PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

"DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) MACROMODELS"

JHORDY ANDRES VARGAS RIOS

DIRECTOR: MSc. ING. CARLOS CELI

QUITO, 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia, que ha sido un apoyo en todo este trayecto estudiantil.

A mis padres que con su ejemplo me han enseñado a esforzarme para cumplir una meta, y con su esfuerzo y trabajo me han permitido estudiar en esta gran Universidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los profesores que a lo lardo de esta carrera me han transmitido sus conocimientos.

A mi director de tesis, el Ing. Carlos Celi que, con sus enseñanzas, tiempo y paciencia, me supo guiar durante este trabajo.

A mis correctores de tesis el Ing. Marcelo Guerra y el Ing. Oscar Jaramillo, por su tiempo invertido en este trabajo.

A mis compañeros y amigos de carrera, que me permitieron vivir el día a día en la universidad.

A todos quienes forman parte de la Universidad Católica, en especial a las personas que integran la Facultad de Ingeniería.

RESUMEN

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) está compuesto por fallas intraplaca que incrementan el riesgo sísmico de sus edificaciones (Aguiar, 2017). Además, las estructuras residenciales del centro histórico del DMQ son vulnerables ante eventos sísmicos debido al desgaste propio de sus materiales constitutivos y la falta de una filosofía sismo resistente en sus diseños, por estas razones es importante conocer el comportamiento de estas estructuras ante excitaciones sísmicas.

El presente trabajo tiene como finalidad el análisis de una tipología residencial estructural presente en el centro histórico, para evaluar su comportamiento ante excitaciones sísmicas. Para el análisis se genera un macromodelo a partir de la estructura 3D, para simplificar el análisis estructural y verificar el desempeño sometiéndola a diferentes excitaciones sísmicas.

Se realiza un modelo 3D completo de toda la tipología residencial en el programa SAP 2000 y se lo simplifica a un modelo 2D mediante una verificación en sus periodos de vibración. Para validar el modelo se comparan sus periodos de vibración con otro modelo generado en RIGID gracias al Ing. Wilson Torres. Una vez validado el modelo 2D, se genera un macromodelo con puntales de compresión en los sectores donde existen grandes esfuerzos a corte. Ya con el macromodelo generado se encuentra la curva de capacidad de la estructura y se la compara con la obtenida en el programa RIGID. Esta curva de capacidad nos sirve para calibrar el Macromodelo

Con el Macromodelo correctamente calibrado se procede a realizar un análisis Tiempo-Historia, al someterlo ante diferentes excitaciones sísmicas. Se eligen dos puntos de control

en la primera y segunda losa, logrando así generar las curvas de desplazamiento de estos dos puntos de control.

Con las curvas Tiempo VS Desplazamiento y Desplazamiento VS corte basal generadas, se puede observar el comportamiento de la tipología estructural ante diferentes sismos. Y Se verifica mediante las rótulas del macromodelo si este llega a su máxima capacidad estructural, verificando la capacidad estructural de la tipología residencial elegida.

Para finalizar se generan gráficas con los máximos desplazamientos y corte obtenidos en los puntos de control, para verificar el comportamiento estructural ante diferentes excitaciones sísmicas.

ABSTRACT

The metropolitan district of Quito (DMQ) is composed of intraplate faults that increase the seismic risk of its buildings (Aguiar, 2017). In addition, the residential structures of the historic center of Quito are vulnerable to seismic events due to the wear and tear of their constituent materials and the lack of a resistant earthquake philosophy in their designs, for these reasons it is important to know the behavior of these structures against seismic excitations.

The purpose of this work is the analysis of a structural residential typology present in the old town of Quito, to evaluate its behavior against seismic excitations. For the analysis a macromodel is generated from the 3D structure, to simplify the structural analysis and verify the performance by subjecting it to different seismic excitations.

A complete 3D model of the entire residential typology is generated in SAP 2000 program, and simplified to a 2D model through a verification of its vibration periods. To validate the model, its vibration periods are compared with another model generated in RIGID thanks to Ing. Wilson Torres. Once the 2D model is validated, a macromodel with compression struts is generated in the sectors where there are great efforts to cut. The capacity curve of the structure is already found with the macromodel generated and compared with that obtained in the RIGID program.

With the correctly calibrated model, the model is loaded before different seismic excitations. Two control points are chosen in the first and second slab, thus generating the displacement curves of these two control points.

With the displacement and basal force curves generated, the behavior of the structural typology can be observed in different earthquakes. And it is compared with its capacity curve to verify the behavior of the typology against seismic excitations.

To finalize graphs are generated with the maximum displacements and cut obtained in the control points, to verify the structural performance against different seismic excitations.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ..... **ii**
AGRADECIMIENTO ..... **iii**
RESUMEN ..... **iv**
ABSTRACT ..... **vi**
INDICE DE CONTENIDOS ..... **viii**
INDICE DE FIGURAS ..... **x**
INDICE DE TABLAS ..... **xiv**
Capítulo 1 : GENERALIDADES **1**
1.1 INTRODUCCION 1
1.2 JUSTIFICACIÓN 4
1.3 OBJETIVOS 5
1.3.1 Objetivo General 5
1.3.2 Objetivos Específicos 5
1.4 MARCO TEÓRICO 6
1.4.1 Análisis estructural de edificaciones antiguas 6
1.4.2 Método de elementos finitos (MEF) 7
1.4.3 Macromodelo 7
1.4.4 Modos de Vibración de una estructura 8
1.4.5 Periodo de una estructura 9
1.4.6 Modelamiento de edificaciones históricas 9
Capítulo 2 : CARACTERIZACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO **11**
2.1 Riesgo sísmico del sector 11
2.2 Sismos Sintéticos. 12
Capítulo 3 : MODELOS ESTRUCTURALES **20**
3.1 Materiales. 20
3.1.1 Módulo de Elasticidad de Mampostería. 21
3.1.2 Resistencia a Compresión de Mampostería. 22
3.1.3 Tracción indirecta en mampostería. 22
3.1.4 Madera. 23
3.2 Zona de estudio 24

3.3 Tipología residencial estructural. 28
3.4 Modelo 3D. 32
3.4.1 Cargas en el modelo 3D 33
3.4.2 Periodos de la estructura 36
3.4.3 Modelo 3D simplificado 39
3.4.4 Cargas en el modelo 3D simplificado 42
3.4.5 Validación modelo 3D simplificado 45
3.5 Macromodelo 46
3.5.1 Cargas en el pórtico 1 47
3.5.2 Validación del Macromodelo 51
Capítulo 4 : ANÁLISIS DEL MACROMODELO 54
4.1 Generación de los Macro Elementos 54
4.2 Método de columna ancha 55
4.3 Puntal de compresión 57
4.4 Calibración de los Macroelementos 63
4.4.1 Cargas en los Macroelementos. 63
4.4.2 Análisis estático no lineal 66
4.4.3 Curvas de Capacidad. 71
Capítulo 5 : ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA 74
5.1 Análisis Tiempo-Historia en SAP 2000. 74
5.2 Puntos de Control. 77
5.3 Gráficas de resultados. 78
5.4 Gráficas con sismo Escalado. 99
5.5 Gráficas de resumen. 104
Capítulo 6 : CONCLUSIONES 112
Capítulo 7 : RECOMENDACIONES 114
Capítulo 8 : BIBLIOGRAFÍA 115
Capítulo 9 : ANEXOS. 117

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: Acelerogramas generados con datos del Instituto Geofísico. 13
FIGURA 2-2: Acelerogramas ORIGINALES utilizados en el análisis Tiempo Historia.
a) 1er Registro b) 2do Registro c) 3er Registro. 14
FIGURA 2-3: Acelerogramas 25 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a)
1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo 15
FIGURA 2-4: Acelerogramas 35 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a)
1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo 16
FIGURA 2-5: Acelerogramas 50 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a)
1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo 17
FIGURA 2-6: Acelerogramas 50 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a)
1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo 18
FIGURA 3-1: Muretes de adobe ensayados a tracción indirecta 23
FIGURA 3-2: Zona de Estudio 24
FIGURA 3-3: Fotos de algunas fachadas encontradas en la zona de estudio. 25
FIGURA 3-4: Fachadas de las diferentes TIPOLOGÍAS RESIDENCIALES: a) Tipología
1; b) Tipología 2; c) Tipología 3; d) Tipología 4; e) Tipología 5; f) Tipología 6 . 27
FIGURA 3-5: Fotografía TIPOLOGIA 1 28
FIGURA 3-6: Fachada de la Tipología Estructural 28
FIGURA 3-7: Planimetría PB de la tipología estructural. 29
FIGURA 3-8: Planimetría 1er Piso de tipología estructural. 30
FIGURA 3-9: Distribución de vigas de madera en entrepiso y cubierta 31
FIGURA 3-10: Cercha de cubierta. 32
FIGURA 3-11: Modelo 3D en AutoCAD. 32
FIGURA 3-12: Modelo 3D en SAP 2000 33
FIGURA 3-13: Carga Muerta de la estructura 3D en SAP 200 35
FIGURA 3-14: Carga Viva de la estructura 3D en SAP 200 36
FIGURA 3-15: 1er modo del modelo 3D con un T=0.12767 37
FIGURA 3-16: 2do modo del modelo 3D con un T=0.10979 37
FIGURA 3-17: 3er modo del modelo 3D con un T=0.10655 38
FIGURA 3-18: 4to modo del modelo 3D con un T=0.10017 38
FIGURA 3-19: Modelo 3D discretizado cada 1. 40
FIGURA 3-20: Modelo 3D discretizado cada 0.5. 40
FIGURA 3-21: Modelo 3D Discretizado a 0.25 40
FIGURA 3-22: Comparación de periodo VS nivel de discretizado 41
FIGURA 3-23: Carga Muerta nivel +3.0 modelo 3D simplificado 42
FIGURA 3-24: Carga Muerta Nivel + 6.0 m modelo 3D simplificado 43
FIGURA 3-25: Carga Viva Nivel + 3.0 modelo 3D simplificado 43
FIGURA 3-26: Carga Muerta modelo 3D simplificado SAP 2000 44
FIGURA 3-27: Carga Viva modelo 3D simplificado SAP 2000 44
FIGURA 3-28: 1er modo de vibración del modelo 3D simplificado 45

FIGURA 3-29: Pórtico 1 del modelo 3D 46
FIGURA 3-30: Pórtico 2 del modelo 3D 46
FIGURA 3-31: Pórtico 3 del modelo 3D 47
FIGURA 3-32: Carga Muerta en el pórtico 1. 48
FIGURA 3-33: Carga Viva en el pórtico 1. 48
FIGURA 3-34: Reacciones verticales por carga muerta en el pórtico 1. 49
FIGURA 3-35: Reacciones verticales por carga muerta en el modelo 3D simplificado. 49
FIGURA 3-36: Comparación entre reacciones verticales de los modelos 3D y macromodelo 50
FIGURA 3-37: Periodo del modelo 2D (T=0.1088) 50
FIGURA 3-38: Comparación 1er modo Modelo 2D 51
FIGURA 3-39: Comparación 2do modo Modelo 2D 52
FIGURA 3-40: Comparación 3er modo Modelo 2D 52
FIGURA 3-41: Comparación 4to modo Modelo 2D 52
FIGURA 4-1: Esfuerzos de corte en el Macromodelo 55
FIGURA 4-2: Sectores para Columna Ancha 56
FIGURA 4-3: Columnas anchas en SAP 2000 57
FIGURA 4-4: Analogía puntal a compresión. 58
FIGURA 4-5: Comparación de Esfuerzos de **Corte** en los Modelos 58
FIGURA 4-6: Sector de la mampostería para el Puntal Grande 59
FIGURA 4-7: Sectores de la mampostería para los Puntales Pequeños. 60
FIGURA 4-8: Macroelementos 1 61
FIGURA 4-9: Capacidad de rótulas en los Macroelementos 1 61
FIGURA 4-10: Macroelementos 2 62
FIGURA 4-11: Tensión límite en puntales de Macroelementos 2 62
FIGURA 4-12: Puntales sin capacidad a tensión en Macroelementos 2 63
FIGURA 4-13: Carga Muerta en los Macroelementos 1 64
FIGURA 4-14: Carga Viva en los Macroelementos 1 65
FIGURA 4-15: Carga Muerta en los Macroelementos 2 65
FIGURA 4-16: Carga Viva en los Macroelementos 2 66
FIGURA 4-17: Modelo en RIGID. 67
FIGURA 4-18: Forma de la Carga incremental sentido positivo. 68
FIGURA 4-19: Forma de la Carga incremental sentido negativo 68
FIGURA 4-20: Parámetros de la carga gravitacional no lineal. 69
FIGURA 4-21: Parámetros de la carga incremental no lineal 70
FIGURA 4-22: Comparación curvas de capacidad sentido negativo. a) Curva obtenida por RIGID b) Curva obtenida en SAP 2000. 71
FIGURA 4-23: Comparación falla macroelementos 1 – Esfuerzos de corte RIDID 72
FIGURA 4-24: : Comparación falla macroelementos 2 – Esfuerzos de corte RIGID 72
FIGURA 5-1: Ingreso de registros sísmicos en SAP 2000. 75
FIGURA 5-2: Ingreso de patrón de carga tiempo historia en SAP 2000 76
FIGURA 5-3: Puntos de control en los modelos 77

FIGURA 5-4: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **25 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 79
FIGURA 5-5: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **25 AÑOS**; a)
1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 80
FIGURA 5-6: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **25 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 81
FIGURA 5-7: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **25 AÑOS**; a)
1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 82
FIGURA 5-8: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **35 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 83
FIGURA 5-9: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **35 AÑOS**; a)
1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 84
FIGURA 5-10: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **35 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 85
FIGURA 5-11: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **35 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 86
FIGURA 5-12: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **50 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 87
FIGURA 5-13: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **50 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 88
FIGURA 5-14: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **50 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 89
FIGURA 5-15: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **50 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 90
FIGURA 5-16: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **75 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 91
FIGURA 5-17: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **75 AÑOS**; a)
1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 92
FIGURA 5-18: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **75 AÑOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 93
FIGURA 5-19: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **75 AÑOS**; a)
1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 94
FIGURA 5-20: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con sismos **ORIGINALES**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 95
FIGURA 5-21: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con sismos **ORIGINALES**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 96
FIGURA 5-22: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con sismos **ORIGINALES**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 97
FIGURA 5-23: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con sismos **ORIGINALES**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 98
FIGURA 5-24: Desplazamiento VS Corte basal en **NUDO 70** con sismos **ESCALADOS**;
a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 100

