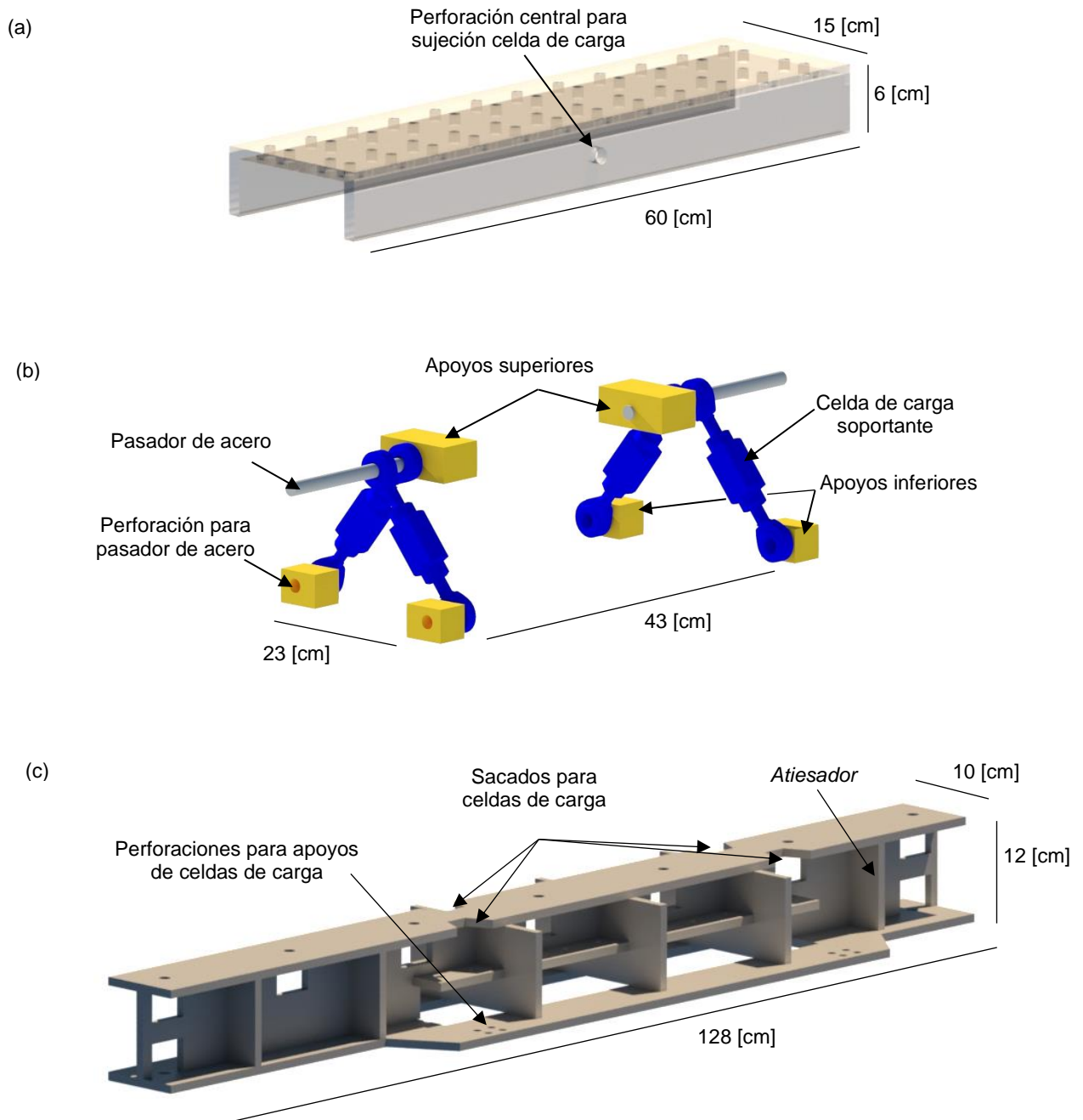


Figura 2-8: Vista isométrica de los principales componentes del sistema de medición: (a) **viga de apoyo**. La matriz de perforaciones en su parte superior es de 3/8", la que permite fijar variados especímenes. (b) **celdas de carga y apoyos**. Los pasadores de acero, los cuales tienen un diámetro de 16 [mm], se fijan en los apoyos. (c) **viga de soporte**, es del tipo doble T completamente soldada, con seis atiesadores distanciados a 20 [cm]. Se realizaron cortes y perforaciones en sus extremos para la sujeción a la mesa sísmica, además de perforaciones para los apoyos de las celdas de carga.

2.2.1 Viga de soporte

Para anclar la plataforma de medición sobre la mesa sísmica se aprovechó una viga de acero que se utilizaba en el mismo lugar para dar rigidez a las bases de los modelos de mayor tamaño. Con el fin de adaptarla al nuevo uso se hicieron variadas perforaciones y sacados para lograr la sujeción de los apoyos de las celdas de carga y fijación de la viga de soporte sobre la mesa sísmica. La figura 2-8 (c) muestra esta viga en su configuración final.

2.2.2 Viga de apoyo

Sobre la viga de soporte, o mejor dicho, sobre las celdas de carga que se colocan sobre ella y que se describen en la sección 2.2.3, va instalada una segunda viga con sección de canal invertida, como se muestra en la figura 2-8 (a). Ésta permite conectar todo tipo de modelos por tener una matriz de perforaciones roscadas. Al igual que la viga de soporte, es material reutilizado del Laboratorio. Su peso propio es de 15 [kg].

2.2.3 Celdas de carga y apoyos

Así como estas celdas son precisas, son también de costo elevado, por lo que varias de ellas se obtuvieron como préstamo. Para el caso de esta memoria se utilizaron cinco celdas de carga a lo largo del proceso de diseño, desarrollo y ensayos del sistema de medición, las que se describen en la figura 2-9. Se fabricaron piezas especiales para fijar las rótulas de las celdas de carga a las vigas las que fueron construidas de acero en forma de prisma rectangular con perforaciones roscadas, ya que debían soportar elevadas cargas en todas direcciones.

Al momento de adquirir las rótulas para las celdas de carga se encontró que había unas que debían usarse con lubricante mientras que otras tenían un recubrimiento de teflón y eran libres de mantención. Se probaron ambas rótulas en el sistema de medición y después de un tiempo de uso se concluyó que las lubricadas funcionaban mejor que las otras, manteniendo un efecto de roce más bajo.

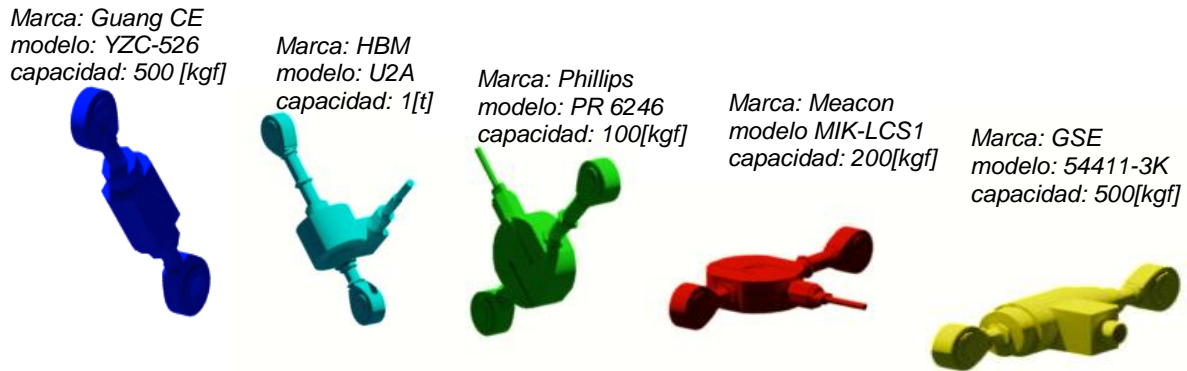


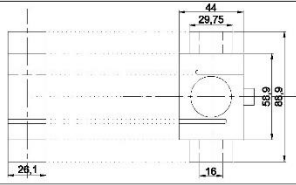
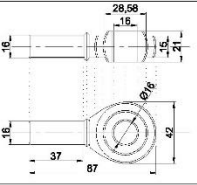
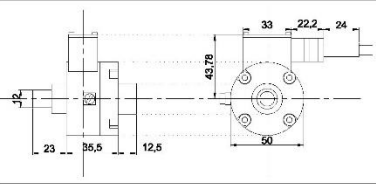
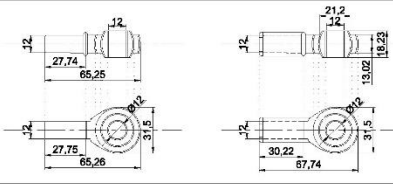
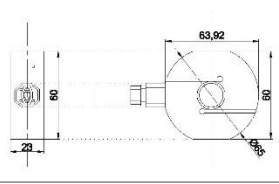
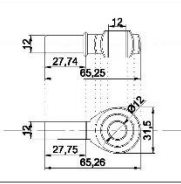
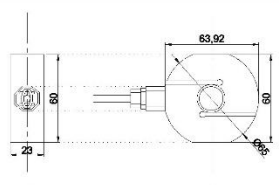
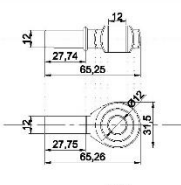
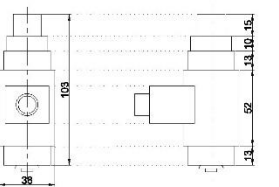
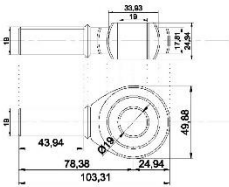
Figura 2-9: Celdas de carga utilizadas en esta memoria para los diferentes ensambles construidos.

Los apoyos de las diferentes celdas de carga que se muestran en la figura 2-8 (b) de color amarillo, se sujetaron de forma apernada. Específicamente, los apoyos inferiores se conectaron a la viga de soporte con sujeciones de $\frac{1}{4}$ ", mientras que, los apoyos superiores se conectaron a la viga de apoyo con sujeciones de $\frac{1}{2}$ ". Este último tiene una perforación central roscada para conectar un pasador, el que sirve de sujeción para las celdas de carga soportantes.

2.3 PLANOS DE DISEÑO

En la tabla 2-1 se presenta un cuadro de medidas de los transductores de fuerza y rótulas utilizadas en el sistema de medición.

Tabla 2-1: Dimensiones de celdas de carga y sus rótulas, ocupadas en esta memoria.

CELDAS DE CARGA	ESQUEMAS DE CELDAS DE CARGA	ROTULAS
CELDA GUANG CE TIPO S MODELO YZC-526 ESC 1:5		
CELDA DE CARGA HBM TIPO BOTON MODELO U2A ESC 1:5		
CELDA DE CARGA TIPO S PHILLIPS ESC 1:5		
CELDA DE CARGA TIPO S MAECON ESC 1:5		
CELDA DE CARGA GSE tipo cilindro modelo 155411-102 ESC 1:5		

2.4 CONSTRUCCIÓN DE ENSAMBLES

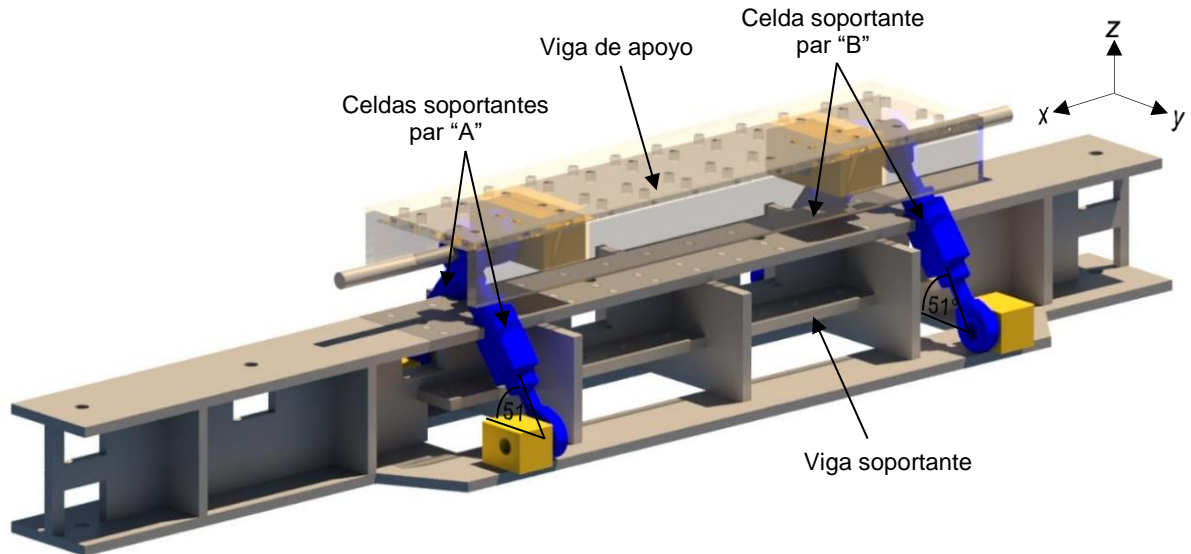


Figura 2-10: Isométrica del **ensamble base** incluyendo las celdas de carga utilizadas, descritas en la sección 2.2.3

Las diferentes configuraciones o ensambles del sistema se originaron a partir del ensamble base que muestra la figura 2-10. Este tiene cuatro celdas de carga soportantes que resisten la carga vertical y restringen los movimientos verticales, laterales y giro en torno a "z", dejando libre la dirección horizontal (dirección "x") y el giro en torno al eje "x", de la viga de apoyo. Las direcciones libres fueron restringidas posteriormente por otros elementos de medición.

El par de celdas de carga inclinadas que miden el corte basal fueron instaladas en forma de chevron con una inclinación de 45° respecto a la horizontal y se ubicaron inicialmente a un costado de la viga de apoyo dando origen al ensamble I, como se muestra en la figura 2-11.

El ensamble I mostró ser muy estable bajo condiciones de cargas particulares. Sin embargo, el par de celdas de carga utilizadas para medir el corte, que al mismo tiempo deben soportar importantes cargas verticales, tuvieron que ser dimensionadas con una capacidad bastante alta, lo que afectó su resolución para medir pequeñas fuerzas de corte.

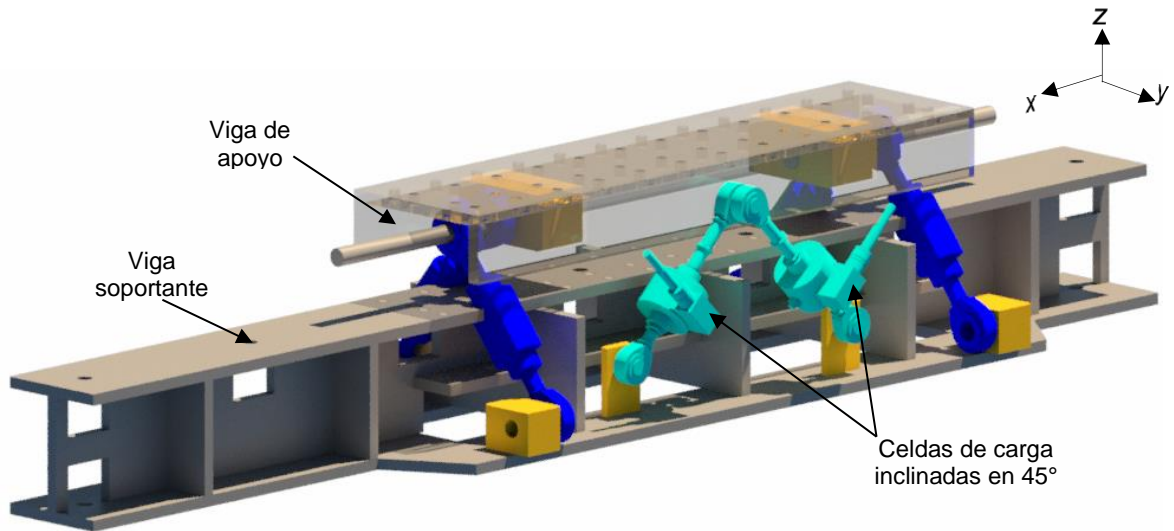


Figura 2-11: Isométrica del *ensamble I*. Las celdas de carga inclinadas en 45° con respecto a la horizontal tienen un distanciamiento entre rótulas de 18.7 [cm]. Éstas restringen el desplazamiento y giro en “x”, y soportan un porcentaje de la carga vertical.

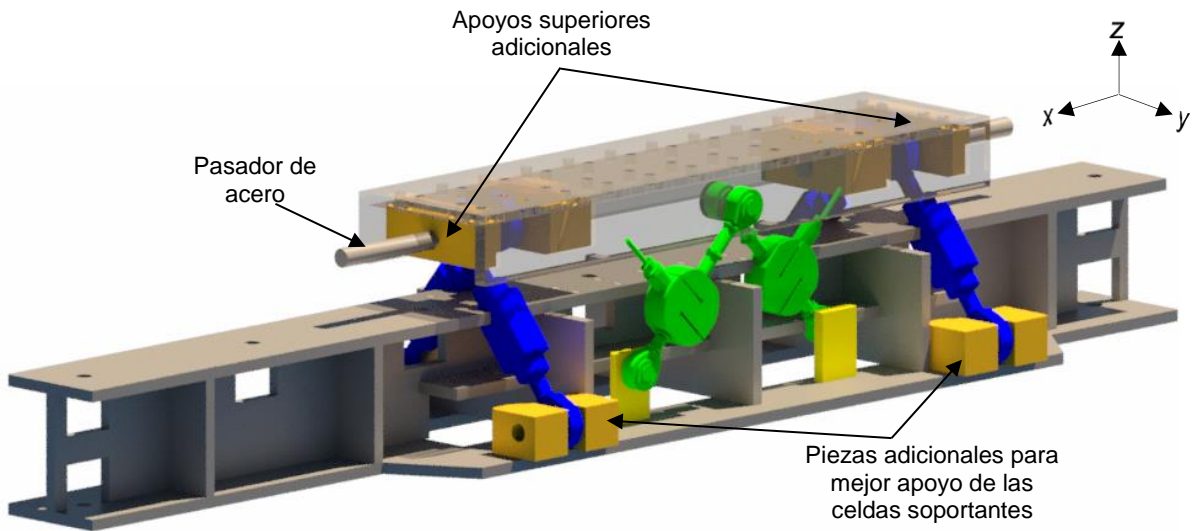


Figura 2-12: Isométrica del *ensamble II*. Las celdas de corte HBM fueron remplazadas por celdas Phillips modelo PR 6246/12N. Se mantuvo la inclinación de 45° con respecto a la horizontal y su distanciamiento entre rótulas.

Se decidió entonces reemplazar las celdas de carga inclinadas que miden el corte basal del ensamble I por unas de menor capacidad de carga y mayor sensibilidad, las que son más adecuadas para medir la fuerza de corte basal desarrolladas por los modelos, trabajando en su rango intermedio. Adicionalmente, se desplazó una de las celdas de carga inclinadas desde el exterior de la viga de apoyo hacia el interior de ésta, para resguardarla ante eventuales golpes por colapsos estructurales. Por otro lado, se aumentó la rigidez vertical de todos los pasadores de acero con sujeciones en voladizo de las celdas de carga soportantes a otras simplemente apoyadas.

En la figura 2-12 se muestran las nuevas celdas de carga inclinadas instaladas que originaron el ensamble II. Este ensamble, resultó ideal para medir la fuerza de corte basal en ensayos de estructuras planas con una masa adicional de hasta 150 [kg] y que requieran un análisis unidireccional. Igualmente fue utilizado en ensayos de estructuras tridimensionales con aislación sísmica con masa distribuida simétricamente obteniendo resultados satisfactorios. Sin embargo, al momento de realizar el ensayo sin aislación sísmica con masa asimétrica no se previó la carga de impacto provocada por el colapso de las estructuras y su vuelco fuera del plano de análisis, lo que provocó daño a las celdas de carga inclinadas. Esto se abordará en detalle en el capítulo IV, Ensayo de Preparación.

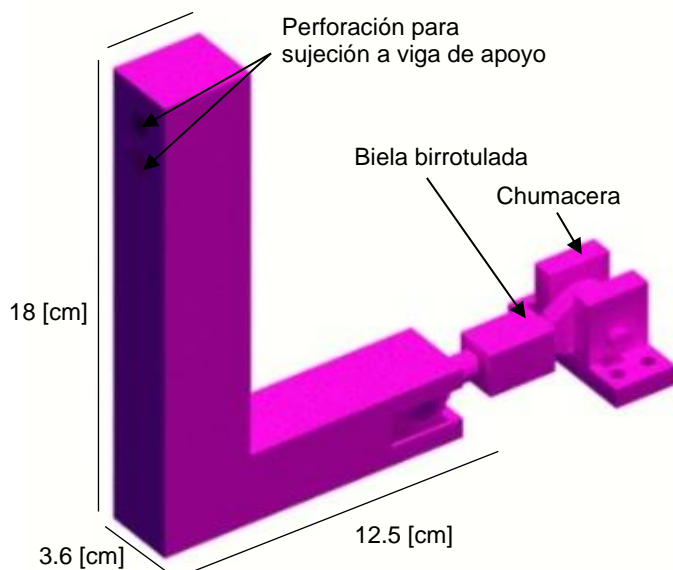


Figura 2-13: Isométrica **pieza en "L"**. La chumacera tiene perforaciones para ser fijada a la viga de apoyo.

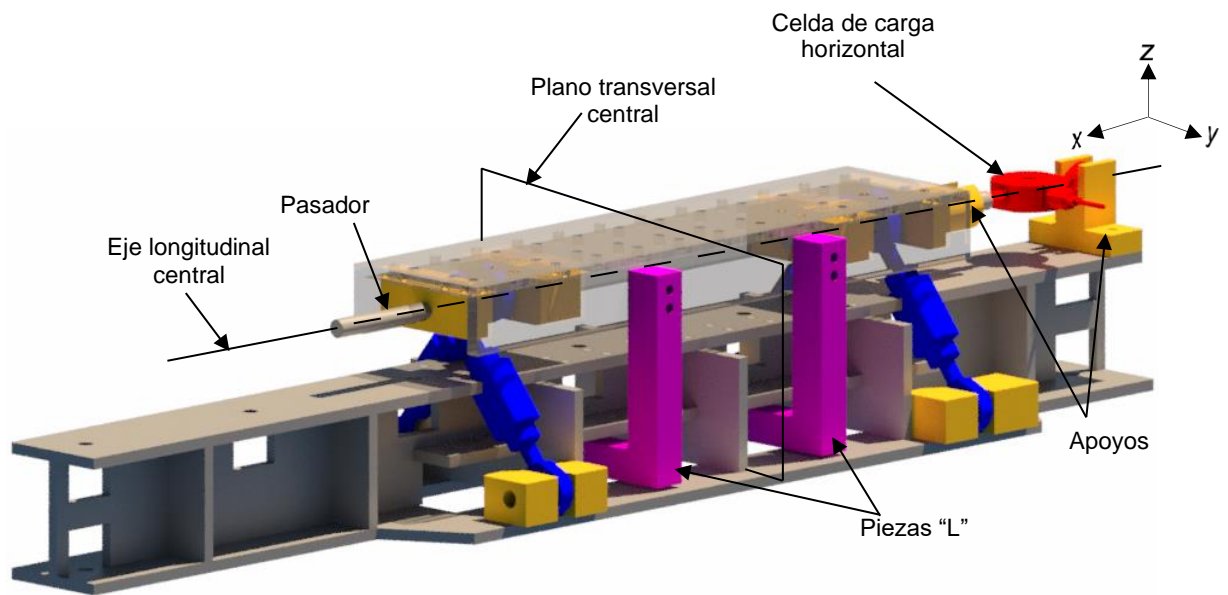


Figura 2-14: Isométrica *ensamble III*. Se utilizó una celda de carga marca Meacon tipo S con capacidad de 200 [kg] para la medición del corte basal. Las piezas en "L" se encuentran a 10 [cm] del plano transversal central.

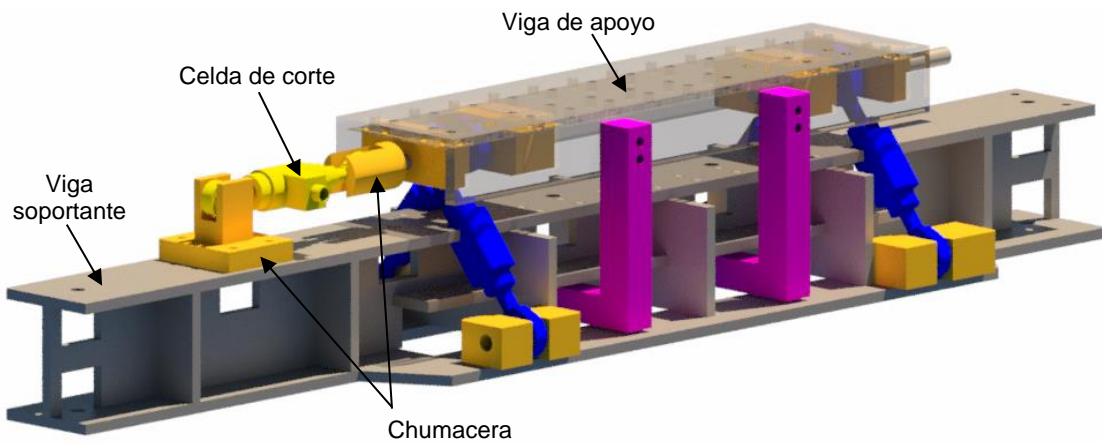


Figura 2-15: Isométrica *ensamble IV*. Celda de carga GSE INC. con capacidad 500 [kgf] de fabricación estadounidense.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se retiró el par de celdas inclinadas en 45° del ensamble II y se colocó una celda de carga horizontal a un extremo del sistema de medición coincidiendo con el eje longitudinal central restringiendo el desplazamiento en "x". Se incorporaron además dos piezas en "L" para evitar el giro en torno a "x" de la viga de apoyo, una de ellas se describe en la figura 2-13. Esta configuración dio origen al ensamble III, como muestra la figura 2-14.

El ensamble III tuvo capacidad para soportar elevadas cargas verticales incluso con distribución de masa asimétrica, tolerando una carga máxima en los modelos de 500 [kgf] y resistiendo la carga de impacto repetidas veces. La principal ventaja de este ensamble es que se logra medir corte con mínima interferencia de otras fuerzas, ideal para estructuras tridimensionales con y sin aislación sísmica. Además, la celda de carga horizontal se ubica sobre la plataforma sin restringir más movimientos que el del eje "x", logrando un acceso directo y de fácil recambio.

Se observó en los distintos ensayos realizados que la celda de carga horizontal del ensamble III sobrepasaba su capacidad máxima en estructuras con lastre elevado. Sin embargo esto fue por solo centésimas de segundo, por lo que no tuvo daño.

Para optimizar la plataforma de medición y cuidar los componentes del sistema, se cambió la celda de carga horizontal que mide el corte por una de mayor capacidad. Por problemas de espacio se decidió instalar esta celda en el extremo contrario de la celda de carga horizontal del ensamble III, lo que dio origen al ensamble IV como muestra la figura 2-15. Este ensamble IV fue diseñado y construido aunque no probado en ensayos.

A continuación, en la figura 2-16 se presenta fotografías de los ensamble elaborados.

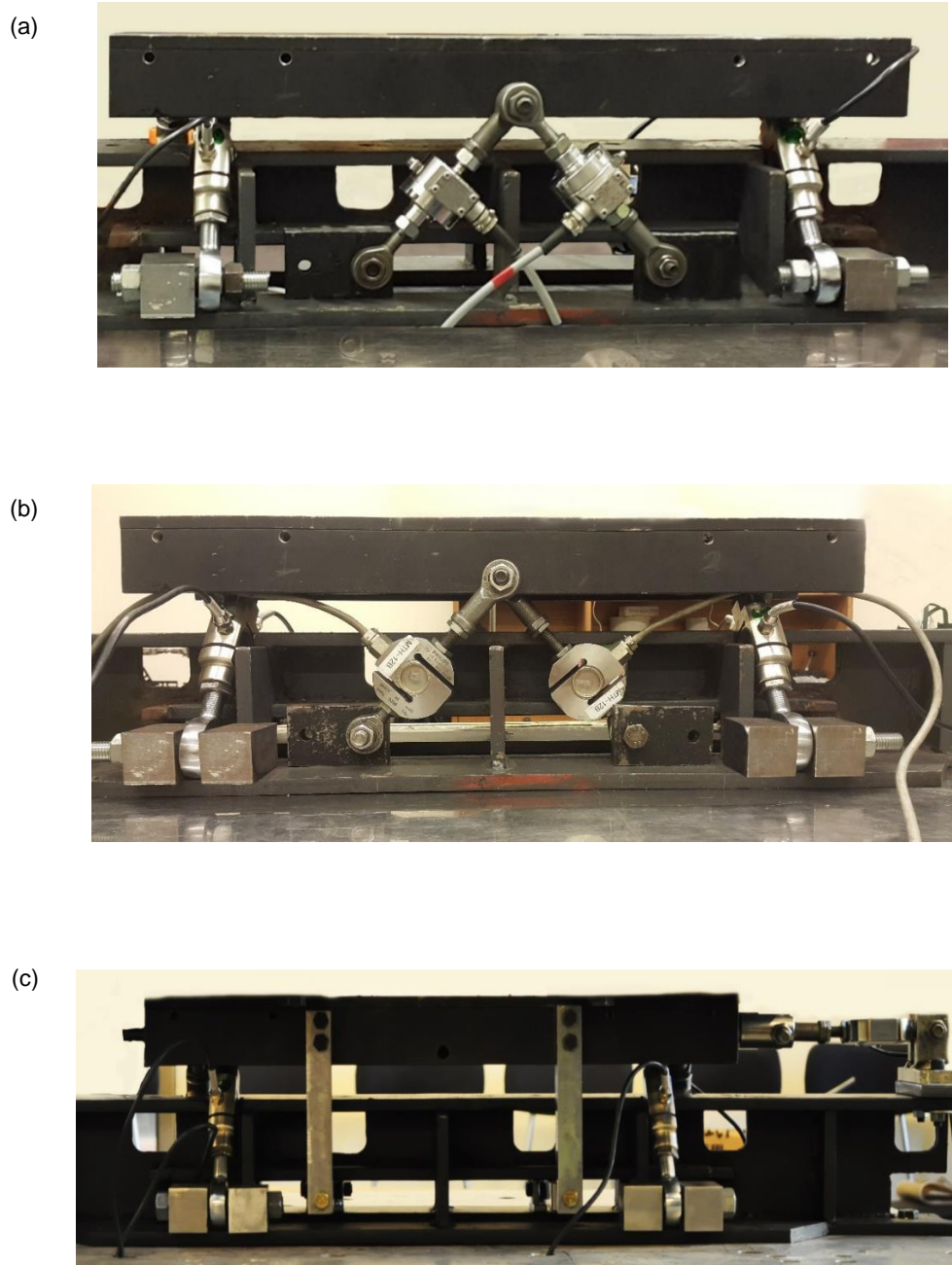


Figura 2-16: Fotografías de los diferentes sistemas de medición logrados. (a) **Ensamble I.** (b) **Ensamble II**
(c) **Ensamble III.**

CAPITULO III

3. PIEZAS AUXILIARES PARA REALIZACIÓN DE ENSAYOS

Las piezas auxiliares como la base de fundación, placas soportantes y base soportante, tienen la función de dar soporte a los modelos ensayados. Estas piezas fueron desarrolladas por otros memoristas y se adaptaron para ser utilizados. Las bases de fundación generalmente son utilizadas en los ensayos de modelo de marcos planos hechos de microhormigón armado a escala 1:10, además de modelos de columna del mismo material. Las placas soportantes fueron utilizadas para dar soporte a los ensayos de marcos tridimensionales hechos de microhormigón. La base soportante fue utilizada para estructuras tridimensionales de perfilería metálica.

A continuación, en la figura 3-1 se dan ejemplos de ensayos usuales en este laboratorio.

