



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**RESPUESTA SISMICA DE UNA
ESTRUCTURA MARITIMA EQUIPADA
CON UN DISPOSITIVO TMD**

HÉCTOR FLORES HERRÁIZ

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:
DIEGO LOPEZ GARCÍA

Santiago de Chile, septiembre, 2016.

(A mi novia Francisca...)

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer primeramente a mi novia y compañera de vida Francisca por todo el apoyo y comprensión que he recibido de su parte durante estos dos años. Sin ella no lo habría conseguido

A mi oficina PRDW, por el apoyo y la ayuda durante el tiempo que duró el magister, siendo siempre pacientes con mis tiempos disponibles.

Nelson Novoa del que fue suya la primera motivación para la realización de este trabajo, me gustaría dar las gracias por toda la ayuda recibida, sus consejos su apoyo su amistad y todo el conocimiento que me ha transmitido durante este tiempo. En gran parte, el profesional que soy hoy día se lo debo a él.

Carlos Nuñez, Jorge Bauerle dos referentes en ingeniería estructural, compañeros de oficina, amigos y parte de mi familia aquí en Chile. Gracias por la paciencia, los consejos y la ayuda que me han prestado siempre.

Igualmente quiero agradecer al profesor Diego López García quien tuvo la mejor disposición para guiarme en el desarrollo y finalización de mi trabajo.

Por último, quisiera agradecer a todo el departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica por el conocimiento y herramientas entregadas durante estos dos años

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
I INTRODUCCIÓN	1
I.1 Motivación	1
I.2 Objetivos	1
II DISEÑO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS PORTUARIAS	2
II.1 Métodos basados en cargas estáticas horizontales	3
II.1.1 Puerto Mejillones.....	3
II.2 Análisis Modal Espectral	4
II.2.1 Terminal de Graneles Del Norte (TGN).....	5
II.3 Métodos basados en el desempeño estructural.....	7
II.3.1 Puerto Angamos	7
II.4 Aislación y protección sísmica.....	8
II.4.1 Muelle Sur Puerto de Coronel.....	9
II.5 Conclusiones	10
III DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO	11
III.1 Introducción.....	11
III.2 Descripción de la estructura	11
III.3 Materiales	16
III.4 Modelos.....	17
III.5 Interacción suelo estructura.....	19
III.6 Cargas de Diseño	19

III.6.1	Peso Propio.....	19
III.6.2	Brazos de carga.....	20
III.6.3	Sobrecarga.....	21
III.6.4	Cargas Sísmicas.....	21
III.7	Análisis Modal.....	28
III.8	Definición de Parámetros para la modelización de los TMD.	30
III.8.1	Definición TMD modelo con brazos de carga	32
III.8.2	Definición TMD modelo sin brazos de carga	38
IV	RESULTADOS ANÁLISIS.....	44
IV.1	Desplazamientos del tablero.....	45
IV.1.1	Modelo sin brazos.....	45
IV.1.2	Modelo con brazos.....	55
IV.2	Aceleración del tablero	64
IV.2.1	Modelo sin brazos.....	64
IV.2.2	Modelo con brazos.....	73
IV.3	Espectro de respuesta de aceleración en tablero.....	82
IV.3.1	Modelo sin brazos.....	82
IV.3.2	Modelo con brazos.....	91
IV.4	Esfuerzo Axial en Pilote	100
IV.4.1	Modelo sin brazos.....	100
IV.4.2	Modelo con brazos.....	105
IV.5	Desplazamiento en extremo de brazos.....	110
IV.5.1	Modelo con brazos.....	110
IV.6	Aceleración en extremo de brazos.....	119
IV.6.1	Modelo con brazos.....	119
IV.7	Espectro de respuesta de aceleración en extremo de brazos	129
IV.7.1	Modelo con brazos.....	129
IV.8	Desplazamiento en dispositivo TMD	139
IV.8.1	Modelo sin brazos.....	139
IV.8.2	Modelo con brazos.....	142
V	RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	146
	BIBLIOGRAFIA	148

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla III-1: Materiales de los elementos estructurales.	16
Tabla III-2: Parámetros interacción suelo estructura.	19
Tabla III-3: Masas sísmicas consideradas.	22
Tabla III-4: Parámetros de los registros sísmicos.	23
Tabla III-5: Análisis modal plataforma con brazos de carga	29
Tabla III-6: Análisis modal plataforma sin brazos de carga	29
Tabla III-7: Respuesta modal modelo con brazos y TMD.	37
Tabla III-8: Respuesta modal modelo sin brazos y TMD.	43
Tabla V-9: Resumen de resultados.	146

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II-1: Criterios de diseño típicos.	3
Figura II-2: Puerto de Mejillones.....	4
Figura II-3: Terminal Graneles del Norte.....	6
Figura II-4: Puerto Angamos.....	8
Figura II-5: Muelle Sur Puerto Coronel.....	9
Figura III-6: Terminal LNG.	11
Figura III-7: Nave LNGC.....	12
Figura III-8: Nave FSRU.....	12
Figura III-9: modelo plataforma.	13
Figura III-10: Planta de pilotes.	14
Figura III-11: Elevación lateral pilotes.	14
Figura III-12: Sección pilotes (metros).	15
Figura III-13: Planta de vigas.	15
Figura III-14: Secciones de vigas (metros).	16
Figura III-15: Modelación de materiales.....	17
Figura III-16: Modelo con brazos de carga y TMD.....	18
Figura III-17: Modelo sin brazos de cargas y TMD.	18
Figura III-18: Definición Load Case DL.....	19
Figura III-19: Ubicación y geometría de la parte fija de los brazos de carga.	20
Figura III-20: Asignación de masas en extremo de brazos (tonf-m).	20
Figura III-21: Definición Load Case Lu.	21
Figura III-22: Direcciones consideradas para el análisis sísmico.....	22
Figura III-23: Registro Constitución dirección x.....	23
Figura III-24: Registro Constitución dirección y.....	24
Figura III-25: Registro de Concepción dirección x.	24
Figura III-26: Registro de Concepción dirección y.	25
Figura III-27: Registro de Llolleo dirección x.....	25

Figura III-28: Registro de Lloleo dirección y.....	26
Figura III-29: Definición Load Case Constitución.	26
Figura III-30: Definición Load Case Concepción.	27
Figura III-31: Definición Load Case Lloleo.....	27
Figura III-32: Asignación de amortiguamiento del modelo en time-history load cases.	28
Figura III-33: Esquema disposición TMD.	31
Figura III-34: Ubicación de masas y elementos link en el modelo.	31
Figura III-35: ubicación y etiqueta de elementos link modelo con brazos.	34
Figura III-36: Amortiguamiento elementos LINX modelo con brazos.	34
Figura III-37: Amortiguamiento elementos LINY modelo con brazos.	35
Figura III-38: Amortiguamiento y rigidez elementos LX modelo con brazos.....	35
Figura III-39: Amortiguamiento y rigidez elementos LY modelo con brazos.....	36
Figura III-40: Restricciones de rotación y desplazamiento vertical asignados a los TMD.	36
Figura III-41: Asignación de masas definidas en los TMD modelo con brazos.	37
Figura III-42: ubicación y etiqueta de elementos link modelo sin brazos.	40
Figura III-43: Amortiguamiento elementos LINX modelo sin brazos.	40
Figura III-44: Amortiguamiento elementos LINY sin brazos.....	41
Figura III-45: Amortiguamiento y rigidez elementos LX modelo sin brazos.	41
Figura III-46: Amortiguamiento y rigidez elementos LY modelo sin brazos.....	42
Figura III-47: Asignación de masas definidas en los TMD modelo sin brazos.	42
Figura IV-48: Ubicación puntos de análisis.	44
Figura IV-49: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Concepción	45
Figura IV-50: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Concepción.	46
Figura IV-51: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	46
Figura IV-52: Desplazamiento del tablero en y, sin brazos sin TMD. Concepción.	47
Figura IV-53: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Concepción	47

Figura IV-54: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	48
Figura IV-55: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.....	48
Figura IV-56: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Constitución.....	49
Figura IV-57: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	49
Figura IV-58: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.....	50
Figura IV-59: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Constitución.....	50
Figura IV-60: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	51
Figura IV-61: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.....	51
Figura IV-62: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Llolleo.....	52
Figura IV-63: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llolleo.....	52
Figura IV-64: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.....	53
Figura IV-65: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Llolleo.....	53
Figura IV-66: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llolleo.....	54
Figura IV-67: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Concepción.....	55
Figura IV-68: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Concepción.....	55
Figura IV-69: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	56
Figura IV-70: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Concepción.....	56

Figura IV-71: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Concepción.	57
Figura IV-72: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	57
Figura IV-73: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	58
Figura IV-74: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Constitución.	58
Figura IV-75: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	59
Figura IV-76: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	59
Figura IV-77: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Constitución.	60
Figura IV-78: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	60
Figura IV-79: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.....	61
Figura IV-80: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Llolleo....	61
Figura IV-81: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	62
Figura IV-82: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.....	62
Figura IV-83: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Llolleo....	63
Figura IV-84: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	63
Figura IV-85: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.....	64
Figura IV-86: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Concepción....	64
Figura IV-87: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción	65
Figura IV-88: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.....	65
Figura IV-89: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Concepción....	66

Figura IV-90: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	66
Figura IV-91: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Constitución. ..	67
Figura IV-92: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Constitución. .	67
Figura IV-93: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	68
Figura IV-94: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Constitución. ..	68
Figura IV-95: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Constitución. .	69
Figura IV-96: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	69
Figura IV-97: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.	70
Figura IV-98: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Llolleo.....	70
Figura IV-99: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazo, comparación de respuesta, Llolleo.	71
Figura IV-100: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.	71
Figura IV-101: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Llolleo.	72
Figura IV-102: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	72
Figura IV-103: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Concepción..	73
Figura IV-104: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Concepción.	73
Figura IV-105: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	74
Figura IV-106: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Concepción..	74
Figura IV-107: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Concepción.	75
Figura IV-108: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	75
Figura IV-109: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	76
Figura IV-110: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Constitución.	76

Figura IV-111: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	77
Figura IV-112: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	77
Figura IV-113: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Constitución.	78
Figura IV-114: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	78
Figura IV-115: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.	79
Figura IV-116: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Llolleo.	79
Figura IV-117: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	80
Figura IV-118: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.	80
Figura IV-119: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Llolleo.	81
Figura IV-120: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	81
Figura IV-121: Espectro de respuesta de aceleración en tablero, dirección x, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.	82
Figura IV-122: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos con TMD. Concepción.	82
Figura IV-123: Espectro de respuesta de aceleración en tablero, dirección x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.	83
Figura IV-124: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.	83
Figura IV-125: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos con TMD. Concepción.	84
Figura IV-126: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.	84
Figura IV-127: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.....	85

Figura IV-128: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos con TMD. Constitución.....	85
Figura IV-129: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución	86
Figura IV-130: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.....	86
Figura IV-131: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos con TMD. Constitución.....	87
Figura IV-132: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazo, comparación de respuesta. Constitución.....	87
Figura IV-133: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos sin TMD. Llollo.	88
Figura IV-134: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos con TMD. Llollo.	88
Figura IV-135: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llollo.....	89
Figura IV-136: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos sin TMD. Llollo.	89
Figura IV-137: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos con TMD. Llollo.	90
Figura IV-138: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llollo.....	90
Figura IV-139: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos sin TMD. Concepción.	91
Figura IV-140: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos con TMD. Concepción.....	91
Figura IV-141: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.	92
Figura IV-142: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos sin TMD. Concepción.	92

Figura IV-143: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos con TMD. Concepción.	93
Figura IV-144: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.	93
Figura IV-145: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	94
Figura IV-146: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos con TMD. Constitución.	94
Figura IV-147: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.	95
Figura IV-148: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	95
Figura IV-149 : Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos con TMD. Constitución.	96
Figura IV-150: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.	96
Figura IV-151: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos sin TMD. Lloleo.	97
Figura IV-152: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos con TMD. Lloleo.	97
Figura IV-153: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lloleo.	98
Figura IV.154: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos sin TMD. Lloleo.	98
Figura IV-155: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos con TMD. Lloleo.	99
Figura IV-156: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lloleo.	99
Figura IV-157: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.	100
Figura IV-158: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos con TMD. Concepción.	101

Figura IV-159: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.....	101
Figura IV-160: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.	102
Figura IV-161: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos con TMD. Constitución.	102
Figura IV-162: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	103
Figura IV-163: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.....	103
Figura IV-164: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos con TMD. Llolleo.....	104
Figura IV-165: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	104
Figura IV-166: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos sin TMD. Concepción.....	105
Figura IV-167: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos con TMD. Concepción.....	106
Figura IV-168: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.	106
Figura IV-169: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos sin TMD. Constitución.	107
Figura IV-170: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos con TMD. Constitución.	107
Figura IV-171: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.....	108
Figura IV-172: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.....	108
Figura IV-173: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos con TMD. Llolleo.....	109
Figura IV-174: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos, comparación de respuesta. Llolleo.	109
Figura IV-175: Desplazamiento del brazo en x, modelo sin TMD. Concepción	110
Figura IV-176: Desplazamiento del brazo en x, modelo con TMD. Concepción	111
Figura IV-177: Desplazamiento del brazo en x, comparación de respuesta. Concepción .	111
Figura IV-178: Desplazamiento del brazo en y, modelo sin TMD. Concepción	112
Figura IV-179: Desplazamiento del brazo en y, modelo con TMD. Concepción.	112
Figura IV-180: Desplazamiento del brazo en y, comparación de respuesta. Concepción.	113
Figura IV-181: Desplazamiento del brazo en x, modelo sin TMD. Constitución.....	113
Figura IV-182: Desplazamiento del brazo en x, modelo con TMD. Constitución.....	114

Figura IV-183: Desplazamiento del brazo en x, comparación de respuestas. Constitución.	114
Figura IV-184: Desplazamiento del brazo en y, modelo sin TMD. Constitución.	115
Figura IV-185: Desplazamiento del brazo en y, modelo con TMD. Constitución.	115
Figura IV-186: Desplazamiento del brazo en y, comparación de respuestas. Constitución.	116
Figura IV-187: Desplazamiento del brazo en x, modelo sin TMD. Llolleo.	116
Figura IV-188: Desplazamiento del brazo en x, modelo con TMD. Llolleo.	117
Figura IV-189: Desplazamiento del brazo en x, comparación de respuesta. Llolleo.	117
Figura IV-190: Desplazamiento del brazo en y, modelo sin TMD. Llolleo.	118
Figura IV-191: Desplazamiento del brazo en y, modelo con TMD. Llolleo.	118
Figura IV-192: Desplazamiento del brazo en y, comparación de respuesta. Llolleo.	119
Figura IV-193: Aceleración en brazos, dirección x, modelo sin TMD. Concepción.	120
Figura IV-194: Aceleración en brazos, dirección x, modelo con TMD. Concepción.	120
Figura IV-195: Aceleración en brazos, dirección x, comparación de respuesta. Concepción.	120
Figura IV-196: Aceleración en brazos, dirección y, modelo sin TMD. Concepción.	121
Figura IV-197: Aceleración en brazos, dirección y, modelo con TMD. Concepción.	121
Figura IV-198: Aceleración en brazos, dirección y, comparación de respuesta. Concepción.	122
Figura IV-199: Aceleración en brazos, dirección x, modelo sin TMD. Constitución.	122
Figura IV-200: Aceleración en brazos, dirección x, modelo con TMD. Constitución.	123
Figura IV-201: Aceleración en brazos, dirección x, comparación de respuesta. Constitución.	123
Figura IV-202: Aceleración en brazos, dirección y, modelo sin TMD. Constitución.	124
Figura IV-203: Aceleración en brazos, dirección y, modelo con TMD. Constitución.	124
Figura IV-204: Aceleración en brazos, dirección y, comparación de respuesta. Constitución.	125
Figura IV-205: Aceleración en brazos, dirección x, modelo sin TMD. Llolleo.	125
Figura IV-206: Aceleración en brazos, dirección x, modelo con TMD. Llolleo.	126

Figura IV-207: Aceleración en brazos, dirección x, comparación de respuesta. Llolleo. .	126
Figura IV-208: Aceleración en brazos, dirección y, modelo sin TMD. Llolleo.....	127
Figura IV-209: Aceleración en brazos, dirección y, modelo con TMD. Llolleo.	127
Figura IV-210: Aceleración en brazos, dirección y, comparación de respuesta. Llolleo. .	128
Figura IV-211: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo sin TMD, Concepción.	129
Figura IV-212: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Concepción.....	130
Figura IV-213: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Concepción.....	130
Figura IV-214: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo sin TMD, Concepción.	131
Figura IV-215: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo con TMD, Concepción.....	131
Figura IV-216: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, comparación de respuesta, Concepción.	132
Figura IV-217: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo sin TMD, Constitución.....	132
Figura IV-218: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Constitución	133
Figura IV-219: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, comparación de respuesta, Constitución.....	133
Figura IV-220: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo sin TMD, Constitución.....	134
Figura IV-221: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo con TMD, Constitución	134
Figura IV-222: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, comparación de respuesta, Constitución	135
Figura IV-223: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo sin TMD, Llolleo.	135

Figura IV-224: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Llolleo.....	136
Figura IV-225: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, comparación de respuesta, Llolleo.	136
Figura IV-226: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo sin TMD, Llolleo.	137
Figura IV-227: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo con TMD, Llolleo.....	137
Figura IV-228: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, comparación de respuesta, Llolleo.	138
Figura IV-229: Desplazamiento del TMD en x, modelo sin brazos. Concepción.....	139
Figura IV-230: Desplazamiento del TMD en y, modelo sin brazos. Concepción.....	140
Figura IV-231: Desplazamiento del TMD en x, modelo sin brazos. Constitución.	140
Figura IV-232: Desplazamiento del TMD en y, modelo sin brazos. Constitución	141
Figura IV-233: Desplazamiento del TMD en x, modelo sin brazos. Llolleo.....	141
Figura IV-234: Desplazamiento del TMD en y, modelo sin brazos. Llolleo.....	142
Figura IV-235: Desplazamiento del TMD en x, modelo con brazos. Concepción.....	142
Figura IV-236: Desplazamiento del TMD en y, modelo con brazos. Concepción.....	143
Figura IV-237: Desplazamiento del TMD en x, modelo con brazos. Constitución.	143
Figura IV-238: Desplazamiento del TMD en y, modelo con brazos. Constitución.	144
Figura IV-239: Desplazamiento del TMD en x, modelo con brazos. Llolleo.....	144
Figura IV-240: Desplazamiento del TMD en y, modelo con brazos. Llolleo.....	145

RESUMEN

Los dispositivos AMS (amortiguadores de masa sintonizados) son cada vez más utilizados para reducir la respuesta sísmica de estructuras debido a su simplicidad y eficiencia. Su funcionamiento se basa en la transferencia y disipación de energía cinética de la estructura al AMS

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en analizar la eficiencia de amortiguadores de masa sintonizados en reducir la respuesta sísmica de estructuras marítimas “costa afuera”. Se analizó el comportamiento sísmico de una plataforma marítima para operaciones de carga y descarga de GNL compuesta por una losa de hormigón sobre vigas de acero soportadas por pilotes tubulares de acero. Se calcularon los parámetros necesarios de masa, rigidez y amortiguamiento de los AMS, los cuales se modelaron en la estructura con el programa de análisis estructural SAP2000. Se realizaron análisis tiempo-historia considerando tres registros obtenidos en el terremoto del Maule (Chile) de 2010. Se encontró que la incorporación de los Amortiguadores de Masa Sintonizados permite en algunos casos reducir significativamente la respuesta sísmica de la estructura principal.

ABSTRACT

Tuned Mass Dampers (TMDs) are becoming popular supplemental devices for the reduction of the seismic response of structures because of their simplicity and efficiency. The principle on which these devices are based on is the transfer of kinetic energy from the structure to the TMD.

The main objective of this study is to analyze the efficiency of TMDs in reducing the seismic response of maritime offshore structures. The seismic behavior of a maritime platform for LNG loading and unloading operations, made up of a concrete slab on steel beams supported by steel tubular piles, was analyzed through time history analysis. Mass, stiffness and damping characteristics of the TMDs were calculated following guidelines recommended in the literature, and the structure-TMDs assembly was modeled with the structural analysis computer program SAP2000. The model was subjected to three ground motions recorded during the 2010 Maule (Chile) earthquake. It was found that addition of TMDs leads in some cases to significant reductions in the seismic response of the main structure.

I INTRODUCCIÓN

I.1 Motivación

La alta sismicidad chilena y el competitivo panorama económico actual, obligan al desarrollo de soluciones estructurales cada vez más eficientes tanto técnica como económicamente.

Siguiendo la línea de desarrollo, se expone en el siguiente trabajo el estudio de la implementación de un dispositivo amortiguador de masa sintonizada (AMD) en una estructura portuaria.

La tipología de estructura marítima sobre la que se estudiará la implementación, corresponde a la compuesta por vigas de acero sobre pilotes tubulares de acero hincados sobre el terreno. El peso de este tipo de estructuras permite conseguir a priori una alta eficiencia en la disipación de energía debido a la posibilidad de conseguir un alto porcentaje en la relación $m_{\text{estructura}}/m_{\text{TMD}}$. De acuerdo a la literatura consultada Ref. [2], se logra la mayor eficiencia del dispositivo cuando el peso del TMD es del orden del 10% del peso de la estructura en la que se implementará, un valor factible de alcanzar en este tipo de estructuras.

Esta solución se presenta como una alternativa eficiente y económica tanto para estructuras nuevas como para el mejoramiento estructuras existentes.

I.2 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Modelar una estructura marítima offshore con y sin la implementación de un dispositivo TMD.
- Realizar un análisis time-history a los modelos con varios registros sísmicos.
- Analizar y comparar los resultados para determinar la eficiencia en la implementación de los dispositivos TMD.

II DISEÑO SÍSMICO EN ESTRUCTURAS PORTUARIAS

El área pacífico-sudamericana se caracteriza por contar con una vasta costa en donde las bahías abrigadas y con aptitud portuaria ya han sido ocupadas. Por esta razón, se hace cada vez más difícil encontrar lugares con un abrigo natural adecuado, y con aguas profundas para construir nuevas facilidades portuarias.

Una de las alternativas ampliamente utilizadas para sobrellevar esta dificultad es la implementación de estructuras tipo “finger pier” o “muelles de penetración”, que en general consisten en la construcción de plataformas de embarque y desembarque en sectores alejados de la línea de costa.

El diseño de este tipo de instalaciones en la costa del pacífico, es altamente susceptible a las solicitaciones sísmicas.

El diseño y construcción de estructuras tipo “finger pier”, está sujeto a una serie de limitantes constructivas y desafíos de diseño. Por un lado, la tecnología disponible para construcción marítima implica una restricción importante, y las condiciones ambientales del lugar de emplazamiento de las obras pueden acarrear limitaciones relevantes para el diseño. Además, la interacción suelo estructura, y el comportamiento de los pilotes como elementos de fundación, pasan a jugar un rol fundamental en el comportamiento de este tipo de instalaciones. Todo lo anterior debe además ser compatible con las necesidades del cliente y restricciones económicas que todos los proyectos deben cumplir.

Por otro lado, dada la alta sismicidad de las costas del pacífico sudamericano, el diseño de las instalaciones portuarias considera desafíos importantes, tales como el diseño sísmico y diseño contra tsunami.

Durante la última década, ha habido una evolución notable en el diseño de este tipo de estructuras, que se ha reflejado en nuevas metodologías de análisis, que incluyen el diseño por capacidad y conceptos relacionados con el desempeño y comportamiento estructural. Asimismo, nuevas tecnologías han sido probadas en proyectos portuarios, tal es el caso de la aislación sísmica de muelles de penetración y el objeto del presente trabajo que es el estudio de la implementación de dispositivos TMD en este tipo de estructuras.

A continuación, se analizarán algunos de estos métodos de diseño y se revisará una serie de ejemplos de estructuras tipo “finger pier” actualmente construidas y en operación, que permitirán ver la evolución en los métodos de diseño e identificar sus principales avances.

II.1 Métodos basados en cargas estáticas horizontales

En sus inicios, la ingeniería sísmica relacionada con este tipo de estructuras se basaba en la aplicación de un coeficiente sísmico lateral, que se traducía en una fuerza horizontal estática ubicada en las zonas de mayor concentración de masas. Las normas sísmicas de la época recomendaban el uso de coeficientes sísmicos que variaban entre el 10% y 20% dependiendo de la importancia de la estructura a diseñar.

En la siguiente figura, se muestra un extracto de las bases de diseño típico para un proyecto diseñado bajo este concepto.

4. Fuerzas sísmicas
<i>Las estructuras serán diseñadas para resistir las siguientes fuerzas sísmicas:</i>
$Q = C_{sis} P_{sis}$
<i>En donde:</i>
<i>Q: Corte Basal</i>
<i>P_{sis} : Peso sísmico de la estructura, correspondiente al Peso Propio + %50 Sobrecarga</i>
<i>C_{sis} : Coeficiente Sísmico de diseño, equivalente al 15%</i>

Figura II-1: Criterios de diseño típicos.

A continuación, se entrega una descripción general de un proyecto diseñado bajo este concepto y los resultados del diseño.

II.1.1 Puerto Mejillones

El muelle de Puerto de Mejillones es un muelle multipropósito cuyo objetivo es la carga y descarga de graneles sólidos, así como también la descarga de ácido sulfúrico.

El proyecto consta de un puente de acceso, plataforma de descarga y estructuras de amarre. La configuración estructural se basa en pilotes de acero hincados, vigas de acero y losa de hormigón armado. El frente de atraque está ubicado a una profundidad de aproximada de 17m.



Figura II-2: Puerto de Mejillones

III.1.1.1 Aspectos relevantes del diseño

El terminal está diseñado para recibir barcos de hasta 60,000DWT. Está emplazado en una bahía que ofrece buenas condiciones ambientales y el suelo de fundación es, en general, de buena capacidad de soporte.

III.1.1.2 Criterios de diseño sísmico

Las estructuras del puerto de mejillones fueron diseñadas para resistir acciones horizontales derivadas de la aplicación de un coeficiente sísmico $C=0,12$ aplicados tanto en la dirección transversal como longitudinal.

II.2 Análisis Modal Espectral

Posteriormente, los conceptos de diseño sísmico evolucionaron hacia la aplicación de metodologías basadas en las características dinámicas del comportamiento estructural durante eventos sísmicos. Del mismo modo, la instrumentación masiva, la mayor disponibilidad de datos de aceleraciones y respuesta de estructuras durante sismos, mejor conocimiento del suelo, y la mayor experiencia acumulada en el transcurso de los años, produjeron un salto importante en el enfoque de los análisis. De los simples análisis estáticos,

se migró a los análisis modales espectrales y de tiempo historia, que consideraban tanto aceleraciones horizontales como verticales. Todo ello, bajo la suposición de un comportamiento estructural elástico durante sismos severos.

Sin embargo, la ingeniería sismo-resistente debía contemplar conceptos energéticos, ductilidad y de disipación de energía durante el sismo, de manera de optimizar los diseños, minimizar la inversión y mejorar la seguridad estructural. De esta forma, el factor de modificación de la respuesta R , comienza a ser definido en los códigos de diseño sísmico, siendo parte importante para la definición de las cargas de diseño. Del mismo modo, avances en los estudios de comportamiento del suelo, y en las propiedades de los materiales, derivaron en la aplicación de espectros de diseño que dependían tanto de las características sísmicas del lugar (A), las características del suelo de fundación (T',n), de las propiedades de disipación de energía de la tipología estructural (R), y de las propiedades de amortiguamiento de los materiales empleados. Todos estos factores, toman gran relevancia al momento de definir las exigencias sísmicas con las cuales cada estructura debía ser dimensionada.

A continuación, se cita un proyecto cuyas estructuras fueron diseñadas con el método anteriormente descrito.

II.2.1 Terminal de Graneles Del Norte (TGN)

II.2.1.1 Generalidades

Terminal de Graneles de Norte S.A., conocido como TGN, es un puerto dedicado a la descarga de carbón que es usado en las centrales térmicas para la generación de energía. Este terminal está ubicado en la Bahía de Mejillones, en la región de Antofagasta, Chile.

Corresponde a un terminal que posee un muelle de penetración de 138m de longitud, posee 2 grúas tipo fijas giratorias y 3 tolvas de carbón, conectadas con una correa transportadora tubular. Este sistema permite alcanzar una capacidad de desembarque de 2120tph. Las estructuras que conforman este terminal son básicamente la plataforma antes mencionada, un puente de acceso de 535m, postes de amarre y pasarelas de acceso, todas soportadas por pilotes de acero y vigas de acero; en el caso del muelle posee además una losa de hormigón

armado. Estas estructuras alcanzan profundidades que varían entre 0m y 26m bajo el nivel NRS.



Figura II-3: Terminal Graneles del Norte.

II.2.1.2 Aspectos relevantes del diseño

Respecto a las características geotécnicas del suelo de fundación de las estructuras marítimas, en la zona de Mejillones, el suelo en general está formado por un primer estrato de arenas superficiales de compacidad baja a media y un siguiente estrato de suelo limoso de alta plasticidad y buenas características de soporte, suelo denominado diatomea.

II.2.1.3 Criterios de diseño sísmico

Las condiciones de diseño más relevantes establecidas para el proyecto, en particular para la plataforma de descarga y del puente de acceso, corresponden al barco de diseño de 85,000DWT y una solicitud sísmica según norma chilena NCh2369Of.2003 que se desarrolla a través de un análisis modal espectral según lo establece dicha norma, usando en particular para estas estructuras los valores $R=4$ y $\xi=5\%$. En base a las indicaciones de la NCh2369 se realiza una el análisis en la dirección horizontal con 100% de una dirección más el 30% de la dirección ortogonal, sumando también la componente vertical que corresponde a $2/3$ de la aceleración horizontal. Las grúas del proyecto también fueron revisadas sísmicamente dado que también deben cumplir con las normas sísmicas chilenas; estas

fueron verificadas con $R=1$ y $\xi=3\%$. Las aceleraciones espectrales máximas alcanzan los 0.27g.

II.3 Métodos basados en el desempeño estructural

El siguiente paso fue la inclusión de conceptos relacionados con el desempeño estructural. La mayor disponibilidad de datos de sismos severos, la mejor comprensión del comportamiento y la necesidad de incorporar el riesgo y la seguridad estructural, dieron paso a los análisis de demanda capacidad.

Este enfoque relaciona los desplazamientos obtenidos durante un sismo, con el potencial daño que estos desplazamientos pueden generar en una estructura. De esta forma, se puede relacionar la probabilidad de ocurrencia de un sismo con el daño esperado. El análisis estático no lineal denominado Pushover, se transformó en una herramienta poderosa para estimar el desempeño estructural durante sismos severos, y determinar el nivel de daño esperado.

A continuación, se presentan un ejemplo de proyecto que fue diseñado bajo este concepto.

II.3.1 Puerto Angamos

II.3.1.1 Generalidades

Puerto Angamos es a un terminal formado por cuatro sitios de atraque; dos de ellos son de una tipología estructural en base a tablestacas y los dos restantes corresponden a un muelle sobre pilote, todos ellos protegidos por un rompeolas formado por gaviones tablestacados. Es un terminal de carga general, pero con un uso principal destinado a contenedores. Este terminal está ubicado en la Bahía de Mejillones, en la región de Antofagasta, Chile.

En particular, los sitios 1 y 2 están formados por un muelle de penetración de 219m de longitud y 50m de ancho, que está conectado con la explanada a través de los sitios 3 y 4 adyacentes. El muelle está soportado por pilotes de acero verticales e inclinados, vigas de hormigón y una losa de hormigón armado. Esta estructura alcanza profundidades que varían entre 14m y 18m bajo el nivel NRS.

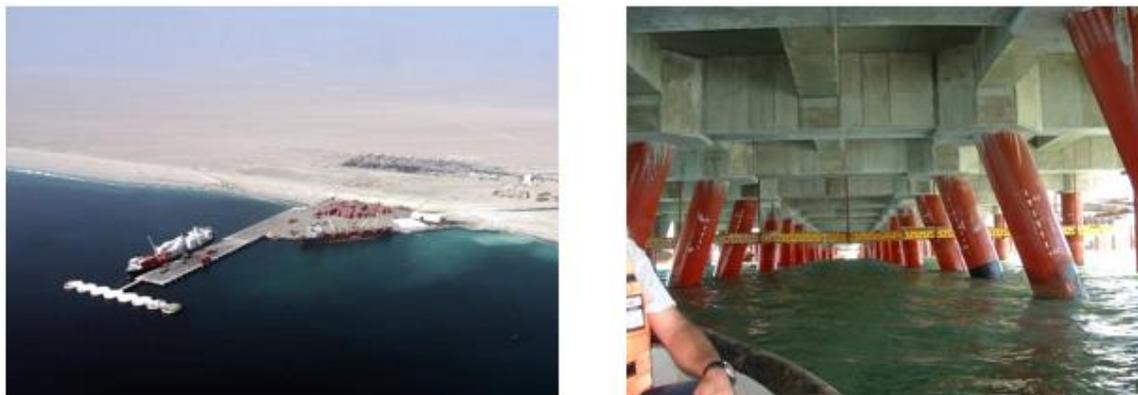


Figura II-4: Puerto Angamos.

II.3.1.2 Aspectos relevantes del diseño

El terminal está diseñado para acomodar barcos de hasta 70,000DWT, y está emplazado en una bahía con buenas características. Respecto a las características geotécnicas del suelo, son similares a los otros sectores de Mejillones, está formado por un primer estrato de arenas superficiales de compacidad baja a media y un siguiente estrato de suelo limoso de alta plasticidad y buenas características de soporte, suelo denominado diatomea.

II.3.1.3 Criterios de diseño sísmico

Además del análisis modal espectral exigido por la norma chilena NCh2369 ($R=3-4$, $\xi=5\%$), el muelle debía cumplir con criterios de desempeño asociados a tres sismos con distinta probabilidad de ocurrencia.

La demanda sísmica para el muelle de los sitios 1 y 2 del Puerto Angamos se determinó a partir de tres estados límites, operacional, daño controlado y último, debiendo cumplir cada uno de ellos con una deformación máxima.

II.4 Aislación y protección sísmica

Durante los últimos años, el concepto de seguridad estructural fue tomando fuerza en el mundo de la ingeniería sísmica. En esa perspectiva, la tecnología de aislación sísmica se constituyó como una solución interesante y que demostró ser eficiente. Los grandes principios que gobiernan el uso de esta tecnología en muelles, es la flexibilización de la estructura y la incorporación de amortiguamiento, que redundan en una baja ostensible de la

demanda sísmica, aumentando la factibilidad de obtener en un comportamiento estructural casi elástico. De esta manera, se limitan considerablemente los daños ocasionados durante un sismo

A continuación, se describe el proyecto del Muelle Sur del Puerto de Coronel. Este terminal es uno de los únicos en el mundo que cuenta con un sistema de aislación sísmica, y que funcionó de manera exitosa durante el terremoto del 27 de febrero de 2010 en Chile, que tuvo una magnitud Richter de 8.9, estando a unos 100km del epicentro.

III.4.1 Muelle Sur Puerto de Coronel

III.4.1.1 Generalidades

El terminal sur de Puerto de Coronel está destinado al movimiento de contenedores, y consta básicamente de un puente de acceso, una plataforma de carga y estructuras de amarre auxiliares. Las estructuras del muelle constan de vigas de acero/hormigón y losa de hormigón, todas ellas sobre pilotes metálicos hincados.



Figura II-5: Muelle Sur Puerto Coronel

III.4.1.2 Aspectos relevantes del diseño

Las instalaciones están emplazadas en una bahía semiprottegida, y las estructuras están fundadas en suelos de muy baja capacidad resistente. El terminal está diseñado para acomodar barcos de hasta 60,000 DWT.

III.4.1.3 Diseño sísmico

Se instalaron aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en mesas de apoyo. Se diseñó la estructura con la norma NCh2745, para un periodo objetivo de 3s. El objetivo es reducir la demanda sísmica a partir del control de la flexibilidad estructural y de la incorporación de amortiguamiento, que redundan en un comportamiento estructural casi elástico, y consecuentemente en la reducción de daños después de un evento sísmico severo.

II.5 Conclusiones

El desarrollo de normativas y métodos de análisis sísmicos han evolucionado de manera significativa en las últimas décadas. Esto ha traído consigo que las empresas de ingeniería se adapten a esta evolución, permitiendo lograr diseños más seguros y optimizados.

Inicialmente el diseño se basaba en determinar el coeficiente sísmico a aplicar de manera estática a la estructura. Posteriormente, determinó la importancia de otros parámetros de diseño, tales como las condiciones del suelo de fundación, estructuración e importancia de la estructura. Estos parámetros son conjugados en un análisis sísmico dinámico que permiten determinar de mejor manera el comportamiento de la estructura frente a eventos sísmicos.

El siguiente y más evolucionado es el método de diseño basado en el comportamiento de la estructura, método que establece los niveles de aceptación de daños para diferentes niveles de sollicitación. Por último, los conceptos del diseño sismo resistente han migrado hacia los conceptos de seguridad estructural, para lo cual la tecnología de aislación sísmica juega un rol fundamental en el control de daños debido a eventos sísmicos severos.

Siguiendo esa línea el objeto de la presente tesis es establecer una nueva vía para el desarrollo de nuevos conceptos de seguridad estructural estudiando la implementación de dispositivos de disipación sísmica en estructuras marítimas.

III DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

III.1 Introducción

En el siguiente epígrafe se describe la metodología de análisis, las bases de diseño consideradas y la descripción de los modelos utilizados en el estudio.

III.2 Descripción de la estructura

El análisis del presente trabajo está basado en una plataforma costa afuera de un Terminal LNG (Liquefied natural gas) donde atracarán naves FSRU (Unidad Flotante de Almacenamiento y Regasificación) y naves LNGC (Liquefied natural gas carrier).



Figura III-6: Terminal LNG.



Figura III-7: Nave LNGC.



Figura III-8: Nave FSRU.

La descarga de líquido desde el buque carrier y su traspaso al buque FSRU se realizará utilizando brazos hidráulicos articulados.

La plataforma se estructurará en base a pilotes tubulares de acero hincados en el fondo marino, sobre los cuales se montarán vigas metálicas que soportarán la losa de hormigón armado. La plataforma tendrá una dimensión en planta de 53mx43m, y su cota de

coronamiento será a la +10mNRS. La cota de fondo marino considerada es aproximadamente -22mNRS.

La estructura tendrá 48 pilotes 32 pilotes verticales y 16 pilotes inclinados a razón 1:3 y 45^a en planta dispuestos es 4 mesas donde irán ubicados los dispositivos TMD, todos de 1000mm de diámetro con 20mm de espesor. La longitud de los pilotes hasta la cota de empotramiento es de 41 metros.

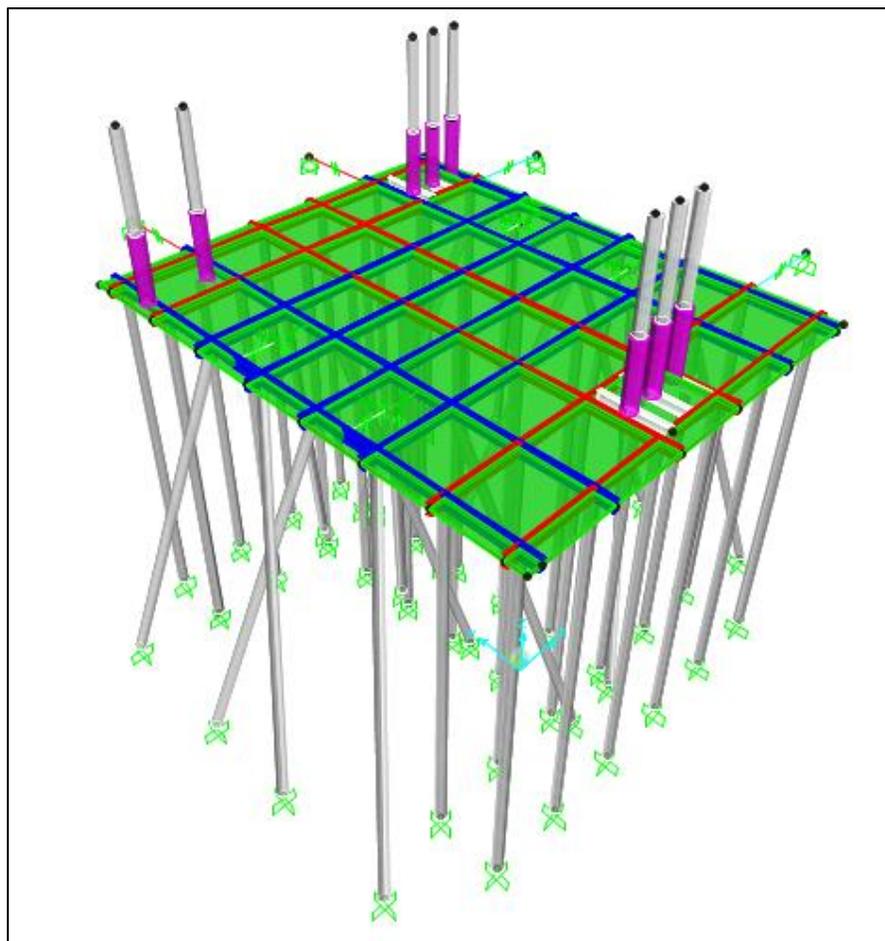


Figura III-9: modelo plataforma.

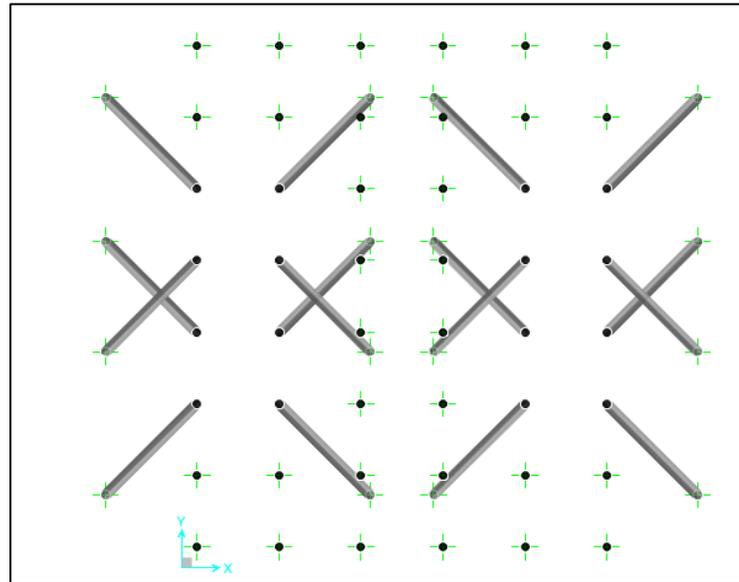


Figura III-10: Planta de pilotes.

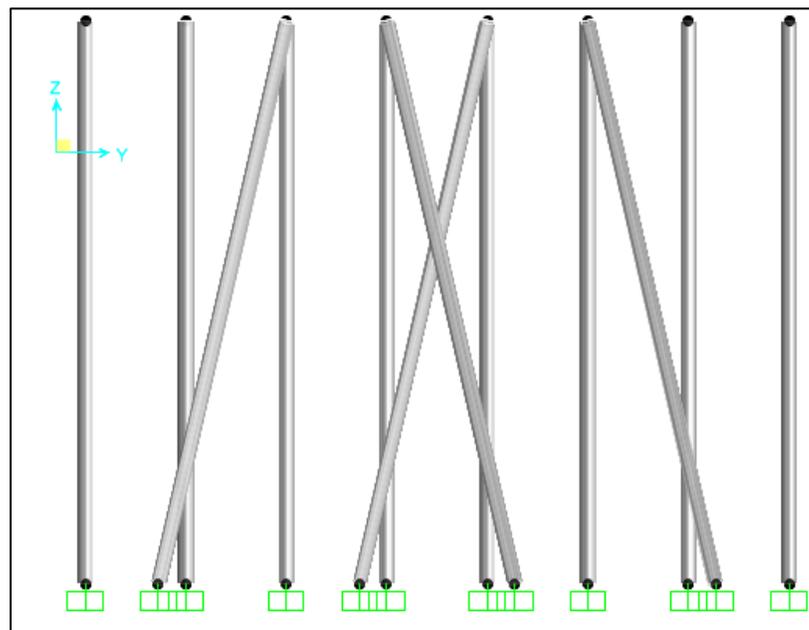


Figura III-11: Elevación lateral pilotes.

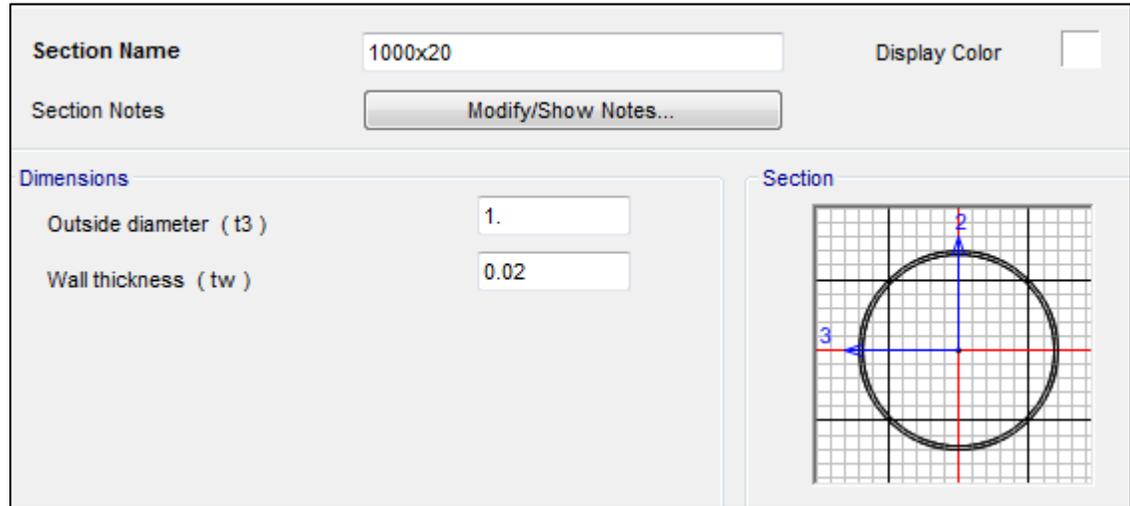


Figura III-12: Sección pilotes (metros).

Las vigas serán IE110x514 y IE 110x307, las vigas sobre las que se apoyarán los brazos de carga serán IN100x322.

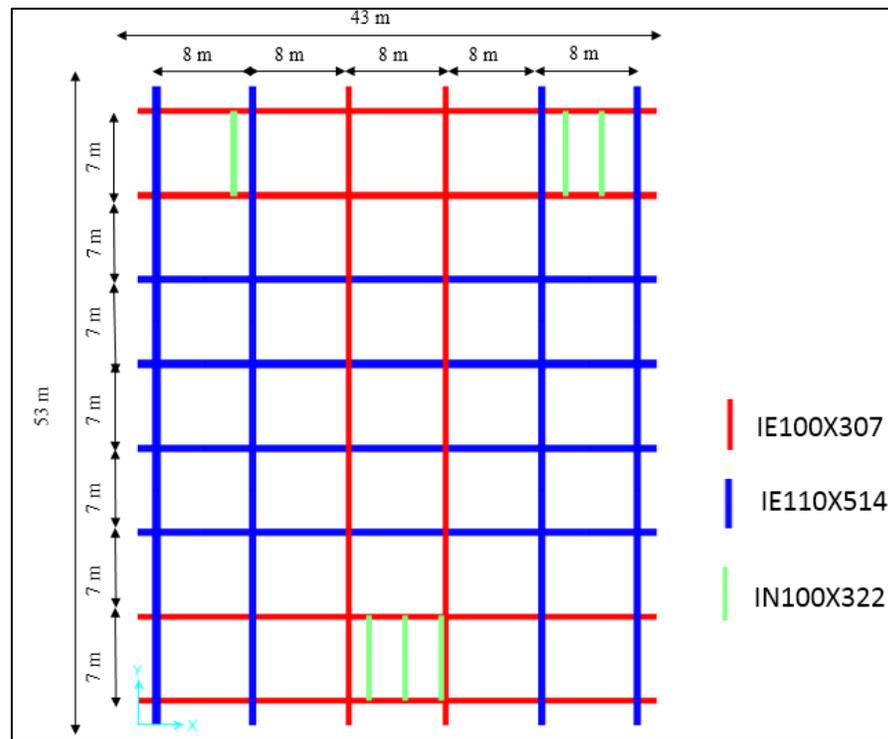


Figura III-13: Planta de vigas.



Figura III-14: Secciones de vigas (metros).

Sobre las vigas se sitúa una losa de hormigón de hormigón de 30 cm de espesor.

III.3 Materiales

En la siguiente tabla se muestran los materiales considerados en los diferentes elementos estructurales definidos en el epígrafe anterior.

Tabla III-1: Materiales de los elementos estructurales.

ÍTEM	MATERIAL
Pilotes	Acero ASTM A-572 Gr.
Vigas	Acero ASTM A36
Losa	Hormigón grado H-30

Material Name and Display Color	Material Type	Material Notes	Weight per Unit Volume	Mass per Unit Volume	Modulus of Elasticity, E	Poisson, U	Coefficient of Thermal Expansion, A	Shear Modulus, G	Other Properties
H30	Concrete		2.4028	0.245	2534563.6	0.2	9.900E-06	1056068.2	Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 2812.2785 Expected Concrete Compressive Strength: 2812.2785
A36	Steel		7.845	0.0004	20309019	0.3	1.170E-05	7841930	Minimum Yield Stress, F_y : 25310.507 Minimum Tensile Stress, F_u : 40778.04 Effective Yield Stress, F_{ye} : 37965.78 Effective Tensile Stress, F_{ue} : 44855.04
A572Gr50	Steel		7.85	0.0004	20309019	0.3	1.170E-05	7841930	Minimum Yield Stress, F_y : 35153.48 Minimum Tensile Stress, F_u : 45699.53 Effective Yield Stress, F_{ye} : 38668.83 Effective Tensile Stress, F_{ue} : 50209.48

Figura III-15: Modelación de materiales.

III.4 Modelos

Para estudiar la influencia de la implementación de dispositivos TMD en la estructura anteriormente descrita, se crearon 4 modelos estructurales con el software de análisis y diseño estructural SAP2000. Los modelos que se realizaron son los siguientes:

- Modelo con brazos de carga y dispositivos TMD.
- Modelo con brazos de carga sin dispositivos TMD.
- Modelo sin brazos de carga con dispositivo TMD.
- Modelo sin brazos de carga sin dispositivo TMD.

Se consideró importante el estudio de la influencia de los brazos de carga en la respuesta sísmica global de la estructura, es por ello que se modeló la parte fija de los brazos de carga de acuerdo a la Ref. [5]

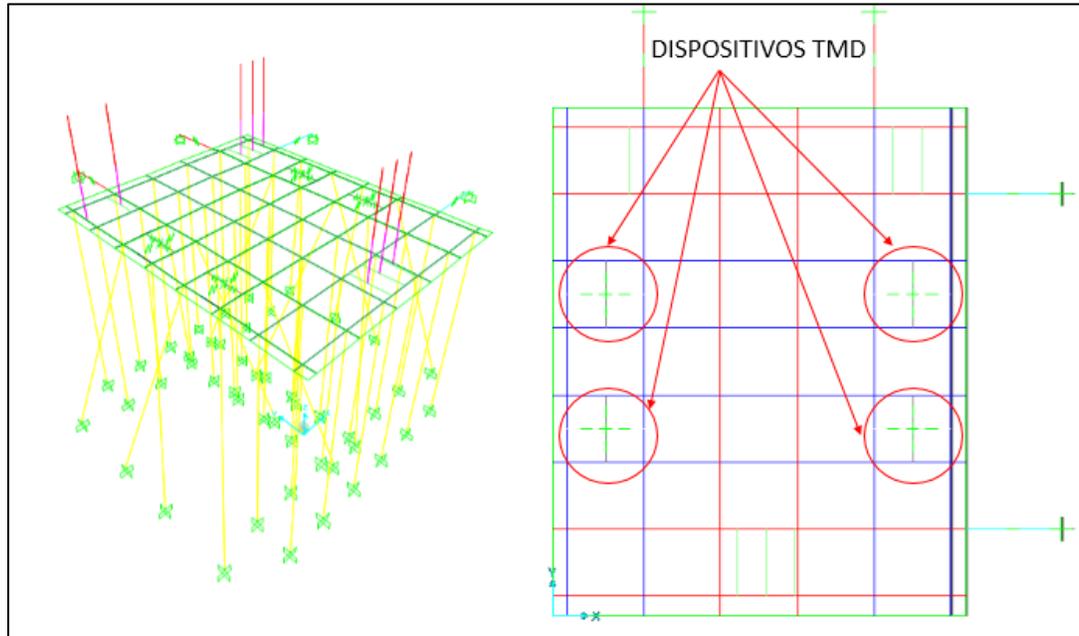


Figura III-16: Modelo con brazos de carga y TMD.

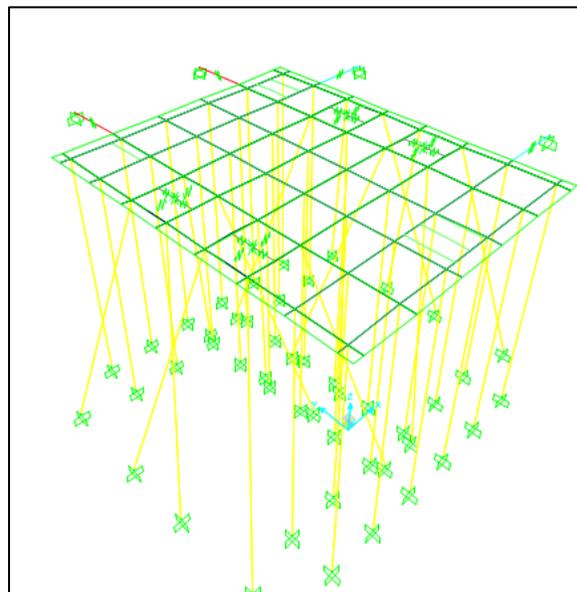


Figura III-17: Modelo sin brazos de carga y TMD.