FIGURA 5-25: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 101
FIGURA 5-26: Desplazamiento VS Corte basal en **NUDO 84** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 102
FIGURA 5-27: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo 103
FIGURA 5-28: Falla del modelo ante 3er sismo ESCALADO. 104
FIGURA 5-29: Máximos **desplazamientos** en el **NUDO 70.** 105
FIGURA 5-30: : Máximos **desplazamientos** en el **NUDO 84** 106
FIGURA 5-31: : Máximo **Corte basal** por sismo. 107
FIGURA 5-32: : Máximos **desplazamientos** por Periodo en **el NUDO 70**. 108
FIGURA 5-33: : Máximos **desplazamientos** por Periodo en el **NUDO 84**. 109
FIGURA 5-34: : Máximo **Corte basal** por Periodo. 110
FIGURA 5-35: Esquema interacción sismo-estructura con **3er Sismo Escaldo**. 111

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: PGA de los sismos usados. 19
Tabla 3-1: Tabla 7-1 FEMA – 356 (Propiedades de mampostería) 20
Tabla 3-2: Resistencias del adobe según normativas 21
Tabla 3-3: Valores del módulo de elasticidad en mampostería 21
Tabla 3-4: Valores de resistencia a la compresión en mampostería. 22
Tabla 3-5: Resistencia a tracción indirecta del murete. 23
Tabla 3-6: Cargas Asignadas al modelo 3D 35
Tabla 3-7: Periodos en el modelo 3D 38
Tabla 3-8: Periodos en el modelo 3D simplificado 41
Tabla 3-9: Cargas Asignadas al modelo 3Dsimplificado 43
Tabla 3-10: Periodos en los pórticos del modelo 3D 47
Tabla 3-11: Participación de masa por modo de vibración 53
Tabla 4-1: Cargas Obtenidas del modelo 2D. 64
Tabla 5-1: Amplificación lineal del PGA para sismos de 25 años. 99

Capítulo 1 : GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

En Ecuador, el 16 de abril de 2016 se produjo un sismo de subducción de 7.8 Mw que principalmente afecto a las provincias de Manabí y Esmeraldas. Lo cual nos recordó que Ecuador posee un alto riesgo sísmico.

En el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) existen fallas intraplaca que podrían generar una amenaza importante para edificaciones sin un diseño sismo resistente adecuado. Y sabiendo que las tipologías estructurales del centro histórico del DMQ presentan una alta vulnerabilidad, el riesgo ante un evento sísmico incrementa. (Aguiar, 2003)

Las construcciones patrimoniales del centro histórico del DMQ han sido diseñadas y construidas sin un criterio sísmico adecuado (Torres, Luis, & Cristián, 2017), porque en su época no existía una normativa y un diseño sismoresistente adecuado. Además, estas tipologías suelen ser sistemas estructurales de mampostería (sistemas de baja ductilidad), propensas a fallas frágiles frente a demandas sísmicas moderadas y altas.

Las estructuras del DMQ han estado sometidas a diferentes solicitaciones de carga durante sus años de servicio (Aguiar, 2017). Además, estas estructuras (con una edad patrimonial alta) han sufrido un desgaste en sus materiales constitutivos. Y este desgaste que presentan sus materiales constitutivos incrementa la vulnerabilidad de las estructuras ante un evento sísmico.

La historia nos muestra casos como la basílica de San Marcos en Venecia, que 9 siglos después de su construcción, se desplomó sin ser afectada por acciones externas aparentes. Se

estima que sus materiales sufrieron un desgaste que provocó la falla en la edificación (Meli, 1998). Puesto que las tipologías residenciales del centro histórico del DMQ tienen sistemas estructurales similares a la basílica, podría correlacionarse sus modos de falla.

La presente investigación pretende estimar la fragilidad de una tipología estructural residencial presente en el centro histórico del DMQ, con énfasis en los efectos provocados debido a las cargas sísmicas incrementales.

La modelación de estructuras patrimoniales se apoya en el análisis estructural no lineal, con el fin de entender las características propias de las estructuras patrimoniales y sus condiciones actuales (Pelà, Cervera, & Roca, 2012). Para la estimación de las propiedades de los materiales y sistemas resistentes presentes en edificaciones del centro histórico del DMQ, se usará la bibliografía existente.

Se realiza un análisis visual de las diferentes tipologías existentes en el centro histórico, para generar una tipología representativa en el área de estudio. Con la tipología residencia estructural seleccionada, se realiza un modelo 3D con base en elementos finitos, con el fin de encontrar los periodos de la estructura y lograr determinar el pórtico que tiene la mayor participación de masa. Con el pórtico seleccionado se genera un modelo 2D que representa la tipología estructural en el plano XZ. Y se lo valida comparando sus periodos de vibración al modelo generado en RIGID por el Ing. Wilson Torres.

Validado el modelo 2D, se verifica en que sectores de la mampostería existen concentraciones de esfuerzos de corte, para generar los macroelementos que representan estos sectores propensos a una falla local. Los macroelementos son analogías de columna ancha y puntales a compresión, que representan el comportamiento físico de la estructura.

Con el macromodelo generado a partir de los macroelementos, se realiza un análisis tiempo-historia ante diferentes excitaciones sísmicas, para encontrar las curvas de tiempo vs desplazamiento y desplazamiento vs corte basal en dos puntos de control, logrando así comparar el comportamiento de la estructura ante la capacidad que esta posee.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El centro histórico del DMQ es patrimonio cultural de la humanidad, declarado así por la UNESCO. Además, es una de las zonas de mayor densidad poblacional, comercial y cultural de la ciudad. Por lo que es importante realizar estudios de vulnerabilidad sísmica en el mencionado sector.

El centro histórico del DMQ es particular en cuanto al estudio de riesgo sísmico, debido a sus construcciones patrimoniales, sus características topográficas y las características sísmicas y geológicas de la ciudad.

En particular las tipologías estructurales presentan patologías propias de los sistemas constructivos, filosofía de cálculo y materiales de la época en la cual fueron construidas (Roca, Cervera, Gariup, & Pela', 2010).

La presente investigación pretende comprender en mejor manera el comportamiento estructural de diferentes tipologías (residenciales patrimoniales) del centro histórico del DMQ con el fin de determinar probabilísticamente la fragilidad estructural de las mismas; El resultado de la presente investigación podrá añadirse al análisis probabilístico de vulnerabilidad sísmica del DMQ realizado por el Ing. Carlos Celi en el proyecto SARA. Para con ello planificar estrategias de reducción de riesgo sísmico(Celi, Pantoja, Sosa, & Ayala, 2018).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento estructural de las tipologías identificadas en el centro histórico frente a las diferentes solicitaciones de carga.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Generar un modelo matemático representativo de las tipologías identificadas.

- Evaluar el desempeño estructural de las tipologías.

- Validar el modelo generado.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 Análisis estructural de edificaciones antiguas

El análisis estructural de estructuras patrimoniales continúa siendo un desafío en la ingeniería estructural, tanto por las incertidumbres existentes en la geometría y en las propiedades de los materiales que la componen.(Tarque, 2015).

Los métodos actuales de análisis estructural nos permiten estimar de manera aproximada el comportamiento de los sistemas resistentes compuestos por mampostería. Además, el desarrollo computacional ha logrado generar modelos que simulan el comportamiento de la estructura con mayor precisión, y permiten evaluar las estructuras de mampostería ante un sismo dado.

En un análisis mediante macroelementos, los muros de mampostería se modelan empleando elementos tales como; barras, vigas de antepecho y elementos de unión. Estos modelos se caracterizan por un coste computacional muy bajo, ya que cada macroelemento representa todo un panel de la pared, lo que reduce drásticamente el número de grados de libertad de la estructura. Los elementos usados en los macroelementos son analogías que representan a sectores específicos de la mampostería.

La vulnerabilidad sísmica está estrictamente relacionada con la respuesta de los paneles de mampostería sometidos a cargas laterales. Por tanto, es interesante comprender el comportamiento de muros de mampostería mediante la simulación de tales situaciones de carga generados por diferentes excitaciones (Quinteros,2014).

1.4.2 Método de elementos finitos (MEF)

El método de elementos finitos (MEF) agrupa porciones que no se intersecan entre sí, en los que se divide un medio continuo con ciertas propiedades y características similares cuyos valores se interpolan en función de los valores en un conjunto de puntos discretos del elemento conocidos como "nodos". Gracias a ese aumento de elementos de tamaño variable se logra representar el elemento completo, y se logra usar ecuaciones diferenciales asociadas al problema en cuestión para reducir el error (Saloustros, Pelà, Cervera, & Roca, 2014).

El objetivo de un análisis por MEF es determinar de forma más cercana a la realidad la respuesta de un sistema ante acciones que lo afectan. Para este análisis se usa una cantidad finita de elementos que representan el sistema. No debemos olvidar que este método es una idealización de un sistema físico real. Por ser una idealización no se genera una solución exacta, más bien una solución precisa. Este método provee una herramienta fiable para analizar problemas estructurales complejos (Annecchiarico, Portioli, & Landolfo, 2010).

Para comenzar con la representación del modelo y la división en elementos finitos (discretización), debemos realizar un bosquejo del sistema físico, condiciones de frontera, cargas y discontinuidades geométricas o de material. Debemos incluir un sistema de coordenadas globales y las dimensiones de la estructura (Annecchiarico et al., 2010).

1.4.3 Macromodelo.

En el modelamiento de una mampostería por macroelementos, no existe distinción entre la unidad y el mortero, se trata el elemento como un material continuo, isotrópico y homogéneo.

Con esto se logra obtener una adecuada caracterización de la respuesta estructural (Hasik, Chhabra, Warn, & Bilec, 2018) .

La generación de un macromodelo se basada en un entendimiento del comportamiento físico que presenta una mampostería, para generar elementos que representen el comportamiento real de toda la mampostería (Crisafulli & Carr, 2007)

Se puede obtener mucha información del estudio de las estructuras de mampostería regulares, en las que se produce una repetición periódica de la microestructura debido a una disposición constante de las unidades o ladrillos (Annecchiarico et al., 2010)

1.4.4 Modos de Vibración de una estructura

Las estructuras poseen distintas formas de vibrar ante cargas dinámicas que, en la eventualidad de un sismo, pueden afectar la misma en mayor o menor medida. Estas formas de vibrar se conocen como modos de vibración.

Los parámetros modales del sistema son la solución del siguiente problema de valores y vectores característicos:

$$\left(M\lambda_r{}^2 + C\lambda_r + K\right)\psi_r = \vec{0} \qquad (1)$$

Donde:

M= Matriz de masa del sistema.

C= Matriz de amortiguamiento del sistema

K= Matriz de rigidez del sistema.

λr= Frecuencias naturales (valores propios)

ψr= Modos de vibración (vectores propios)

De la ecuación (1), λ_r representa las frecuencias naturales complejas del sistema (valores característicos), y ψ_r representa las formas modales asociadas con cada una de estas frecuencias (vectores característicos). $\vec{0}$ es un vector de ceros, porque la energía potencial del sistema es cero en la posición de equilibrio, y r indica el número del modo.

Resolviendo el problema de valores y vectores característicos (valores y vectores propios), se encuentra la frecuencia natural del sistema para los n modos de vibración.

1.4.5 Periodo de una estructura

El Período Estructural es el tiempo que tarda en realizar una oscilación o movimiento, y la frecuencia es la cantidad de oscilaciones movimientos que ocurren en una unidad de tiempo. El "Período Fundamental" es aquel de mayor duración por lo que introduce mayor daño a la estructura ya que origina los mayores desplazamientos.

Con la ecuación (1) resuelta se obtiene la frecuencia natural del modo de vibración, y por lo tanto el periodo que es el inverso de la frecuencia natural.

1.4.6 Modelamiento de edificaciones históricas

Los métodos para el modelamiento estructural de construcciones históricas deben ser capaces de generar una geometría y morfología similar a la realidad, incluyendo la forma estructural, la composición interna, las conexiones y las condiciones de apoyo. Y se debe tener una correcta distribución de masa y fuerzas externas (Hasik et al., 2018).

Un análisis lineal elástico es comúnmente usado en estructuras de acero y hormigón armado, sin embargo, en estructuras de mampostería se torna inadecuado este análisis debido a que

no toma en cuenta la baja capacidad en tensión de sistemas estructurales de mampostería y otras características de su comportamiento (Meli, 1998).

Debido a la baja capacidad a tensión de la mampostería, se estima una compleja respuesta no-lineal incluso a bajos y medios niveles de esfuerzo. Por esto el análisis lineal no estima adecuadamente el comportamiento estructural de edificaciones residenciales con sistemas resistentes de mampostería.

En el modelamiento no lineal, mientras aumenta el nivel de carga, el tamaño de la zona sometida a tensión crece, siendo necesario modificar las características del modelo en cada intervalo de carga. Un planteamiento más claro es conectar los elementos finitos mediante resortes que no resisten tracción, y que desconectan los elementos cuando se da esa condición de esfuerzos (Roca et al., 2010).

Capítulo 2 : CARACTERIZACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO

2.1 Riesgo sísmico del sector

El concepto de amenaza se refiere a un peligro latente o factor de riesgo externo de un sistema o un sujeto expuesto, que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado (Cardona A., 2001) .

La vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras o una zona urbana completa, se define como su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico, asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño, y se puede relacionar con el error humano (ejemplo: mala ubicación del inmueble, utilización de materiales inapropiados, defectos constructivos, entre otros), por tanto, se puede minimizar (Bonett, 2003).

La capacidad estructural de las edificaciones residenciales del centro histórico del DMQ ante excitaciones sísmicas puede reducir con el tiempo por diversas razones como son: el deterioro natural de los materiales y el desgaste al que estuvieron sometidos en sismos anteriores, también por modificaciones que han sufrido las estructuras. Todo esto incrementa la vulnerabilidad del sector.

Si se considera que en los últimos cuatro siglos no ha habido en Quito un sismo de magnitud 6 o más asociado a los segmentos de fallas ciegas, y considerando que están en movimiento continuo, quiere decir que hay una cantidad de energía acumulada muy significativa que

puede liberarse en cualquier momento ya que se encuentra dentro de los períodos de recurrencia esperados (Aguiar, 2017)

Considerando que la amenaza está aumentando pues no ha existido un sismo fuerte en el sector y además la vulnerabilidad también aumenta con el desgaste de los materiales, el riesgo sísmico del sector aumenta a medida que avanza el tiempo.