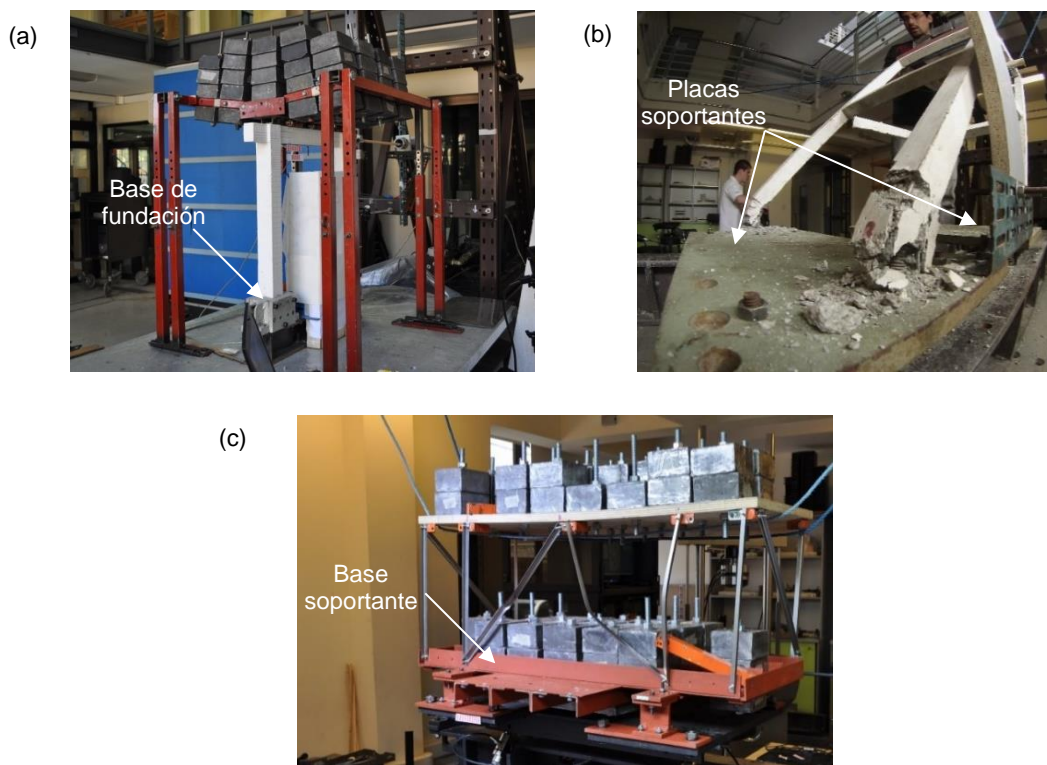


Figura 3-1: Diversos ensayos realizados en la mesa símica donde se aprecian: (a) **Bases de fundación** (b) **Placas soportantes** (c) **Base soportante**.

2.5 BASE DE FUNDACIÓN

Las bases de fundación tienen como función otorgar soporte a los modelos de marcos sismorresistentes. Estas se adaptaron para ser apernadas a las placas soportantes y trabajar junto al sistema de medición. Cada base de fundación tiene un peso de 5.5 [kg] y existen dos unidades disponibles en el Laboratorio. En la figura 3-2 se describe una de ellas.

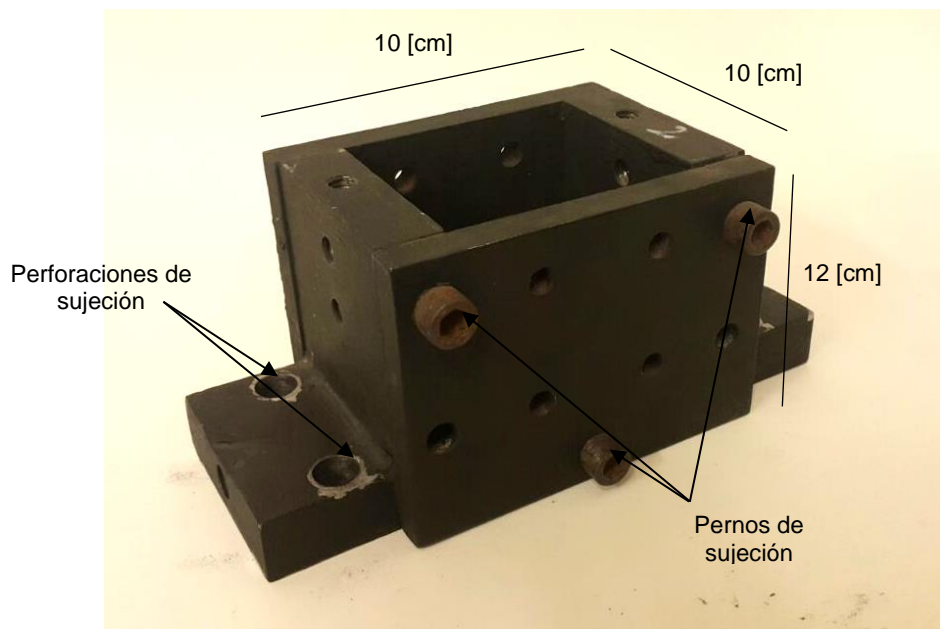


Figura 3-2: Base de fundación para modelos de marcos sismorresistente. Son desarmables para facilitar el desmolde de la fundación posterior al ensayo. Se sujetan a la placa soportante a través de pernos 3/8".

2.6 PLACAS SOPORTANTES

Las placas soportantes amplían la plataforma de medición en las direcciones “x” e “y”, en realidad, son piezas reutilizadas de otros ensayos. Éstas son dos y cuentan con varias perforaciones para apernar diferentes otras piezas. Cada una de las placas tiene un peso de 13 [kg]. En la figura 3-2 se describen las placas soportantes sobre la viga de apoyo con sus dimensiones.



Figura 3-3: Perspectiva de las dos **placas soportantes** apernadas a la viga de apoyo.

2.7 BASE SOPORTANTE

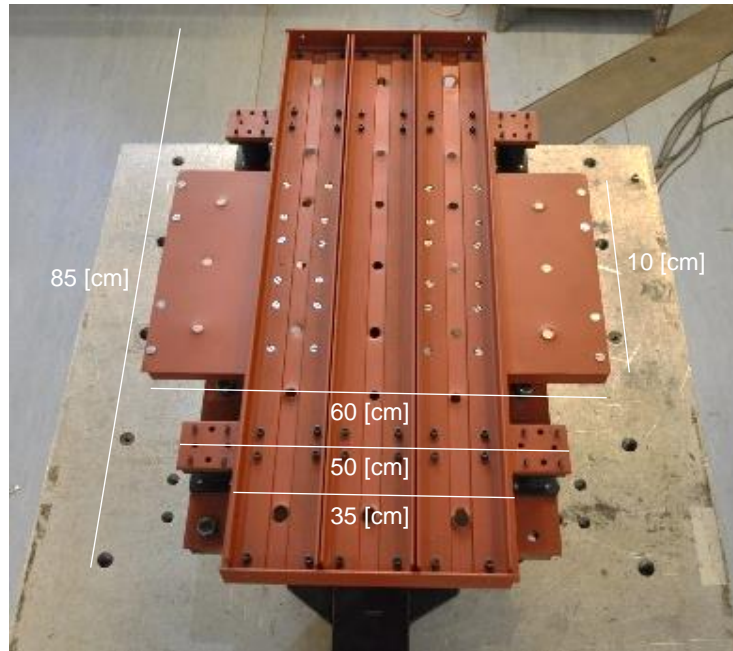


Figura 3-4: La Base soportante se encuentra unida a cuatro aisladores elastoméricos. Se construyó con perfiles ángulos 40x40x4 [mm]. Su diseño forma una parrilla con perforaciones de ½" para situar peso con una capacidad de 81 plomos (370 [kg]).

La base soportante como las placas soportantes, amplían la plataforma de medición y su uso principal es como fundación de edificios aislados al permitir la fijación segura de los bloques de plomo necesarios para que el sistema de aislación funcione. Tiene un peso propio de 32 [kg]. La base soportante se desarrolló en conjunto con Sepúlveda, J. (2017), interesado en medir el corte basal que se genera en estructuras con sistemas de aislación sísmica. En la figura 3-4 se muestra una vista en planta de la pieza auxiliar mencionada.

El sistema está diseñado para que los aisladores puedan sustituirse rápidamente por fundaciones rígidas. En la figura 3-5 se puede apreciar una vista lateral del sistema de aislación montado sobre la plataforma previo a la construcción de un edificio a escala.

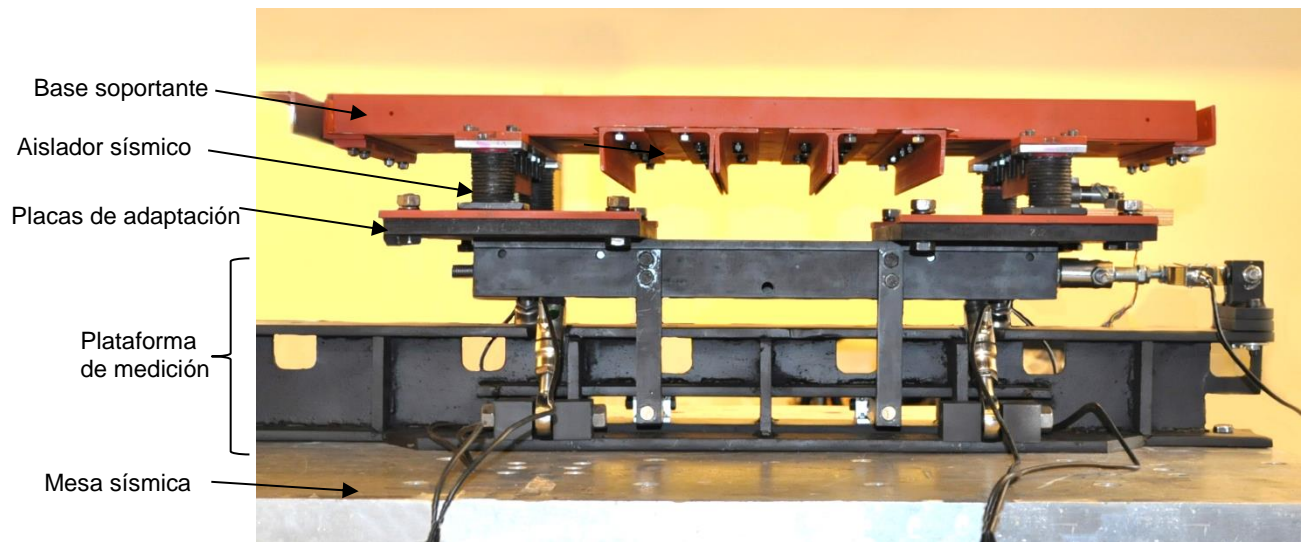


Figura 3-5: Sistema de medición con base para edificios aislados van conectados por su parte superior a la base soportante y en su parte inferior a la plataforma a través de las placas de adaptación. El sistema más la plataforma tienen un peso propio de 73 [kg]

Los aisladores elastoméricos elaborados por Sepúlveda, J. (2017), son muy flexibles en la dirección horizontal pero muy rígidos en la dirección vertical. Se encuentran contruidos de caucho natural con láminas de metal y con una perforación en su interior. Las láminas de metal cumplen la función de dar rigidez vertical al sistema y la perforación central de reducir el área transversal para una menor rigidez horizontal. Sepúlveda construyó ocho aisladores elastoméricos para el Laboratorio, uno de ellos se muestra en la figura 3-6.

Las fundaciones rígidas reemplazan los aisladores permitiendo la unión solidaria entre la base soportante y la plataforma de medición y en consecuencia a la mesa sísmica. En la figura 3-7 se observa uno de ellos. Existen cuatro disponibles en el Laboratorio.

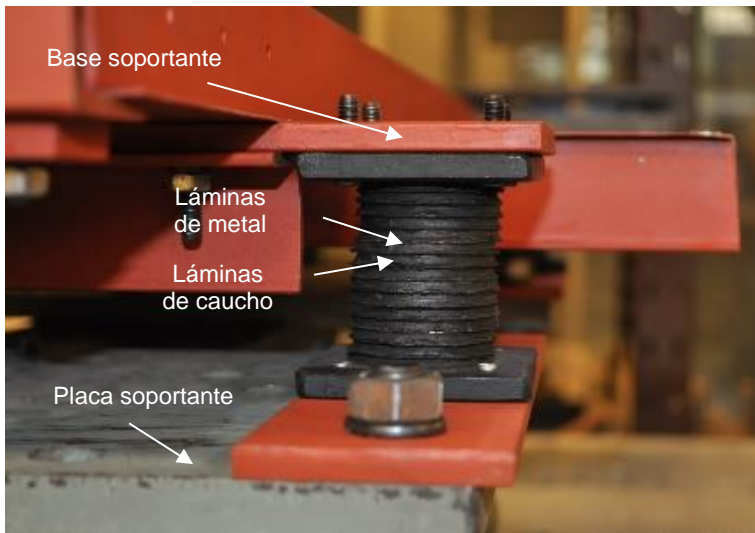


Figura 3-6: Aislador elastomérico anular con conexiones apornadas de 3/8". En su parte superior se conecta a la base soportante y la inferior a una pletina de acero que se una a la placa soportante.

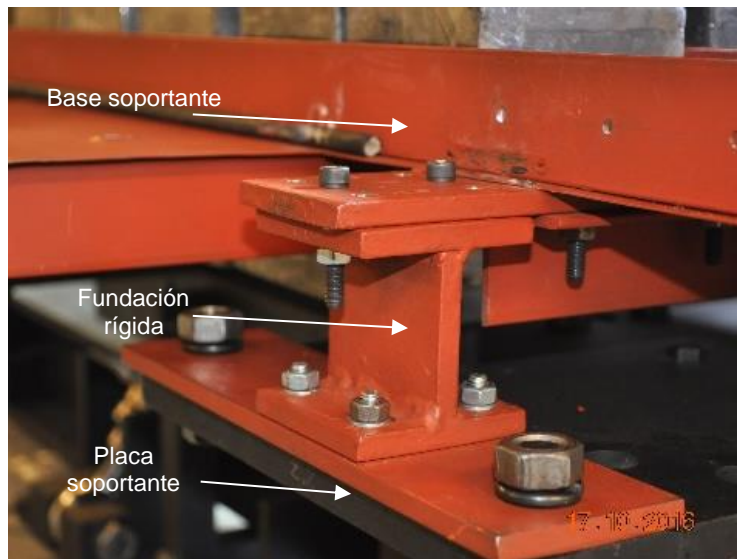


Figura 3-7: Fundación rígida que reemplaza un aislador. Tiene un diseño en forma de doble T, va conectado por pernos de 3/8", en su parte superior a la base soportante y en su parte inferior a las placas soportantes.

CAPITULO IV:

4. ENSAYOS DE PREPARACIÓN

A continuación, se presentan las pruebas realizadas directamente al sistema de medición para verificar que el corte y momento estén siendo correctamente medidos. Con el sistema instalado sobre la mesa sísmica se realizaron múltiples ensayos de diversas estructuras con el correspondiente lastre, sometidas a diversos tipos de movimiento basal, como también a fuerzas externas directamente sobre el modelo. El objetivo fue principalmente cuantificar la influencia del roce entre las piezas móviles del sistema y el efecto de la inercia de la masa de la plataforma, los cuales interfieren en la medición del corte basal y de las otras variables de interés.

En un principio se realizaron pruebas al ensamble II hasta ocurrido un desperfecto en las celdas de cargas inclinadas en 45° encargadas de registrar el corte basal, lo que dio pie a la construcción del ensamble III con el que se trabajó finalmente.

3

3.1 MESA SÍSMICA Y EQUIPAMIENTO

La mesa sísmica del Laboratorio de Ing. Sismorresistente es una plataforma de aluminio movida por un servo-actuador hidráulico MTS 244 conectado mediante mangueras a la unidad de poder hidráulico MTS Silent Flo 505/30. Todo el conjunto es operado por medio de un controlador MTS 407 comandado por el computador en que se programa el movimiento de la mesa. Ésta sólo puede efectuar movimientos horizontales en la dirección "x".

A continuación, en la figura 4-1 se presenta un esquema de los equipos utilizados y sus conexiones.

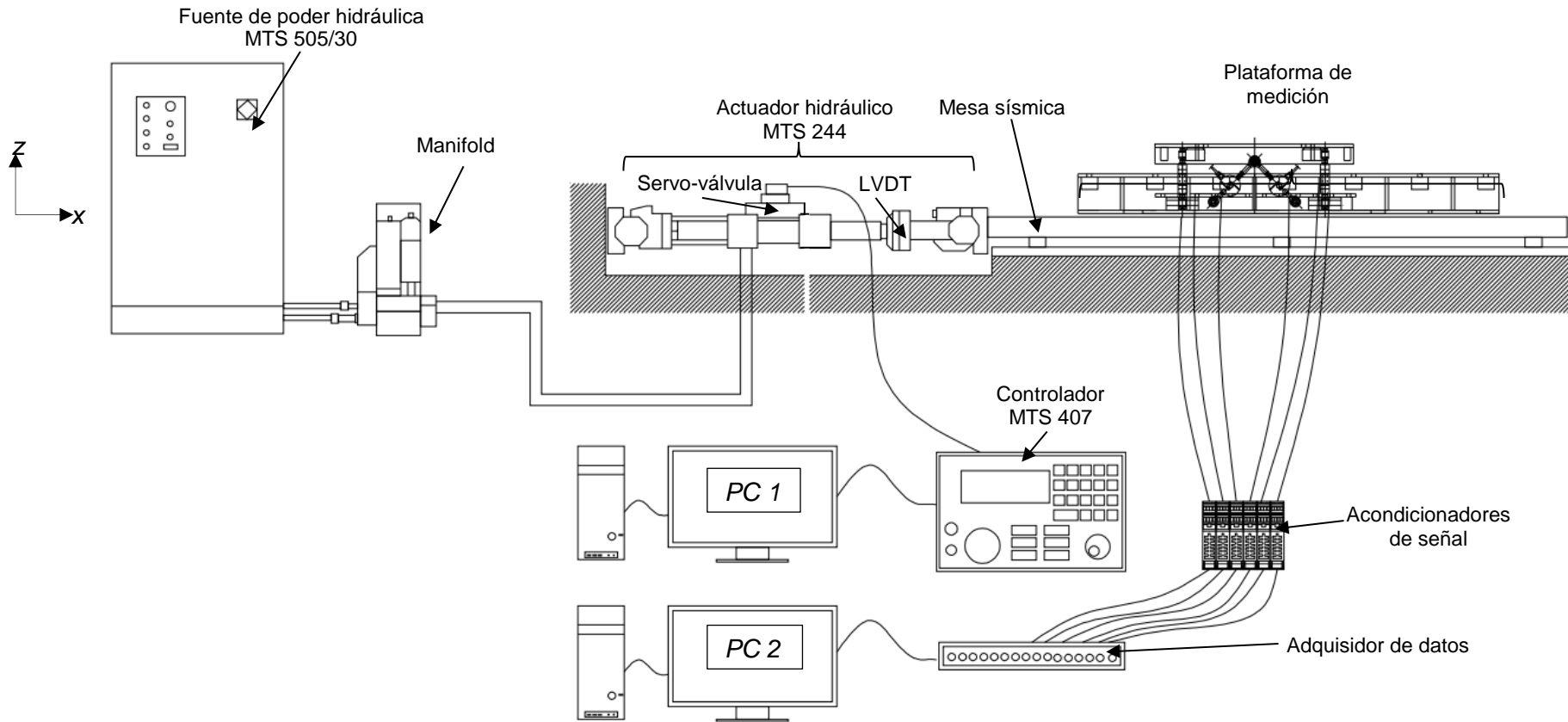


Figura 4-1: Esquema de la mesa sísmica del Laboratorio incluyendo la plataforma de medición desarrollada en esta memoria y equipos usados en la adquisición de datos. El computador PC 1 entrega el desplazamiento programado al controlador MTS 407, el cual maneja el actuador MTS 244 que se encarga de mover la mesa sísmica. El computador PC 2 toma los registros del adquisidor de datos, el cual se encuentra conectado a los acondicionadores de señal y este a las celdas de carga del sistema de medición.

3.1.1 Acondicionadores de señal

Los acondicionadores de señal MCR para strain gages, modelo PN5603007, se usan también para mediciones con celdas de carga. Convierten la señal de muy bajo nivel proveniente de las estampillas extensométricas que hay en el interior de la celda de carga, a una señal estándar en el rango de ± 10 [V]. En la figura 4-2 se observan los cinco acondicionadores de señal que se utilizaron en la plataforma de medición. Estos fueron facilitados por el profesor guía.

El interruptor de ganancia alojado al interior de cada acondicionador de señal se utilizó con una amplificación de 1000. En algunos casos la amplificación del acondicionador de la celda de carga horizontal que mide el corte se tuvo que reducir a 350 por salirse del rango.

3.1.2 Adquisidor de datos y software

Las mediciones de las celdas de carga, acelerómetros y transductores de desplazamiento se hicieron llegar a los acondicionadores de señal donde se amplificaron e ingresaron al sistema de adquisición de datos MCC 1608FS. Aquí la señal fue digitalizada y enviada al computador a través de una interfaz USB. El software TracerDAQ, con la opción de Strip Chart, se utilizó para graficar los valores medidos en tiempo real.

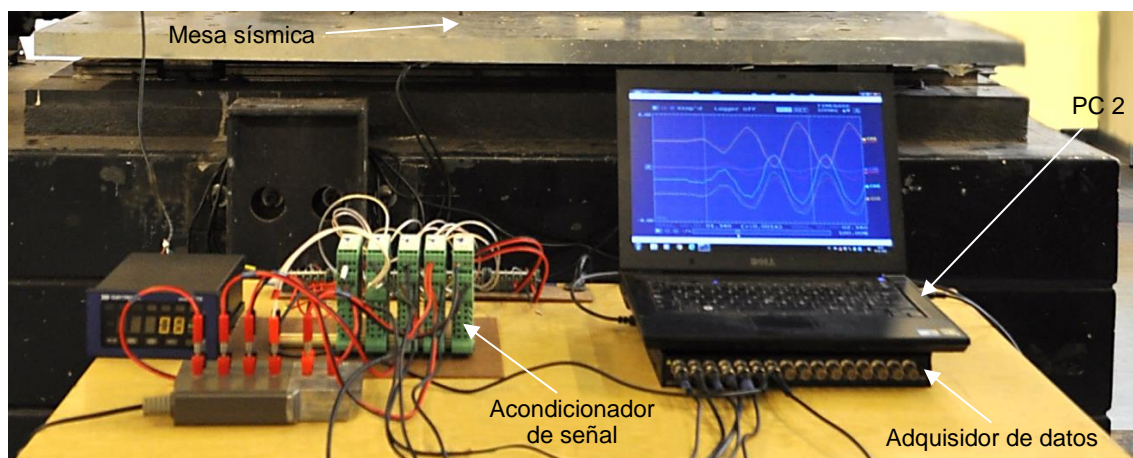


Figura 4-2: Mesa de equipamiento del sistema de medición en el Laboratorio Sismorresistente. Se observa los acondicionadores de señal y el sistema de adquisición de datos.

3.1.3 Celdas de carga para corte basal y momento volcante

Como se dijo, en esta etapa el corte basal fue determinado de las lecturas de las dos celdas de carga orientadas en la dirección del movimiento. Estas se encuentran inclinadas en 45° (figura 4-3 (a)). Posteriormente, como se explica en 4.2.2, la medición del corte basal se hizo con una celda de carga horizontal dedicada. Ésta se muestra en la figura 4-3 (b).

El momento volcante se obtuvo a través de las celdas de carga soportantes, las cuales miden la carga vertical. El momento volcante se calculó en el centro del sistema de medición, a la altura del eje longitudinal central. En la figura 4-3 (c) se muestra un par de las celdas de carga soportantes.

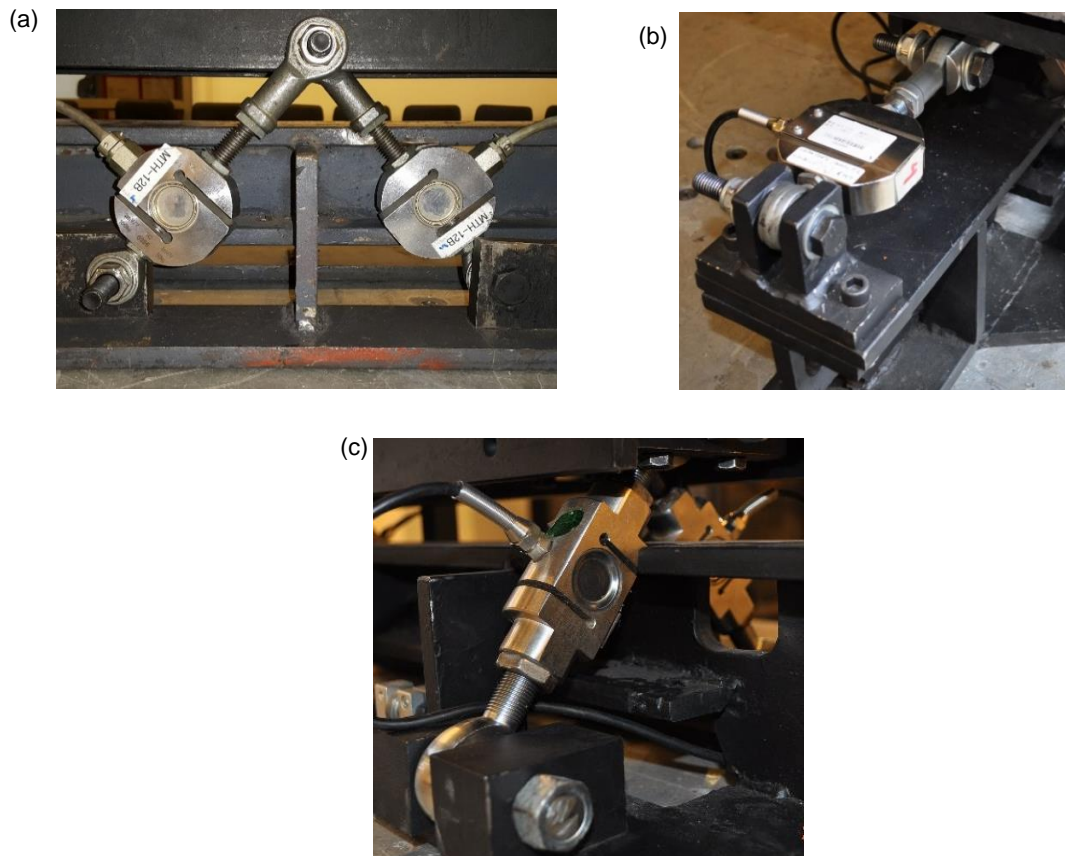


Figura 4-3: Instrumentos de medición para la obtención de la fuerza de corte y momento volcante (a) **celdas de carga inclinadas en 45°** correspondientes al ensamble II. (b) **celda de carga horizontal** que mide el corte correspondiente al ensamble III. (c) Par de **celdas de carga soportantes** que mide una de las fuerzas verticales correspondientes al momento volcante.

3.2 VERIFICACIÓN DE MEDICIONES

Las verificaciones hechas al ensamble II correspondieron a mediciones estáticas realizadas en la plataforma., Posteriormente, se realizaron ensayos con modelos estructurales sometidos a movimientos basales en la mesa sísmica,

Las verificaciones realizadas al ensamble III consistieron en ubicar a una persona de 70 [Kgf] precisamente sobre puntos de interés. Después, sobre la plataforma se instaló una columna metálica a la que se le aplicó una fuerza horizontal generándose momentos por medio de movimientos basales programados en la mesa sísmica. .



Figura 4-4: Ensayo de estructura de perfilería metálica elaborado por alumnos del curso de Resistencia de Materiales, la que se encuentra instalada sobre la plataforma de medición.

3.2.1 Masa estática controlada

Sobre el mesón de trabajo del Taller de Modelos a Escala se instaló el sistema de medición, el que se sujetó por prensas y se conectó al equipamiento que se tenía hasta entonces para la toma de datos. Se incorporaron algunas piezas de ajuste para colocar los bloques de plomo simétricamente. En la figura 4-5 se muestra el montaje del ensayo junto con las mediciones tomadas de las diferentes celdas de carga, que se presentan en la tabla 4-1 contigua.

Las mediciones de las celdas de corte a 45° se realizaron en un experimento separado con respecto a la medición de las celdas de carga soportantes, ya que no había en ese tiempo equipo suficiente para conectar todos los canales en forma simultánea. Por ello, para esta medición se estableció la misma secuencia de carga que se usó para la medición de las celdas verticales. Los valores medidos se presentan en la tabla 4-2.

Finalmente, se retiraron los bloques de plomo con el sistema en funcionamiento con lo que se corroboró que las celdas de carga de la plataforma volvían al cero establecido inicialmente.

COMENTARIOS DE RESULTADOS

En el ensayo de masa estática controlada las celdas de carga verticales del ensamble II midieron lo esperado, excepto una de ellas que registró mucho menos. Esto fue por la participación que tienen las celdas inclinadas 45° las cuales toman parte de la carga vertical. En este ensayo fue difícil de interpretar debido a que las mediciones de las celdas verticales y las celdas de corte no se pudieron realizar simultáneamente. Por ello, fue necesario habilitar más canales en el adquisidor de datos y conseguir más acondicionadores de señal para los siguientes ensayos.

Tabla 4-1: Prueba masa estática controlada, componente vertical de las celdas soportantes. La masa agregada se distribuyó simétricamente.

Masa agregada [kg]	Acumulado [kg]	CHANNEL 0 [kg]	CHANNEL 1 [kg]	CHANNEL 2 [kg]	CHANNEL 3 [kg]	Total CH [kg]
0	0	0	0	0	0	0
9.1	9.1	2.2	2.2	0.5	1.5	6.4
13	22.1	4.1	3.9	1.2	5.7	14.9
20.9	33.9	7.6	7	1.5	6.9	23
36.28	57.18	12.8	11.6	2.7	11.5	38.6
42.72	79	18.4	16.1	3.6	15.3	53.4

Tabla 4-2: Prueba masa estática controlada, componente vertical de cada celda de corte a 45°.

Masa agregada [kg]	Acumulado [kg]	CHANNEL 4 [kg]	CHANNEL 5 [kg]	Total CH [kg]
0	0	0	0	0
9.1	9.1	0	0.6	0.6
13	22.1	0.06	1.2	1.26
20.9	33.9	0.07	1.6	1.67
36.28	57.18	0.17	1.7	1.87
42.72	79	0.44	3.7	4.14

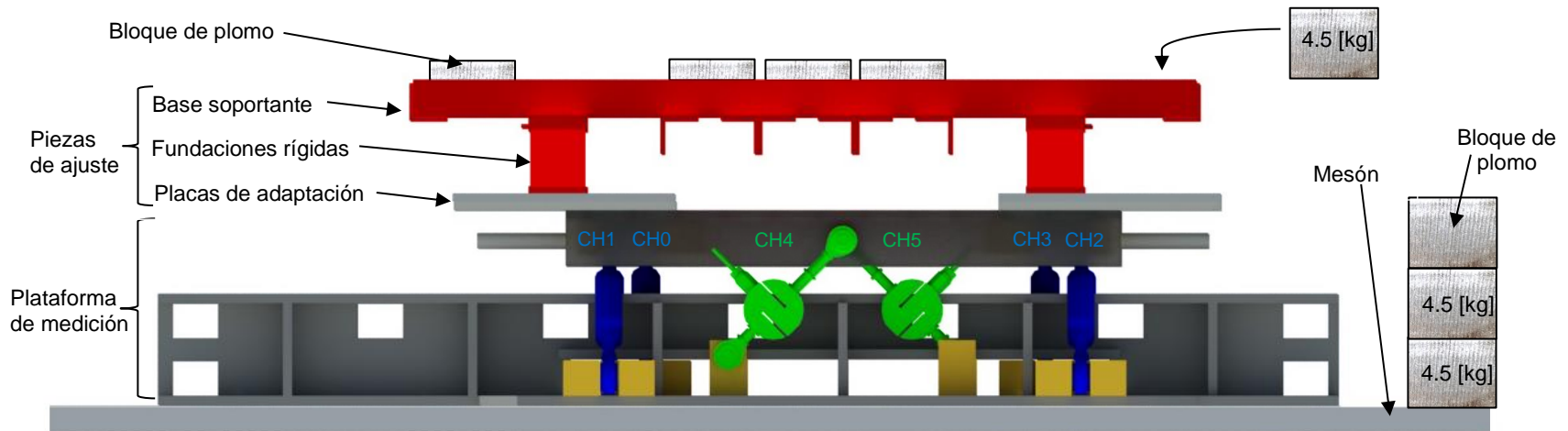


Figura 4-5: Esquema del ensayo incorporación de masa controlada. La distribución de canales adoptada en esta prueba fue CH0, CH1, CH2, CH3 para celdas soportantes, dejando CH4 y CH5 como celdas de carga para medición del corte

3.2.2 Modelo estructural sometido a terremoto escalado

Para corroborar el buen funcionamiento del sistema de medición se realizaron ensayos de modelos estructurales en la mesa sísmica con movimientos basales de terremotos escalados. Las estructuras de perfilería metálica fueron construidas por alumnos del curso de Estructuras Sismorresistentes de la carrera de Arquitectura, del cual el autor de esta memoria fue ayudante de laboratorio. En la figura 4-6 se muestra uno de estos modelos estructurales construidos por el curso.

