

## CAPITULO 3

### 3. Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la respuesta de los tres modelos para el mismo evento sísmico. A través del análisis modal se obtuvieron las principales formas modales y con el análisis paso a paso los daños sufridos por los modelos y sus historias de desplazamientos y aceleraciones. De la interpretación de éstas últimas se obtuvieron los ciclos de histéresis y las funciones de transferencia. Con estos datos se comparó la respuesta de los tres modelos.

La gran demanda de equipo de cómputo limitó el análisis de puntos específicos en el modelo. La Figura 3.0 muestra la posición de los nodos analizados en los tres modelos.

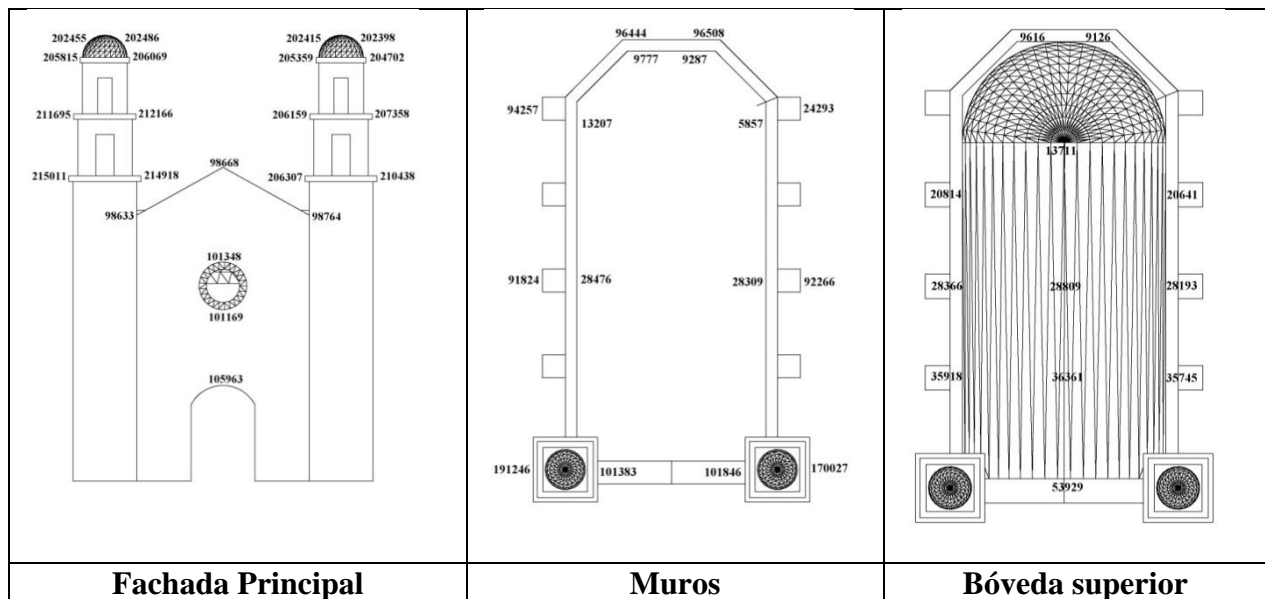


Figura 3.0. Puntos analizados en los modelos

#### 3.1.Principales daños

Para visualizar los daños ocasionados al modelo, el programa cuenta con una opción dentro del menú General Postproc/ Plot Results/ Concrete Plot/ Crack-Crush, la cual permite visualizar el agrietamiento y el aplastamiento del elemento SOLID65, con pequeños círculos se representa el concreto agrietado (en rojo en la Figura 3.1), y con pequeños octógonos el aplastamiento del mismo (en verde en la Figura 3.1).

En la Figura 3.1 se muestran los daños sufridos en los modelos por sismo más peso propio, al finalizar los análisis.

En la fachada se observa que los daños en los modelos se concentraron en los lados próximos de las torres, indicando que estas últimas tendieron a separarse de la fachada; de la deformada se aprecia que las torres someten a esfuerzos de compresión y tensión a la fachada, ocasionando que esta sufra daños considerables. El rosetón y el arco de la entrada principal sufren daños en menor medida, sin embargo en el MD-03 los daños más representativos se dan en esta zona, con líneas casi verticales del rosetón al arco de la entrada principal y del rosetón hacia arriba, lo que se explica por la reducción del área de la mampostería existente en esta zona del modelo, que produce una zona más débil comparada con la de los otros modelos.

En los muros las configuraciones de agrietamiento son similares en los tres casos, se presentan de forma vertical con pequeñas inclinaciones y terminan en los arcos de las ventanas, otras continúan hasta diferentes alturas, el índice de daño fue mayor en el MD-01, que es el modelo más alto y más esbelto. Los modelos MD-02 y MD-03 presentan menor daño.

En la bóveda se presentan grietas longitudinales en la clave y a la altura de los riñones, las cuales fueron consecuencia de la abertura de la misma, debida al empuje y a la acción del movimiento sísmico; otras grietas con trayectorias casi verticales se presentan a la altura de los contrafuertes y se extienden hasta la parte superior, debido posiblemente a concentración de esfuerzo debido al peso de los contrafuertes, cuando se presenta el movimiento por el sismo principalmente en los MD-02 y 03, y que son los que tienen contrafuertes más resistentes, dado a su baja altura y geometría trapecial comparados con el modelo MD-01. En el interior de la bóveda la línea de falla se prolonga a lo largo de toda su longitud por el centro y es similar para los tres modelos, adicionalmente se producen líneas de agrietamiento perpendiculares a estas, a la altura de los contrafuertes. Los mayores daños se presentaron en el MD-01 a la altura de los riñones y en el interior de la bóveda en toda su longitud.

En los campanarios del modelo MD-01 aparecieron grietas horizontales en la base de los pilares de los campanarios, mientras que en los de los modelos MD-02 y 03 no presentaron agrietamientos visibles.

Los daños más importantes ocurrieron en el modelo MD-01, que es el más alto y esbelto comparado con los otros que presentan modos de falla similares pero menos severos.

En la Figura 3.2 se muestran los daños debido al peso propio, se observa que la fachada no presenta daños apreciables en ninguno de los tres modelos, mientras que en los muros y bóveda los modelos MD-01 y MD-02 presenta un comportamiento similar pero de menor magnitud a los observados en la Figura 3.1, el modelo más dañado es el MD-01. Ahora bien se puede deducir que las acciones del sismo imponen los mayores daños a la fachada de los tres modelos e incrementan los daños en los muros y bóveda. El modelo MD-03 no presenta daños apreciables por lo que se puede concluir que las acciones del sismo son las que le imponen los mayores daños a este modelo.