Dada la alta incidencia de la intervención humana en la vulnerabilidad, que es determinante para definir el riesgo sísmico, aunque los sismos son un fenómeno natural, los desastres resultantes cuando ocurren, no pueden ni deben considerarse como "desastres naturales" (Bommer, Salazar, & Samayoa, 1998)

2.2 Sismos Sintéticos.

El modelo del terremoto característico TC asume que en la falla se producen rupturas que generan un sismo de la misma magnitud en una periodicidad determinada, por tanto, luego de que transcurre el período, se esperaría un sismo de la misma magnitud que el anterior.

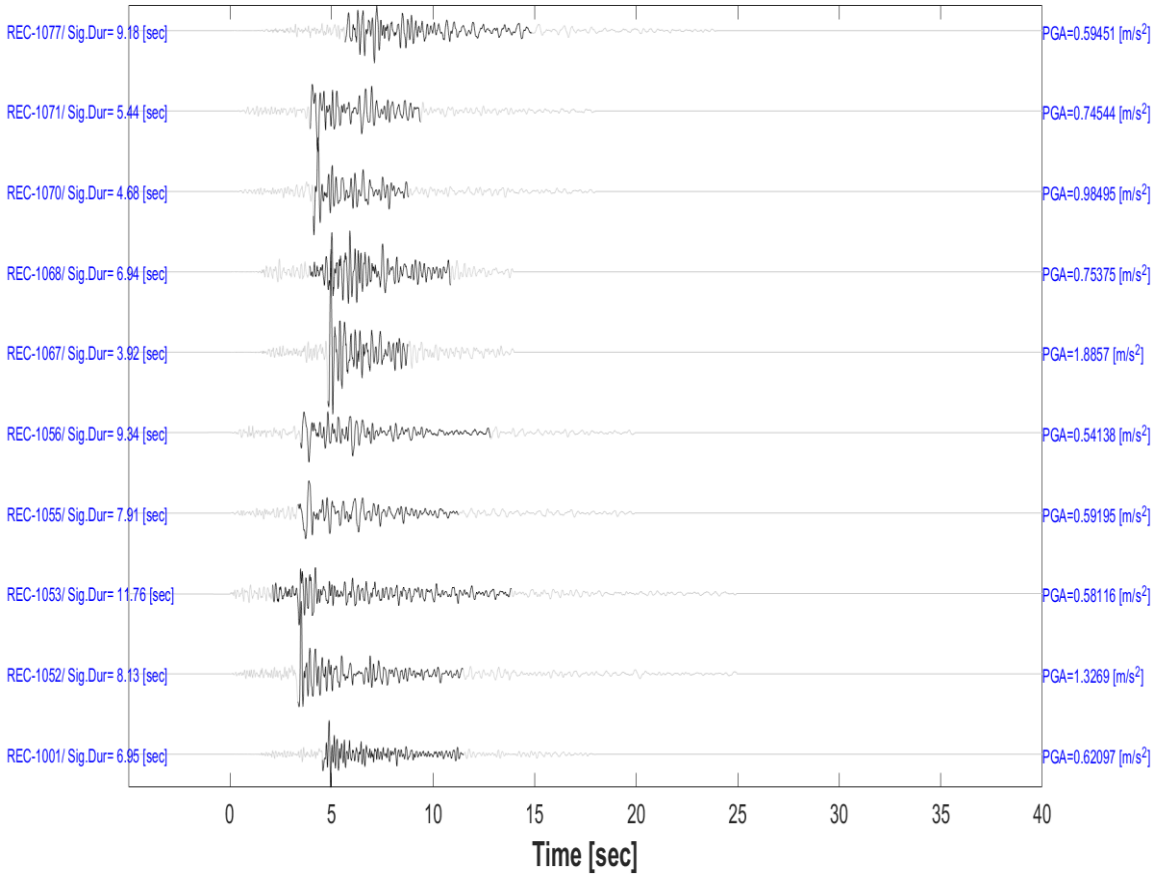
El sismo de diseño tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (período de retorno de 475 años), determinado a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico. Para caracterizar este evento, puede utilizarse un grupo de acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio, conforme lo establece la NEC. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño.

Un acelerograma es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un sismo. Los valores de la aceleración se obtienen mediante unos instrumentos llamados acelerógrafos que registran la aceleración del suelo.

Gracias a Alexander Paredes en su tesis: "Generación de acelerogramas sintéticos aplicables a la región de Quito-Ecuador", se generaron sismos sintéticos en base a registros sísmicos otorgados por el Instituto Geofísico.

En la FIGURA 2-1 se observan varios registros obtenidos del Instituto Geofísico, a partir de los cuales se generó los sismos sintéticos.

FIGURA 2-1: Acelerogramas generados con datos del Instituto Geofísico.



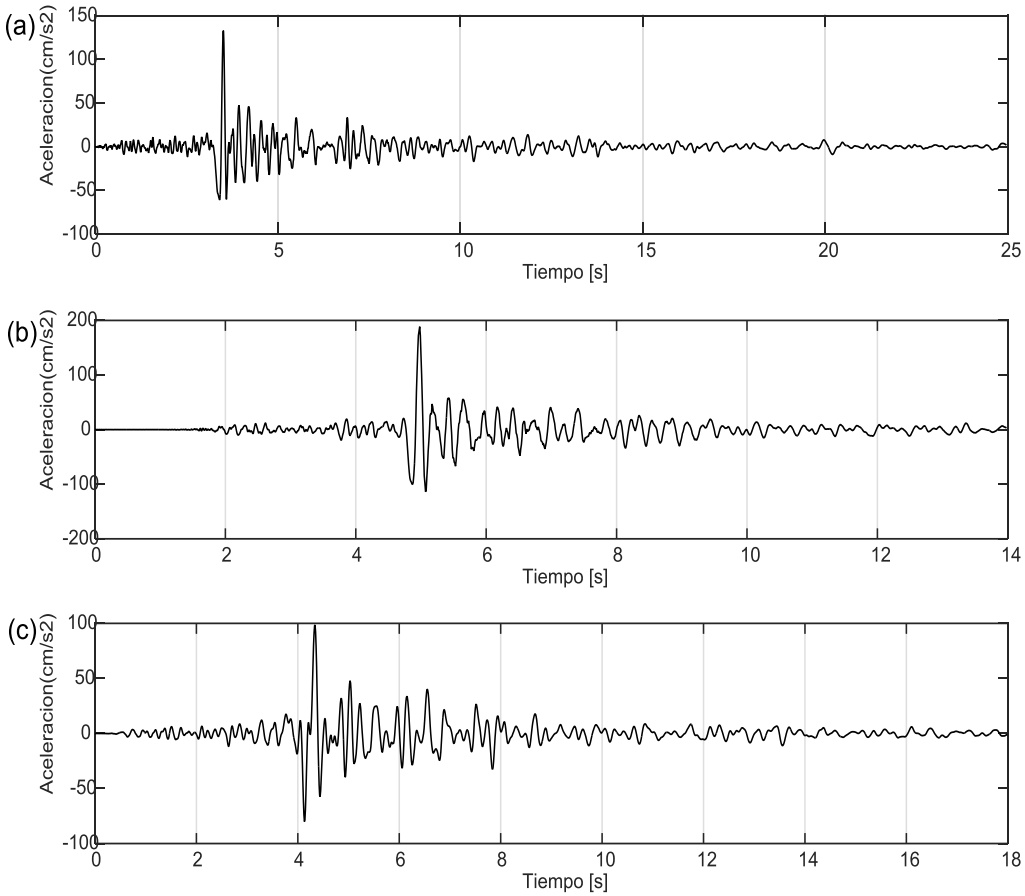
Fuente: Alexander Paredes

A partir de los registros originales se generó sismos sintéticos para 25 años, 35 años, 50 años y 75 años de recurrencia. Conforme a los espectros presentes en la NEC

Para nuestro análisis se utiliza tres sismos sintéticos por periodo, y tres sismos originales.

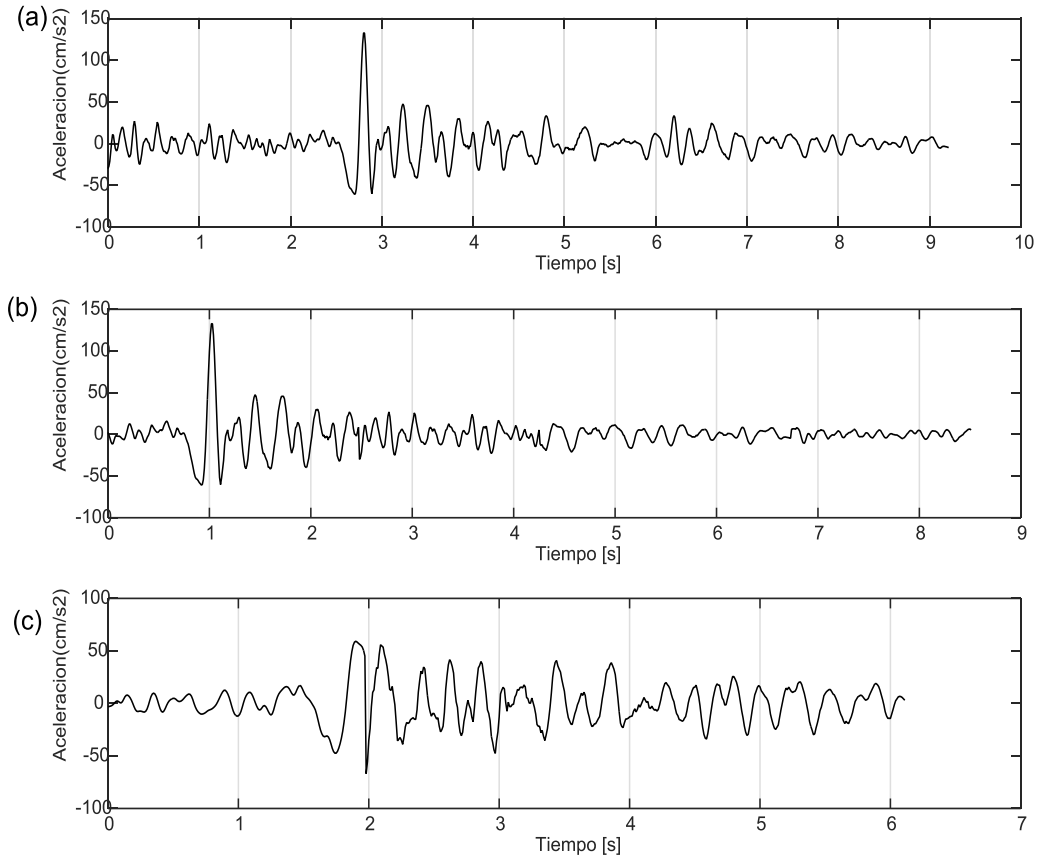
En las figuras siguientes se muestran los acelerogramas de los sismos que se utilizó en nuestro análisis.

FIGURA 2-2: Acelerogramas ORIGINALES utilizados en el análisis Tiempo Historia. a) 1er Registro b) 2do Registro c) 3er Registro.



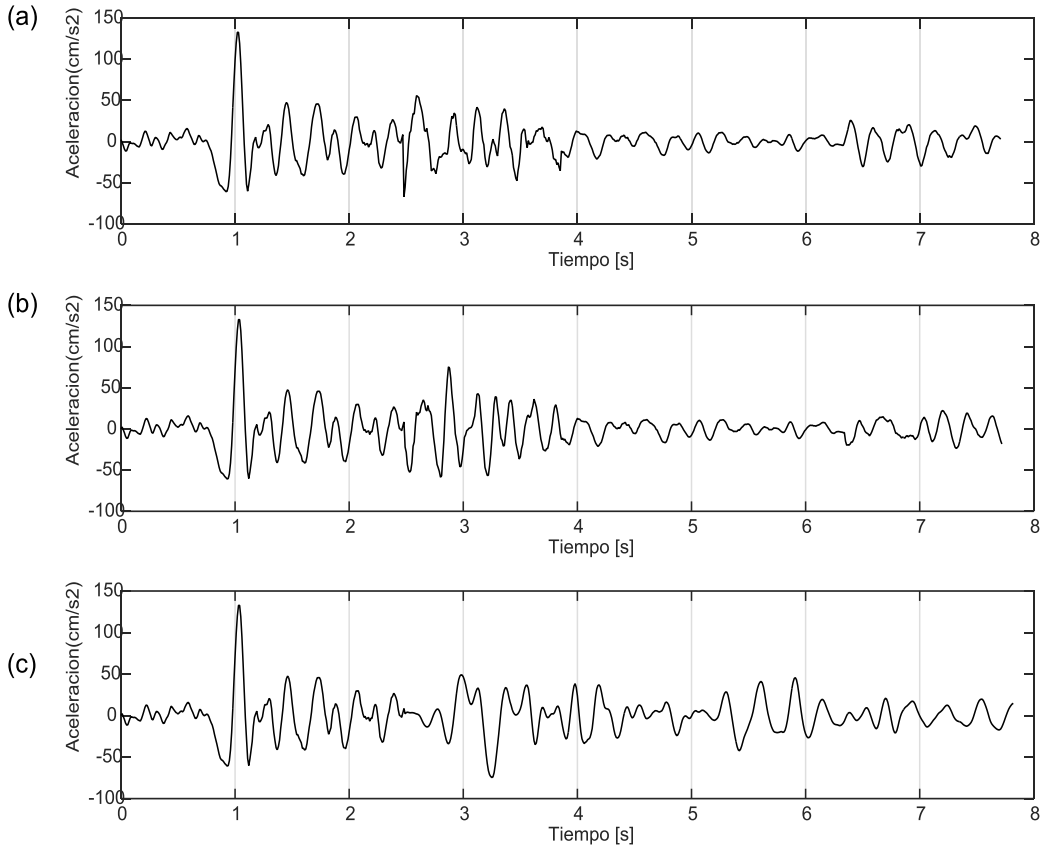
Fuente: Alexander Paredes

FIGURA 2-3: Acelerogramas 25 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a) 1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo



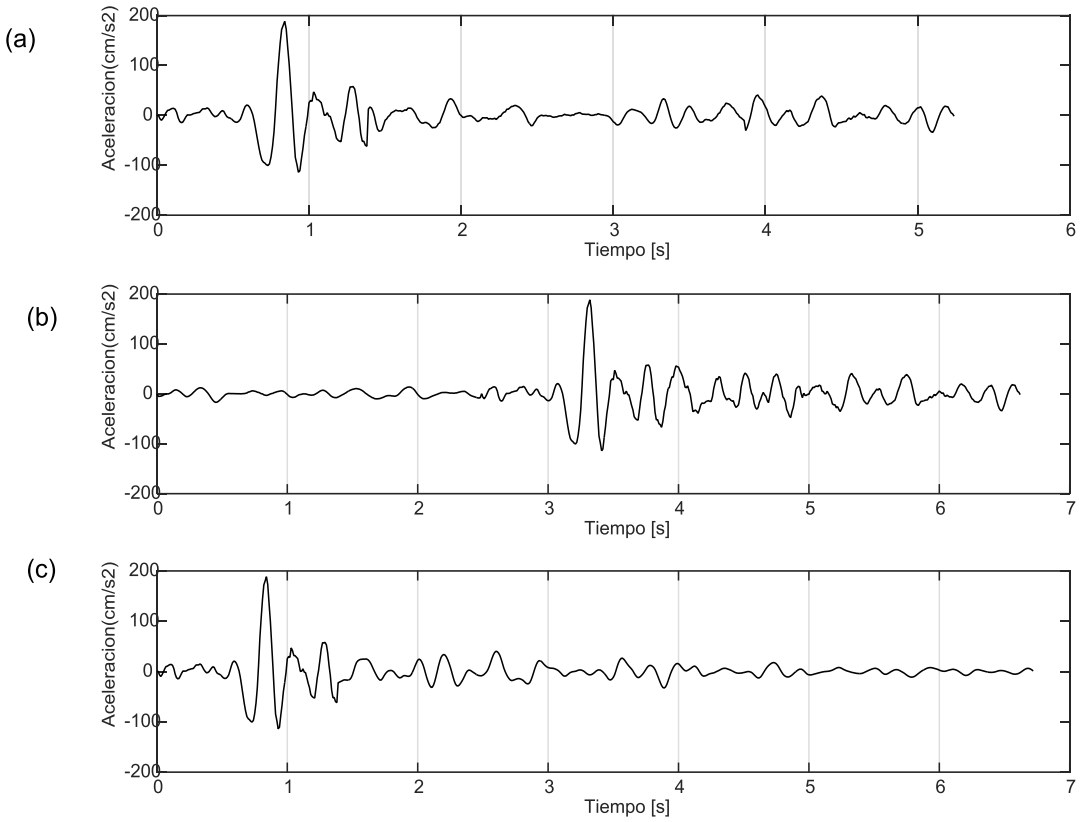
Fuente: Alexander Paredes

FIGURA 2-4: Acelerogramas 35 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a) 1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo



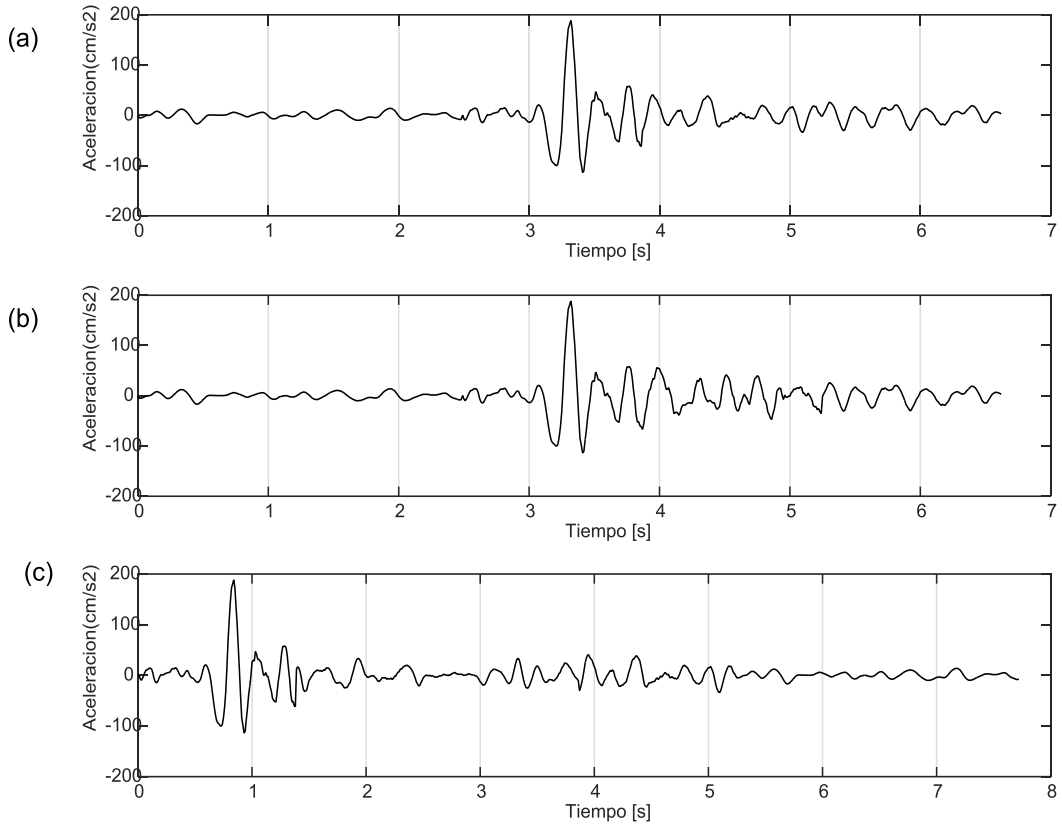
Fuente: Alexander Paredes

FIGURA 2-5: Acelerogramas 50 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a) 1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo



Fuente: Alexander Paredes

FIGURA 2-6: Acelerogramas 50 AÑOS utilizados en el análisis Tiempo Historia. a) 1er Sismo b) 2do Sismo c) 3er Sismo



Fuente: Alexander Paredes

De cada registro se encontró el pico máximo de aceleración (PGA), para compararlo con el máximo esperado en un periodo de retorno de 475 años con un PGA 0.4 G.

Todos estos acelerogramas (generados a partir de registros ocurridos en la ciudad de Quito) nos servirán para el análisis tiempo historia del modelo estructural, esto se ve en el CAPÍTULO 5 de este trabajo.

Tabla 2-1: PGA de los sismos usados.

SISMO	PGA
1er 25 años	0.135 G
2do 25 años	0.135 G
3er 25 años	0.068 G
1er 35 años	0.135 G
2do 35 años	0.135 G
3er 35 años	0.135 G
1er 50 años	0.190 G
2do 50 años	0.190 G
3er 50 años	0.190 G
1er 75 años	0.190 G
2do 75 años	0.190 G
3er 75 años	0.190 G
1er ORIGINAL	0.135 G
2do ORIGINAL	0.190 G
3er ORIGINAL	0.100 G

Elaboración: Jhordy Vargas

Se observa que todos los registros tienen un PGA menor al esperado en un periodo de retorno de 475 años, porque los sismos sintéticos tienen la máxima aceleración en función de los registros originales.

Capítulo 3 : MODELOS ESTRUCTURALES

3.1 Materiales.

Los materiales como barro, ladrillo, piedra, madera están caracterizados por un complejo fenómeno mecánico y de esfuerzos. La mampostería de piedra, barro o ladrillo tiene características propias a compresión, tienen una baja resistencia a tensión y poseen una respuesta de fricción a corte. Además, esta mampostería es anisotrópica, es decir no se distribuyen los esfuerzos de forma homogénea. (Roca et al., 2010)

No se debe despreciar la resistencia a tensión en la mampostería, porque de esta depende la resistencia ante fuerzas laterales como sismos. Se debe conocer el módulo de elasticidad de la mampostería. La falla de las mamposterías es generalmente frágil, por lo que están expuestas a un colapso repentino. La mampostería puede tener una resistencia a la compresión entre 200 hasta 1500 T/m^2. Pero lo más apropiado es considerar estas mamposterías como material compuesto debido al mortero. (Meli, 1998).

Tabla 3-1: Tabla 7-1 FEMA – 356 (Propiedades de mampostería)

	Masonry Condition		
Property	**Good (psi)**	**Fair (psi)**	**Poor (psi)**
Compressive Strength (f´m)	900	600	300
Elastic Modulus in Compression	550 f´m	550 f´m	550 f´m
Flexural Tensile Strenght	20	0	0

	Masonry Condition		
Property	**Good (T/m^2)**	**Fair (T/m^2)**	**Poor (T/m^2)**
Compressive Strength (f´m)	632,76	424,84	210,92
Elastic Modulus in Compression	550 * f´m	550 * f´m	550 * f´m
Flexural Tensile Strenght	14.06	0	0

Fuente: FEMA-356 pg. 280

Tabla 3-2: Resistencias del adobe según normativas

Documento	Resistencia a la compresión adobe (Mpa)	Resistencia a la flexión adobe (Mpa)	Resistencia a la compresión murete (Mpa)	Tracción indirecta murete (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
CYED (HABITIERRA)	>1.2	No sugiere	No sugiere	No sugiere	
International Building Code (IBC)	>2.1	No sugiere	No sugiere	No sugiere	413.7
NMAC 14.7.4	>2.1	No sugiere	No sugiere	No sugiere	
NTE E 0.80 (Perú)	>1	No sugiere	0.6	0.025	200
Office of International Affairs (OIA)	>1.3	No sugiere	No sugiere	No sugiere	No sugiere
UNE-ENV (España)	>1.7	No sugiere	No sugiere	No sugiere	No sugiere
NZS 4298 (Nueva Zelanda)	>1.3	10% 0 20% Resistencia a compression	No sugiere	No sugiere	300 * f´m

Fuente: (Aguilar, E. D., y Quezada, 2017)

3.1.1 Módulo de Elasticidad de Mampostería.

De la Tabla 3-1, y Tabla 3.2, se obtienen los valores del módulo de elasticidad según bibliografía mostrados en la Tabla 3-3, y convertidos a unidades de T/m^2. Se considera la mampostería con condiciones pobres y medias para los valores extraídos de la Tabla 3-1.

Tabla 3-3: Valores del módulo de elasticidad en mampostería

NORMATIVA	MODULO DE ELASTICIDAD ADOBE (T/m^2)
INTERNATIONAL BUILDING CODE (IBC)	42180
NTE E 0,8 (PERU)	20400
FEMA-356 Poor	116006,6
FEMA-356 Fair	232013,2

Elaboración: Jhordy Vargas

La media geométrica de los diferentes módulos es 68480 T/m^2. Para nuestro análisis se utilizará 65000 T/m^2como módulo de elasticidad. Se usó la media geométrica por ser menos sensible a los valores extremos en una distribución.

3.1.2 Resistencia a Compresión de Mampostería.

De la Tabla 3-1 y Tabla 3.2 se obtiene los valores para una resistencia a compresión mostrados en la Tabla 3-4:

Tabla 3-4: Valores de resistencia a la compresión en mampostería.

NORMATIVA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (T/m^2)
INTERNATIONAL BUILDING CODE (IBC)	220
NTE E 0,8 (PERU)	110
FEMA-356 Fair	421,8
FEMA-356 Poor	210,9
Meli	200 a 1500

Elaboración: Jhordy Vargas

Para nuestro análisis se utilizará 1000 T/m^2 de resistencia a la compresión por ser un valor estimado y basándonos en los trabajos realizados por Meli para mampostería no reforzada.

3.1.3 Tracción indirecta en mampostería.

El ensayo de tracción indirecta o compresión diagonal, consiste en someter al murete a una carga de compresión a lo largo de una de sus diagonales, provocando que falle a corte. Gracias a este ensayo se determinó el esfuerzo a cortante mostrado en la Tabla 3-5. La FIGURA 3-1 nos muestra imágenes de muretes ensayados en la tesis de Eddy Aguilar y Rosa Quezada (Aguilar, E. D., y Quezada, 2017).

FIGURA 3-1: Muretes de adobe ensayados a tracción indirecta



Fuente: Eddy Aguilar, Rosa Quezada

Tabla 3-5: Resistencia a tracción indirecta del murete.

Espécimen	Ancho (mm)	Largo (mm)	Alto (mm)	Diagonal (mm)	Fuerza máx. (N)	Esfuerzo máx. (Mpa)
Adobera 1	228.1	567.2	570.9	804.8	3803	0.029
Adobera 2	204.9	568.2	562.5	799.9	4925	0.021
Adobera 3	204.9	561.2	540.2	779.0	4050	0.018

Fuente: Eddy Aguilar, Rosa Quezada

Para este trabajo se utiliza un esfuerzo máximo a tracción indirecta de 0.029 (Mpa) que es equivalente a 2.957 T/m^2. Este valor nos servirá para determinar la capacidad a compresión de los puntales a compresión generados en el macromodelo.

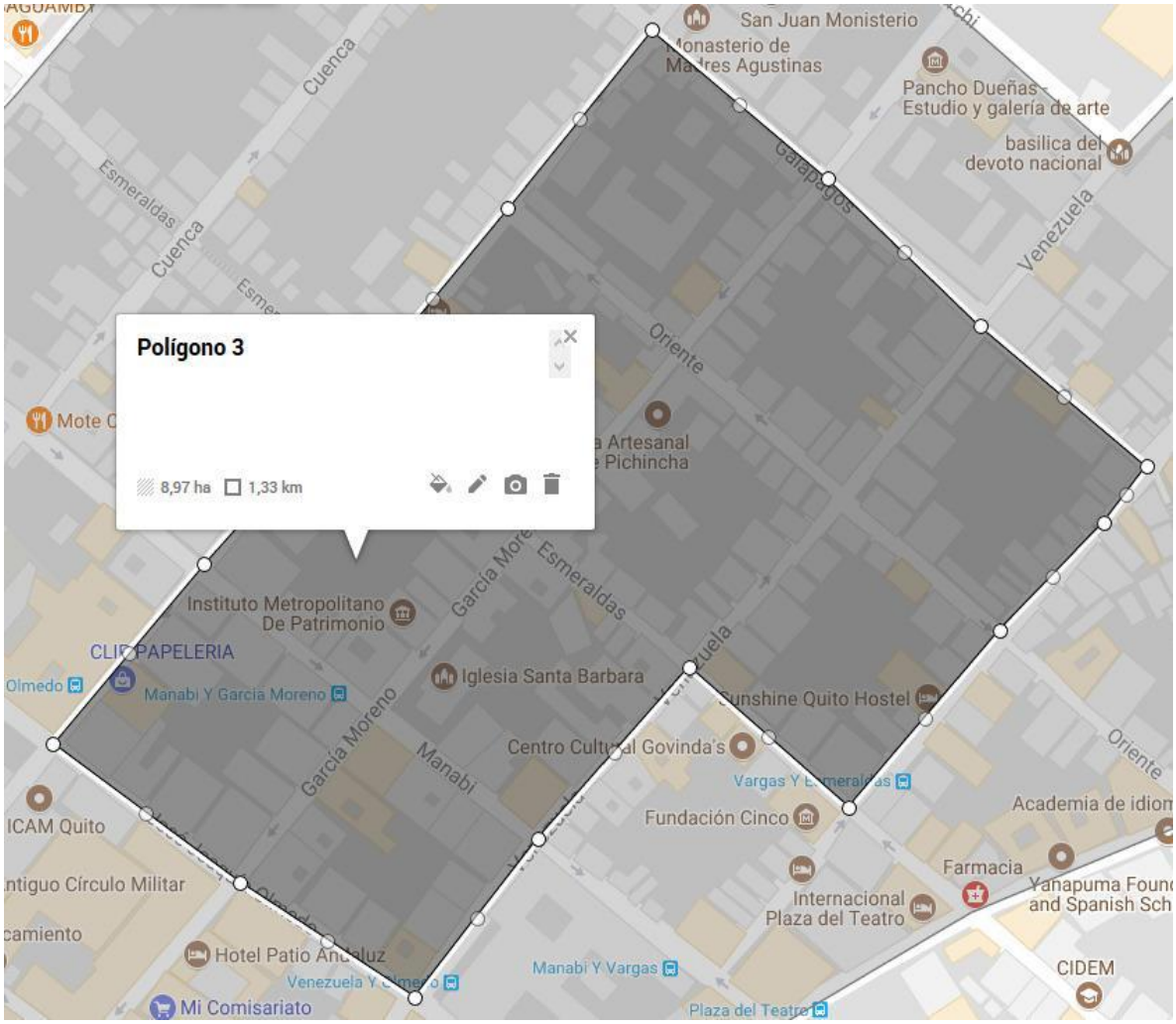
3.1.4 Madera.