Las estructuras fueron sometidas al registro de Viña del Mar de 1985 con diferentes distribuciones de lastre y eran instaladas inicialmente sobre cuatro aisladores sísmicos elastoméricos, lográndose medir el corte basal exitosamente pese a su bajo valor. Posteriormente, se retiraban los aisladores dejando a la estructura apoyada sobre fundaciones rígidas, con las que se la sometía al mismo registro, ocurriendo invariablemente el colapso.

El modelo de la figura 4-6 fue ensayado con distribución de masa asimétrica, y colapsó de forma transversal al movimiento que fue sometido en la mesa sísmica como muestran las figuras 4-7 y 4-8.

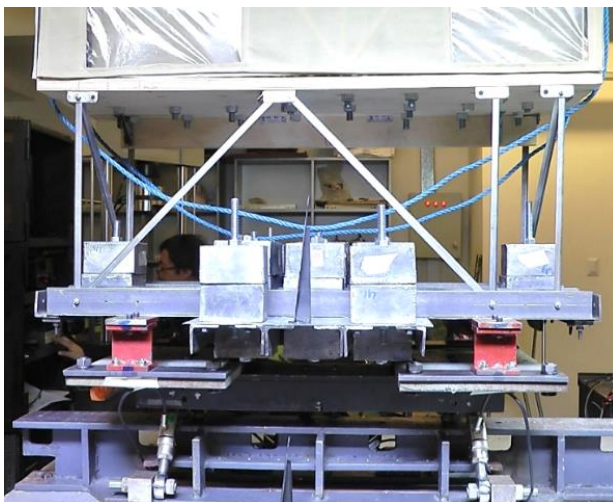


Figura 4-6: Fotografía del modelo sobre sistema de medición sin aislamiento sísmico, listo para ser ensayado.

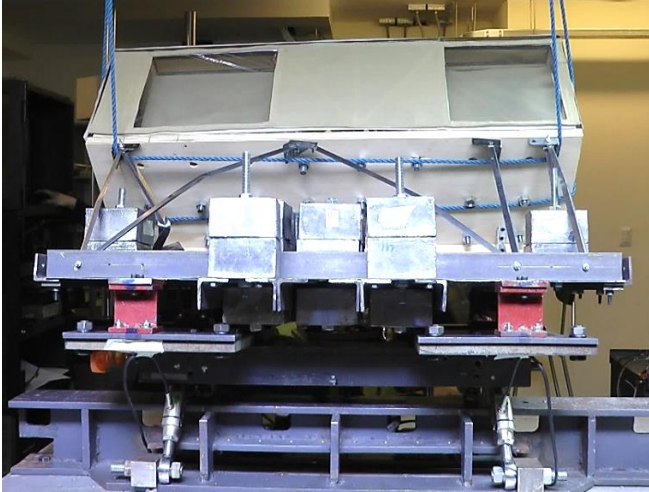


Figura 4-7: Espécimen colapsado sobre sistema de medición, luego de estar sometido al terremoto Viña del Mar 1985.

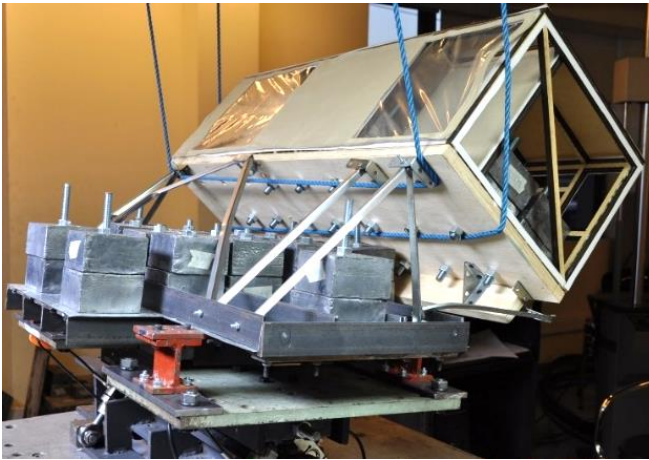
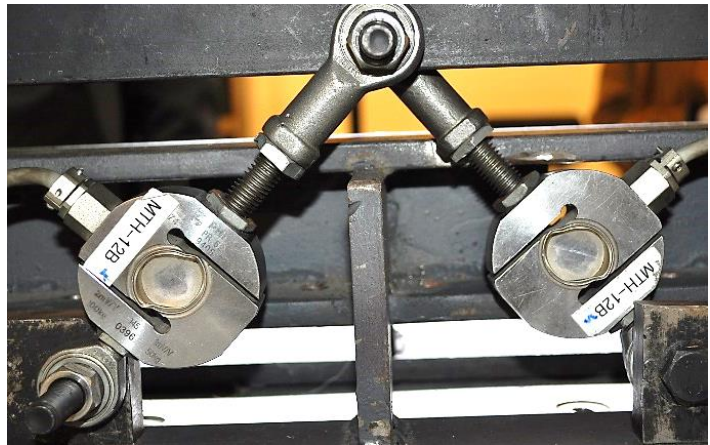


Figura 4-8: Espécimen colapsado sobre sistema de medición. Cedieron las columnas del plano estructural con menor rigidez, provocando el colapso en sentido transversal al movimiento.

Figura 4-9: Celdas de carga inclinadas dañadas después del ensayo. Éstas no resistieron la carga de impacto al colapsar la estructura.



COMENTARIOS DE RESULTADOS

El ensamble II, sobre el que se realizaron varios ensayos de modelos que fueron sometidos al registro de Viña del mar '85 escalado, tuvo como inconveniente principal no soportar la carga de impacto provocada por la masa de los modelos, la que golpeaba al sistema de medición cada vez que colapsaba una estructura desequilibrando y deteriorando las celdas de carga.

El modelo de la figura 4-6 colapsó de forma transversal al movimiento generado por la mesa sísmica, esto debido a la sobrecarga del plano con menor rigidez en la estructura, lo que produjo el pandeo local de una de las columnas poco después de comenzar el movimiento sísmico, produciendo el colapso con caída y posterior impacto de la masa del modelo sobre la plataforma, Este efecto fue capaz de aumentar hasta tres veces su peso sobrepasando la capacidad de las celdas de carga inclinadas en 45° , provocando daños irreparables. En la figura 4-9 se muestran las celdas de carga inclinadas dañadas.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, este hecho permitió modificar e introducir nuevas piezas logrando la construcción del ensamble III, como se muestra en la figura 4-10, el cual fue ocupado durante el resto de los ensayos realizados de esta memoria.

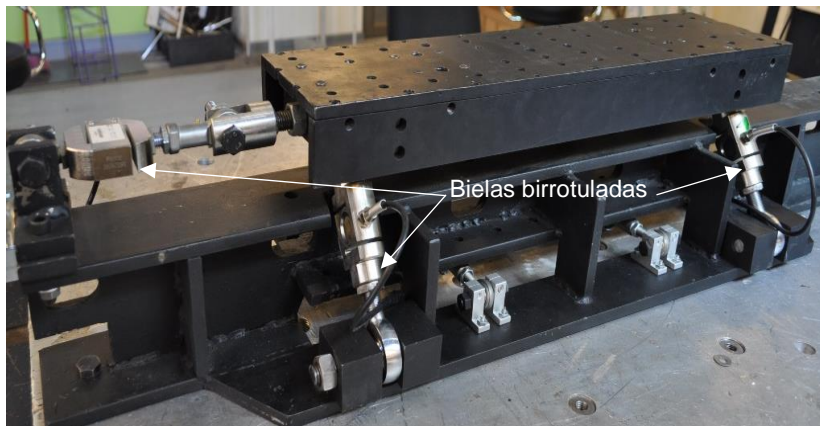


Figura 4-10: Fotografía del ensamble tres instalado sobre la mesa sísmica

3.2.3 Masa estática en apoyos

En esta etapa se instaló el ensamble III en su posición definitiva sobre la mesa sísmica. Se pidió a una persona que se posara en un solo pie sobre la plataforma de medición justo encima de los puntos de apoyo. Primero sobre el par de celdas hermanas "A" y luego sobre el par de celdas hermanas "B". En las figuras 4-11 y 4-12 se muestra un esquema del procedimiento y los valores medidos.

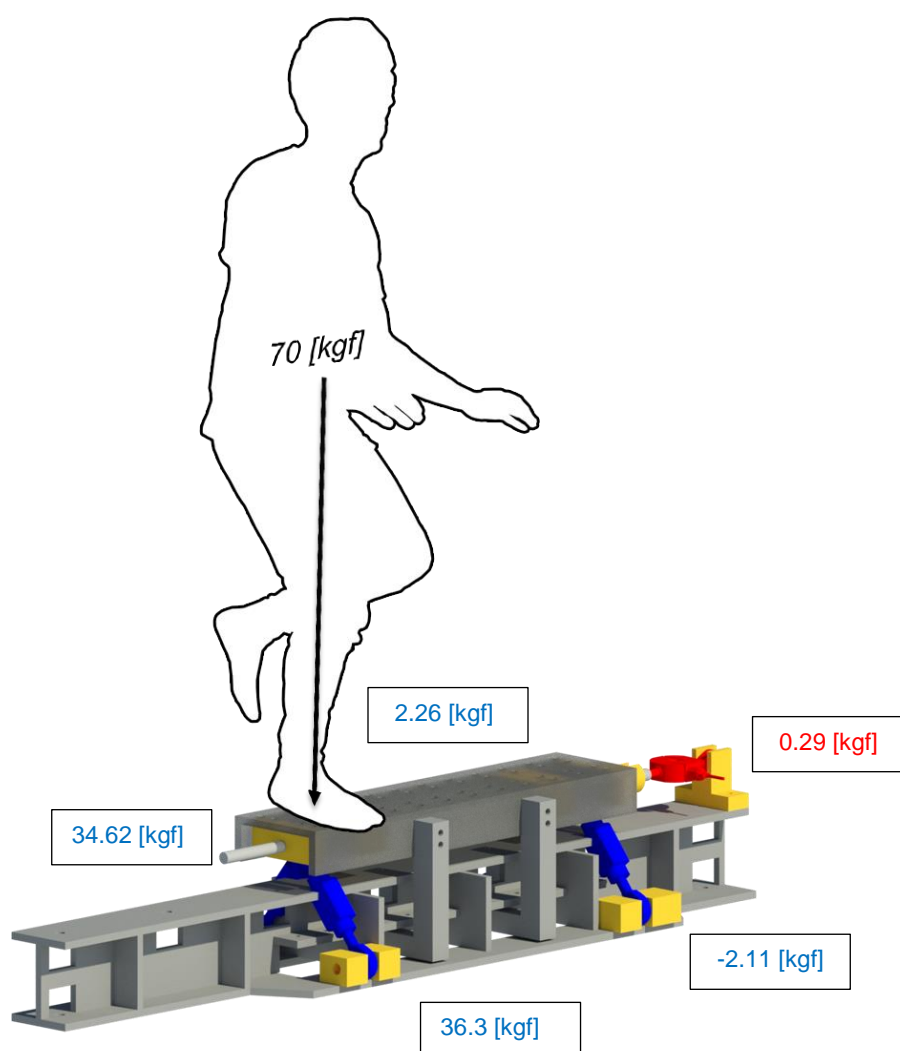


Figura 4-11: Posicionamiento de individuo de 70 [kg] sobre la plataforma de medición en el apoyo "A". Los valores anotados en la figura corresponden a la componente vertical de las celdas de carga soportantes (+ compresión, - tracción)

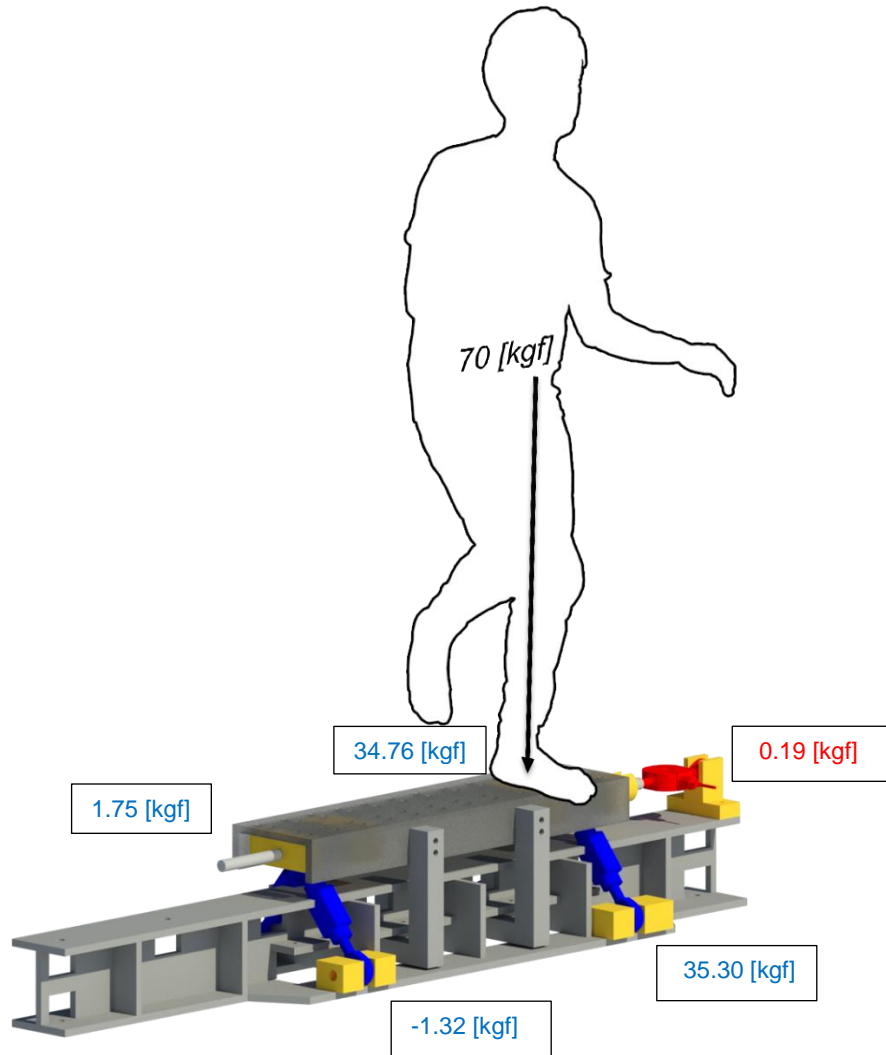


Figura 4-12: Posicionamiento de individuo sobre la plataforma de medición en apoyo “B”. Los valores anotados en la figura corresponden a la componente vertical de las celdas de carga soportantes (+ compresión, - tracción)

COMENTARIOS DE RESULTADOS

Mientras la persona se encontraba posada sobre el par de celdas “A”, en el otro par de celdas se midió un pequeño valor que alcanzó un máximo de 2.3 [kgf] que representa un 3% de la carga máxima alcanzada, lo que se consideró despreciable. La celda de carga de corte prácticamente no tomó carga, lo que era de esperar. Ocurrió lo mismo con el apoyo en el par de celdas “B”.

3.2.4 Columna sometida a movimientos basales cíclicos

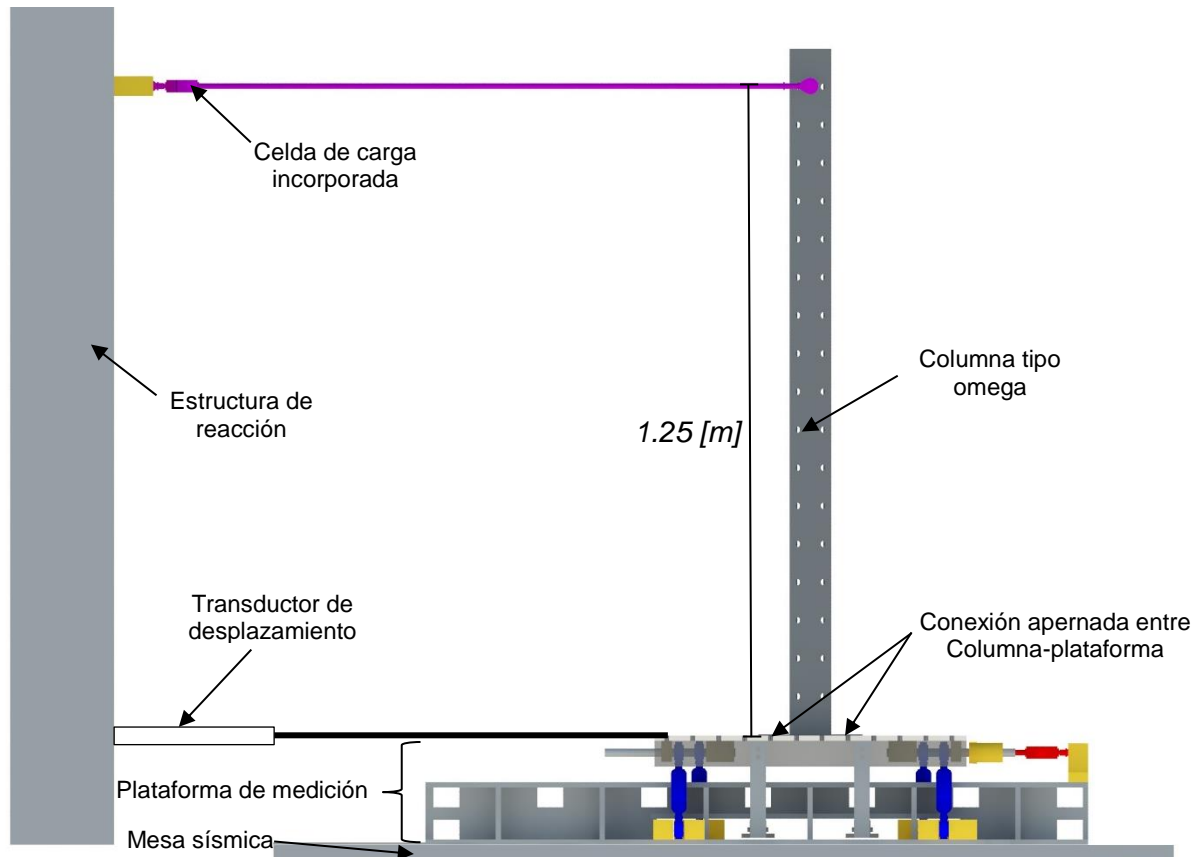


Figura 4-13: Columna tipo omega (Ω) sometida a solicitaciones basales senoidales para la prueba de verificación de la capacidad del sistema para medir corte y momento volcante.

Dispuesto el ensamble III en la mesa sísmica, se instaló una columna metálica tipo omega apernada sobre la plataforma de medición. Se colocó una biela horizontal birrotulada uniendo el extremo superior de la columna con una estructura externa muy rígida, como se muestra en la figura 4-13. En la biela birrotulada se incorporó una celda de carga para medir la fuerza aplicada al tope de la columna. Además, se instaló un transductor de desplazamiento LVDT en la base. Se procedió a dar solicitaciones basales senoidales con el equipamiento instalado y registrando los datos, con las amplitudes y frecuencias indicadas en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Frecuencia y amplitud de solicitaciones basales aplicadas al sistema de la figura 4-13.

	Frecuencias		
	0.1 [Hz]	0.5 [Hz]	4 [Hz]
Amplitudes [mm]	2	2	2
	4	4	4
	-	5	-
	6	6	6
	10	10	10

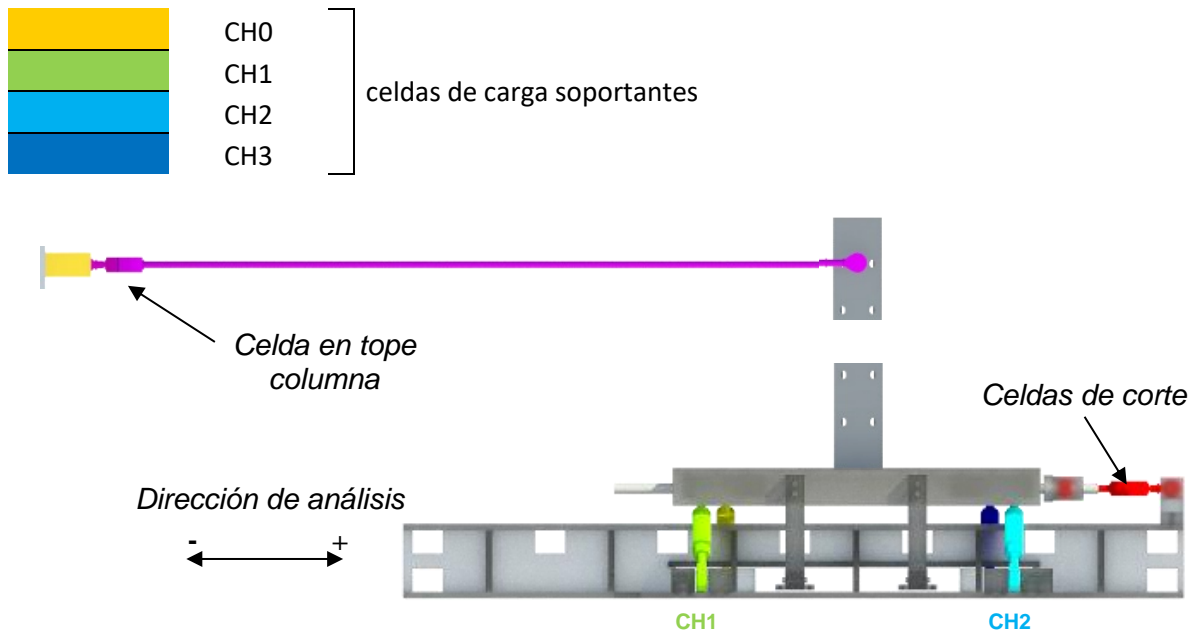
Con las solicitaciones basales de mayor frecuencia la estructura fácilmente alcanzó modos de vibrar superiores trasladando cada punto de la columna en sentido longitudinal acoplada de una torsión alrededor del eje vertical, lo que provocó interferencias en las mediciones del sistema viéndose reflejadas principalmente en la celda de corte basal. Por lo descrito, se descartó realizar pruebas con amplitudes y frecuencias más elevadas.

Las mediciones de los desplazamientos obtenidas por el transductor LVDT ubicado en la base de la columna coinciden con los desplazamientos generados por la mesa sísmica evidenciando sincronización y misma fase, aunque hubo una leve variación en la amplitud a frecuencias más elevadas, lo que fue despreciable.

En las gráficas 4-1 al 4-6 se muestran algunos resultados de las mediciones realizadas en el tiempo, específicamente las correspondientes a movimientos basales senoidales con amplitud de 10 [mm] con 0.1 y 4.0 [Hz] de frecuencia. En las gráficas 4-7 a 4-13 se caracteriza el comportamiento del sistema de medición a través de las curvas fuerza-desplazamiento correspondiente.

En la figura 4-14 se muestra la ubicación de los transductores de carga con los respectivos canales de medición y se describe la simbología utilizada en las gráficas anteriormente mencionadas distinguiendo con colores cada una de las curvas obtenida por las celdas de carga de la plataforma.

VISTA LATERAL



VISTA PLANTA

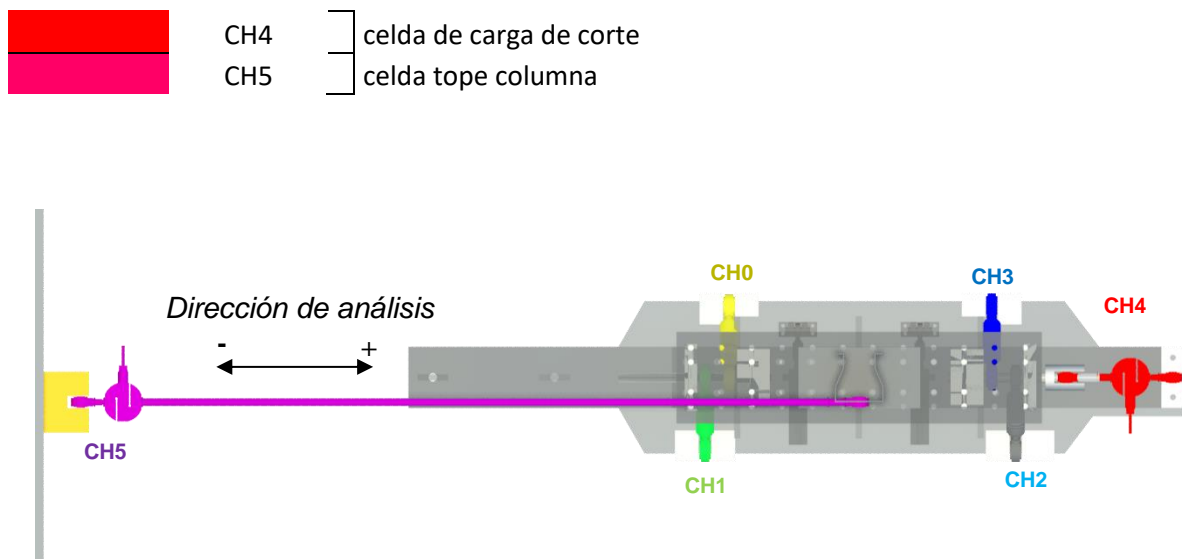


Figura 4-14: Ubicación de los transductores de fuerza utilizados en el sistema de medición.

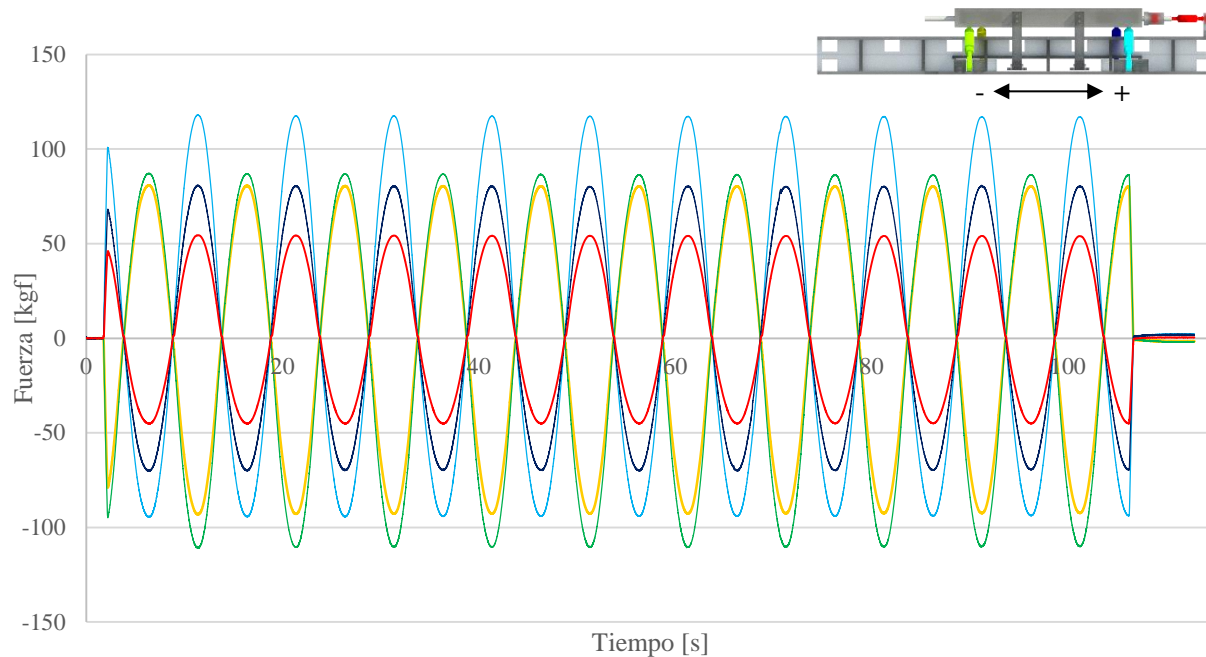


Gráfico 4-1: Fuerzas medidas por las celdas de carga del sistema, para un movimiento basal senoidal de amplitud 10[mm] y frecuencia 0.1 [Hz]. La figura ubicada en la esquina superior derecha muestra los colores asignados para cada celda de carga del sistema.

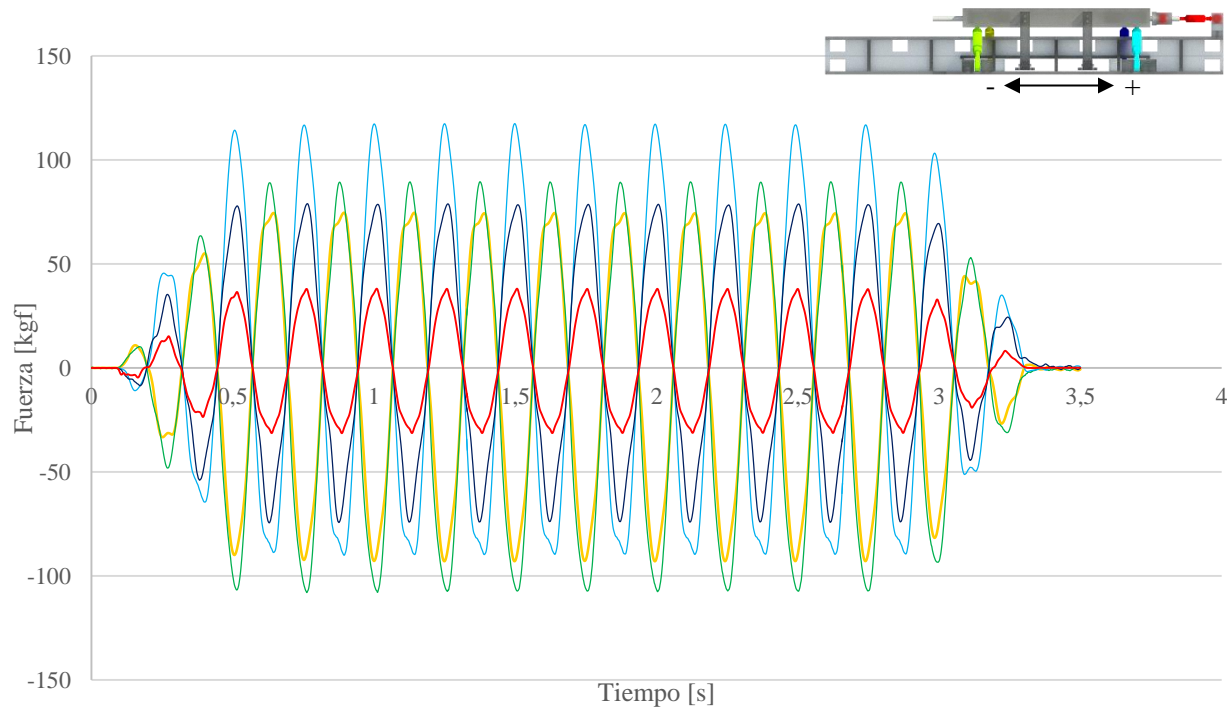


Gráfico 4-2: Fuerzas medidas por celdas de carga del sistema, para un movimiento basal senoidal de amplitud 10[mm] y frecuencia 4 [Hz]. Notar la poca diferencia de los valores medidos con respecto a la gráfica 4-1, excepto en la curva de corte (rojo).

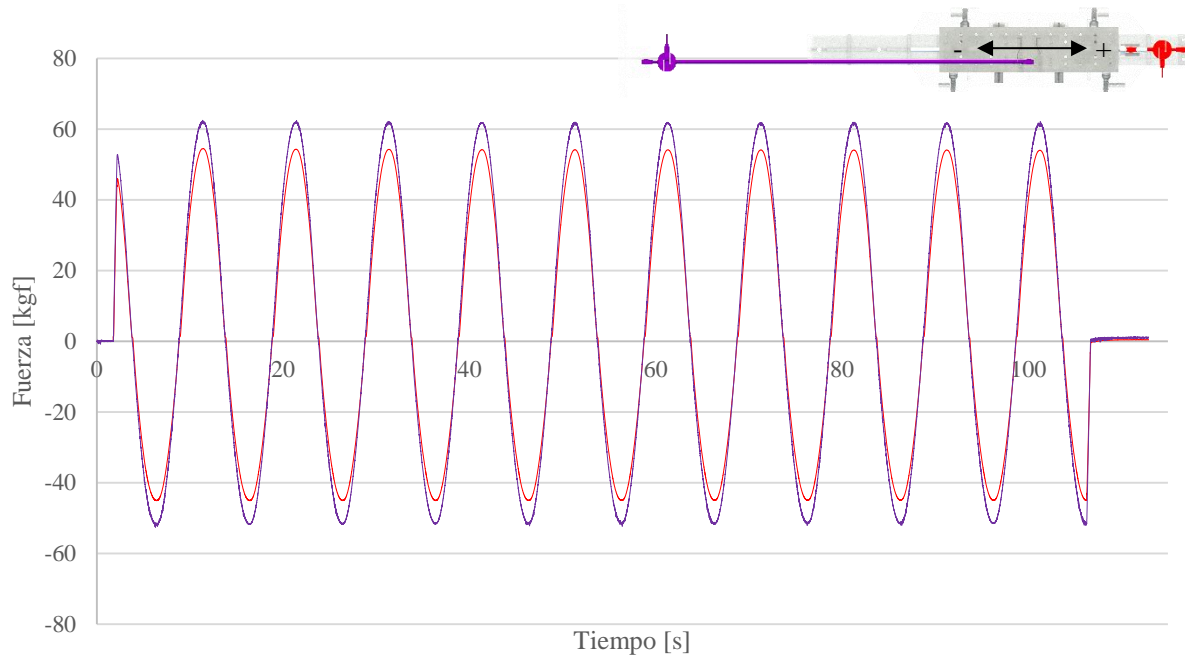


Grafico 4-3: Fuerzas medidas por la celda de carga de corte y la celda de carga en el tope de la columna, para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **0.1 [Hz]**.