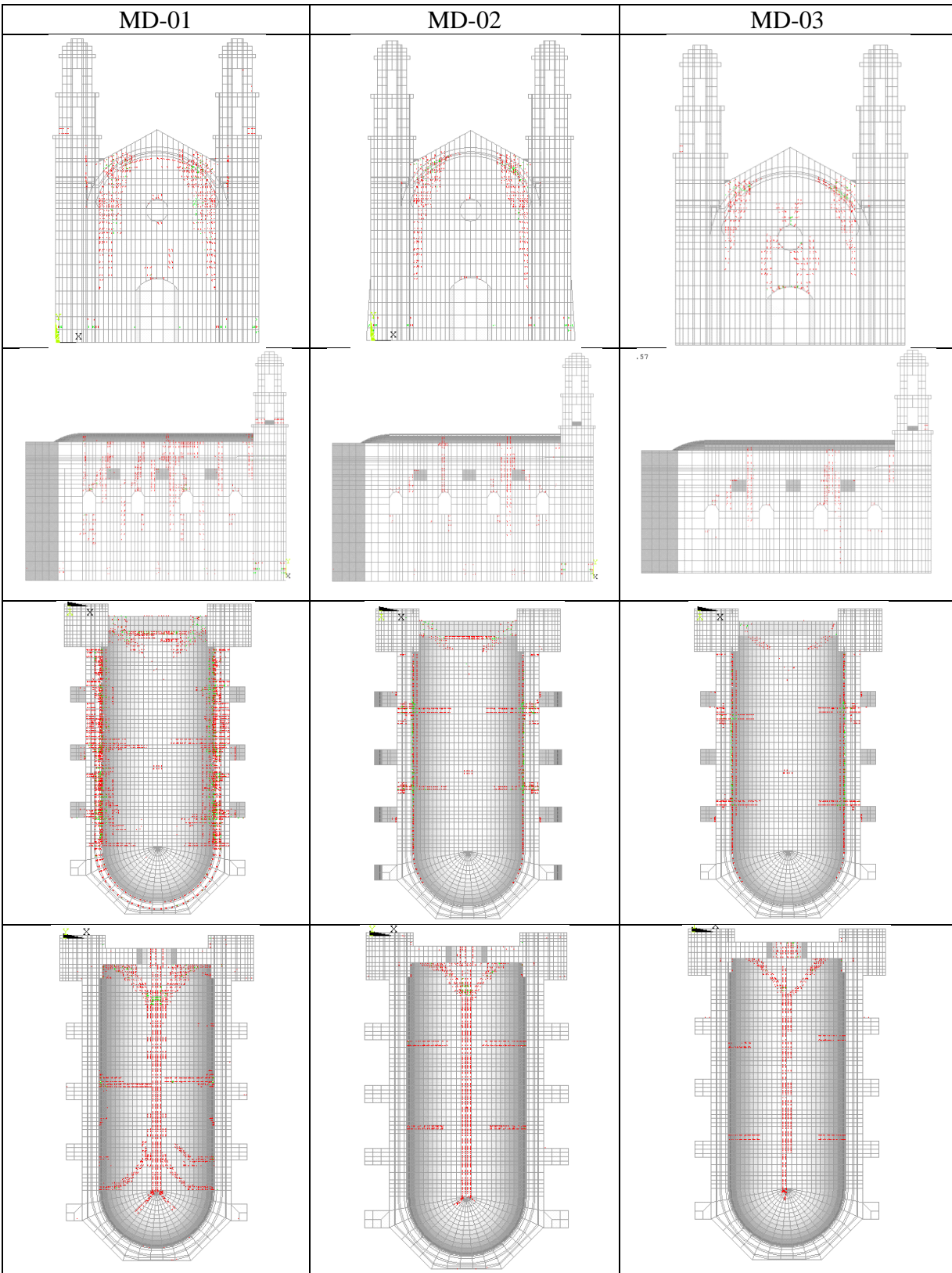


Figura 3.1. Daños ocasionados a los modelos por sismo más peso propio

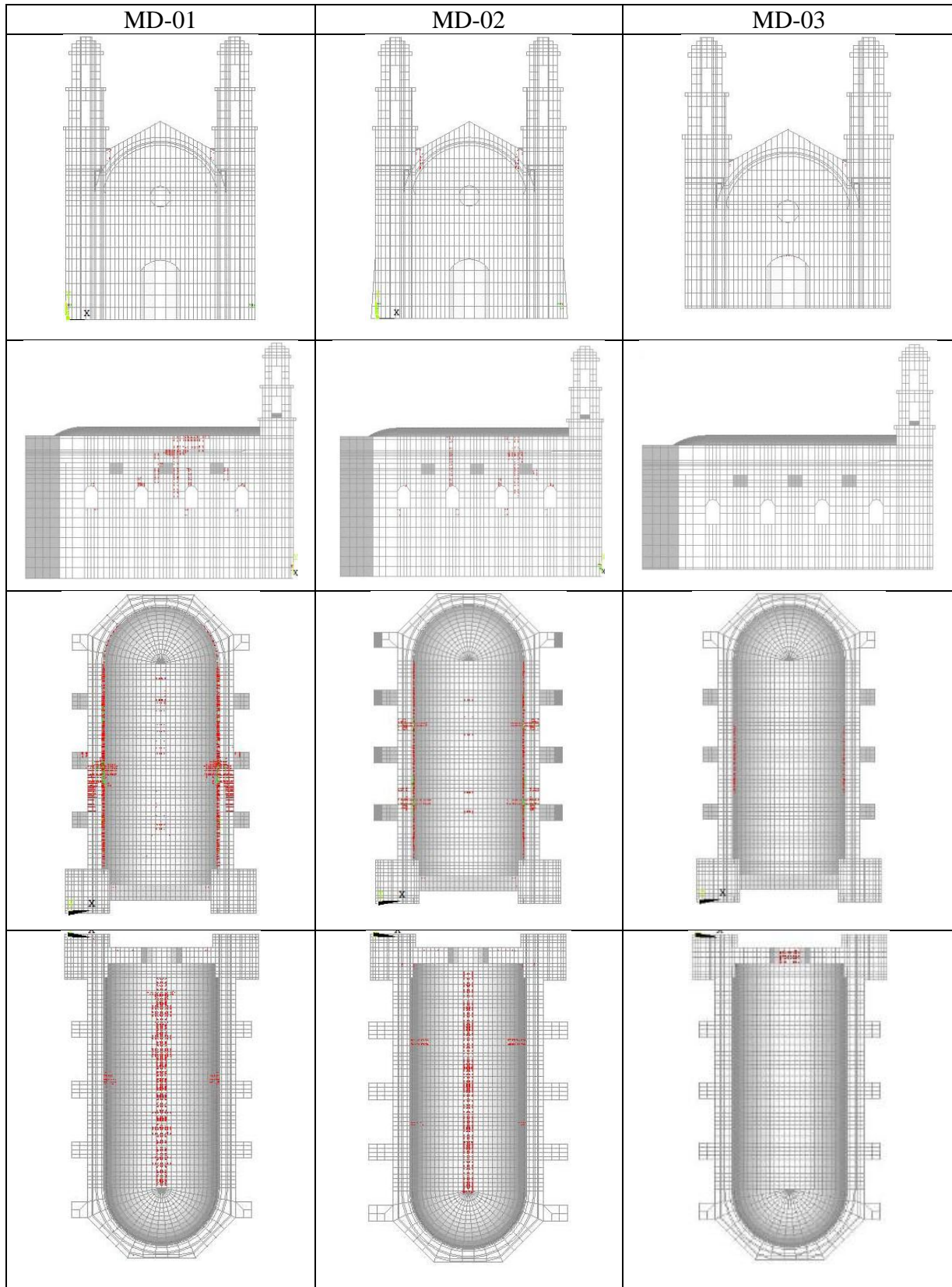


Figura 3.2. Daños ocasionados a los modelos por peso propio



### 3.2. Análisis de los periodos fundamentales de vibrar

Para hallar los modos fundamentales de vibrar se recurrió a un análisis modal, utilizando el método de eigenvalores. Se consideraron los primeros 100 modos de vibrar, con los que se logró una participación modal de casi el 100%. El programa genera un archivo donde se muestran los 100 modos y sus respectivas frecuencias, así como sus periodos y el factor de participación.

En la Figura 3.3 se indican las principales formas modales de los modelos analizados en las direcciones horizontal y vertical. El primer modo corresponde al movimiento transversal de la nave, se observa que aunque gran parte del modelo se mueve en esta dirección, al ábside no se mueve tanto como el resto del modelo. Para el vertical el séptimo modo es común a los tres modelos, donde se puede observar que los modelos presenta torsión en los campanarios el otro modo vertical registrado es el 15 para los modelos MD-01 y MD-02 y el modo 16 para el modelo MD-03, esta diferencia puede deberse al cambio de altura en este último, en estos modos se puede observar una torsión considerable en los campanarios, además de una empuje de la bóveda sobre los muros que tienden a separarse. En la Tabla 3.0 se presenta un resumen de los modos fundamentales iniciales calculados para cada modelo en la dirección horizontal.

**Tabla 3.0. Periodos fundamentales**

	<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Periodo [s]</b>
<b>MD-01</b>	1.67	0.60
<b>MD-02</b>	1.89	0.53
<b>MD-03</b>	2.13	0.47

La relación del periodo que guardan sus modelos es la siguiente: el periodo del MD-01 es 1.13 mayor que el MD-02 que a su vez es 1.13 mayor que el MD-03, lo que indica incrementos iguales en sus periodos. La diferencia que se presenta en sus periodos se debe principalmente a la variación en la geometría de los modelos, lo que trae por consecuencia cambios de rigidez en sus elementos estructurales. A mayor rigidez de los modelos, el periodo disminuye. La modificación de los contrafuertes indujo un incremento de la rigidez del modelo lo que redujo el periodo fundamental de vibrar en 11.6%, al reducir la altura de la nave el incremento fue casi el 22% más que la del modelo original. Por otro lado, en la deformada que se muestra en la Figura 4.4, se aprecia la tendencia del volteo de los campanarios y de la fachada para los tres modelos. Medir el periodo de una estructura después de que esta fue sometida a una sollicitación importante y compararlo con su valor inicial es una medida cualitativa de medir los daños que la sollicitación le indujo. De esta manera, mediante un análisis espectral de las aceleraciones calculadas en determinados puntos de interés del modelo, fue como se calcularon los periodos fundamentales de los modelos al final de cada análisis transitorio. En la Figura 4.5 se muestran las gráficas de las funciones de transferencia y los espectros de Fourier obtenidas de los

modelos. Las relaciones de transferencia se calcularon para los siguientes puntos del modelo: el cupulín, al centro de la clave de la bóveda y la torre a la altura del muro. En la Tabla 3.1 se muestran las frecuencias (Fi, Ff) y periodos (Pi, Pf) iniciales y finales para los modelos en los tres puntos analizados y en la Figura 3.3 se presenta la comparación de las frecuencias y periodos iniciales y finales.