Para nuestro análisis se usó madera tipo B según el manual de diseño del grupo andino, la cual tiene un módulo de elasticidad de 1000000 T/m^2 y se utilizó un peso específico de 0.9 T/m^3.

3.2 Zona de estudio

Se definió la zona de estudio para seleccionar las tipologías residenciales presentes. Por el norte la zona está delimitada por la calle Galápagos, por el sur la calle Olmedo, al este la calle Vargas y la Venezuela y al oeste la calle Sebastián de Benalcázar. En la FIGURA 3-2 mostrada a continuación se observa la delimitación de la zona de estudio.

FIGURA 3-2: Zona de Estudio



Elaboración: Jhordy Vargas

Se realizaron visitas de campo a la zona de estudio para observar las tipologías residenciales presentes. Con los bosquejos de las visitas se realizaron esquemas de las fachadas, y se generaron planos de las posibles tipologías estructurales.

De las visitas a la zona de estudio se observaron diferentes fachas, en la FIGURA 3-3 se muestra un resumen de las fachadas encontradas.

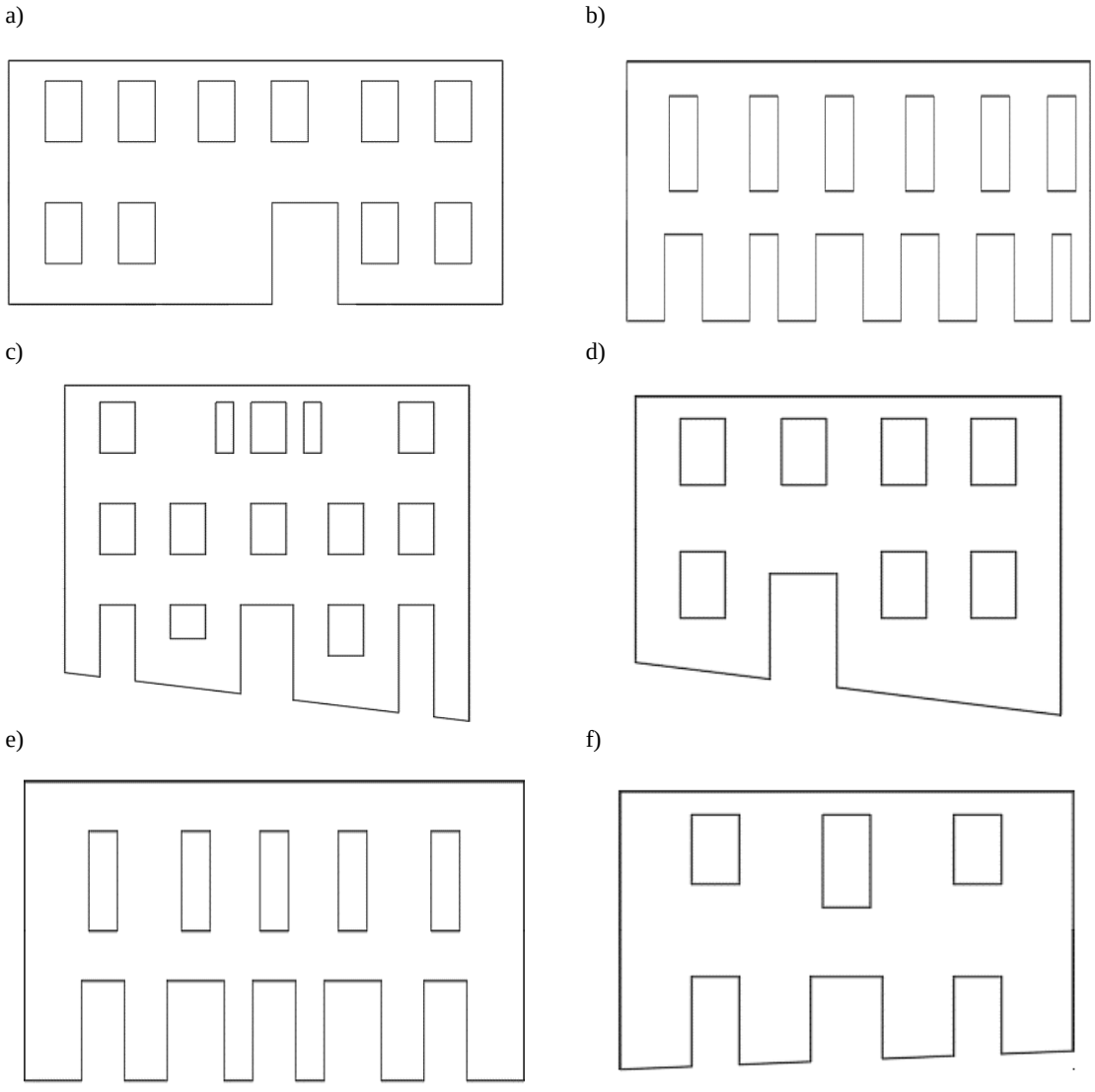
FIGURA 3-3: Fotos de algunas fachadas encontradas en la zona de estudio.





Con las fotos de la visita se realizaron bosquejos de tipologías que se muestran en la FIGURA 3-4.

FIGURA 3-4: Fachadas de las diferentes TIPOLOGÍAS RESIDENCIALES: a) Tipología 1; b) Tipología 2; c) Tipología 3; d) Tipología 4; e) Tipología 5; f) Tipología 6



Elaboración: Jhordy Vargas

Se observa en la FIGURA 3-4 viviendas de dos plantas en la mayoría de casos, por lo que se seleccionó una tipología residencial de dos plantas

3.3 Tipología residencial estructural.

La Tipología 1 fue seleccionada para nuestro análisis y se realizaron planos representativos en base a esta fachada.

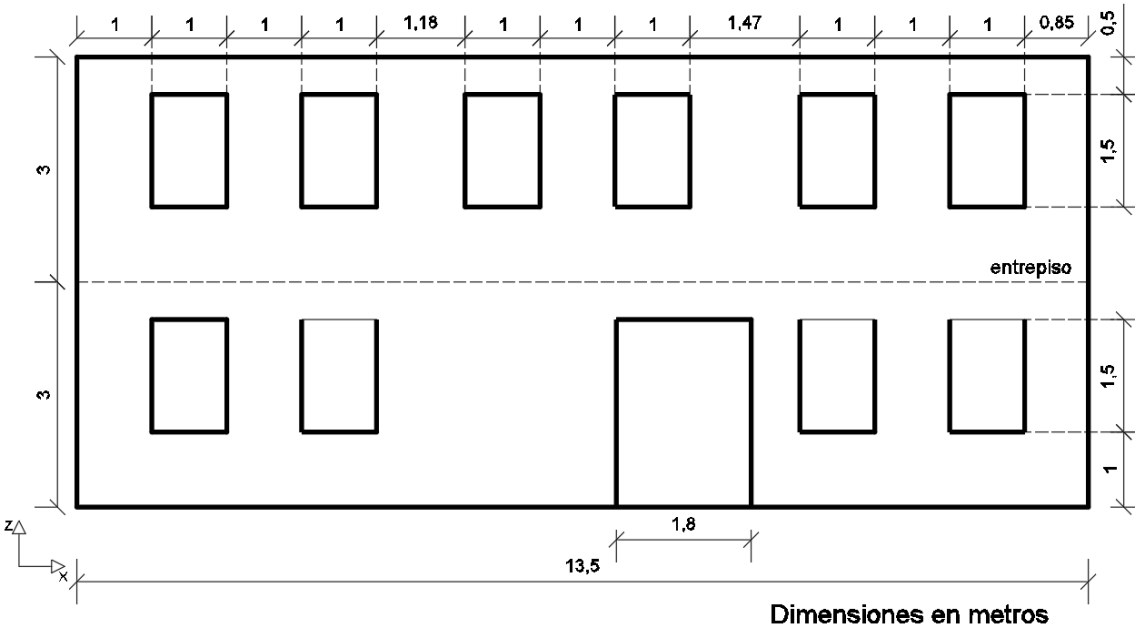
Para la distribución interna de la vivienda se utilizó levantamientos realizados en la tesis de Gissela F. Dávila Taco, de la PUCE. (Dávila, 2013).

FIGURA 3-5: Fotografía TIPOLOGIA 1.



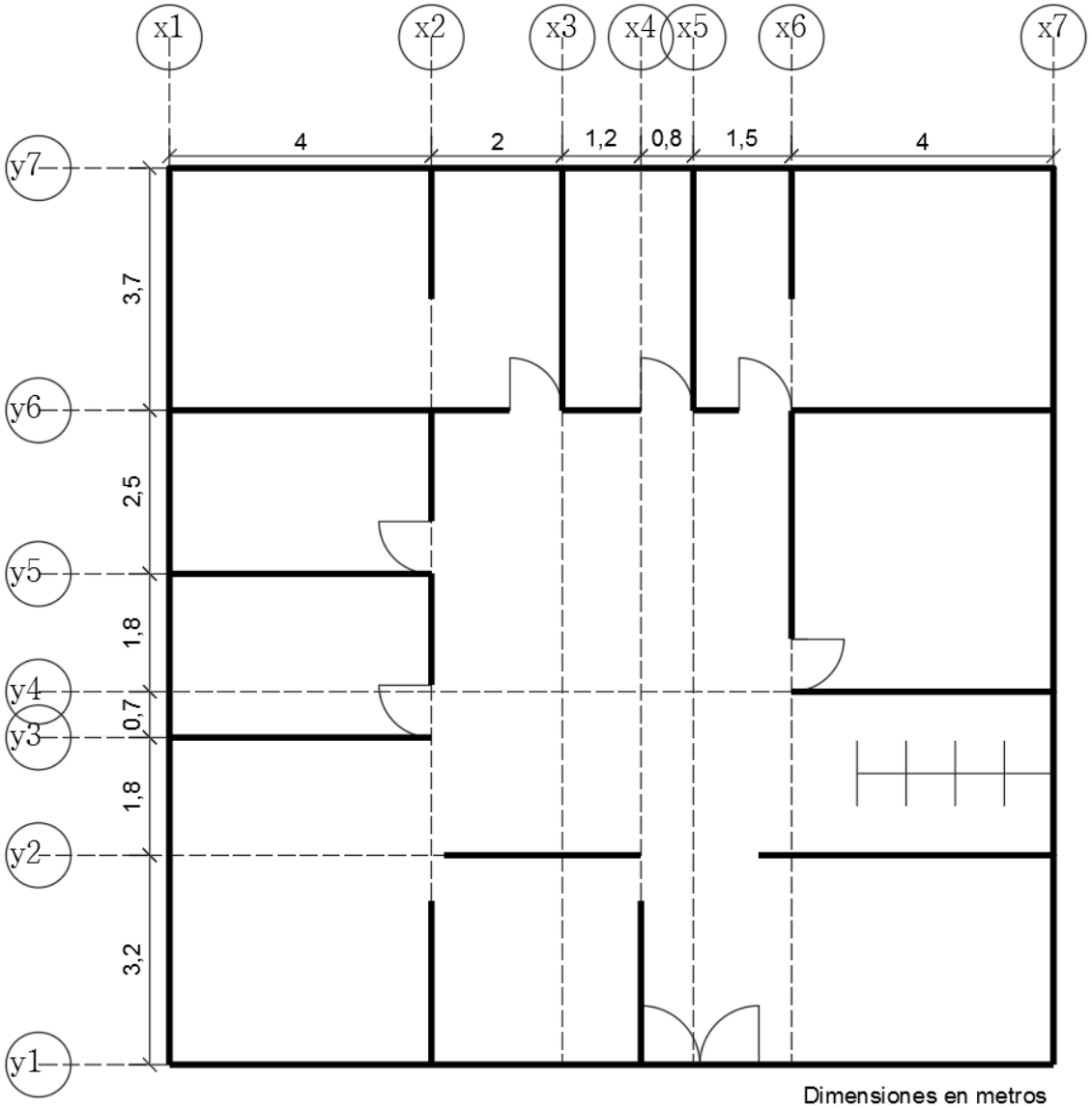
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-6: Fachada de la Tipología Estructural