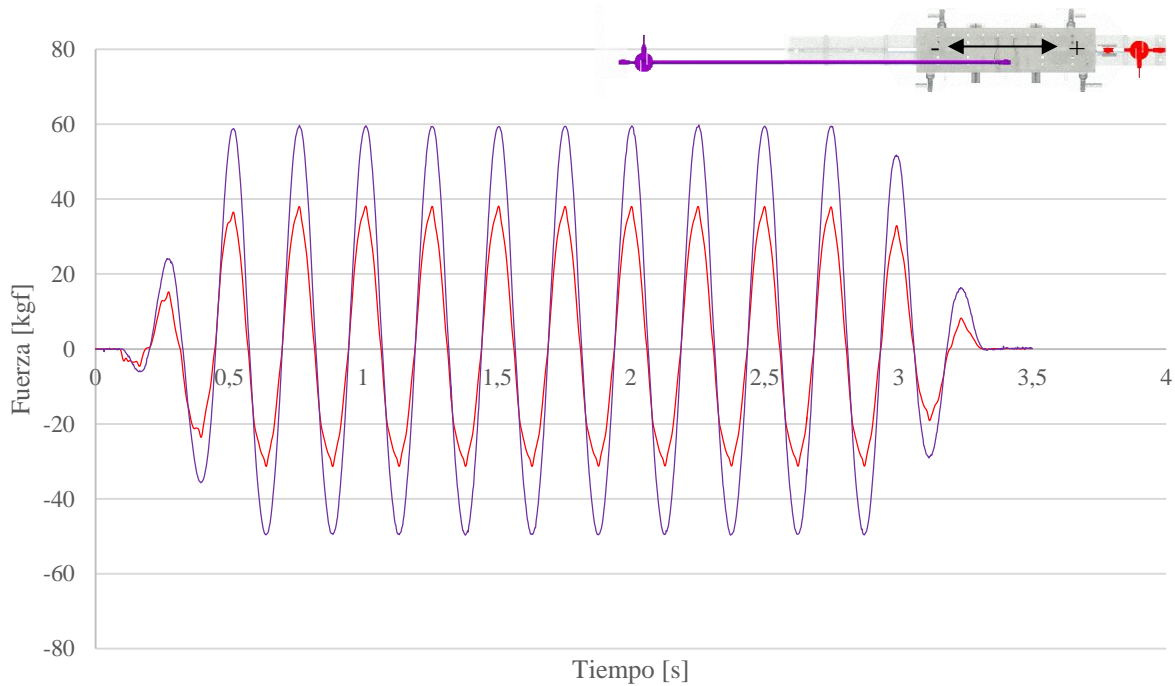


Grafico 4-4: Fuerzas medidas por la celda de carga de corte y celda de carga en el tope de la columna, para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**. La diferencia en la forma de las curvas se debe principalmente al acomodamiento mecánico propio de la plataforma. La diferencia de amplitudes se debe principalmente al efecto de la inercia provocado por la masa de la viga de apoyo

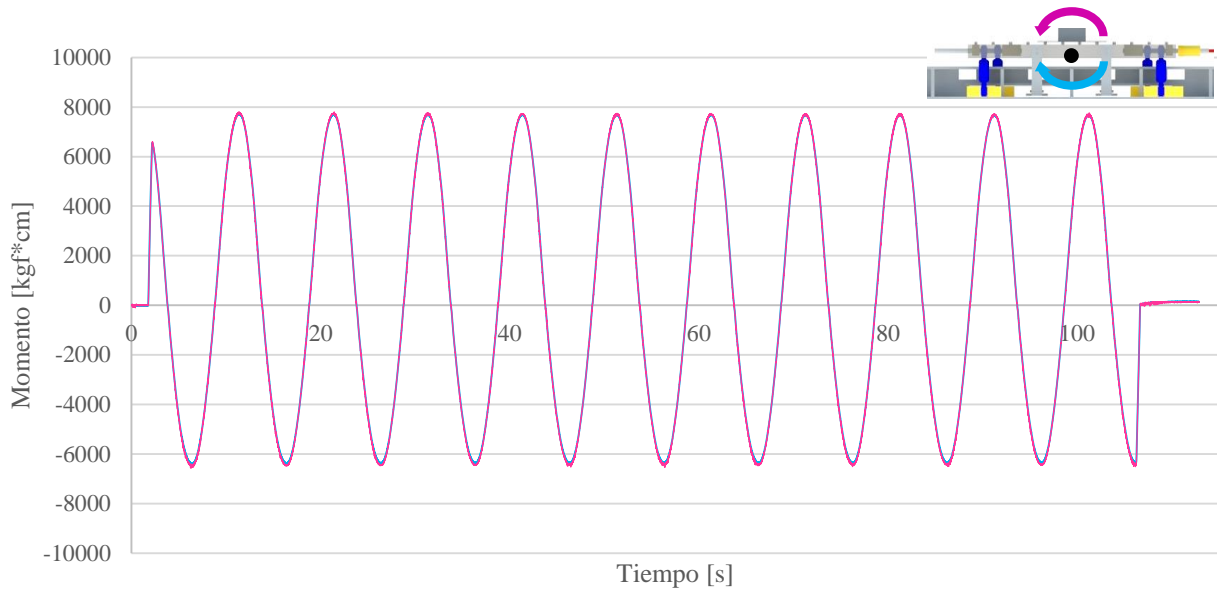


Gráfico 4-5: Curva momento volcante proveniente de la celda de carga en el tope de la columna (morado) comparado con el obtenido de las cuatro celdas de carga soportantes (celeste), para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **0.1 [Hz]**.

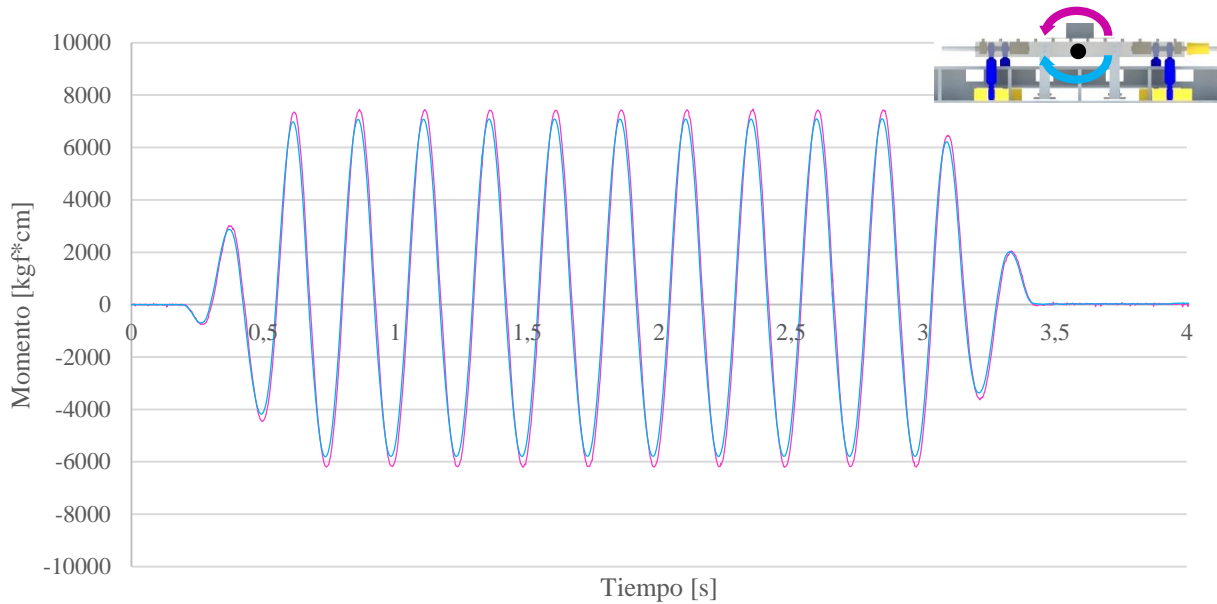


Gráfico 4-6: Curva momento volcante proveniente de la celda de carga en el tope de la columna (morado) comparado con el obtenido de las cuatro celdas de carga soportantes (celeste), para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**. Se aprecia una pequeña diferencia entre las curvas debido al efecto de la inercia rotacional provocado por la viga de apoyo.

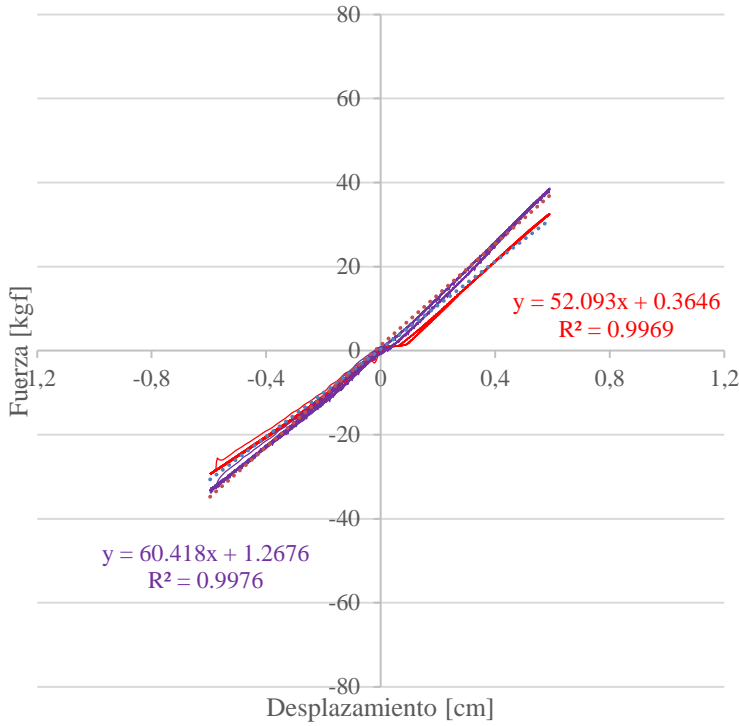


Grafico 4-7: Curva fuerza-desplazamiento según las mediciones de la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga incorporada en la parte superior de la columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **6 [mm]** y frecuencia **0.1**

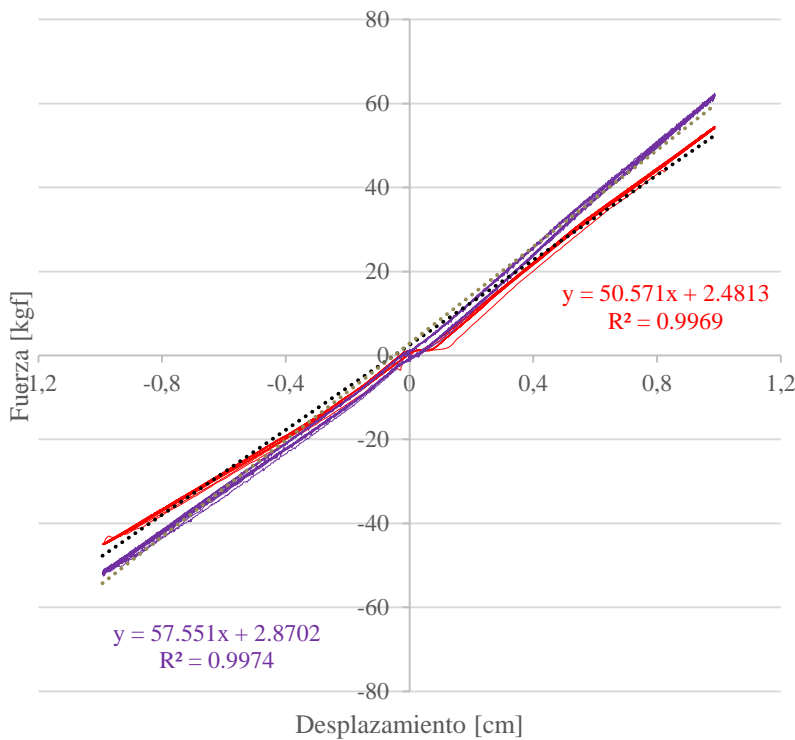


Grafico 4-8 : Curva de fuerza – desplazamiento según las mediciones de la celdas de carga de corte (rojo) y celda de carga incorporada en la parte superior de la columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **0.1**

Grafico 4-9: Curva de fuerza – desplazamiento según las mediciones de la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga incorporada en la columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **2 [mm]** y frecuencia **0.5**

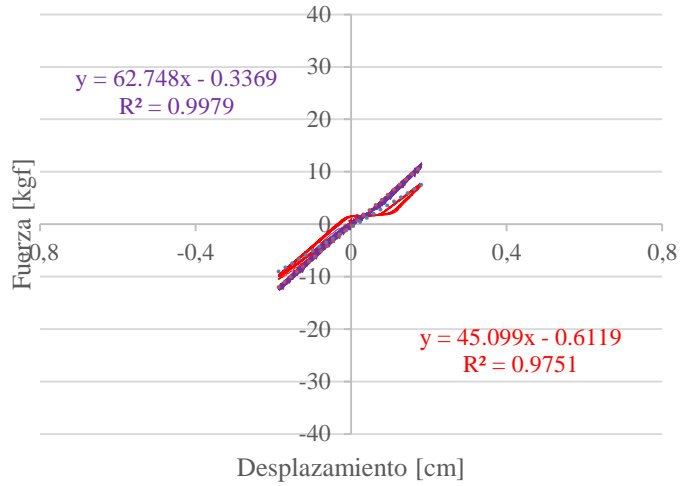


Grafico 4-10: Curva fuerza - desplazamiento según mediciones de la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga incorporada en la columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **4 [mm]** y frecuencia **0.5 [Hz]**

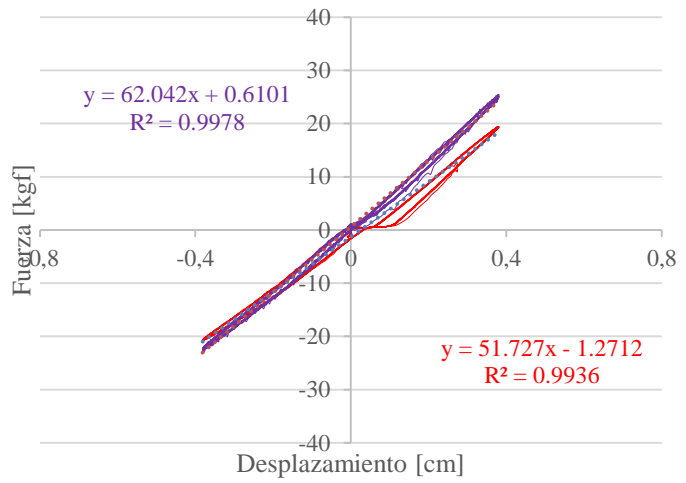
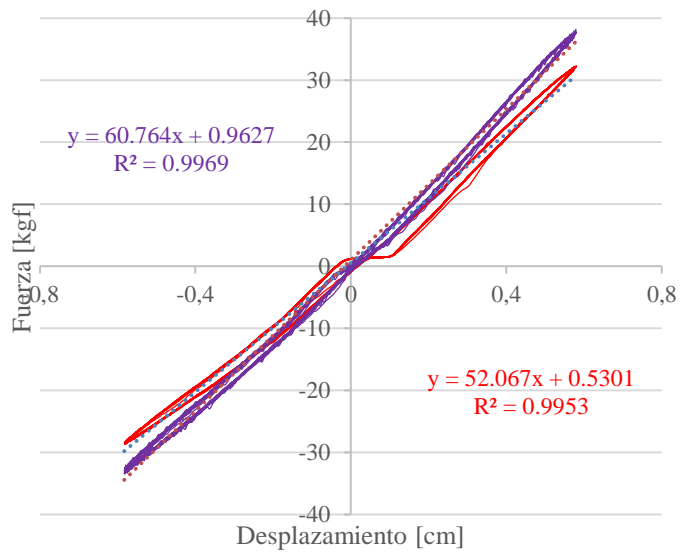


Grafico 4-11: Curva de fuerza – desplazamiento según las mediciones de la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga en columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **6 [mm]** y frecuencia **0.5 [Hz]**.



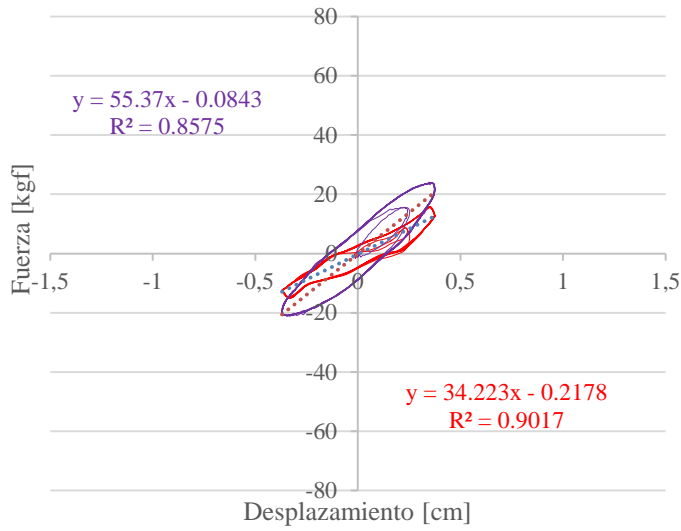


Grafico 4-12: Curva de fuerza – desplazamiento según las mediciones de la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga en columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **4 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**.

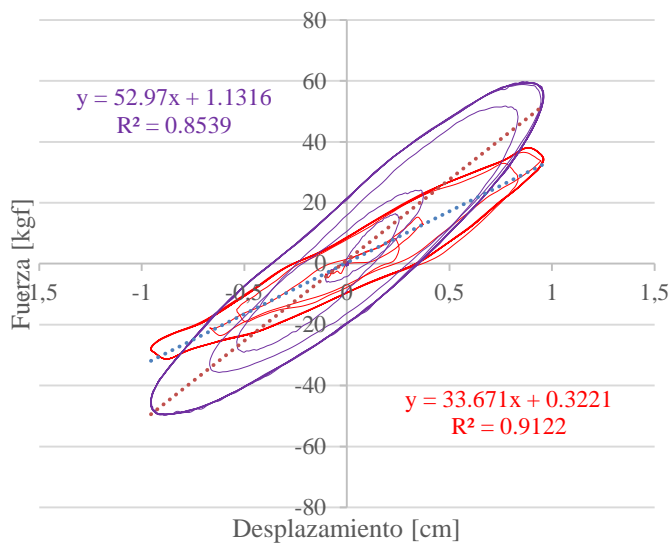


Grafico 4-13: Curva de fuerza – desplazamiento según las mediciones de la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga en columna (morado) para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**.

COMENTARIOS DE RESULTADOS

Se verificó que la velocidad del movimiento basal afectó a las mediciones realizadas por las celdas de carga de la plataforma, a medida que ésta aumentaba también lo hacían el efecto de inercia y el de amortiguamiento. En las curvas obtenidas por las celdas de carga en los ensayos realizados, se puede observar que a movimientos basales rápidos las curvas tienden a perder la forma senoidal, notándose irregularidades en crestas y valles. En las gráficas 4-1 y 4-2 se pueden observar estos efectos.

En la gráfica 4-3, cuando el movimiento basal es lento (0.1 Hz), ambas curvas son similares en su amplitud y difieren en 5 [kgf]. Esta diferencia se atribuye al roce entre las rótulas y al acomodamiento de las piezas de la plataforma. El movimiento de la masa no afecta la medición obtenida por la celda que mide la fuerza en el tope de la columna, y tampoco le afecta el amortiguamiento, por lo que esta fuerza se podría calcular simplemente multiplicando la deformación horizontal de la columna por su rigidez.

En cambio, en la gráfica 4-4, cuando el movimiento basal es más rápido (4 Hz), las amplitudes difieren mucho entre ellas, alcanzando diferencia de hasta 25 [kgf]. Esto se atribuye a la masa y el amortiguamiento que se hacen presentes, reduciéndose considerablemente la amplitud de la fuerza determinada por la celda de carga que mide el corte basal. Para corregir esta fuerza, se deben incorporar los efectos inerciales correspondientes a la masa propia del sistema de medición y peso de la estructura, por lo que se buscará corregir numéricamente el valor del corte mediante las ecuaciones de movimiento y fuerza.

En los gráficos 4-14 y 4-15 se muestra en color verde la medición de la celda de carga de corte basal corregida y la curva fuerza-desplazamiento correspondiente al mismo movimiento basal. El procedimiento y consideraciones en los resultados serán explicados posteriormente.

El momento volcante de la columna que midió el sistema fue obtenido de la componente vertical de las fuerzas que se generaron en las celdas de carga soportantes, las cuales fueron multiplicadas por su respectivo brazo de palanca. Estas longitudes fueron obtenidas de los planos de diseño de la plataforma mencionados en la sección 2.3. El punto de referencia para el cálculo del momento volcante fue el centro de la viga de apoyo a la altura del eje longitudinal central el que coincide con el centro de masa del sistema de medición. Sin embargo, el centro de masa de la columna varía levemente con respecto al punto de referencia, lo que produjo torsión en la columna a velocidades y amplitudes elevadas.

El momento volcante obtenido por el sistema de medición fue comparado con el momento calculado por la multiplicación de la fuerza registrada en el tope de la columna y su respectivo brazo de palanca (1.25 [m]). Las curvas de momentos para movimientos basales de amplitud de 10 [mm] con 0.1 y 4.0 [Hz] de frecuencia se muestran en las gráficas 4-5 y 4-6, respectivamente.

En las gráficas 4-5 se infiere que, cuando el movimiento basal es lento (0.1 Hz), las dos curvas son iguales alcanzando un valor máximo de 7500 [kgf*cm]. Sin embargo, los registros de momentos fueron menores hacia el sentido negativo del movimiento basal que alcanzó un valor de 6300 [kgf*cm]. Esta desigualdad fue provocada por el elemento biela utilizado en la celda de carga ubicada en el tope de la columna, el cual trabajando en compresión se pandeó lo que causó torsión en la columna. En este caso, un método aproximado para calcular el momento volcante obtenido por el sistema, resultará del producto de la deformación rotacional de la columna (θ_g) y su rigidez rotacional.

Mientras que, cuando el movimiento basal es más rápido (4 Hz), las curvas son similares en fase, pero tienen una pequeña diferencia en la magnitud de su amplitud debido a la inercia rotacional de la masa, los cuales se hacen presentes disminuyendo la fuerza medida por las celdas de carga soportantes y en consecuencia el momento volcante. En este caso en particular, no fue necesario corregir las mediciones de momento, ya que el término inercial afectó levemente.

Aunque los componentes rotacionales del movimiento de la plataforma no fueron directamente medidos durante los movimientos basales, es posible estimarlos a partir de los componentes traslacionales registrados.

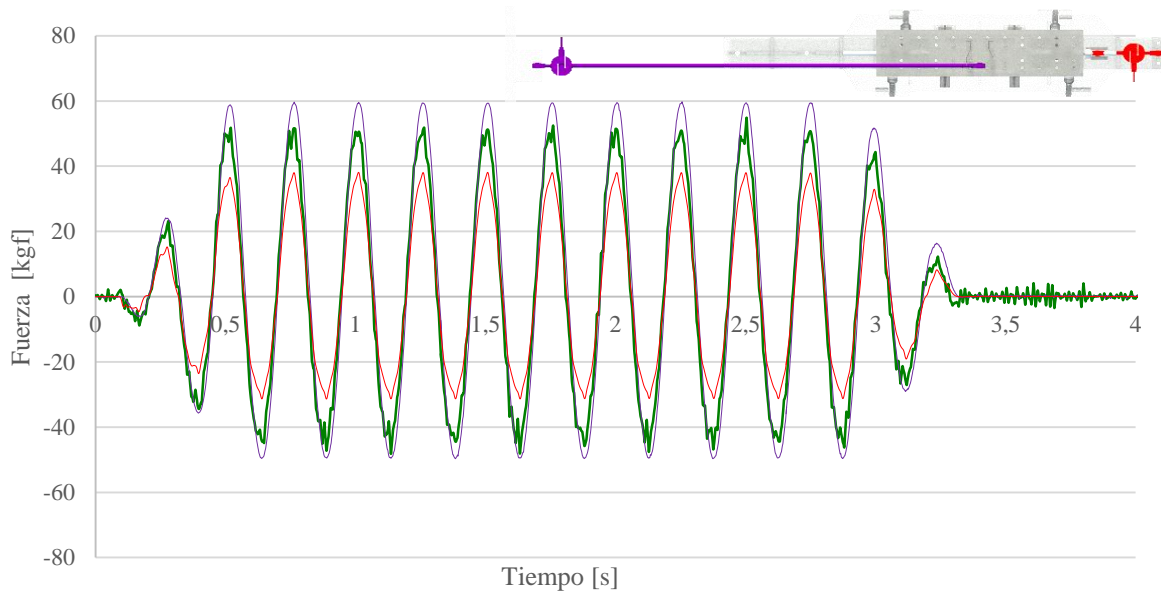


Grafico 4-14: Fuerza según medición del corte basal la cual incluye el término inercial (verde). Además se añadieron las curvas de las fuerzas medidas por la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga en el tope de la columna (morado), para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**.

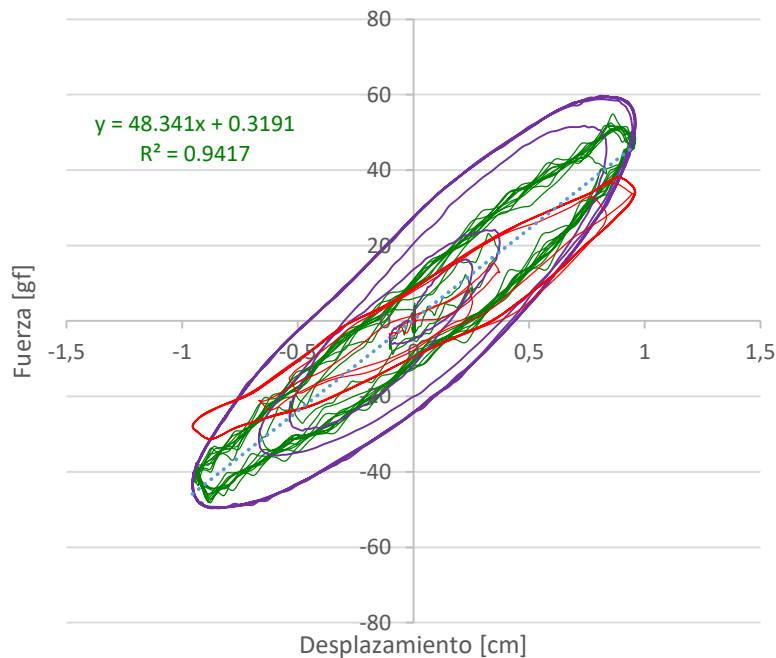


Grafico 4-15: Curvas de fuerza – desplazamiento según medición de la celda de carga de corte la que incluye el término inercial (verde). Además, se incorporó las curvas de las fuerzas medidas por la celda de carga de corte (rojo) y celda de carga en el tope de la columna (morado), para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**.

No todas las singularidades expuestas previamente ocurren a altas velocidades del movimiento basal. En procesamientos digitales de datos existen dos errores comunes que pueden invalidar los resultados del ensayo, llamado por McConnell K. (1995) error de hardware y de software.

El error de hardware ocurre bajo condiciones particulares de operación en la toma de datos. Las conexiones de entrada en el adquisidor de datos hacen desplazar las curvas en relación a otras que deberían ir en fases. El error de software es propio de la rutina del programa para procesar los datos en forma digital. Muchos de los conceptos básicos del procesamiento de datos vienen del cálculo de funciones continuas pero terminamos procesando los datos con técnicas digitales que son discretas, las que no necesariamente son iguales.

A través de la curva de histéresis mostradas en las gráficas 4-7 a 4-11, se pudo caracterizar el comportamiento del modelo columna. En la curva generada por la celda de carga que mide el corte se observa un quiebre cercano en el origen del sistema, atribuido a imperfecciones milimétricas en la sujeción de la celda de carga que mide el corte, llamado en esta memoria juego mecánico. Esta imperfección alcanzó un desplazamiento de 0.7 [mm] en la curva de fuerza-deformación y solo se logró disminuir a velocidades del movimiento basal cercana o superiores a la frecuencia natural de la columna.

El juego mecánico hizo necesario cambiar la pieza de sujeción y fabricar una nueva, la cual fue hecha en un taller de mecánica de precisión de forma que no haya ningún tipo de movimiento entre el pasador y la rótula utilizada en el transductor de fuerza para medir el corte. Con lo que se asegura que se resolverá mientras se realizan las pruebas de modelos estructurales.

CONSIDERACIONES EN LOS RESULTADOS

Whittaker, A. (1991) et al. exponen que para cargas o deformaciones aplicadas a una estructura de una manera lenta, las fuerzas inerciales pueden despreciarse. Sin embargo, esta simplificación no es válida cuando la estructura se somete a cargas dinámicas como las causadas por un sismo.

Por lo descrito anteriormente, se puede decir que en el caso particular de movimientos basales lentos (0.1 Hz.) no es necesario realizar corrección en la medición de la celda de carga de corte, ya que el término de amortiguamiento y el efecto de inercia no son relevantes debido a que su velocidad y aceleración son bajas. Sin embargo, en movimientos rápidos es necesario realizar esta corrección a lo menos al efecto inercial que es más relevante que el término de amortiguamiento. Por lo que, en esta sección se explica la corrección que se debió realizar a la medición obtenida por la celda de carga que mide el corte para movimientos basales rápidos (4 Hz).

Se comenzara presentando la ecuación de movimiento de la columna debido a una fuerza externa aplicada:

$$m * \ddot{x} + c * \dot{x} + k * x = F(t)$$

Donde:

m	: Masa correspondiente a la columna
c	: Coeficiente de amortiguamiento de la columna
k	: Rigidez de la columna
\ddot{x}, \dot{x}, x	: Aceleración, velocidad y desplazamiento de la base columna
$F(t)$: Fuerza externa

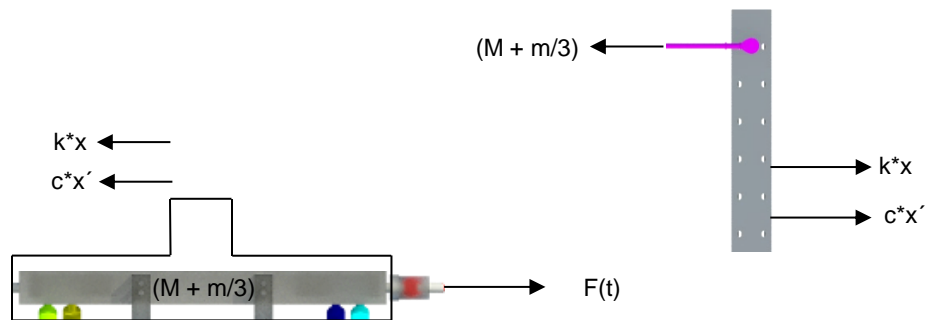
El modelo constó de una masa distribuida m , una rigidez k y con un coeficiente de amortiguamiento viscoso c , propio de la columna. Éste se sometió a desplazamientos basales caracterizado por una carga $F(t)$ dependiente del tiempo.

En este modelo en particular, la masa de la columna es muy pequeña comparada con la masa de la plataforma, en consecuencia la celda de corte se encuentra influida en mayor medida por el efecto inercial del sistema de medición por lo cual la masa de la plataforma se incluirá al modelo matemático.

El modelo quedó idealizado como una columna con masa concentrada a nivel de la plataforma, a la cual se sumó un tercio de la masa total de la columna, resultando la siguiente ecuación:

$$(M + m/3) * \ddot{x} + c * \dot{x} + k * x = F(t)$$

Diagrama de cuerpo libre (DCL)



Los movimientos relativos entre el tope de la estructura y el sistema de medición, debido a deformaciones estructurales, producen fuerzas elásticas y de amortiguamiento las que definen el corte basal, con lo que se puede reescribir nuevamente la ecuación de movimiento como:

$$c * \dot{x} + k * x = F(t) - (M + m/3) * \ddot{x}$$

$$c * \dot{x} + k * x = FLC$$

$$V_x(t) = FLC$$

Donde:

M	: Masa propia del sistema de medición
m	: Masa propia de la columna
FLC	: Fuerza registrada por la celda de carga de corte
$V_x(t)$: Corte en la base de la columna en dirección "x"

Para la corrección del corte basal es necesario obtener la aceleración del sistema de medición durante el movimiento. El procedimiento utilizado para la obtención de la aceleración en función del tiempo, en este caso, consistió en derivar numéricamente el registro de desplazamiento obtenido del transductor LVDT ubicado al interior del actuador hidráulico que mueve la mesa sísmica. Al utilizar este procedimiento conlleva a la aparición de errores, pero se consideró suficiente para los propósitos de este estudio.