De manera análoga se eliminaron los dispositivos TMD mostrados en las figuras anteriores para crear los modelos estructurales sin TMD con y sin brazos de carga.

III.5 Interacción suelo estructura

En la Tabla 2-1 se presenta el nivel de empotramiento de los pilotes para los cuatro modelos:

Tabla III-2: Parámetros interacción suelo estructura.

DIÁMETRO PILOTE [mm]	SUELO NATURAL [mNRS]	FANGO [m]	LONGITUD EMPOTRAMIENTO [m]	EMPOTRAMIENTO [mNRS]
1,000	-22.00	1.50	6.00	-29.50

De acuerdo a la Ref. [1].se considera una longitud de empotramiento de los pilotes igual a 6 veces su diámetro.

III.6 Cargas de Diseño

III.6.1 Peso Propio

Los siguientes elementos forman parte del estado de carga de peso propio:

- Peso propio de los elementos estructurales determinado automáticamente por el software de diseño.
- Peso propio de las partes fijas de los brazos de carga (En los modelos con brazos de carga).

Definición Load Case

The screenshot shows the 'Load Case Definition' dialog box. At the top, the 'Load Case Name' is 'DL' and the 'Load Case Type' is 'Static'. The 'Analysis Type' is set to 'Linear'. The 'Mass Source' is 'MSSSRC1'. In the 'Loads Applied' section, there is a table with the following data:

Load Type	Load Name	Scale
Load Pattern	DL	1.
Load Pattern	DL	1.

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are located to the right of the table. At the bottom right, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura III-18: Definición Load Case DL.

III.6.2 Brazos de carga

En lo modelos con brazo de carga se introdujo la geometría de la parte fija de los mismos, de acuerdo a la geometría indicada en la referencia Ref. [5].

En la siguiente figura se muestra las dimensiones y geometría de la parte fija de los brazos modelados.

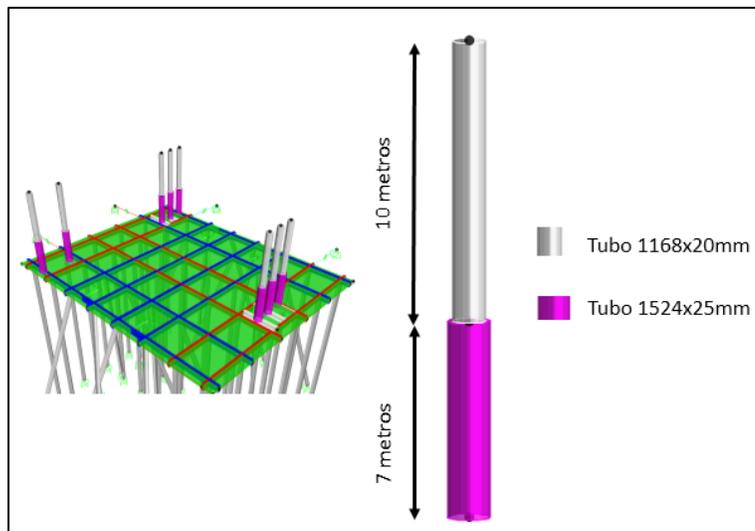


Figura III-19: Ubicación y geometría de la parte fija de los brazos de carga.

Las partes móviles de los brazos de carga se consideraron como masas asignadas en el nodo superior de los brazos con un valor de 50 toneladas en cada brazo.

Lo anterior se muestra en la siguiente figura:

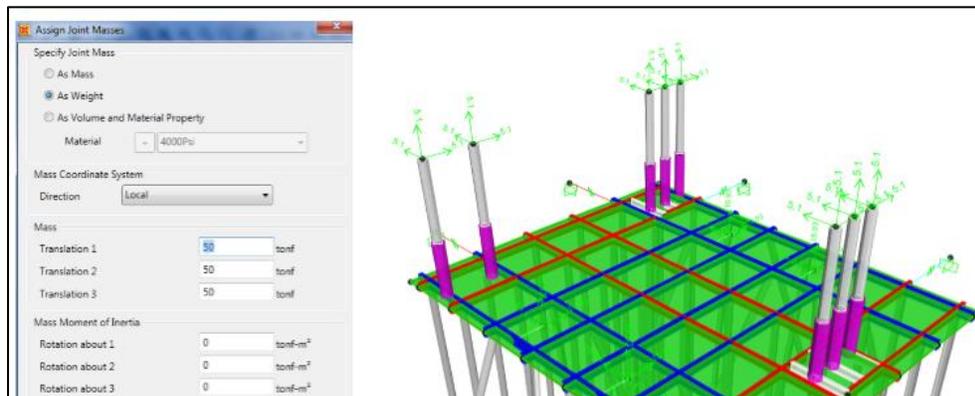


Figura III-20: Asignación de masas en extremo de brazos (tonf-m).

Considera el peso de todos los equipos, salvo los brazos de carga que han sido considerados en el estado de carga DL. En este estado de carga se incluye una carga puntual en el extremo superior de los elementos tubulares que simulan los brazos de carga de 557kN, correspondiente a las partes móviles.

El peso estimado total del resto de los equipos corresponde a 8,430kN distribuidos uniformemente sobre la plataforma e incluye los pesos variables como el volumen líquido almacenado en estanques de agua y diésel.

III.6.3 Sobrecarga

Para considerar el peso de los equipos que se distribuyen uniformemente por el tablero se consideró una sobrecarga sobre la losa de 1.25 tonf/m².

Definición Load Case

The screenshot shows the 'Load Case Definition' dialog box. The 'Load Case Name' field contains 'Lu'. The 'Load Case Type' is set to 'Static'. Under 'Stiffness to Use', 'Zero Initial Conditions - Unstressed State' is selected. Under 'Analysis Type', 'Linear' is selected. The 'Mass Source' is 'MSSSRC1'. The 'Loads Applied' table has the following data:

Load Type	Load Name	Scale
Load Pattern	Lu	1.

Figura III-21: Definición Load Case Lu.

III.6.4 Cargas Sísmicas

III.6.4.1 Masa Sísmica.

Se consideraron las siguientes masas sísmicas en los modelos con y sin brazos para la determinación de la respuesta y el modelamiento de los TMD:

Tabla III-3: Masas sísmicas consideradas.

MASAS SÍSMICAS CONSIDERADAS			
	Peso Propio (tonf)	Sobrecarga (tonf)	TOTAL (tonf)
Modelo con brazos de carga	3399.61	2848.75	6248.36
Modelo sin brazos de carga	2845.44	2848.75	5694.19

III.6.4.2 Análisis Sísmico

Para estudiar la respuesta sísmica de los modelos, se realizó un análisis time-history.

Para ello se consideraron 3 registros del terremoto del Maule del 27 de Febrero de 2010.

Cada registro se consideró su componente longitudinal y su componente transversal que se aplicaron en el modelo de la siguiente manera:

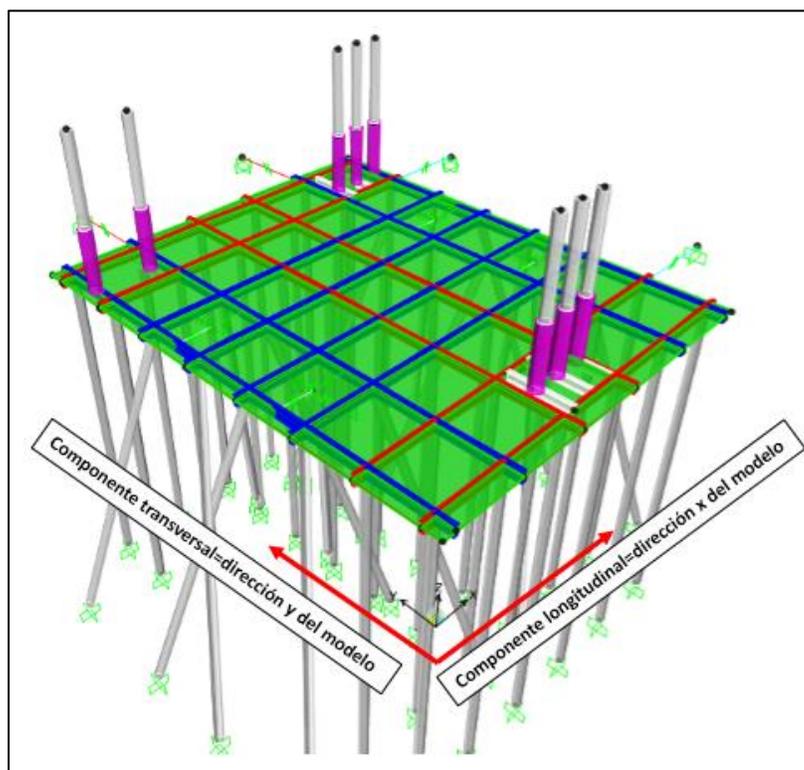


Figura III-22: Direcciones consideradas para el análisis sísmico.

La siguiente tabla muestra un resumen de los parámetros de cada registro:

Tabla III-4: Parámetros de los registros sísmicos.

Registro	Componente Longitudinal		Componente Transversal		Vs30 (m/s)	Ts (sec)*
	Duración del registro (sec)	Peak aceleración (cm/sec ²)	Duración del registro (sec)	Peak aceleración (cm/sec ²)		
Llolleo	124.615	318.968	124.615	546.619	368	0.47
Constitución	143.285	527.295	143.285	613.808	317	0.31
Concepción	141.69	393.209	141.69	280.466	338	1.69

*Periodo fundamental
medido con método de
Nakamura

Se muestra a continuación los registros introducidos en el software SAP2000:

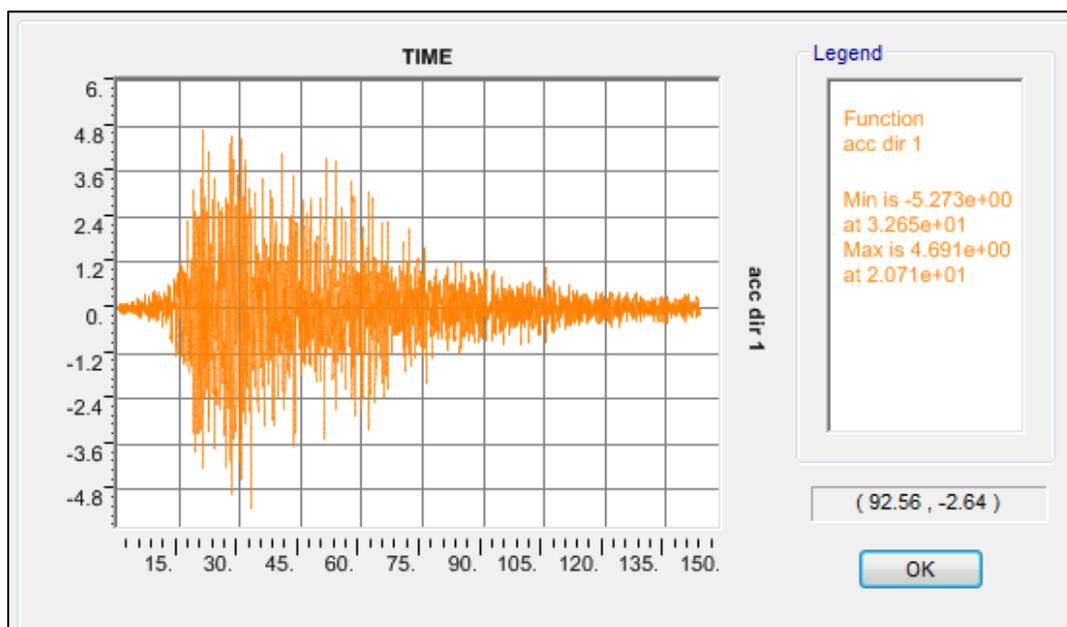


Figura III-23: Registro Constitución dirección x.

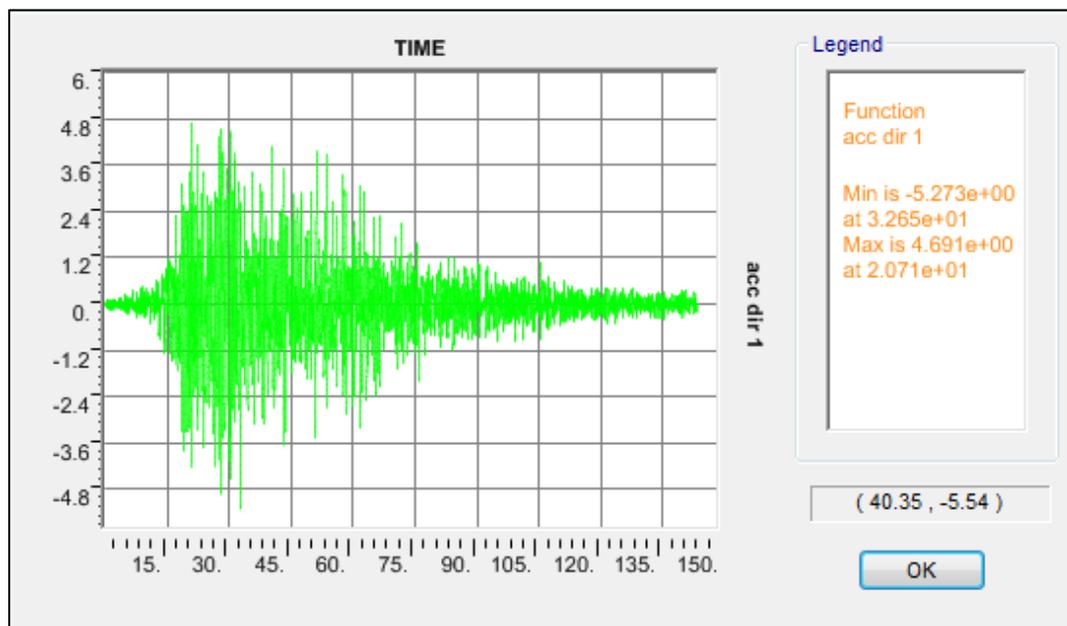


Figura III-24: Registro Constitución dirección y.

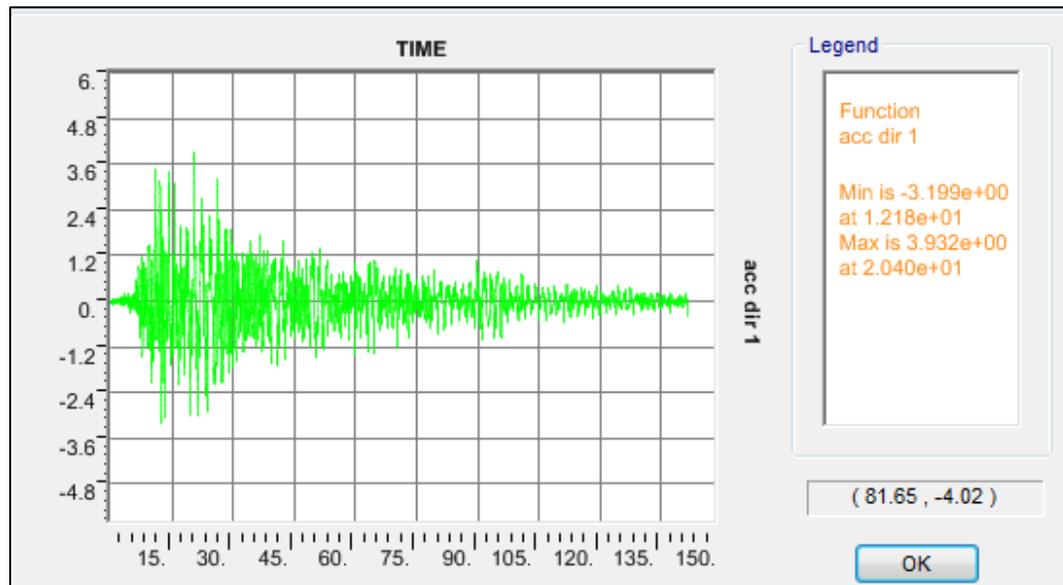


Figura III-25: Registro de Concepción dirección x.

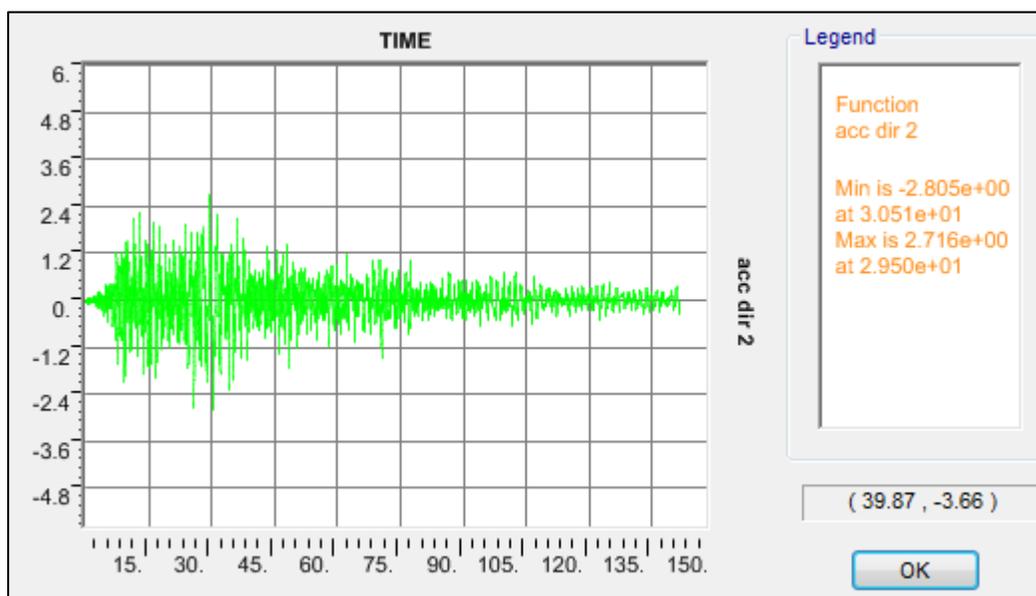


Figura III-26: Registro de Concepción dirección y.

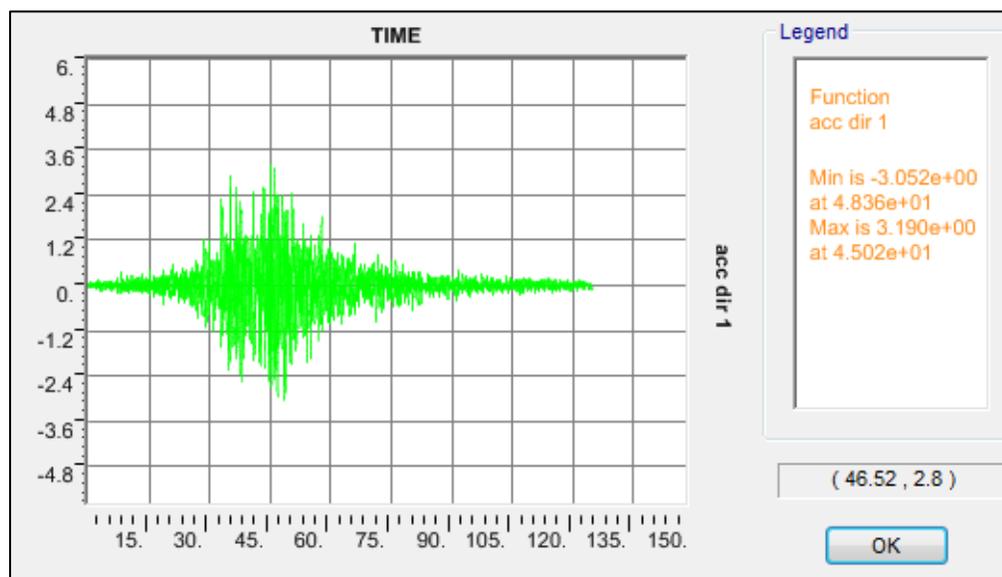


Figura III-27: Registro de Lolloo dirección x.

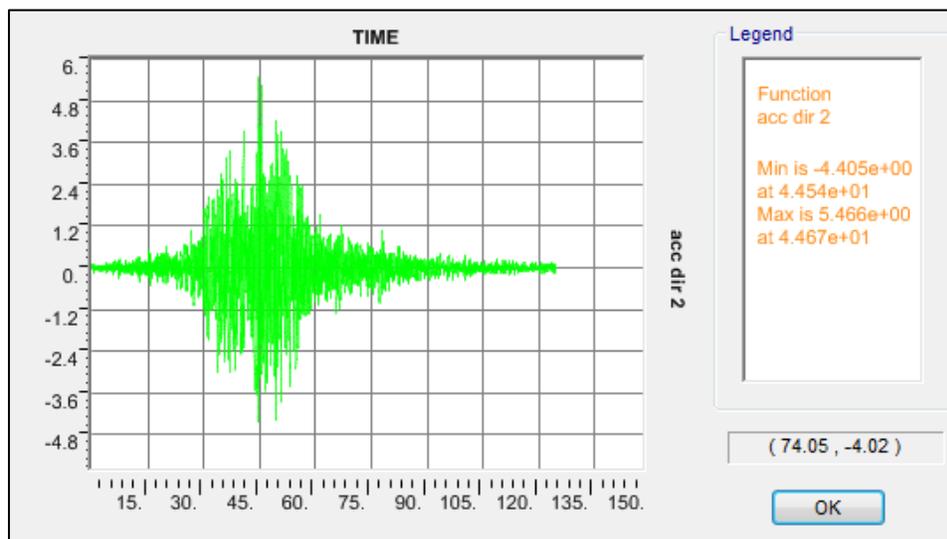


Figura III-28: Registro de Lloleo dirección y.

Definición Load Cases

Una vez definidos los registros, se crearon los load cases para los tres time-history con los que se analizarán los cuatro modelos.

Load Case Name: CONSTITUCION

Load Case Type: Time History

Analysis Type: Linear

Solution Type: Direct Integration

History Type: Transient

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	constitucionL	1.
Accel	U2	constitucionT	1.
Accel	U3	constitucion	1.

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 28657
- Output Time Step Size: 5.000E-03

Other Parameters:

- Damping: Proportional Damping
- Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor

Figura III-29: Definición Load Case Constitución.

Load Case Name: CONCEPCION [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	concepcion	1.
Accel	U1	concepcion L	1.
Accel	U2	Concepcion T	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 28338
- Output Time Step Size: 5.000E-03

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Solution Type:

- Modal
- Direct Integration

History Type:

- Transient
- Periodic

Mass Source: MSSSRC1

Figura III-30: Definición Load Case Concepción.

Load Case Name: LLOLLEO [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Llollo L	1.
Accel	U1	Llollo L	1.
Accel	U2	Llollo T	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 24923
- Output Time Step Size: 5.000E-03

Other Parameters:

- Damping: Proportional Damping [Modify/Show...]
- Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Solution Type:

- Modal
- Direct Integration

History Type:

- Transient
- Periodic

Mass Source: MSSSRC1

Figura III-31: Definición Load Case Llollo.

En la definición del amortiguamiento, debido a que la modelación conjunta del amortiguamiento de los TMD y los modelos definidos da como resultado un amortiguamiento del tipo no clásico y teniendo en cuenta la incapacidad del software SAP de modelar este tipo de amortiguamiento con precisión, se optó por definir un amortiguamiento nulo en los load case de los time-history y modelar el amortiguamiento de la plataforma con elementos link a nivel de losa.

El detalle de este análisis se presenta en el capítulo III.8 del presente documento.

Figura III-32: Asignación de amortiguamiento del modelo en time-history load cases.

III.7 Análisis Modal

En las siguientes tablas se muestran los factores de participación modal, por modo y dirección para los modelos con y sin brazos de carga considerados en el análisis.

Tabla III-5: Análisis modal plataforma con brazos de carga

Modo	Period	UX	UY
	Sec		
1	9.184922	0.008811	4.04E-11
2	9.184501	0.00002	7.024E-11
3	9.183868	0.00000454	3.312E-10
4	9.183828	1.657E-06	7.956E-11
5	9.183714	7.916E-06	1.338E-10
6	9.183517	0.000013	1.053E-10
7	6.211682	0.00329	6.491E-11
8	6.210301	4.255E-13	3.008E-10
9	1.74301	0.977122	1.161E-09
10	1.375323	5.215E-06	0.000298
11	1.25334	5.734E-09	0.995446
12	0.29137	4.148E-07	0.000039
13	0.290208	3.723E-07	0.000059
14	0.268719	4.084E-06	0.000041
15	0.259761	0.00000348	1.782E-07
16	0.259365	7.956E-07	5.433E-10
17	0.257989	6.465E-07	7.197E-07
18	0.238028	0.000014	0.000036
19	0.23748	0.000018	0.000022
20	0.129226	1.628E-06	6.701E-10

Tabla III-6: Análisis modal plataforma sin brazos de carga

Modo	Period	UX	UY
	Sec		
1	1.735004	0.989073	0
2	1.361619	0	0
3	1.239285	0	0.995823
4	0.129202	1.504E-18	1.884E-20
5	0.128893	0.003491	8.862E-19
6	0.126489	2.888E-16	0.00036
7	0.125366	1.372E-18	9.66E-18
8	0.121439	2.689E-16	7.196E-17
9	0.119237	1.954E-15	1.709E-16
10	0.119201	3.087E-16	5.047E-08

11	0.119054	2.636E-16	4.734E-15
12	0.118321	0.000063	3.018E-17
13	0.11621	4.667E-15	0.000422
14	0.116192	0.002728	1.515E-15
15	0.116045	6.671E-16	6.806E-15
16	0.115839	0.003617	3.158E-16
17	0.113577	1.521E-17	6.404E-15
18	0.113099	1.304E-17	6.567E-15
19	0.112536	3.142E-17	0.000424
20	0.109716	1.658E-16	4.916E-07

III.8 Definición de Parámetros para la modelización de los TMD.

Para analizar la respuesta sísmica de la plataforma offshore con la inclusión de dispositivos TMD, se dispusieron 4 masas ubicadas de acuerdo a lo indicado en la Figura III-16 y en la Figura III-13.

Se modelaron con nodos a los que se le asignaron las masas correspondientes y unos resortes link para los que calcularon la rigidez y amortiguamiento necesario.

Como se mencionó anteriormente, en la definición de los time-history se asignó un amortiguamiento nulo a la plataforma, lo anterior debido a la imposibilidad del software de modelar un amortiguamiento no clásico (sistema TMD + plataforma).

Para asignar el amortiguamiento seleccionado para la plataforma (3%), se dispusieron a nivel de tablero elementos links a los que se le atribuyeron las características correspondientes para otorgar el amortiguamiento requerido a la estructura.

La siguiente imagen muestra un esquema del montaje pensado para la disposición de los TMD.

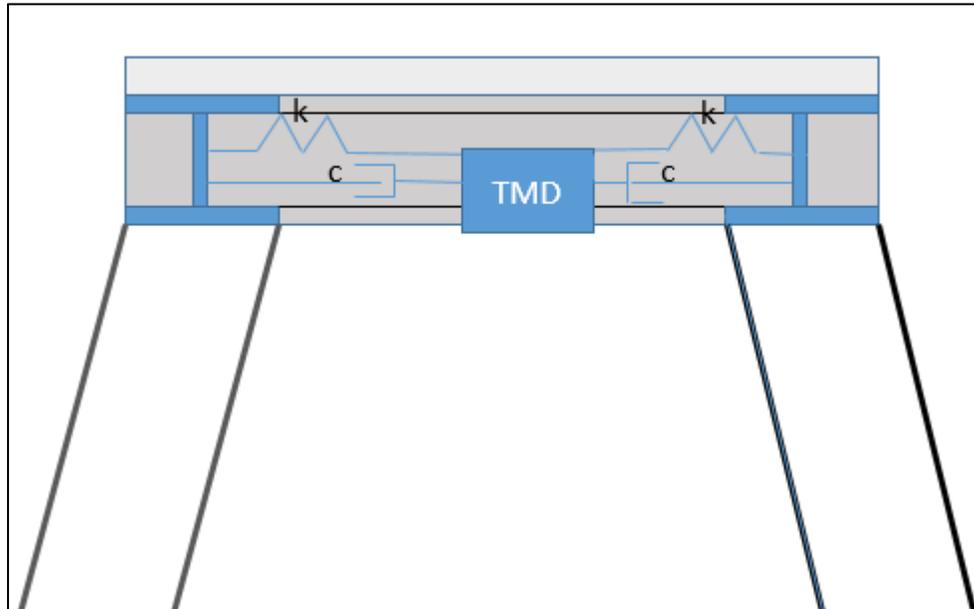


Figura III-33: Esquema disposición TMD.

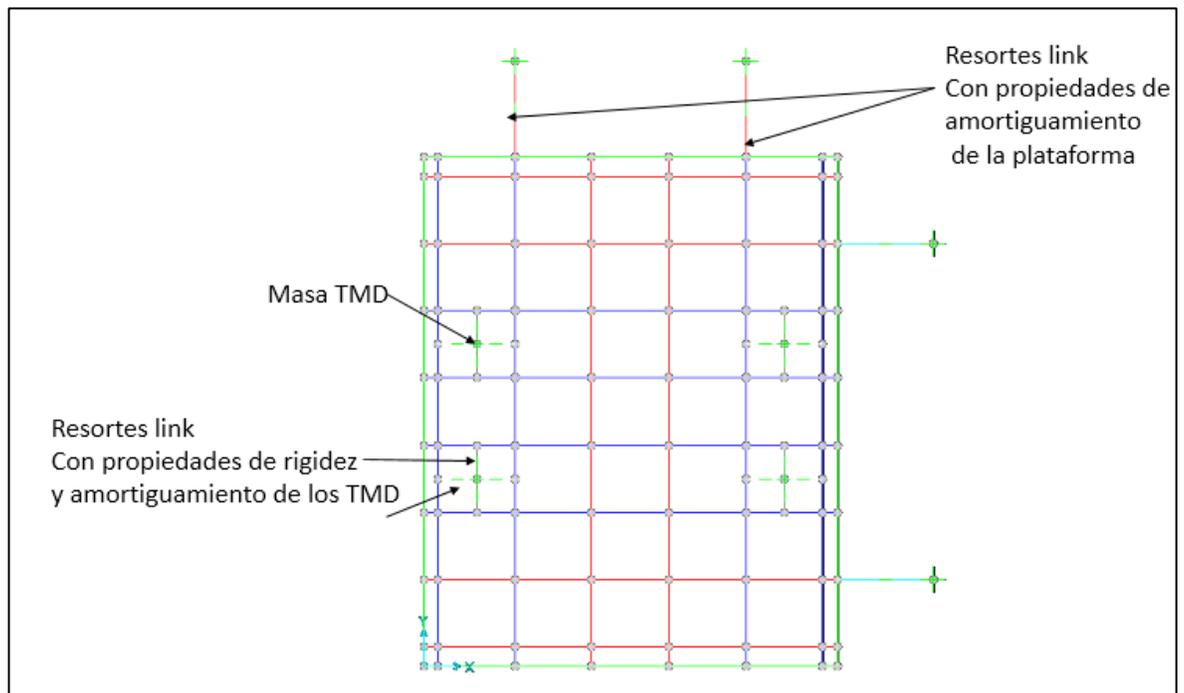


Figura III-34: Ubicación de masas y elementos link en el modelo.

La definición de los dispositivos TMD se hizo de acuerdo a las directrices señaladas en la referencia [2]. En ella se define que un comportamiento óptimo en la disipación de energía se obtiene cuando las masas sintonizadas alcanzan un 10% del peso total de la estructura sobre la que están instaladas.

Sobre la anterior premisa se calcularon las rigideces, masas y amortiguamientos que se le asignaron a los links y nodos que definen los TMD en el modelo SAP2000.

III.8.1 Definición TMD modelo con brazos de carga

De acuerdo a lo definido anteriormente, tenemos:

$$DL = 3399.61 \text{ tonf} \quad \text{Peso de la estructura.}$$

$$Lu: 2849 \text{ tonf} \quad \text{Sobrecarga Considerada.}$$

$$mDL = \frac{DL}{g} = 3.398 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$mSc = \frac{Sc}{g} = 2.848 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$me = mDL + mSc = 6.246 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$ms = 10\% me = 688.529 \text{ ton}$$

De acuerdo a lo anterior se calculó ms para obtener un 10% de la masa total me.

Por lo tanto cada masa deberá tener una masa de :

$$msu = \frac{ms}{4} = 172.132 \text{ ton}$$

$$\frac{ms}{4} \cdot g = \mathbf{156.209 \text{ tonf}} \text{ Peso de cada masa sintonizada.}$$

Para el cálculo de las rigideces se consideran los periodos definidos anteriormente para las dos direcciones de análisis:

$$T_x = 1.74 \text{ sec}$$

$$K_x = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot ms}{T_x^2} = 830.536 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$T_y = 1.25 \text{ sec}$$

$$K_y = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot ms}{T_y^2} = 1609 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$kx = \frac{K_x}{8} = \mathbf{103.817} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ rigidez de cada link en dirección } x$$

$$ky = \frac{K_y}{8} = \mathbf{201.162} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ rigidez de cada link en dirección } y.$$

De acuerdo a lo definido en la referencia [2], para una carga de la clase 6 (Random Base acceleration) y un porcentaje de la masa del TMD del 10 % de la masa total del sistema, nos indica que el cociente óptimo de amortiguamiento (C/C_c) es igual a 0.15.

Con lo anterior definidos en amortiguamiento de los links del modelo.

$$C_{xT} = \frac{4 \cdot \pi \cdot ms \cdot 0.15}{T_x} = 69 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$C_{yT} = \frac{4 \cdot \pi \cdot ms \cdot 0.15}{T_y} = 96.048 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$C_x = \frac{C_{xT}}{8} = \mathbf{8.625} \text{ s} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } x$$

$$C_y = \frac{C_{yT}}{8} = \mathbf{12.006} \text{ s} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } y.$$

A continuación se calcula el amortiguamiento de la plataforma para asignarlo a los links correspondientes definido en 3%.

$$C_{xM} = \frac{4 \cdot \pi \cdot me \cdot 0.03}{T_x} = 138 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$C_{yM} = \frac{4 \cdot \pi \cdot me \cdot 0.03}{T_y} = 192.096 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$C_{xm} = \frac{C_{xM}}{2} = \mathbf{69} \text{ s} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } x$$

$$C_{ym} = \frac{C_{yM}}{8} = \mathbf{96.048} \text{ s} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } y.$$

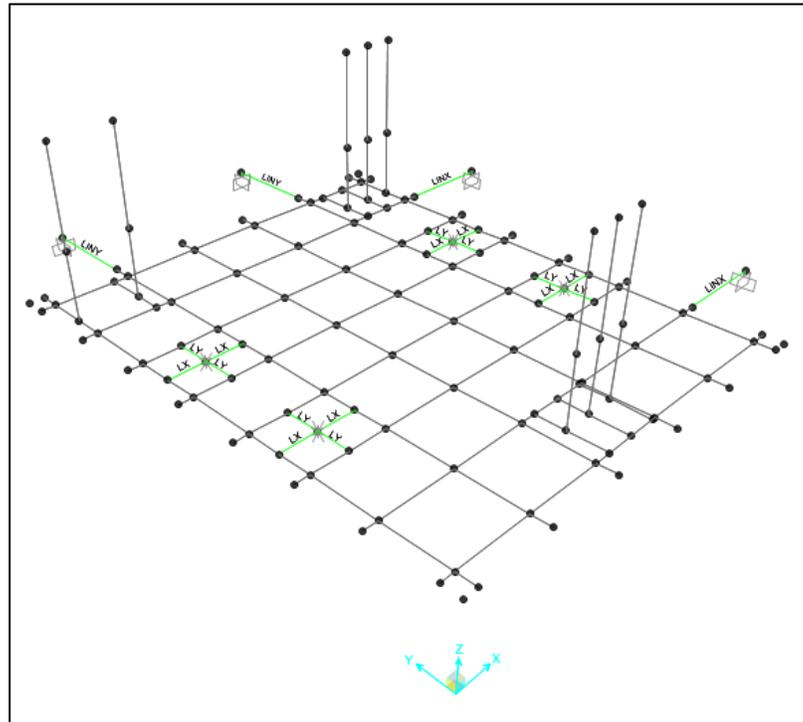


Figura III-35: ubicación y etiqueta de elementos link modelo con brazos.

Stiffness Is Uncoupled

U1	U2	U3
0.		

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled

U1	U2	U3
69.		

Figura III-36: Amortiguamiento elementos LINX modelo con brazos.

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness Is Uncoupled

U1	U2	U3
0.		

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled

U1	U2	U3
96.048		

Figura III-37: Amortiguamiento elementos LINY modelo con brazos.

Stiffness Is Uncoupled

U1	U2	U3
103.82		

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled

U1	U2	U3
8.625		

Figura III-38: Amortiguamiento y rigidez elementos LX modelo con brazos.

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness Is Uncoupled

U1	U2	U3
201.162		

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled

U1	U2	U3
12.006		

Figura III-39: Amortiguamiento y rigidez elementos LY modelo con brazos.

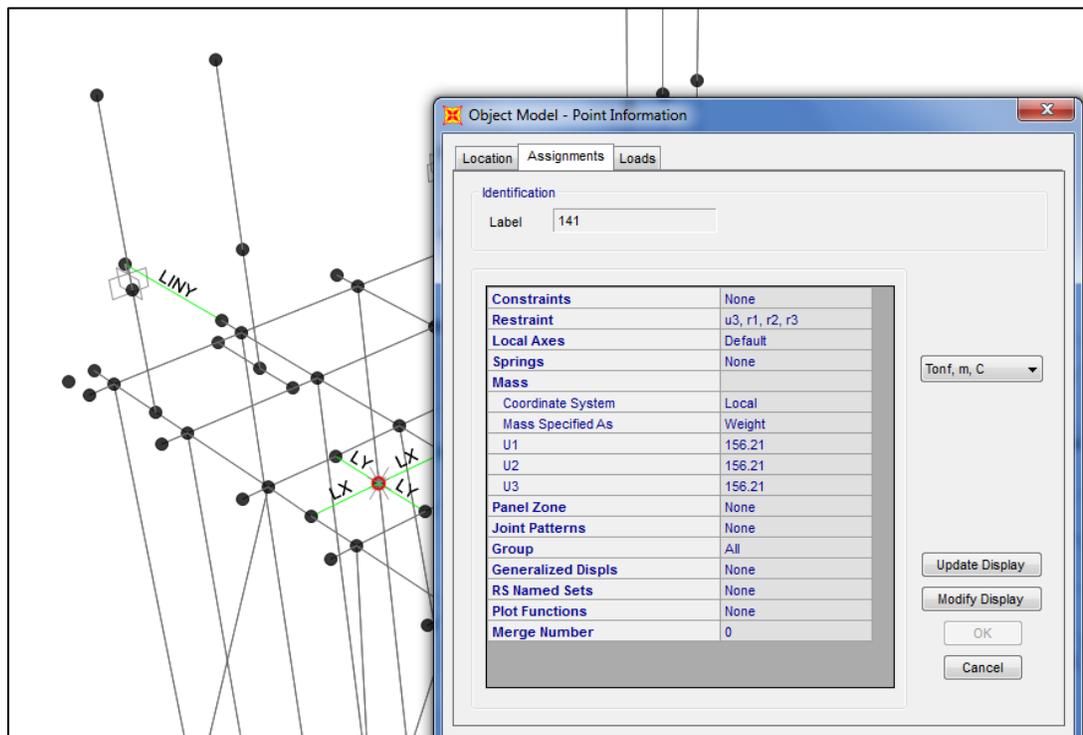


Figura III-40: Restricciones de rotación y desplazamiento vertical asignados a los TMD.

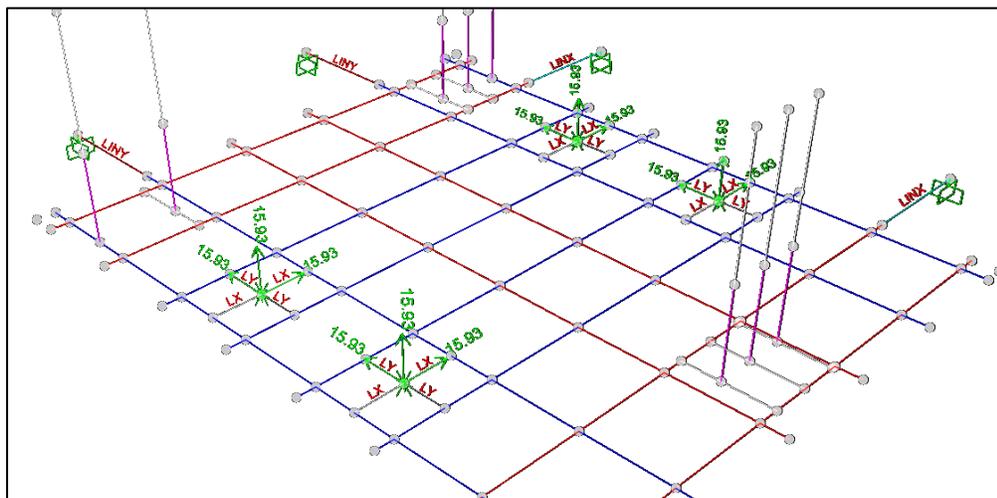


Figura III-41: Asignación de masas definidas en los TMD modelo con brazos.

Tabla III-7: Respuesta modal modelo con brazos y TMD.

Modo	Period	UX	UY
	Sec		
1	9.184928	0.007959	4.607E-11
2	9.184503	0.000017	6.868E-11
3	9.183868	4.055E-06	3.793E-10
4	9.183828	1.483E-06	8.841E-11
5	9.183714	7.081E-06	1.506E-10
6	9.183517	0.000011	1.191E-10
7	6.211694	0.003018	5.929E-11
8	6.210301	3.856E-13	3.181E-10
9	2.069756	0.717622	4.685E-10
10	1.774713	1.067E-09	2.457E-06
11	1.750584	1.783E-18	4.948E-11
12	1.750519	1.603E-17	5.791E-09
13	1.511264	0.000064	0.002481
14	1.493631	1.129E-06	0.713006
15	1.474123	0.261692	9.689E-07
16	1.270978	4.999E-08	5.569E-15
17	1.270967	4.826E-14	9.082E-14
18	1.140932	5.605E-07	0.000024
19	1.066398	1.507E-09	0.280675
20	0.291369	3.711E-07	0.000035

III.8.2 Definición TMD modelo sin brazos de carga

De acuerdo a lo definido anteriormente, tenemos:

$$DL = 2845.44 \text{ tonf} \quad \text{Peso de la estructura.}$$

$$Lu = 2849 \text{ tonf} \quad \text{Sobrecarga Considerada.}$$

$$mDL = \frac{DL}{g} = 2.844 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$mSc = \frac{Sc}{g} = 2.848 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$me = mDL + mSc = 5.692 \times 10^6 \text{ kg}$$

$$ms = 10\% me = 627.463 \text{ ton}$$

De acuerdo a lo anterior se calculó ms para obtener un 10% de la masa total me.

Por lo tanto cada masa deberá tener una masa de :

$$msu = \frac{ms}{4} = 156.866 \text{ ton}$$

$$\frac{ms}{4} \cdot g = \mathbf{142.355 \text{ tonf}} \text{ Peso de cada masa sintonizada.}$$

Para el cálculo de las rigideces se consideran los periodos definidos anteriormente para las dos direcciones de análisis:

$$T_x = 1.74 \text{ sec}$$

$$K_x = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot ms}{T_x^2} = 756.875 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$T_y = 1.24 \text{ sec}$$

$$K_y = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot ms}{T_y^2} = 1490 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$kx = \frac{K_x}{8} = \mathbf{94.609} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ rigidez de cada link en dirección } x$$

$$ky = \frac{K_y}{8} = \mathbf{186.29} \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \text{ rigidez de cada link en dirección } y.$$

De acuerdo a lo definido en la referencia [2], para una carga de la clase 6 (Random Base acceleration) y un porcentaje de la masa del TMD del 10 % de la masa total del sistema, nos indica que el cociente óptimo de amortiguamiento (C/C_c) es igual a 0.15.

Con lo anterior definidos en amortiguamiento de los links del modelo.

$$C_{xT} = \frac{4 \cdot \pi \cdot ms \cdot 0.15}{T_x} = 62.88 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$C_{yT} = \frac{4 \cdot \pi \cdot ms \cdot 0.15}{T_y} = 88.235 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$C_x = \frac{C_{xT}}{8} = \mathbf{7.86 \text{ s}} \frac{\text{tonf}}{m} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } x$$

$$C_y = \frac{C_{yT}}{8} = \mathbf{11.029 \text{ s}} \frac{\text{tonf}}{m} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } y.$$

A continuación se calcula el amortiguamiento de la plataforma para asignarlo a los links correspondientes definido en 3%.

$$C_{xM} = \frac{4 \cdot \pi \cdot me \cdot 0.03}{T_x} = 125.761 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$C_{yM} = \frac{4 \cdot \pi \cdot me \cdot 0.03}{T_y} = 176.471 \text{ s} \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

$$C_{xm} = \frac{C_{xM}}{2} = \mathbf{62.88 \text{ s}} \frac{\text{tonf}}{m} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } x$$

$$C_{ym} = \frac{C_{yM}}{8} = \mathbf{88.235 \text{ s}} \frac{\text{tonf}}{m} \text{ amortiguamiento de cada link en dirección } y.$$

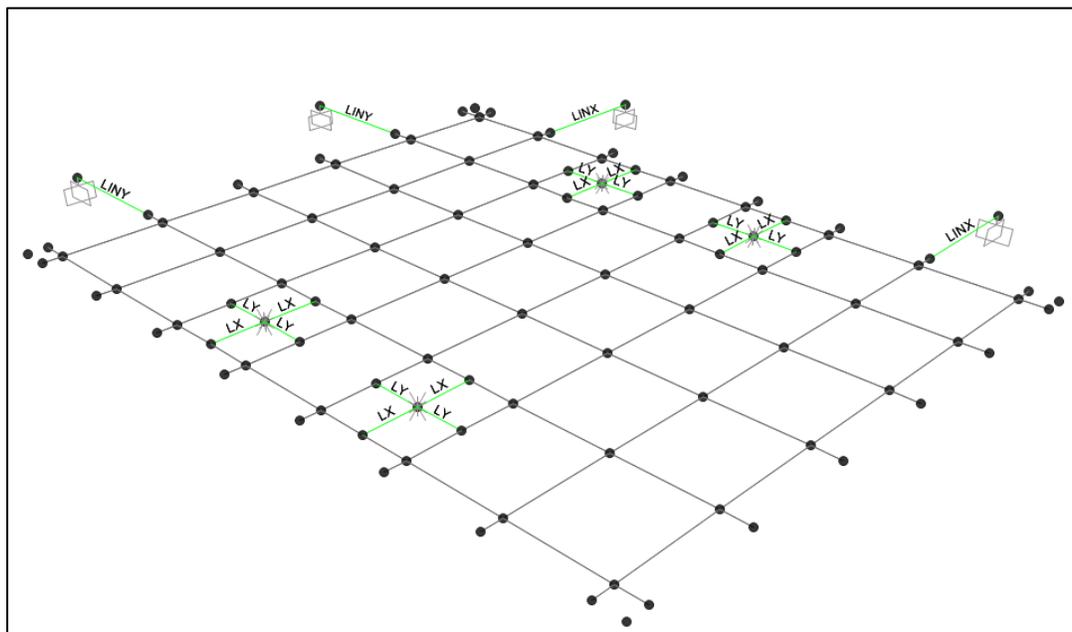


Figura III-42: ubicación y etiqueta de elementos link modelo sin brazos.

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness Is Uncoupled

U1	U2	U3
0.		

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled

U1	U2	U3
62.88		

Figura III-43: Amortiguamiento elementos LINX modelo sin brazos.

<input checked="" type="radio"/> Stiffness Is Uncoupled		
U1	U2	U3
0.		
<hr/>		
Damping Values Used For All Load Cases		
<input checked="" type="radio"/> Damping Is Uncoupled		
U1	U2	U3
88.24		

Figura III-44: Amortiguamiento elementos LINY sin brazos.

Stiffness Values Used For All Load Cases		
<input checked="" type="radio"/> Stiffness Is Uncoupled		
U1	U2	U3
94.61		
<hr/>		
Damping Values Used For All Load Cases		
<input checked="" type="radio"/> Damping Is Uncoupled		
U1	U2	U3
7.86		

Figura III-45: Amortiguamiento y rigidez elementos LX modelo sin brazos.

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness Is Uncoupled

U1	U2	U3
186.29		

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled

U1	U2	U3
11.03		

Figura III-46: Amortiguamiento y rigidez elementos LY modelo sin brazos.

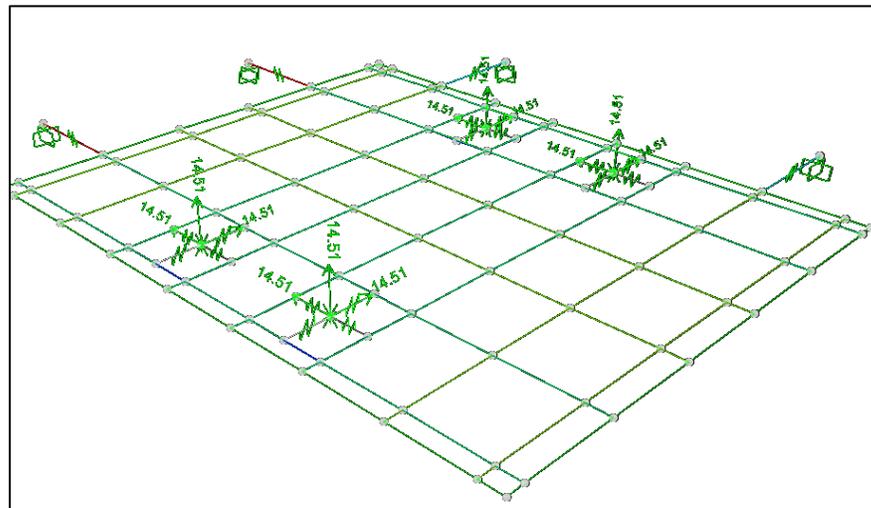


Figura III-47: Asignación de masas definidas en los TMD modelo sin brazos.

Tabla III-8: Respuesta modal modelo sin brazos y TMD.

StepNum	Period	UX	UY
	Sec		
1	2.049606	0.711923	0
2	1.770232	0	0
3	1.749387	0	0
4	1.749328	0	4.608E-09
5	1.49175	0	0
6	1.480784	0.278222	0
7	1.469675	0	0.70501
8	1.259079	3.965E-08	0
9	1.259068	0	0
10	1.13567	0	1.397E-20
11	1.061583	6.451E-20	0.291222
12	0.129202	3.642E-19	0
13	0.128893	0.003148	3.287E-19
14	0.126489	2.483E-17	0.000325
15	0.125366	3.236E-19	3.415E-18
16	0.121439	6.22E-17	7.222E-16
17	0.119237	1.425E-15	3.098E-15
18	0.119201	3.287E-16	4.555E-08
19	0.119054	1.04E-18	4.928E-16
20	0.118321	0.000057	3.436E-16

IV RESULTADOS ANÁLISIS.

En el siguiente capítulo, se exponen los resultados de los time-history realizados en los 4 modelos con los tres registros anteriormente definidos.

En concreto se mostrarán los siguientes resultados:

- Desplazamiento del tablero en las dos direcciones con y sin TMD (Joint 31).
- Aceleración del tablero en las dos direcciones con y sin TMD (Joint 31).
- Espectros de respuesta en el tablero en las dos direcciones para un 2% de amortiguamiento con y sin TMD (Joint 31).
- Esfuerzo Axial en pilote con y sin TMD (Frame 221).
- Desplazamiento en los extremos de los brazos con y sin TMD (Joint 211).
- Aceleraciones en los extremos de los brazos con y sin TMD (Joint 211).
- Espectro de respuesta para un 2% de amortiguamiento en el extremo de los brazos con y sin TMD (Joint 211).
- Desplazamiento del dispositivo TMD (Joint 144).

En la siguiente figura se muestran los nodos y frame que se tomaron de referencia para la obtención de los resultados en los 4 modelos de forma que estos fueran comparables.

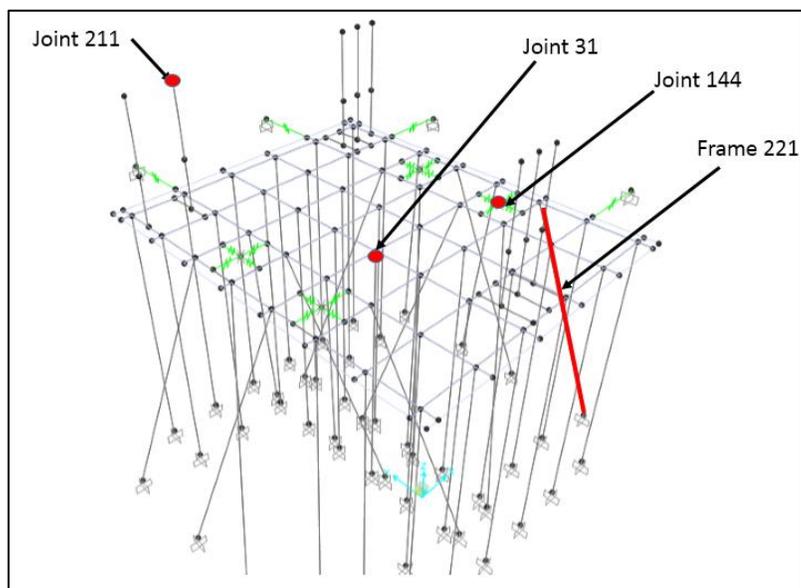


Figura IV-48: Ubicación puntos de análisis.