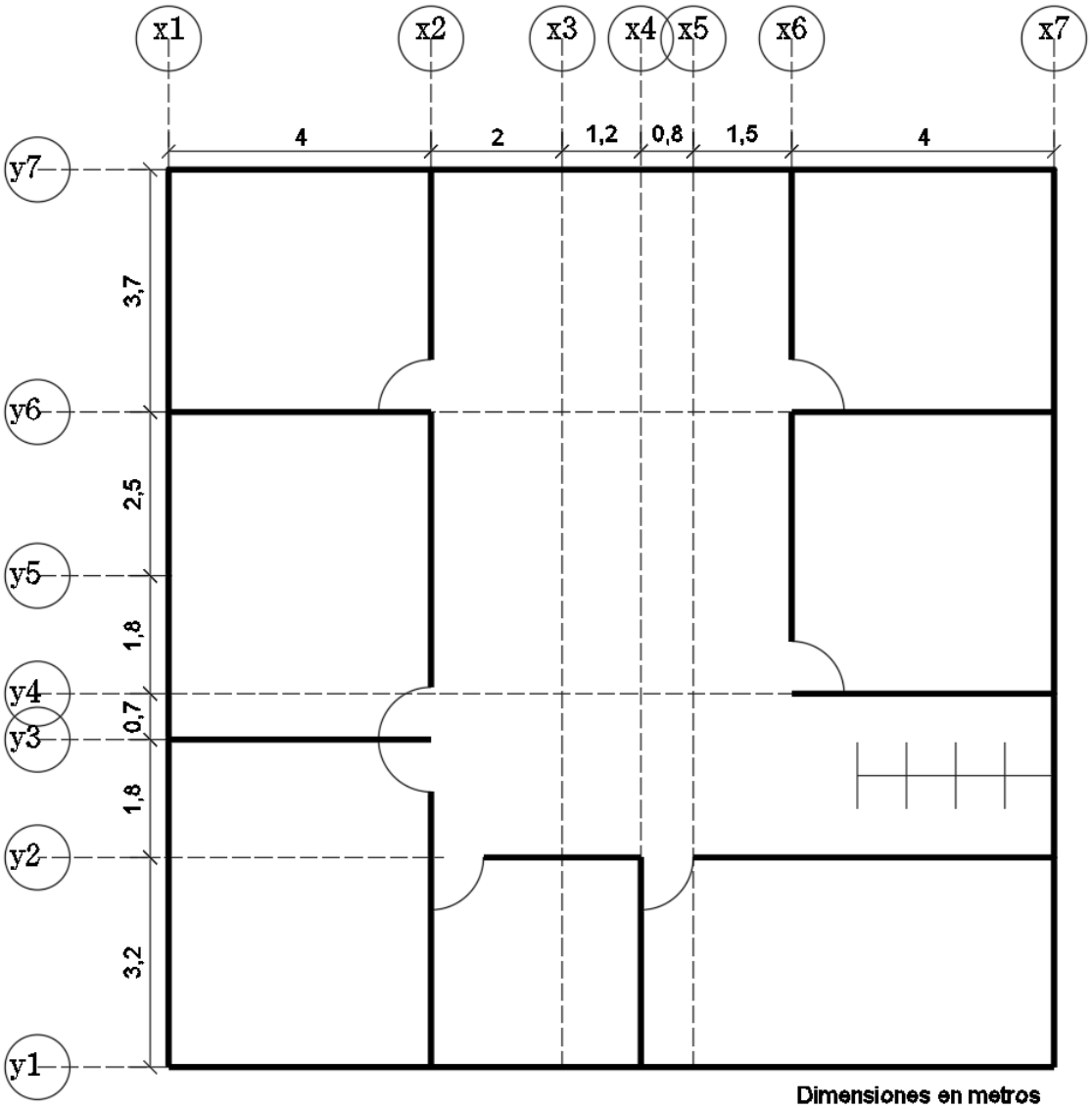
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-7: Planimetría PB de la tipología estructural.



Elaboración: Jhordy Vargas.

FIGURA 3-8: Planimetría 1er Piso de tipología estructural.

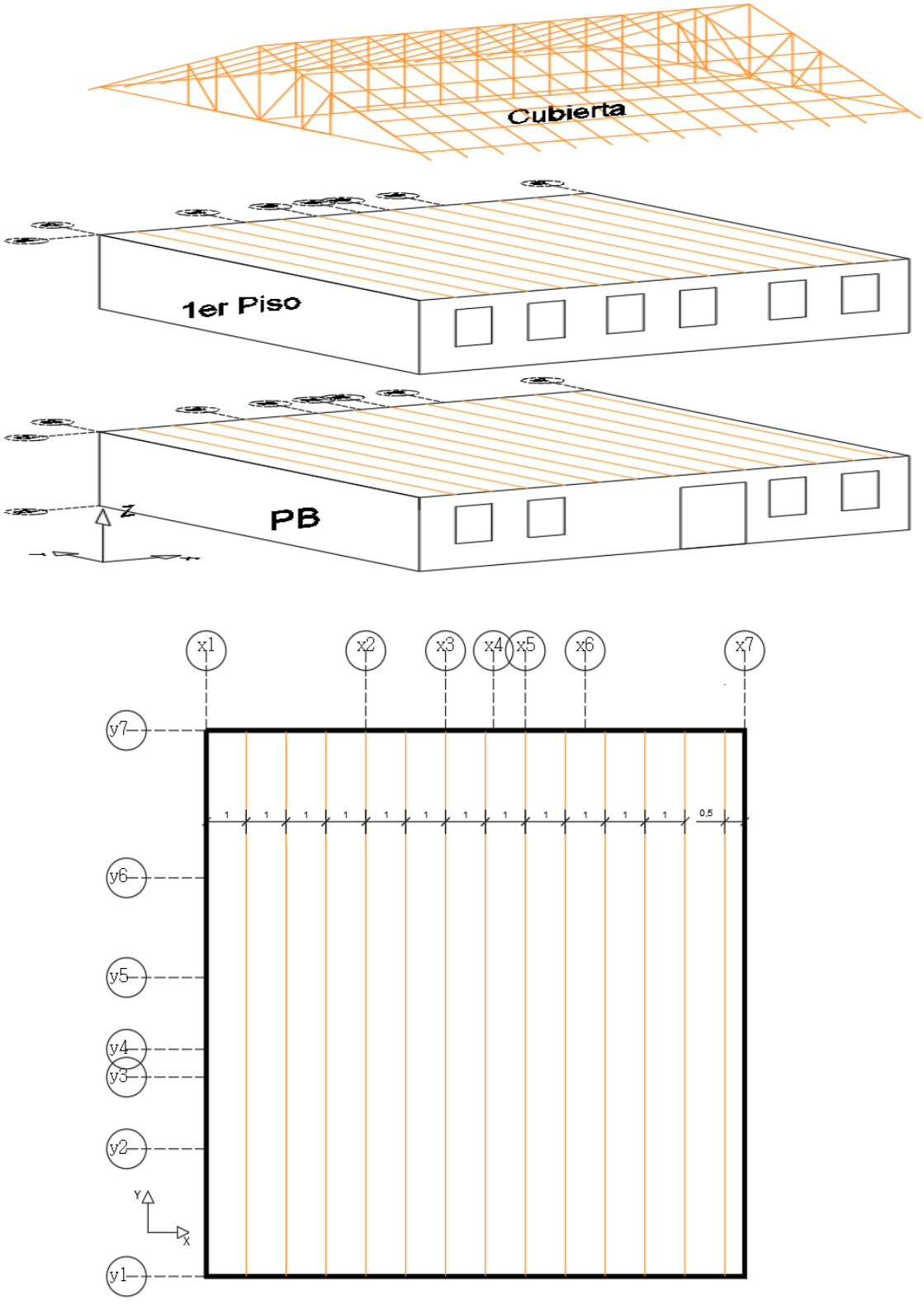


Elaboración: Jhordy Vargas.

La FIGURA 3-7, y la FIGURA 3-8 muestran la distribución interna de la tipología estructural.

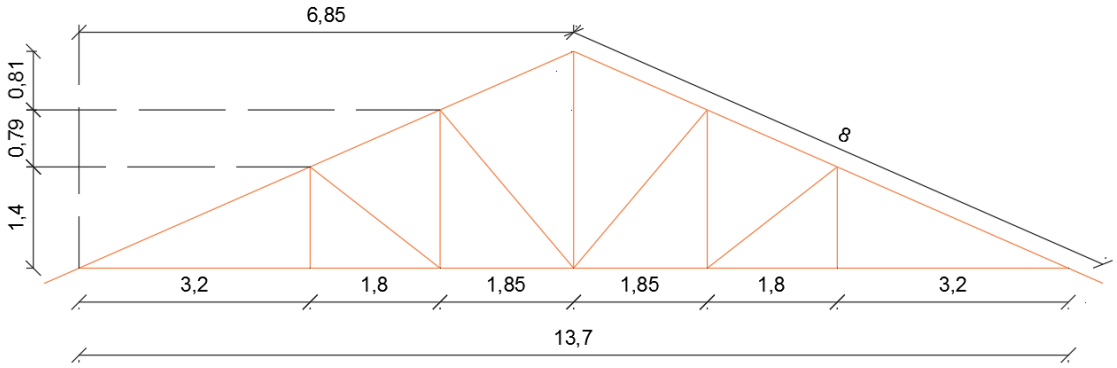
La FIGURA 3-9 nos muestra la distribución de vigas de madera en el entrepiso y la cubierta. Para los entrepisos se usaron vigas de madera de 15 x 20 cm y se modelo una cubierta tradicional a dos aguas mostrada en la FIGURA 3-10.

FIGURA 3-9: Distribución de vigas de madera en entrepiso y cubierta



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-10: Cercha de cubierta.

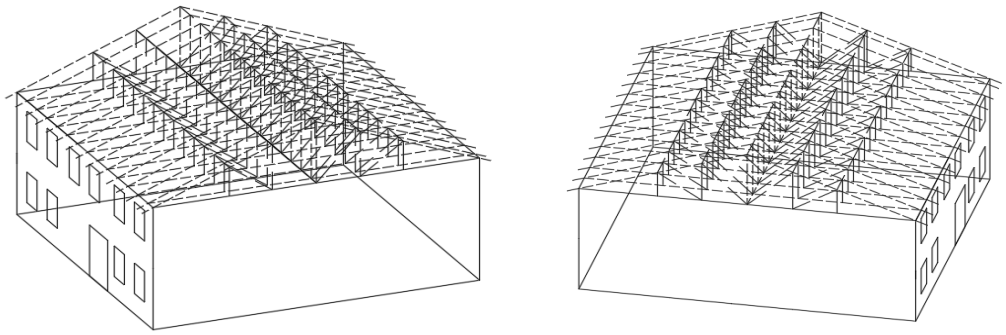


Elaboración: Jhordy Vargas

3.4 Modelo 3D

Para la generación del modelo se utilizó las propiedades de los materiales antes descritos, cabe mencionar que son valores teóricos de bibliografía existente. Se utilizó un espesor de las paredes de 0.5 m y un módulo de elasticidad de 65000 Ton/m2. Con los planos en planta y de fachada se procedió a generar un modelo 3D en AUTOCAD mostrado en la FIGURA 3-11. Para el mallado de la estructura 3D se utilizó el programa GID, que permite discretizar un modelo de forma rápida y eficiente

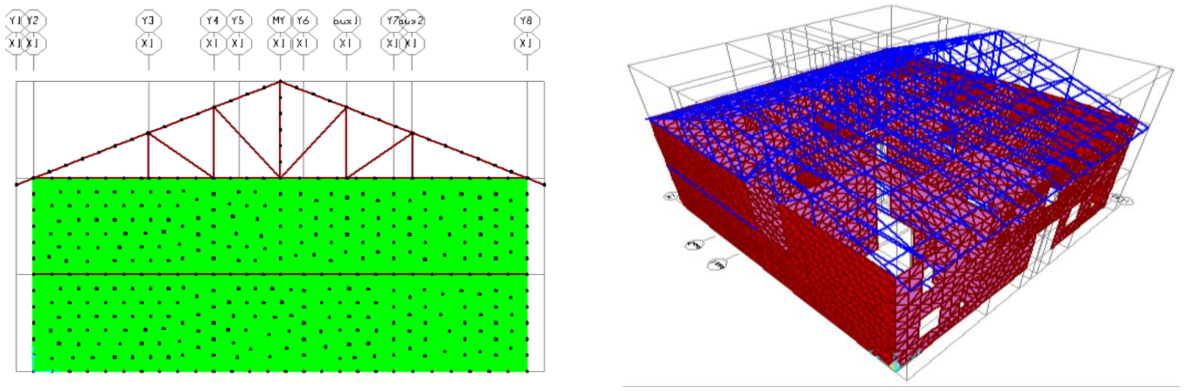
FIGURA 3-11: Modelo 3D en AutoCAD.



Elaboración: Jhordy Vargas

Se utilizó elementos shell para los muros de mampostería y elementos frame para las vigas de los entrepisos y la cubierta. En la cubierta se asignaron BODY CONSTRAIGN en los nudos de la cercha para simular la rigidez de la misma. Este modelo se generó en SAP 2000 como se muestra en la FIGURA 3-12.

FIGURA 3-12: Modelo 3D en SAP 2000



a) Vista YZ b) Vista 3D

Elaboración: Jhordy Vargas

3.4.1 Cargas en el modelo 3D

Para la carga viva se utilizó la recomendación de la NEC en viviendas de 0.2 T/m^2. Para la cubierta se colocó una carga viva de 0.07 T/m^2.

Para la carga muerta se estimó los pesos de una estructura residencial y se obtuvo un peso de 0.5 T/m^2 para la primera planta y un peso de 0.07 T/m^2 para la cubierta. Valores que se obtuvieron de la siguiente manera:

El área de paredes internas tiene 340 m^2 y las paredes externas tienen una superficie total de 160 m^2, con esto tenemos un total de 500 m^2 en área de paredes, con un estimado de 3 cm

de recubrimiento nos dan 15 m^3 de masilla con un peso específico de 2 T/m^3 nos da un total de 30 toneladas por recubrimientos.

Se estima un peso de muebles de 500 kg por ambiente, al existir 8 ambientes nos genera un peso de 4 T.

El área del piso es de 185 m^2 y los tablones de piso tienen 5cm de espesor, lo que nos da un volumen de 9.3 m3 por el peso específico de un tablón estimado en 0.9 T/m^3 nos da un peso de 8.4 T.

Se estima el peso del contra techo como una capa de masilla de 3 cm lo que nos na un volumen de 11 m^3 para los contra techos del primer y segundo nivel y esto por el peso específico de la masilla nos da un total de 22 T.

De esta manera nos da un peso estimado de 64.4 T en el 1er piso lo que nos genera una carga de 0.35 T/m^2. Pero por las incertidumbres del peso se utilizó un factor de seguridad de 1.4, que nos genera una carga muerta de carga de 0.5 T/m^2. En la primera planta.