Con la aceleración obtenida se pudo obtener el término inercial de la ecuación de movimiento con el que se sumó a la medición de la celda de carga de corte basal siendo similar a la curva obtenida por la celda de carga ubicada en el tope de la columna. En la gráfica 4-16 se muestra el término inercial para movimientos basales rápidos.

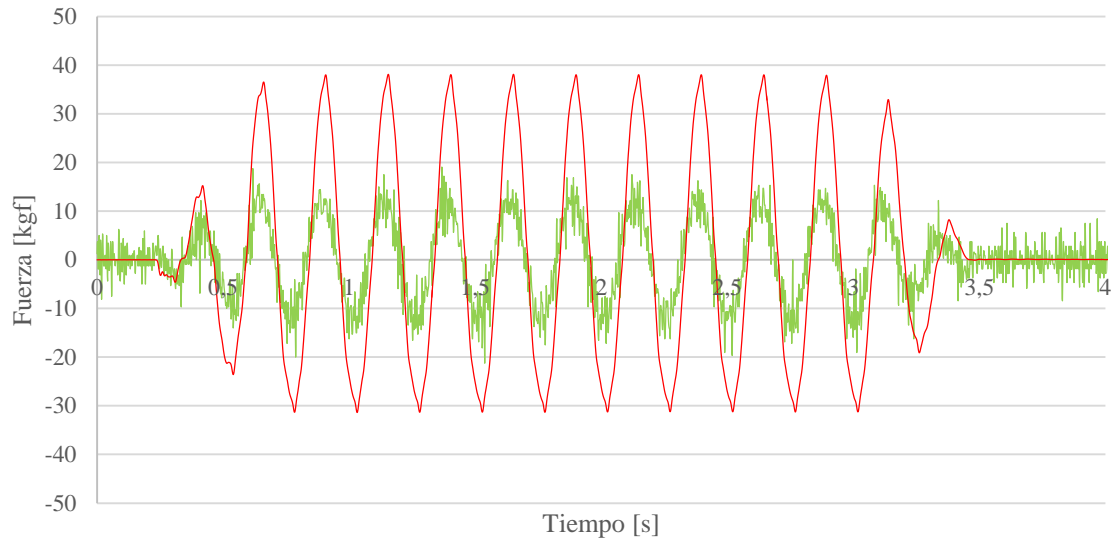


Grafico 4-16: Curva del término inercial (verde) y curva de las fuerzas medidas por la celda de carga de corte (rojo), para un movimiento basal senoidal de amplitud **10 [mm]** y frecuencia **4 [Hz]**. La curva de fuerza obtenida de la suma los términos (corte basal corregido) se mostró en la gráfica 4-14.

3.3 RESOLUCIÓN DEL SISTEMA

El roce generado por las rótulas incorporadas en los apoyos del sistema de medición limita la resolución del sistema, ya que interfiere en las mediciones de las celdas de carga. Esta fuerza es difícil de modelar y no obedece a una teoría física sencilla.

El efecto de roce por deslizamiento de dos superficies se puede aproximar a través del amortiguamiento de Coulomb, que considera la fuerza de roce proporcional a la normal. La dirección de la fuerza de roce se opone al movimiento y el signo de la fuerza cambiará cuando cambie la dirección del movimiento. Esto dificulta la formulación matemática. Por ello, en esta verificación se limitó a describir cualitativamente algunos casos.

En estos ensayos se notó que el roce estático aumenta más o menos proporcionalmente a medida que se incrementa la masa en los ensayos, o sea, aumenta la fuerza normal provocando deformación interna de las rótulas ocupadas en cada una de las celdas de carga soportantes, aumentando el área de contacto (área de rodadura) y en consecuencia la fuerza de roce. Generalmente una vez empezado el movimiento, se acepta que la fuerza de roce se vuelve independiente de la velocidad. (Chopra 2014)

En una situación ideal de dos sólidos perfectamente indeformables, la rodadura no tendría rozamiento alguno, ya que el contacto se produciría en un solo punto, para el cual la velocidad es nula. Sin embargo, todos los sólidos son deformables produciendo un área de rozamiento. (Rao 2011)

Para cuantificar el roce estático se dejó la plataforma solo con las bielas soportantes, aplicándole una fuerza horizontal a través de un dinamómetro hasta empezar el movimiento en esa dirección, como se muestra en la figura 4-15. Posteriormente, se repitió la experiencia con la plataforma cargada con 150 [kg] de plomo, como se muestra en la figura 4-16. Se hicieron varias otras determinaciones aplicando distintas fuerzas en otros lugares.

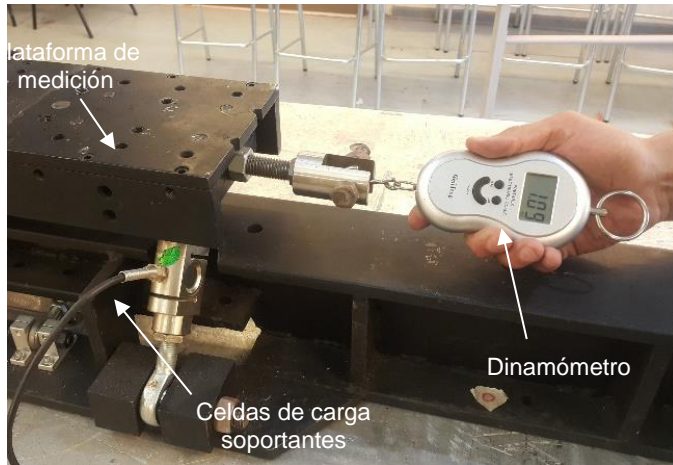


Figura 4-15: Ensayo cuantificación del roce estático sin bloques de plomo. El valor medido por el dinamómetro fue de 1.1 [kgf].

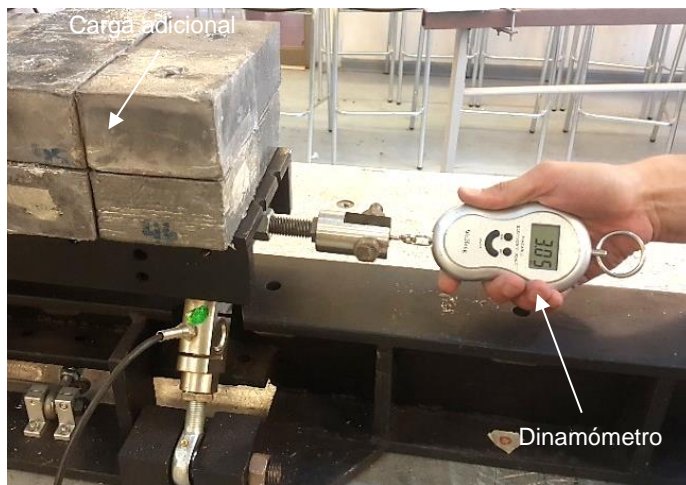


Figura 4-16: Ensayo cuantificación del roce estático con 150 [kg] de carga. El valor medido por el dinamómetro fue de 3.1 [kgf]

Para verificar la transmisibilidad de las fuerzas a la plataforma de medición (ensamble III), se ejerció una fuerza horizontal en el extremo opuesto a la celda que mide el corte basal, a la altura del eje longitudinal central. Los valores medidos por el dinamómetro y la celda de corte de la experiencia se muestran en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Mediciones prueba de cuantificación del roce en el ensamble III.

	MEDICIÓN DE LA CARGA	
	Dinamómetro [kgf]	Celda de carga horizontal [kgf]
Peso [kg]		
15	10.0	9.2
165	30.0	27.2

El roce estático pasa a ser un factor determinante en las curvas fuerzas-deformación de modelos livianos, o más pequeños, ya que se puede confundir con amortiguamiento de la estructura.

COMENTARIOS DE RESULTADOS

El roce no se pudo eliminar completamente del sistema, pero se logró una reducción considerable con la selección adecuada de rótulas. Al reducir el roce no fue necesario realizar correcciones de este a la medición en la celda de corte, ni en las situaciones con más masa, ya que fueron insignificantes comparados con los efectos inerciales propio del sistema de medición.

En sistemas de mediciones a escala más pequeña el roce es un factor determinante. Detalles de un sistema de medición a menor escala se encuentran en la memoria de Montiel, N. (2018).

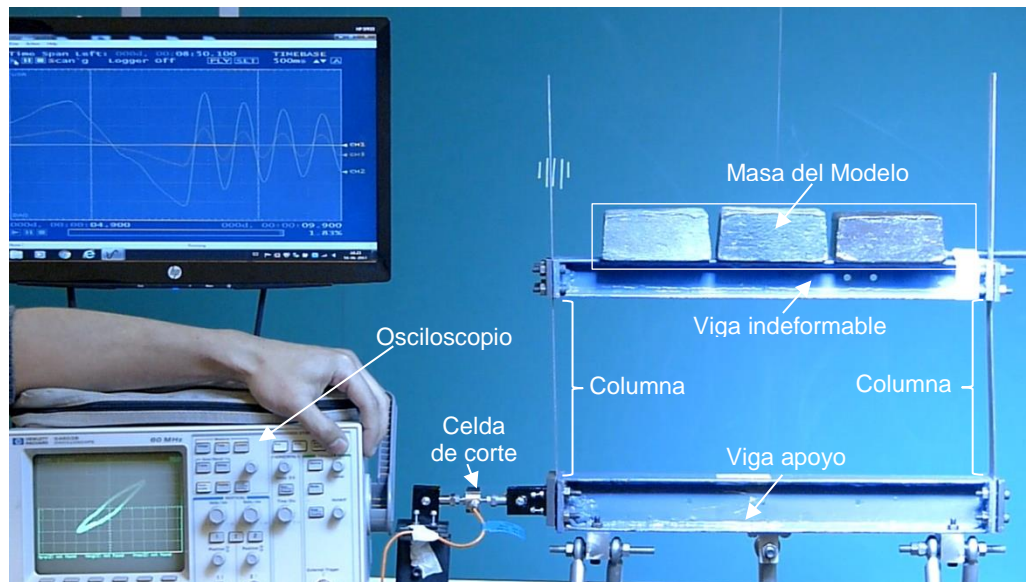


Figura 4-18: Sistema de medición del corte basal con estructura modular para experiencias en dinámica básica. La estructura se encuentra en vibraciones libres del cual se obtienen datos de fuerza y desplazamiento en tiempo real. En la parte inferior izquierda se observa un osciloscopio con la gráfica fuerza-deformación la que evidencia un elevado roce (Montiel, 2018).

3.4 EFECTO DE LA INERCIA DE MASAS

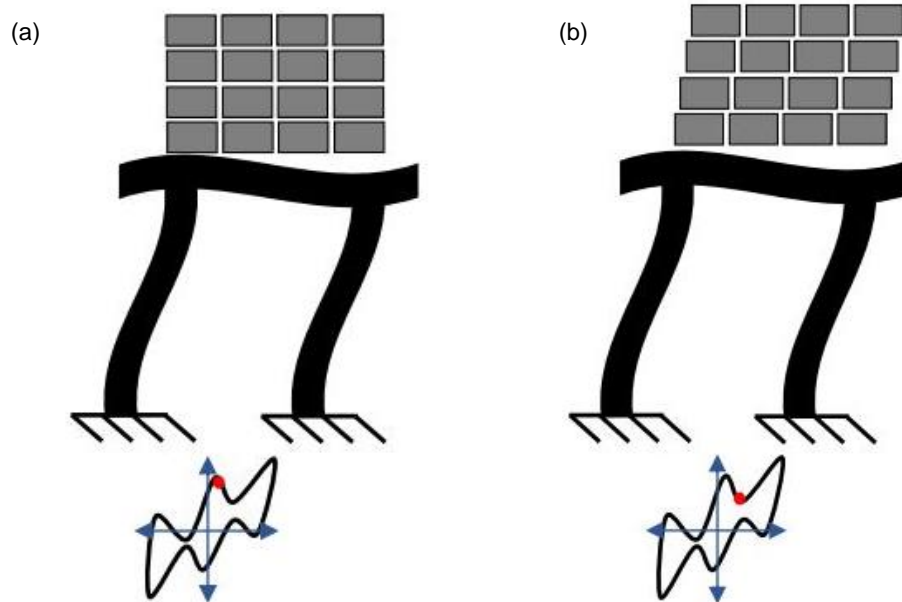


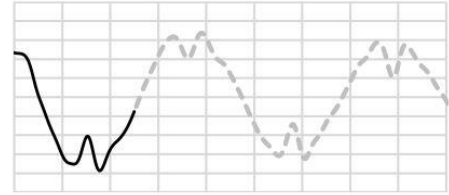
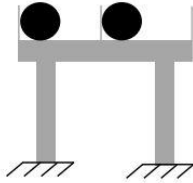
Figura 4-19: Irregularidades en las curvas corte basal – desplazamiento que se observan generalmente cuando el corte se obtiene de la aceleración absoluta. Al existir golpes de los bloques de plomo del lastre entre sí y con la estructura, las cuales se reflejan en variaciones súbitas de aceleración de la masa, la medición del corte en forma indirecta resulta alterada. En los resultados de la medición directa del corte basal este efecto prácticamente no existe.

Una de las características de los ensayos en modelos a escala es el lastre con el que se debe cargar la estructura debido a la aplicación del modelo de réplica adecuado con masa adicional artificial. Los bloques de plomo son ubicados sobre la estructura para controlar las variables físicas adoptadas en los modelos ante solicitaciones basales, las que serán explicadas en la sección 5-6.

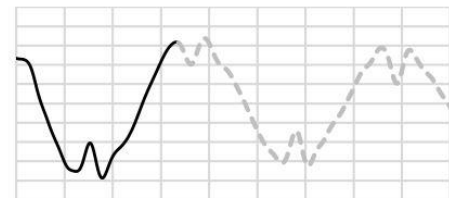
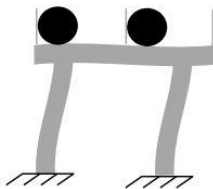
Debido al movimiento basal las masas sueltas a veces se impactan entre sí y con la estructura, lo cual produce aceleraciones súbitas que interfieren en la medición indirecta del corte basal. En la figura 4-19 se muestra de forma exagerada el movimiento de los bloques de plomo.

Para explicar este fenómeno, en la figura 4-20 se muestra esquemáticamente los instantes en que se produce el efecto de inercia de las masas para vibraciones libres de un marco en un experimento docente preparado por Olmos (2016).

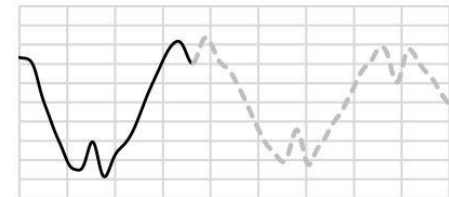
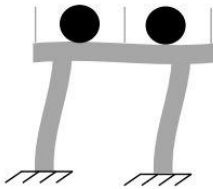
Los cilindros se encuentran pegados a la estructura. Por lo tanto el corte basal incluye el efecto de toda la masa.



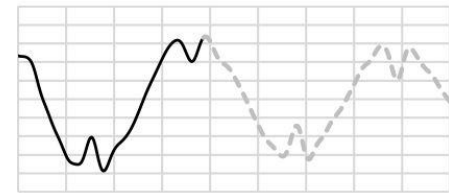
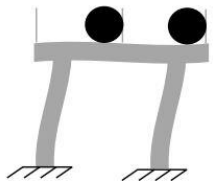
La estructura alcanza el máximo desplazamiento. En este instante se produce un peak local de desaceleración.



Los cilindros se separan de la estructura y la masa reactiva disminuye, en consecuencia la aceleración aumenta y el corte disminuye.



Se produce otro peak debido al impacto de los cilindros con la estructura.



El fenómeno se repite debido a la simetría del sistema.

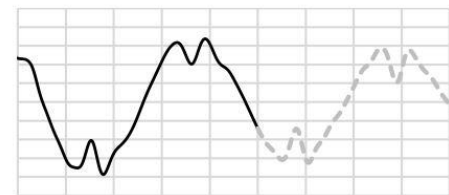
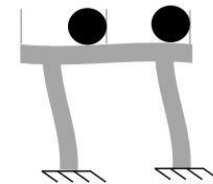


Figura 4-20: Efecto de inercia de masas en marco. Las gráficas corresponden al corte basal indirecto para el instante indicado. Las proporciones de los elementos se han cambiado para una mejor visualización. Olmos. E (2016)

Para tener una idea de la magnitud del efecto del movimiento de las masas sueltas sobre el sistema de medición, los bloques de plomo se bajaron colocándolos directamente sobre la plataforma de medición, a nivel del eje longitudinal, para evitar introducir otras perturbaciones en el sistema. Se formaron ocho columnas con un total de 24 plomos que representan una masa total de 134 [kg]. Un acelerómetro inductivo se instaló en uno de los conjuntos de bloques de plomos para captar el efecto inercia de masas y ver de qué manera interfiere en las mediciones directas e indirectas del corte basal. En la figura 4-21 se muestra el acelerómetro instalado.

Se aplicaron movimientos senoidales con la mesa sísmica manteniendo una amplitud de 10 [mm] y realizando una barrido de frecuencia desde 0 a 20 [Hz].

Un resumen de los resultados obtenidos de aceleración y la celda de carga que mide el corte, se muestra en las gráfica 4-16 y 4-17.

Se observó que a medida que aumentamos la velocidad del movimiento basal, este efecto se fue reduciendo hasta ser imperceptible.

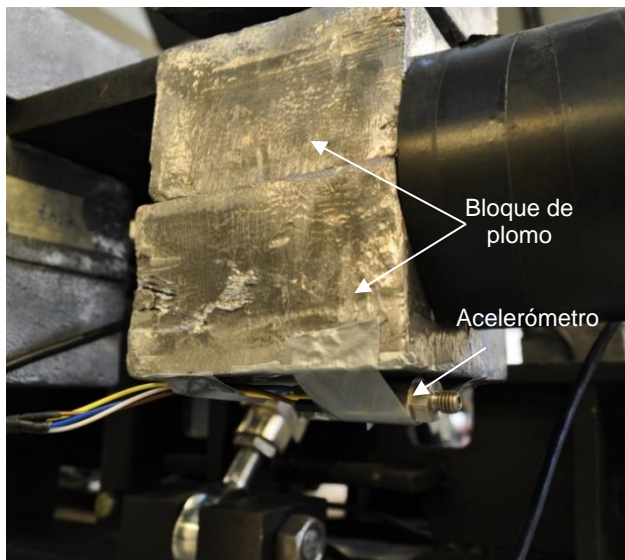
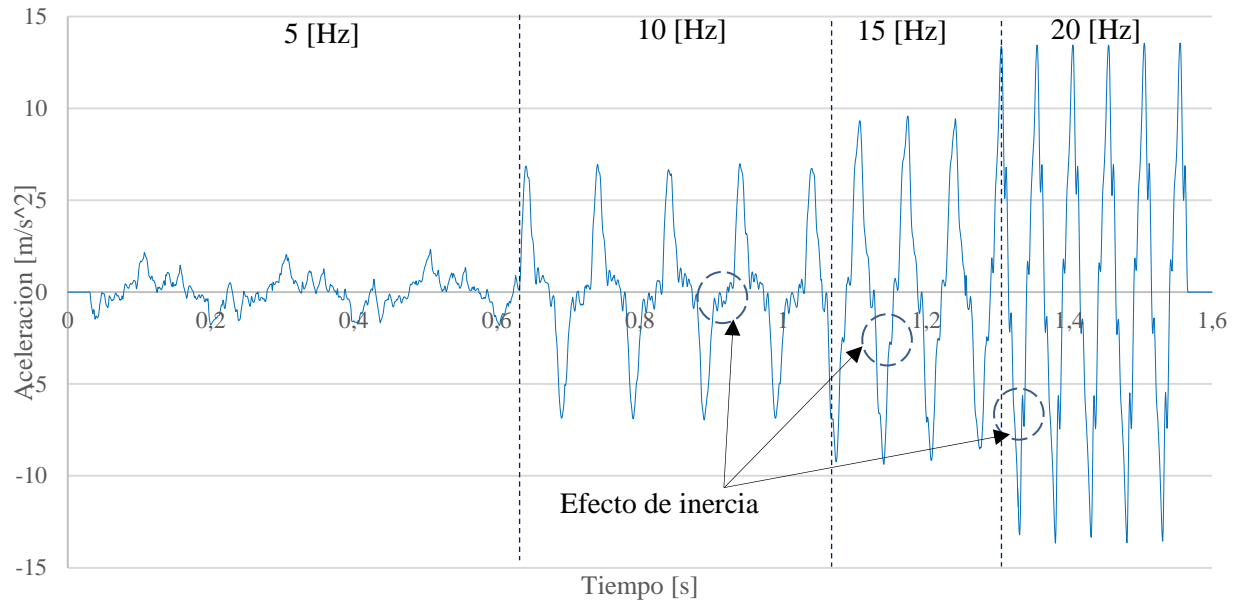
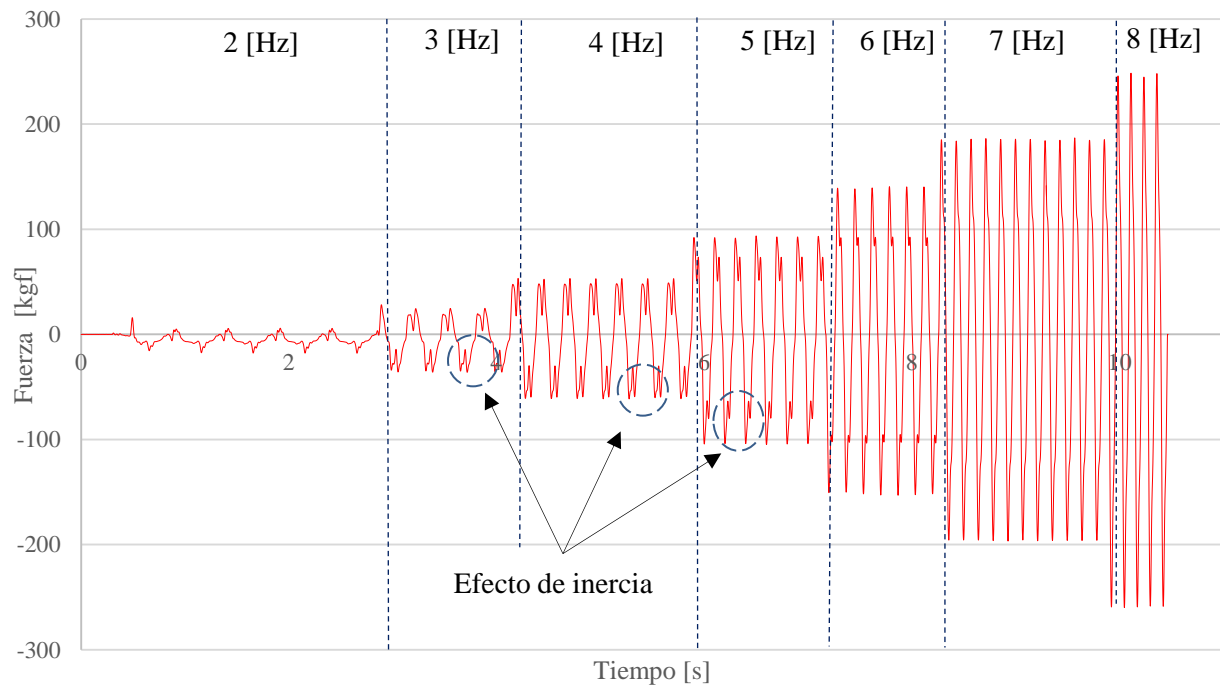


Figura 4-21: Bloque de plomo instrumentado con un acelerómetro inductivo



Gráfica 4-16: Resumen de las aceleraciones para un barrido de frecuencia de 0 a 20 [Hz]. Se observa que la interferencia producida por los golpes de los bloques de plomo con la plataforma de medición



Gráfica 4-17: Resumen de las mediciones del corte basal directo para un barrido de frecuencia de 0 a 20 [Hz]

COMENTARIOS DE RESULTADOS

Se verifico que los choques de los bloques de plomo, entre sí y con la estructura, generan aceleraciones súbitas que perturban la medición del corte basal indirecto. Por lo tanto, para realizar cruce de datos correctos y verificar las mediciones directas del corte obtenidas por la plataforma, es necesario atenuar este efecto mediante alguna herramienta matemática, como aparece en la memoria de Olmos, E. (2016).

Las curvas de corte basal que entregó la medición directa, en esta experiencia en particular, demuestran que, aunque también aquí la estructura experimentó movimientos y golpes del lastre, estos efectos son absorbidos por la masa y no conllevan esfuerzos adicionales de consideración a nivel basal, por lo que no necesitan atenuarse.

CAPITULO V

5. DISEÑO Y MONTAJE DEL MODELO



Figura 5-1: Modelo de perfilería metálica escala 1:10, montado en la plataforma de medición instrumentado con transductores de desplazamiento (LVDT), acelerómetros y cámaras. Además, se situaron verticalmente barras de aceros sueltas en varios puntos del modelo, las cuales representan personas.

En este capítulo se detalla el diseño y construcción de una estructura metálica a escala 1:10, utilizada para probar la plataforma de medición. Las estructuras se ensayaron con y sin aislamiento sísmica. La figura 5-1 muestra un modelo estructural antes de ser ensayado.

El diseño del modelo de perfilería metálica fue una estructura resistente a escala de un quirófano de policlínico ubicado en un área rural industrializada. Este constó de tres niveles: en el nivel basal se ubicaron los aisladores elastoméricos. En el primer nivel se ubicaron los elementos estructurales principales con una altura de 3.3 [m], en la realidad. En el segundo nivel se instaló una estructura de material liviano con una altura 2.2 [m] en la realidad.

4.1 DESCRIPCIÓN

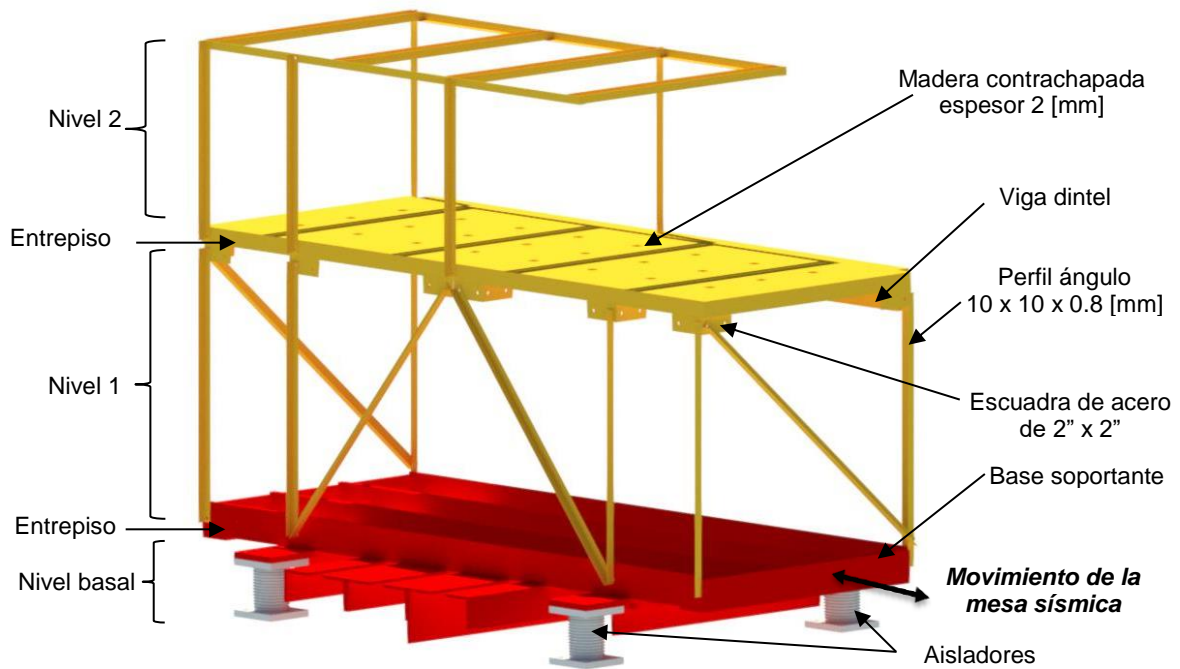


Figura 5-2: Isométrica modelo estructural tipo de perfilera metálica montada sobre base soportante. En la madera contrachapada existe una viga dintel, para evitar deflexiones en el plano sin diagonales, y perforaciones de 1/2" para la sujeción de los bloques de plomos.

El modelo a escala, del cual se construyeron varias unidades que diferían en detalles menores, se fabricó con perfiles doblados con sección ángulo hechos de lámina de acero. En la figura 5-2 se muestra en perspectiva un modelo tipo, con sus elementos estructurales y piezas de conexión.

Se instalaron dos diagonales dispuestas en chevron en una de las caras del nivel uno, paralelas a la dirección del movimiento de la mesa sísmica, confiando a éstas la capacidad resistente del modelo. En su cara opuesta sólo se instalaron columnas. En las caras transversales al movimiento de la mesa sísmica se instalaron diagonales para evitar la torsión en la estructura. En la figura 5-3 se observan los planos de diseño del modelo mencionado.

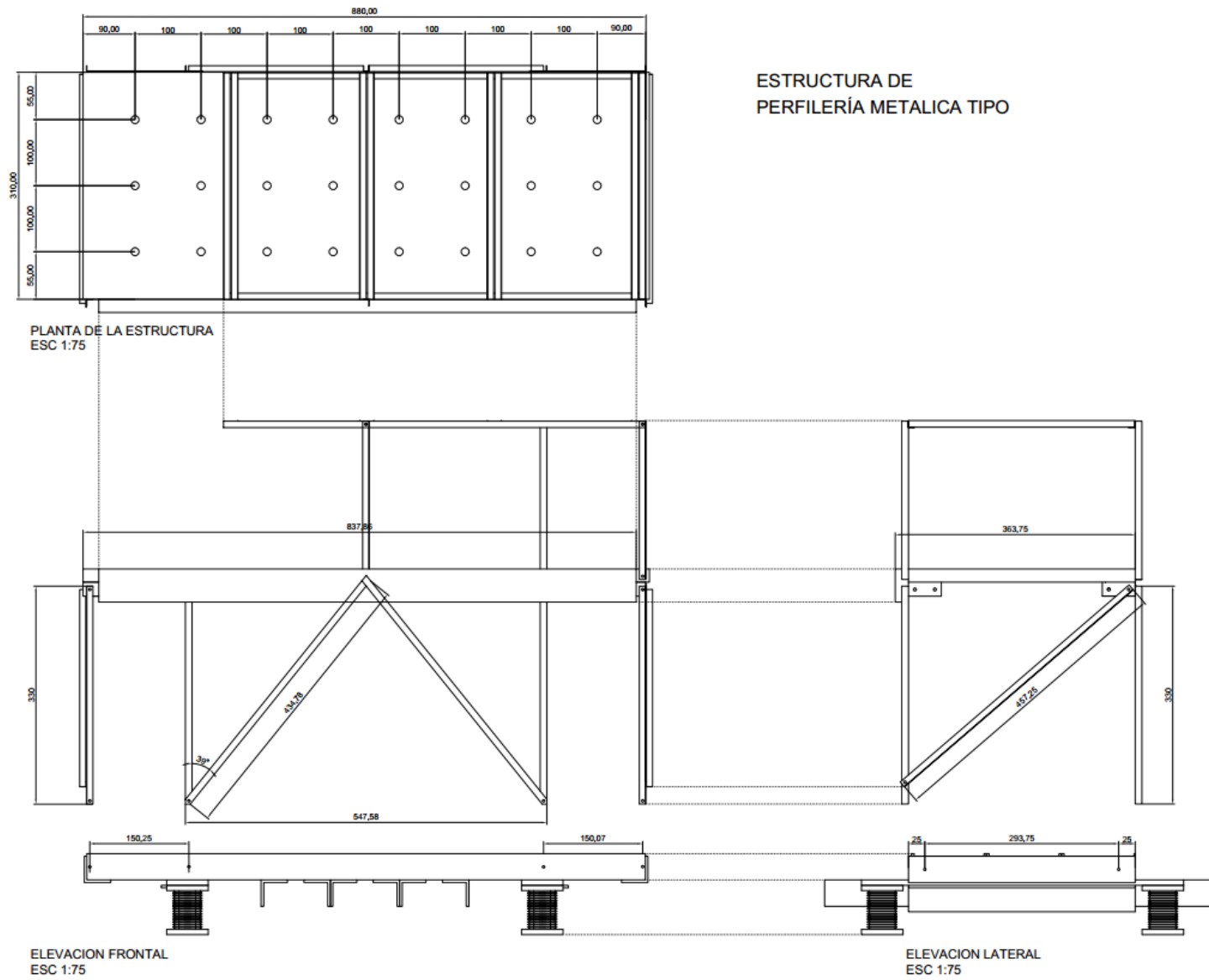


Figura 5-3: Planos de diseño para estructura de perfilería metálica con sistema de aislación. Todas las dimensiones están en [mm].