Tabla 3.1. Periodos y Frecuencias iniciales y finales

	CUPULÍN					BÓVEDA					MUROS				
	Fi	Ff	Pi	Pf	RT	Fi	Ff	Pi	Pf	RT	Fi	Ff	Pi	Pf	RT
MD-01	1.67	1.33	0.60	0.75	8.64	1.67	1.34	0.60	0.75	2.72	1.67	1.33	0.60	0.75	1.97
MD-02	1.89	1.55	0.53	0.65	6.50	1.89	1.49	0.53	0.67	1.45	1.89	1.55	0.53	0.65	1.09
MD-03	2.13	1.78	0.47	0.56	9.63	2.13	1.71	0.47	0.58	2.36	2.13	1.74	0.47	0.57	1.20

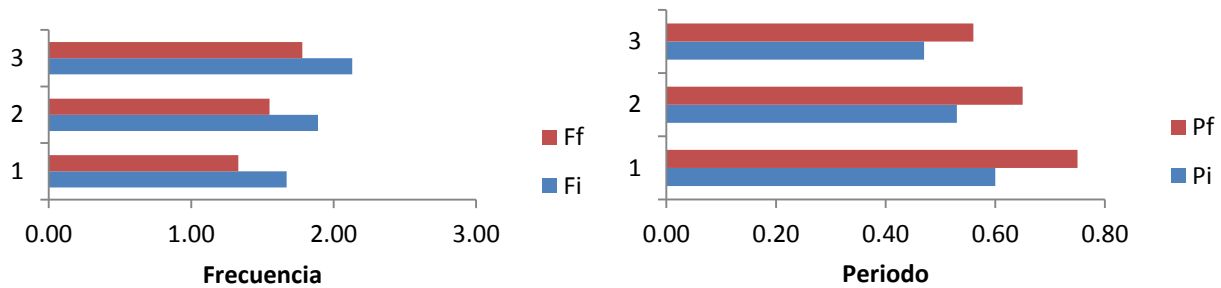


Figura 3.3. Graficas comparativas de frecuencia y periodo

De la Tabla 3.1 se observa que la frecuencia disminuye del estado inicial al estado final de los modelos, por lo que el periodo aumenta. Las frecuencias finales obtenidas para los tres diferentes puntos son muy similares lo que indica un comportamiento casi uniforme entre sus elementos. El MD-01 incremento su periodo en 25%, el MD-02 incremento en 23% y el MD-03 incremento en 21%. Esto también indica que el modelo MD-01 fue el que mayor daño tuvo y que el modelo MD-03, fue el menos dañado. La Tabla 3.2 muestra la relación entre los periodos finales registrados en los modelos. En ella se aprecia que la relación entre el periodo fundamental de vibrar del modelo MD-01 con el del modelo MD-03 es más grande, lo que demuestra que al reducir la altura del templo, tuvo un mayor impacto en las propiedades dinámicas del modelo, que el de modificar los contrafuertes.

Tabla 3.2. Relación de los periodos finales.

	Periodo [s]		
	Cupulín	Bóveda	Muro
MD-01/MD-02	1.17	1.11	1.17
MD-01/MD-03	1.34	1.28	1.31
MD-02/MD-03	1.15	1.15	1.12

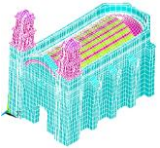
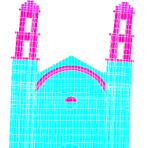
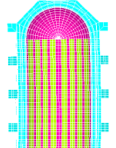
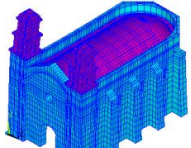
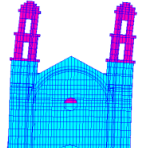
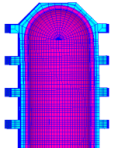
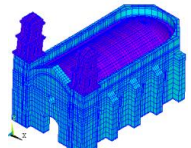
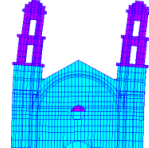
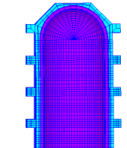
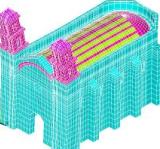
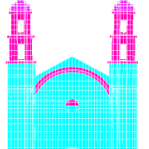
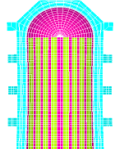
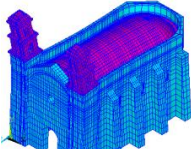
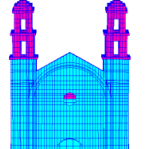
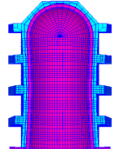
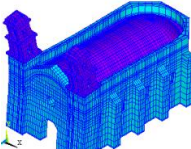
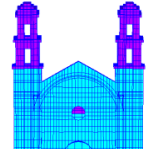
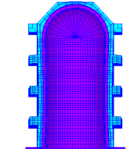
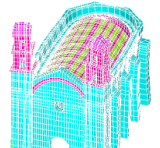
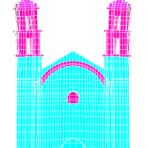
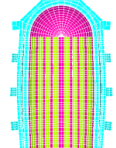
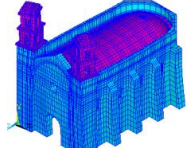
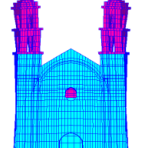
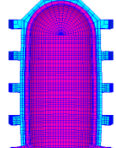
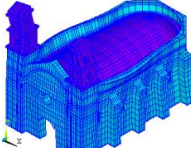
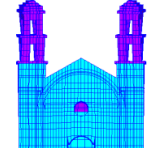
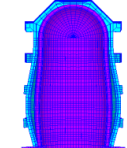
HORIZONTAL								
MD-01			MD-02			MD-03		
Forma modal 1			Forma modal 1			Forma modal 1		
F=1.67 [Hz]	P=0.60 [s]	%Masa=59%	F=1.89 [Hz]	P=0.53 [s]	%Masa=53	F=2.13 [Hz]	P=0.47 [s]	%Masa=42%
								
VERTICAL								
Forma modal 7			Forma modal 7			Forma modal 7		
F=3.21 [Hz]	P=0.31 [s]	%Masa=40%	F=3.56 [Hz]	P=0.28 [s]	%Masa=27%	F=4.23 [Hz]	P=0.24 [s]	%Masa=56%
								
Forma modal 15			Forma modal 15			Forma modal 16		
F=6.09 [Hz]	P=0.16 [s]	%Masa=36%	F=6.79 [Hz]	P=0.15 [s]	%Masa=30%	F=7.86 [Hz]	P=0.13 [s]	%Masa=31%
								