IV.1 Desplazamientos del tablero

IV.1.1 Modelo sin brazos

IV.1.1.1 Registro de Concepción

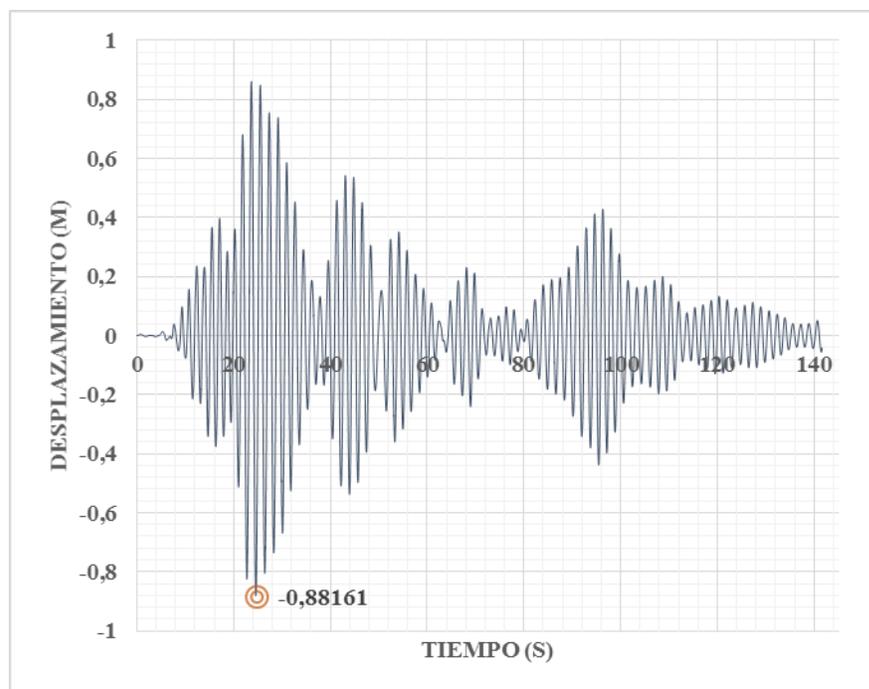


Figura IV-49: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Concepción

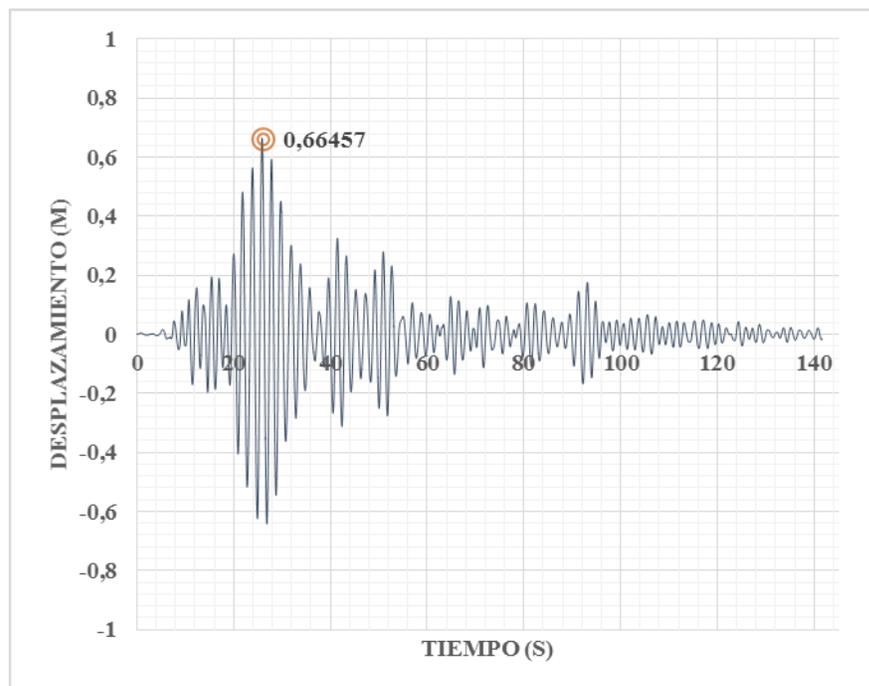


Figura IV-50: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Concepción.

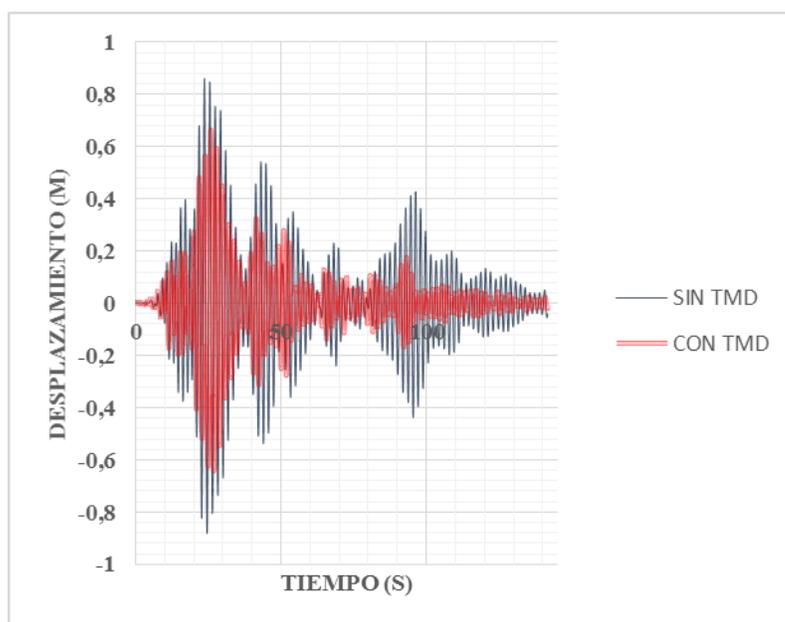


Figura IV-51: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.

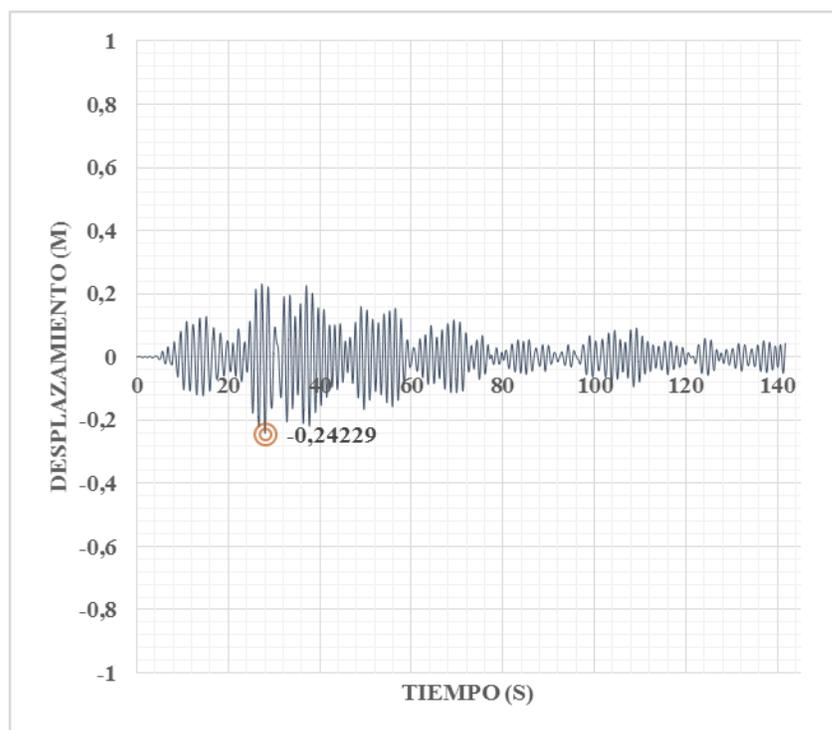


Figura IV-52: Desplazamiento del tablero en y, sin brazos sin TMD. Concepción.

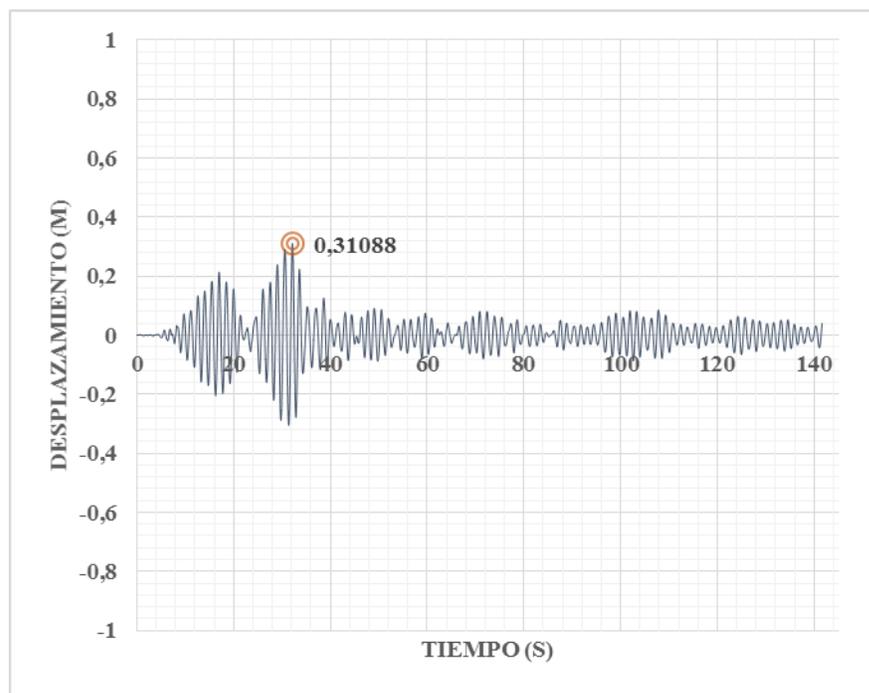


Figura IV-53: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Concepción

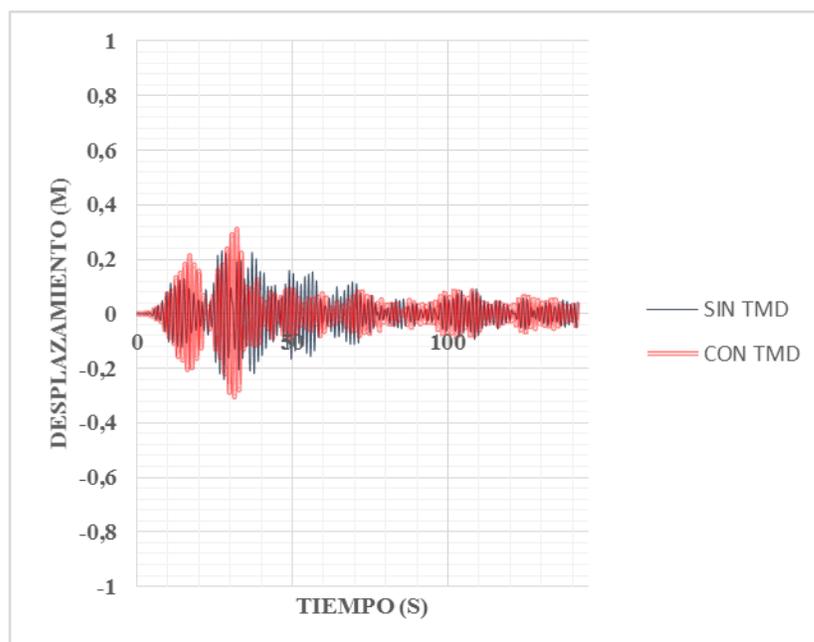


Figura IV-54: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción

IV.1.1.2 Registro de Constitución

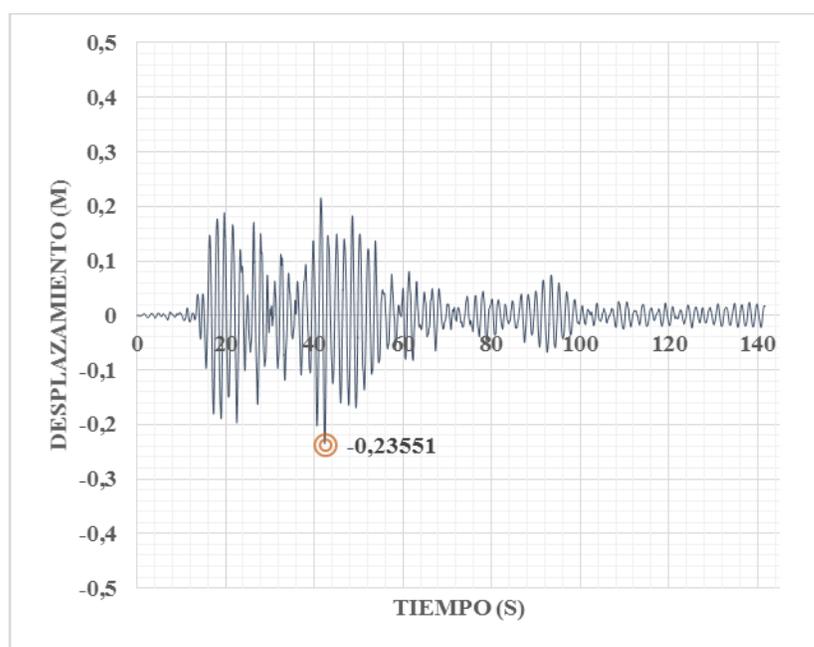


Figura IV-55: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

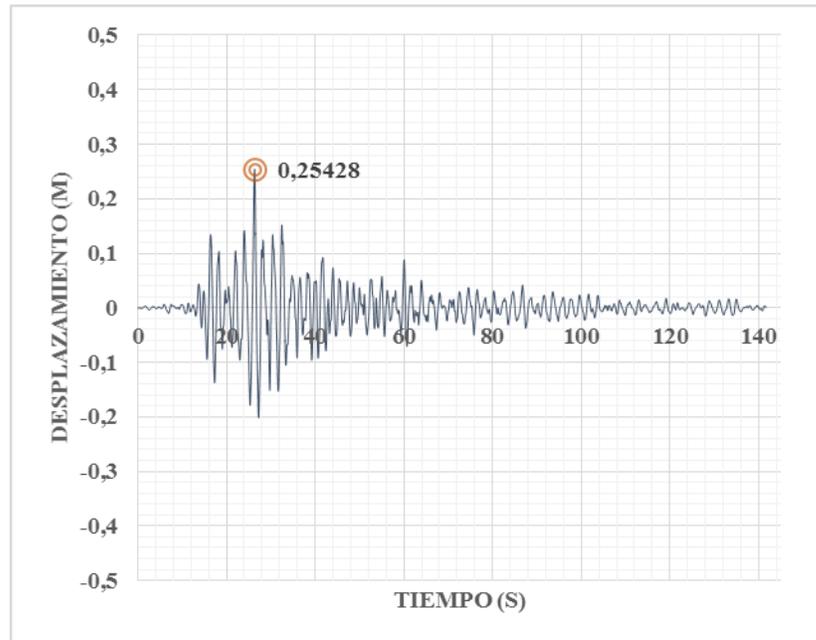


Figura IV-56: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

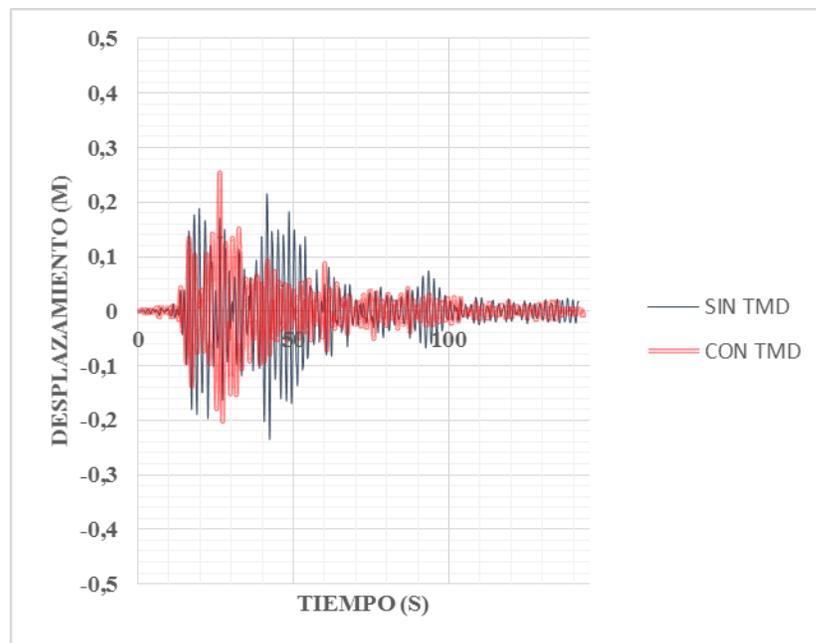


Figura IV-57: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.

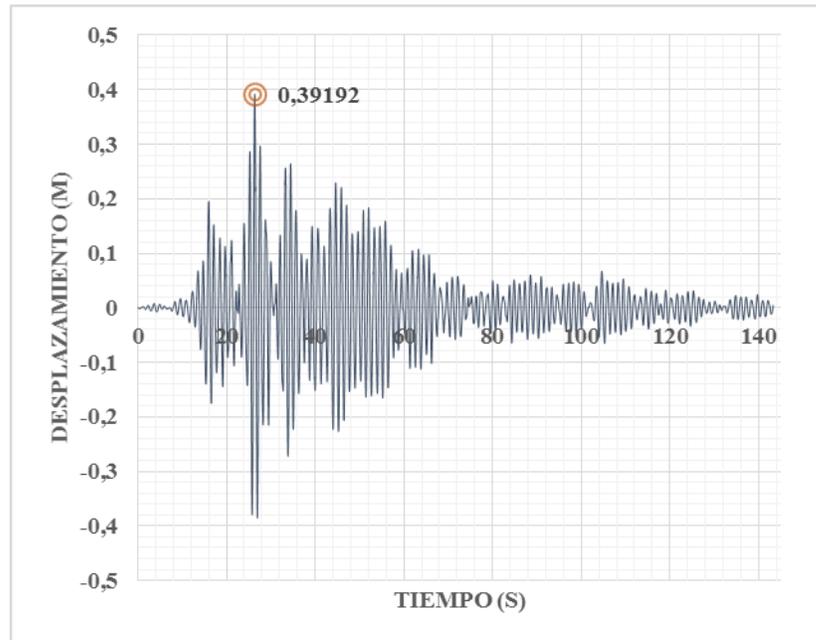


Figura IV-58: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

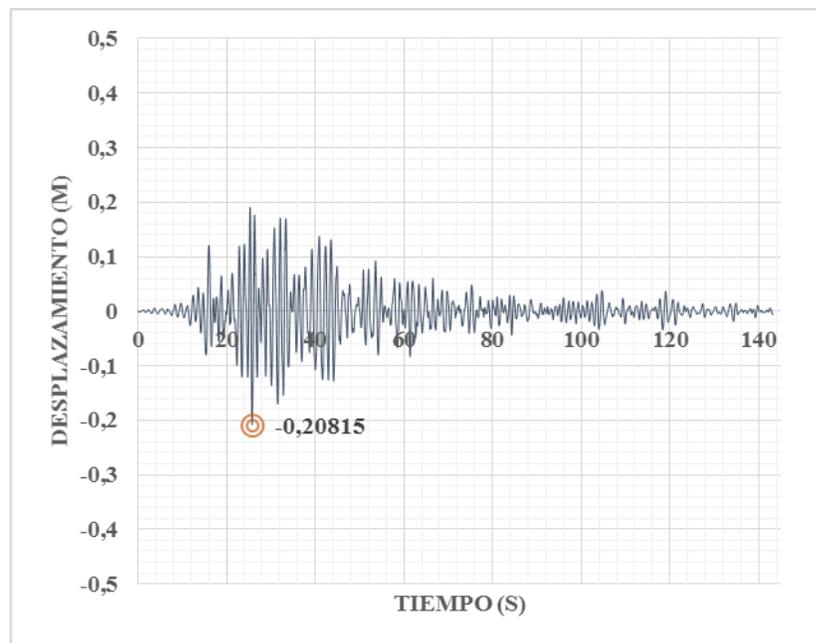


Figura IV-59: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

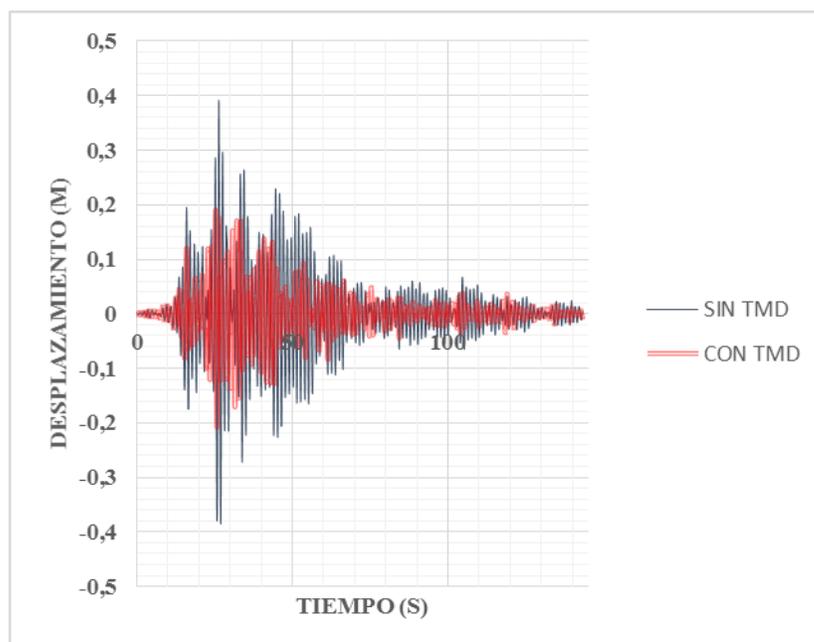


Figura IV-60: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución.

IV.1.1.3 Registro de Llolleo

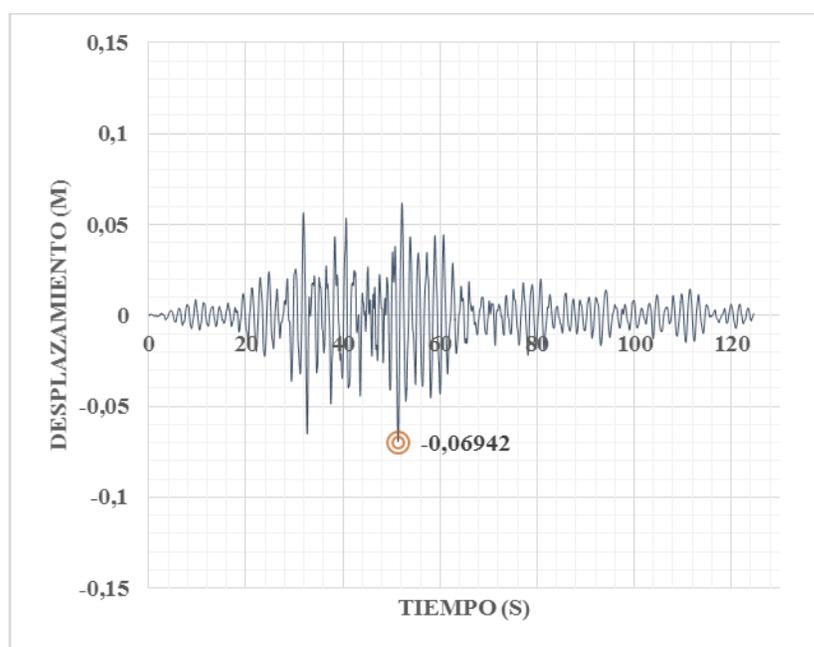


Figura IV-61: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.

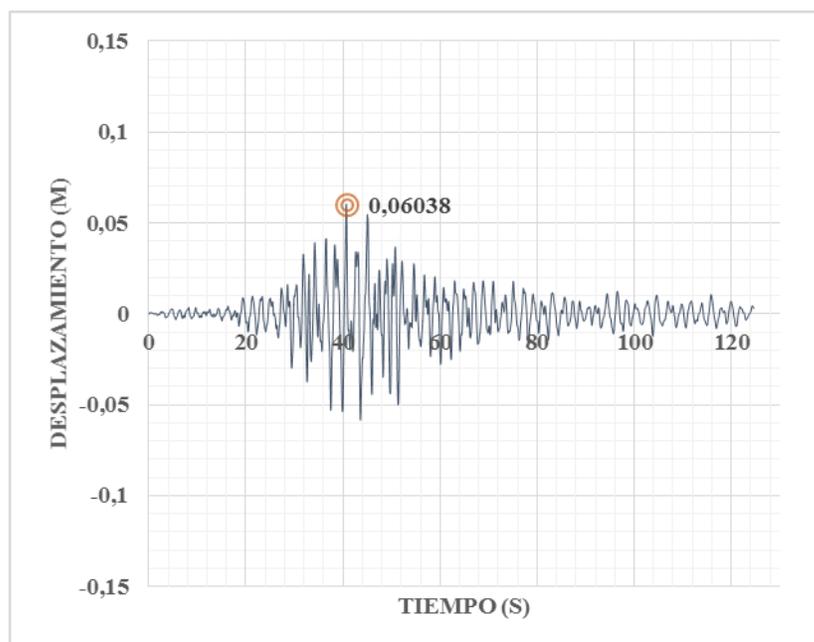


Figura IV-62: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Lolloe.

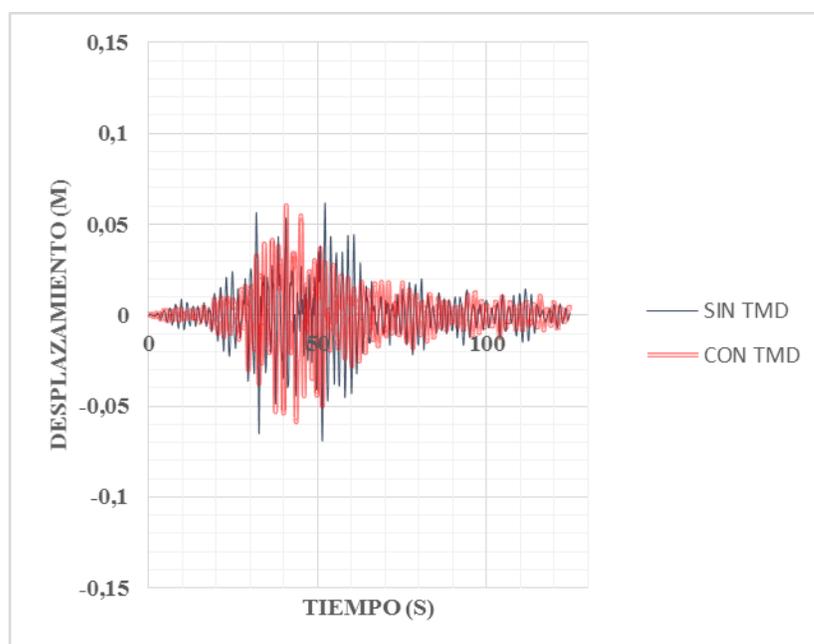


Figura IV-63: Desplazamiento del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Lolloe.

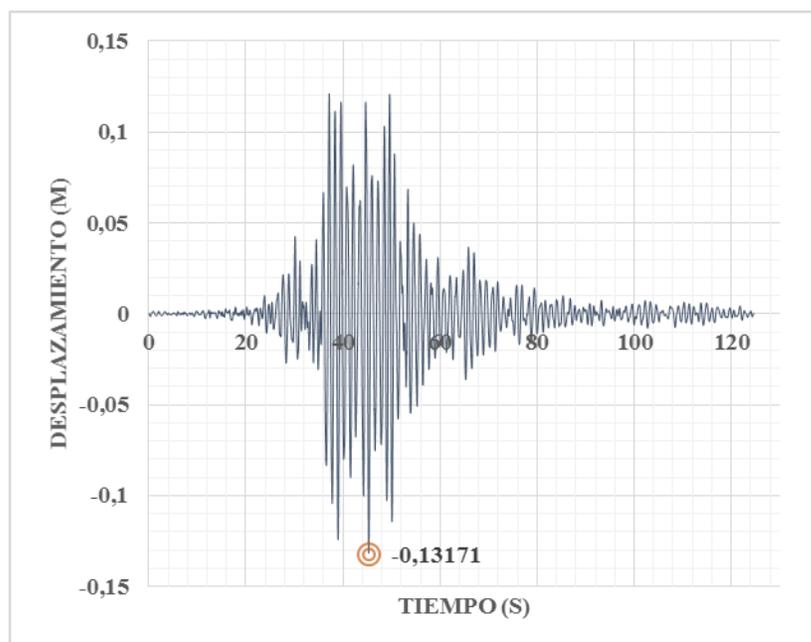


Figura IV-64: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Lollole.

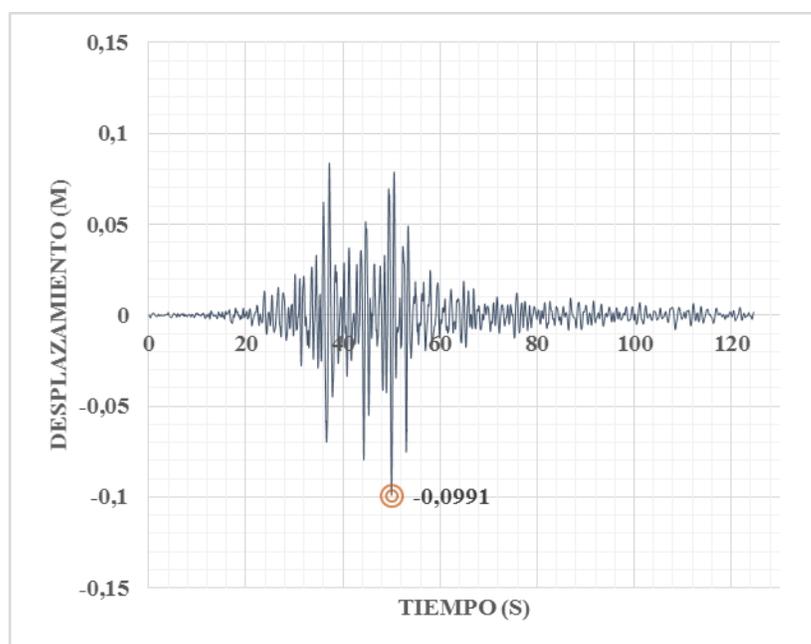


Figura IV-65: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Lollole.

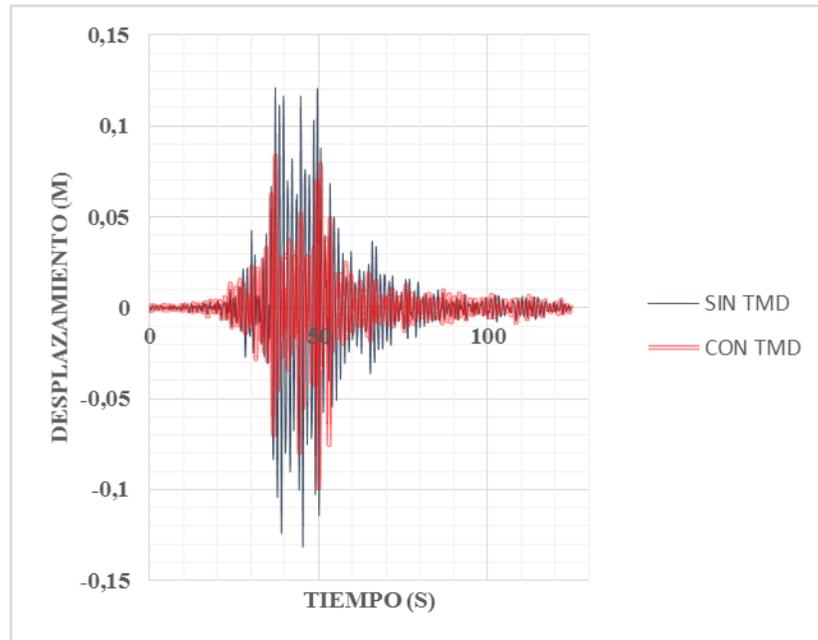


Figura IV-66: Desplazamiento del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Lloleo.

IV.1.2 Modelo con brazos

IV.1.2.1 Registro de Concepción

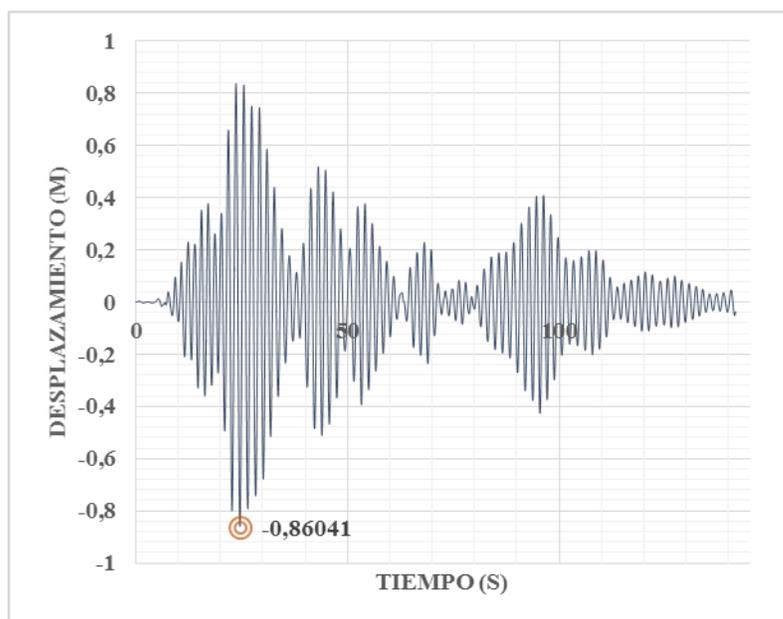


Figura IV-67: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

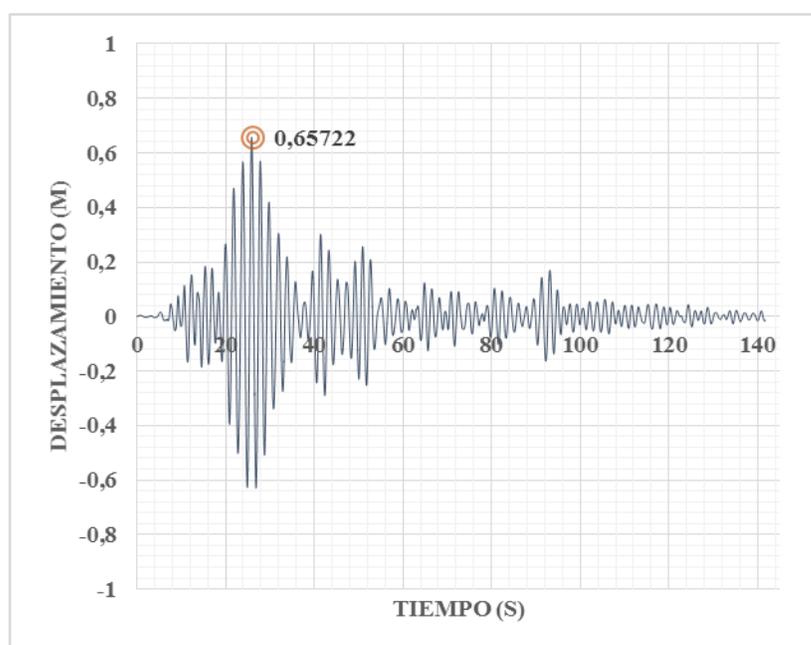


Figura IV-68: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Concepción.

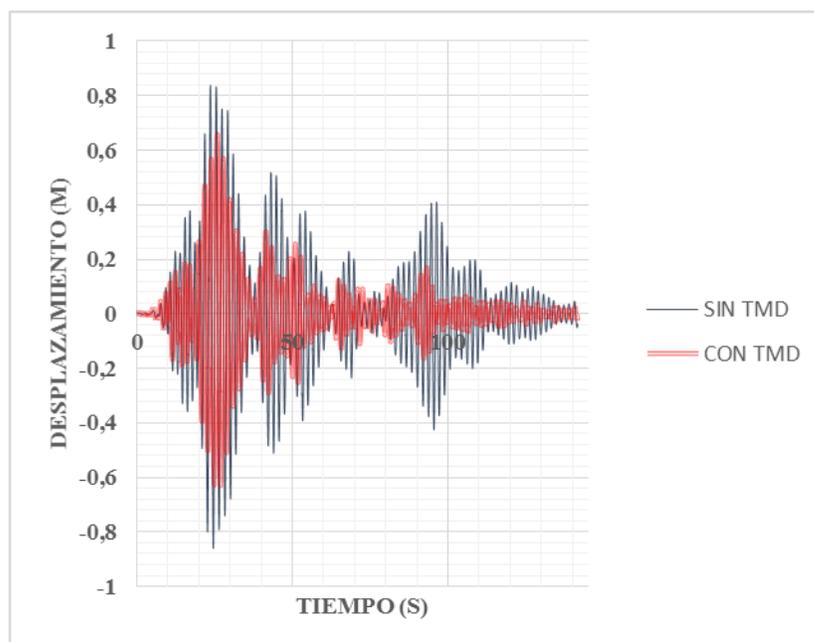


Figura IV-69: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.

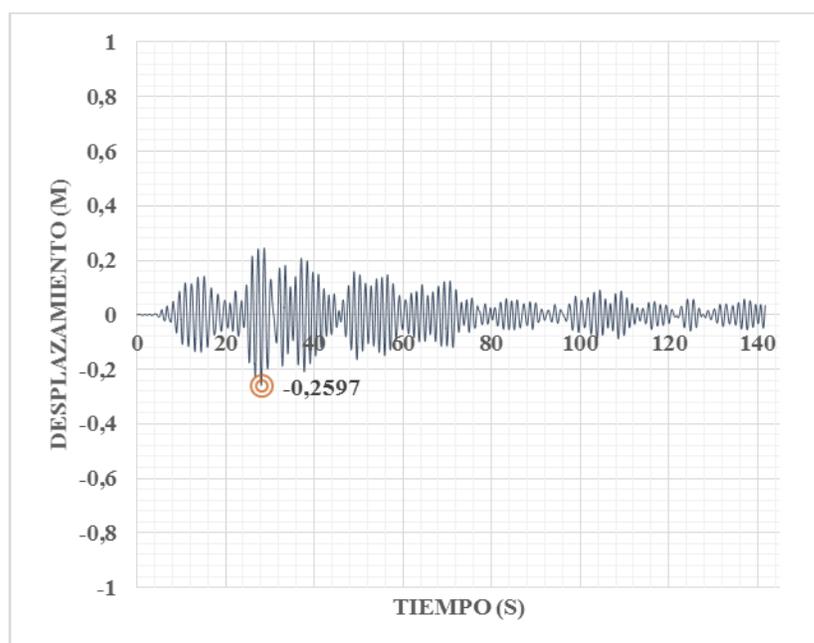


Figura IV-70: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

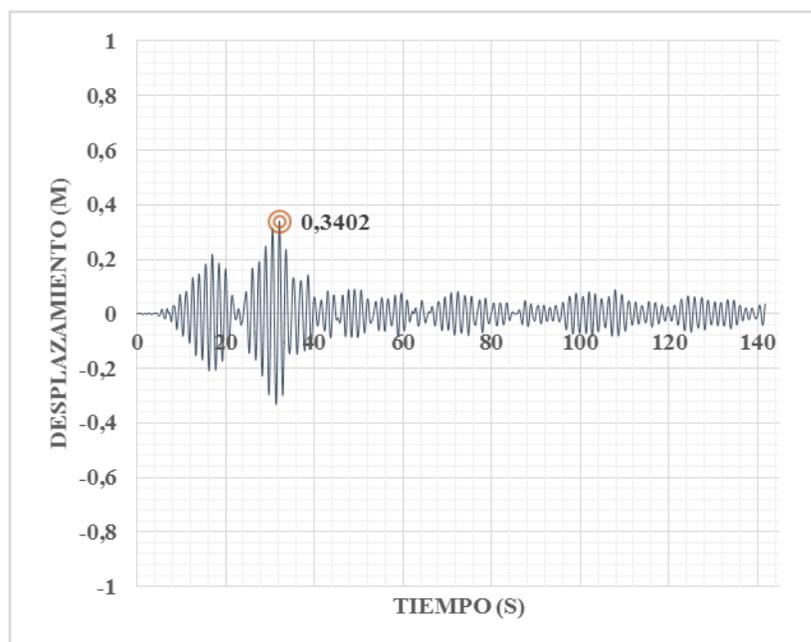


Figura IV-71: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Concepción.

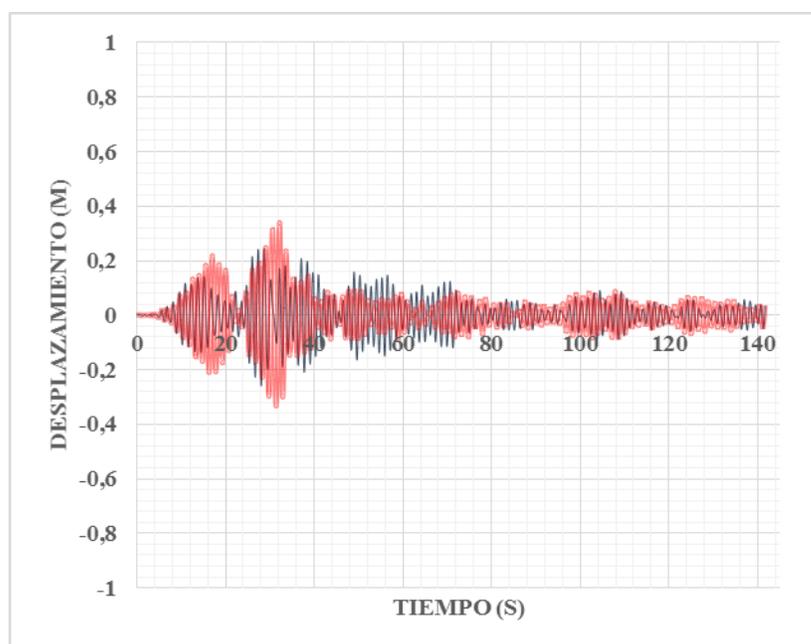


Figura IV-72: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.

IV.1.2.2 Registro de Constitución

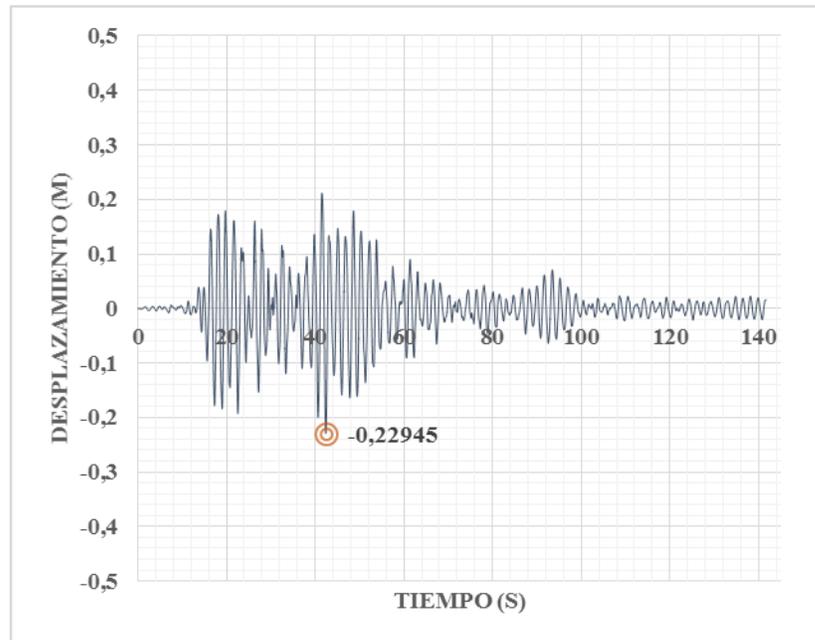
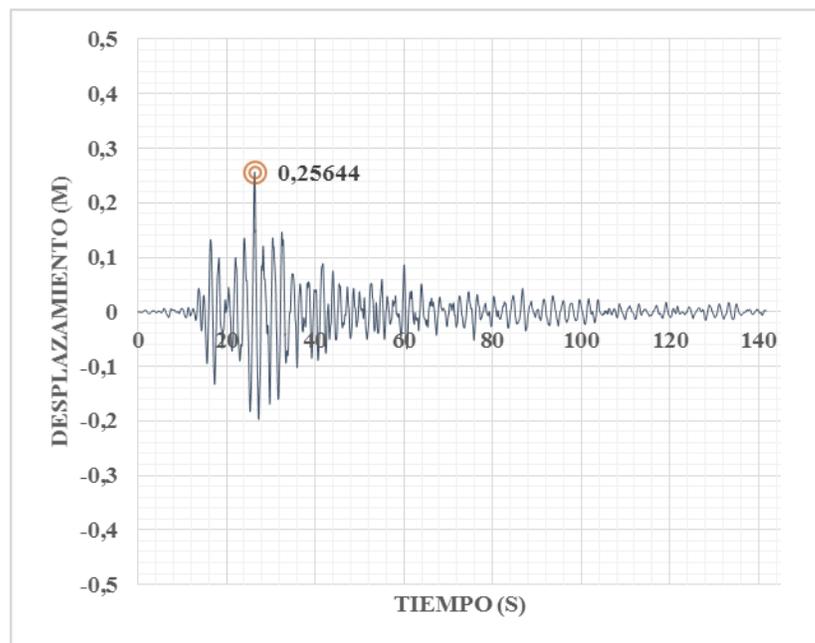


Figura IV-73: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

Figura IV-74: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos con TMD.
Constitución.

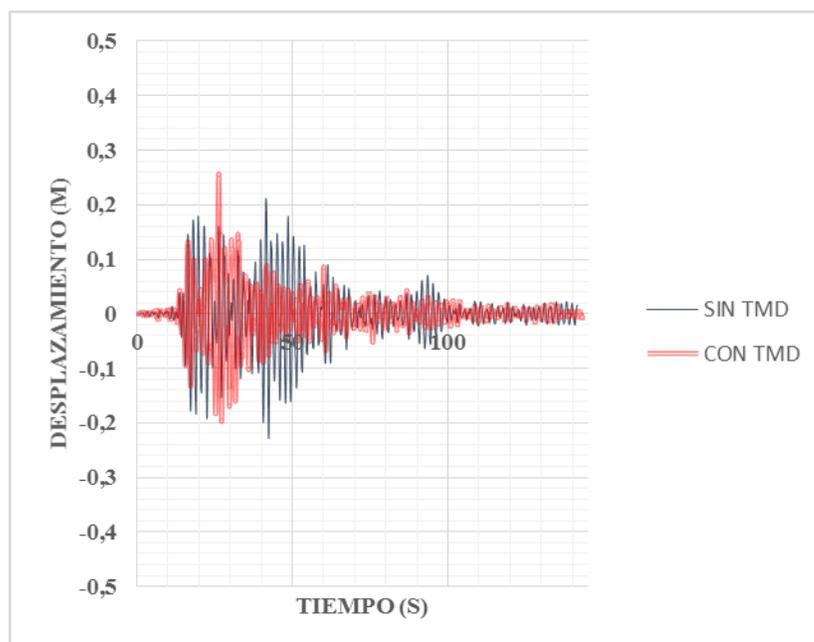


Figura IV-75: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.

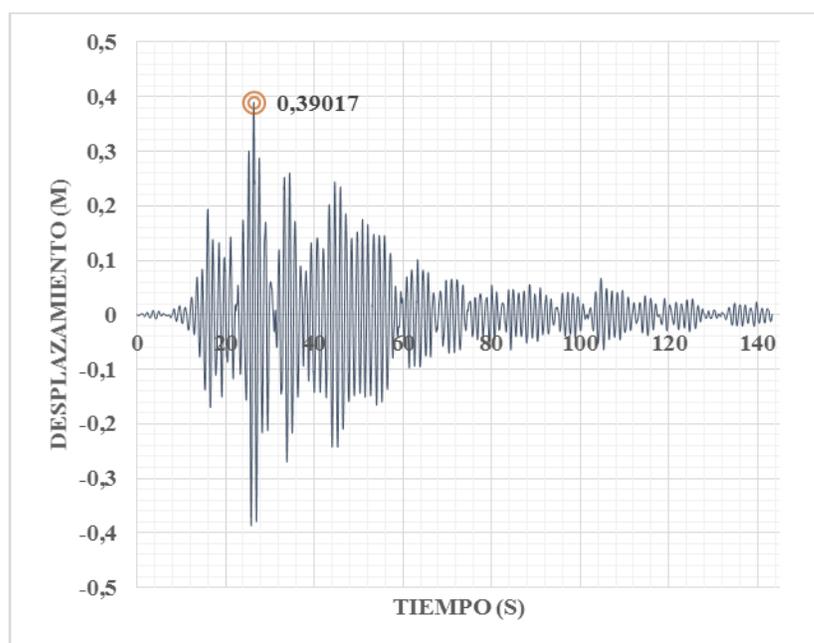


Figura IV-76: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

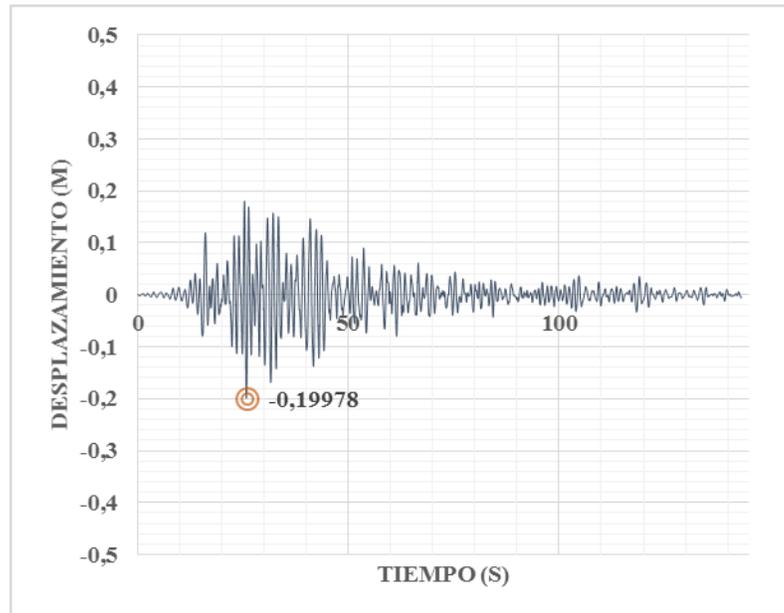


Figura IV-77: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos con TMD.

Constitución.

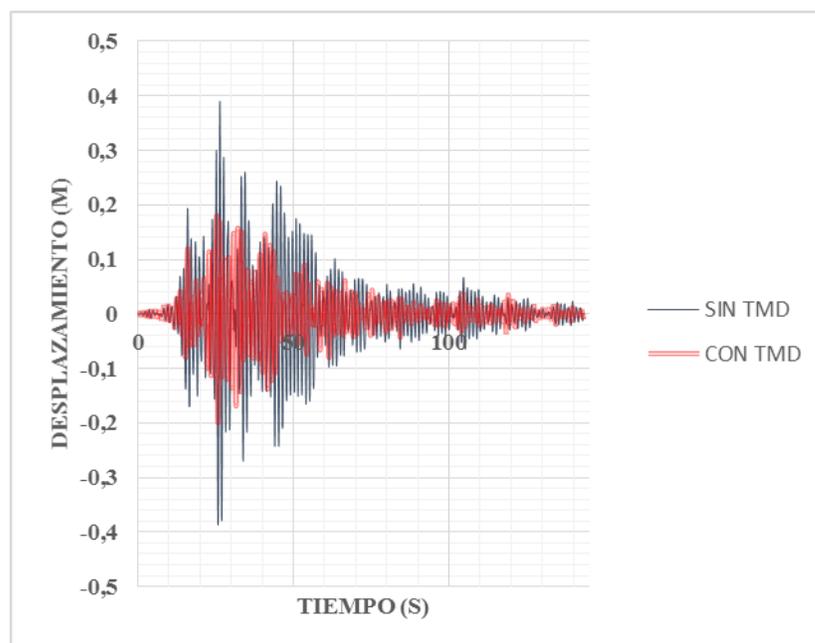


Figura IV-78: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos, comparación de

respuesta. Constitución.

IV.1.2.3 Registro de Llolleo

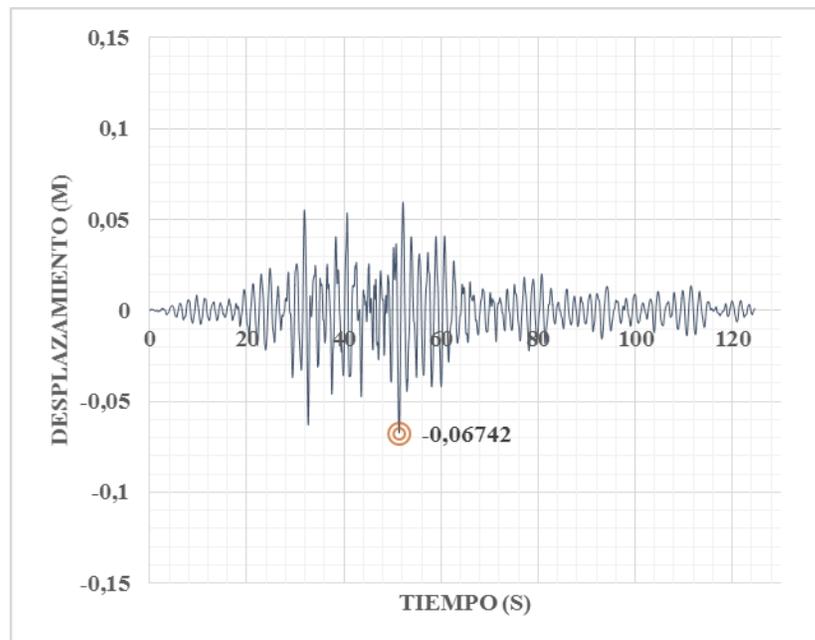


Figura IV-79: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.