Para la cubierta se estimó un peso de teja de 2kg cada una y una cantidad de 27 tejas por m^2 por lo que nos da un total de 0.054 T/m^2. Usamos un factor de seguridad de 1.4, y nos genera una carga muerta en cubierta de 0.075 T/m^2.

Para las vigas internas se tiene un área cooperante de 1 m^2, para las vigas extremas su área cooperante es de 0.5 m^2.

En la Tabla 3-6 se muestran las cargas asignadas al modelo 3D.

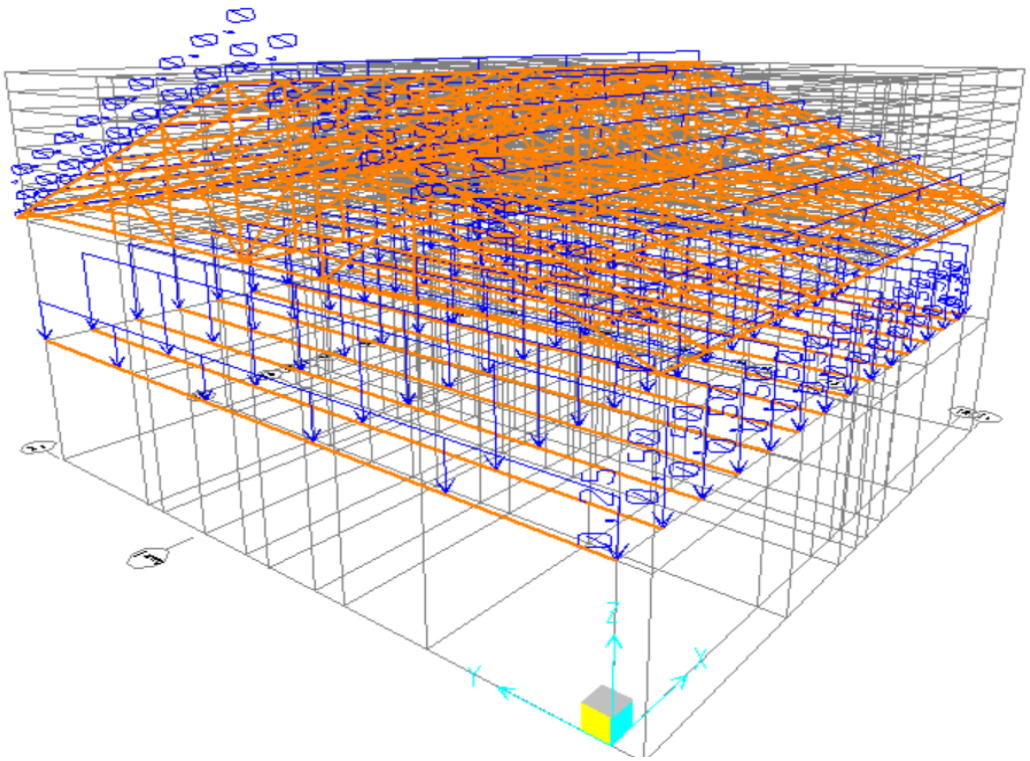
Tabla 3-6: Cargas Asignadas al modelo 3D

TIPO DE CARGA	CARGA ASIGNADA EN	VALOR DE CARGA (T/m^2)
MUERTA	Vigas internas nivel +3.0 m	0.50000
MUERTA	Vigas internas nivel +6.0 m	0.00750
MUERTA	Vigas externas nivel +3.0 m	0.25000
MUERTA	Vigas externas nivel +6.0 m	0.00375
VIVA	Vigas internas nivel +3.0 m	0.20000
VIVA	Vigas externas nivel +3.0 m	0.10000

Elaboración: Jhordy Vargas

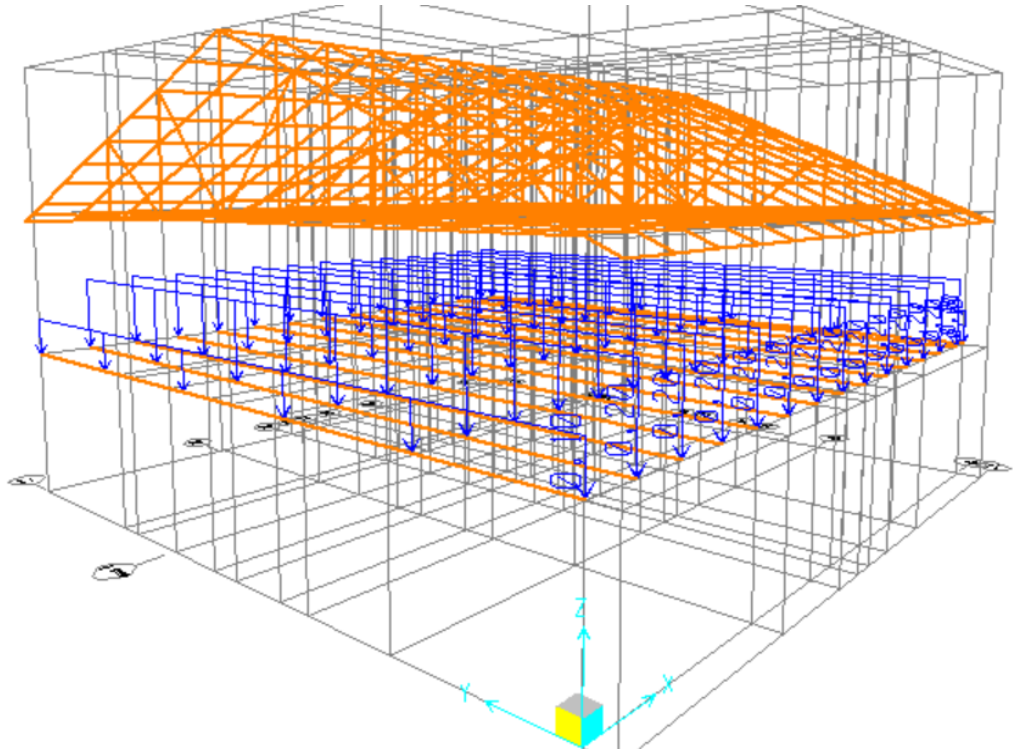
En la FIGURA 3-13 y FIGURA 3-14 se muestran las cargas en SAP 2000.

FIGURA 3-13: Carga Muerta de la estructura 3D en SAP 200



Elaboración: Jhordy Vargas.

FIGURA 3-14: Carga Viva de la estructura 3D en SAP 200



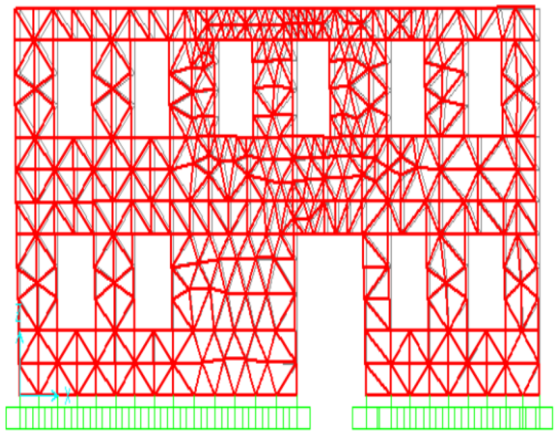
Elaboración: Jhordy Vargas.

3.4.2 Periodos de la estructura

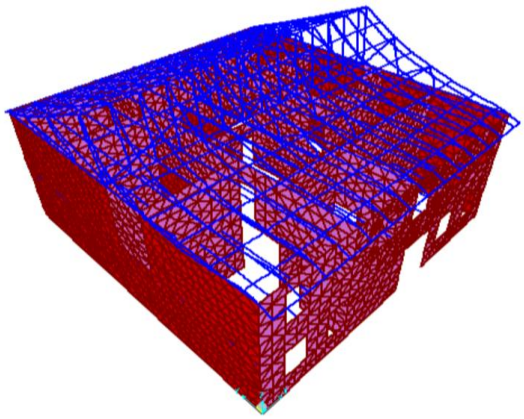
Ya con el modelo cargado de manera correcta, se procedió a encontrar los periodos de la estructura en sus cuatro primeros modos de vibración mediante el programa SAP 2000. El periodo se muestra en la FIGURA 3-15,FIGURA 3-16, FIGURA 3-17, y FIGURA 3-18.

En la Tabla 3-7 se resumen los periodos estimados.

FIGURA 3-15: 1er modo del modelo 3D con un T=0.12767



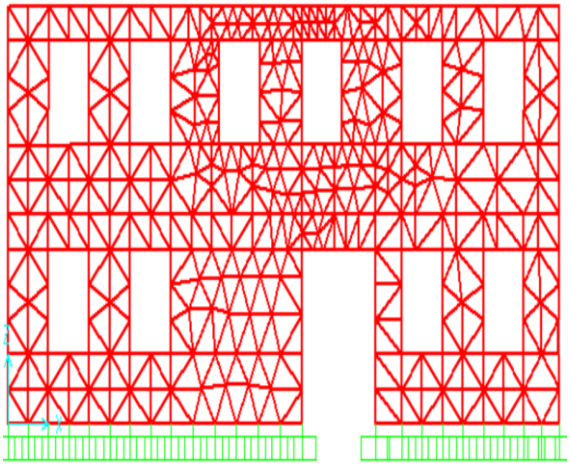
a) Vista XZ



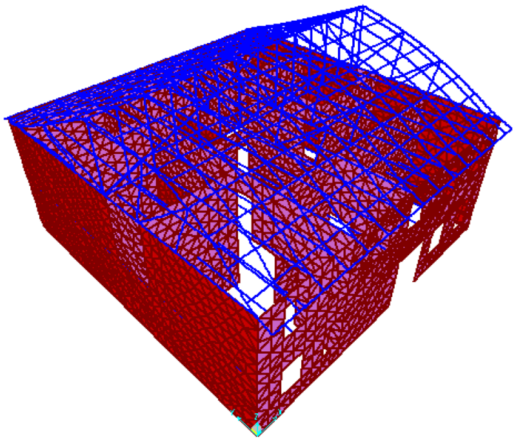
b) Vista 3D

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-16: 2do modo del modelo 3D con un T=0.10979



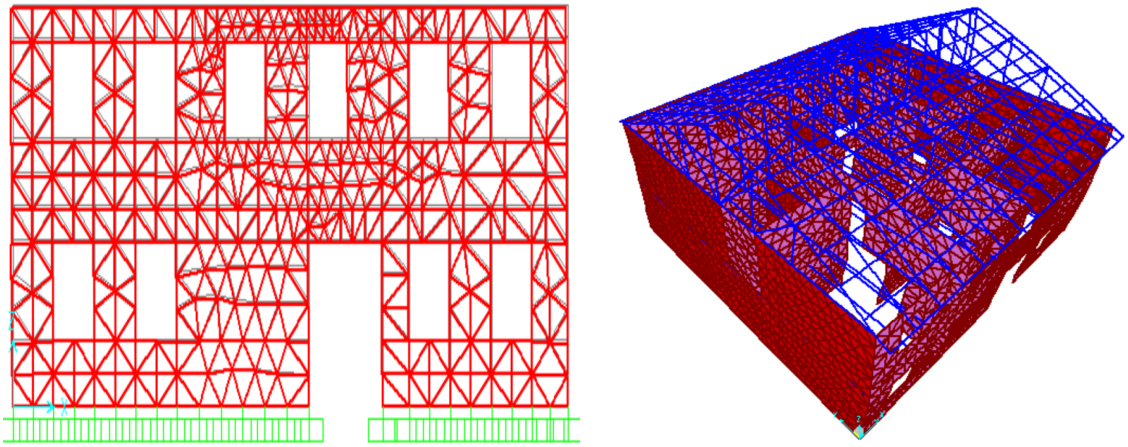
a) Vista XZ



b) Vista 3D

Elaboración: Jhordy Vargas

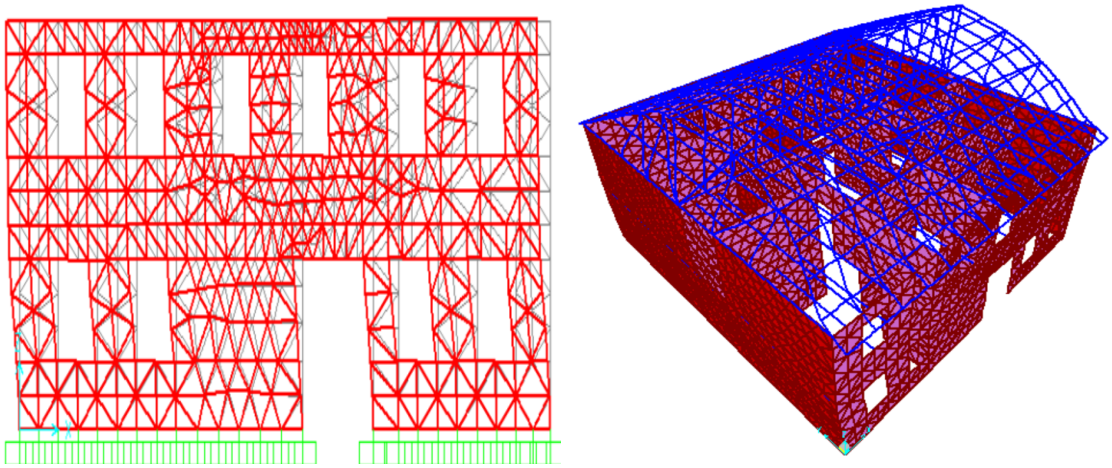
FIGURA 3-17: 3er modo del modelo 3D con un T=0.10655



a) Vista XZ b) Vista 3D

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-18: 4to modo del modelo 3D con un T=0.10017



a) Vista XZ b) Vista 3D

Elaboración: Jhordy Vargas

Tabla 3-7: Periodos en el modelo 3D

MODOS DE VIBRACIÓN	PERIODO
1er modo	0,12767
2do modo	0,10979
3er modo	0,10655
4to modo	0,10017

Elaboración: Jhordy Vargas.

Se observa en la FIGURA 3-15,FIGURA 3-16, FIGURA 3-17, y FIGURA 3-18, como la cubierta influye notablemente en los modos de vibración de la estructura, ya que posee una menor rigidez que la estructura de mampostería. Para nuestro análisis es importante la mampostería, mas no la cubierta como tal, por lo que se simplifica el análisis modelando solo la estructura de mampostería y aplicando cargas puntuales en el sector de las vigas de cubierta. Es importante verificar que los periodos de las dos estructuras no varíen de manera notable para lograr un modelo correcto.