4.2 UNIONES

Una vez dimensionadas las columnas y diagonales del modelo, se procedió a la unión de los elementos estructurales en los diferentes apoyos, los cuales se observan en detalle en las figuras 5-4 (a) y 5-4 (b)

La viga dintel, como se muestra en la figura 5-4 (c), se utilizó para evitar deflexión del entrepiso de madera provocada por los bloques de plomo en el plano sin diagonales.

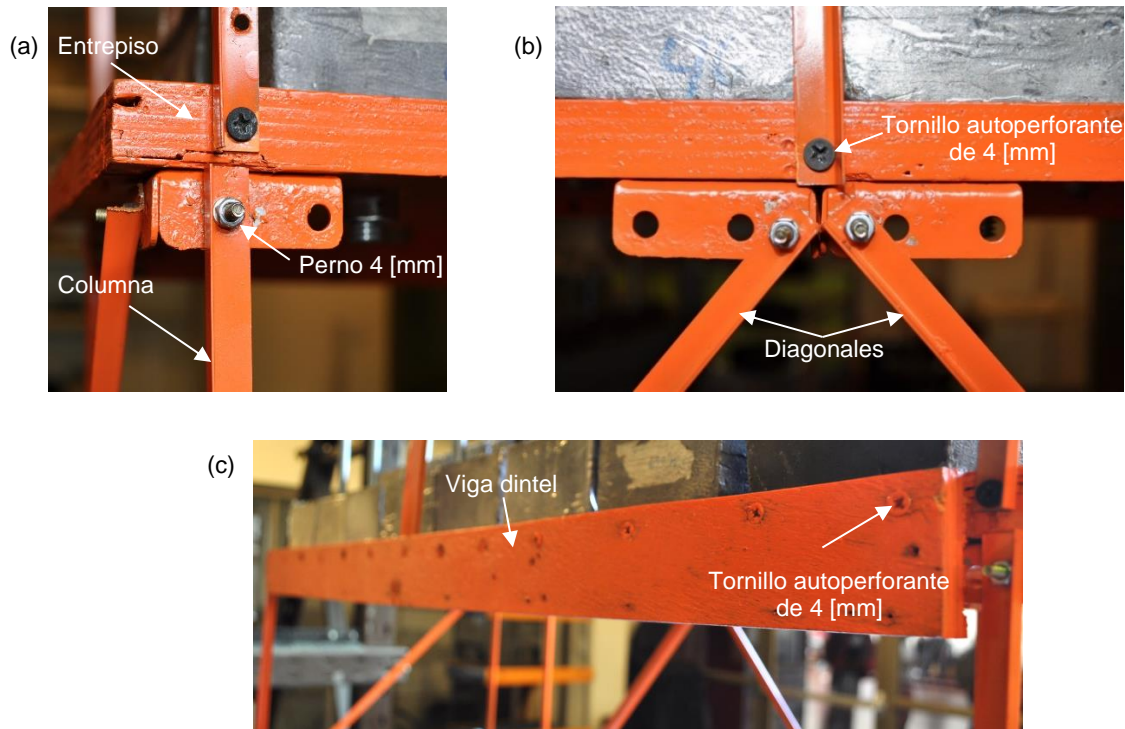


Figura 5-4: Detalle de las uniones de los componentes estructurales del modelo de perfiles metálicas. (a) Unión entre columna y entrepiso de madera. (b) Unión entre diagonales en forma de chevron y entrepiso de madera. (c) La unión de la viga dintel y entrepiso fue hecha con tornillos autoperforantes cada 5 [cm].

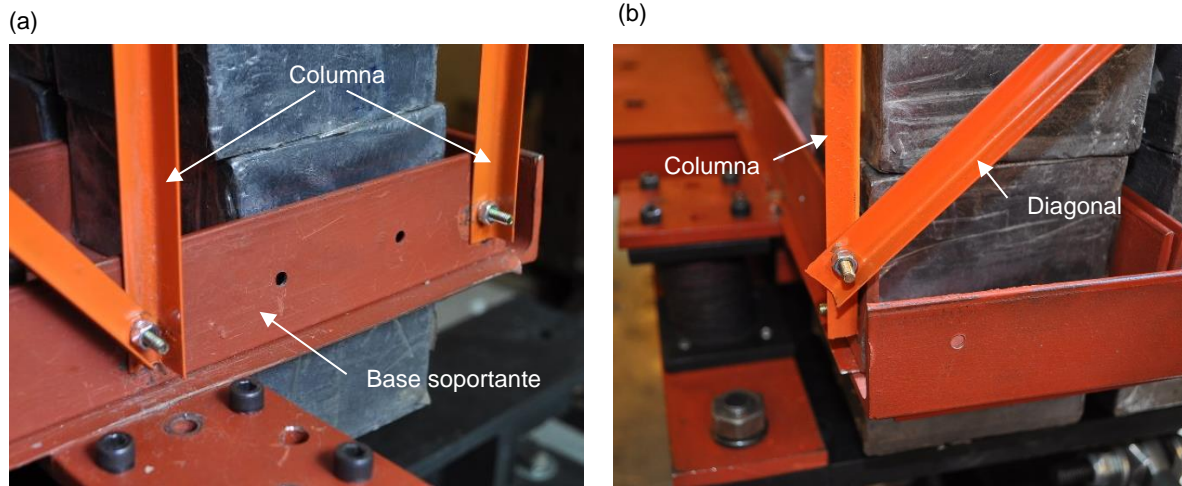


Figura 5-5: Uniones inferiores del modelo de perfilera metálica (a) uniones entre elementos resistentes y base soportante (vista frontal). (b) Unión entre columna y diagonal (vista lateral).

Las uniones inferiores del modelo fueron directamente a la base soportante, como se observa en la figura 5-5 (a), la que cuenta con perforaciones en todo su perímetro distanciados cada 5 [cm], pudiéndose unir más de un elemento por perforación, lo que dio la posibilidad de realizar variadas configuraciones de los elementos estructurales principales en los próximos ensayos.

Las uniones inferiores de las diagonales de las caras transversales se conectaron directamente en la columna, en vez de hacerlo a la base soportante, como se muestra en la figura 5-5 (b). Esto no tuvo buenos resultados, ya que la conexión cedía ante movimientos. Sin embargo, al mejorar la conexión se sobrecargó la columna colapsando muy rápidamente el modelo.

Finalmente se decidió que todas las uniones inferiores de los próximos modelos estructurales fueran directamente a la base soportante, usando una perforación con no más de dos elementos conectados.

4.3 MONTAJE

Una vez ensamblado el modelo estructural en la base soportante con el sistema de aislación sísmica, se incorporaron los bloques de plomo. En el primer nivel, sobre la base soportante se dispusieron 52 bloques de plomo (240 [kg]), necesario según cálculo para que el sistema de aislación funcionara. Mientras que en el segundo nivel se colocaron 32 bloques de plomo (150 [kg]) para mantener las variables físicas adoptadas en el modelo. La figura 5-6 (a) muestra una vista lateral de la estructura con los bloques de plomos instalados.

En los ensayos desarrollados en esta memoria se utilizó una viga de enrejado ubicada arriba de la mesa sísmica la que junto a cuerdas sirvió como sistema de seguridad ante eventuales colapsos inesperados, uno de estos eventos se muestra en la figura 5-6 (b).



Figura 5-6: Vista lateral del modelo estructural: (a) distribución de masas en el primer y segundo nivel obteniendo una masa móvil de 415 [kg] sobre el sistema de aislación. (b) colapso repentino del espécimen provocado por el deslizamiento de una de sus gatas tijera la que funcionaba de soporte durante del montaje.

4.4 INSTRUMENTACIÓN

En los ensayos se determinaron aceleraciones y desplazamientos en diversos puntos de la estructura, además de las mediciones de las celdas de carga de la plataforma, con el fin de realizar todos los posibles cruces de datos y comparar el corte basal según los dos métodos implementados.

Para medir las aceleraciones absolutas en el modelo se instalaron dos sensores inductivos marca HBM, ubicados en el sistema de medición (nivel 0) y entre piso de madera (nivel 2). Este último, fue retirado en algunas ocasiones para protegerlo de cualquier golpe provocado por el colapso de la estructura. Las figuras 5-7 y 5-8 muestran los acelerómetros descritos. Y en la figura 5-10 se presenta la ubicación de estos en el sistema estructural.

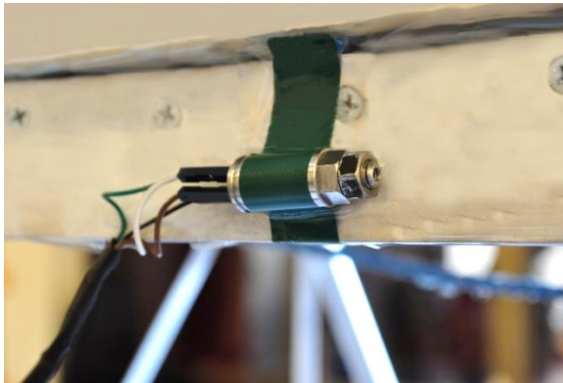


Figura 5-7: Fotografía de acelerómetro inductivo, ubicado en entrepiso de madera del modelo de perfilera metálica.

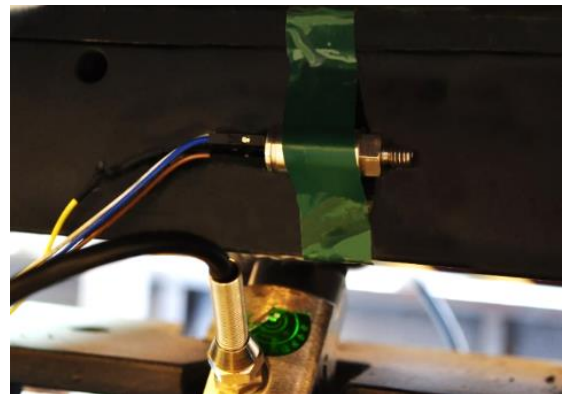


Figura 5-8: Acelerómetro inductivo, ubicado en la plataforma de medición específicamente en la viga de apoyo.

Para la medición de los desplazamientos en el modelo, se instalaron dos transductores LVDT (Linear Variable Differential Transformer), tipo Large Bore (sin contacto) marca Schaevitz, ubicados en la base soportante (nivel 1) y entre piso de madera (nivel 2). Las figuras 5-9 y 5-10 muestran estos instrumentos instalados.

El desplazamiento de la plataforma (nivel 0), se supuso igual al medido por el transductor existente al interior del servo-actuador MTS que mueve la mesa.

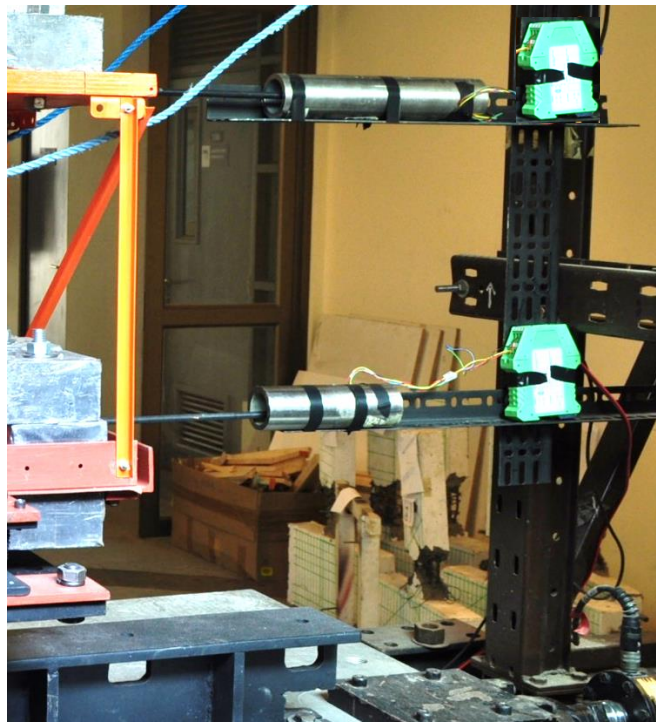


Figura 5-9: Transductores de desplazamiento LVDT y acondicionadores de señal ubicado en estructura de reacción.

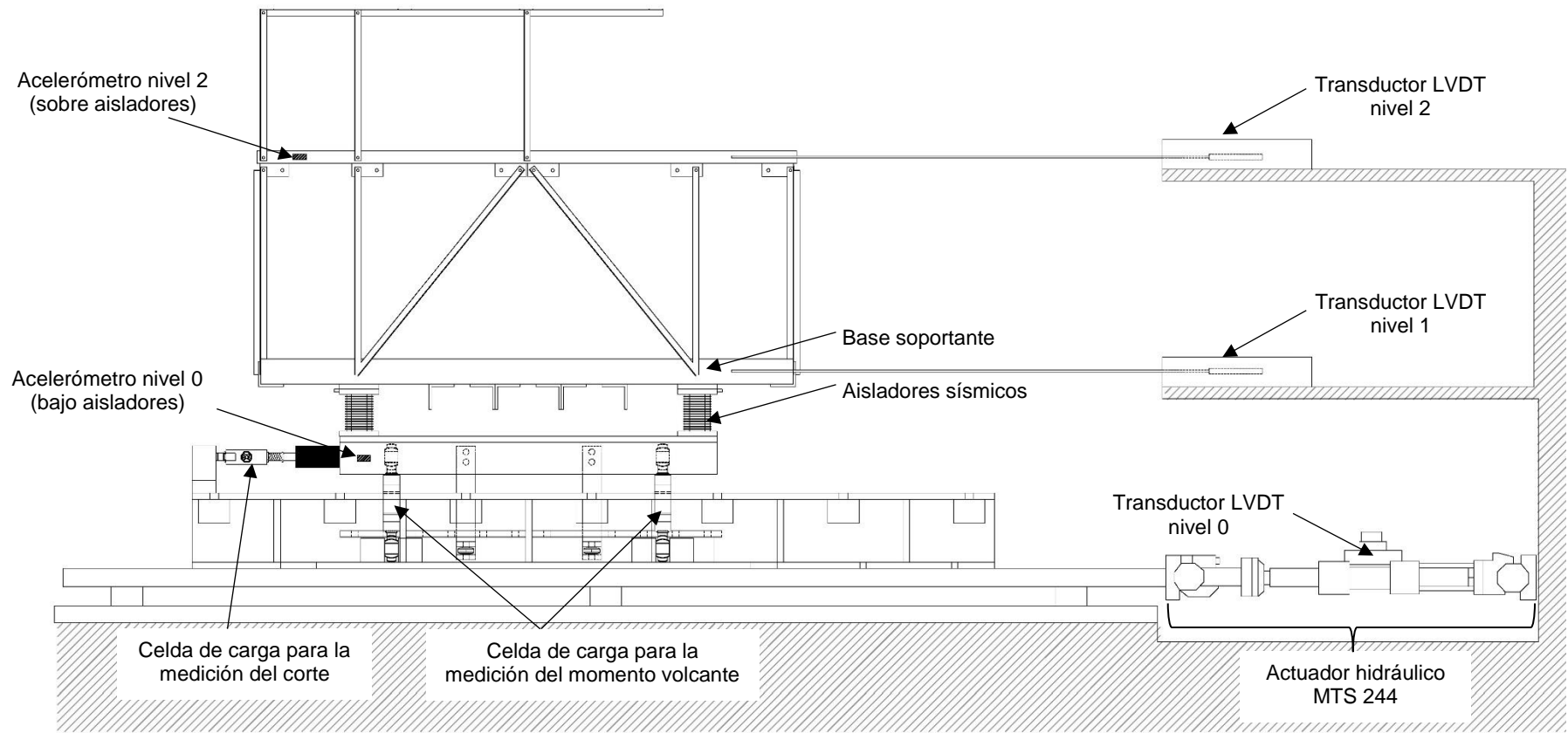


Figura 5-10: Esquema de instrumentación utilizada para el ensayo de estructuras de perfilera metálica con aislamiento sísmico.

4.5 CÁLCULOS PREVIOS

En la solución de la ecuación del movimiento para sistemas en vibración libre, no se considera fuerza externa alguna. Para comprender mejor la respuesta de los sistemas estructurales, se identifican algunas características fundamentales de su comportamiento dinámico. Primero se estudió las propiedades estructurales del modelo sin aislar, y luego con el sistema de aislación.

4.5.1 Modelo sin aislación

Para la obtención de las propiedades estructurales del modelo, se estudiaron las oscilaciones libres, para esto se aplicó un golpe con un martillo de goma a la altura del entresuelo de madera (nivel 2). La vibración obtenida después del golpe se muestra en la gráfica 5-1.

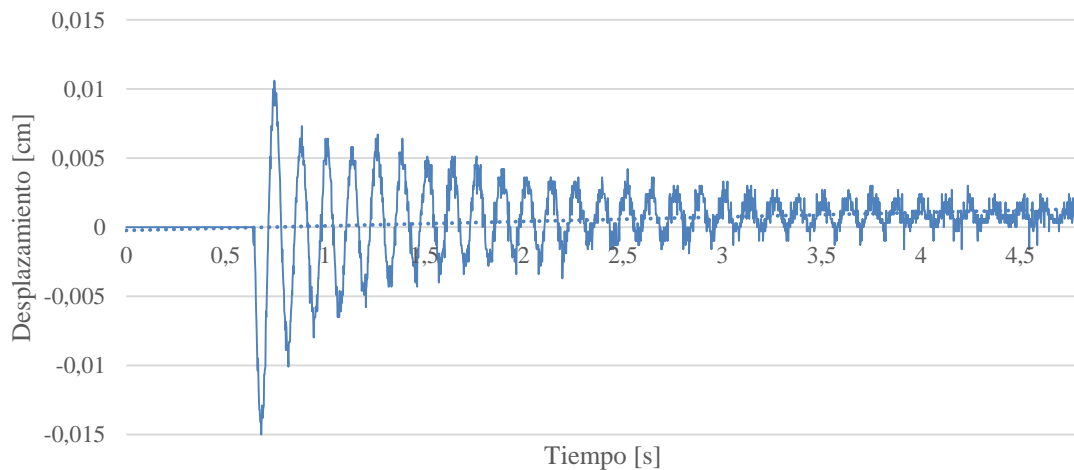


Gráfico 5-1: Vibraciones libres del modelo de perfilera metálica sin aislación, con una masa de 150 [kgf] y un periodo natural de 0.03 [s].

Del gráfico se obtiene la frecuencia:

$$\omega_e = \frac{20}{(3,31 - 0,78)} = 7,9 \left[\frac{\text{ciclos}}{s} \right]$$

Donde:

ω_e : Frecuencia natural del modelo estructural sin aislación sísmica.

Al modelo estructural también se le realizaron cálculos teóricos de rigidez en la dirección de análisis y periodo natural. La rigidez de la estructura es determinada por el número de diagonales que se encuentran en el plano paralelo a la dirección del movimiento, que en este caso fueron dos. La rigidez se obtuvo de la siguiente expresión:

$$k_{Total} = \sum_{i=1}^2 k_i = \sum_{i=1}^2 \frac{A * E}{L} * \cos^2 (\theta_i) = 6083,2 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \right]$$

Donde:

k_{Total} : Rigidez total del sistema correspondiente al grado de libertad de análisis
 k_i : Rigidez de cada biela birrotulada
 i : Subíndice, número de la diagonal
 A : Área transversal del perfil ángulo
 E : Modulo de elasticidad del acero
 L : Longitud de la biela
 θ : Angulo de inclinación de la biela, en este caso 51°

Posteriormente, la rigidez total del sistema se obtuvo de la frecuencia, determinada por la siguiente expresión:

$$\omega_t = \frac{1}{2 * \pi} \sqrt{\frac{k_{Total}}{M}} = 32,0 \left[\frac{\text{ciclos}}{s} \right]$$

Donde

ω_t : Frecuencia natural teórica del modelo estructural
 M : Masa de la estructura del segundo nivel

La diferencia entre los valores obtenidos para la frecuencia natural, se atribuye a las conexiones apernadas del modelo, las cuales antes de comenzar el movimiento basal se encuentran firmemente atornilladas, pero comienzan a soltarse luego de someter al modelo a movimientos. Esto trajo como consecuencia el aumento del periodo natural de 0.03 a 0.12 segundos. Por otro lado, existen otras causas que aportan al aumento del periodo natural como el roce y el juego mecánico.

4.5.2 Modelo aislado

La frecuencia natural de la estructura con aislación sísmica fue determinada también por las oscilaciones libres. La curva obtenida se muestra en el gráfico 5-2.

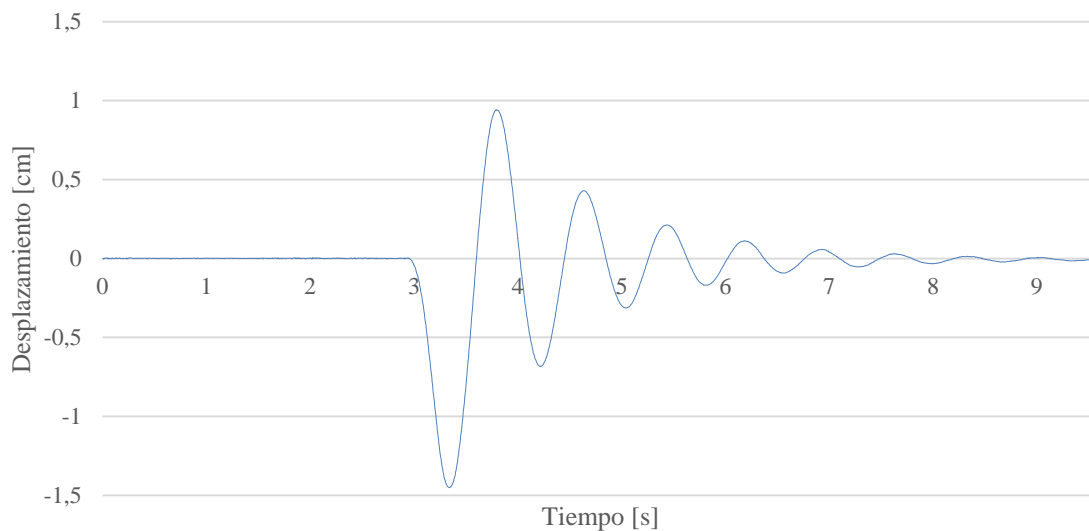


Gráfico 5-2: Vibraciones libres estructura de perfilera metálica aislada, con una masa móvil de 415 [kg] y periodo natural de 0.12 [s].

La frecuencia natural obtenida a partir del número de ciclos transcurridos por unidad de tiempo de acuerdo con el gráfico se tiene:

$$\omega_{Ae} = \frac{4}{(7,1 - 4,025)} = 1,30 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{s}} \right]$$

Donde:

ω_{Ae} : Frecuencia natural de la estructura aislada experimental

La rigidez horizontal experimental (k_{he}) del sistema de aislación fue calculada con una masa móvil de 415 [kg] lo que se comparó con las curvas obtenidas del grafico carga v/s deformación para varios casos de condiciones de lastre. (Sepulveda 2017)

Analizando los resultados presentados por Sepulveda (2017), se pudo apreciar que la rigidez horizontal de los aisladores disminuye al aumentar la cantidad de lastre. La causa principal es la gran carga axial a la que están sometidos los aisladores debido a la gran cantidad de plomo de la estructura, lo que sumado a deformaciones horizontales importantes, provoca un momento adicional sobre los aisladores aumentando la deformación consecuentemente, fenómeno al cual se le suele llamar efecto P-delta. En consecuencia, el período aumenta y se ha visto que el amortiguamiento también aumenta al incrementar la masa, hasta que los aisladores comienzan a presentar problemas de inestabilidad.

Al modelo estructural con aislación sísmica también se le realizaron cálculos estimativos de rigidez lateral determinada por la siguiente expresión (Naeim 1999)

$$k_{HT} = 4 * \frac{G * A}{H_r} = 24.1 \left[\frac{kgf}{cm} \right]$$

Donde:

- k_{ht} : Rigidez horizontal teórica del sistema de aislación sin lastre
- G : Modulo de corte del caucho
- A : Área de la sección transversal del caucho
- H_r : Espesor total del caucho en el aislador

La rigidez horizontal obtenida por la expresión anterior nos proporciona la rigidez total del sistema de aislación pero sin lastre de plomo.

Para determinar la frecuencia natural teórica del sistema de aislación, se utilizó la rigidez horizontal calculada anteriormente y una masa de 415 [kg] correspondiente a la superestructura.

$$\omega_{AT} = \sqrt{\frac{k_{ht}}{m}} = 1.2 \left[\frac{ciclos}{s} \right]$$

Donde:

- ω_{AT} : Frecuencia natural teórica del sistema de aislación
- k_{ht} : Rigidez horizontal teórica del sistema de aislación
- m : Masa base sobre los aisladores

4.5.3 Análisis sísmico

Los conceptos de corte basal y fuerza lateral equivalente son muy usados en la práctica, puesto que las normas de diseño establecen las solicitaciones sísmicas a través de estos conceptos para el análisis sísmico.

El análisis sísmico permitió comparar el corte basal de diseño, el cual se realizó por recomendaciones de la norma NCh. 2369 y se complementó con la norma NCh. 433, contra el corte obtenido de la plataforma de medición. Sin embargo, no se realizó análisis sísmico de la estructura con aislación, recomendado por la NCh. 2745, ya que el objetivo de esta memoria fue medir correctamente el corte basal y se utilizó el modelo aislado para la obtención de datos.

Para la obtención del corte basal total se siguió el artículo 5.2 de la NCh. 2369, el que dice que las estructuras de altura de hasta 20 metros y que se puedan asimilar a un sistema de un grado de libertad podrán ser analizadas sísmicamente por el método elástico estático del punto 5.3 de la misma norma. Por lo anterior, el corte basal horizontal de diseño se calculó con la siguiente expresión:

$$Q_0 = CIP$$

Donde:

- C : Coeficiente sísmico, definido posteriormente
- I : Coeficiente de importancia
- P : Peso total de la estructura a nivel basal

El coeficiente sísmico fue determinado según la siguiente expresión:

$$C = \frac{2.75 * A_0}{g * R} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n \left(\frac{0.05}{\zeta} \right)^{0.4}$$

Donde:

- A_0 : aceleración efectiva máxima definida según zonificación sísmica
- T',n : parámetros relativos al tipo de suelo de fundación
- T^* : período fundamental de vibración en la dirección de análisis
- R : factor de modificación de la respuesta
- ζ : razón de amortiguamiento.

Los supuestos seleccionados para la aplicación de la norma NCh. 2369 fueron que la estructura clasificara en la categoría C1, localizada en la zona sísmica tres y fundada sobre un suelo tipo III.

El sistema resistente se clasificó como estructura de acero, cuyo comportamiento sísmico está controlado por el fenómeno de pandeo, por lo que el valor del factor de modificación de la respuesta R fue igual a 3 según la tabla 5.6 de la NCh. 2369. Considerando lo anterior, los parámetros utilizados fueron los siguientes:

I	= 1,2	(Art. 4.3.2 NCh. 2369)
A_0	= 0,4 g	(Tabla 5.2 NCh. 2369)
T'	= 0,35 [s]	(Tabla 5.4 NCh. 2369)
n	= 1,33	(Tabla 5.4 NCh. 2369)
ζ	= 0,03	(Tabla 5.5 NCh. 2369)
R	= 3	(Tabla 5.6 NCh. 2369)

El periodo experimental del modelo a escala permite obtener el periodo a escala natural (T^*) que se utiliza en el cálculo del coeficiente sísmico, a través del factor de escala, el que correspondía a 0.1 segundos.

Según los artículos 5.3.3.1 y 5.3.3.2 de la norma NCh. 2369, el valor de C debe ser mayor a $0,25 A_0/g$ que en este caso es igual a 0,1 y no necesita ser mayor que 0,34. El coeficiente sísmico obtenido fue de 0,35.

La determinación del peso sísmico se hizo aplicando el factor escala al peso total correspondiente a los plomos más la mitad superior de la estructura, la que arrojó un valor de 15 toneladas.

Considerando el coeficiente sísmico se calculó la magnitud del corte basal de diseño, el cual para el modelo de perfilería metálica descrito fue:

$$Q_0 = CIP = 6.3 [t]$$

Usando el factor escala de fuerza se pudo obtener el corte basal de diseño a escala, resultando:

$$Q_{0e} = \frac{12234}{100} [kg] = 63 [kg]$$

4.6 FACTORES DE ESCALA

Para aplicar a la estructura real los resultados obtenidos de los ensayos del modelo se debe convertir a escala real los valores medidos en la estructura a escala reducida. Las relaciones de las variables físicas medidas en el modelo y las que se dan en la estructura real están determinadas por el análisis dimensional.

En el caso de estudios de modelos de perfilera metálica, lo usual es que se consideren como variables independientes la dimensión lineal (L), la aceleración (A) y el módulo de elasticidad (E). A partir de estas tres quedan determinadas las escalas restantes, como se muestra en la tabla 5-1.

Tabla 5-1: Factores de escala.

Parámetro		Dimensión	Factor de escala de modelo réplica exacta	Factor de escala de modelo adecuado con masa adicional artificial
Longitud -Desplazamiento	S_L	L	S_L	S_L
Tiempo	S_T	T	$S_L^{1/2} S_a^{-1/2}$	$S_L^{1/2}$
Velocidad	S_V	LT^{-1}	$S_a^{-1} S_L^{1/2}$	$S_L^{1/2}$
Aceleración	S_A	LT^{-2}	S_a	1
Fuerza	S_F	F	$S_E S_L^2$	S_L^2
Módulo de elasticidad	S_E	FL^{-2}	S_E	1
Peso específico	S_p	FL^{-3}	$S_E S_L^{-1}$	S_L^{-1}
Esfuerzo	S_S	FL^{-2}	S_E	1
Deformación unitaria	S_ϵ	-	1	1

Al disminuir las dimensiones lineales manteniendo sin cambios las otras variables la aceleración también disminuye, lo cual no es deseable ya que los modelos están expuestos a la aceleración de gravedad que es difícil de modificar en experimento de este tipo. Para que pueda darse el factor de escala utilizado S_L igual a diez manteniendo S_A igual a uno es necesario acortar el tiempo de acuerdo a la siguiente relación.

$$S_A = \frac{S_L}{S_T^2} \quad ; \quad S_T = \sqrt{\frac{S_L}{S_A}} = \sqrt{10} = 3.16$$

Se entiende que el factor de escala S_E del módulo de elasticidad se refiere a la relación esfuerzo-deformación del material, más que al valor de elasticidad (E) propiamente tal. Por esta razón, conviene emplear en el modelo el mismo material que en la estructura real, o uno muy parecido, de esta manera $S_E=1$ y comportamientos no lineales quedan tomados en cuenta en forma automática.

Por otro lado, es necesario que los esfuerzos en el modelo sean los mismos que en la estructura real. El factor de escala de los esfuerzos (S_σ) debe ser igual a 1, y lo mismo ocurre con el factor del módulo de elasticidad (S_E). Sin embargo, al considerar S_A igual a S_E es igual a uno se origina un problema en la escala del peso específico (S_ρ). La solución utilizada para este problema es incorporar al modelo una masa adicional distribuida en bloques de plomo, lo más cerca donde esté realmente ubicada la masa de la estructura real, suponiendo que la densidad queda afectada de manera de satisfacer:

$$S_\rho = \frac{S_F}{S_L^3} = \frac{S_E}{S_L} = \frac{1}{10}$$

Este tipo de modelo recibe el nombre de “modelo replica adecuado con masa adicional artificial”. Para los modelos construidos en esta memoria, se debe agregar una cantidad de masa artificial aproximada de 150 [kg], la cual se incorporó mediante barras de plomo, como se mencionó anteriormente. La tabla 5-2 resume la relación entre los parámetros de la estructura real y el modelo considerando una escala 1/10.

Tabla 5-2: Relación entre modelo y prototipo. La masa tiene un factor de escala igual a la fuerza.