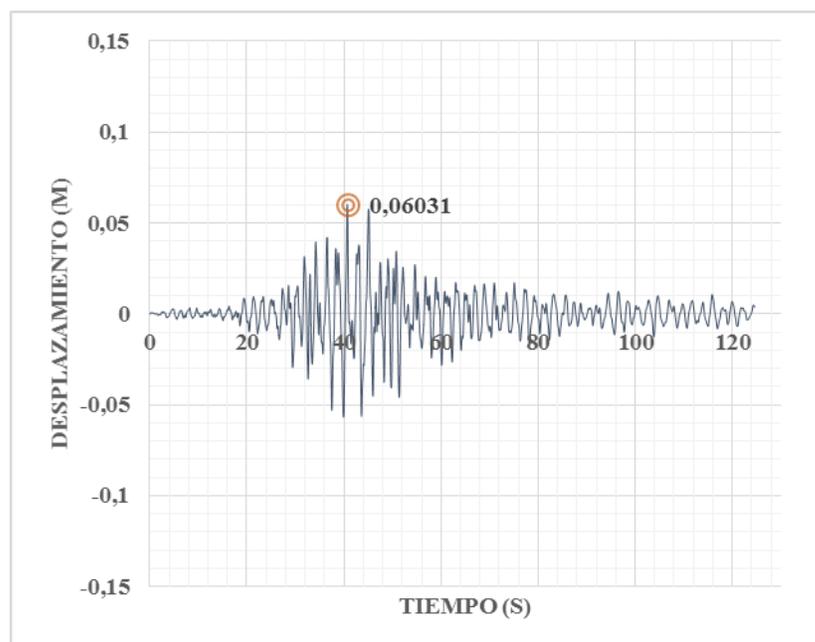


Figura IV-80: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Llolleo.

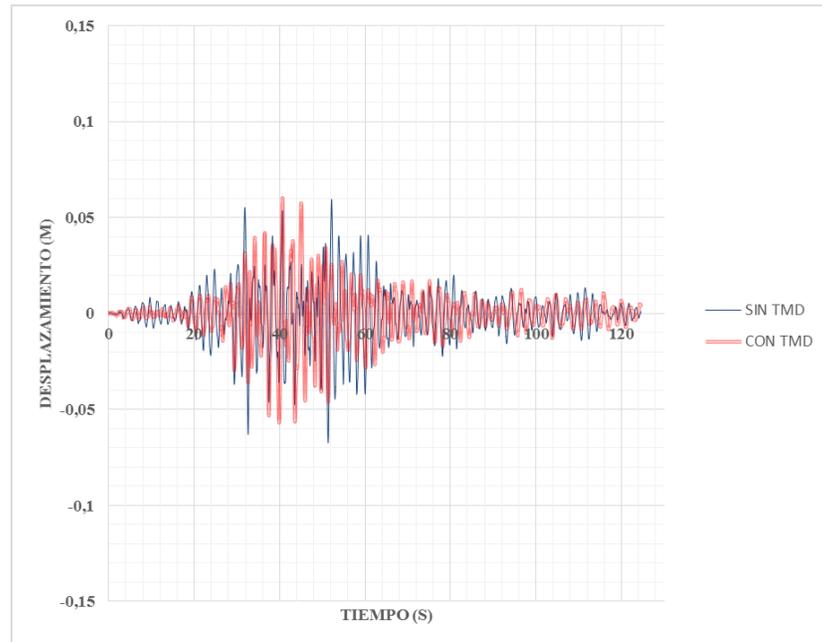


Figura IV-81: Desplazamiento del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lolloe.

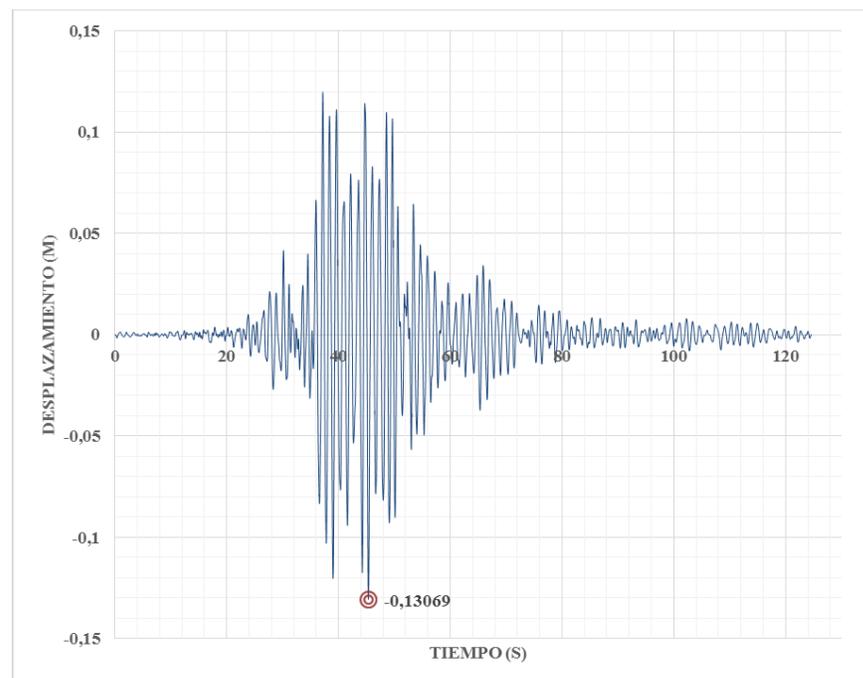


Figura IV-82: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Lolloe.

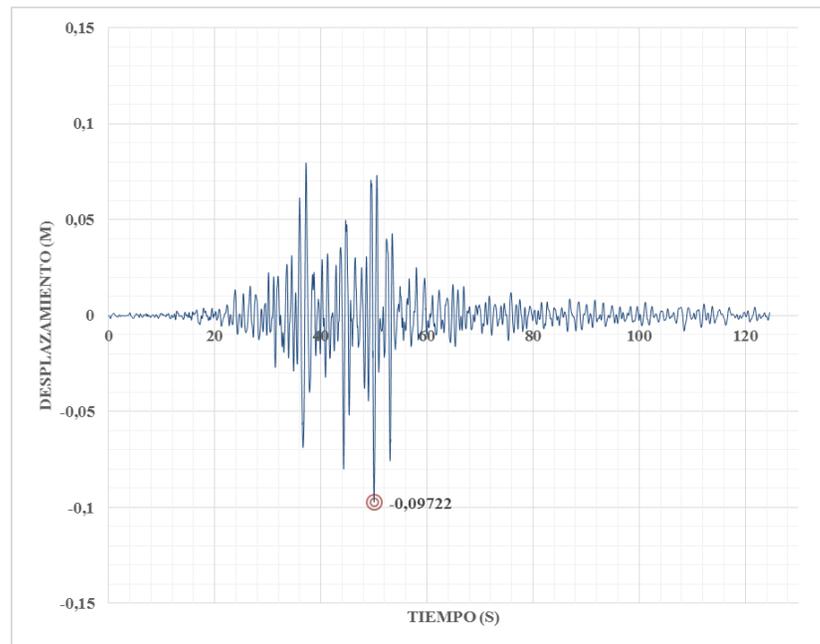


Figura IV-83: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Lloleo.

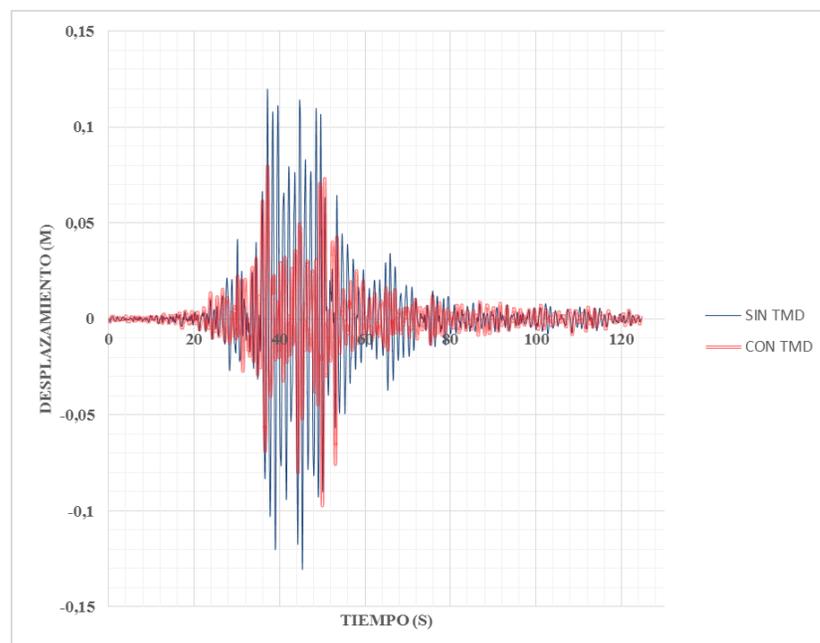


Figura IV-84: Desplazamiento del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lloleo.

IV.2 Aceleración del tablero

IV.2.1 Modelo sin brazos

IV.2.1.1 Registro de Concepción

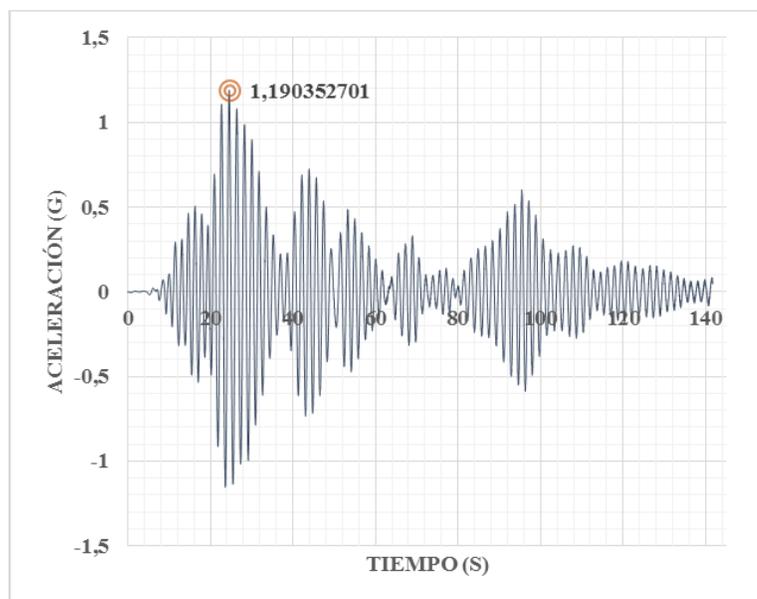


Figura IV-85: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Concepción

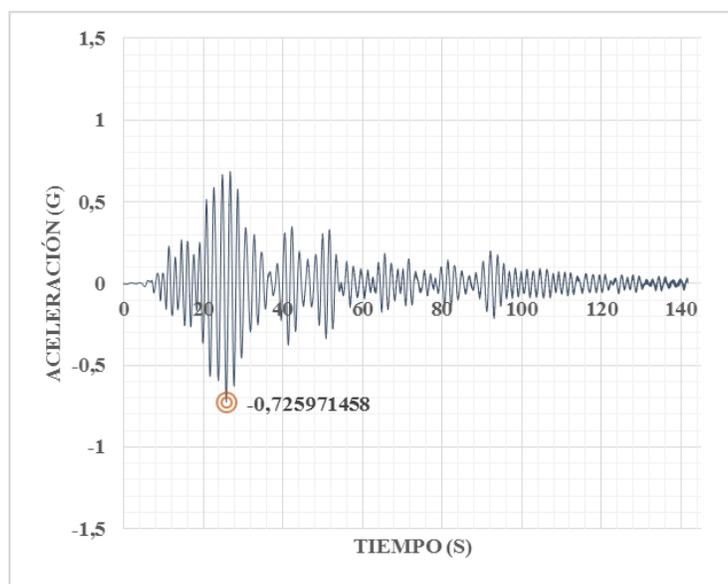


Figura IV-86: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Concepción.

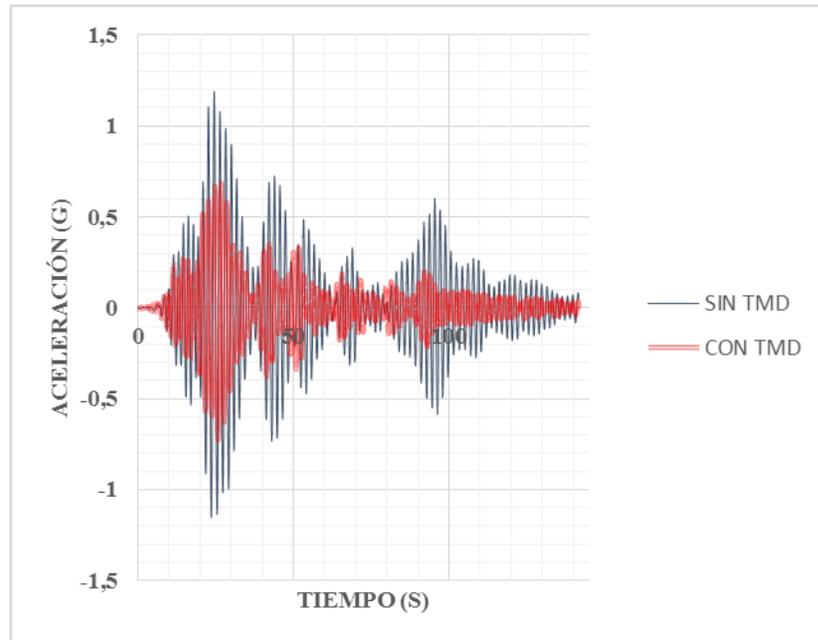


Figura IV-87: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Concepción

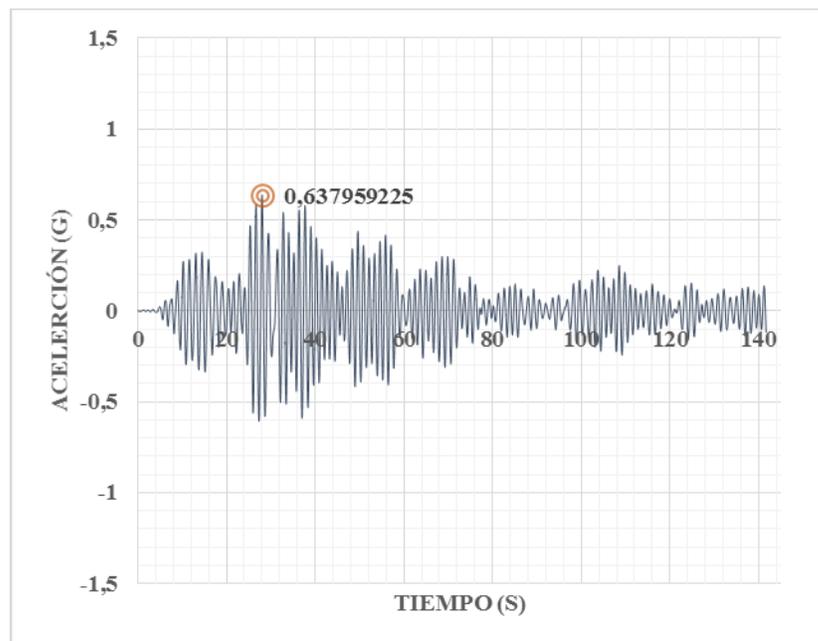


Figura IV-88: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.

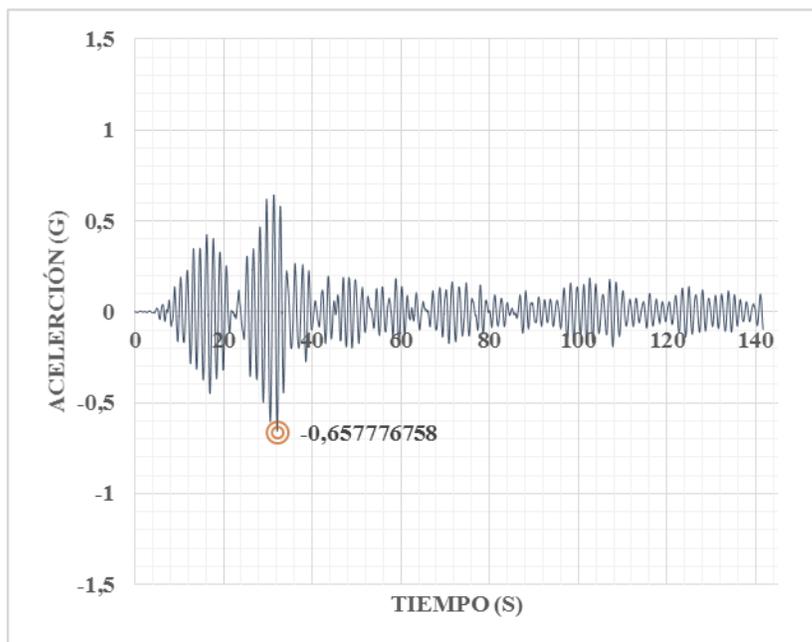


Figura IV-89: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Concepción.

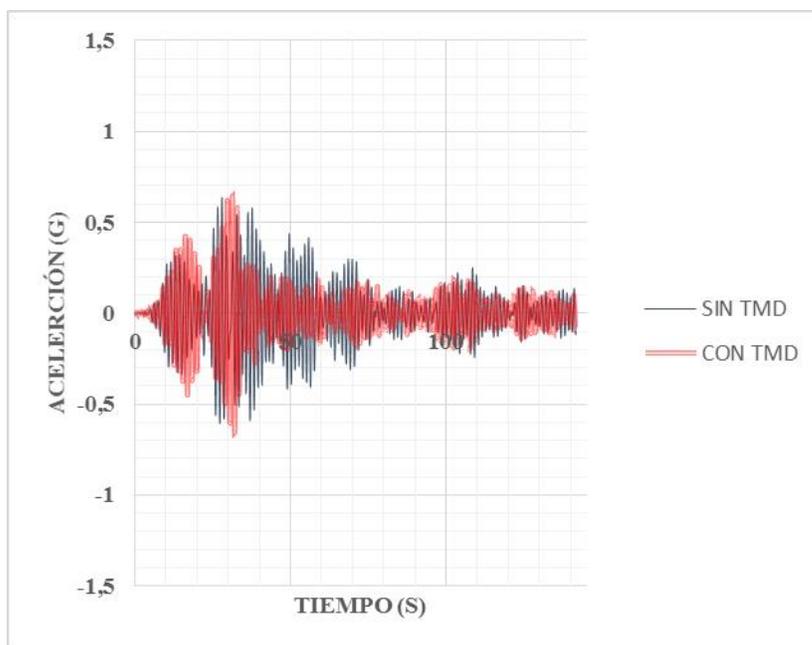


Figura IV-90: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Concepción.

IV.2.1.2 Registro de Constitución

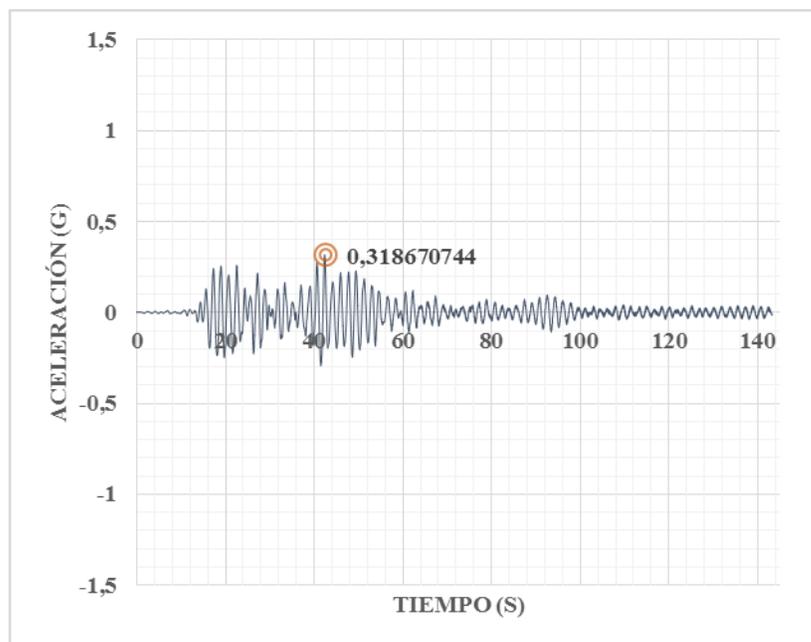


Figura IV-91: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

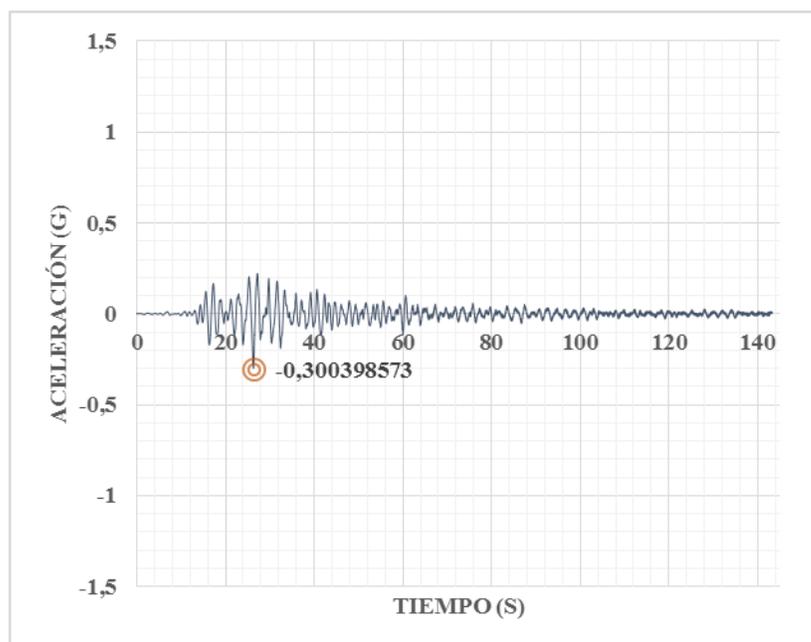


Figura IV-92: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

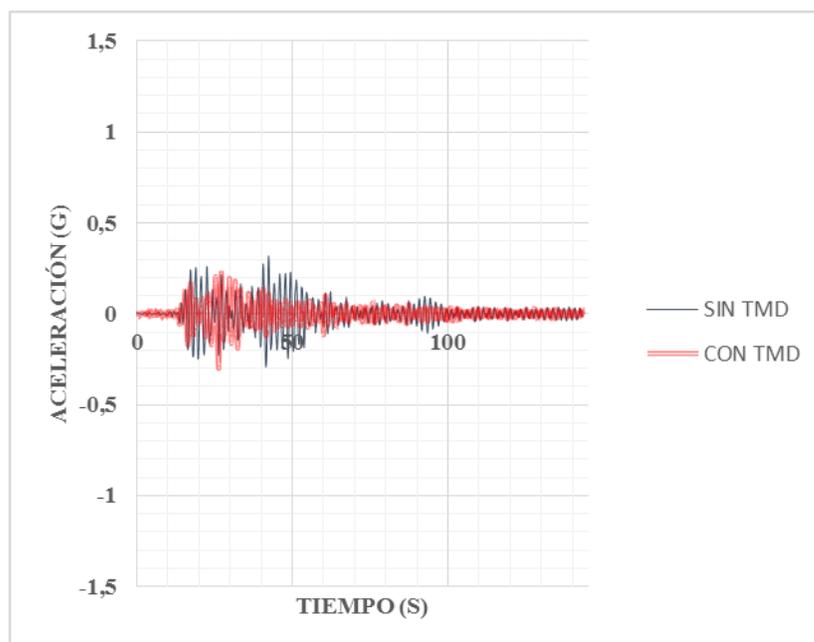


Figura IV-93: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Constitución.

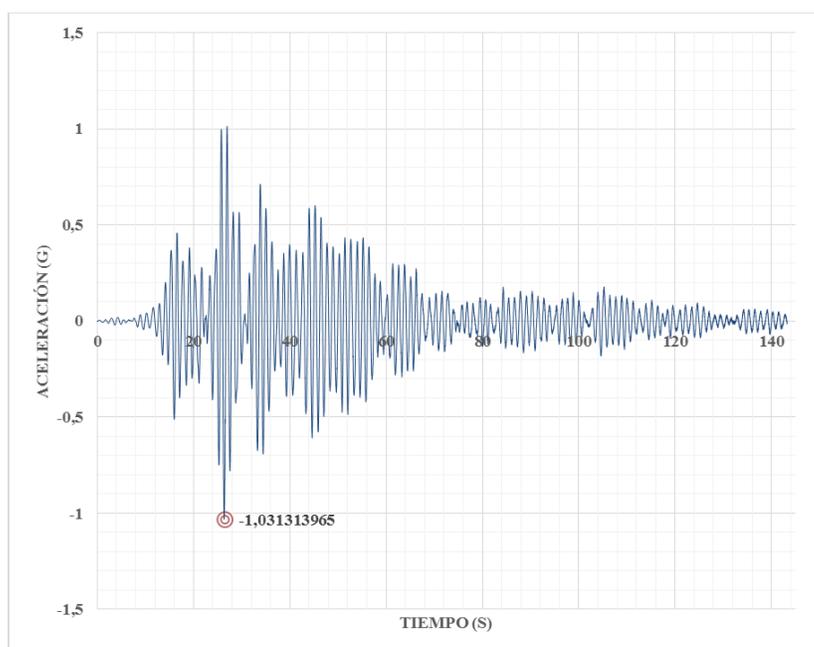


Figura IV-94: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

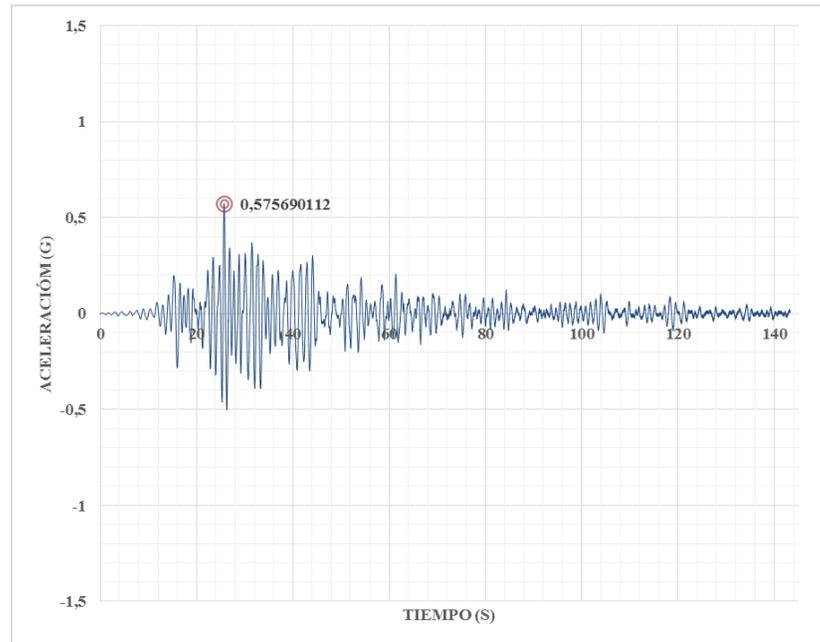


Figura IV-95: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

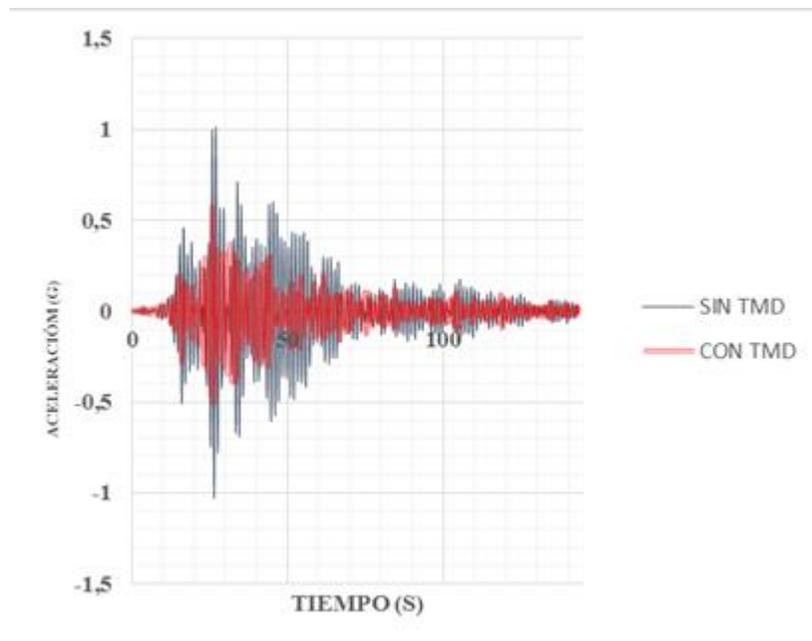


Figura IV-96: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Constitución.

IV.2.1.3 Registro de Lloleo

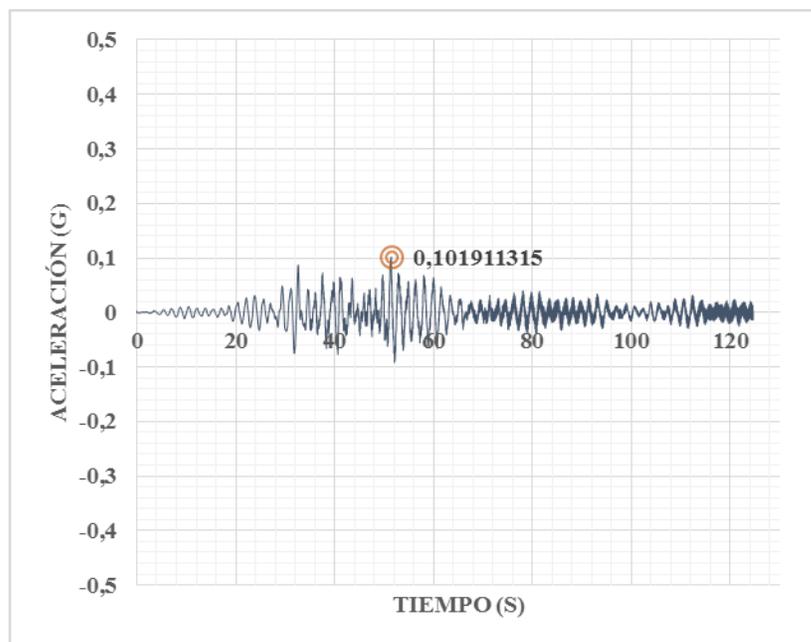


Figura IV-97: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos sin TMD. Lloleo.

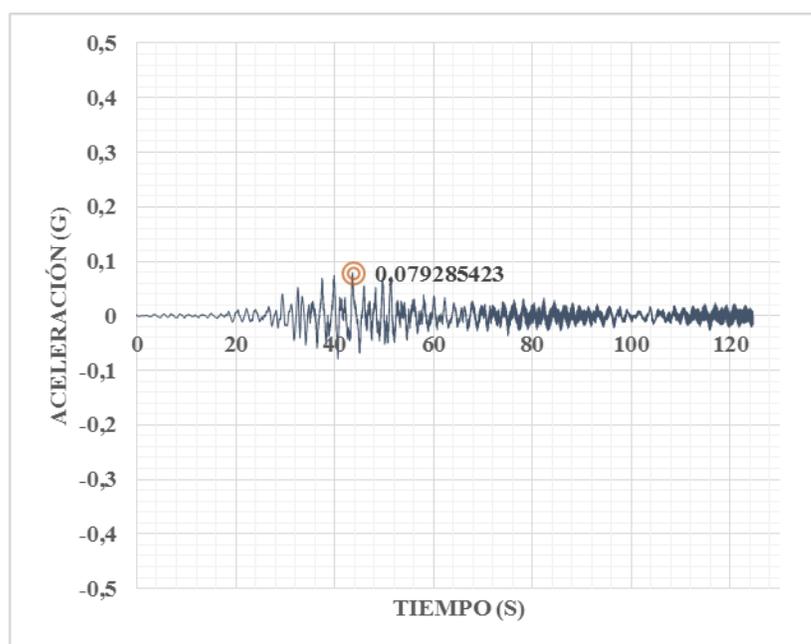


Figura IV-98: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazos con TMD. Lloleo.

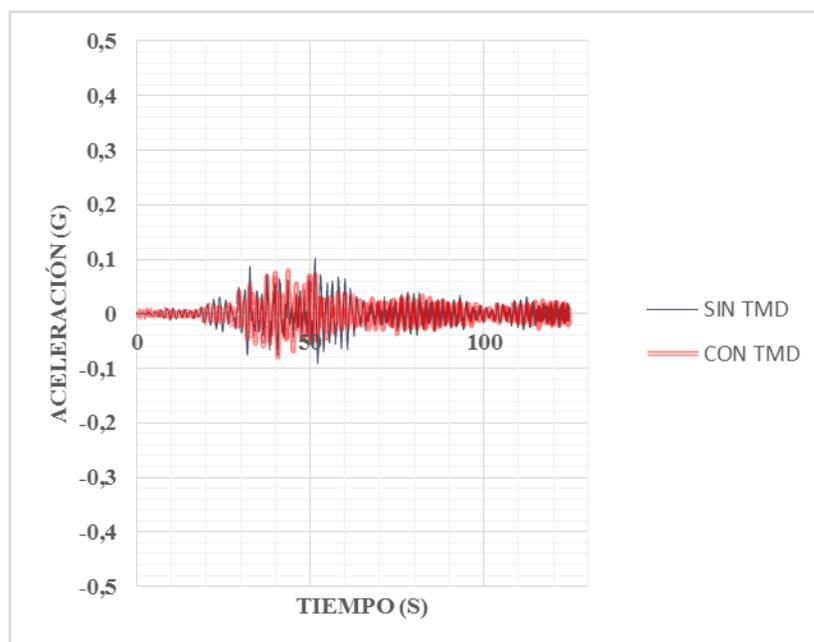


Figura IV-99: Aceleración del tablero en x, modelo sin brazo, comparación de respuesta,

Llolleo.

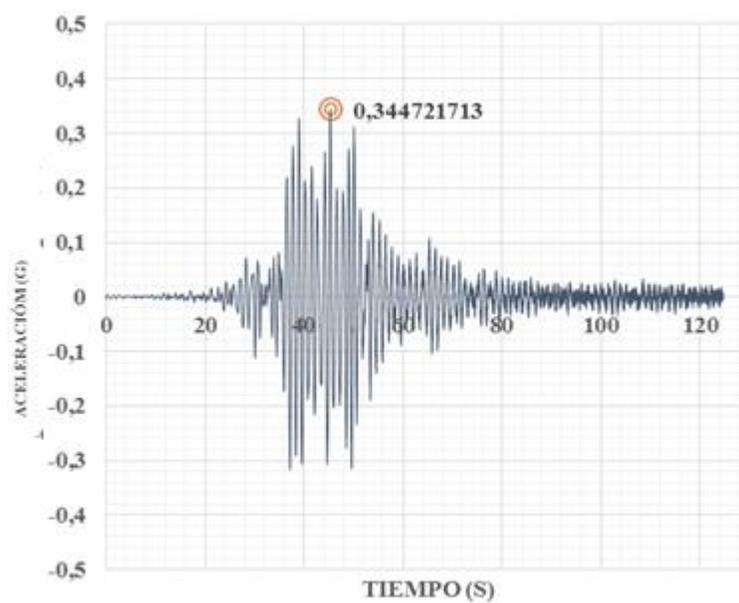


Figura IV-100: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.

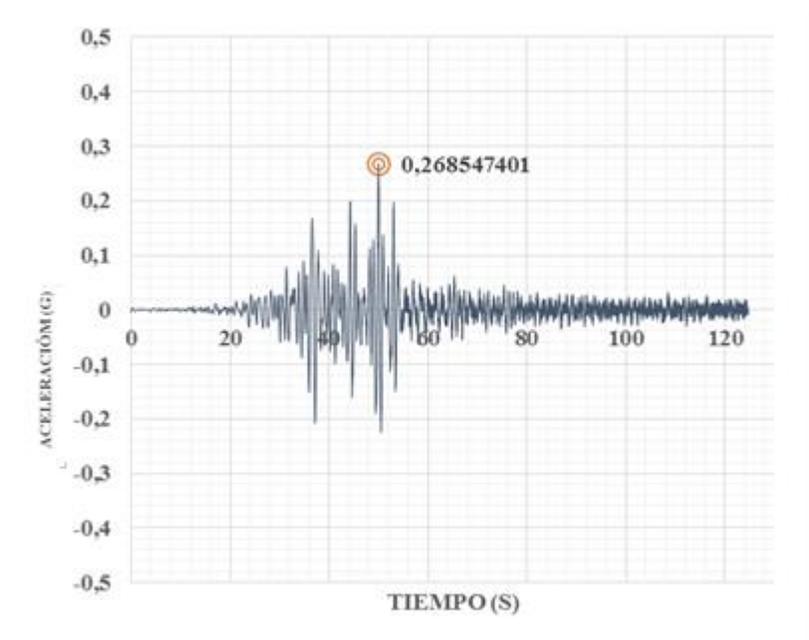


Figura IV-101: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos con TMD. Lloleo.

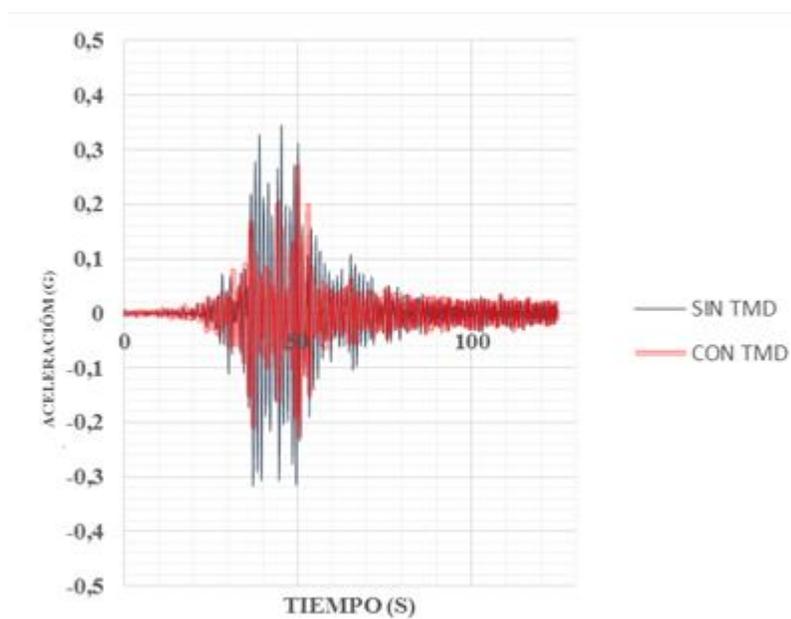


Figura IV-102: Aceleración del tablero en y, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Lloleo.

IV.2.2 Modelo con brazos

IV.2.2.1 Registro de Concepción

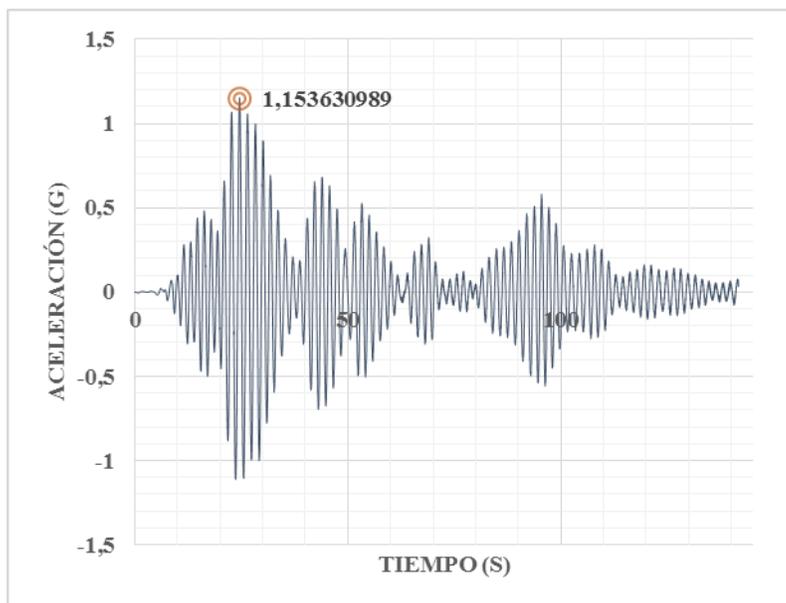


Figura IV-103: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

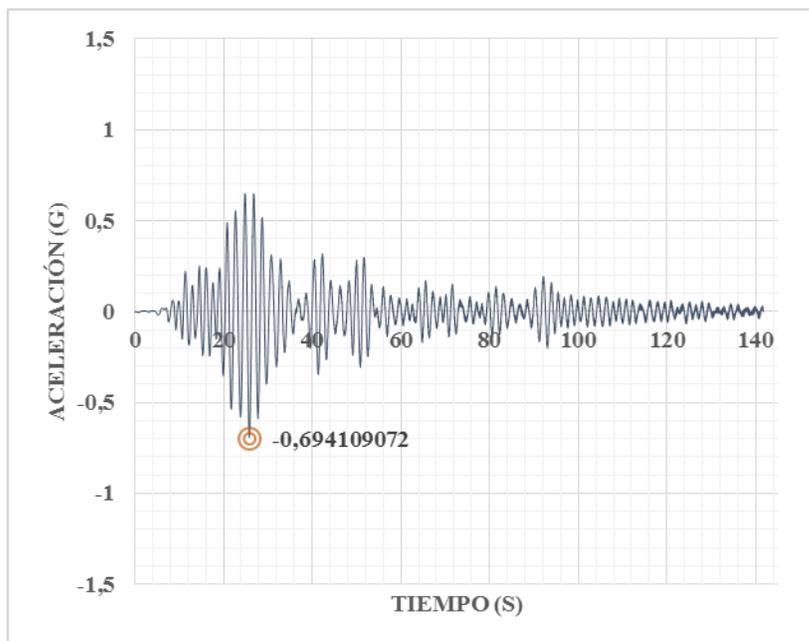


Figura IV-104: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Concepción.

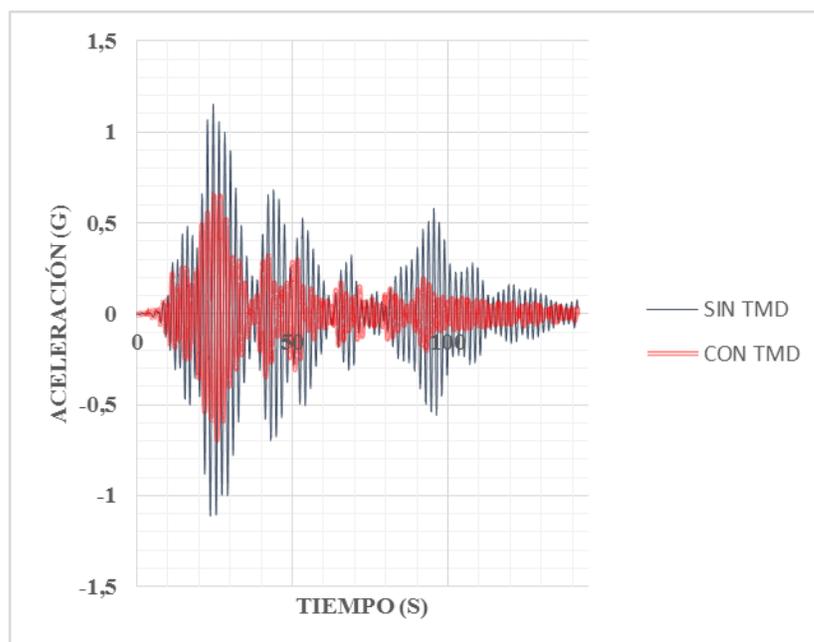


Figura IV-105: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.

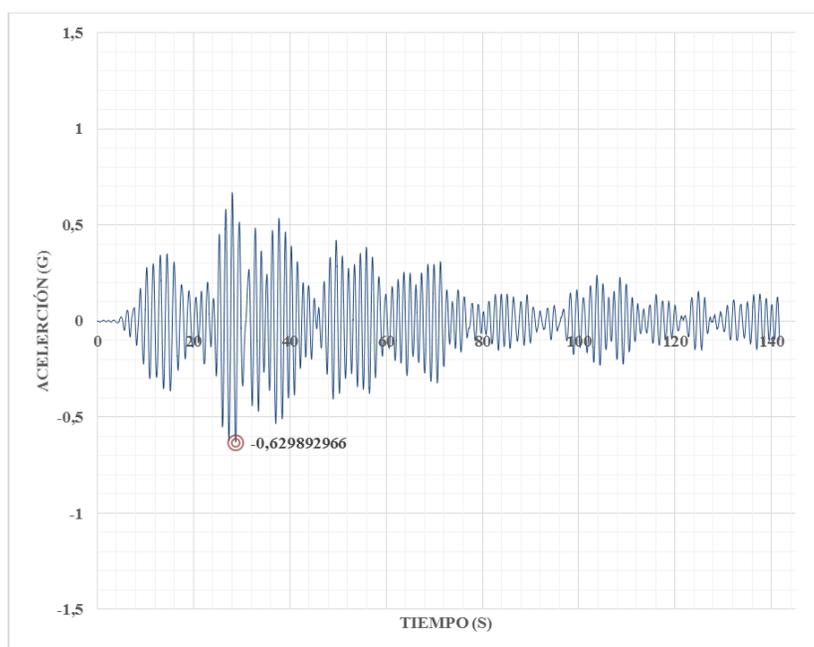


Figura IV-106: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

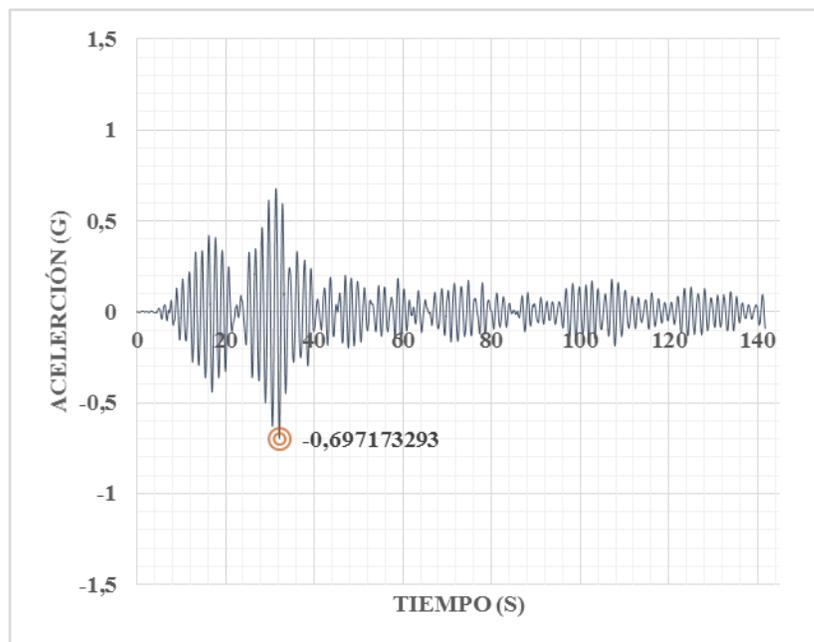


Figura IV-107: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Concepción.

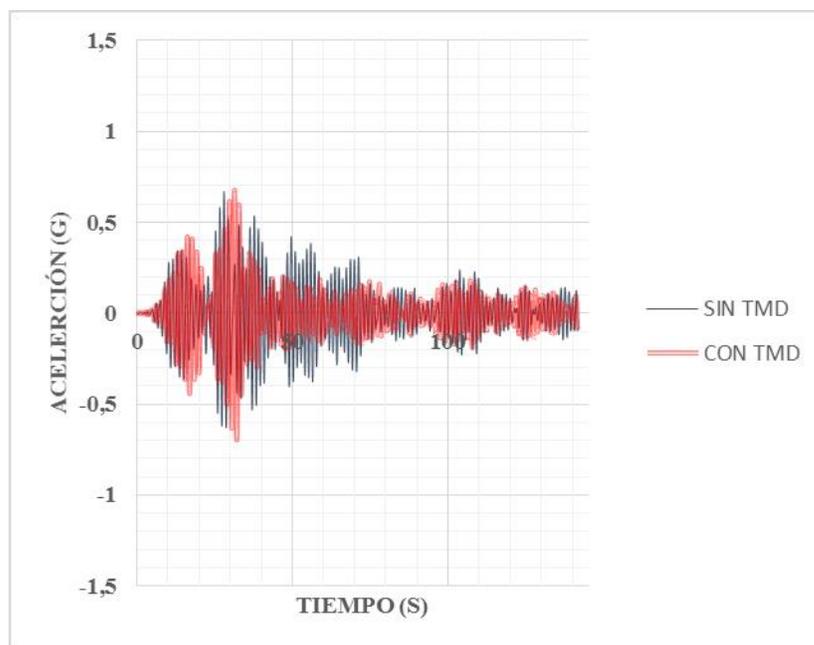


Figura IV-108: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.

IV.2.2.2 Registro de Constitución

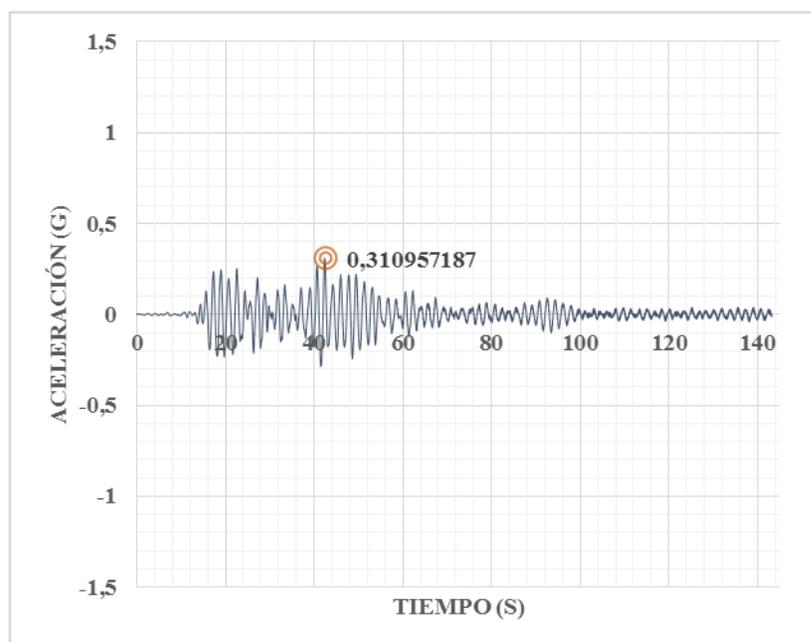


Figura IV-109: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

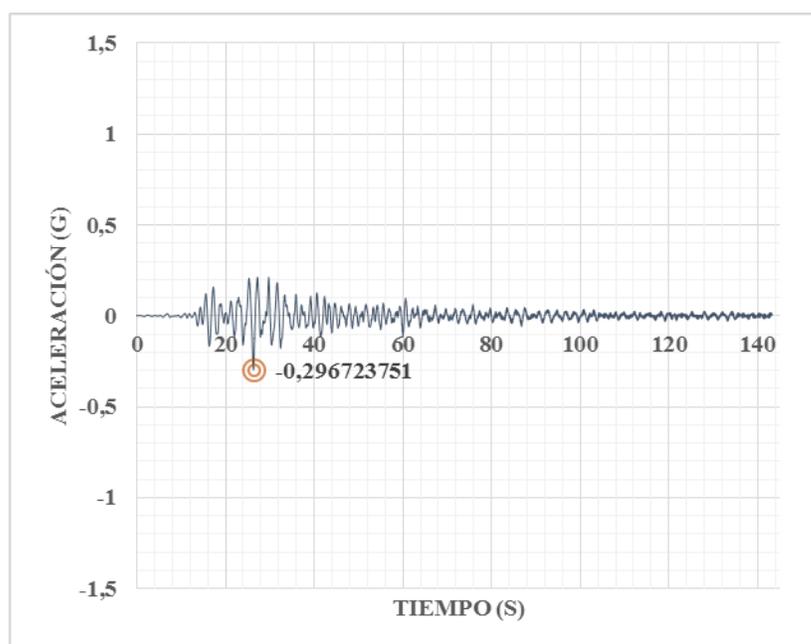


Figura IV-110: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Constitución.

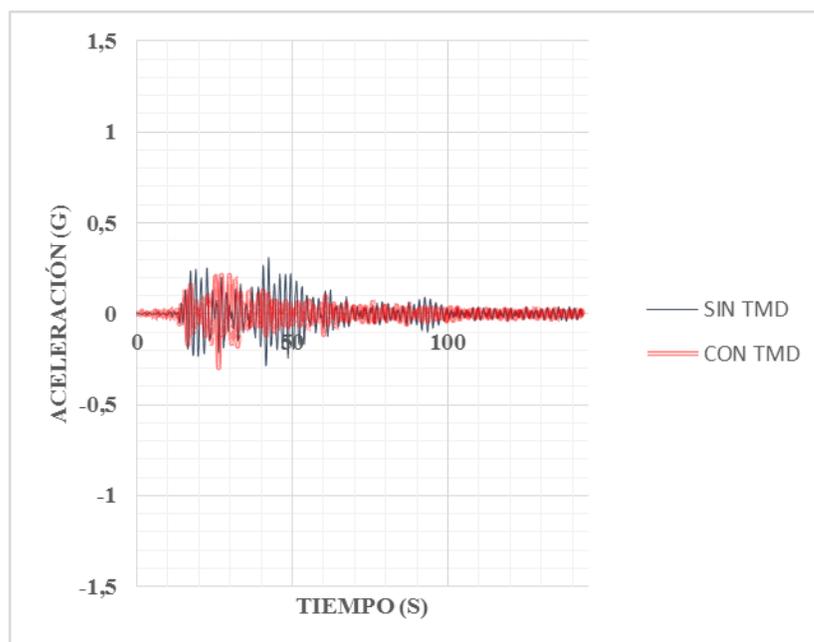


Figura IV-111: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.