Figura 3.4. Principales formas modales

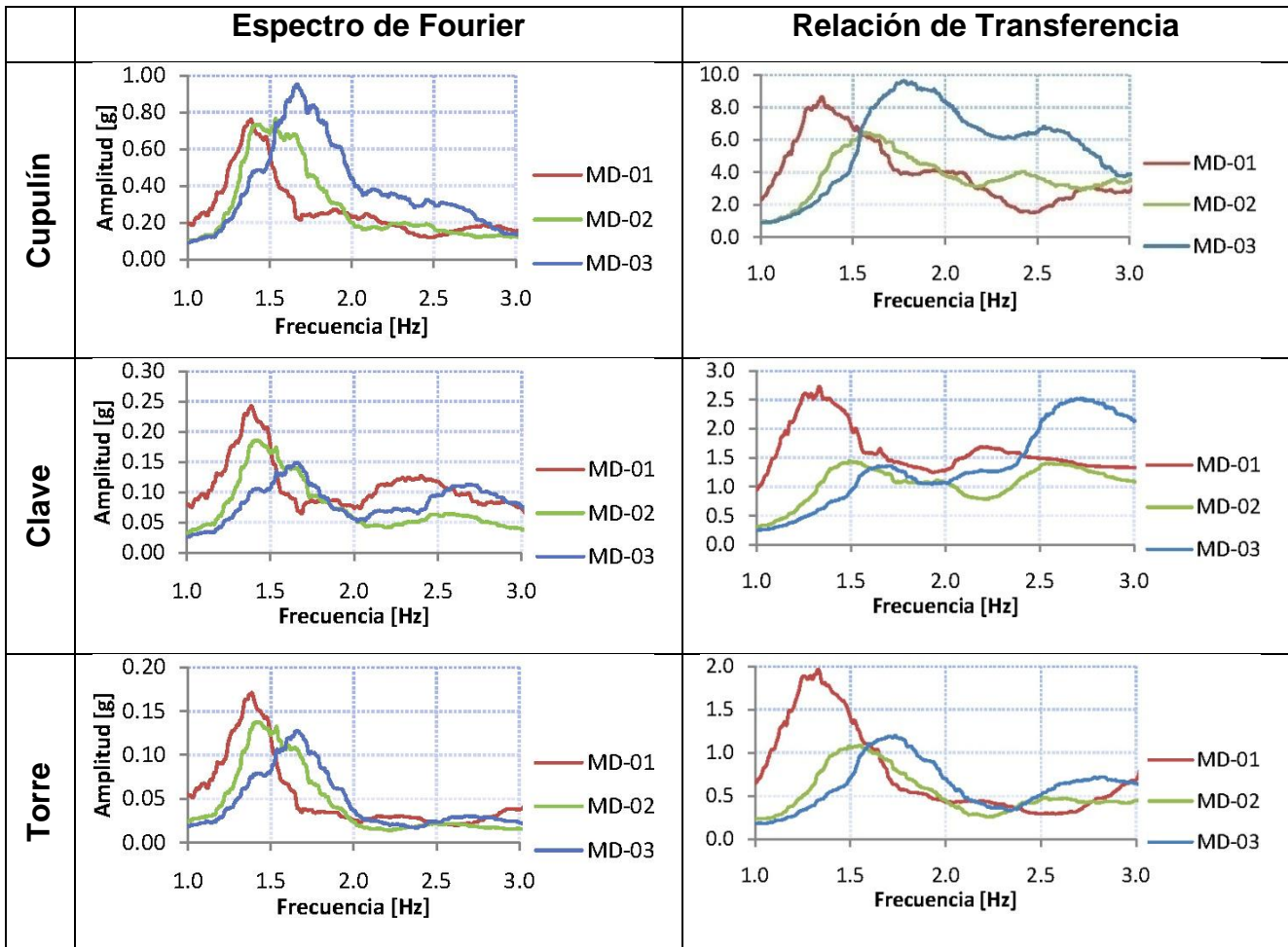


Figura 3.5. Relaciones de Transferencia entre los modelos analizados



### 3.3. Desplazamientos y aceleraciones

A continuación se presentan los resultados de los desplazamientos y aceleraciones relativos que se obtuvieron en la bóveda, en la fachada y en los muros. Se compara simultáneamente el comportamiento de los tres modelos. La razón de analizar estos elementos es que son los más sensibles a la falla y por ello es de un gran interés su comportamiento.

En la Figura 3.6 se muestran las gráficas obtenidas en la bóveda, donde se analizaron tres puntos en la clave: a la altura de la fachada, en el centro de la clave y en el ábside. Los resultados obtenidos indican un comportamiento no lineal al presentarse deformaciones permanentes, principalmente en el MD-01. En los modelos MD-02 y el MD-03 tienen un comportamiento similar tanto en sus desplazamientos como en sus aceleraciones aunque con menores amplitudes, esto demuestra que las modificaciones hechas en los modelos proporcionan mayor estabilidad. Otro punto importante es que siempre es mayor la respuesta cuando se combinan las componentes horizontal y vertical pues los desplazamientos y las aceleraciones son mayores que si solo se toma en cuenta el componente horizontal.

En la Tabla 3.3 se presentan los desplazamientos y aceleraciones máximas y mínimas para el componente horizontal y el horizontal-vertical, registrados en la bóveda.

**Tabla 3.3. Desplazamientos y aceleraciones máximas y mínimas en la bóveda**

	MD-01				MD-02				MD-03			
	$\delta$ [mm]		a [g]		$\delta$ [mm]		a [g]		$\delta$ [mm]		a [g]	
	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV
<b>Mín</b>	13.10	18.40	0.13	0.16	7.10	9.10	0.06	0.08	5.30	10.60	0.09	0.09
<b>Máx</b>	13.10	8.20	0.11	0.10	6.50	4.70	0.08	0.07	5.10	3.20	0.09	0.08

La Tabla 3.4 muestra la relación que guardan los modelos, para los desplazamientos y aceleraciones de la bóveda en su componente horizontal. Se confirma que los modelos MD-02 y MD-03, presentaron un comportamiento similar y la respuesta en desplazamientos fue dos veces mayor en el modelo MD-01 con respecto a los otros modelos.

**Tabla 3.4. Relaciones de desplazamientos y aceleraciones en la bóveda**

Modelos	Desplazamientos	Aceleraciones
MD-01/MD-02	2.0	1.8
MD-01/MD-03	2.5	1.3
MD-02/MD-03	1.3	$\approx 1.0$

En la fachada se analizaron tres puntos: en el cupulín; en el arranque del campanario y en el cuerpo principal de la torre, como lo muestra la Figura 3.7, de estas gráficas se observa que siguen un mismo patrón de comportamiento tanto las de desplazamiento como las de aceleración, aquí es importante resaltar que como se esperaba todos los modelos presentan los desplazamiento y aceleraciones máximas en el cupulín y campanario. Con estos resultados sigue confirmándose el comportamiento general de los modelos, siendo el MD-01 el más afectado, mientras que los modelos MD-02 y MD-03 siguen un comportamiento casi idéntico. En la Tabla 3.5 se presentan los desplazamientos y aceleraciones máximas y mínimas para el componente horizontal y el horizontal-vertical, registrados en la fachada.

**Tabla 3.5. Desplazamientos y aceleraciones máximos y mínimos en la fachada**

	MD-01				MD-02				MD-03			
	$\delta$ [mm]		a[g]		$\delta$ [mm]		a [g]		$\delta$ [mm]		a [g]	
	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV
<b>Mín</b>	48.80	51.00	0.51	0.56	28.20	29.30	0.30	0.30	25.80	26.90	0.38	0.39
<b>Máx</b>	32.00	34.10	0.53	0.50	20.00	21.10	0.21	0.23	22.10	23.10	0.27	0.28

La Tabla 3.6 muestra la relación que guardan los modelos, para los desplazamientos y aceleraciones de la fachada en su componente horizontal.

**Tabla 3.6. Relaciones de desplazamientos y aceleraciones en la fachada**

Modelos	Desplazamientos	Aceleraciones
MD-01/MD-02	1.7	2.1
MD-01/MD-03	1.7	1.7
MD-02/MD-03	1.0	$\approx$ 1.0

En los muros se analizaron tres puntos: en la torre, en la mitad del muro y en la parte del ábside, como ya se comentó las gráficas muestran que el comportamiento de los modelos es similar, así también se puede observar que en el ábside se presenta el menor efecto de desplazamientos y aceleraciones, y como se ve en los daños es la parte del ábside el menos afectado en los tres modelos.

En la Tabla 3.7 se presentan los desplazamientos y aceleraciones máximas y mínimas para el componente horizontal y el horizontal-vertical, registrados en los muros.

**Tabla 3.7. Desplazamientos y aceleraciones máximos y mínimos en los muros**

	MD-01				MD-02				MD-03			
	$\delta$ [mm]		a[g]		$\delta$ [mm]		a [g]		$\delta$ [mm]		a [g]	
	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV	H	HV
<b>Mín</b>	12.30	17.50	0.12	0.12	5.20	6.00	0.08	0.08	2.60	2.80	0.08	0.07
<b>Máx</b>	16.30	12.90	0.14	0.14	7.10	8.30	0.06	0.07	6.70	8.00	0.08	0.09

En las Tablas de desplazamientos y aceleraciones, se observa que los mayores desplazamientos y aceleraciones se registraron en la fachada, y siempre para el MD-01. Mientras que el MD-03 registra los mínimos valores para ambos casos y muy cercanos a los registrados en el modelo MD-02.

La Tabla 3.8 muestra la relación que guardan los modelos, para los desplazamientos y aceleraciones de los muros en el componente horizontal únicamente.

**Tabla 3.8. Relaciones de desplazamientos y aceleraciones muros**

<b>Modelos</b>	<b>Desplazamientos</b>	<b>Aceleraciones</b>
MD-01/MD-02	2.3	2.0
MD-01/MD-03	3.5	1.6
MD-02/MD-03	1.5	≈1.0

De las Tablas que muestran la relación entre los modelos, se observa que el modelo MD-01 se desplaza aproximadamente el doble que los MD-02 y MD-03, para todos los casos, lo mismo ocurre con las aceleraciones. Esto indica que los contrafuertes en el MD-02 le proporcionan mayor estabilidad ante el movimiento impuesto por el sismo, lo que ocurre también en el MD-03 al disminuir su altura, sin embargo la relación que guardan los modelos MD-02 y MD-03 es muy parecida, con desplazamientos y aceleraciones cercanos a la igualdad.