Parámetro		Para transformar de modelo a prototipo multiplicado por
Longitud -Desplazamiento	S_L	10
Tiempo	S_T	3.16
Velocidad	S_V	3.16
Aceleración	S_A	1
Fuerza	S_F	100
Módulo de elasticidad	S_E	1
Peso específico	S_ρ	1
Esfuerzo	S_S	1
Deformación unitaria	S_ϵ	1

CAPITULO VI

6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

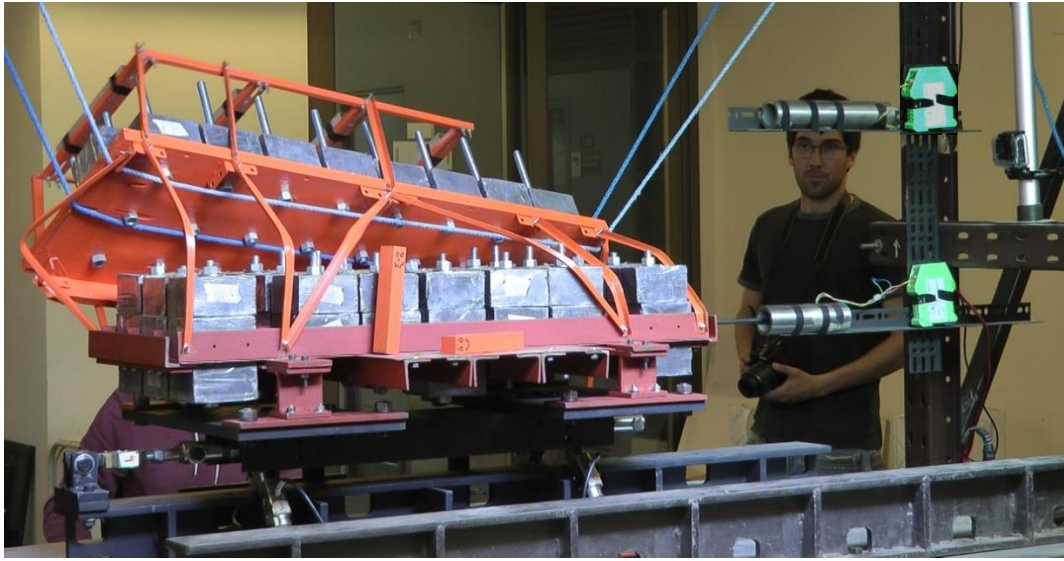


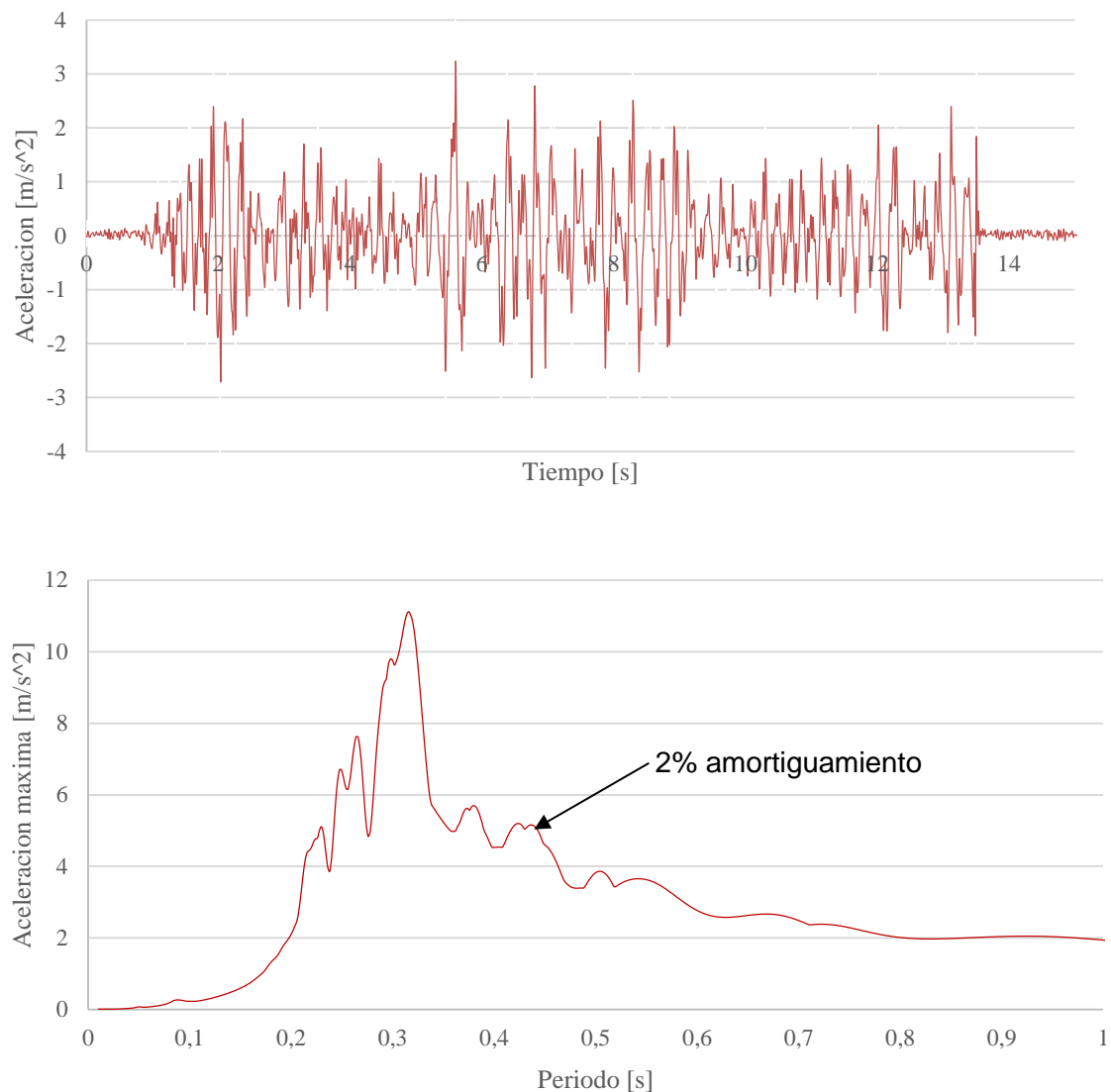
Figura 6-1: Estructura sin aislación sísmica después de ser sometida al registro de Viña del Mar de 1985.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las celdas de carga de la plataforma, sensores de aceleración y desplazamiento, del modelo descrito en el capítulo V, el cual fue sometido al registro Viña del Mar del año 1985, último terremoto de importancia originado en la región. Este registro alcanzó aceleraciones horizontales de $-0.29 [g]$ a $0.35 [g]$ en la dirección $S20^{\circ}E$ (Holmberg 1990).

Al utilizar un modelo a escala $1/10$ del tipo réplica adecuado, las unidades de tiempo se acortan en $\sqrt{10}$, por lo que los cuarenta segundos de movimiento fuerte del registro de Viña del Mar '85 se reducen a trece segundos.

5.1 RESULTADOS DEL MODELO AISLADO

En los ensayos sísmicos de modelos con sistema de aislación fueron sometidos al registro Viña del Mar '85 y luego al mismo con amplitudes amplificadas al 200% y 250%. En la gráfica 6-1 se muestra el registro de aceleración usado como sollicitación basal (sin amplificar) y su espectro de aceleraciones obtenido por la aproximación de Newmark.



Gráfica 6-1: Registro de aceleraciones del terremoto Viña del Mar componente S20°W obtenidas por: (a) acelerómetro ubicado en la plataforma de medición. (b) Espectro de aceleración asociado al registro.

Durante los ensayos realizados se pudo observar que el registro sísmico no provocó ningún tipo de daño ni en los elementos estructurales ni en los no estructurales, como se muestra en la figura 6-2.

Los gráficos 6-1 a -6-4 muestran los resultados obtenidos de las fuerzas de corte, momento volcante, aceleraciones absolutas y desplazamiento relativo entre la base soportante y la superestructura. Luego, a la fuerza de corte obtenida de la plataforma se le realizó una corrección, la cual será explicada posteriormente.



Figura 6-2: Edificio con sistema de aislación luego de ser sometido al registro de Viña del mar de 1985. Se observa que las barras de acero que tratan de representar personas, fuera del edificio se volcaron y dentro no..

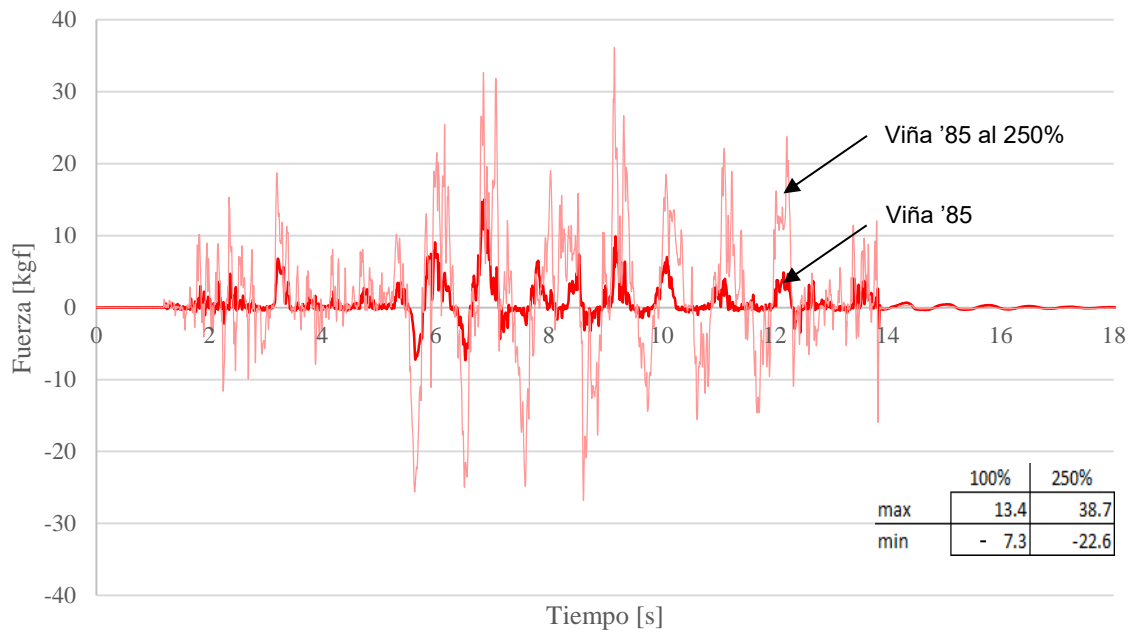


Gráfico 6-1: Curvas obtenidas de la celda de carga de corte de la plataforma en los ensayos del modelo con el sistema de aislación, sometido al registro de Viña del Mar de 1985 sin amplificar y amplificado al 250%.

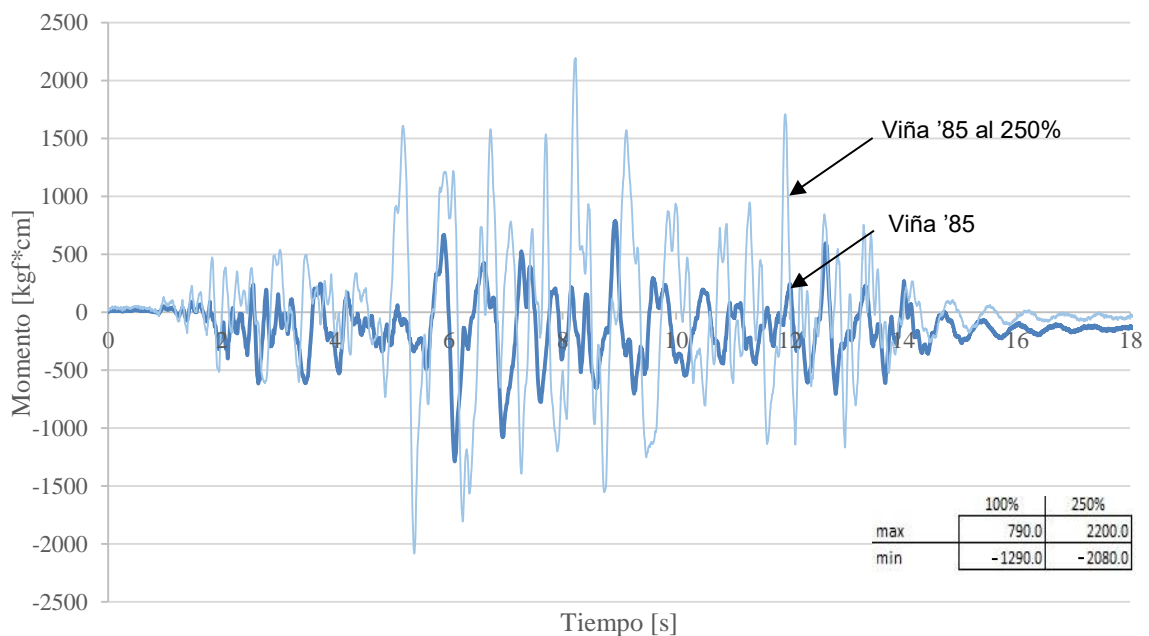


Gráfico 6-2: Curvas de momento volcante obtenidas de la celda de carga soportante de la plataforma en los ensayos del modelo con el sistema de aislación, sometido al registro de Viña del Mar de 1985 sin amplificar y amplificado al 250%

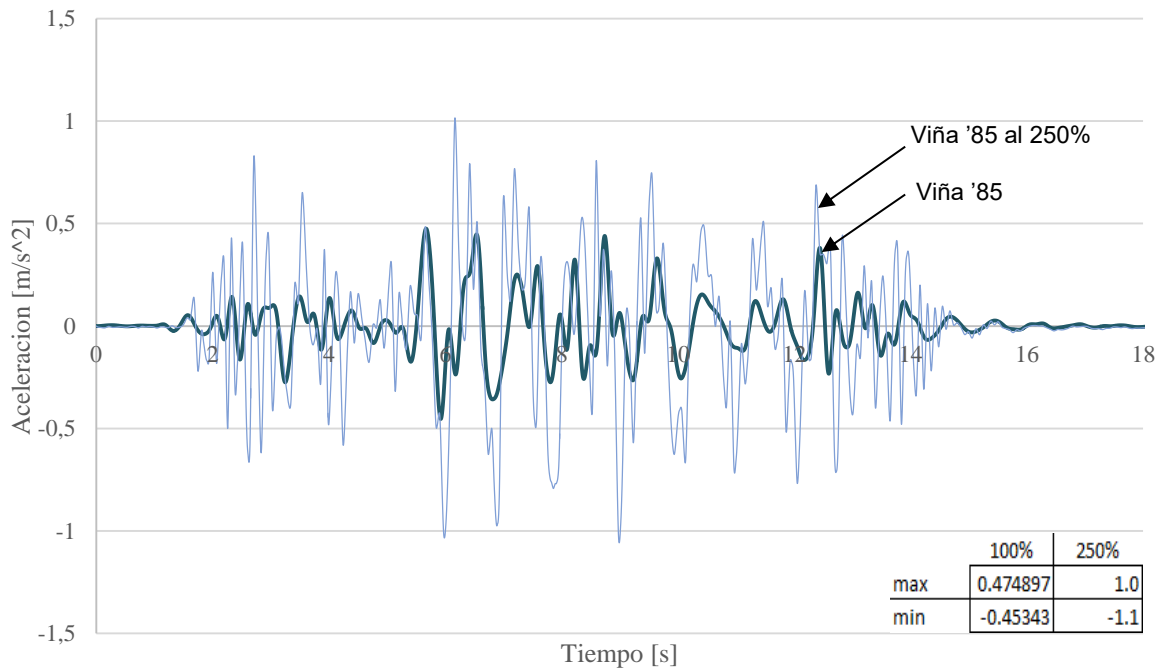


Gráfico 6-3: Curvas obtenidas del acelerómetro ubicado en el segundo nivel del modelo (masa móvil) en los ensayos con el sistema de aislación, sometido al registro de Viña del Mar de 1985 sin amplificar y amplificado al 250%.

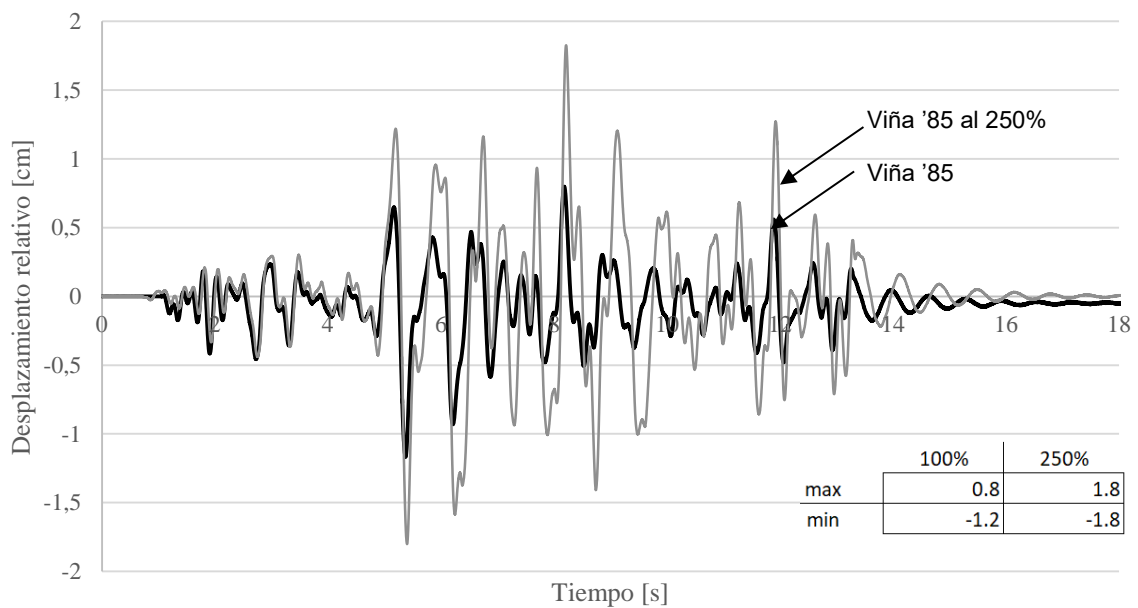


Gráfico 6-4 : Curva de desplazamiento relativo del modelo en los ensayos con sistema de aislación, obtenida de la diferencia entre la medición del LVDT ubicado en el segundo nivel y el ubicado en la plataforma de medición, sometido al registro de Viña del Mar de 1985, sin amplificar y amplificado al 250%.

5.1.1 SOLUCIÓN NUMÉRICA

Utilizar métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial de movimiento permite determinar el desplazamiento de la estructura sometida a excitaciones arbitrarias mediante una formulación recursiva, siempre que las condiciones iniciales de la estructura (posición y velocidad) sean conocidas y que la fuerza que solicita a la estructura también lo sea, al menos en los instantes de tiempo discretos.

Particularmente, en los ensayos de modelos con sistema de aislación se implementó el método aproximado de diferencia central y Newmark, en el cual se consideró solo el comportamiento lineal del sistema. Las aproximaciones obtenidas fueron comparadas con los desplazamientos relativos del modelo teniendo mejor resultado en la aproximación de Newmark, como se muestra en la gráfica 6-5. Sin embargo, en modelos con base fija no se realizaron aproximaciones, debido a que no hubo registros de la aceleración y desplazamiento por el inminente colapso de la estructura sin aislación, el cual podría dañar los instrumentos. En el anexo VI se encuentra la implementación de los métodos en el programa Matlab2013.

Anil Chopra, (2014), presenta los conceptos básicos detrás de estos métodos y los algoritmos de cálculo necesarios para su implementación.

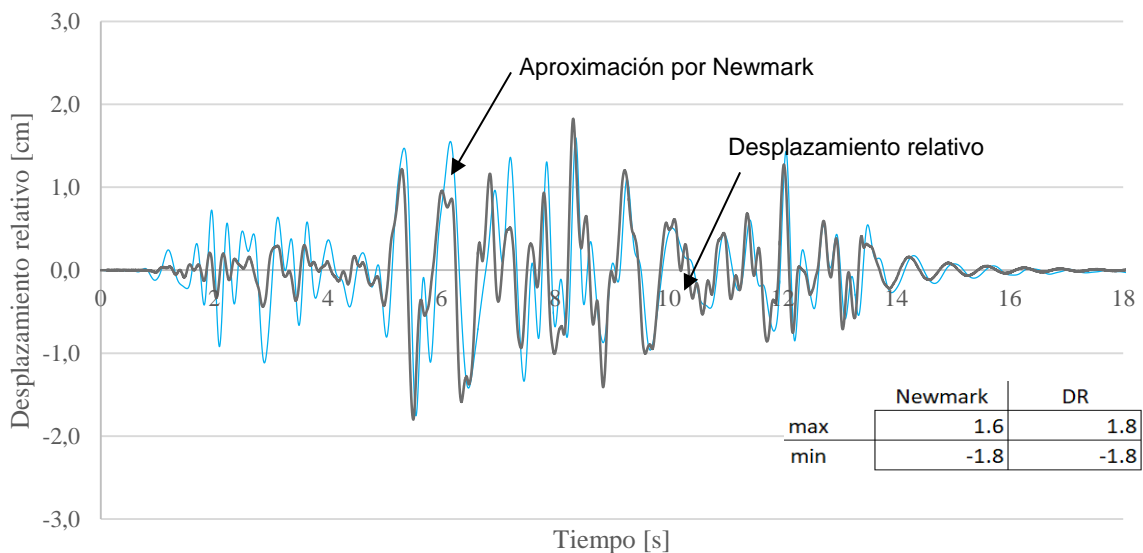


Gráfico 6-5: Curvas de desplazamientos obtenidas de la aproximación de la respuesta por el método de Newmark (celestes) y del LVDT (gris) ubicado en el segundo nivel del modelo en los ensayos con sistema de aislación, sometido registro de Viña del Mar 1985, amplificado al 250%.

5.1.2 CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN DE CORTE BASAL

Para explicar el procedimiento de corrección en los resultados obtenidos del corte basal se comenzará presentando la ecuación de movimiento del modelo de perfilería metálica con aislación sísmica, excitado por una aceleración aplicada en su base.

$$m * \ddot{x}(t) + c * \dot{x}(t) + k * x(t) = - m * a(t)$$

Donde:

m	: Masa correspondiente al modelo (masa móvil)
c	: Coeficiente de amortiguamiento de los aisladores
k	: Rigidez de los aisladores
\ddot{x}, \dot{x}, x	: Aceleración, velocidad y desplazamiento de la masa móvil
$a(t)$: Aceleración basal (registro de viña del Mar 1985)

Se puede reescribir la ecuación de movimiento como:

$$c * \dot{x}(t) + k * x(t) = - m * [\ddot{x}(t) + a(t)]$$

$$c * \dot{x}(t) + k * x(t) = FLC$$

$$V(t) = FLC$$

Donde:

$V(t)$: Corte basal medido por la plataforma
FLC	: Fuerza registrada por la celda de carga
M	: Masa de la plataforma

En este modelo en particular, la masa sobre los aisladores (masa móvil) es más grande que la masa de la plataforma, lo que puede hacer pensar que no necesite corrección. Sin embargo, las aceleraciones de la masa del sistema son elevadas, el cual hace que el término de inercia tome importancia. Por lo descrito anteriormente, se incorporó el término inercial a la ecuación, resultando:

$$v(t) = FLC + (M * a)$$

Donde:

$v(t)$: Corte basal corregido
 FLC : Fuerza registrada por la celda de carga

A continuación, en el gráfico 6-6 se muestra en color rojo la medición de la celda de carga de corte basal corregida.

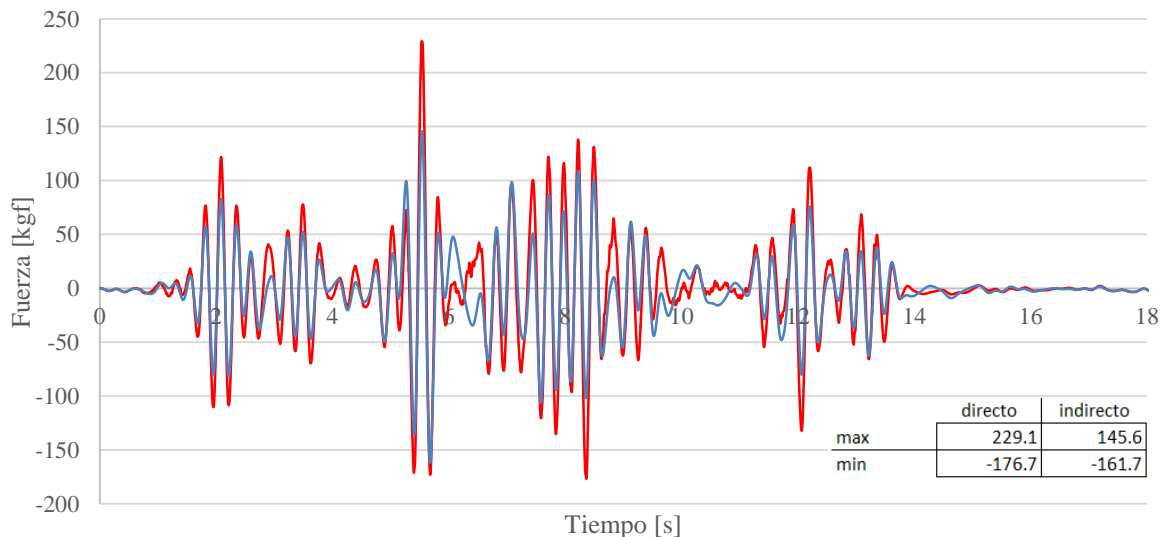


Gráfico 6-6: Curvas de fuerza según medición del corte basal, la cual incluye el término inercial de la plataforma de medición (rojo). Además, se añadió la curva de corte obtenida de la multiplicación de la masa móvil y la suma de aceleraciones, lo que representa el corte indirecto (azul).

La gran diferencia de fuerza entre el corte basal corregido y el medido por la celda de carga es debido al término inercial. Sucede que al realizar la corrección, el corte queda dominado por el término inercial (masa de la plataforma x aceleraciones basal). La masa es de 40 [kg] lo que es bajo, pero sus aceleraciones alcanzan aproximadamente 1 [g], en consecuencia hace que el termino inercial tome relevancia.

En la corrección de los ensayos aislados, el término inercial se suma a la medición realizada por la celda de corte porque el movimiento del suelo se consideró más rápido comparado con la masa móvil que tiende a no desplazarse. En el gráfico adjunto se muestra la diferencia entre la lectura obtenida de la celda de corte (rojo) y el termino inercial (Masa de la plataforma* aceleración suelo). Este último es similar al corte basal de la celda corregida en el caso del ensayo aislado.

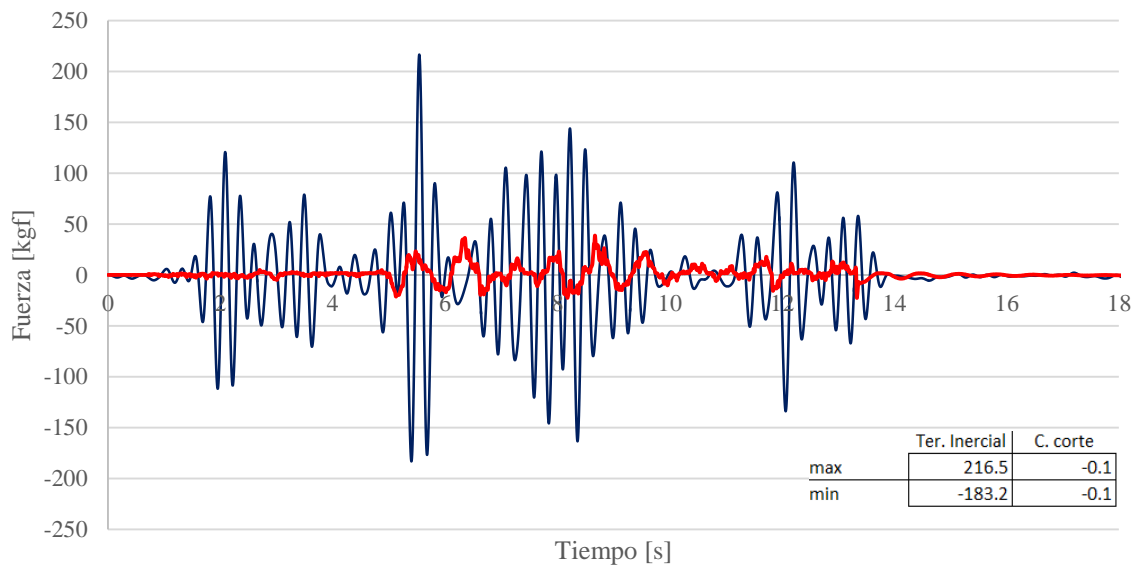


Gráfico 6-7: Curvas de fuerza según medición del término inercial de la plataforma de medición (azul) sometido al registro de Viña del Mar de 1985 amplificado al 250%. Además se añadió la curva de corte obtenida de la celda de carga del sistema de medición (rojo) para su comparación.

5.2 RESULTADOS MODELO CON BASE FIJA

Posteriormente, los aisladores del modelo se reemplazaron por las fundaciones rígidas y se volvió aplicar nuevamente el registro de Viña del Mar, con una amplificación de 250%.

En el modelo se observó daño considerable en los arrojamientos inclinados, los cuales no fueron capaces de soportar la carga axial generada por el movimiento basal, lo cual produjo el pandeo. El pandeo local es un fenómeno de inestabilidad que puede darse en elementos esbeltos y se manifiesta por la aparición de desplazamientos transversales en la dirección principal de compresión, por lo que limita la resistencia de compresión a partir de cierto valor de la carga axial, denominada carga crítica de pandeo.

Además, se observó una grieta en la madera del entrepiso, específicamente en la unión superior de las diagonales. El modelo no colapsó a pesar del daño estructural, como se muestra en la figura 6-3.

Posteriormente, en los gráficos 6-8 y -6-9 se muestran las mediciones del corte basal y momento volcante obtenidos por la plataforma de medición.

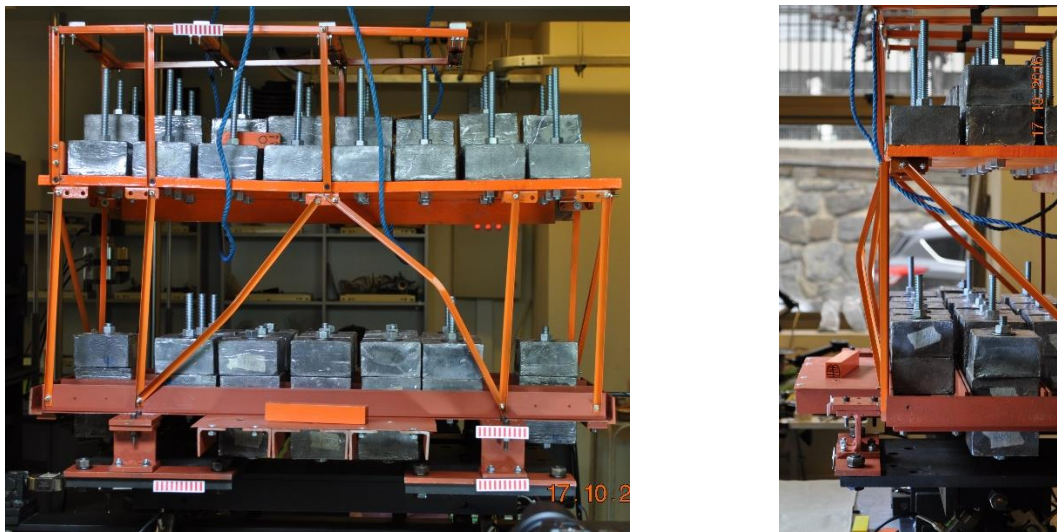


Figura 6-3: Estructura sin sistema de aislación luego de ser sometida registro de Viña del mar '85 amplificado al 250%. Falla de pandeo a flexión en las diagonales y posterior falla por pandeo local.