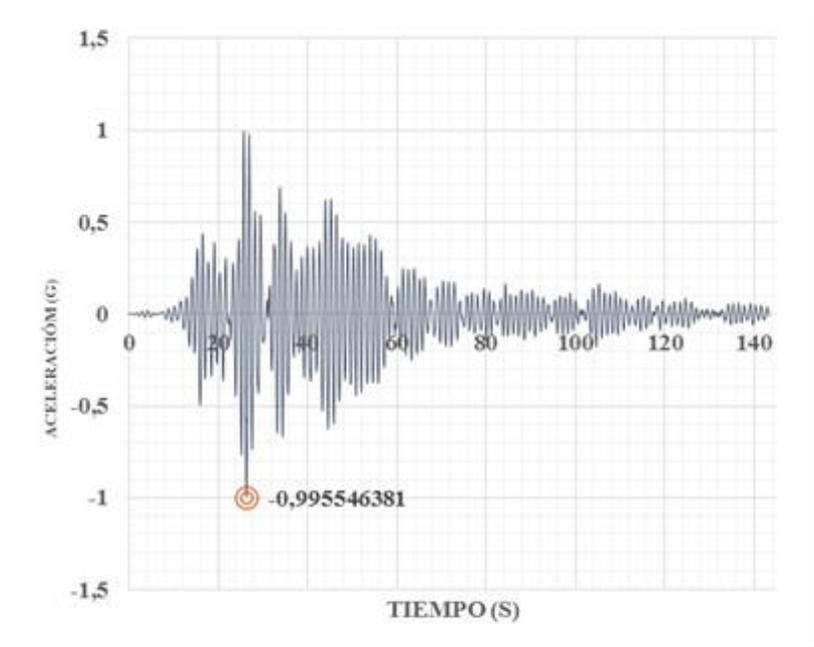


Figura IV-112: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

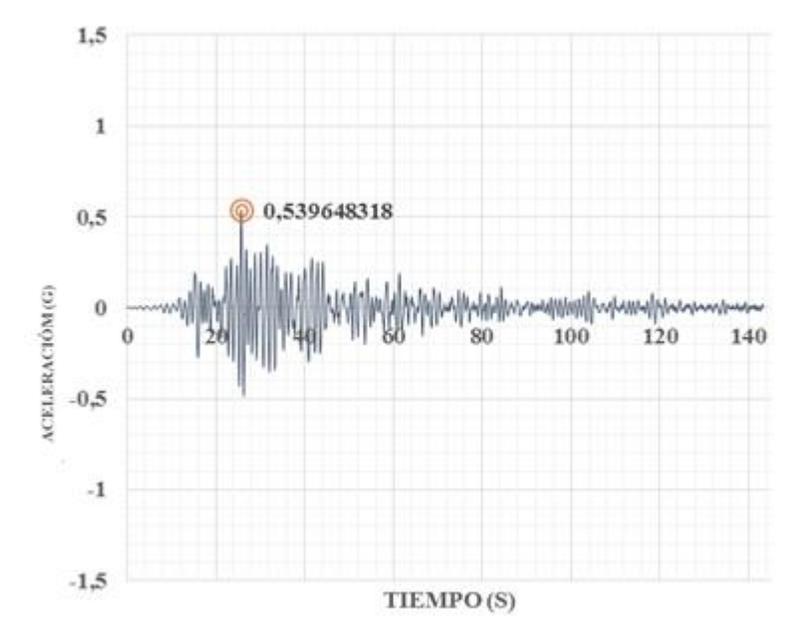


Figura IV-113: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Constitución.

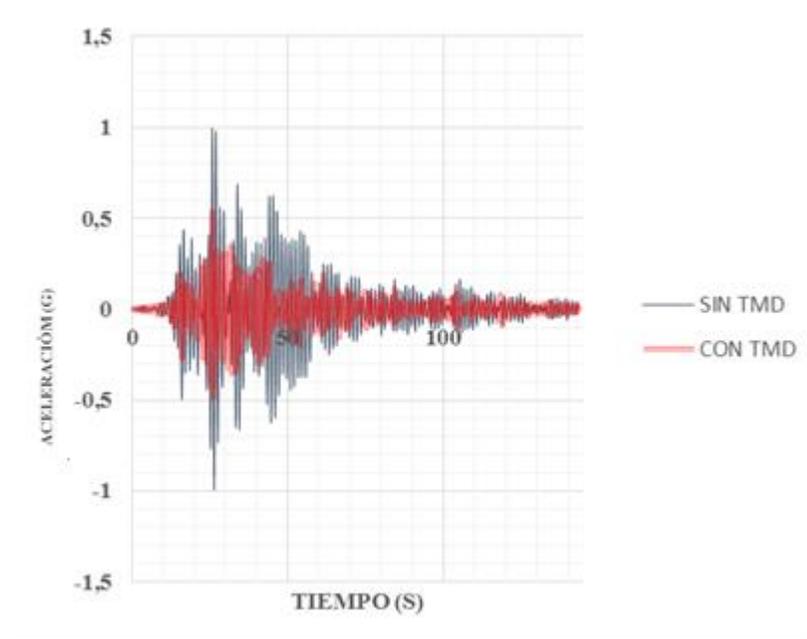


Figura IV-114: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.

IV.2.2.3 Registro de Lloleo

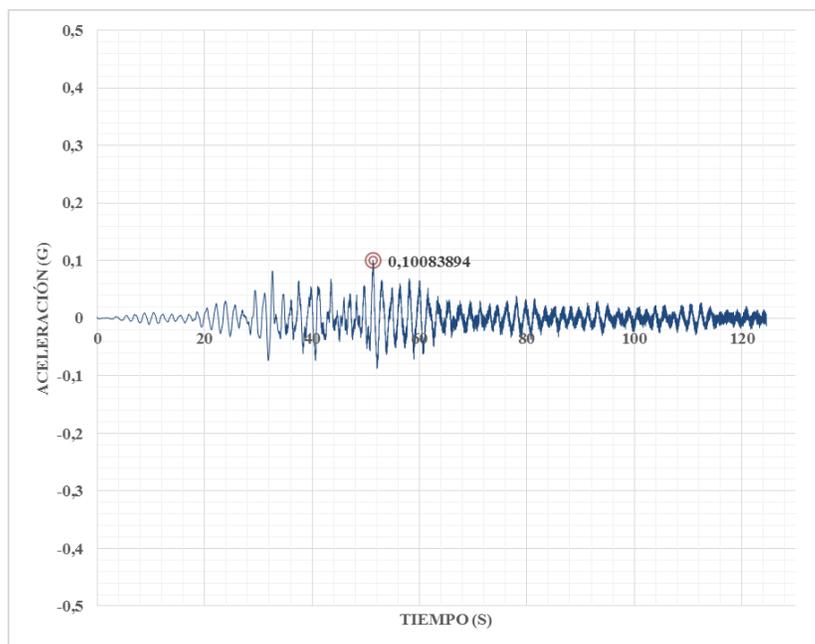


Figura IV-115: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos sin TMD. Lloleo.

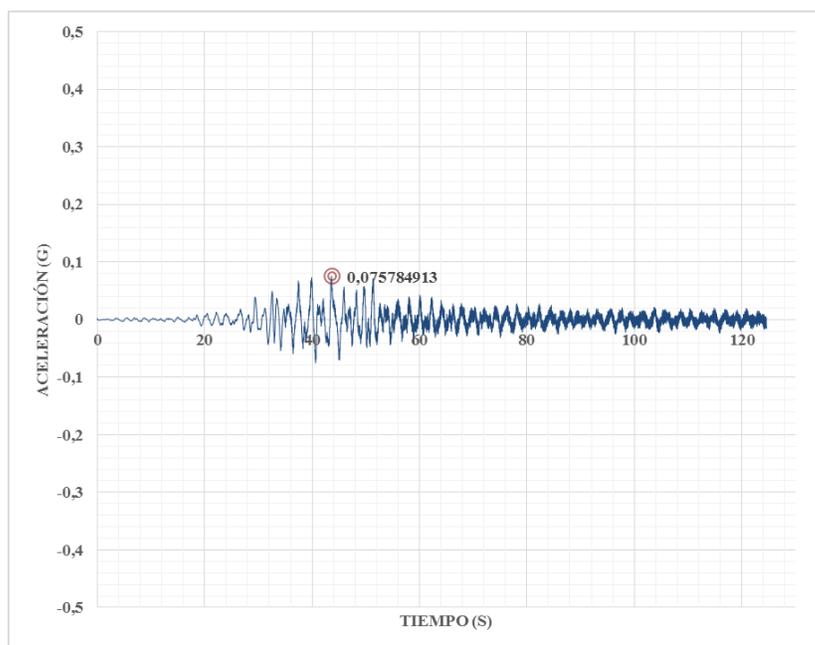


Figura IV-116: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos con TMD. Lloleo.

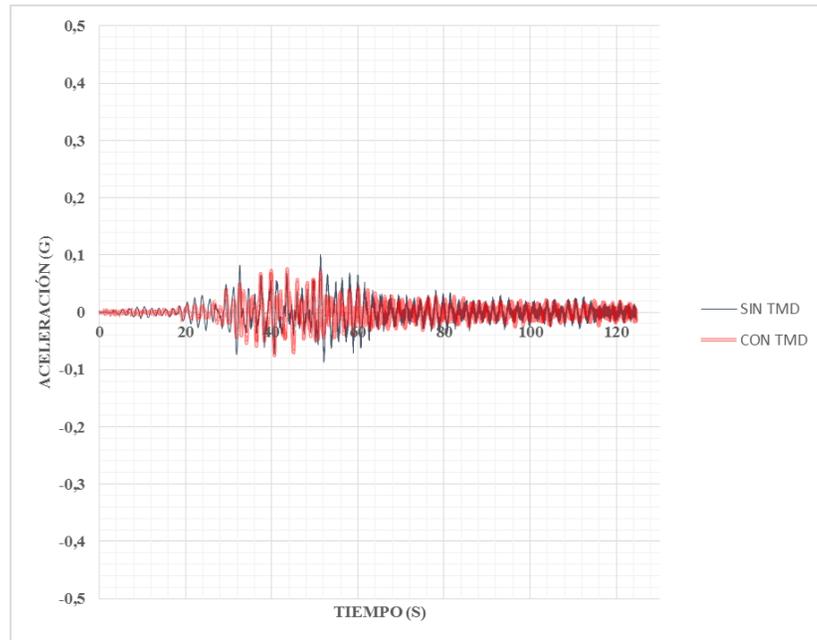


Figura IV-117: Aceleración del tablero en x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lollo.

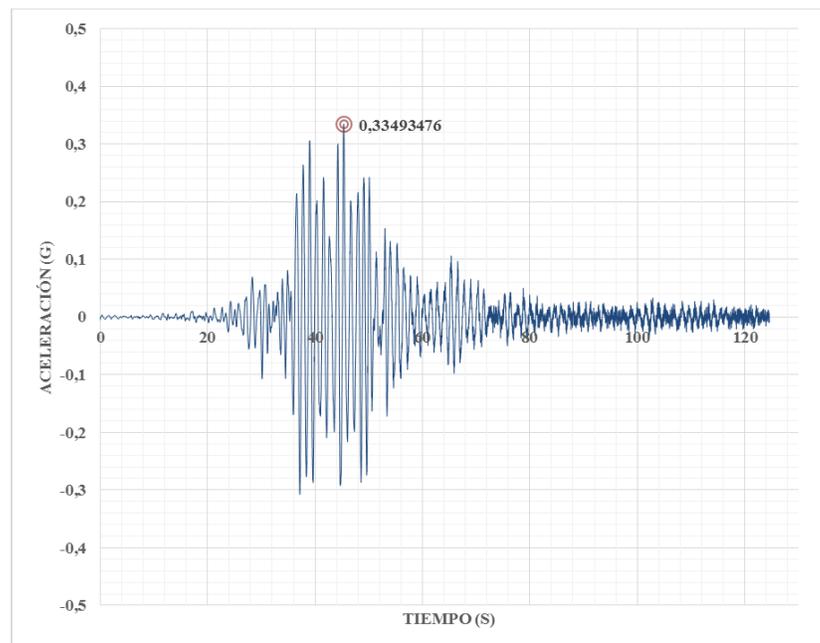


Figura IV-118: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos sin TMD. Lollo.

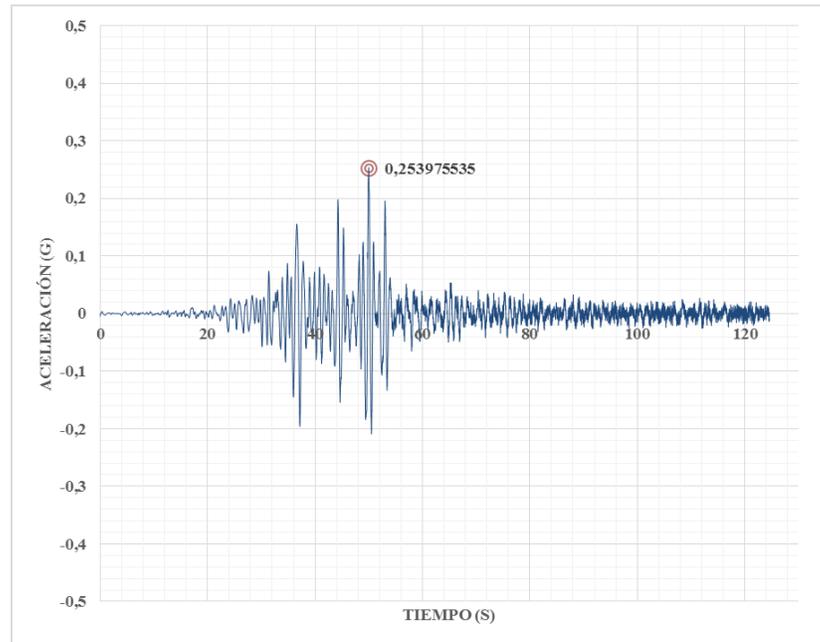


Figura IV-119: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos con TMD. Lloleo.

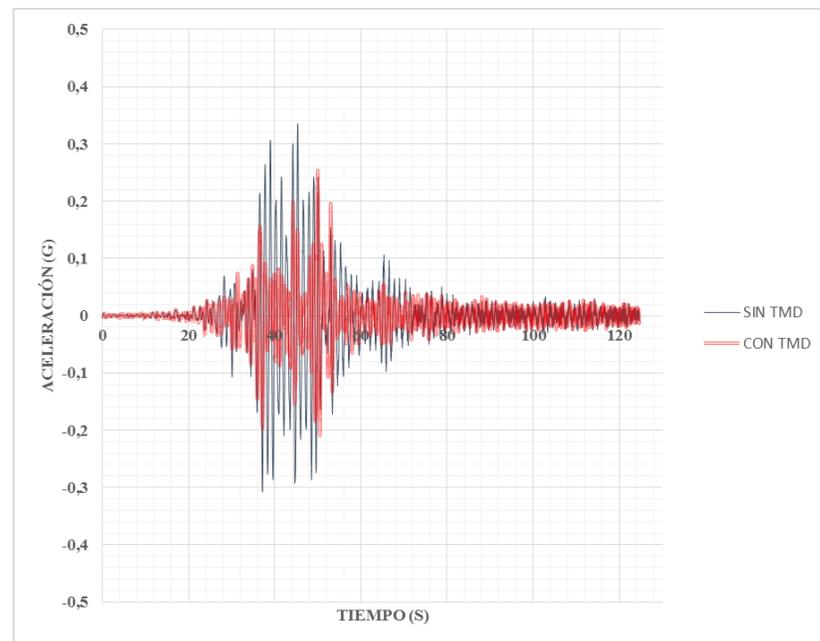


Figura IV-120: Aceleración del tablero en y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lloleo.

IV.3 Espectro de respuesta de aceleración en tablero

IV.3.1 Modelo sin brazos

IV.3.1.1 Registro de Concepción

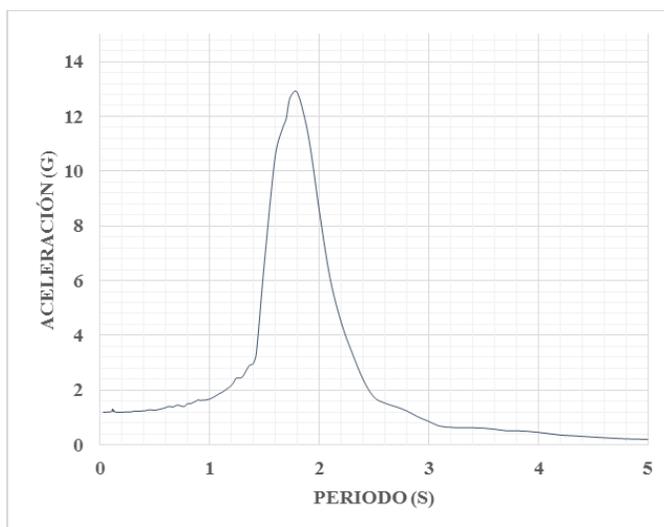


Figura IV-121: Espectro de respuesta de aceleración en tablero, dirección x, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.

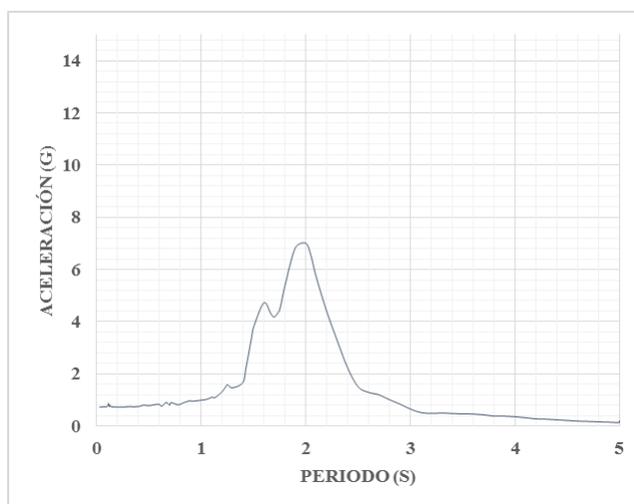


Figura IV-122: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos con TMD. Concepción.

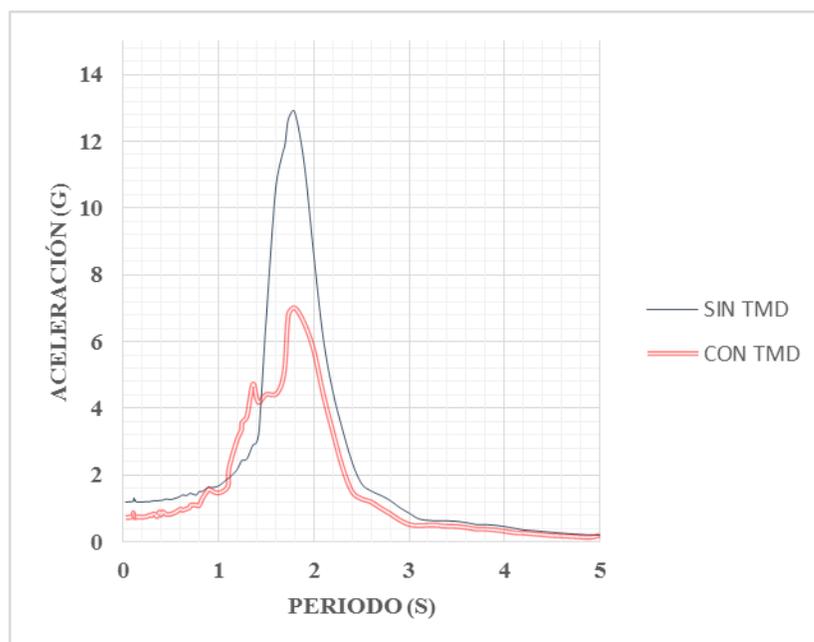


Figura IV-123: Espectro de respuesta de aceleración en tablero, dirección x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.

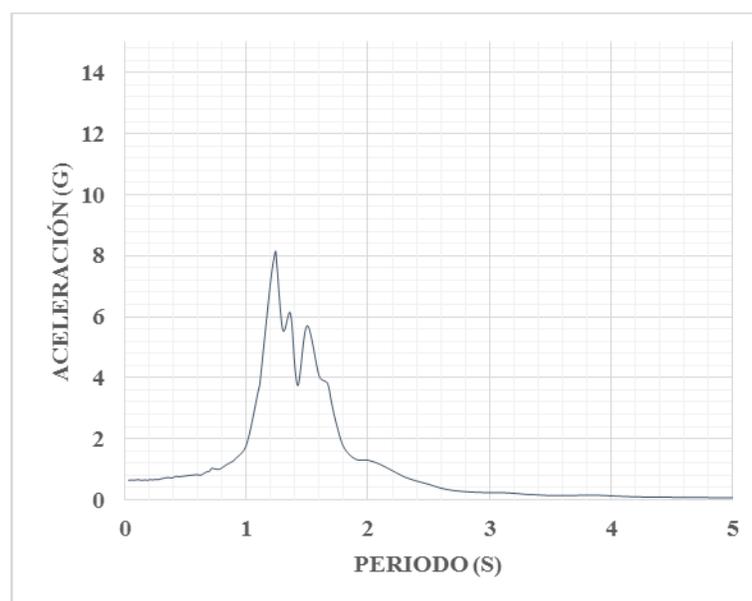


Figura IV-124: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.

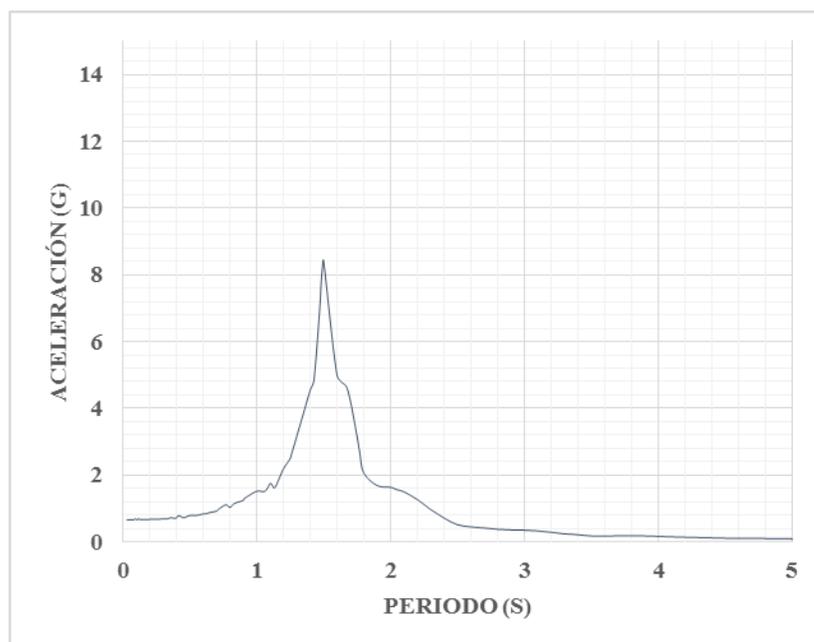


Figura IV-125: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos con TMD. Concepción.

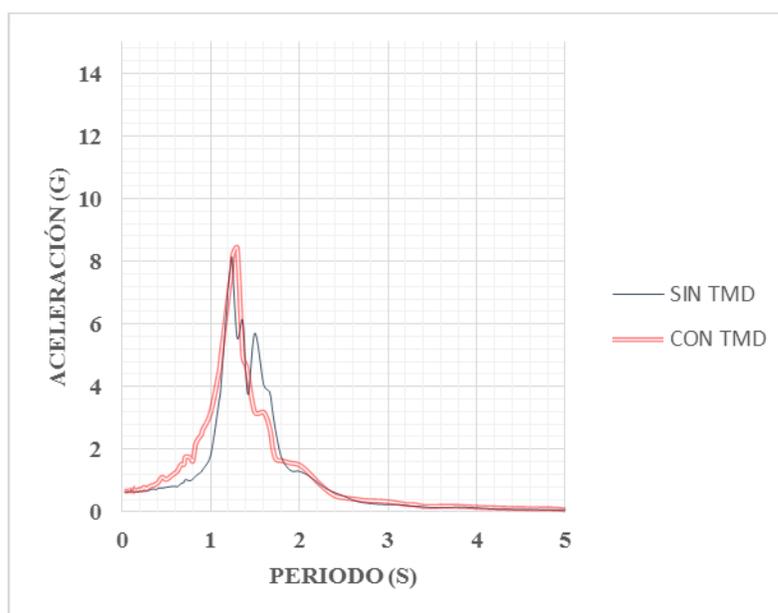


Figura IV-126: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Concepción.

IV.3.1.2 Registro de Constitución

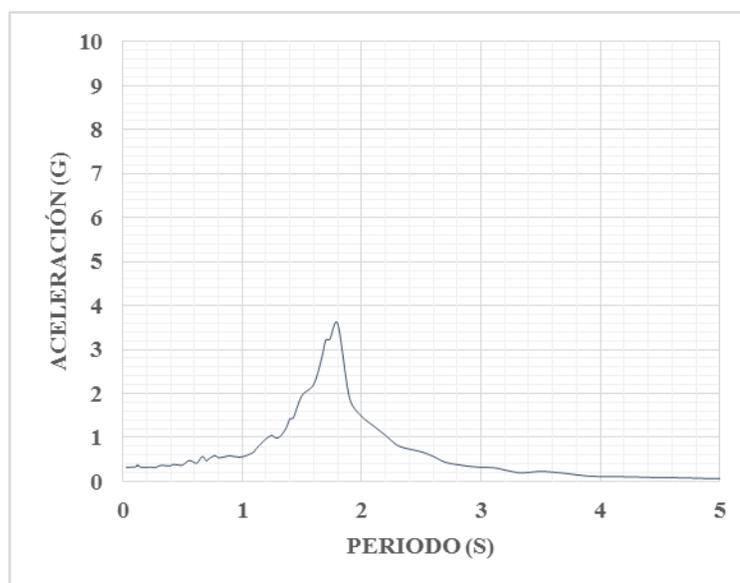


Figura IV-127: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

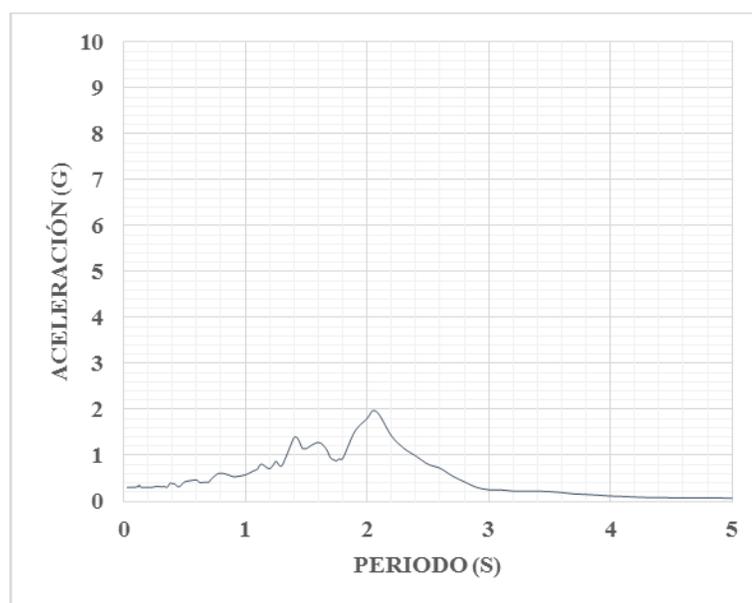


Figura IV-128: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

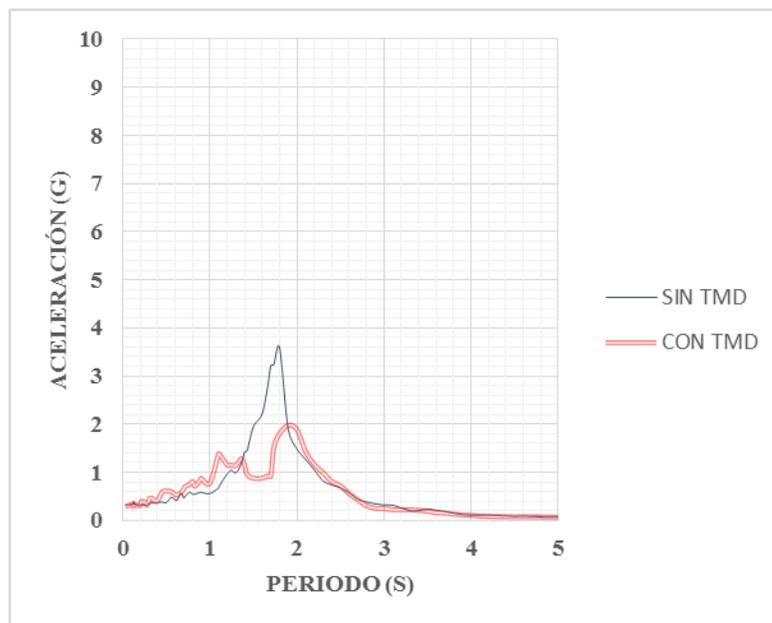


Figura IV-129: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Constitución

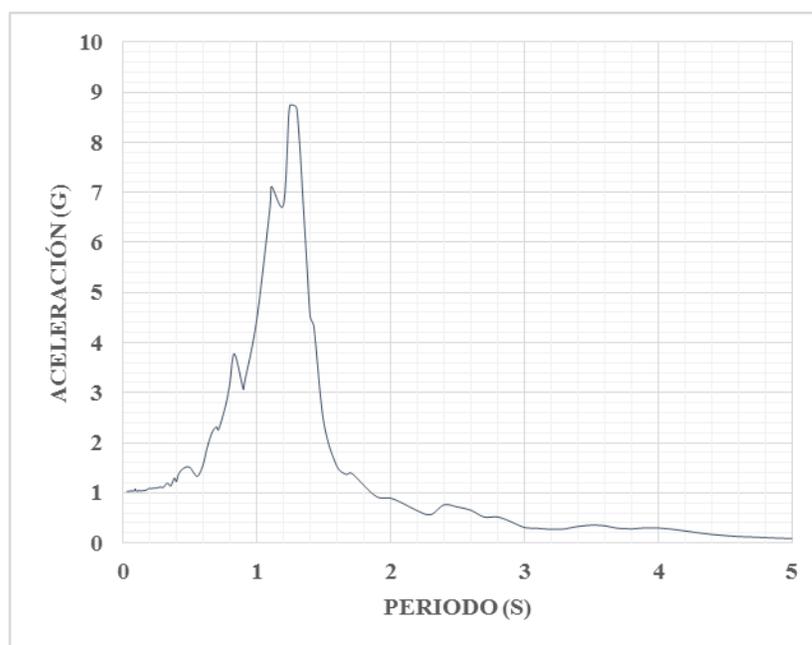


Figura IV-130: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

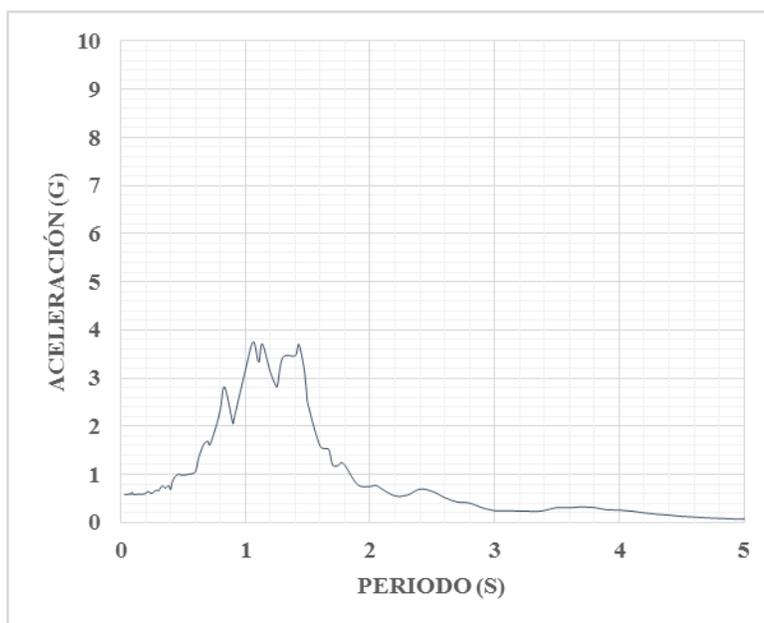


Figura IV-131: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

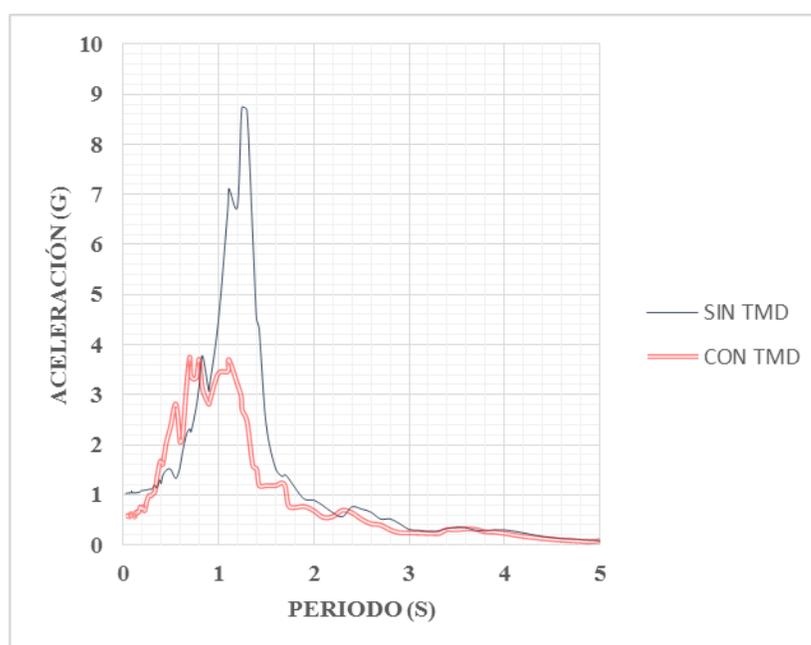


Figura IV-132: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazo, comparación de respuesta. Constitución.

IV.3.1.3 Registro de Lolloe

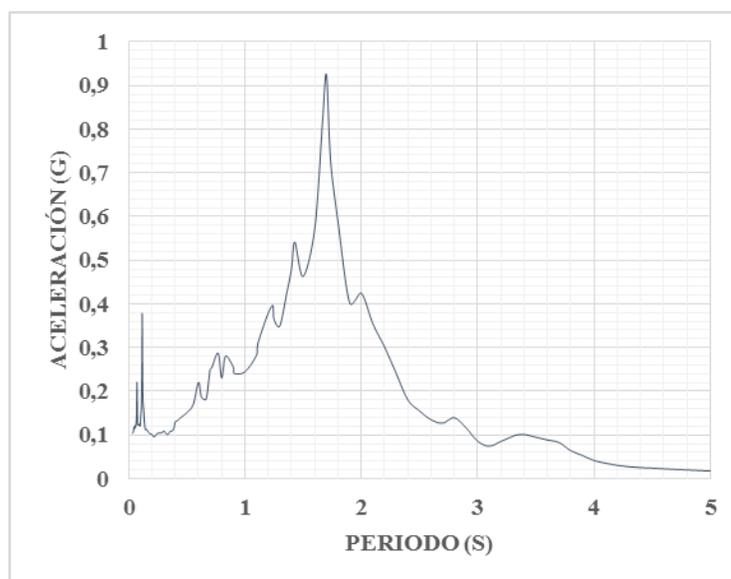


Figura IV-133: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos sin TMD. Lolloe.

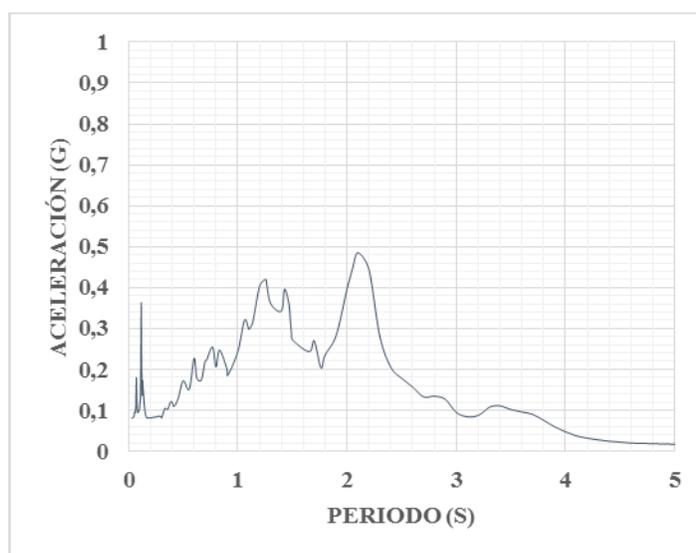


Figura IV-134: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos con TMD. Lolloe.

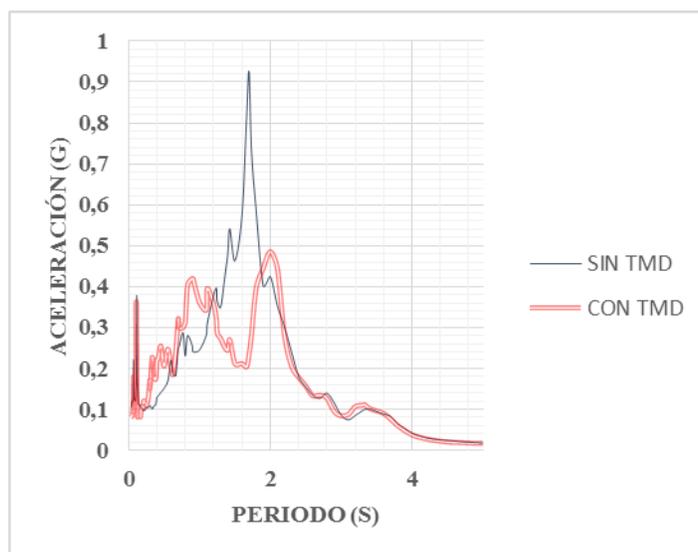


Figura IV-135: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Llollo.

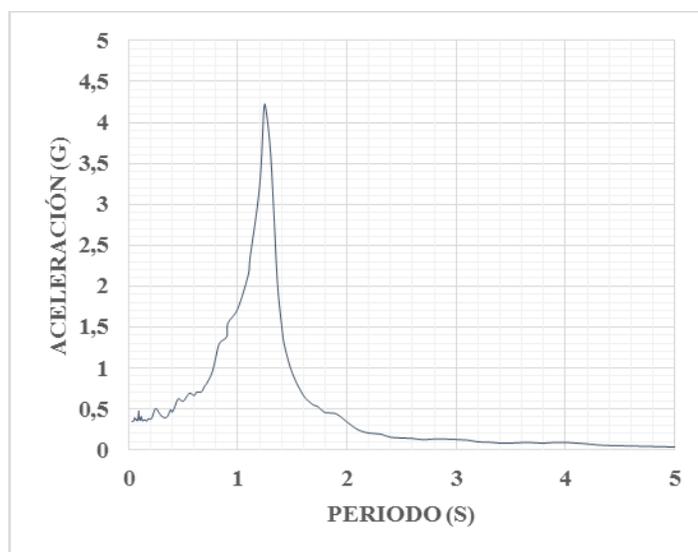


Figura IV-136: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos sin TMD. Llollo.

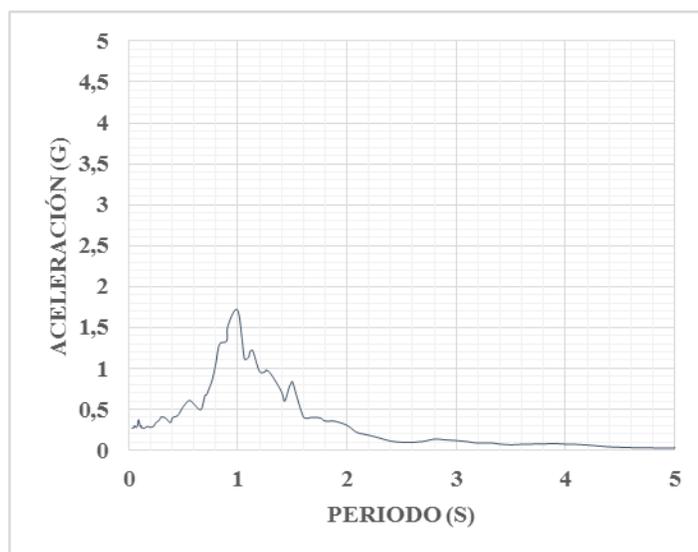


Figura IV-137: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos con TMD. Lolloe.

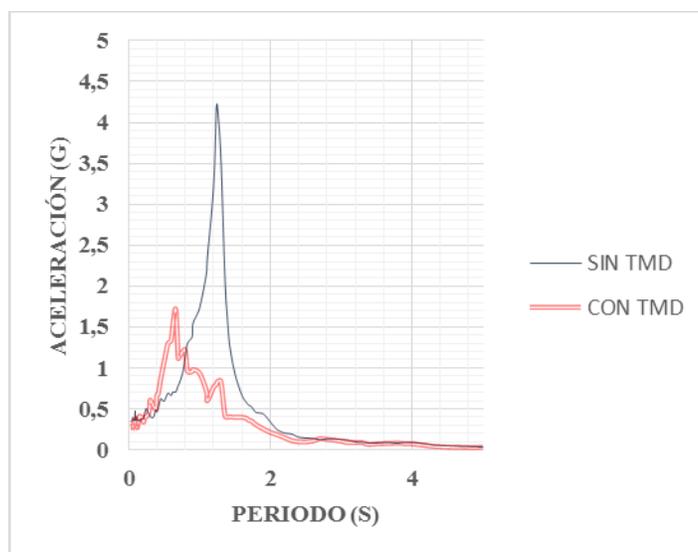


Figura IV-138: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo sin brazos, comparación de respuesta. Lolloe.

IV.3.2 Modelo con brazos

IV.3.2.1 Registro de Concepción

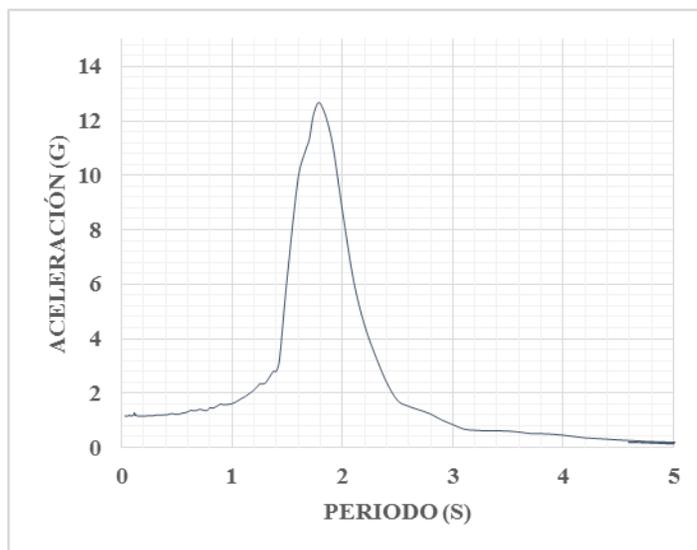


Figura IV-139: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

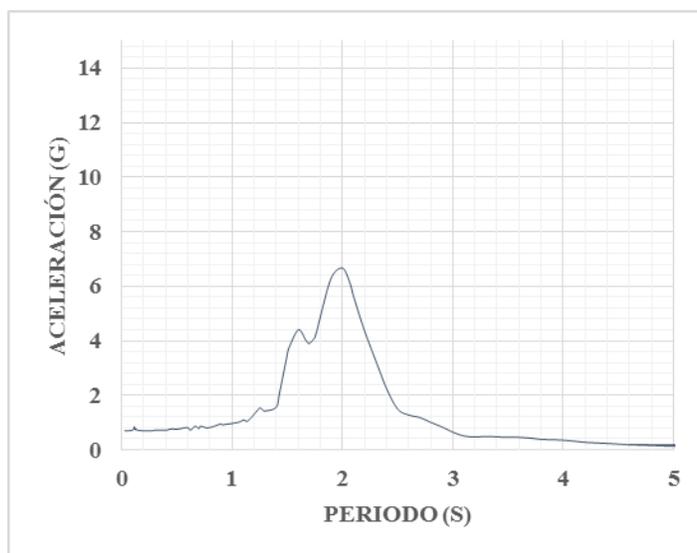


Figura IV-140: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos con TMD. Concepción.

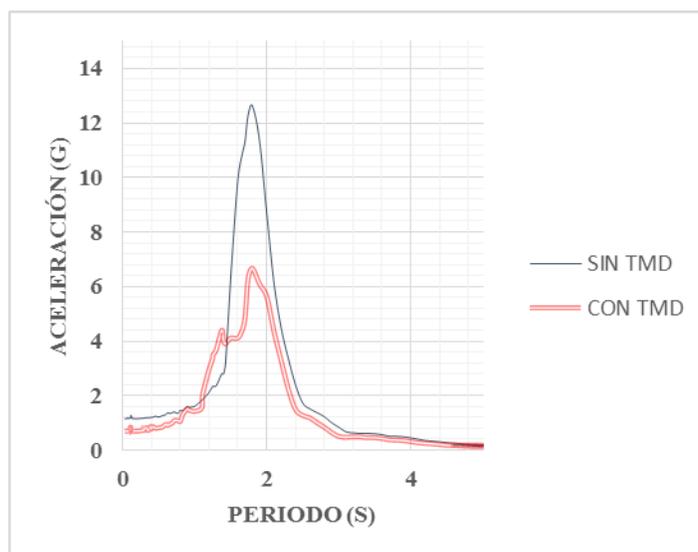


Figura IV-141: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.

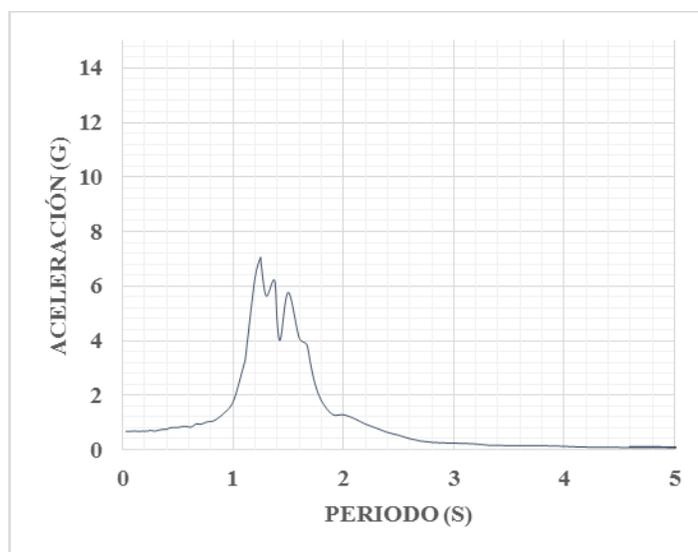


Figura IV-142: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

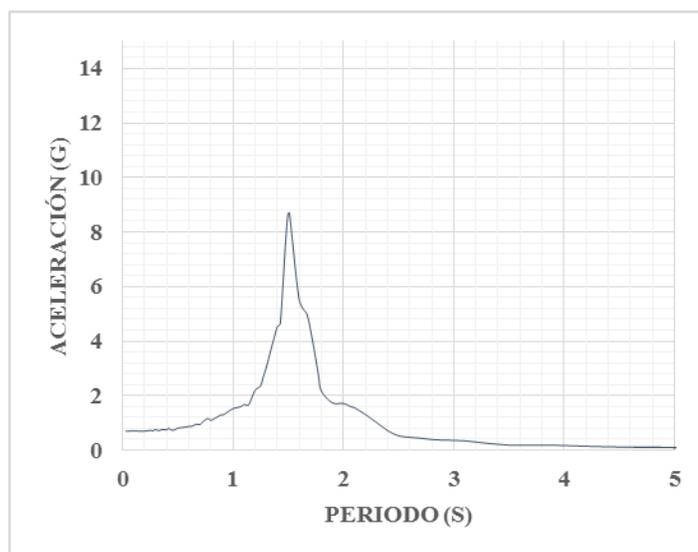


Figura IV-143: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos con TMD. Concepción.

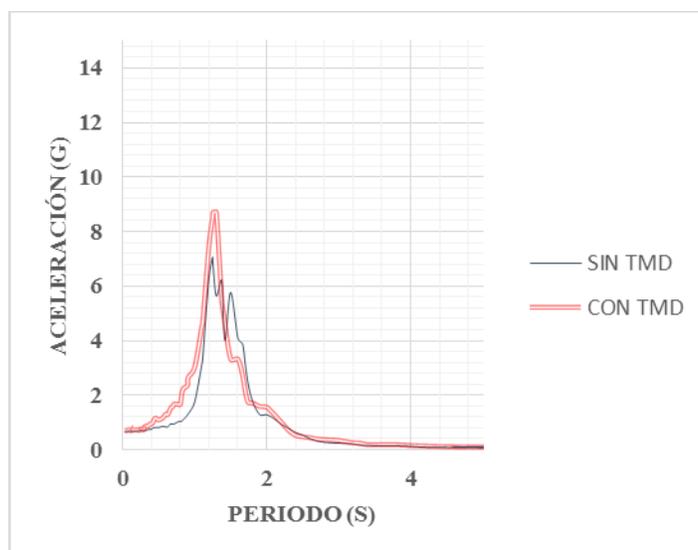


Figura IV-144: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Concepción.

IV.3.2.2 Registro de Constitución

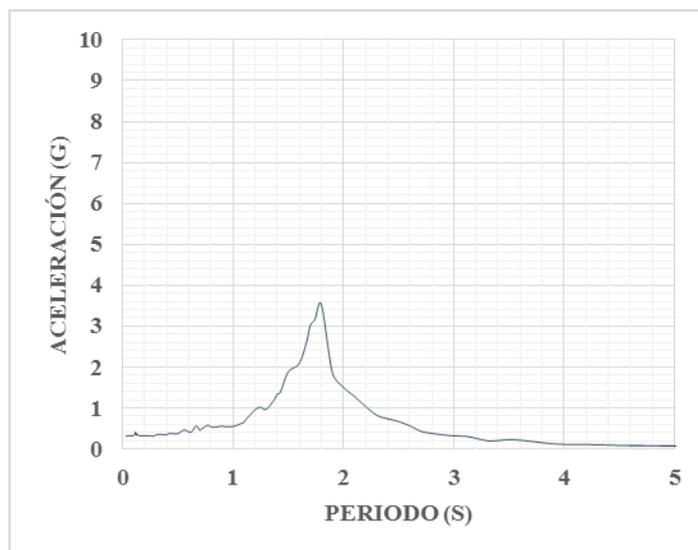


Figura IV-145: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

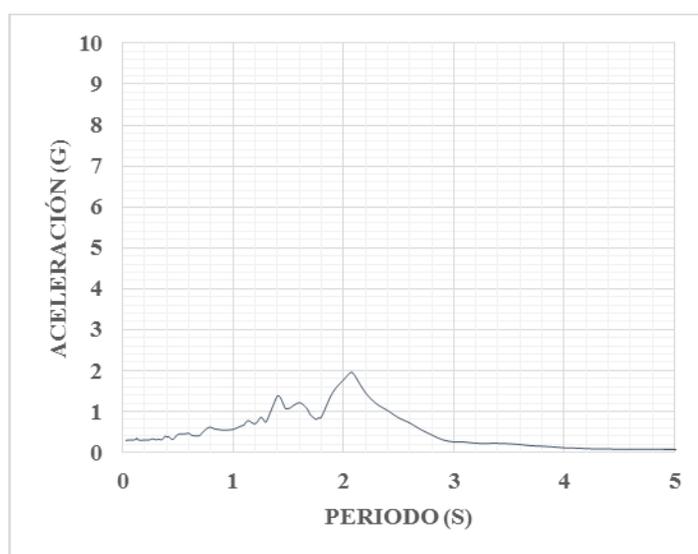


Figura IV-146: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos con TMD. Constitución.

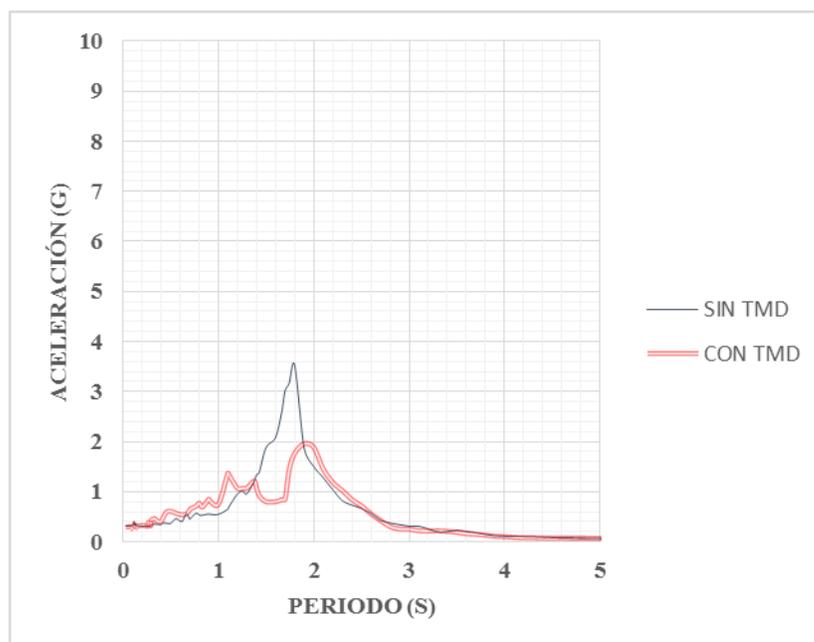


Figura IV-147: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.