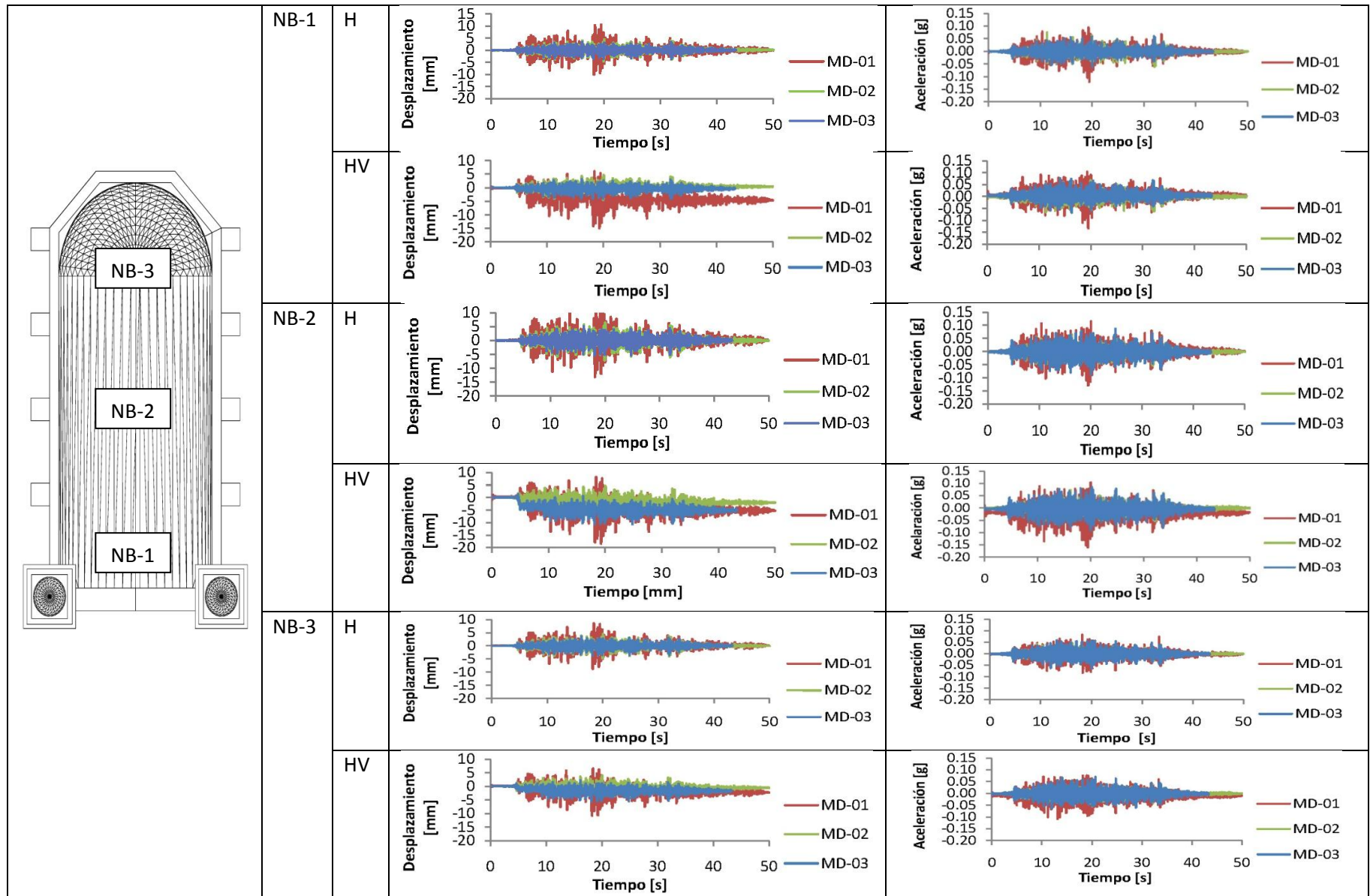


Figura 3.6. Historia de desplazamientos y aceleraciones en Bóveda

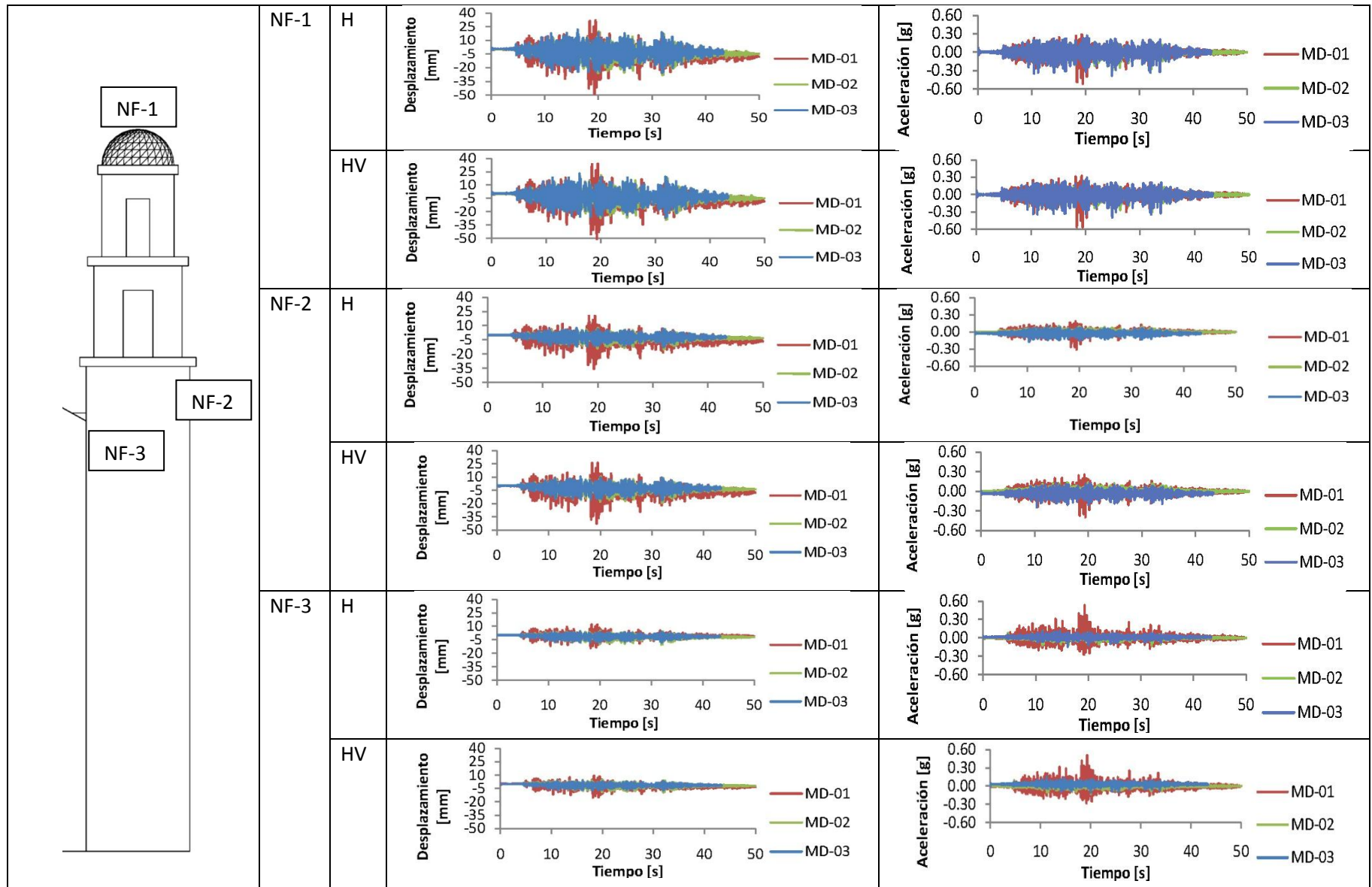


Figura 3.7. Historia de desplazamientos y aceleraciones en Torres y Campanarios



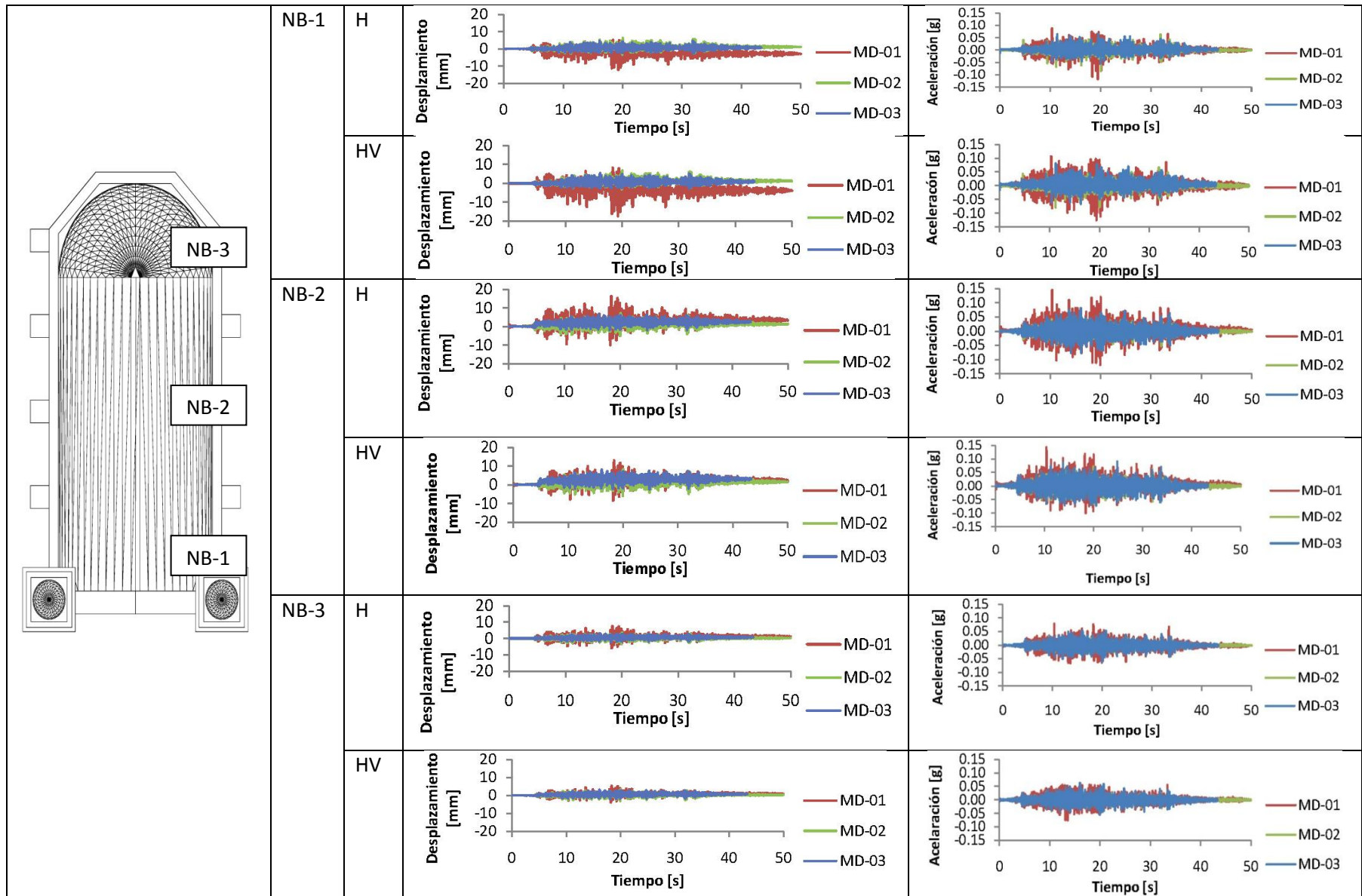


Figura 3.8. Historia de desplazamientos y aceleraciones en Muros

### 3.4. Comportamiento histerético

Con las gráficas de histéresis se puede comparar la rigidez de los modelos sometidos a las mismas acciones, así como la forma en que disipan la energía.

En las figuras se observa una tendencia muy similar entre el comportamiento de los lazos histeréticos para los puntos analizados, y es evidente la diferencia que existe entre el MD-01 y los otros dos modelos modificados; estos últimos tienden a comportarse de manera similar en las gráficas presentadas.

Los lazos histeréticos del modelo MD-01 resultaron mayores que los presentados en los modelos MD-02 y MD-03, por lo que las deformaciones sufridas por el MD-01 son las máximas en todo el análisis, su rigidez disminuye y la disipación de energía aumenta.

La Figura 3.9 muestra los puntos analizados en la bóveda, se observa que la clave de la bóveda es la que mayores deformaciones experimenta, con un comportamiento de los lazos de histéresis similar para los tres modelos, la pérdida de rigidez que sufre la bóveda en este punto es de gran importancia. En el punto donde la bóveda se une con la fachada, para los modelos MD-02 y MD-03, las deformaciones son mínimas, no así para el modelo MD-01 las cuales son de consideración, registrando desplazamientos incluso mayores que en la clave. Al inicio de la cúpula las deformaciones que sufren los modelos son similares y la pérdida de rigidez no es importante.

En la Figura 3.10 muestra que el cupulín es el elemento que mayores desplazamientos registra, por lo que su pérdida de rigidez es de gran consideración, la disipación de energía es la máxima en este punto. Los campanarios tienen un comportamiento similar al cupulín sin embargo sus lazos histeréticos son más cerrados que los del cupulín, lo que los vuelve más estables que éstos.

Para los modelos MD-02 y MD-03 en la bóveda y los muros el comportamiento es similar, pese a que no se encuentran a la misma altura, la rigidez del MD-03 se compensa en el MD-02 con el incremento de los contrafuertes, la disipación de energía que experimentan ambos modelos es similar.

Cabe destacar que a mayor altura los desplazamientos aumentan y la pérdida de rigidez es más severa, esto se evidencia en el comportamiento del cupulín y los campanarios.