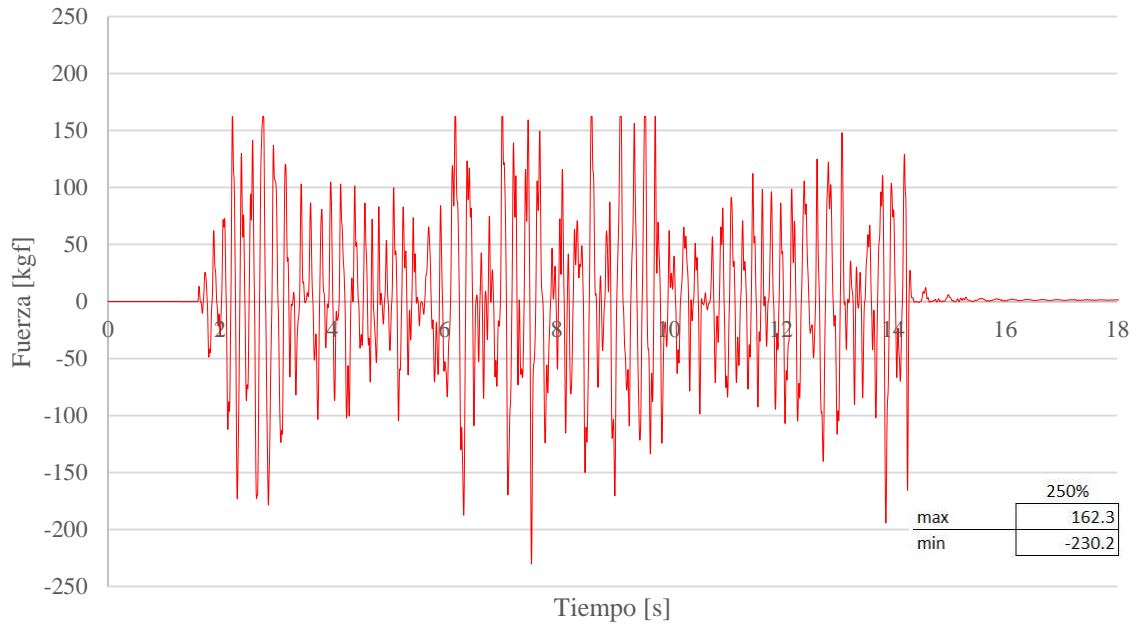


Gráfico 6-8: Curva obtenida de la celda de carga de corte de la plataforma en los ensayos del modelo sin sistema de aislación (con fundaciones rígidas), sometido al terremoto escalado de Viña del Mar 1985 amplificado al 250%.

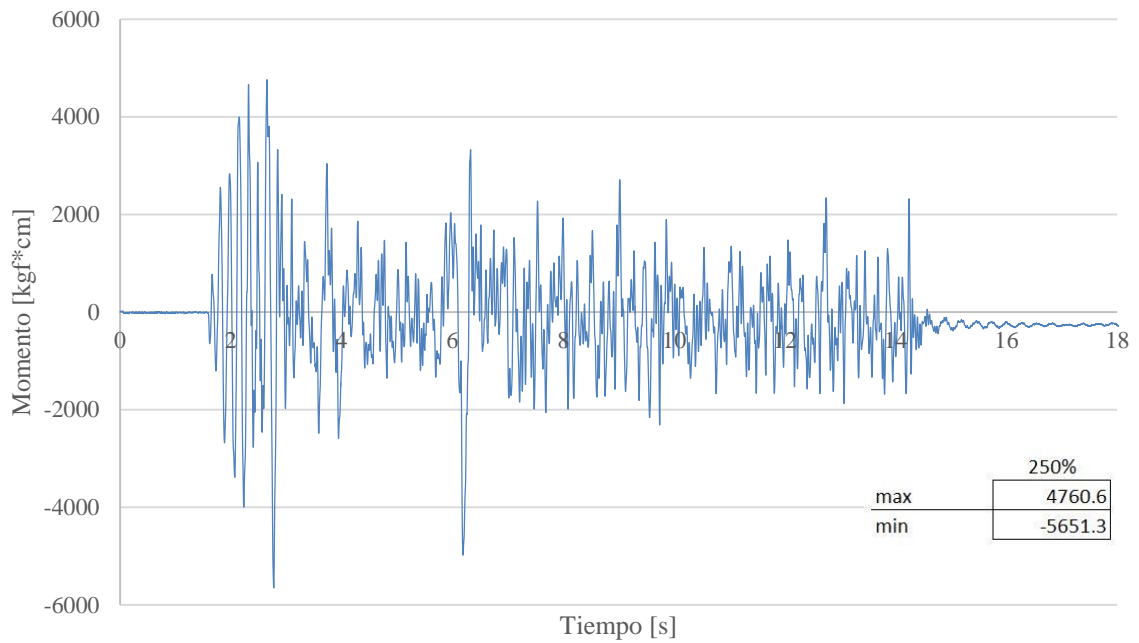


Gráfico 6-9: Curva momento volcante proveniente de las cuatro celdas de carga soportantes en el ensayo del modelo sin sistema de aislación, sometido al terremoto escalado de Viña del Mar 1985 amplificado al 250%.

5.2.1 CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN DE CORTE BASAL

La corrección de la fuerza de corte se realizó de manera similar que en el modelo aislado. En esta ocasión, al registro hecho por la celda de carga que mide el corte basal se sumó la fuerza inercial del sistema de medición y la masa del todo el lastre que quedó unido rígidamente a la base soportante.

A continuación, en los grafico 6-10 se muestra en color rojo la medición de la celda de carga de corte basal corregida.

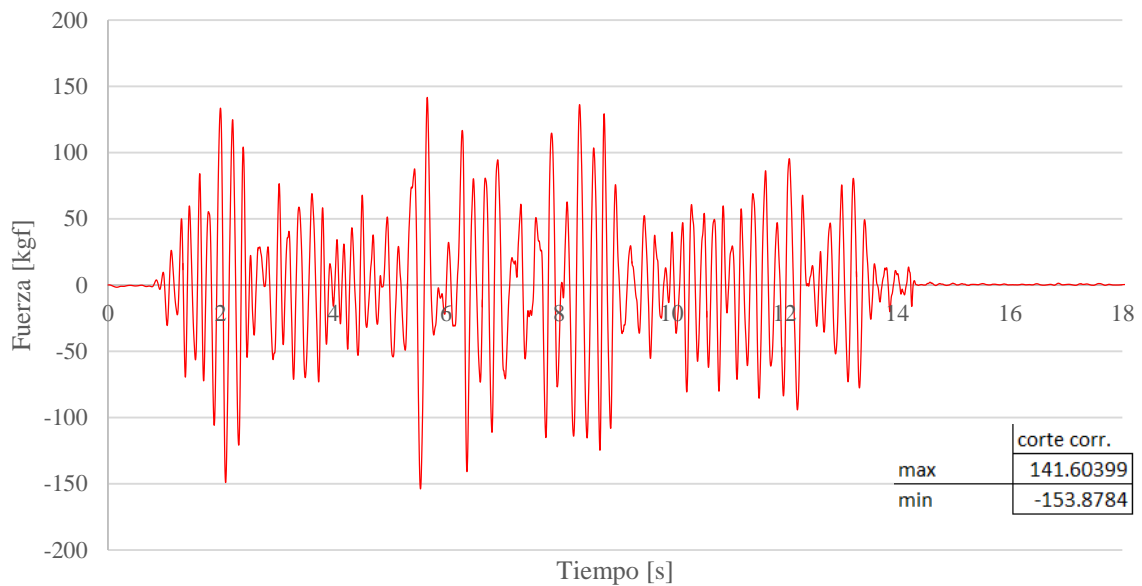


Gráfico 6-10: Curvas de fuerza según medición del corte basal la cual incluye el término inercial de la plataforma de medición (rojo).

5.2.2 MODELACIÓN EN PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS

La estructura usada en el análisis tiempo historia que se ingresó al programa SAP2000 siguió las disposiciones geométricas y consideraciones descritas en la sección 5.1, transformando todas sus dimensiones a escala natural.

Para el análisis tiempo historia se ingresó el registro de aceleración de Viña del Mar 1985 sin escalar, por lo que se tuvo que alargar la escala del tiempo en $\sqrt{10}$, obtenido así 40 segundos de la componente más fuerte del sismo. Al terminar el análisis se obtuvo el corte basal, como se muestra en la gráfica 6-9.

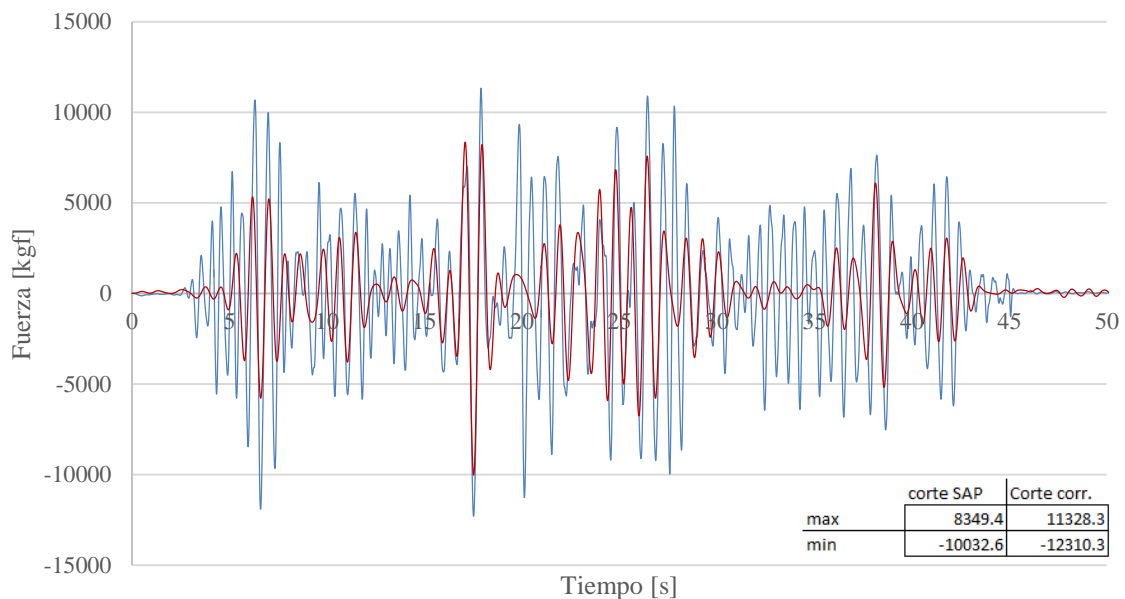


Gráfico 6-11: Curva de corte basal en la dirección "x" obtenidas del análisis tiempo historia realizado en el programa SAP2000 con la opción de integración directa con un amortiguamiento del 2% (rojo). Además, se añadió la curva de fuerza corte basal corregido amplificado a escala natural (celeste).

5.3 COMENTARIOS

El corte basal y la deformación del sistema de aislamiento se consideraron tratando al modelo (superestructura) como rígido, simplificando al sistema estructural (modelo + Sistema aislamiento) a un grado de libertad con periodo natural 0.7 [s] y relación de amortiguamiento de 11% respecto al crítico (Sepúlveda, 2017). La aproximación de la superestructura rígida proporciona un medio conveniente para estimar la deformación del aislador y el error con que se está midiendo el corte basal.

Cabe recordar que los valores de corte basal obtenidos por la plataforma deben ser corregidos considerando la inercia del sistema de medición. En este ensayo en particular, de un modelo aislado cuyo corte obtenido por la plataforma fue 38 [kgf], la corrección de la fuerza de corte fue de 600% resultando en 229 [kgf], mientras que, en ensayos de modelos sin aislamiento cuyo corte registrado fue 230 [kgf], la corrección alcanzó aproximadamente un 50% menos resultando en 153 [kgf]. A pesar de la alta corrección del corte directo, este se aproxima a los valores de corte indirecto obtenidos por las aceleraciones de las masas del modelo determinado por acelerómetros, teniendo una diferencia aproximadamente de 25%.

En relación a las aceleraciones solo se consideró el acelerómetro en el segundo nivel para el caso de la estructura con aislamiento sísmica, retirándolo para el ensayo con fundaciones rígidas debido a lo sensible del equipo y evitar así daños ante un posible colapso de la estructura, de igual forma se hizo con los transductores de desplazamiento LVDT. Se observó que las aceleraciones, como muestra la figura 6-3, disminuyeron considerablemente alcanzando un máximo de 0.1 [g] en la superestructura (masa móvil), mientras que la subestructura (plataforma de medición de corte basal) alcanzó un máximo de 0.6 [g]. Las aceleraciones al ser reducidas implicaron una reducción de la fuerza de corte que mide la plataforma.

En el caso de la estructura con aislamiento la demanda de desplazamientos se concentra en el sistema de aislamiento, el cual está diseñado para resistir grandes deformaciones alcanzando un máximo de 1.8 [cm]. Mientras que, en la estructura sin aislamiento la demanda de desplazamientos se la llevan los elementos estructurales, lo que provoca daño en las diagonales y su posterior colapso.

CAPITULO VII

7. OTROS ENSAYOS

En este capítulo se muestra el caso de varios modelos de perfilería metálica que fueron sometidos al registro de Viña del Mar del 03 de marzo de 1985 en la mesa sísmica del laboratorio y en el que se usó por primera vez el sistema desarrollado en esta memoria para medir el corte basal y momento volcante. Estos modelos fueron diseñados y construidos por el curso de arquitectura donde el autor de esta memoria fue ayudante de laboratorio. Algunos de los modelos construidos se muestran en la figura 7-1.

Los modelos de similar rigidez a pesar de los chevrones ubicados de distinta manera, cumplen con las normas chilenas de diseño sísmico en general (NCh 433 y NCh 2369). Sin embargo, la esbeltez de los elementos diagonales se encuentra algo sobrepasada de los límites usuales, con el objeto de forzar la falla por pandeo, ya que estos elementos se fabrican con propósito de docencia.

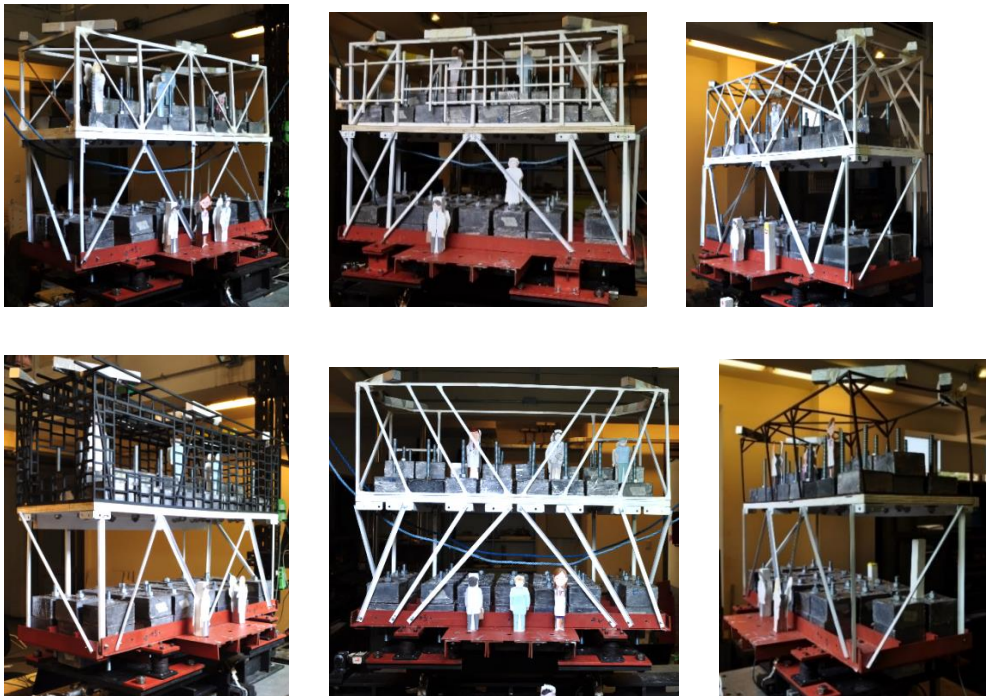


Figura 7-1: Estructuras de perfilería metálica ensayadas en la mesa sísmica del Laboratorio Sismoresistente. En las fotografías se observan seis de las ocho estructuras ensayadas. Se espera que la estructura colapse amplificando el sismo en tres veces, aproximadamente.

6

6.1 MODELO UNO

El modelo uno cuenta con cuatro diagonales dispuestas en forma de chevrones invertidos en una de las caras paralela al movimiento de la mesa sísmica. Los demás elementos resistentes fueron posicionados de igual forma que el modelo descrito en el capítulo V. En la figura 7-2 se muestra el colapso.

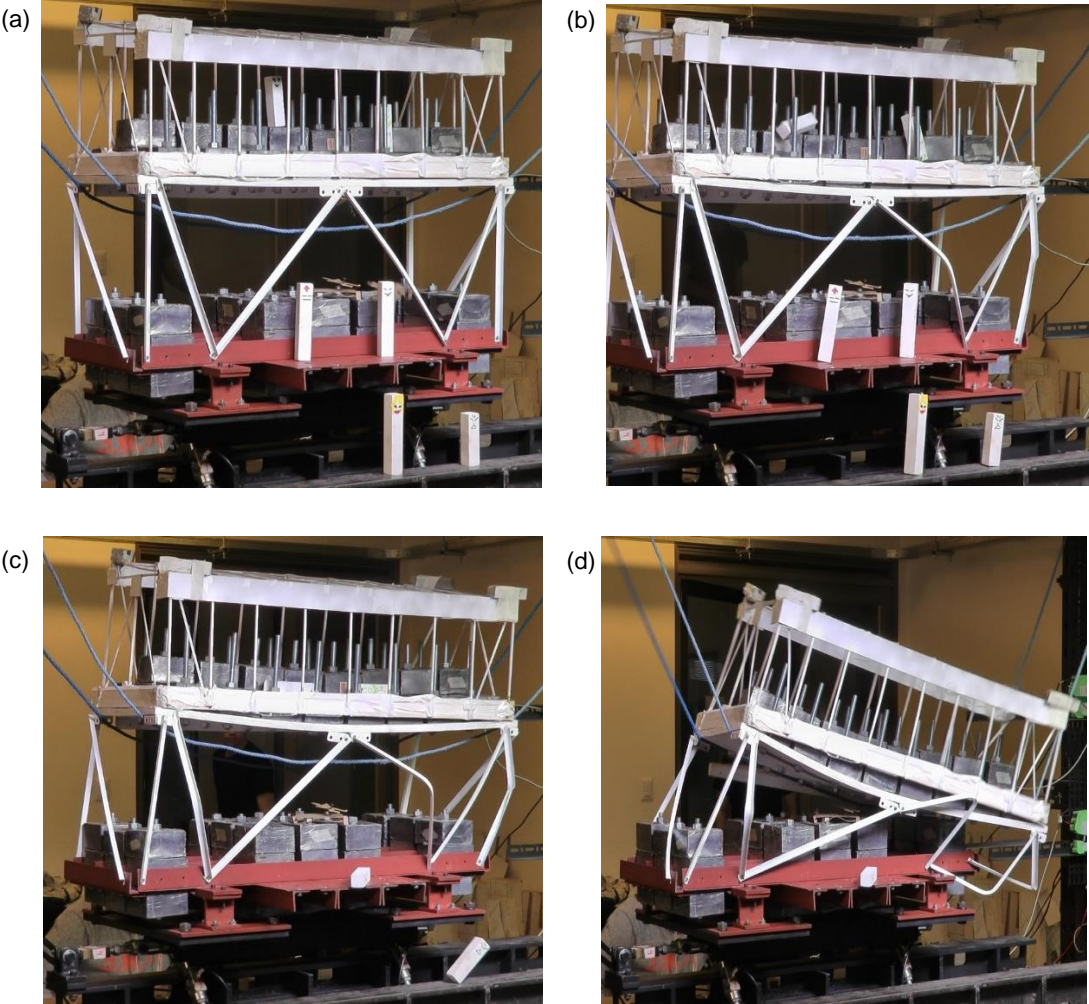


Figura 7-2: Secuencia fotográfica del colapso del **modelo uno**, luego de ser sometida al registro de viña del Mar de 1985 escalado al 250 %. (a) Comienzo del movimiento basal (b) Nótese que pandea una de las diagonales e inmediatamente falla la columna (c) comienza a fluir una segunda diagonal (d) finalmente el colapso.

6.2 MODELO DOS

El modelo dos tiene cuatro diagonales en disposición de chevron en una de las caras paralela al movimiento de la mesa sísmica. Los demás elementos resistentes fueron posicionados de igual forma que el modelo uno, con la diferencia que se colocó una columna entre los chevrones. En la figura 7-3 muestra configuración final y su colapso.

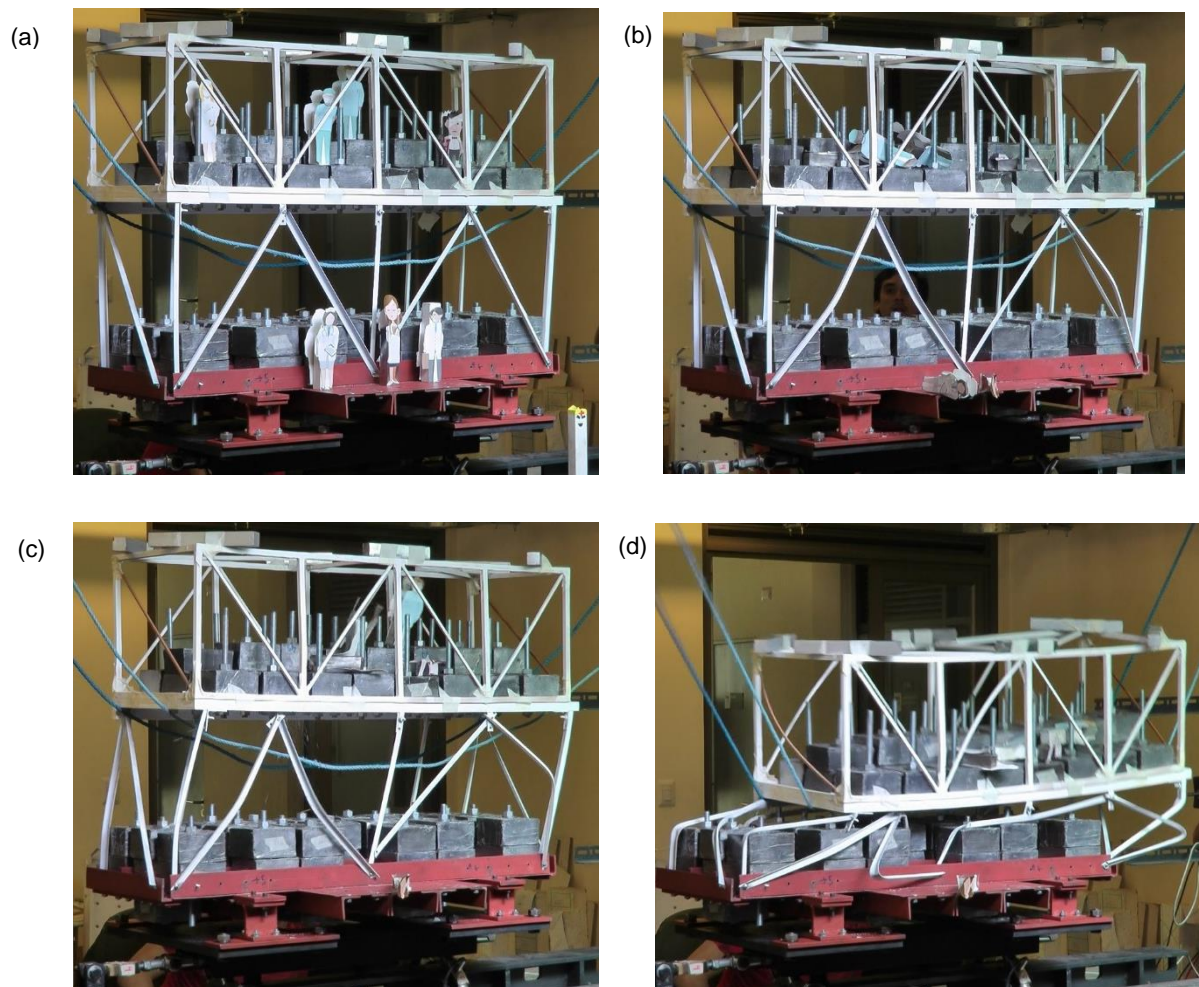


Figura 7-3: Secuencia fotográfica del colapso del **modelo dos**, luego de ser sometida al registro de viña del Mar de 1985 escalado al 250 %. (a) Comienzo del movimiento basal (b) Nótese que pandean dos diagonales. (c) comienza a fluir simultáneamente las otras dos diagonales. (d) finalmente el colapso.

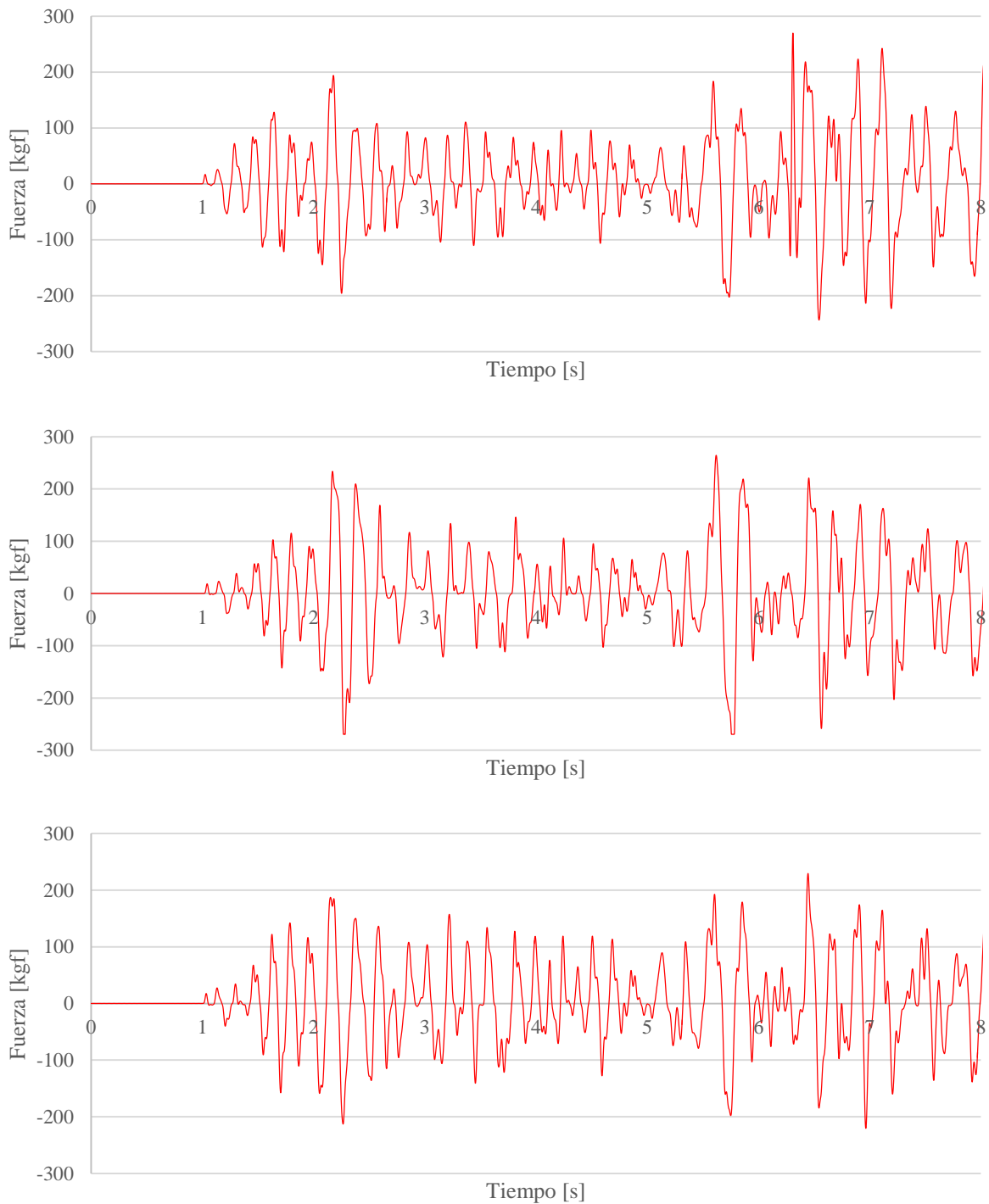
6.3 MODELO TRES

El modelo tres posee cuatro diagonales dispuestas en forma de chevrones invertidos y los demás elementos resistentes fueron posicionados de igual forma que el modelo uno. En este modelo en particular se reforzó con dos columnas adicionales el plano con menor rigidez paralelo al movimiento de la base.



Figura 7-4: Secuencia fotográfica del colapso del **modelo tres**, luego de ser sometida al registro de viña del Mar de 1985 escalado al 250 %. (a) Comienzo del movimiento basal (b) Nótese que pandea una diagonales. (c) comienza a pandear la diagonal hermana. (d) finalmente pandea la columna, pero no alcanza a colapsar.

6.4 CORTE BASAL REGISTRADO



Gráfica 7-1: Corte basal registrado por el sistema de medición. (a) Modelo uno, (b) modelo dos, (c) modelo tres. El colapso ocurre en el segundo 6 aproximadamente.

6.5 COMENTARIOS

La plataforma de medición (ensamble III) fue capaz de mantener su integridad y soportar reiterados golpes provocados por los colapsos de los modelos. Sin embargo, luego de cada colapso el equipo tuvo que ser re-equilibrado su cero.

Los tres modelos fueron sometidos al registro de Viña del Mar de 1985 amplificado al 250% y los dos últimos estructuras mostrados fueron ensayados anteriormente con el sismo amplificado al 200%, en amplitud y aceleración.

El corte basal medido en los modelos metálicos mencionados, en general, estuvo dentro de lo que se esperaba. Existen algunas diferencias entre el comportamiento en cada uno de los tres casos, como se observa en la gráfica 7-1. Estas diferencias se pueden explicar principalmente por características propias de las conexiones, considerando que los modelos fueron fabricados por diferentes equipos de estudiantes.

8. CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de construir un sistema de medición directo del corte basal y momento volcante que se genera en los modelos a escala al ser sometido a solicitaciones basales y fuerzas laterales. El roce del sistema se redujo a un nivel mínimo, en consecuencia la presencia de grandes cargas por lastre poco afectan las mediciones del corte basal. En algunos modelos que presentan asimetría la medición del momento volcante fue alterada levemente por la torsión estructural.

La inercia propia de la plataforma afectó constantemente el corte basal registrado en los ensayos sísmicos, por ello fue necesario realizar una corrección posterior para obtener un valor con precisión suficiente. Esto puede obviarse cuando el movimiento de la base es suficientemente lento. El valor de la corrección puede ser bastante elevado, a veces mayor que la cantidad medida, como es el caso de los modelos de edificio con aislamiento sísmico.

Resulta de interés examinar las fuerzas de corte que se obtienen de las normas sísmicas, ya que son inferiores y confían en la ductilidad de la estructura. Por ello, al comparar el corte de diseño (Q_0) del análisis estático de la estructura tipo estudiado en esta memoria sin aislamiento sísmico, contra el corte directo máximo obtenido de la plataforma y llevado a escala natural, se tienen diferencias del 50%.

La plataforma tiene diversas aplicaciones, principalmente en el estudio del comportamiento no lineal de estructuras sometidas a sismos, la cual resulta difícil de observar en estructuras a tamaño natural. Aunque la aplicación se limitó a modelos simples de estructuras de perfiles metálicas con y sin aislamiento sísmico, se pueden ensayar estructuras más pesadas gracias a los elementos intercambiables del sistema de medición.

Finalmente, con la gran cantidad de fotografías y videos obtenidos durante el desarrollo de esta memoria se ha logrado actualizar el material audiovisual existente, dejando además detalladamente documentadas las técnicas de construcción y metodología de ensayo sísmicos de los modelos metálicos considerados.

9. REFERENCIAS

Aravena, S. (2010), "Estudio experimental de marcos de hormigón armado con voladizos sometidos a sollicitación sísmica", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, UTFSM, Valparaíso, Chile.

ATI Industrial Automation (2017) Multi-Axis Force / Torque Sensors. Recuperado de (<http://www.ati-ia.com/products/ft/sensors.aspx?campaign=ims>)

Chopra, Anil K. "Dynamics of structures – Theory and applications to earthquake engineering", 2014.

Holmberg, A., Saez, A. (1990), Registros procesados del Terremoto de Chile de 1985, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

McConnell, K., & Varoto, P. S. (1995). Vibration testing: Theory and practice. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc. 522 p.

Miranda, E. (2005) "Diseño y construcción de un transductor de fuerza axial, corte y momento para uso en modelos a escala reducida". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Naeim F., Kelly J. (1999) "Design of seismic isolated structures". From theory to practice

Olmos, E. (2016), "Medición de fuerzas y desplazamiento en oscilaciones de estructuras simples mediante análisis de imágenes", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnico Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Onemi (2009) "Sismo destructivo del 03 de marzo de 1985". Informe consolidado N°1

Pereira, D. (2011) "Fallas de uniones exteriores de marcos con voladizos". Memoria para optar al título de Construcción Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Sepúlveda, J. (2017) "Aisladores elastoméricos anulares a escala reducida". Memoria para optar al título de Construcción Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

Schnaidt, C. (2005), "Estudio en mesa de simulación de terremotos de dos soluciones para el soporte de una plataforma de hormigón armado", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil y el grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería Civil, Área Estructuras, UTFSM, Valparaíso, Chile.

Whittaker, A. S.; Bertero, V. V.; Thompson, C. L. and Alonso, L. J. (1991). Seismic testing of steel plate energy dissipation devices. *Earthquake Spectra*, 7 (4), 563-604.