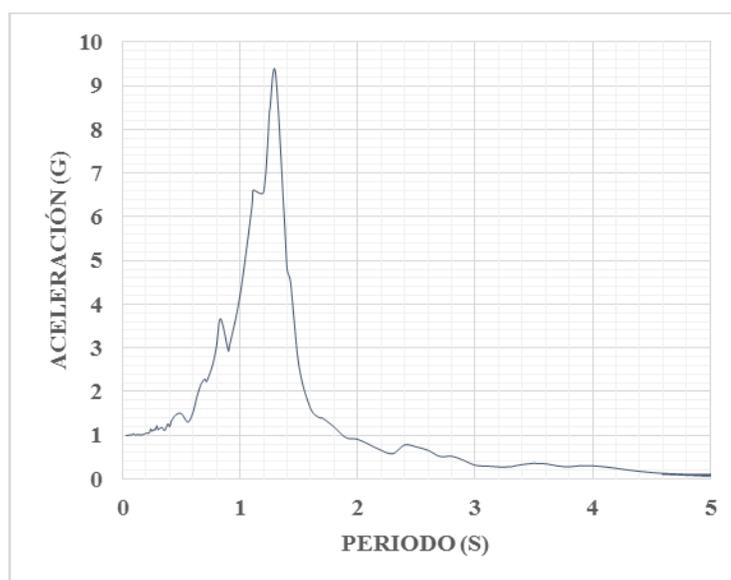


Figura IV-148: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

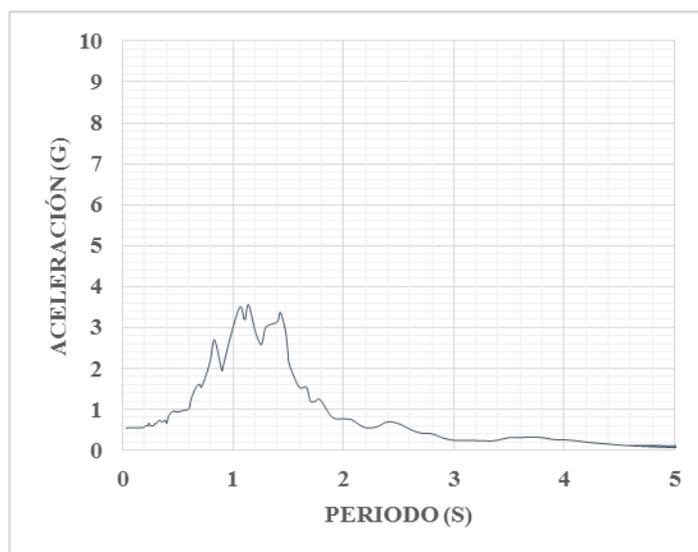


Figura IV-149 : Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos con TMD. Constitución.

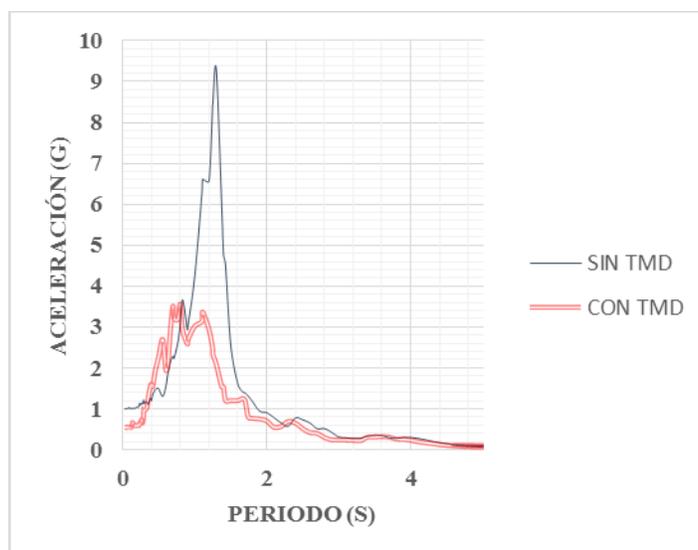


Figura IV-150: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Constitución.

IV.3.2.3 Registro de Llolleo

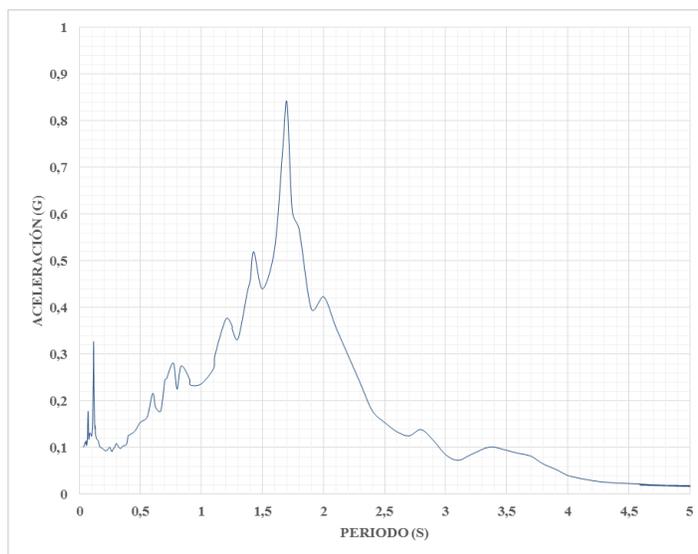


Figura IV-151: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.

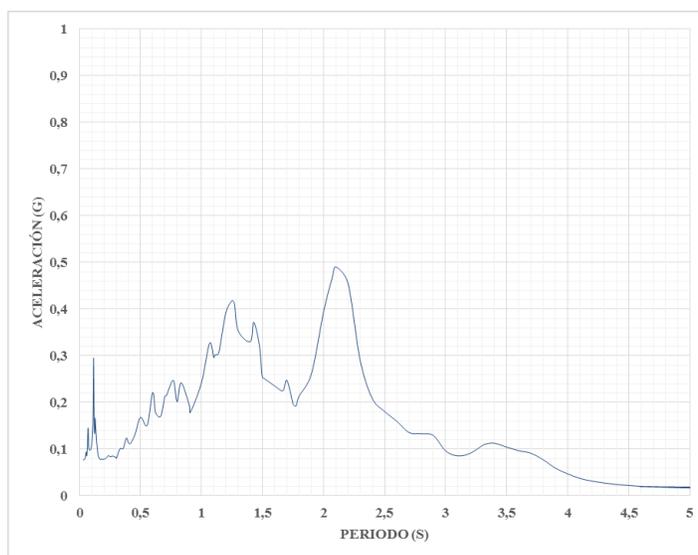


Figura IV-152: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos con TMD. Llolleo.

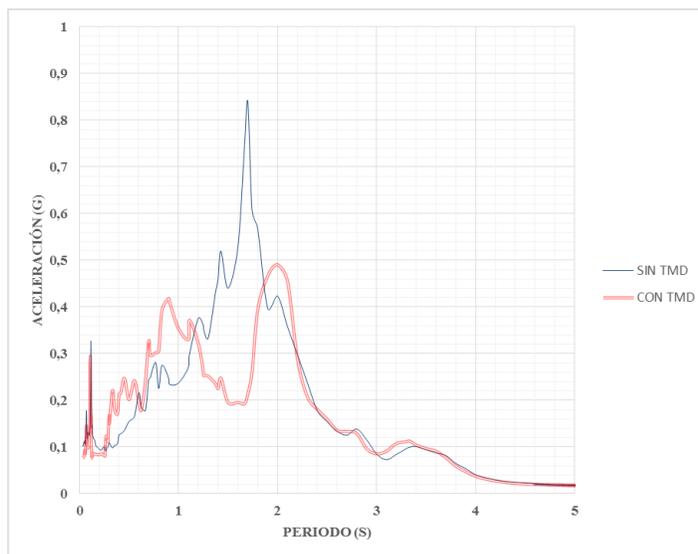


Figura IV-153: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección x, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lolloe.

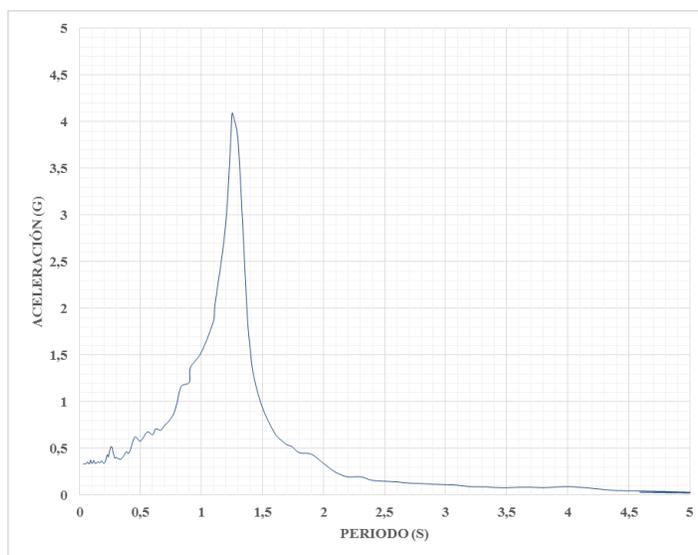


Figura IV.154: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos sin TMD. Lolloe.

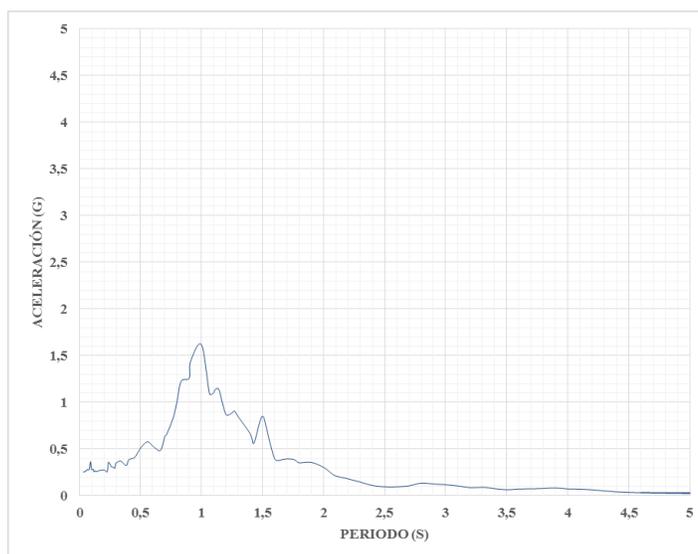


Figura IV-155: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos con TMD. Lolloe.

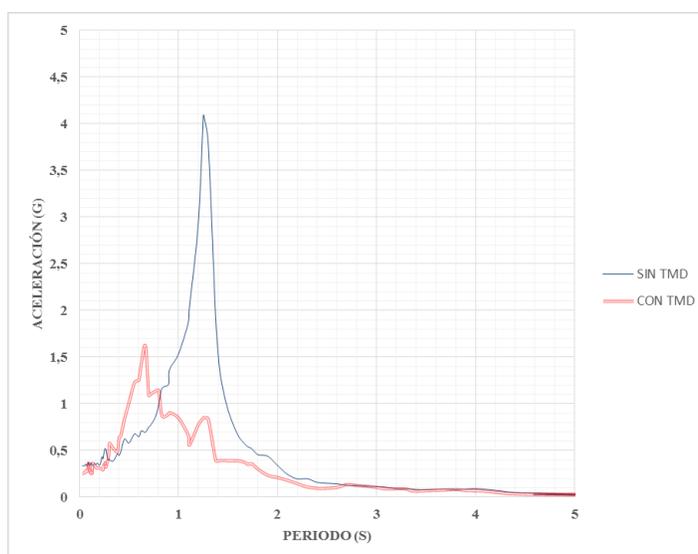


Figura IV-156: Espectro de respuesta de aceleración en tablero dirección y, modelo con brazos, comparación de respuesta. Lolloe.

IV.4 Esfuerzo Axial en Pilote

IV.4.1 Modelo sin brazos

IV.4.1.1 Registro de Concepción

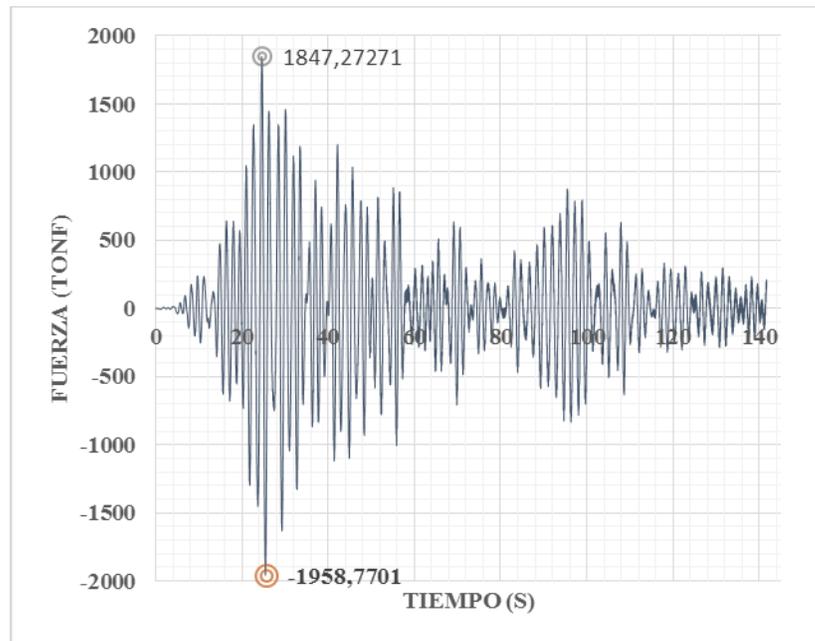


Figura IV-157: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos sin TMD. Concepción.

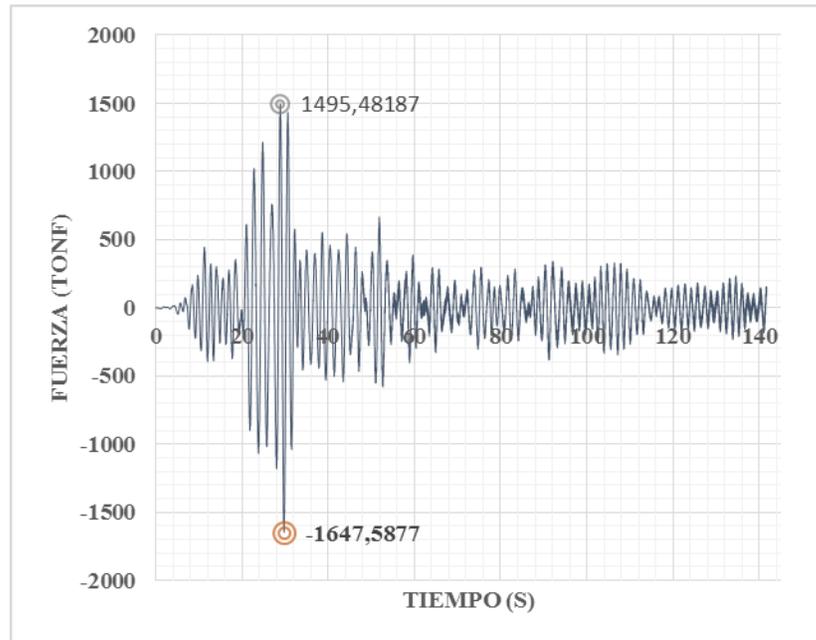


Figura IV-158: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos con TMD. Concepción.

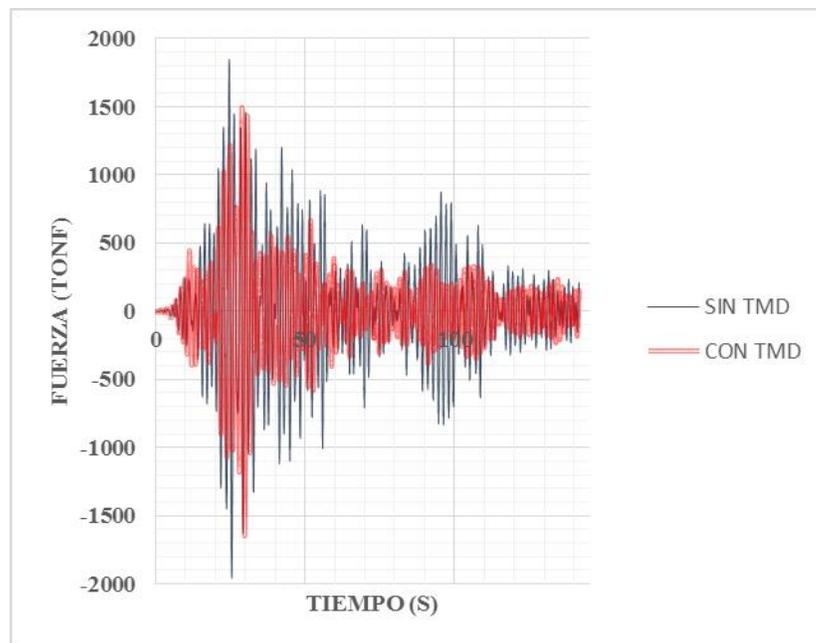


Figura IV-159: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Concepción.

IV.4.1.2 Registro de Constitución

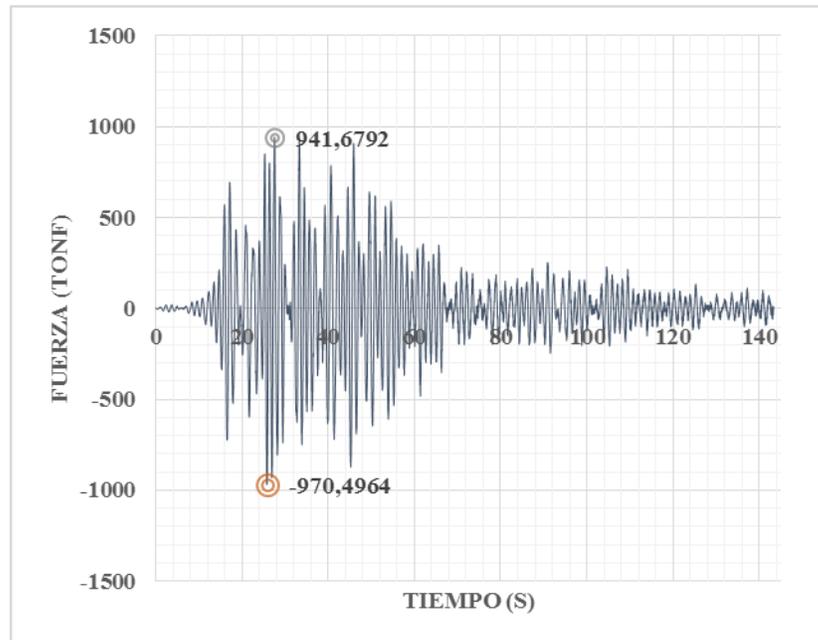


Figura IV-160: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos sin TMD. Constitución.

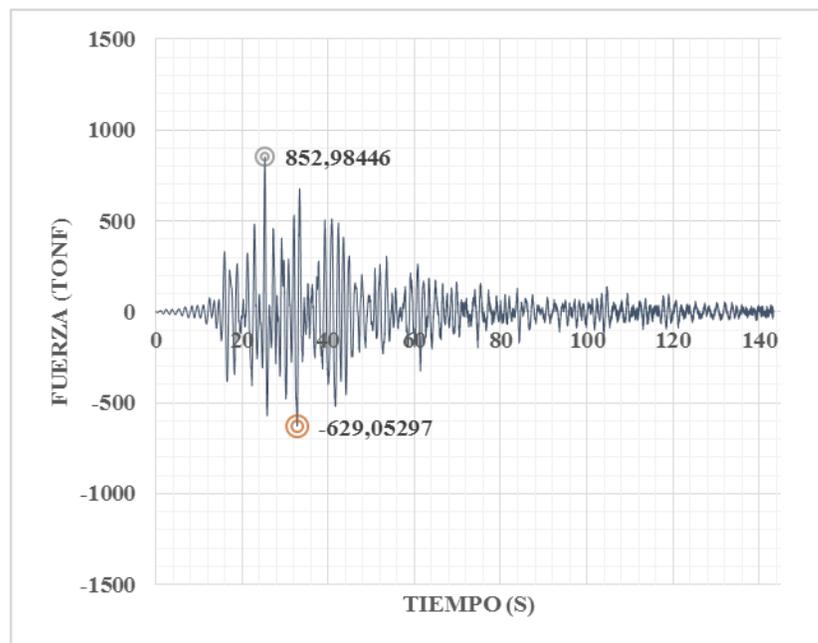


Figura IV-161: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos con TMD. Constitución.

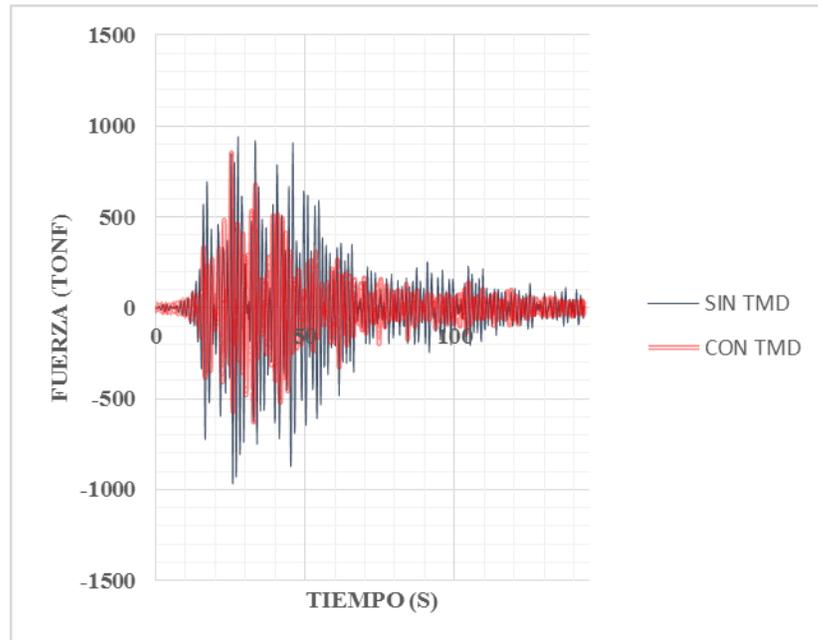


Figura IV-162: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Constitución.

IV.4.1.3 Registro de Llolleo

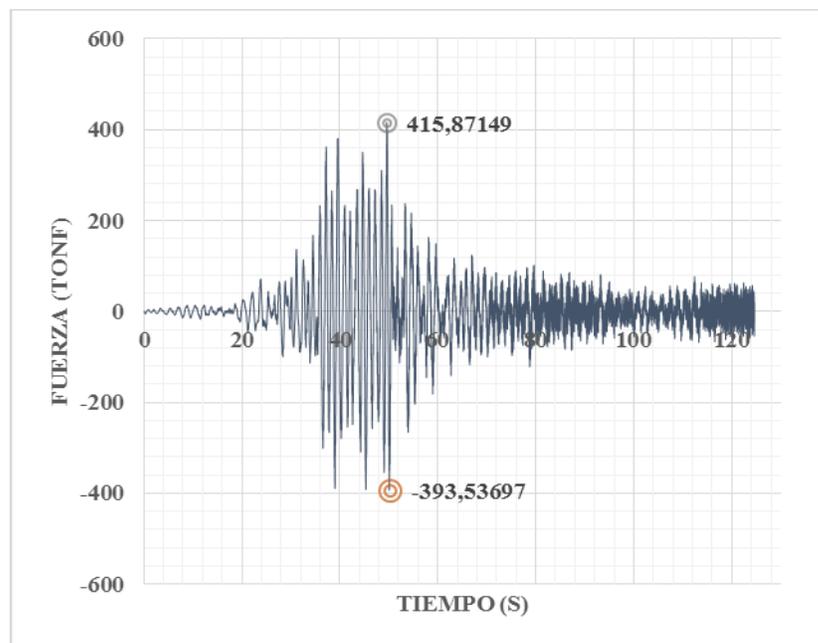


Figura IV-163: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos sin TMD. Llolleo.

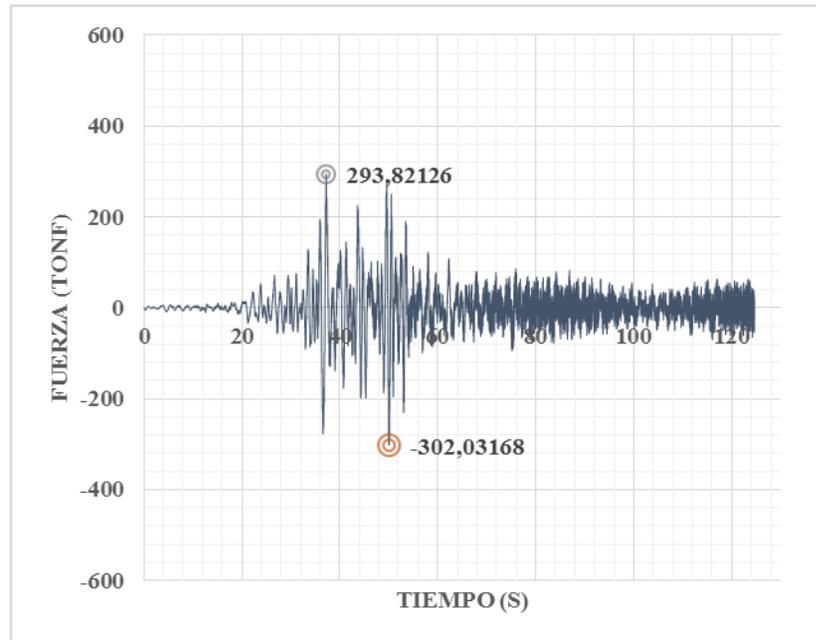


Figura IV-164: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos con TMD. Lolloe.

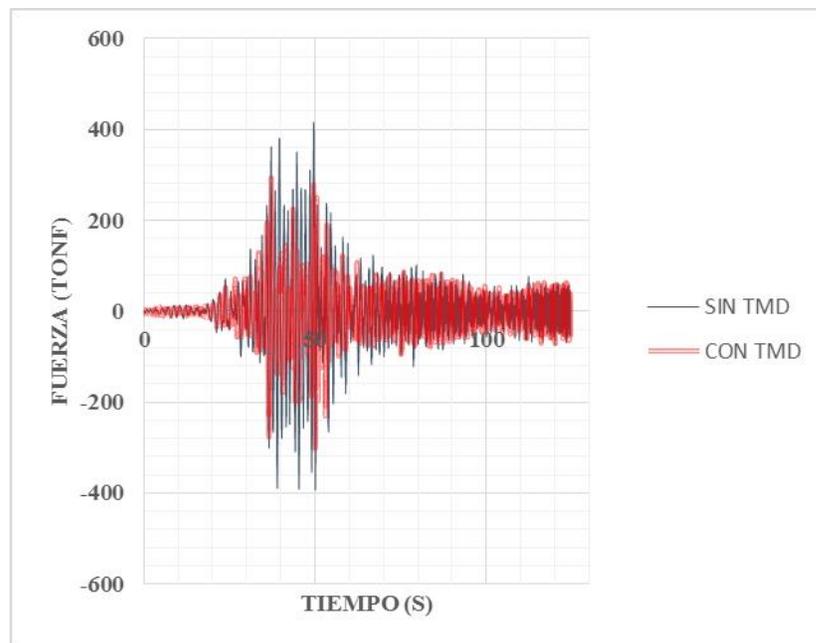


Figura IV-165: Esfuerzo axial en pilote, modelo sin brazos, comparación de respuesta.

Lolloe.

IV.4.2 Modelo con brazos

IV.4.2.1 Registro de Concepción

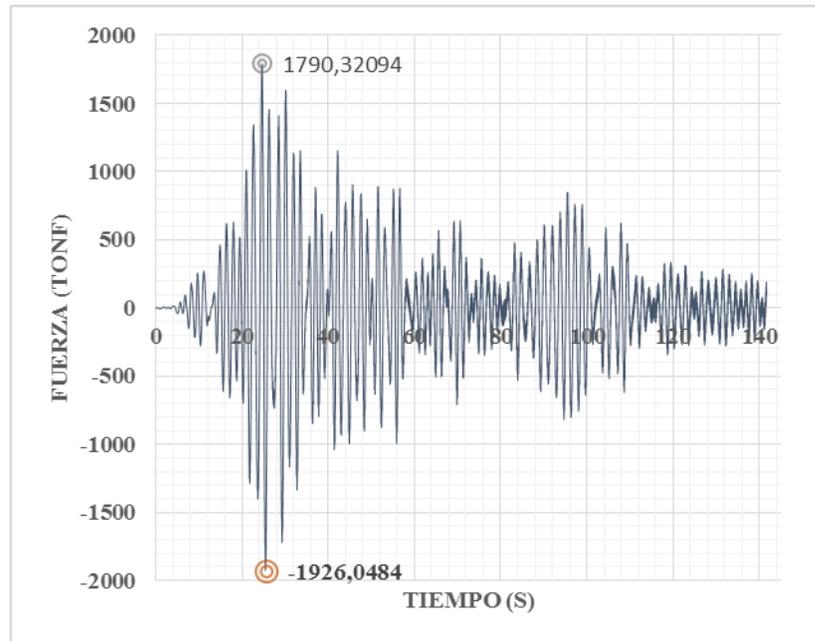


Figura IV-166: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos sin TMD. Concepción.

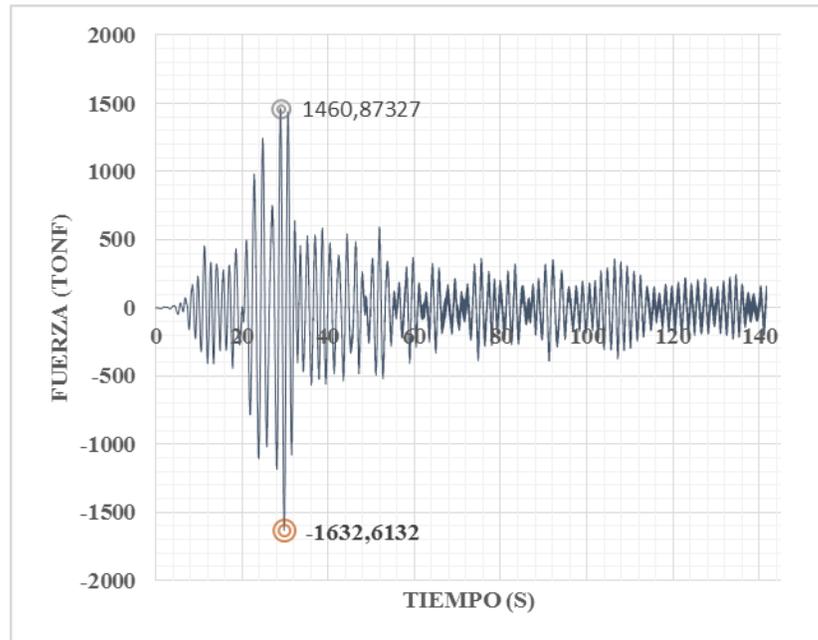


Figura IV-167: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos con TMD. Concepción.

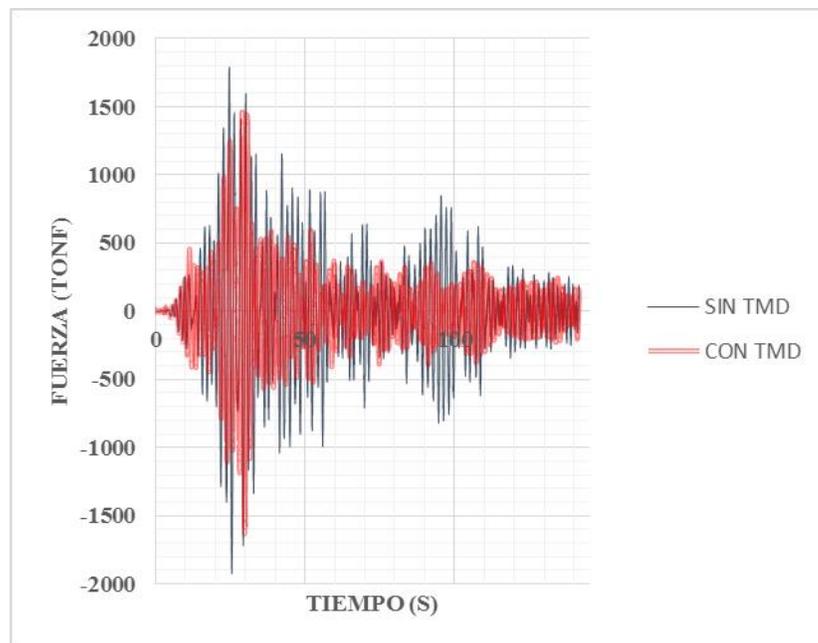


Figura IV-168: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos, comparación de respuesta.

Concepción.

IV.4.2.2 Registro de Constitución

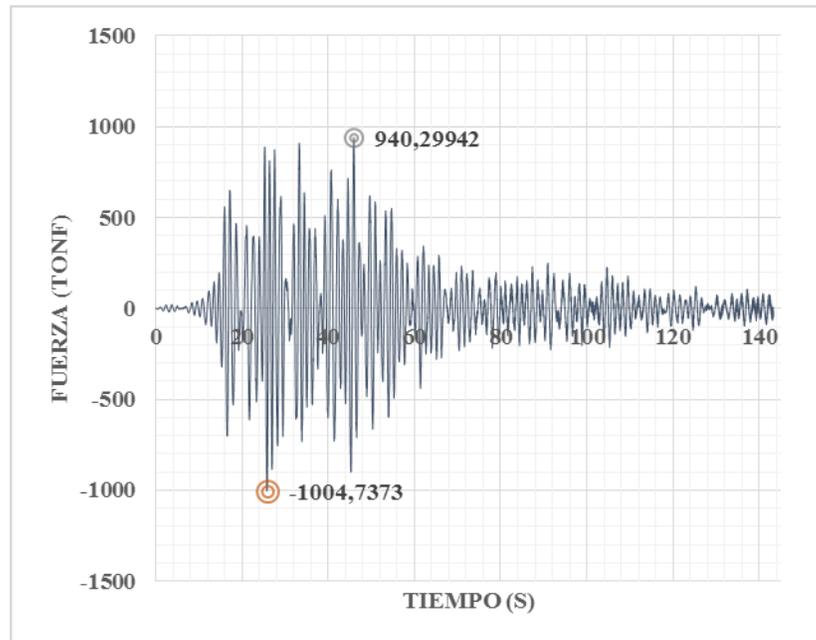


Figura IV-169: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos sin TMD. Constitución.

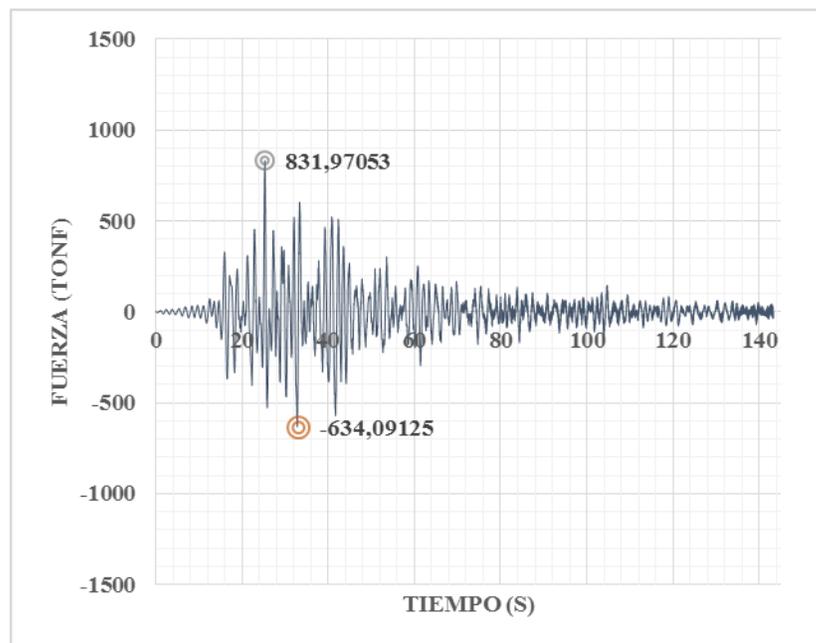


Figura IV-170: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos con TMD. Constitución.

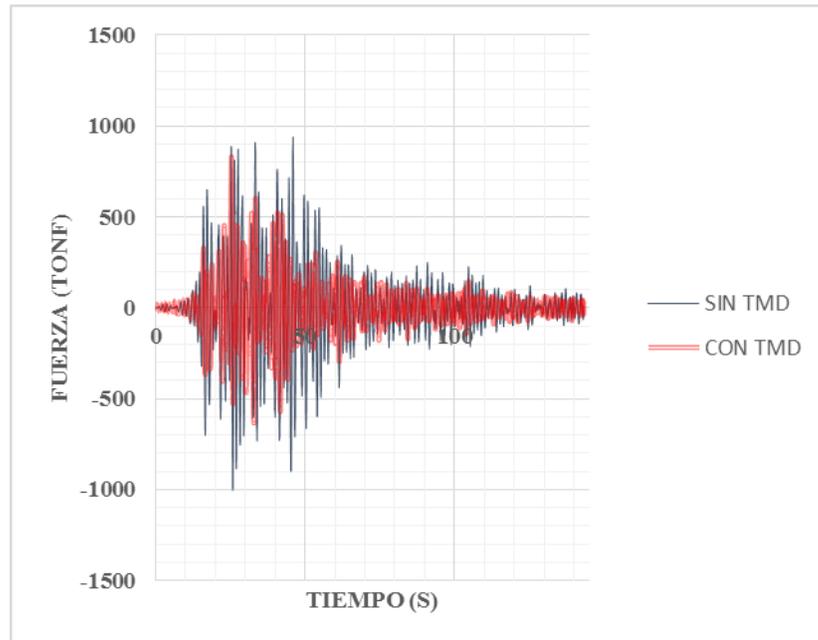


Figura IV-171: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos, comparación de respuesta.

Constitución.

IV.4.2.3 Registro de Llolleo

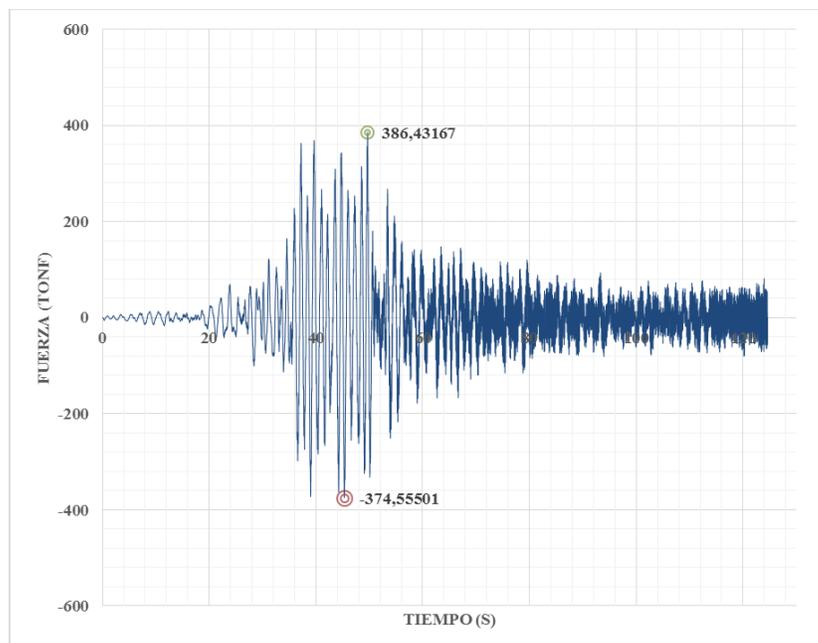


Figura IV-172: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos sin TMD. Llolleo.

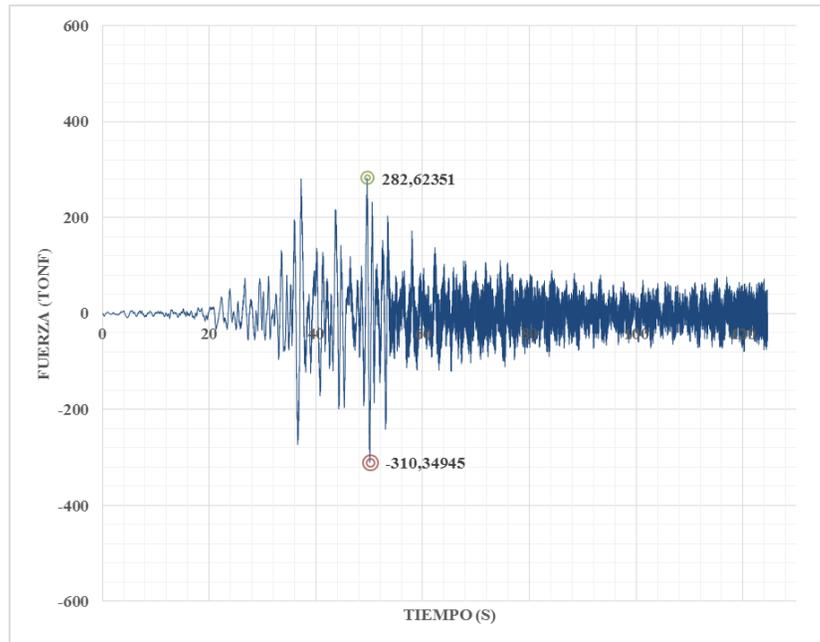


Figura IV-173: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos con TMD. Lollole.

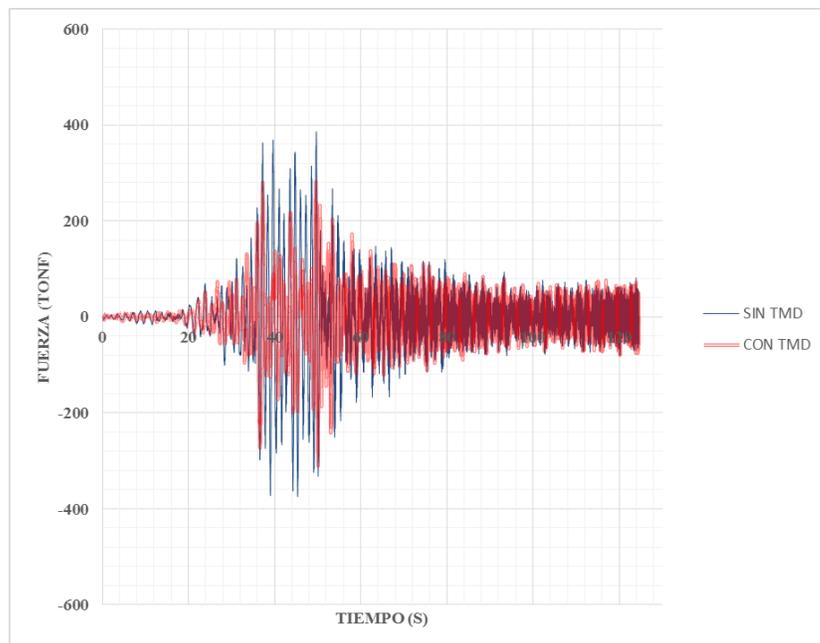


Figura IV-174: Esfuerzo axial en pilote, modelo con brazos, comparación de respuesta.

Lollole.

IV.5 Desplazamiento en extremo de brazos

IV.5.1 Modelo con brazos

IV.5.1.1 Registro de Concepción

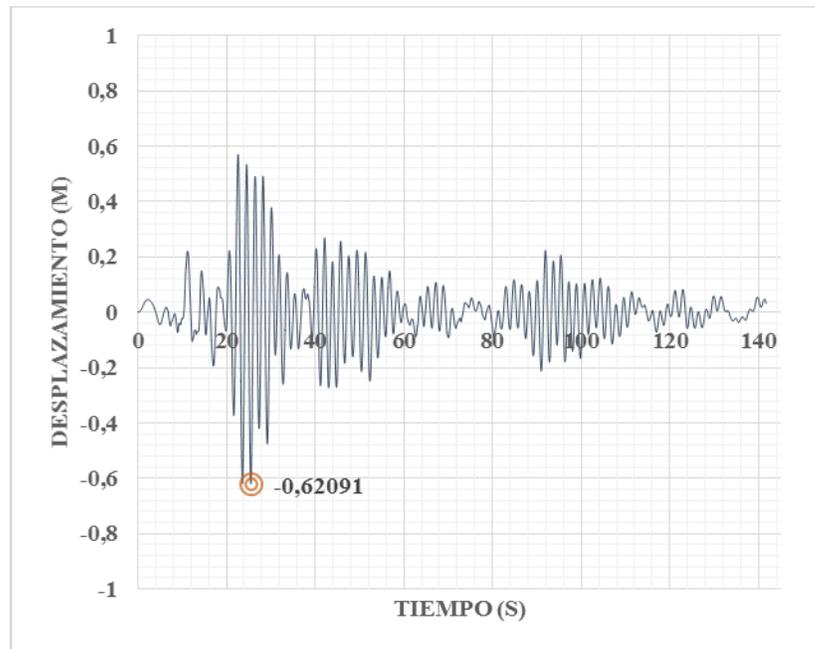


Figura IV-175: Desplazamiento del brazo en x, modelo sin TMD. Concepción

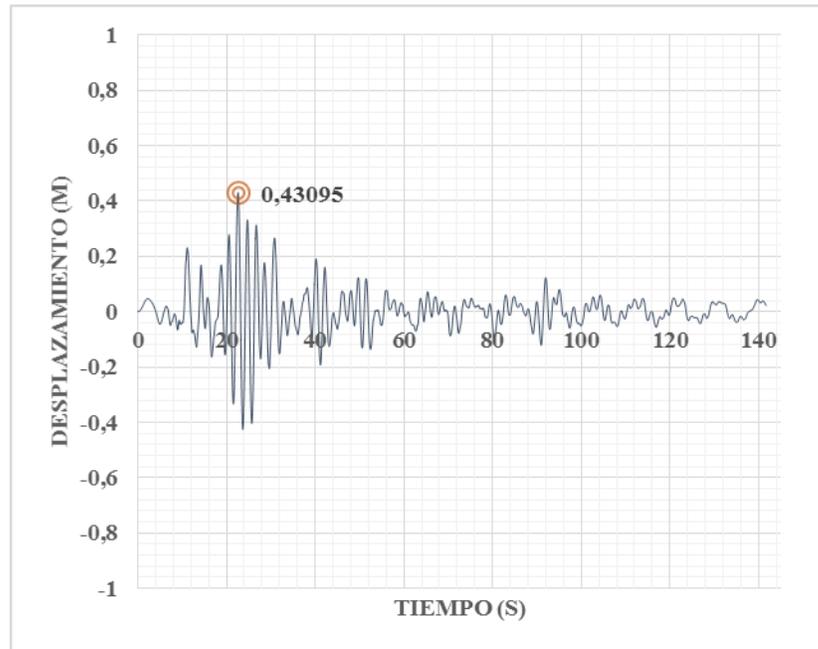


Figura IV-176: Desplazamiento del brazo en x, modelo con TMD. Concepción

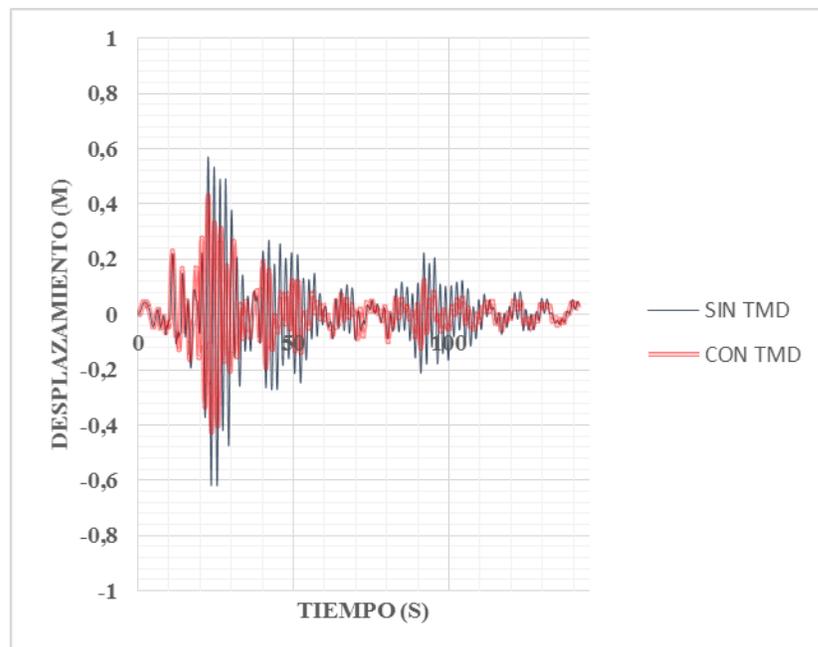


Figura IV-177: Desplazamiento del brazo en x, comparación de respuesta. Concepción

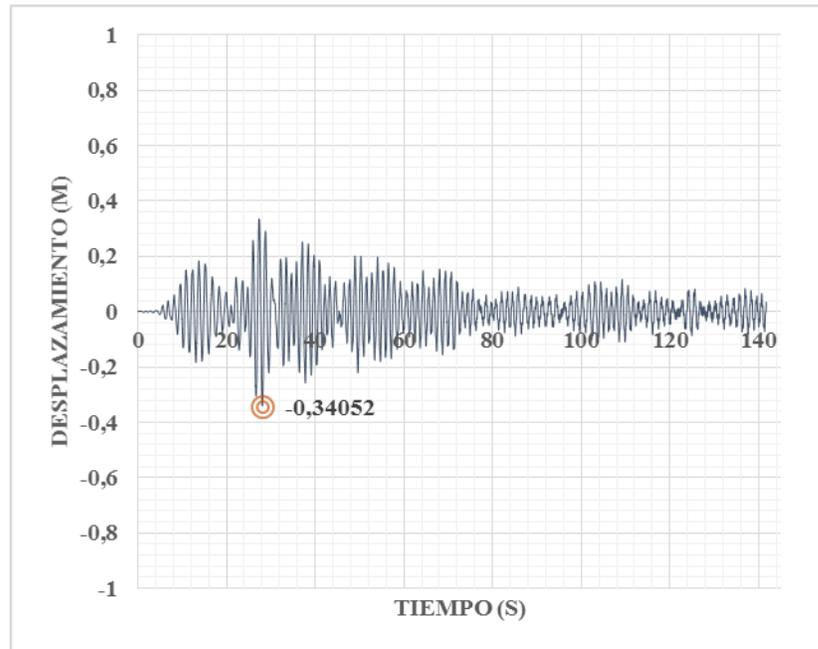


Figura IV-178: Desplazamiento del brazo en y, modelo sin TMD. Concepción

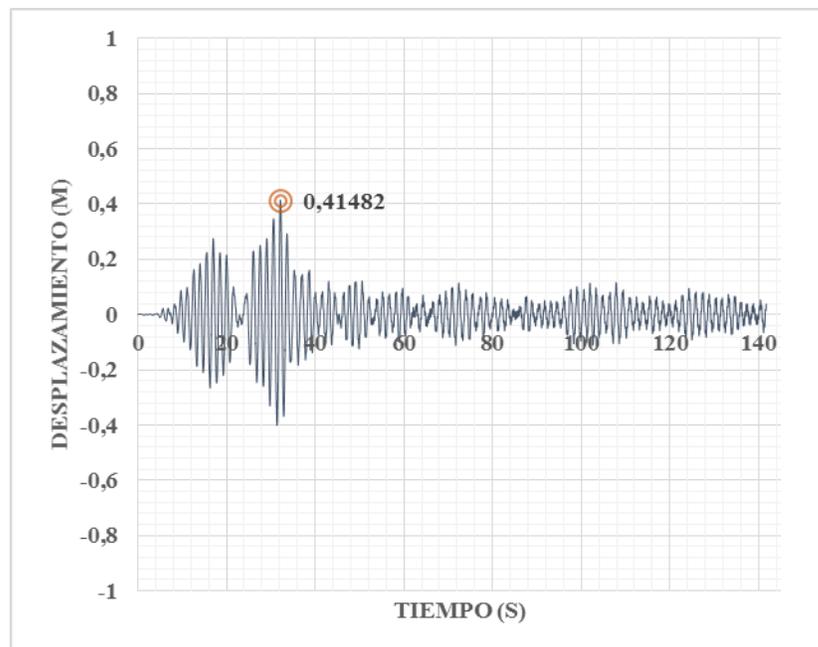


Figura IV-179: Desplazamiento del brazo en y, modelo con TMD. Concepción.

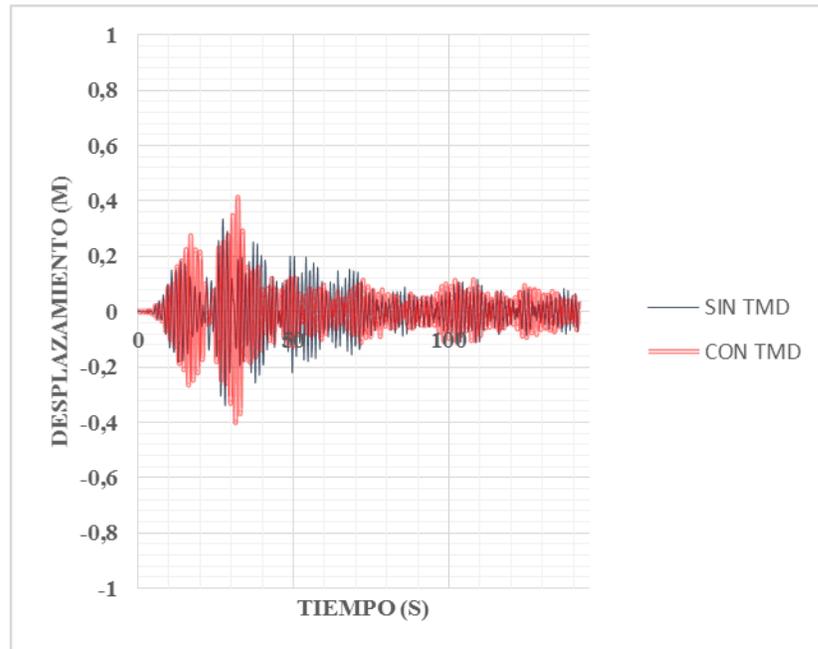


Figura IV-180: Desplazamiento del brazo en y, comparación de respuesta. Concepción.