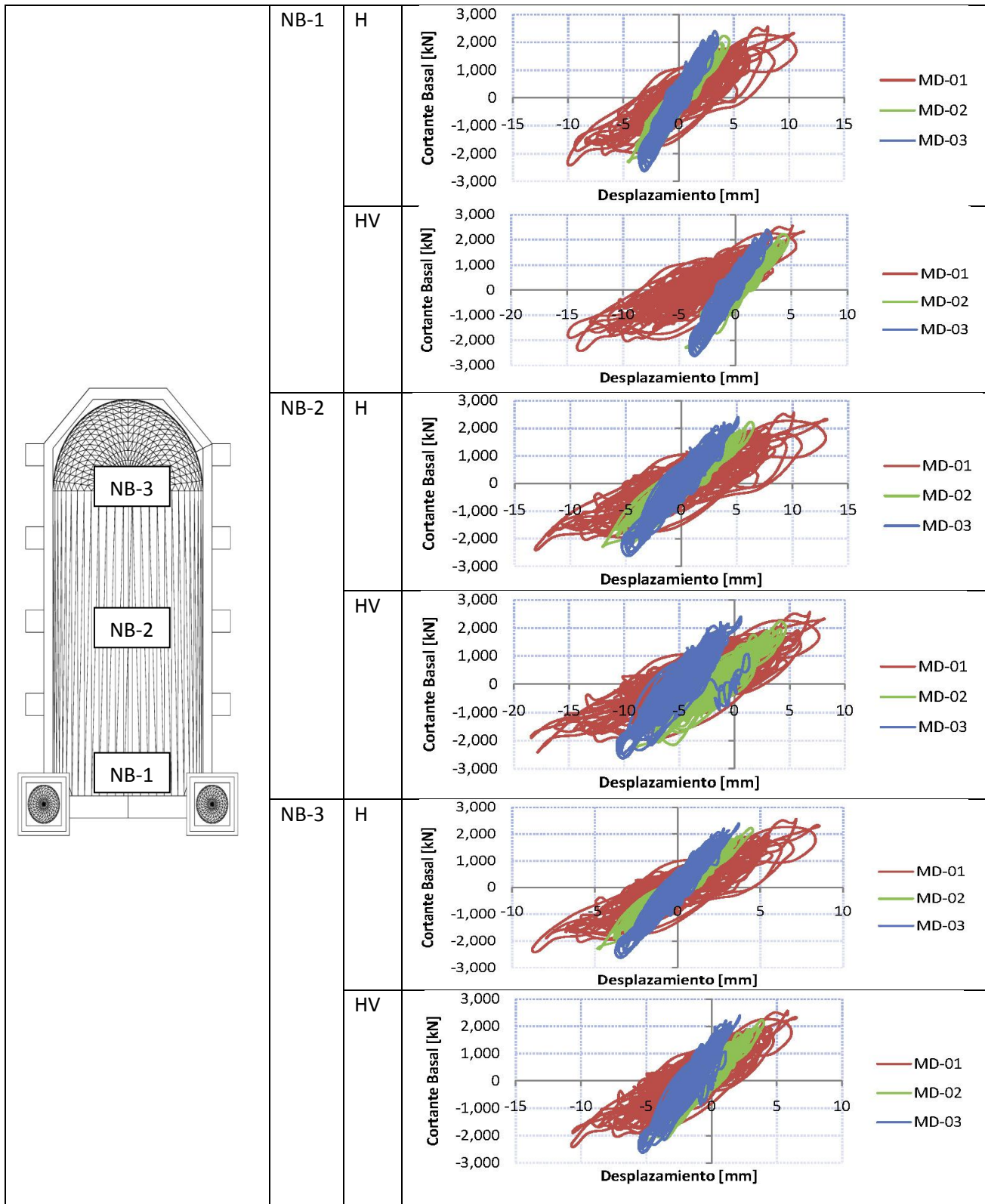


Figura 3.9. Ciclos de Histéresis en Bóveda

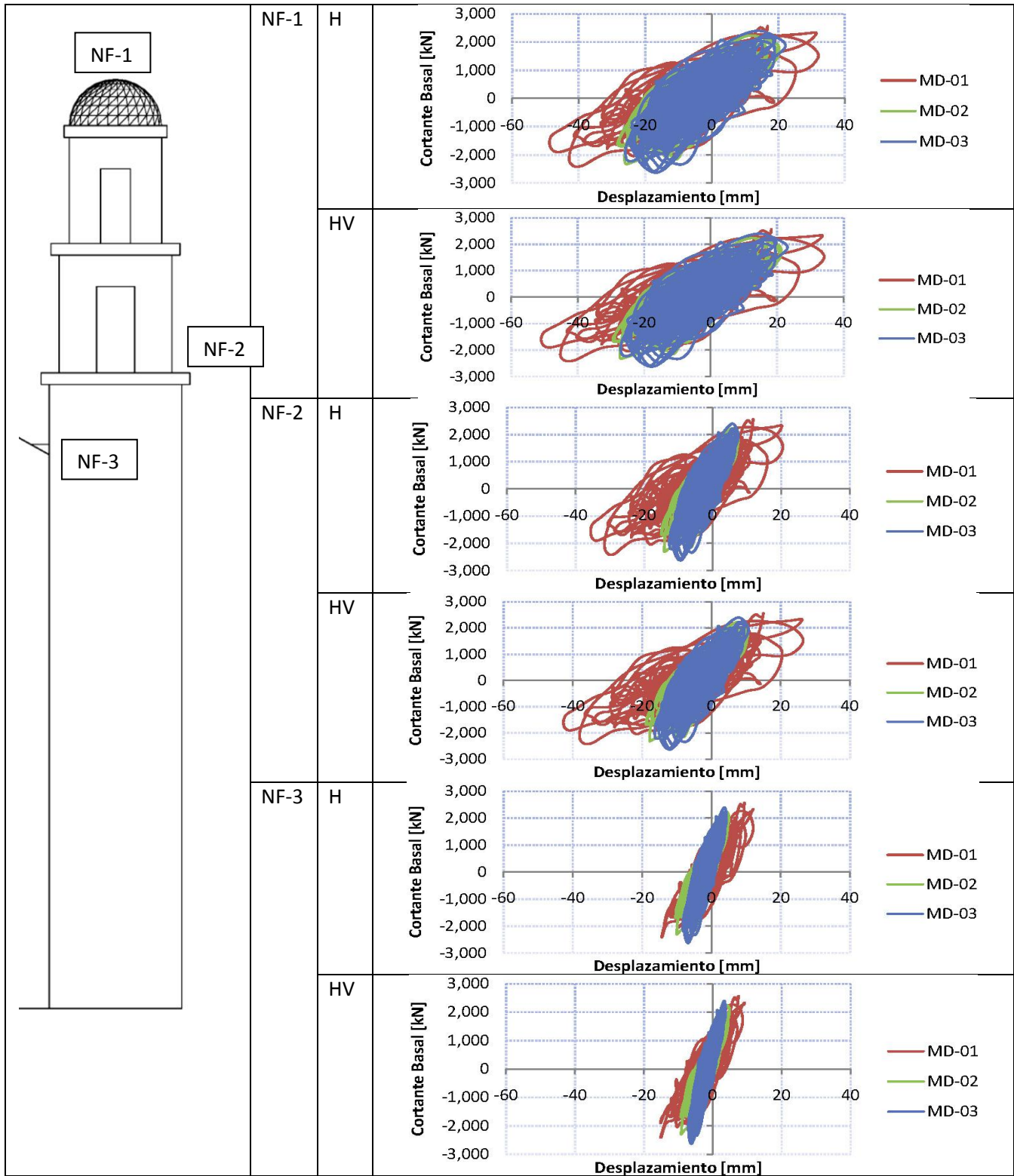


Figura 3.10. Ciclos de Histéresis en Torres y Campanarios



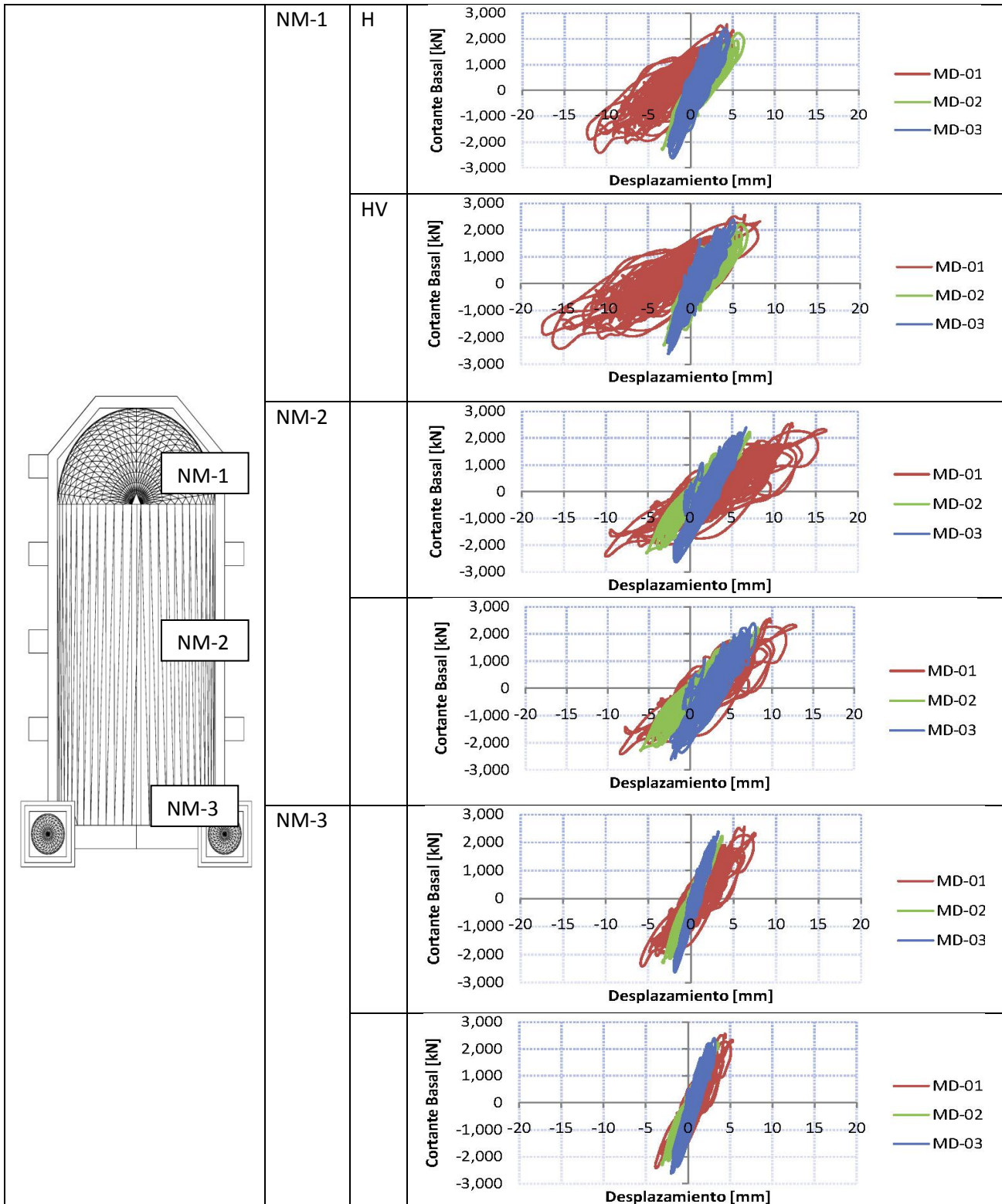


Figura 3.11. Ciclos de Histéresis en Muros

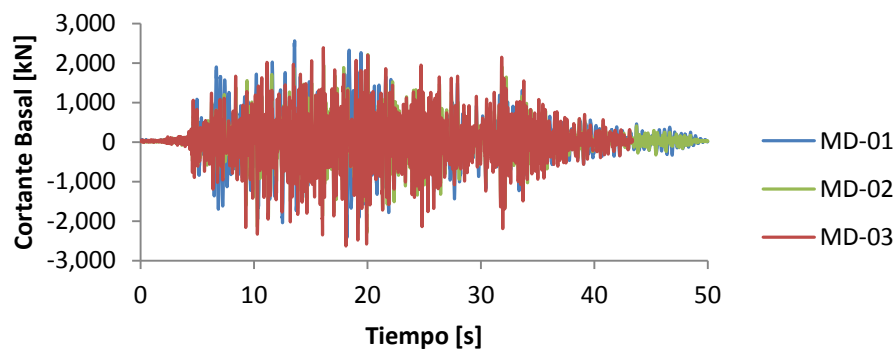


### 3.4.1. Cortante basal

El cortante basal fue obtenido a partir del análisis no lineal con ANSYS, en la Tabla 3.9 se presentan los valores máximos y mínimos para los tres modelos. En la Figura 3.12 se observa el comportamiento de las historias del cortante basal para los tres modelos, se observa que se reprodujo adecuadamente, y los resultados son congruentes para los modelos estudiados.

**Tabla 3.9. Cortante basal aplicado**

	Cortante basal [kN]	
	Máximo	Mínimo
<b>MD-01</b>	2,564	2,418
<b>MD-02</b>	2,216	2,297
<b>MD-03</b>	2,390	2,630



**Figura 3.12. Historia del cortante basal**

### 3.4.2. Distorsiones máxima en los modelos

La Tabla 3.10 muestra las distorsiones que sufren los modelos en los muros, los puntos que se analizaron así como sus gráficas se observan en la Figura 3.13. Analizando los resultados para el muro derecho que son los que presentan mayores distorsiones se observa que la mayor distorsión la presenta el modelo MD-01 en el punto NM-2, con un valor de 0.0013 el cual representa un incremento del 127% en relación con el modelo MD-02 y un 76% comparado con el MD-03, los cuales también presentan las mayores distorsiones en este punto. Las distorsiones calculadas en el punto NM-1 tienen un comportamiento similar con distorsiones semejantes, para el punto NM-3 el modelo MD-01 tiene una mayor distorsión que los otros dos modelos para ambos muros.