IV.5.1.2 Registro de Constitución

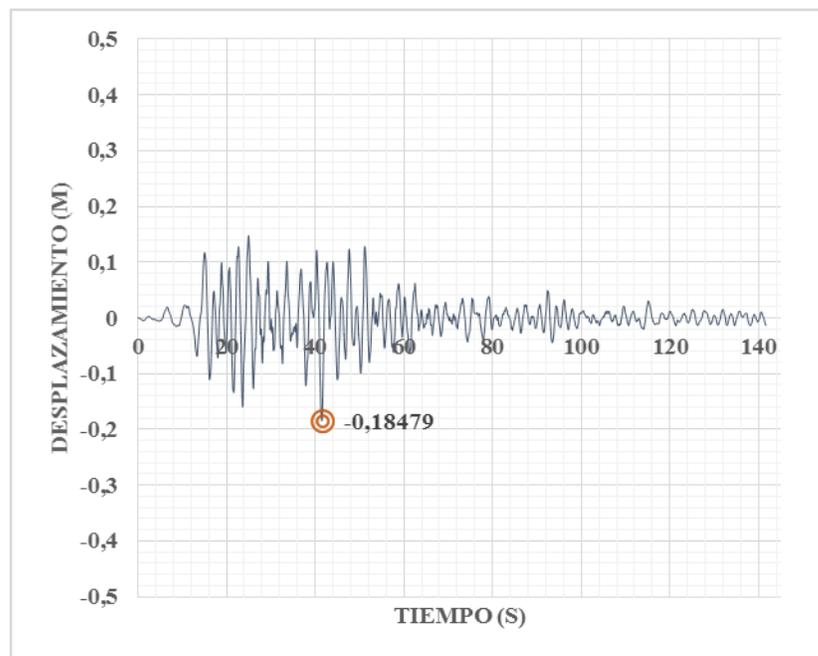


Figura IV-181: Desplazamiento del brazo en x, modelo sin TMD. Constitución.

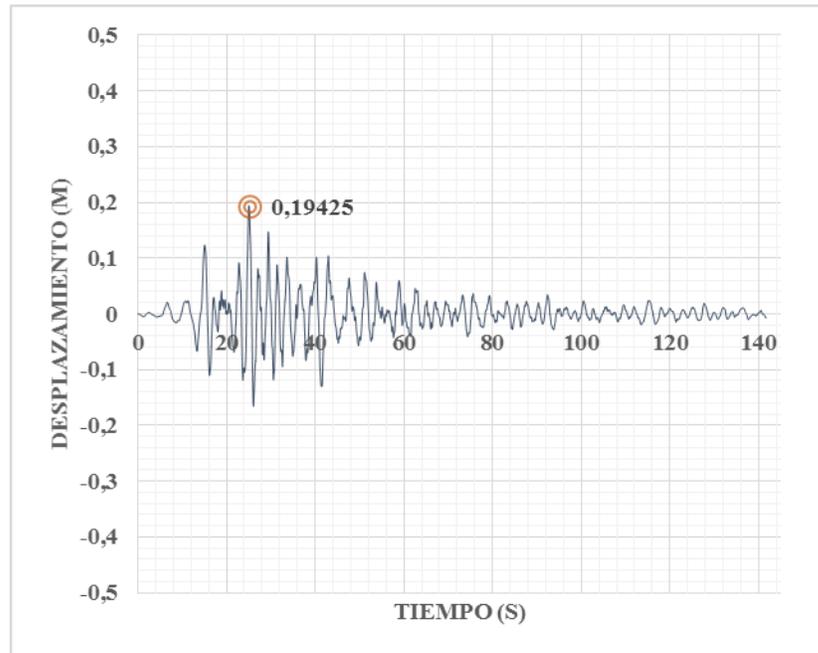


Figura IV-182: Desplazamiento del brazo en x, modelo con TMD. Constitución.

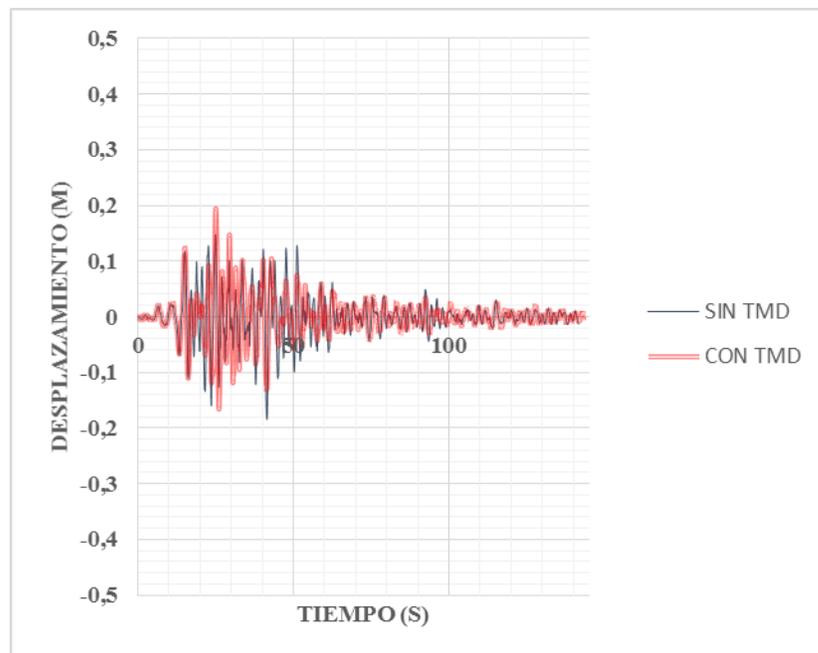


Figura IV-183: Desplazamiento del brazo en x, comparación de respuestas. Constitución.

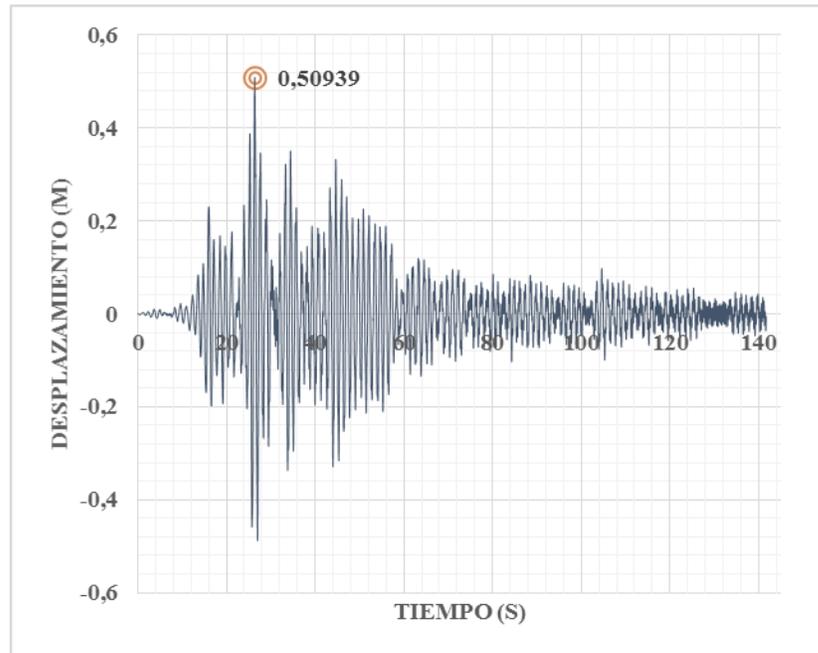


Figura IV-184: Desplazamiento del brazo en y, modelo sin TMD. Constitución.

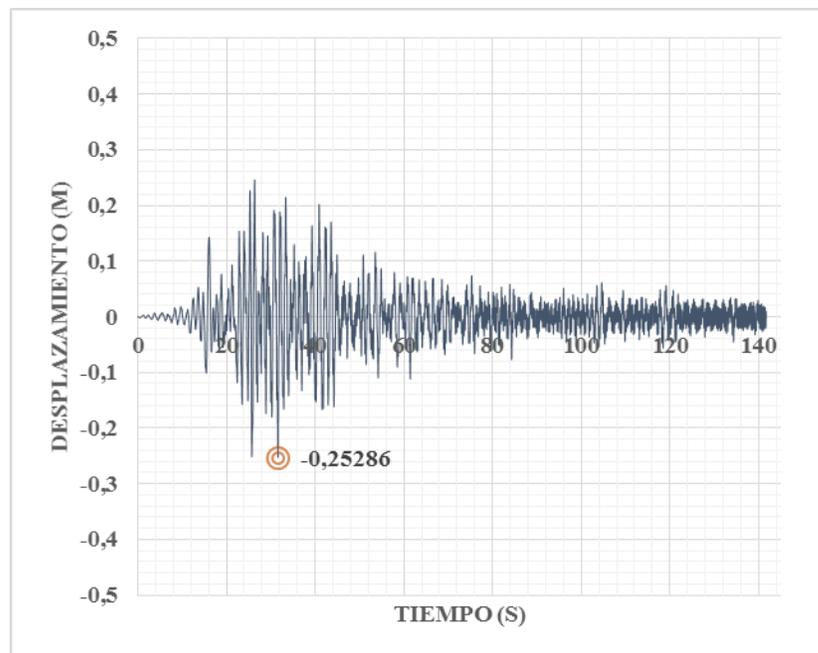


Figura IV-185: Desplazamiento del brazo en y, modelo con TMD. Constitución.

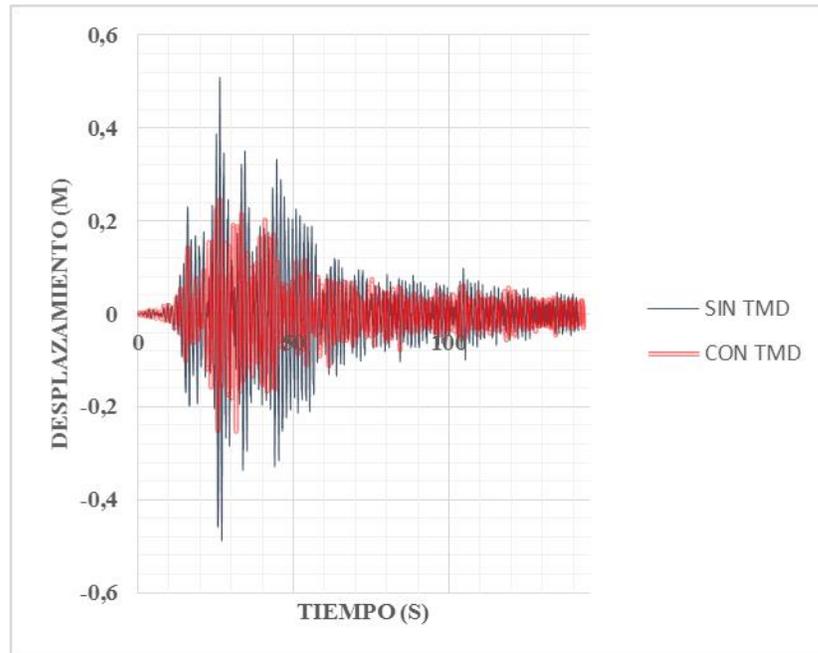


Figura IV-186: Desplazamiento del brazo en y, comparación de respuestas. Constitución.

IV.5.1.3 Registro de Lolloe

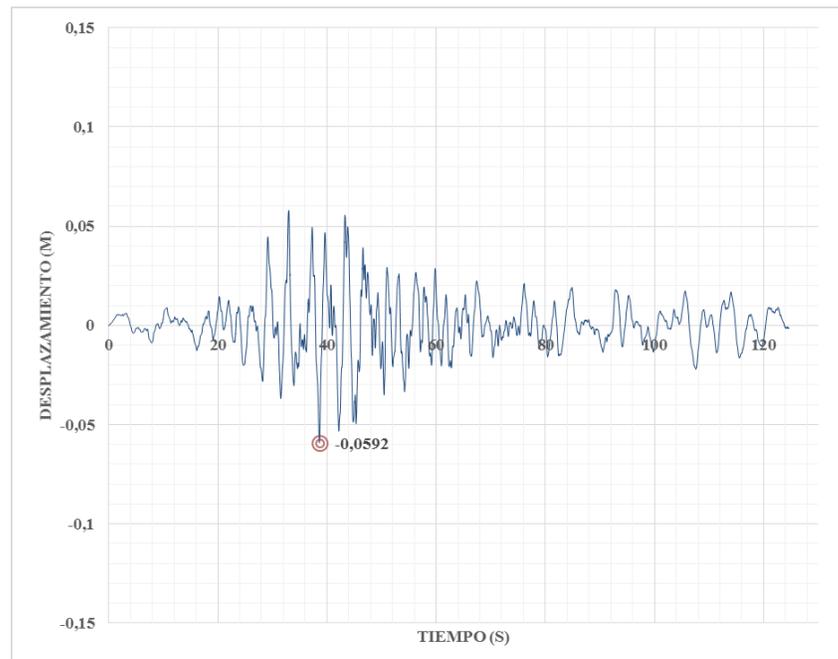


Figura IV-187: Desplazamiento del brazo en x, modelo sin TMD. Lolloe.

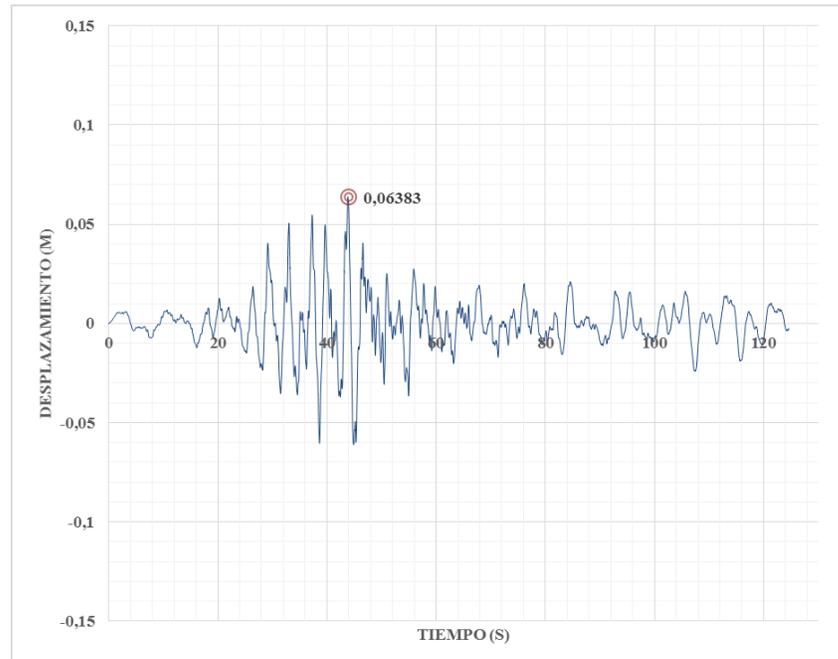


Figura IV-188: Desplazamiento del brazo en x, modelo con TMD. Llolleo.

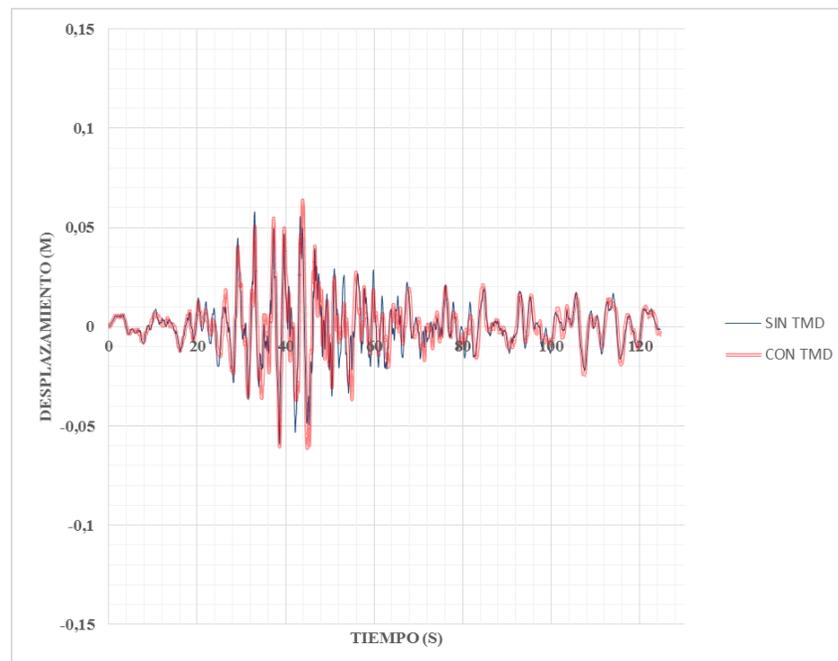


Figura IV-189: Desplazamiento del brazo en x, comparación de respuesta. Llolleo.

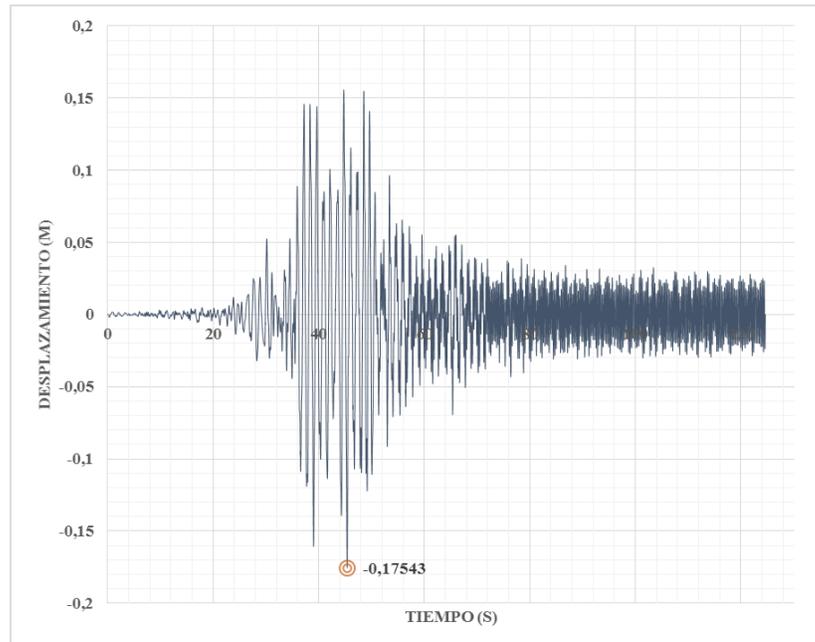


Figura IV-190: Desplazamiento del brazo en y, modelo sin TMD. Lolloe.

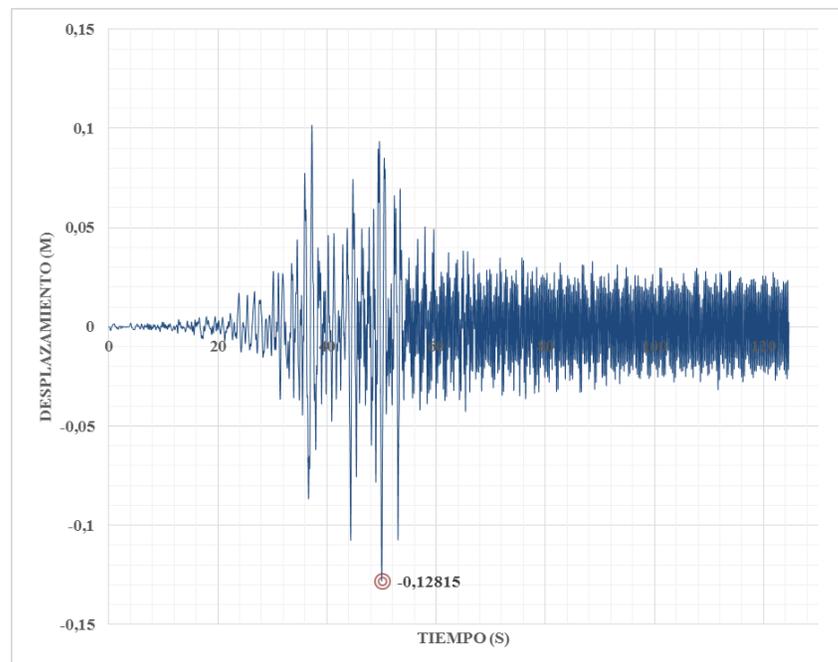


Figura IV-191: Desplazamiento del brazo en y, modelo con TMD. Lolloe.

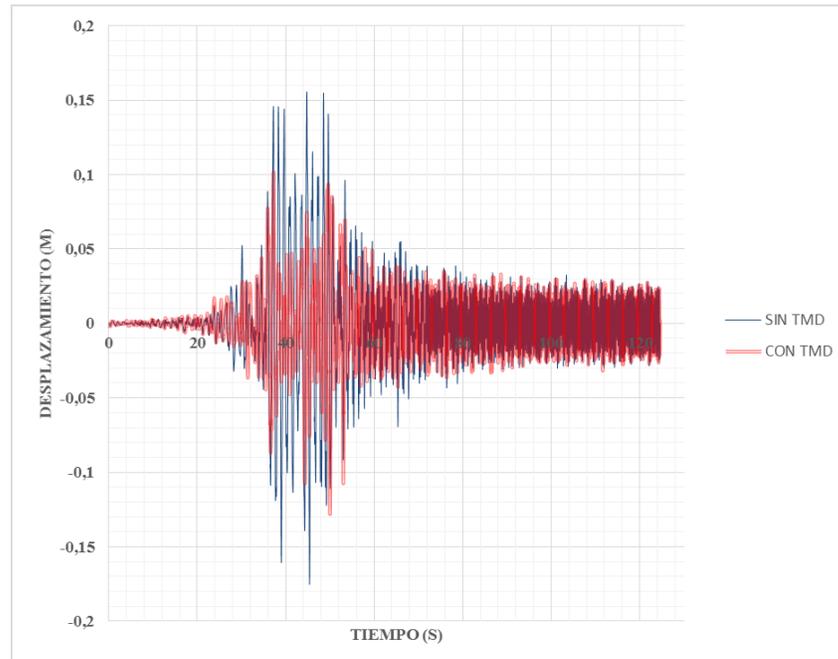


Figura IV-192: Desplazamiento del brazo en y, comparación de respuesta. Lollole.

IV.6 Aceleración en extremo de brazos

IV.6.1 Modelo con brazos

IV.6.1.1 Registro de Concepción

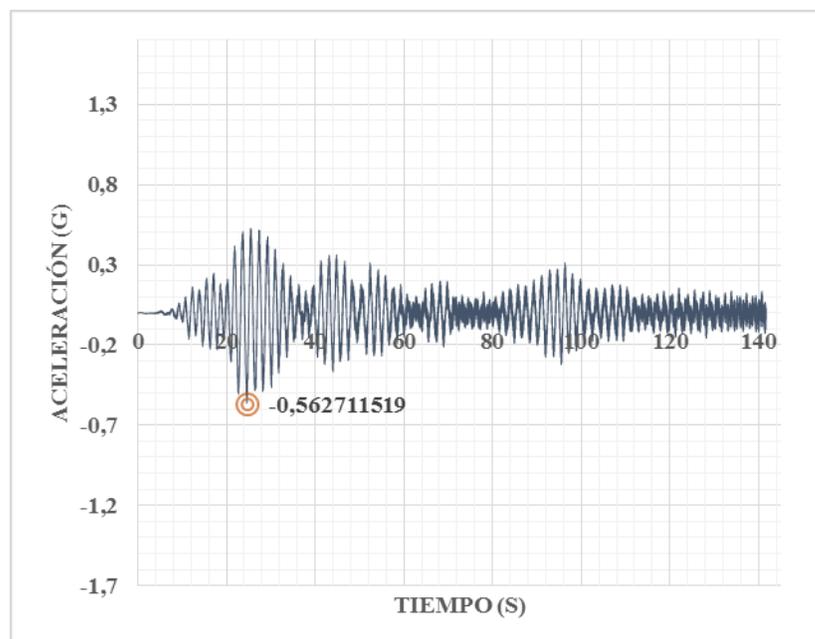


Figura IV-193: Aceleración en brazos, dirección x, modelo sin TMD. Concepción.

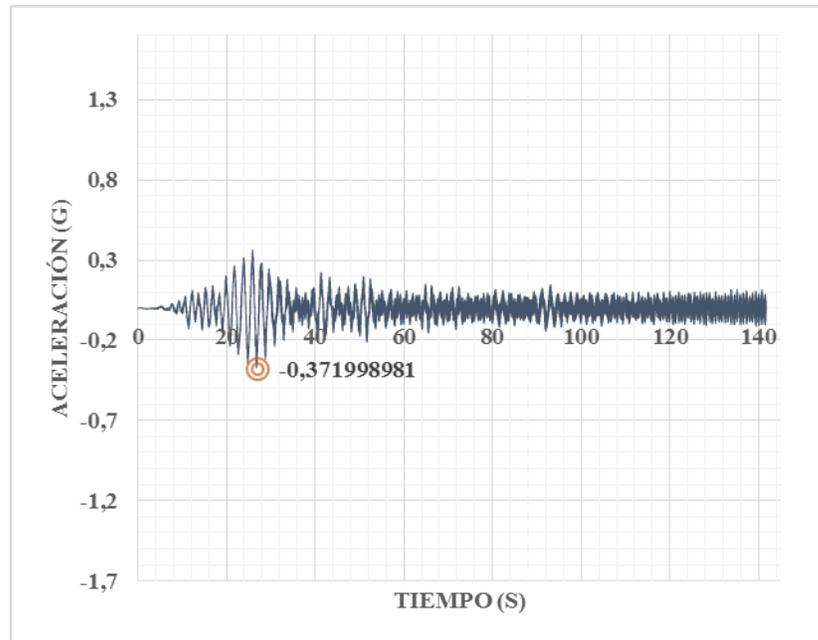


Figura IV-194: Aceleración en brazos, dirección x, modelo con TMD. Concepción.

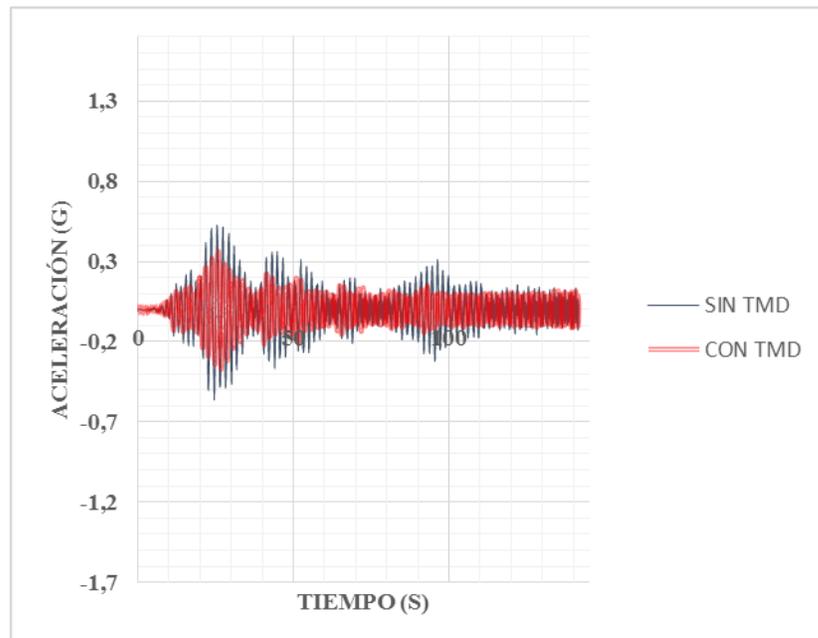


Figura IV-195: Aceleración en brazos, dirección x, comparación de respuesta. Concepción.

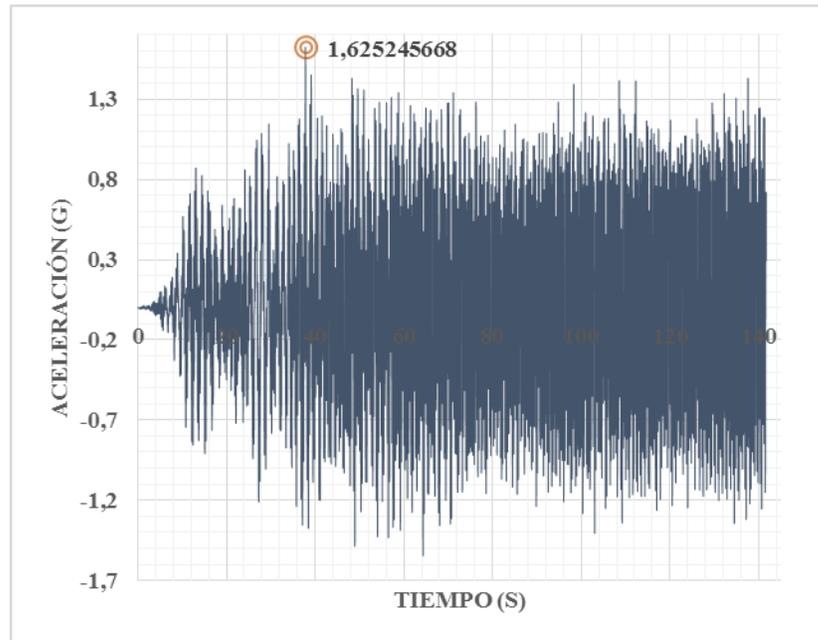


Figura IV-196: Aceleración en brazos, dirección y, modelo sin TMD. Concepción.

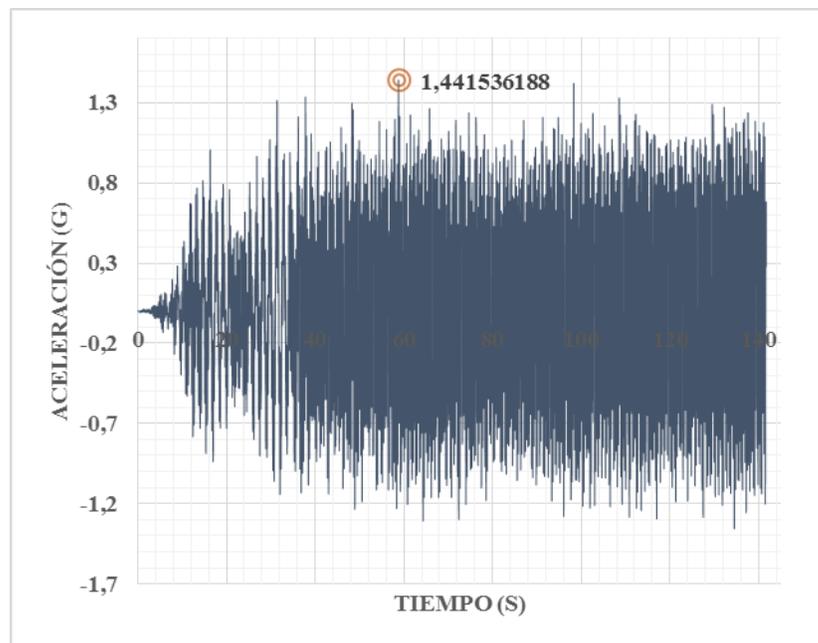


Figura IV-197: Aceleración en brazos, dirección y, modelo con TMD. Concepción.

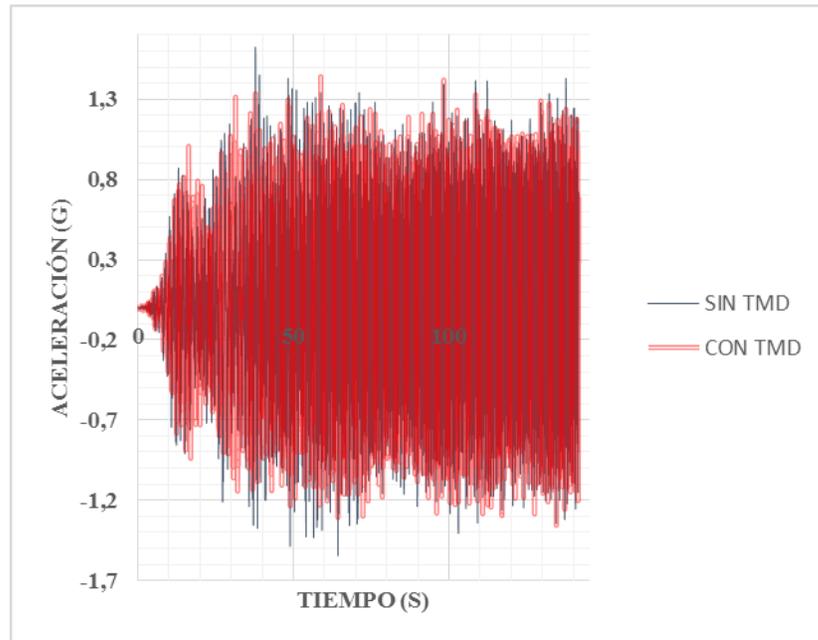


Figura IV-198: Aceleración en brazos, dirección y, comparación de respuesta. Concepción.

IV.6.1.2 Registro de Constitución

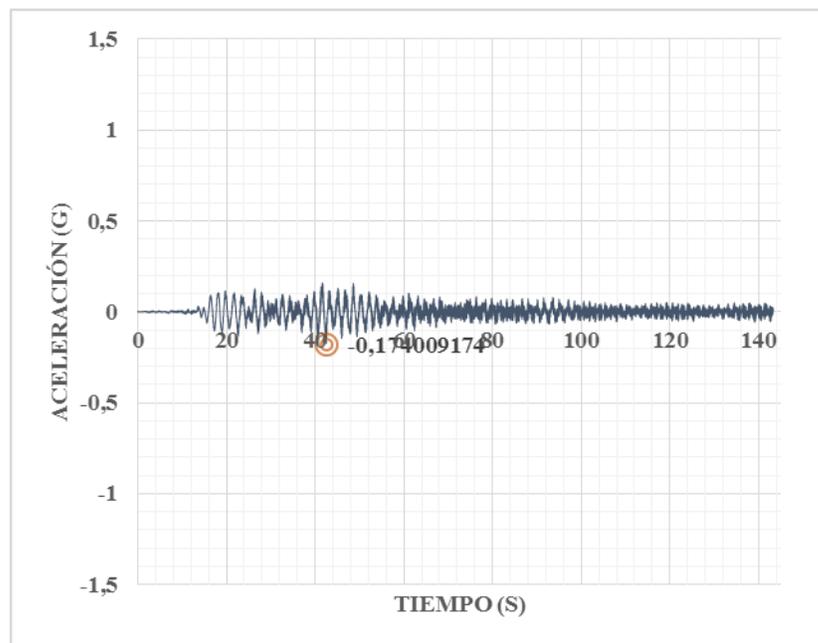


Figura IV-199: Aceleración en brazos, dirección x, modelo sin TMD. Constitución.

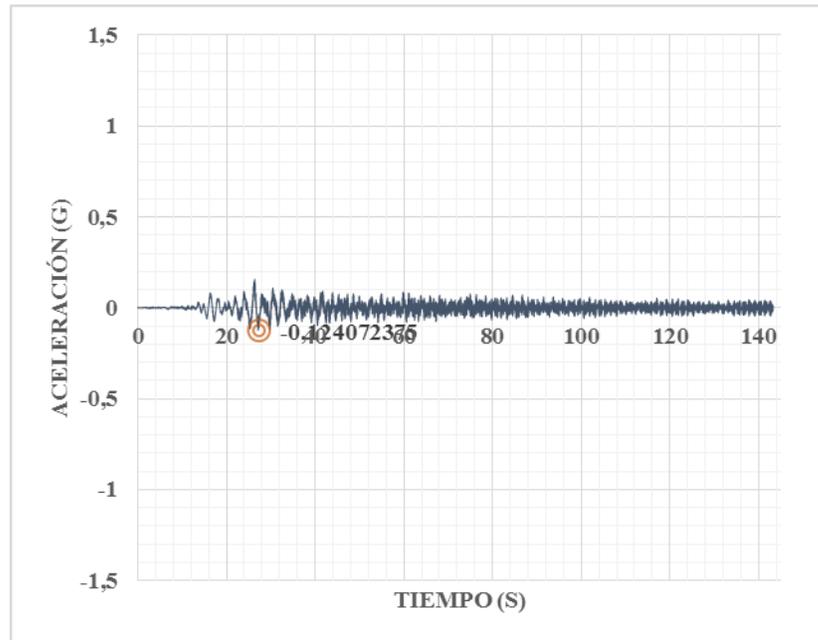


Figura IV-200: Aceleración en brazos, dirección x, modelo con TMD. Constitución.

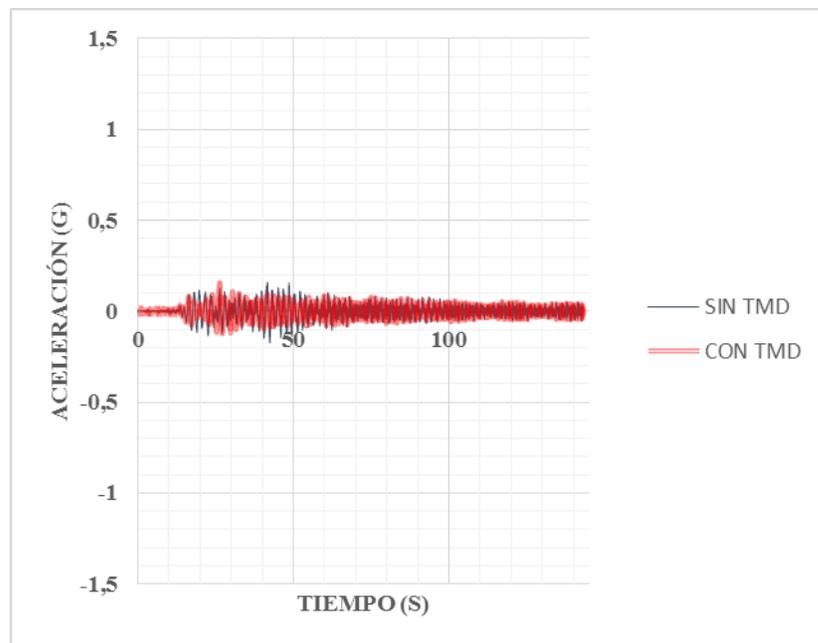


Figura IV-201: Aceleración en brazos, dirección x, comparación de respuesta.

Constitución.

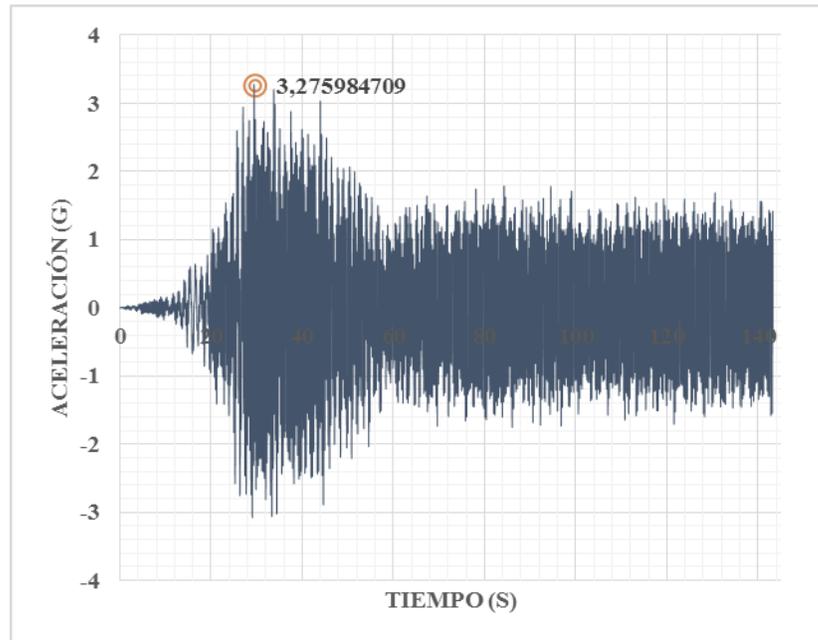


Figura IV-202: Aceleración en brazos, dirección y, modelo sin TMD. Constitución.

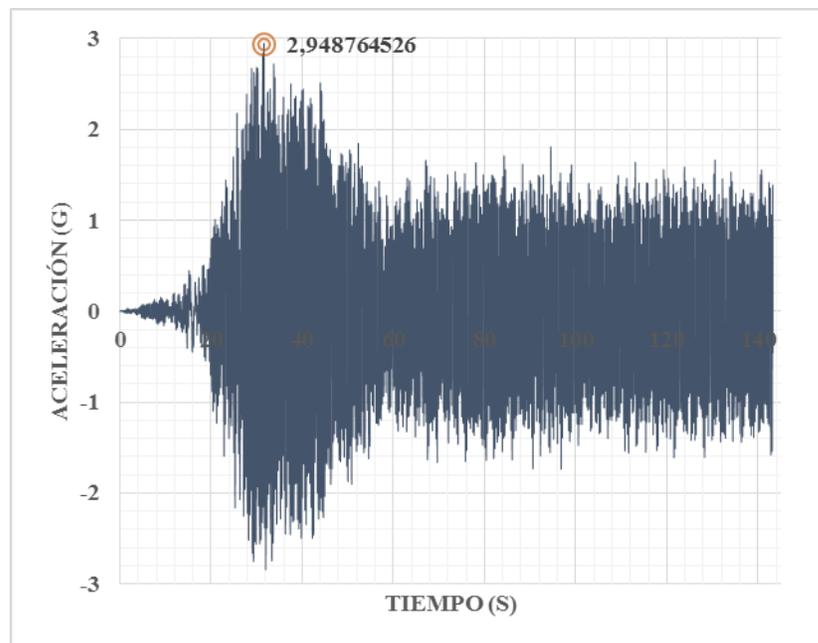


Figura IV-203: Aceleración en brazos, dirección y, modelo con TMD. Constitución.

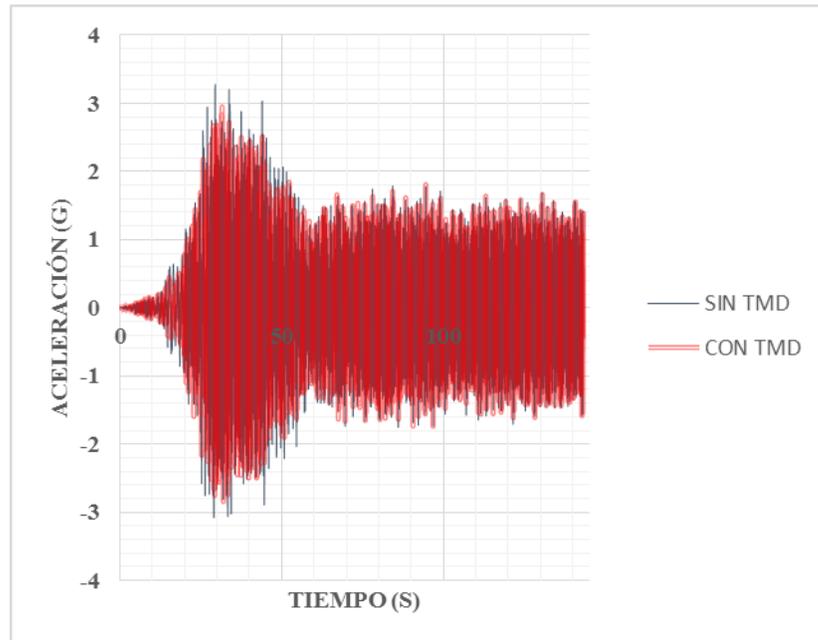


Figura IV-204: Aceleración en brazos, dirección y, comparación de respuesta. Constitución.

IV.6.1.3 Registro de Llolleo

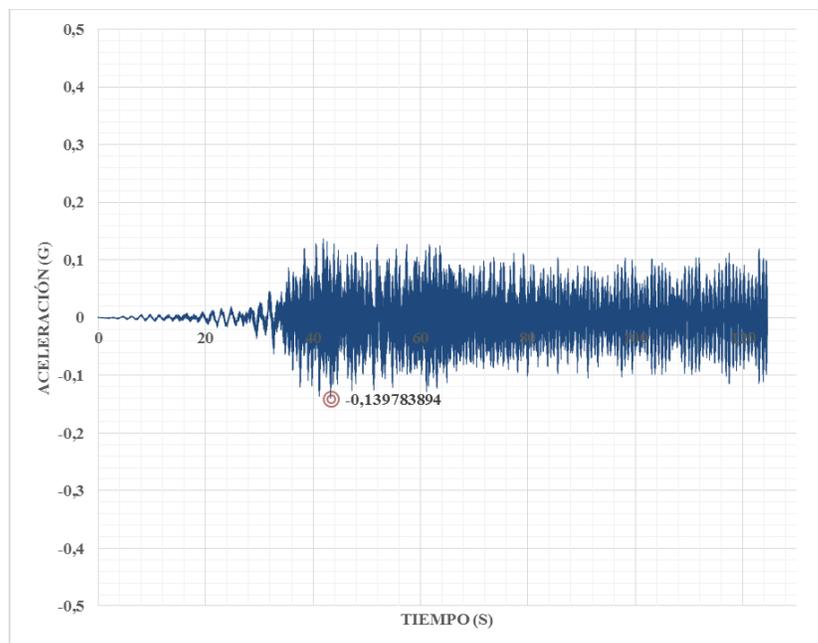


Figura IV-205: Aceleración en brazos, dirección x, modelo sin TMD. Llolleo.

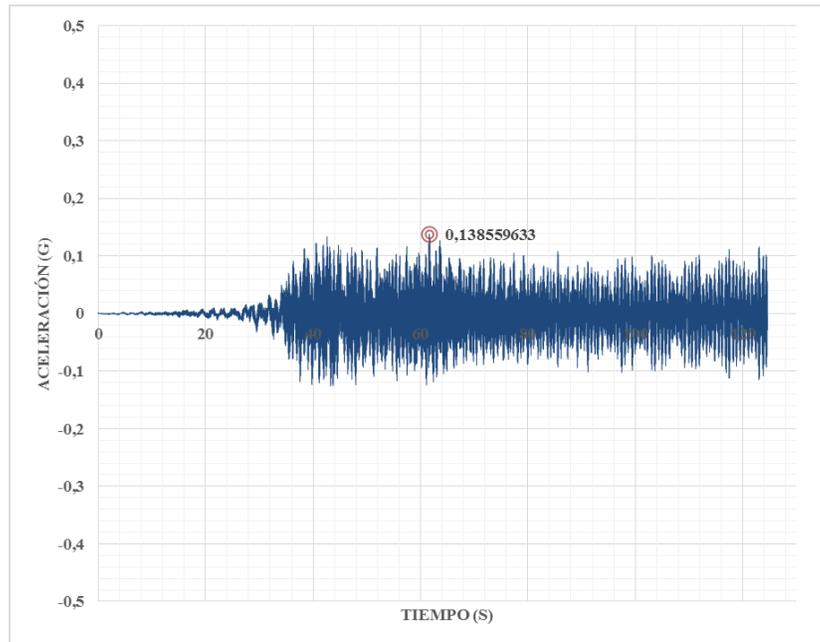


Figura IV-206: Aceleración en brazos, dirección x, modelo con TMD. Lloleo.

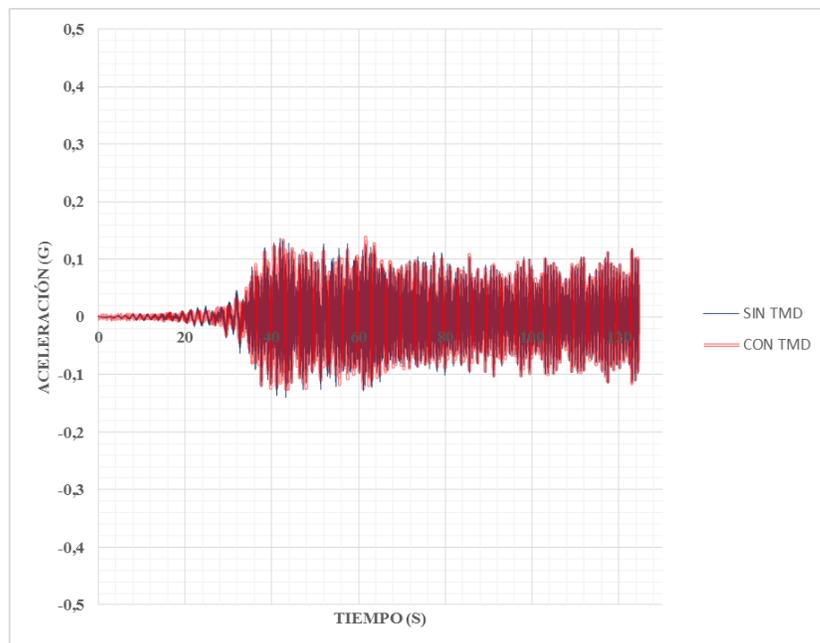


Figura IV-207: Aceleración en brazos, dirección x, comparación de respuesta. Lloleo.

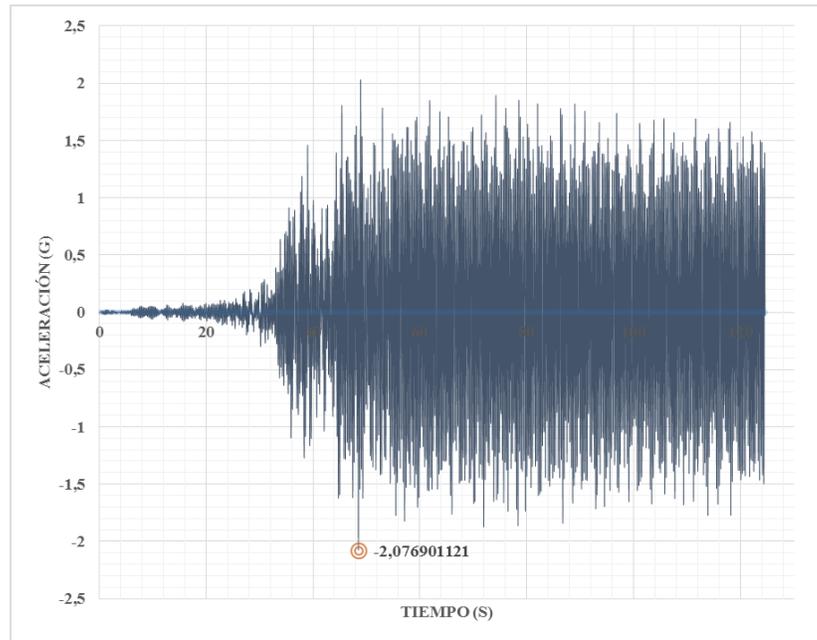


Figura IV-208: Aceleración en brazos, dirección y, modelo sin TMD. Lollole.

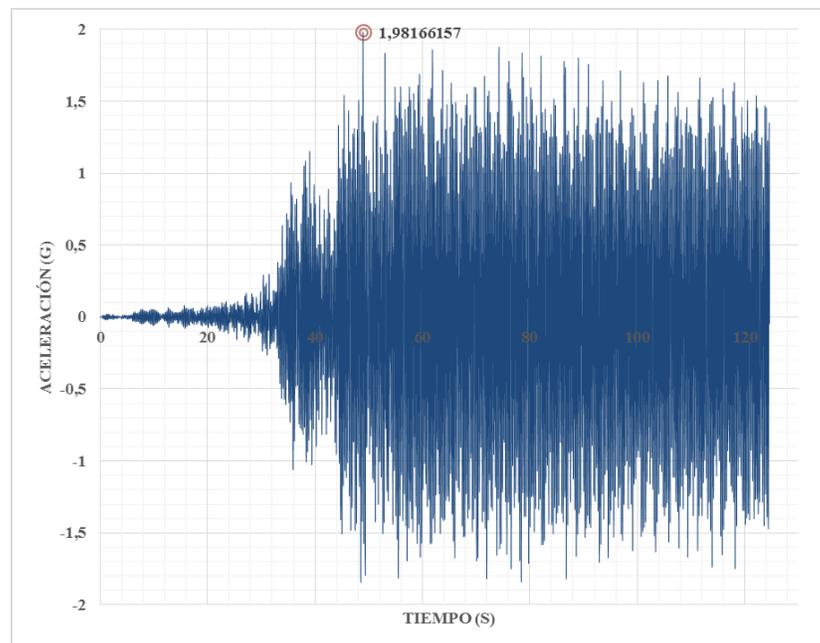


Figura IV-209: Aceleración en brazos, dirección y, modelo con TMD. Lollole.

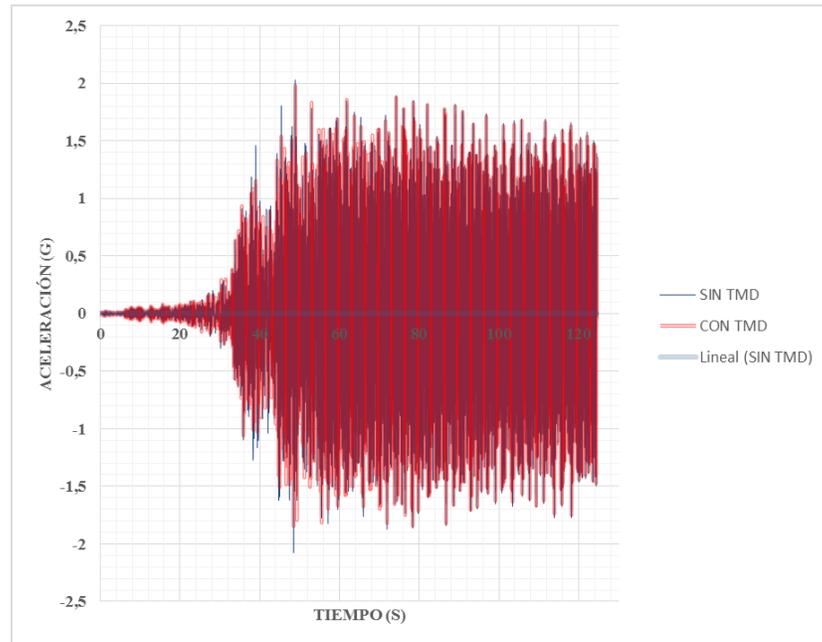


Figura IV-210: Aceleración en brazos, dirección y, comparación de respuesta. Lolloo.

IV.7 Espectro de respuesta de aceleración en extremo de brazos

IV.7.1 Modelo con brazos

IV.7.1.1 Registro de Concepción

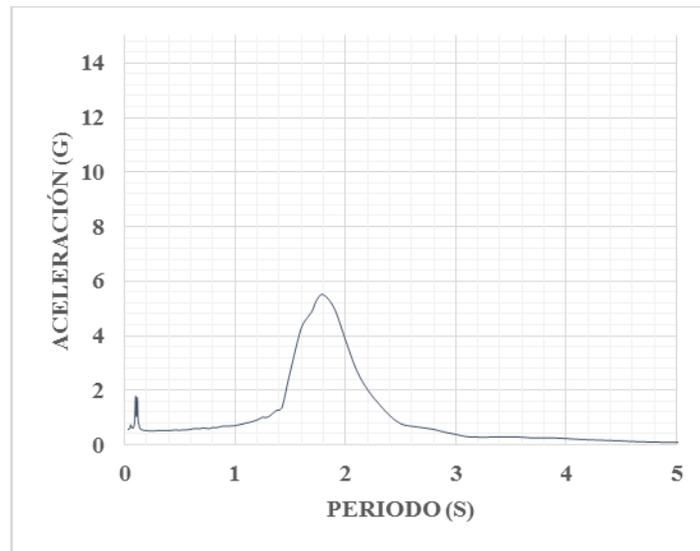


Figura IV-211: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo sin TMD, Concepción.

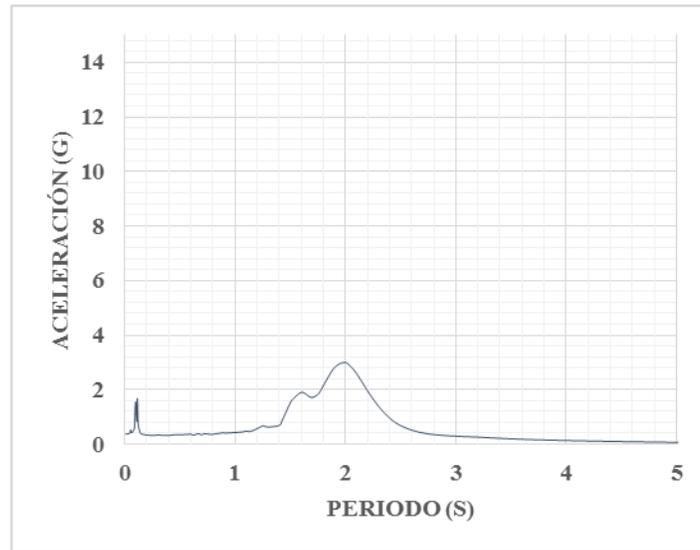


Figura IV-212: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Concepción.

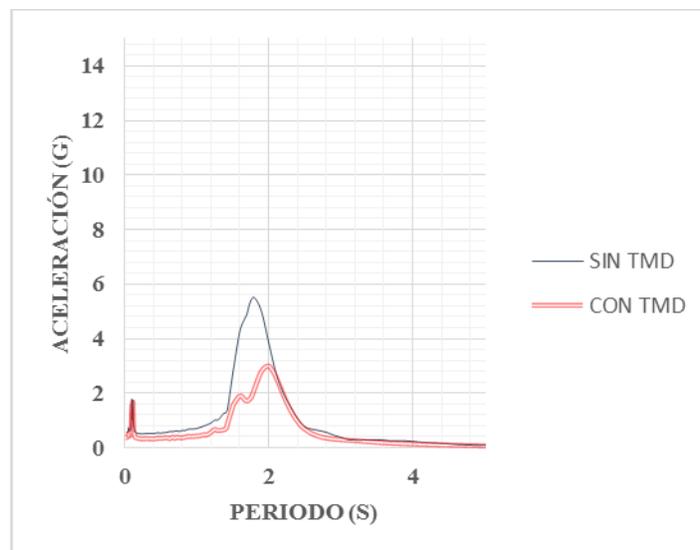


Figura IV-213: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Concepción.

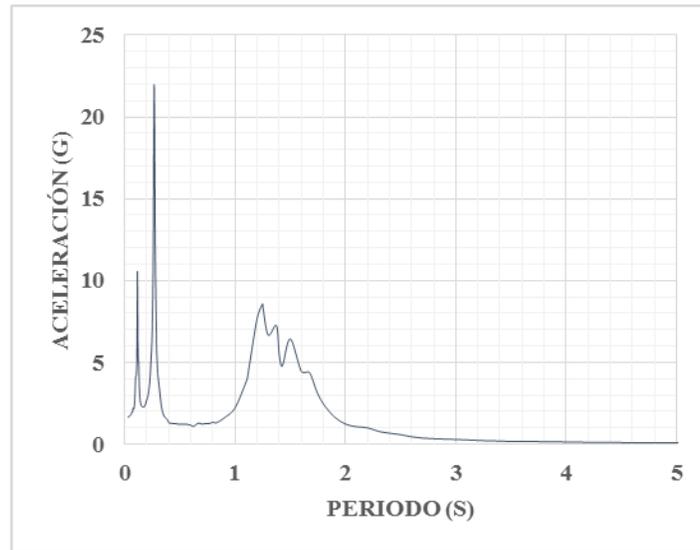


Figura IV-214: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo sin TMD, Concepción.

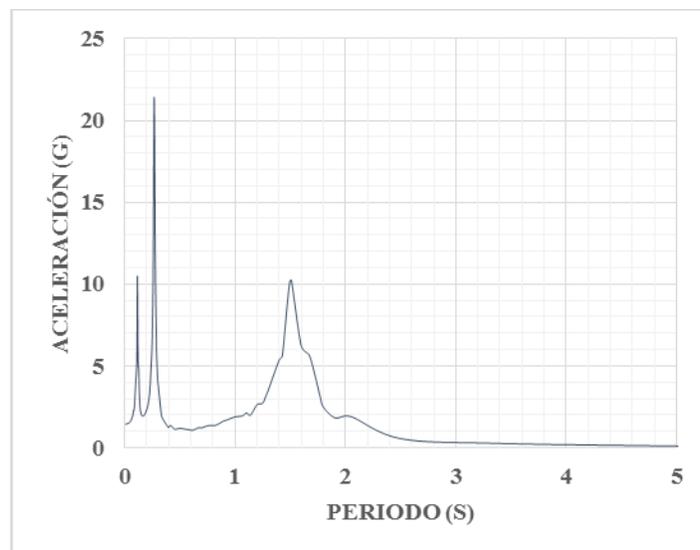


Figura IV-215: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo con TMD, Concepción.

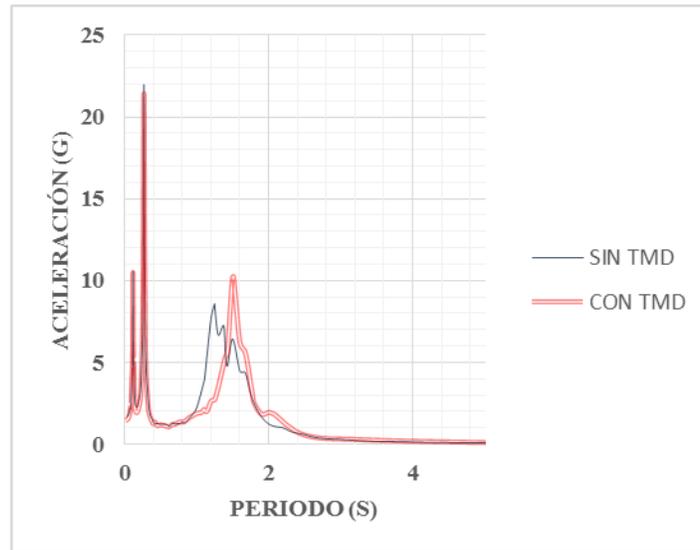


Figura IV-216: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, comparación de respuesta, Concepción.

IV.7.1.2 Registro de Constitución

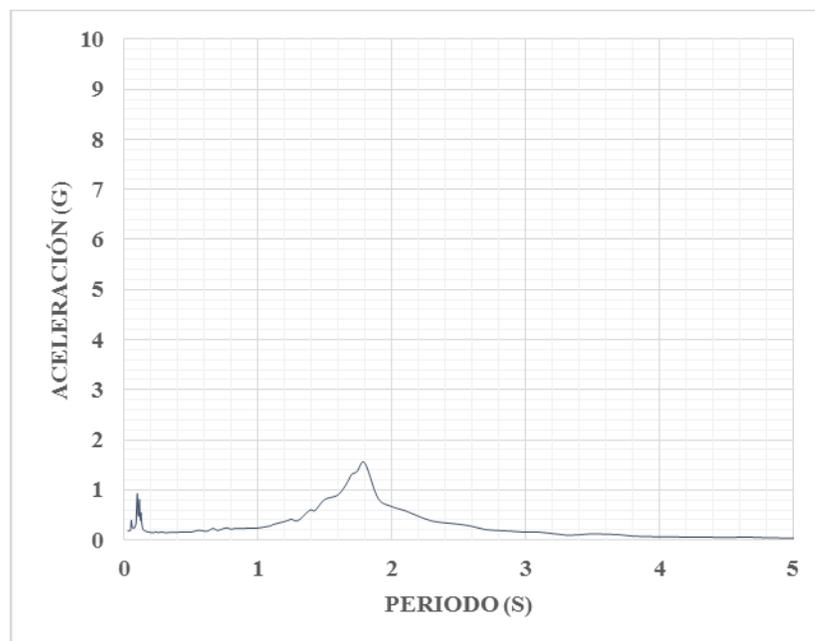


Figura IV-217: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo sin TMD, Constitución

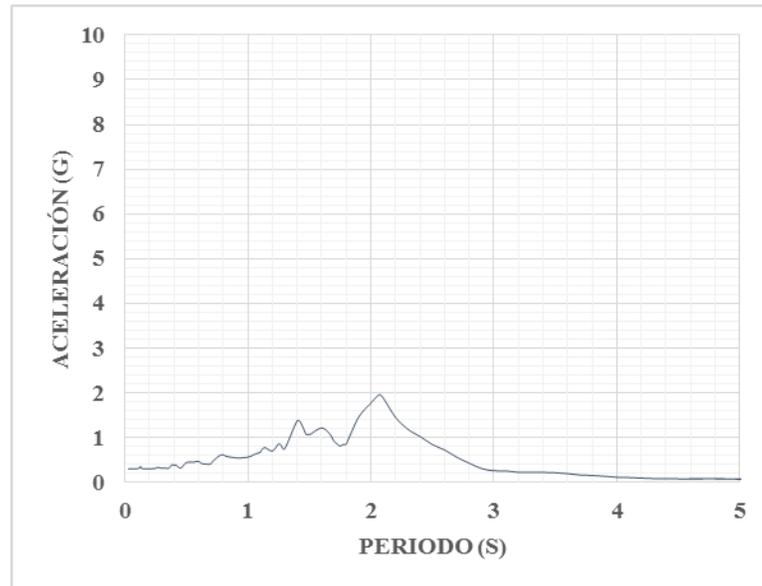


Figura IV-218: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Constitución

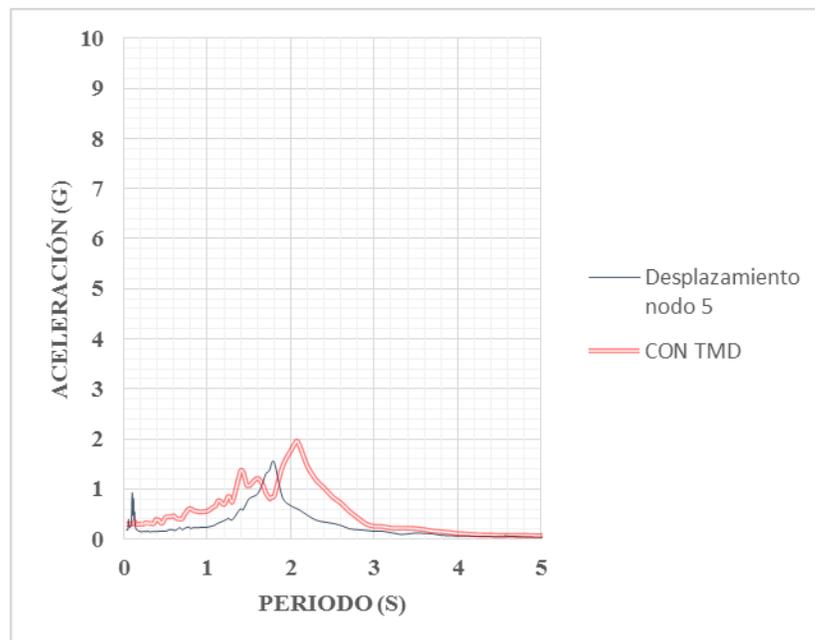


Figura IV-219: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, comparación de respuesta, Constitución.

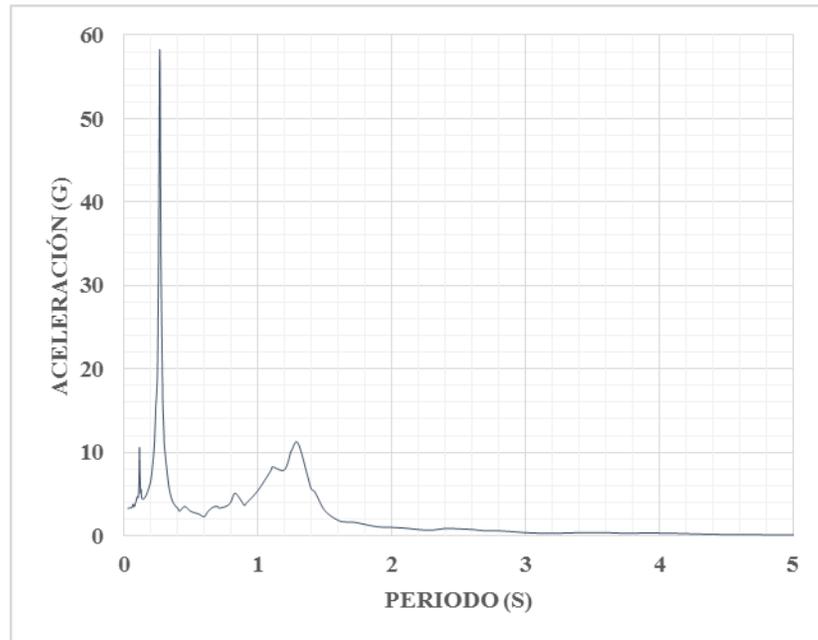


Figura IV-220: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo sin TMD, Constitución.

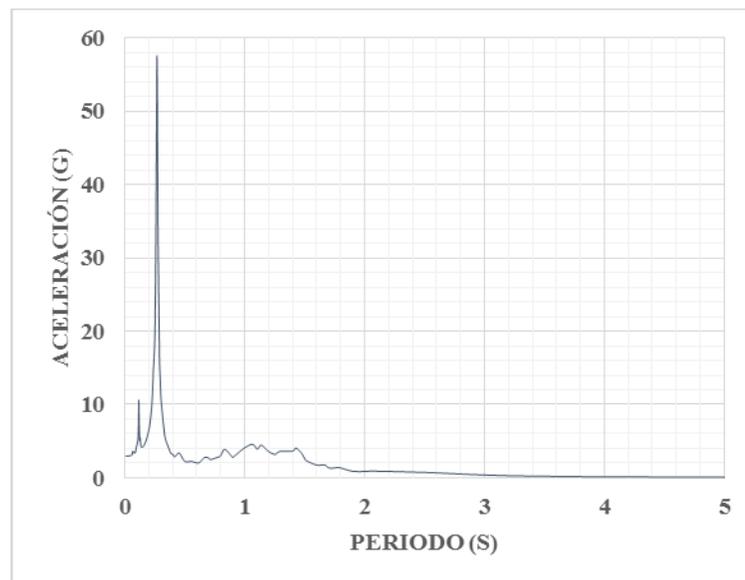


Figura IV-221: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo con TMD, Constitución

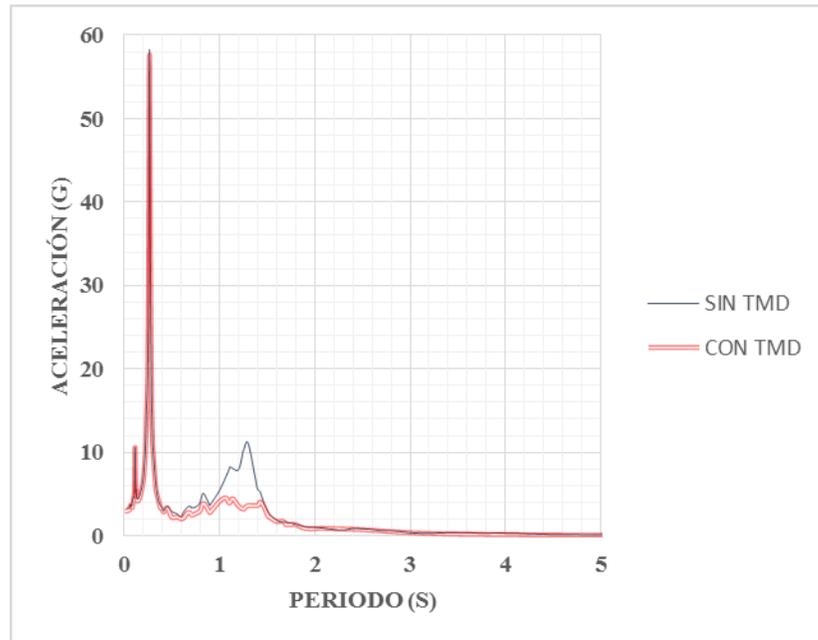


Figura IV-222: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, comparación de respuesta, Constitución

IV.7.1.3 Registro de Llolleo

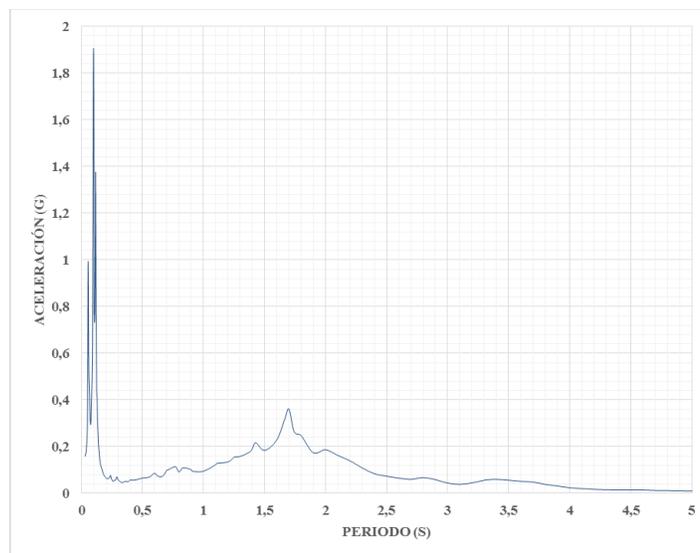


Figura IV-223: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo sin TMD, Llolleo.

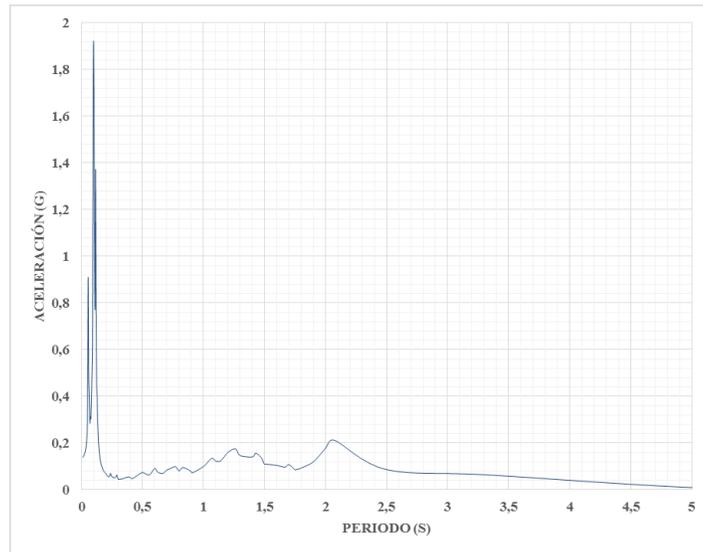


Figura IV-224: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, modelo con TMD, Lolloe.

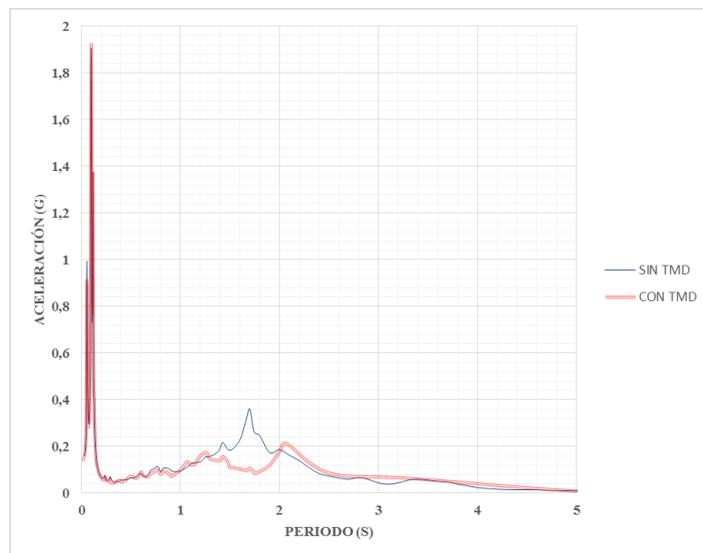


Figura IV-225: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección x, comparación de respuesta, Lolloe.

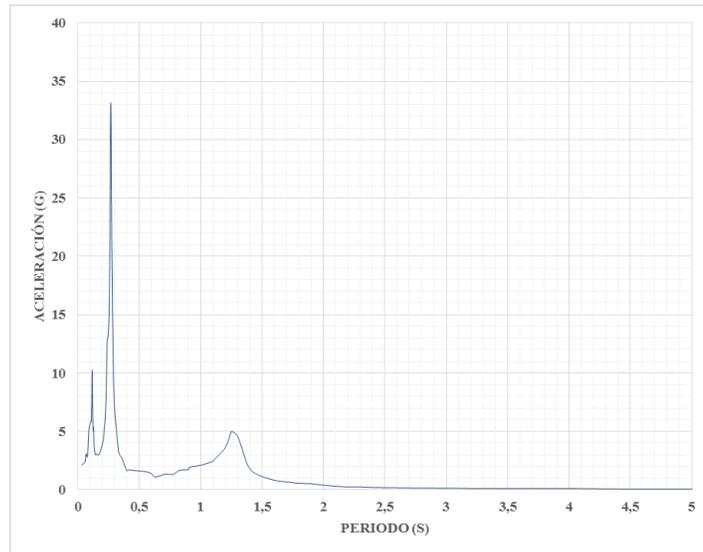


Figura IV-226: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo sin TMD, Lolloe.

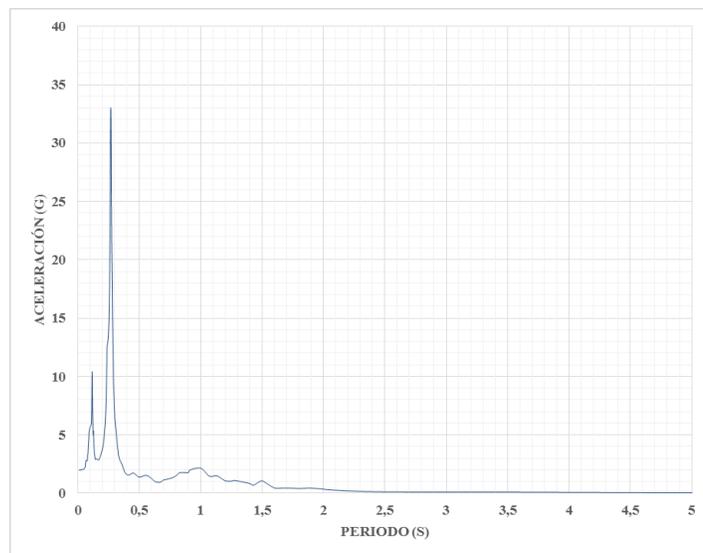


Figura IV-227: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, modelo con TMD, Lolloe.

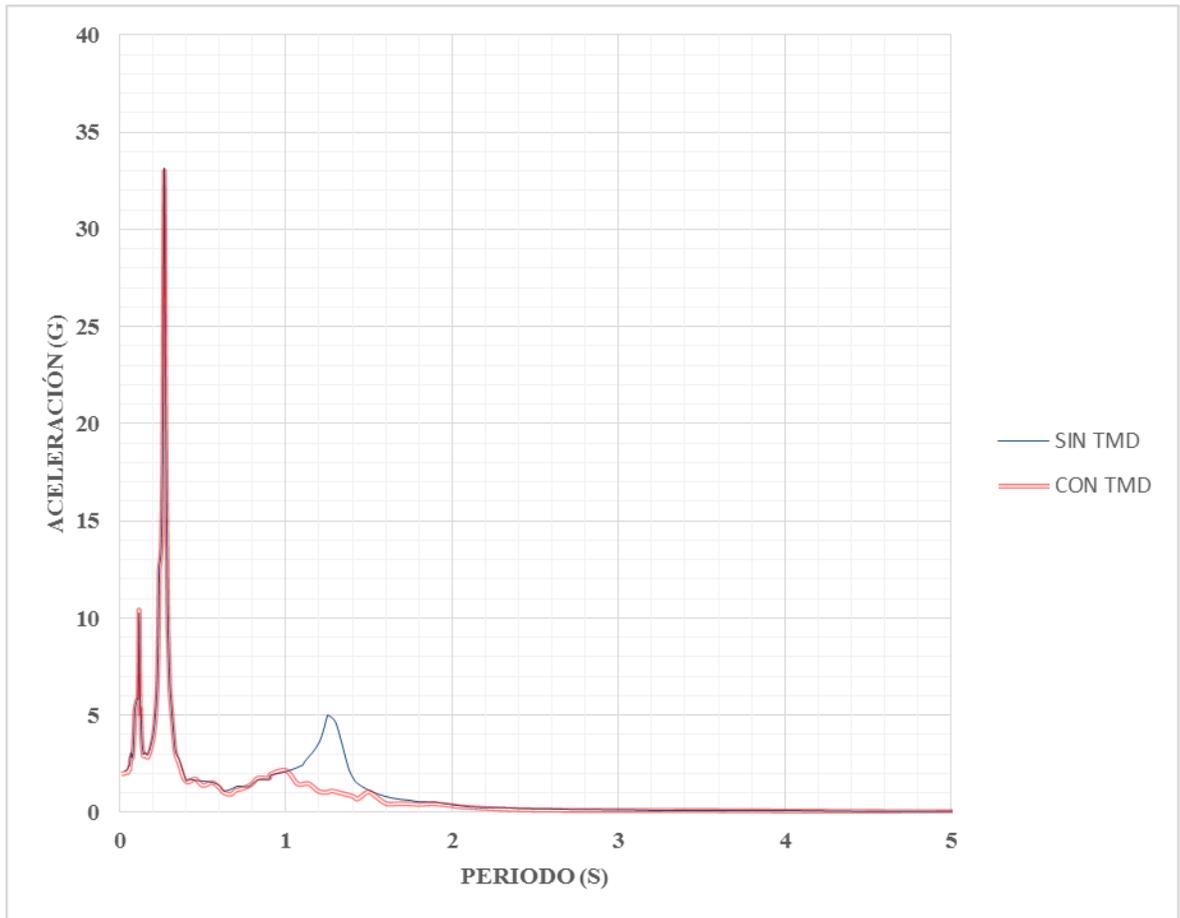


Figura IV-228: Espectro de respuesta de aceleración en brazo, dirección y, comparación de respuesta, Lolloe.

IV.8 Desplazamiento en dispositivo TMD

IV.8.1 Modelo sin brazos

IV.8.1.1 Registro de Concepción

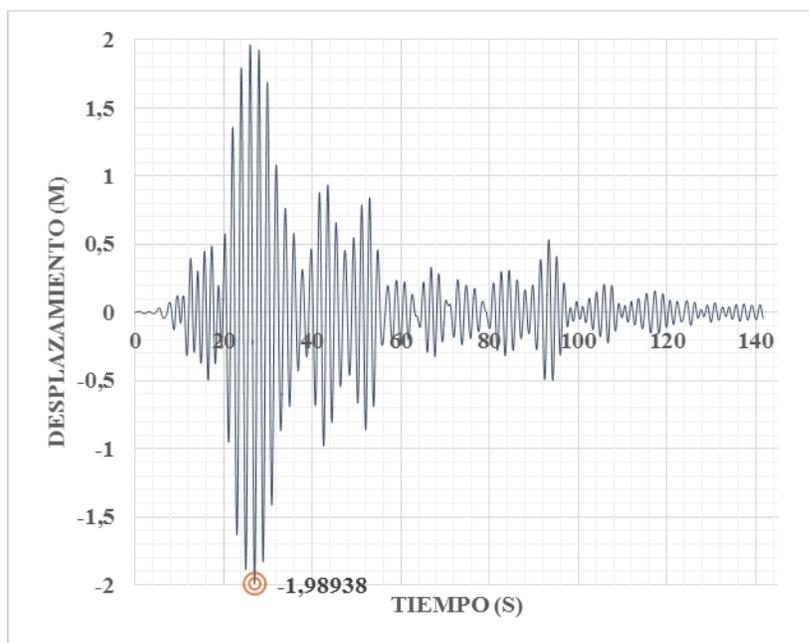


Figura IV-229: Desplazamiento del TMD en x, modelo sin brazos. Concepción.

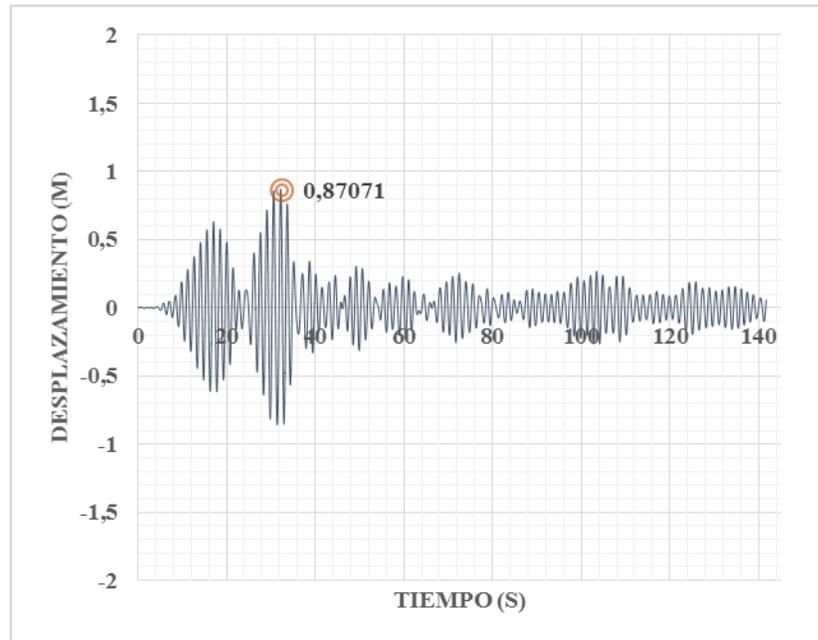


Figura IV-230: Desplazamiento del TMD en y, modelo sin brazos. Concepción.

IV.8.1.2 Registro de Constitución

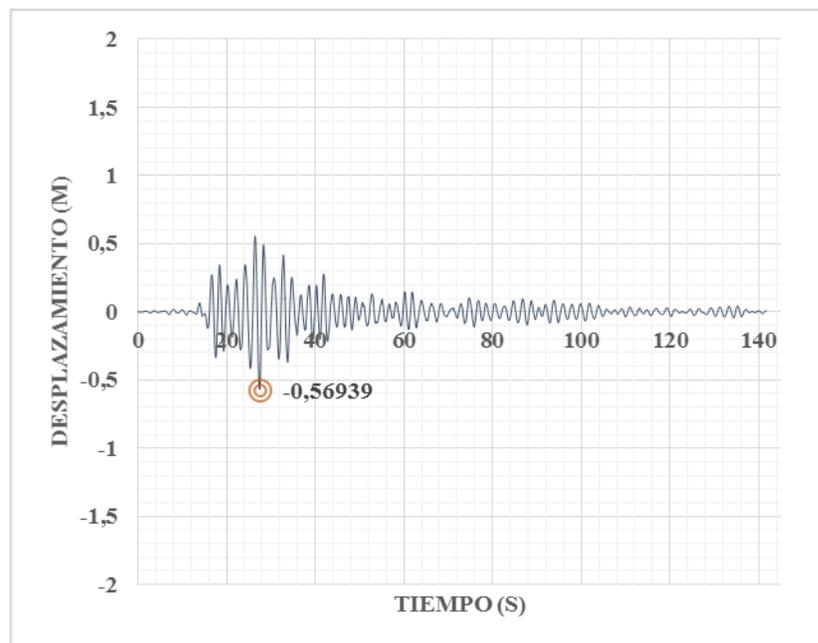


Figura IV-231: Desplazamiento del TMD en x, modelo sin brazos. Constitución.

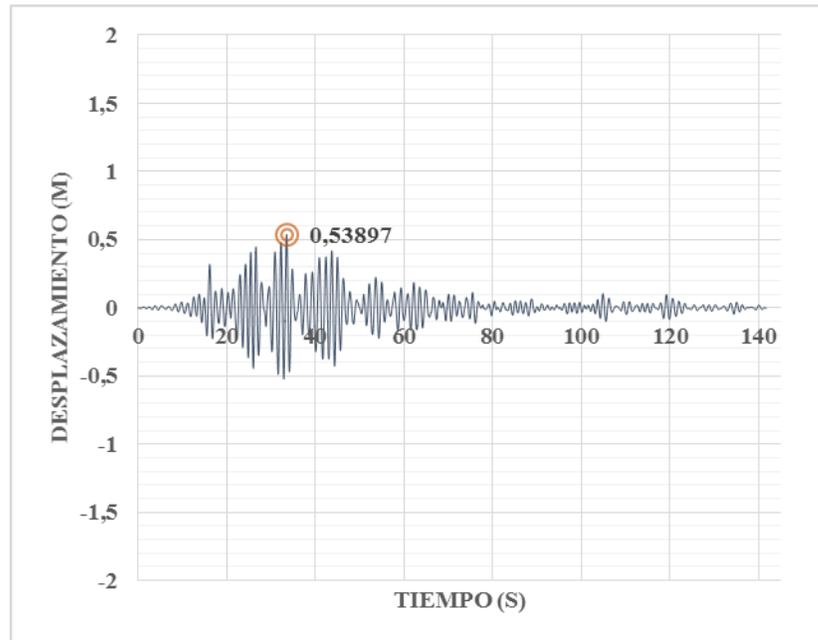


Figura IV-232: Desplazamiento del TMD en y, modelo sin brazos. Constitución

IV.8.1.3 Registro de Llolleo

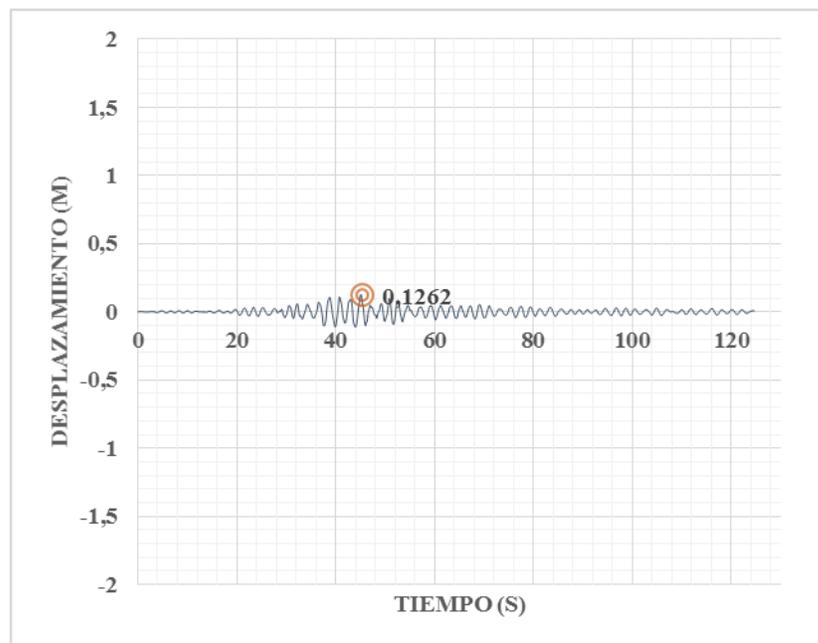


Figura IV-233: Desplazamiento del TMD en x, modelo sin brazos. Llolleo.

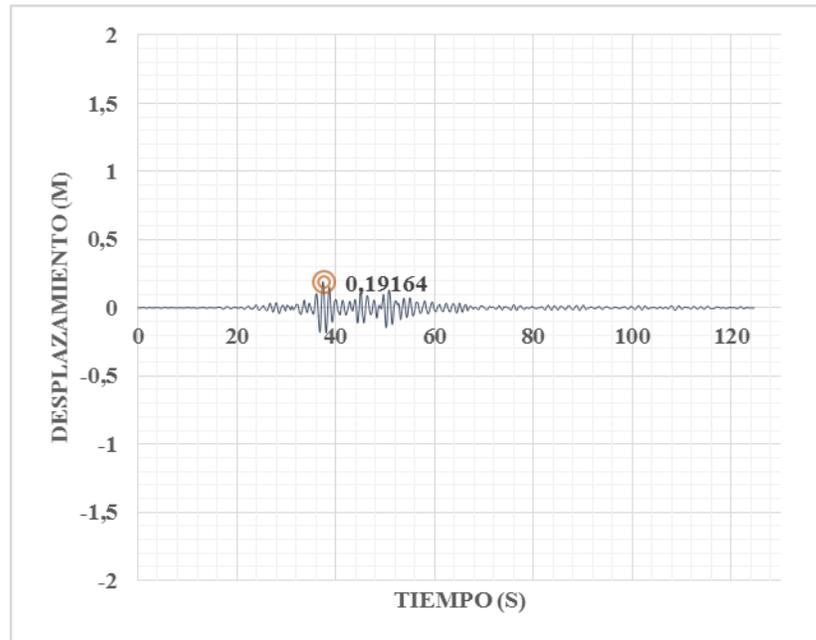


Figura IV-234: Desplazamiento del TMD en y, modelo sin brazos. Lollole.

IV.8.2 Modelo con brazos

IV.8.2.1 Registro de Concepción

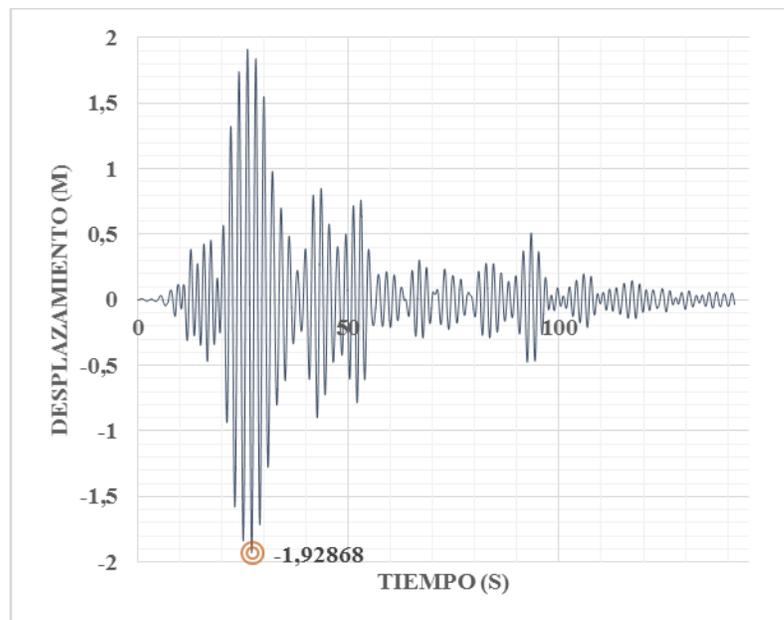


Figura IV-235: Desplazamiento del TMD en x, modelo con brazos. Concepción.

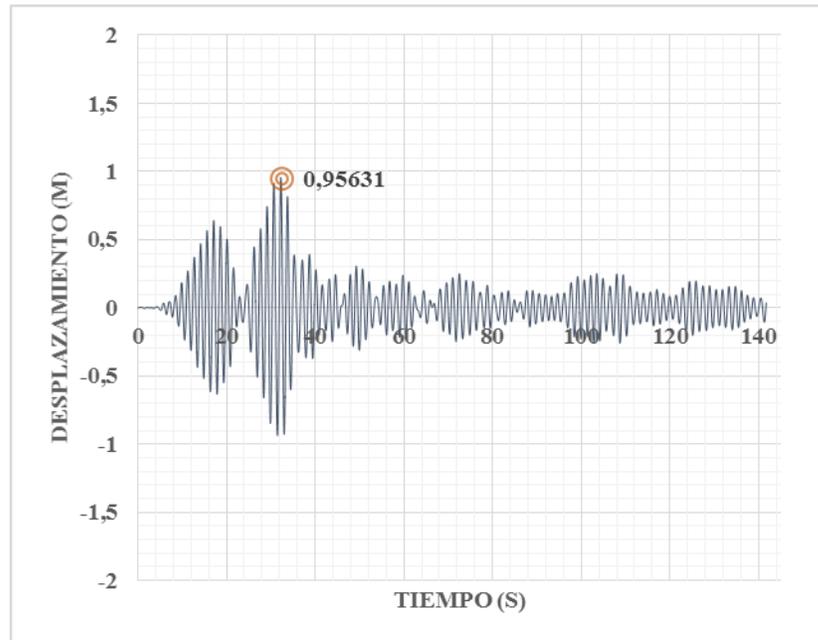


Figura IV-236: Desplazamiento del TMD en y, modelo con brazos. Concepción.

IV.8.2.2 Registro de Constitución

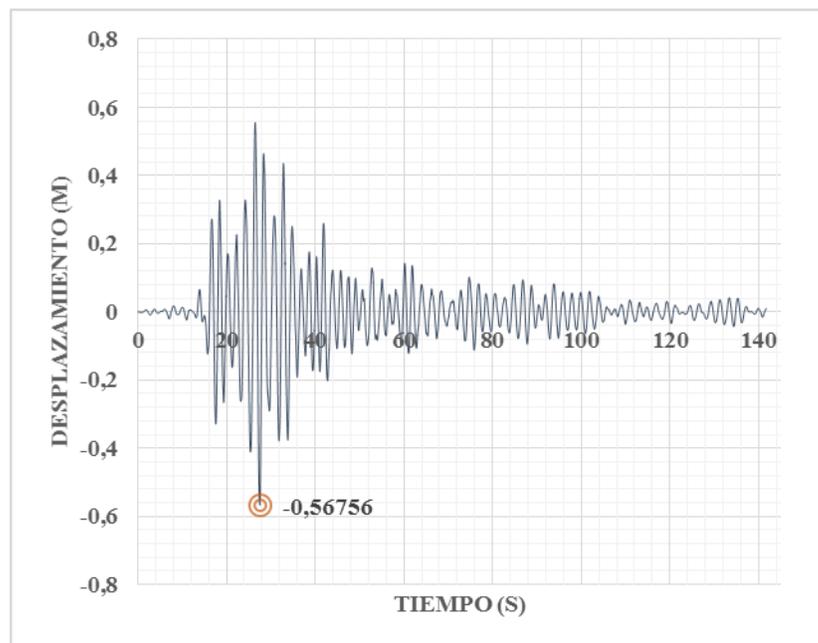


Figura IV-237: Desplazamiento del TMD en x, modelo con brazos. Constitución.

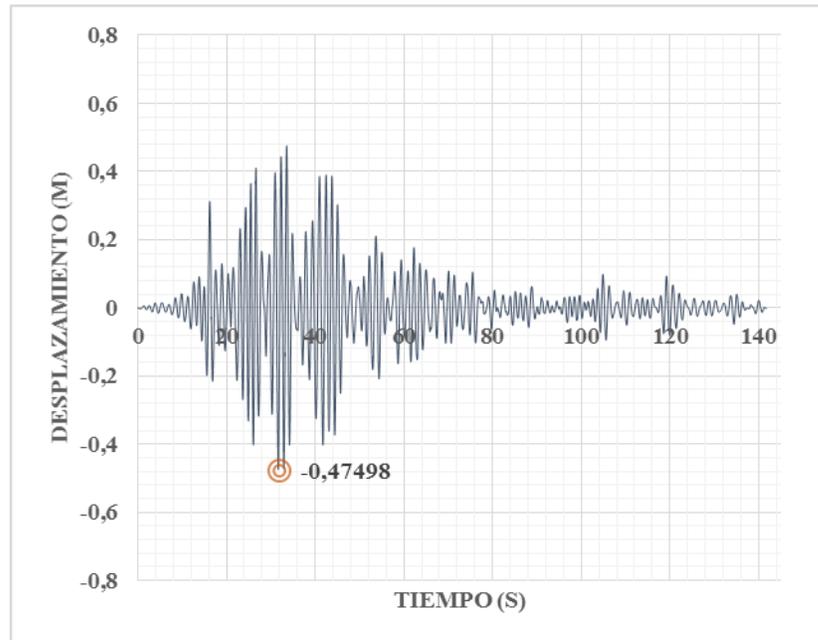


Figura IV-238: Desplazamiento del TMD en y, modelo con brazos. Constitución.

IV.8.2.3 Registro de Llolleo

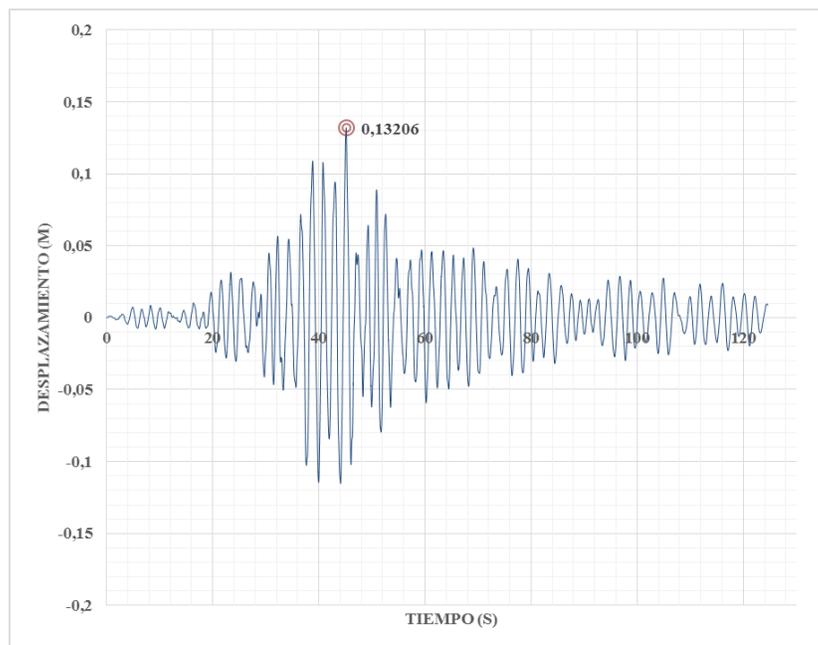


Figura IV-239: Desplazamiento del TMD en x, modelo con brazos. Llolleo.

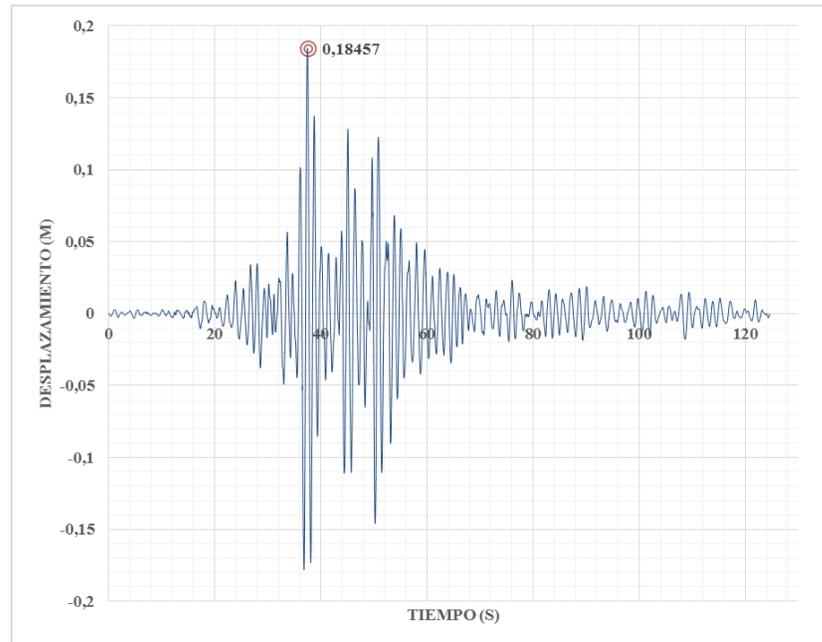


Figura IV-240: Desplazamiento del TMD en y, modelo con brazos. Lolloe.

V RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A continuación, se muestra una tabla con un resumen los resultados calculados en el epígrafe anterior:

Tabla V-9: Resumen de resultados.

		Desplazamiento del tablero (m)		Aceleración del tablero (g)		Esfuerzo Axial (tonf)		Desplazamiento del brazo(m)		Aceleración del brazo (g)	
		X	Y	X	Y	COMPRESIÓN	TRACCIÓN	X	Y	X	Y
CONCEPCIÓN	SIN TMD SIN BRAZOS DE CARGA	0,88	0,24	1,19	0,64	1958,77	1847,27	-	-	-	-
	CON TMD SIN BRAZOS DE CARGA	0,66	0,31	0,72	0,65	1647,58	1495,48	-	-	-	-
	VARIACIÓN %	-25%	29%	-39%	2%	-16%	-19%	-	-	-	-
	SIN TMD CON BRAZOS DE CARGA	0,86	0,26	1,15	0,62	1926,04	1790,32	0,62	0,34	0,56	1,62
	CON TMD CON BRAZOS DE CARGA	0,65	0,34	0,69	0,69	1632,61	1460,87	0,43	0,41	0,37	1,44
	VARIACIÓN %	-24%	31%	-40%	11%	-15%	-18%	-31%	21%	-34%	-11%
CONSTITUCIÓN	SIN TMD SIN BRAZOS DE CARGA	0,23	0,39	0,31	1,03	970,49	941,68	-	-	-	-
	CON TMD SIN BRAZOS DE CARGA	0,25	0,2	0,3	0,57	629,05	852,98	-	-	-	-
	VARIACIÓN %	9%	-49%	-3%	-45%	-35%	-9%	-	-	-	-
	SIN TMD CON BRAZOS DE CARGA	0,23	0,39	0,31	0,99	1004,73	940,29	0,18	0,5	0,17	3,27
	CON TMD CON BRAZOS DE CARGA	0,25	0,19	0,29	0,53	634,09	831,97	0,19	0,25	0,12	2,94
	VARIACIÓN %	9%	-51%	-6%	-46%	-37%	-12%	6%	-50%	-29%	-10%
LLOLLEO	SIN TMD SIN BRAZOS DE CARGA	0,069	0,13	0,1	0,34	393,53	415,87	-	-	-	-
	CON TMD SIN BRAZOS DE CARGA	0,06	0,09	0,07	0,26	302,03	293,82	-	-	-	-
	VARIACIÓN %	-13%	-31%	-30%	-24%	-23%	-29%	-	-	-	-
	SIN TMD CON BRAZOS DE CARGA	0,07	0,13	0,1	0,33	374	386	0,05	0,17	0,14	2,07
	CON TMD CON BRAZOS DE CARGA	0,06	0,097	0,07	0,25	310	282	0,06	0,12	0,14	1,9
	VARIACIÓN %	-14%	-25%	-30%	-24%	-17%	-27%	20%	-29%	0%	-8%

Una vez analizados e interpretados los resultados se puede concluir:

- El uso de Amortiguadores de Masa Sintonizados permite incorporar masa, rigidez y amortiguamiento suplementario a una estructura con el fin de conseguir un nivel de respuesta satisfactorio ante acciones dinámicas.
- En general se obtienen importantes reducciones en las respuestas obtenidas para los tres registros.
- Sin embargo, para algunos valores la respuesta se incrementa en los modelos con TMD. Es trabajo futuro el estudio de las causas de la desintonización producida.
- El peso total de este tipo de estructuras marítimas hace factible materializar un 10% de la masa total de la estructura en los dispositivos TMD con lo que se obtendrá una gran eficiencia en la implementación.
- La factibilidad y eficiencia de la solución, hacen viable la implementación de amortiguadores de masa sintonizados en estructuras marítimas offshore,
- Los desplazamientos de las masas se encuentran dentro de los rangos admisibles.

BIBLIOGRAFIA

- [1] THE OVERSEAS COASTAL AREA DEVELOPMENT INSTITUTE OF JAPAN, et al. (2009) Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan. Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- [2] CHRISTOPOULOS, Constantin; FILIATRAULT, André; BERTERO, Vitelmo Victorio. (2006) Principles of passive supplemental damping and seismic isolation.
- [3] RIVERA DE LA SOTTA G. (2015) Determinación de parámetros espectrales de registros sísmicos chilenos en función de propiedades características del suelo. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [4] Kayen R, Carkin BD, Corbet S, Pinilla C, Ng A, Gorbis E, Truong C. (2014) Seismic velocity site characterization of thirty-one Chilean seismometer stations by spectral analysis of surface wave dispersion. Technical Report PEER 2014/05, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, USA.
- [5] PRDW PROYECTOS. (1980-2016).
- [6] RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS, ROM 0.5-50. (2005) Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias.
- [7] PIANC. (2001) Seismic design guidelines for port structures.
- [8] DIRECCIÓN DE OBRAS PORTUARIAS. (2010) Diagnostico comportamiento infraestructura marítima y costera.
- [9] ASCE 7 American Society of Civil Engineers.
- [10] AISC 360-05 American Institute of Steel Construction