Tabla 3.10. Distorsiones máximas en los muros

	Altura	NM-1	NM-2	NM-3	NM-4	NM-5	NM-6
		Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
<b>MD-01</b>	12.40	0.00041	0.00131	0.00061	0.00020	0.00066	0.00051
<b>MD-02</b>	12.40	0.00051	0.00058	0.00030	0.00025	0.00038	0.00027
<b>MD-03</b>	9.00	0.00051	0.00074	0.00036	0.00023	0.00026	0.00028

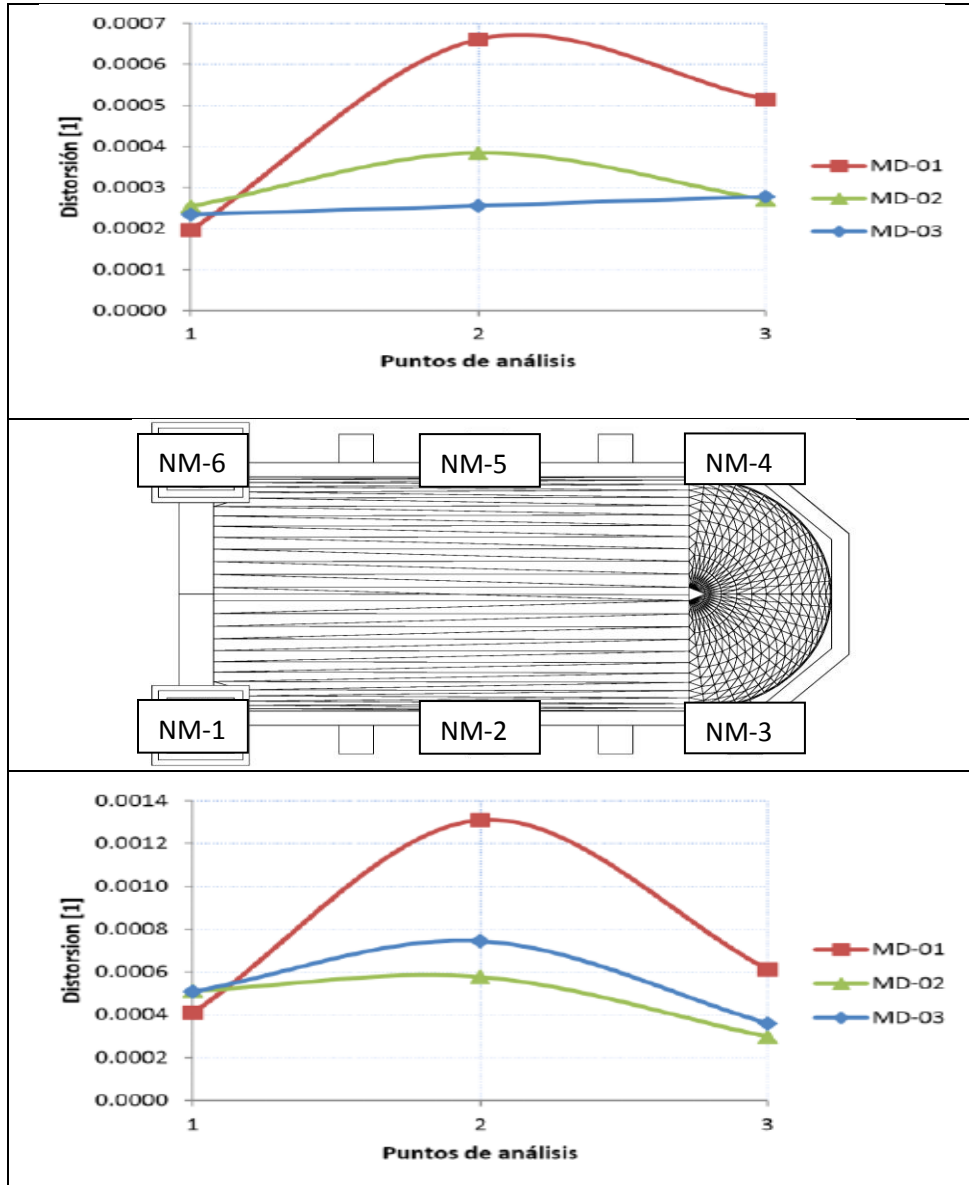


Figura 3.13. Distorsiones en los muros

### 3.4.3. Rigidez de ciclo

La rigidez de ciclo para los elementos analizados en los modelos se determinó ajustando una línea recta al comportamiento histerético. En la Tabla 3.11 se muestran los valores de rigidez de ciclo que presenta cada modelo, se observa en la tabla que el MD-02 y MD-03 son más rígidos que el MD-01, por lo que su comportamiento resulta más eficiente, de la Tabla 3.12 en donde se muestran las relaciones que guardan dichos modelos se observa que el MD-03 es 170% veces más rígido que el MD-01 en la bóveda, las mayores diferencias las presenta el MD-03 con el MD-01 para los tres elementos analizados. Mientras que las rigideces de ciclo de los modelos MD-02 y MD-03 presentan cambios muy similares en sus tres elementos siendo el mayor el de la bóveda donde el incremento de rigidez que presenta el MD-03 es del 37% en relación al MD-02. El elemento que menor rigidez presenta en la fachada es el cupulín, que en todo el estudio ha sido el elemento más susceptible al movimiento impuesto por el sismo.

**Tabla 3.11. Rigidez de ciclo**

	<b>Bóveda [KN/mm]</b>	<b>Muros [KN/mm]</b>	<b>Fachada [KN/mm]</b>
<b>MD-01</b>	216.93	226.42	90.36
<b>MD-02</b>	426.64	443.59	128.85
<b>MD-03</b>	585.30	580.51	166.05

**Tabla 3.12. Relaciones de rigidez entre los modelos**

	<b>Bóveda</b>	<b>Muros</b>	<b>Fachada</b>
<b>MD-01/MD-02</b>	97%	96%	43%
<b>MD-01/MD-03</b>	170%	156%	84%
<b>MD-02/MD-03</b>	37%	31%	29%

### 3.4.4. Amortiguamiento.

El amortiguamiento durante cada simulación se estimó para cada modelo utilizando el método propuesto por Rinawi. El ancho de la función de transferencia en el rango de la frecuencia se tomó de manera que pudiera considerarse como un grado de libertad. Cuando el modelo sufre daños severos, el ancho de frecuencia debe de reducirse al mínimo para obtener resultados satisfactorios y la función de transferencia calculada con el método se ajuste lo más aproximada a la medida. En las gráficas de la Figura 3.14 se muestran las funciones de transferencia obtenidas para el centro de la clave en la bóveda para los tres modelos, para la estimación del amortiguamiento.

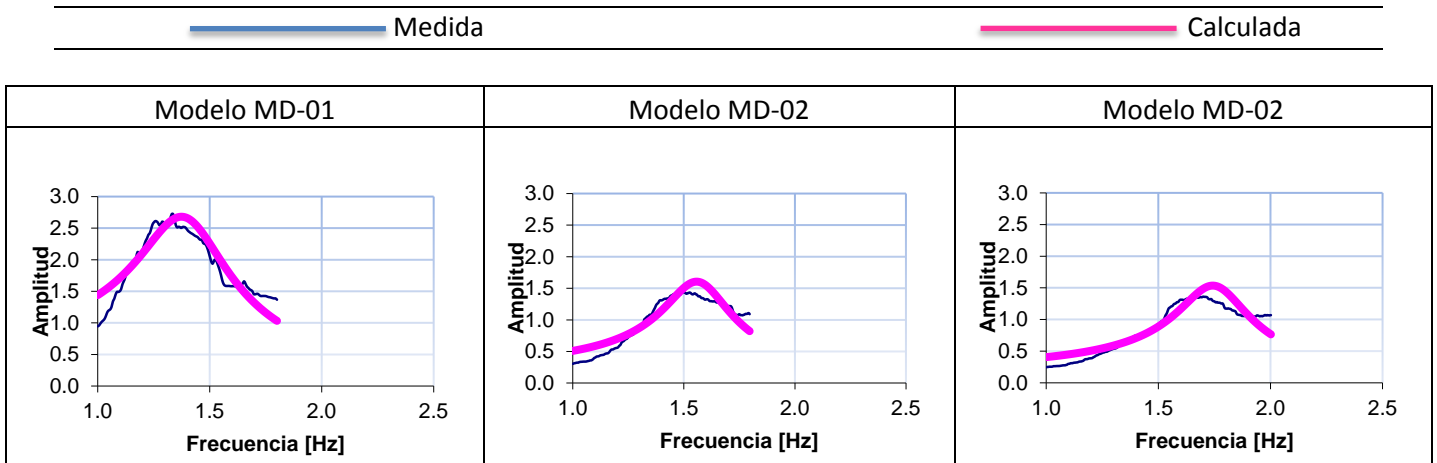


Figura 3.14. Funciones de transferencia

En la Tabla 3.13 se presentan los resultados del amortiguamiento calculado para los tres modelos. La diferencia de amortiguamiento del MD-01 con el modelo MD-02 y 03 son del 49% y 59% respectivamente. Lo que indica que el modelo que mayor cantidad energía liberó fue el MD-01, mientras que los modelos MD-02 y MD-03 liberaron casi la misma cantidad de energía con una diferencia de un 7%.

Tabla 3.13. Amortiguamiento calculado

Modelo	$\xi$ [%]	P [s]
MD-01	14.5	0.71
MD-02	9.7	0.64
MD-03	9.1	0.57