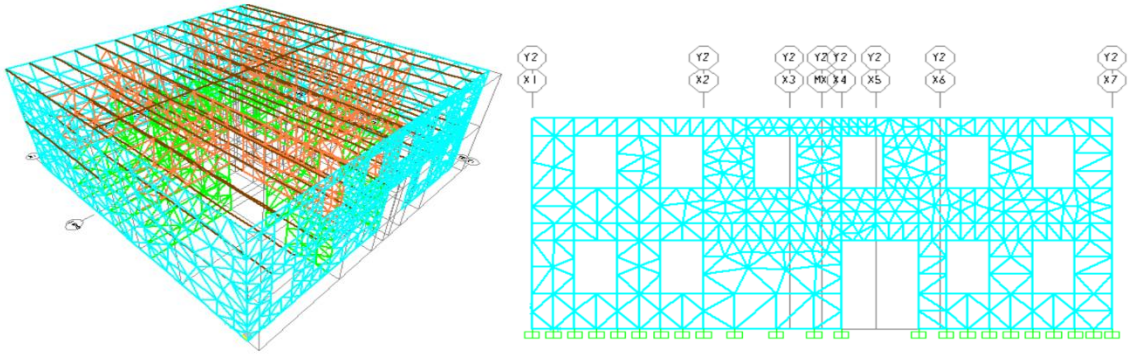
3.4.3 Modelo 3D simplificado

Se eliminó la cercha de la cubierta del modelo 3D para generar el modelo 3D simplificado y se lo discretizo en tres tamaños diferentes para comparar sus periodos y ver cual tiene la mejor discretización.

Al momento de discretizar una estructura se debe tener en cuenta las proporciones de los elementos finitos, y se debe considerar un tamaño adecuado para que el modelo genere resultados apropiados.

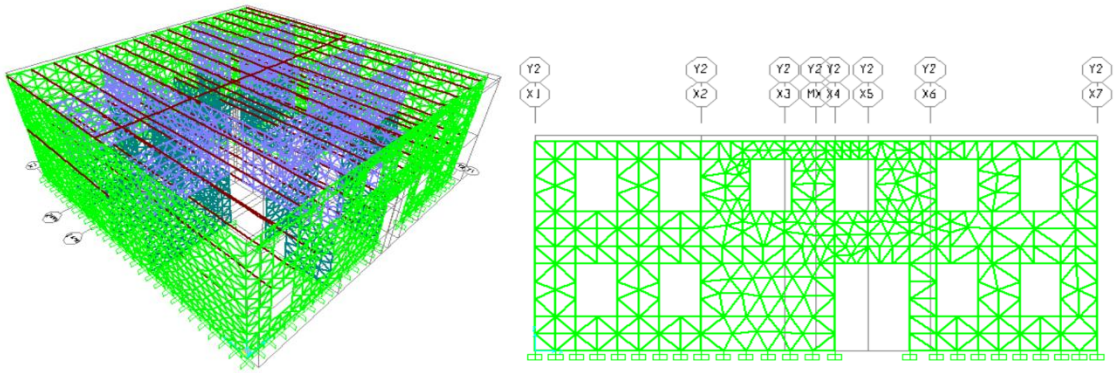
En la FIGURA 3-19, FIGURA 3-20, y FIGURA 3-21 se observa los diferentes tamaños utilizados en la discretización:

FIGURA 3-19: Modelo 3D discretizado cada 1.



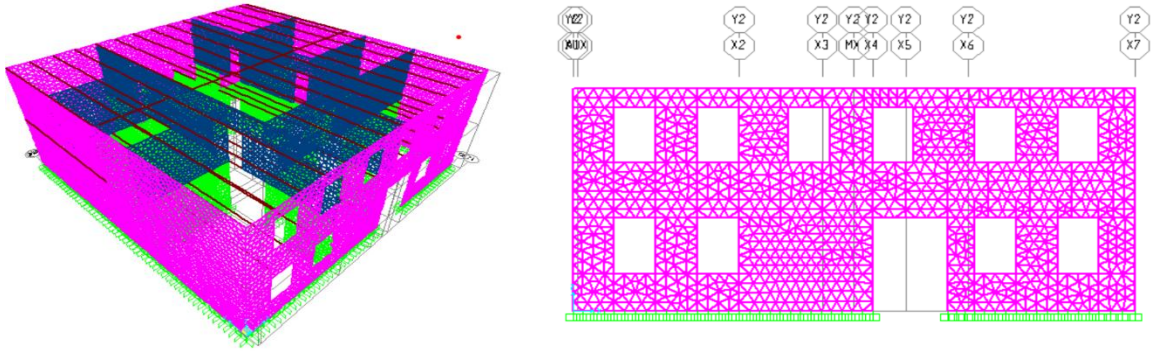
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-20: Modelo 3D discretizado cada 0.5.



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-21: Modelo 3D Discretizado a 0.25



Elaboración: Jhordy Vargas

En el programa SAP 2000 se encontraron los periodos de vibración para las diferentes discretizaciones, esto se resume en Tabla 3-8.

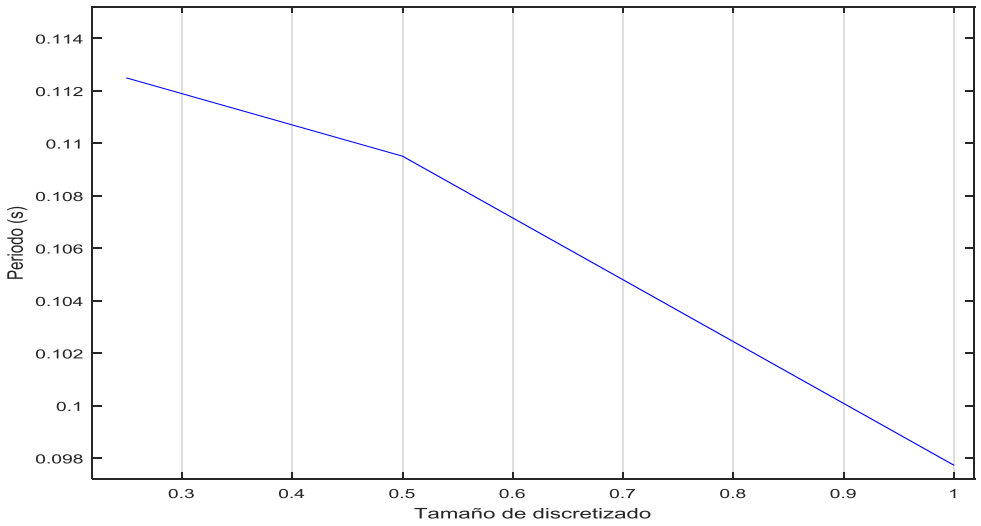
Tabla 3-8: Periodos en el modelo 3D simplificado

TAMAÑO DE DISCRETIZACIÓN	PERIODO 1er MODO
1	0,09773
0,5	0,10951
0,25	0,11249

Elaboración: Jhordy Vargas

En la FIGURA 3-22 se observa como el nivel de discretizado influye en el periodo, mientras más pequeña sea la discretización se obtienen periodos mayores, porque el modelo es mucho más detallado.

FIGURA 3-22: Comparación de periodo VS nivel de discretizado



Elaboración: Jhordy Vargas

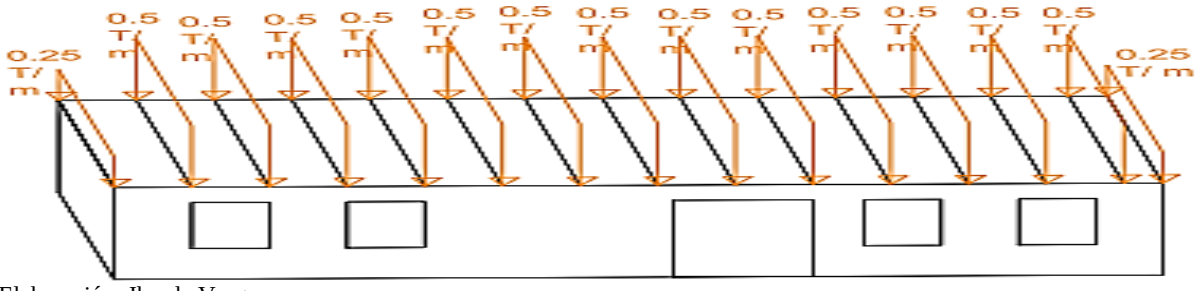
Se utiliza la última discretización por ser la división con elementos finitos más homogéneos, también se observa que el periodo incrementa conforme disminuye el tamaño de discretizado, por lo que la última discretización nos genera buenas estimaciones.

3.4.4 Cargas en el modelo 3D simplificado

Después de seleccionar que nivel de discretización se usara, se cargó la estructura en las vigas de madera de la siguiente manera:

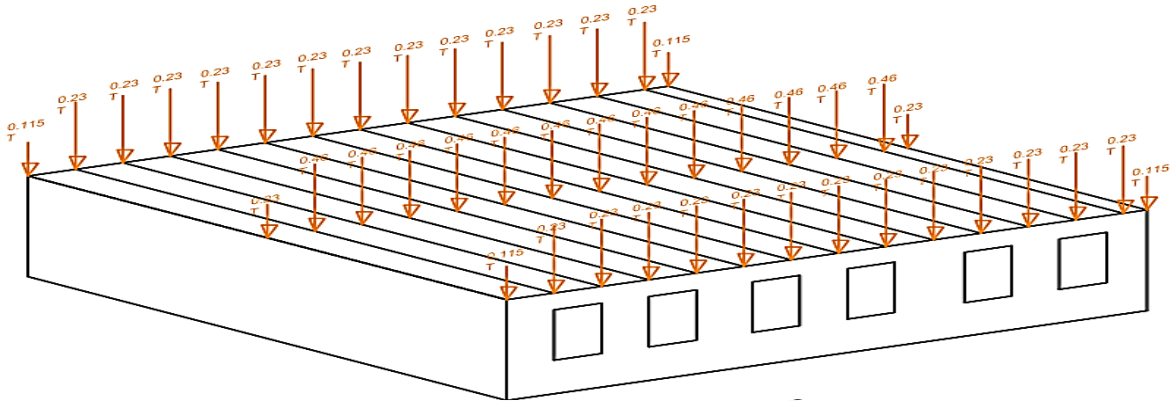
Para la carga viva se utilizó la recomendación de la NEC en viviendas de 0.2 T/m^2. Para la carga muerta se obtuvo un peso de 0.5 T/m^2 calculados en el modelo 3D para la primera planta. El peso de cubierta es el mismo que la estructura 3D, pero se transformó a cargas puntuales para simular los pesos existentes en la cubierta. Las cargas en los extremos serán la mitad a las otras por tener una menor área cooperante.

FIGURA 3-23: Carga Muerta nivel +3.0 modelo 3D simplificado



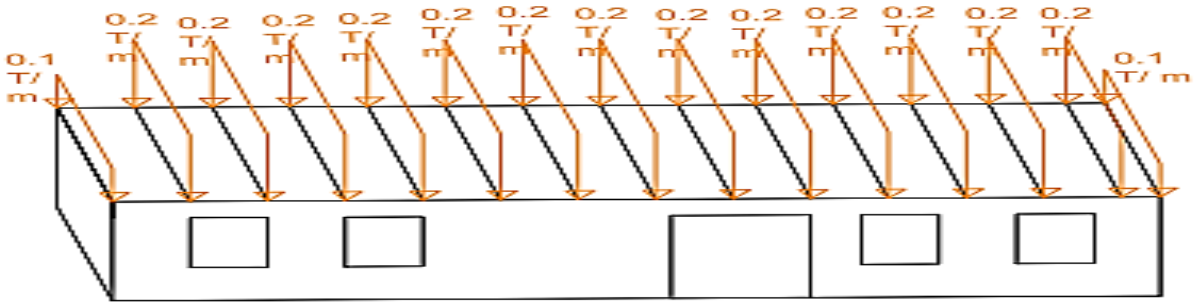
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-24: Carga Muerta Nivel + 6.0 m modelo 3D simplificado



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-25: Carga Viva Nivel + 3.0 modelo 3D simplificado



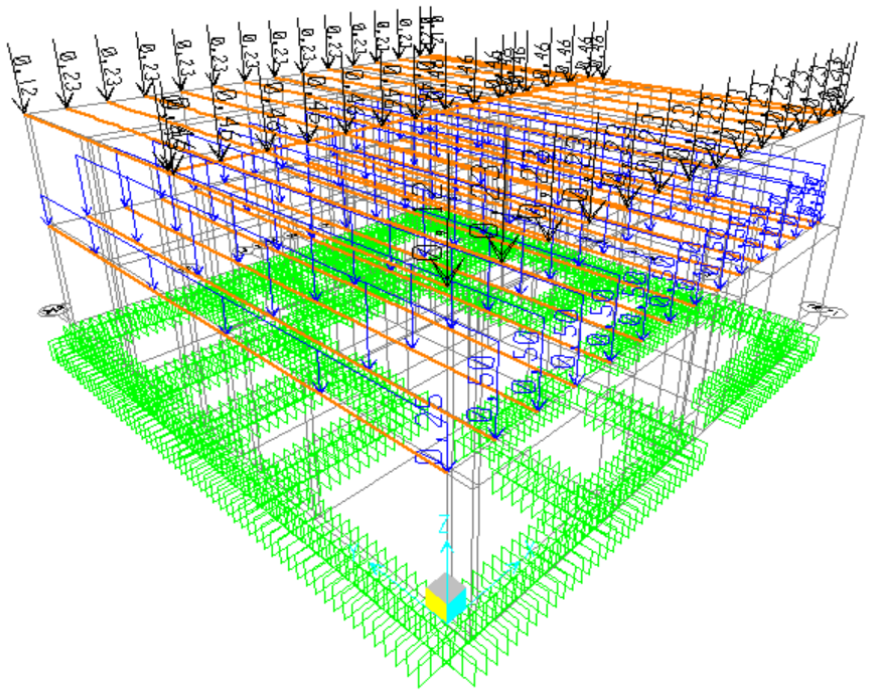
Elaboración: Jhordy Vargas

Tabla 3-9: Cargas Asignadas al modelo 3Dsimplificado

TIPO DE CARGA	CARGA ASIGNADA EN	VALOR DE CARGA
MUERTA	Vigas Piso nivel +3.0 m	0.5 (T/m^2)
MUERTA	Nudos extremos cubierta	0.23 (T)
MUERTA	Nudos centrales cubierta	0.46 (T)
VIVA	Vigas Piso nivel +3.0 m	0.2 (T/m^2)

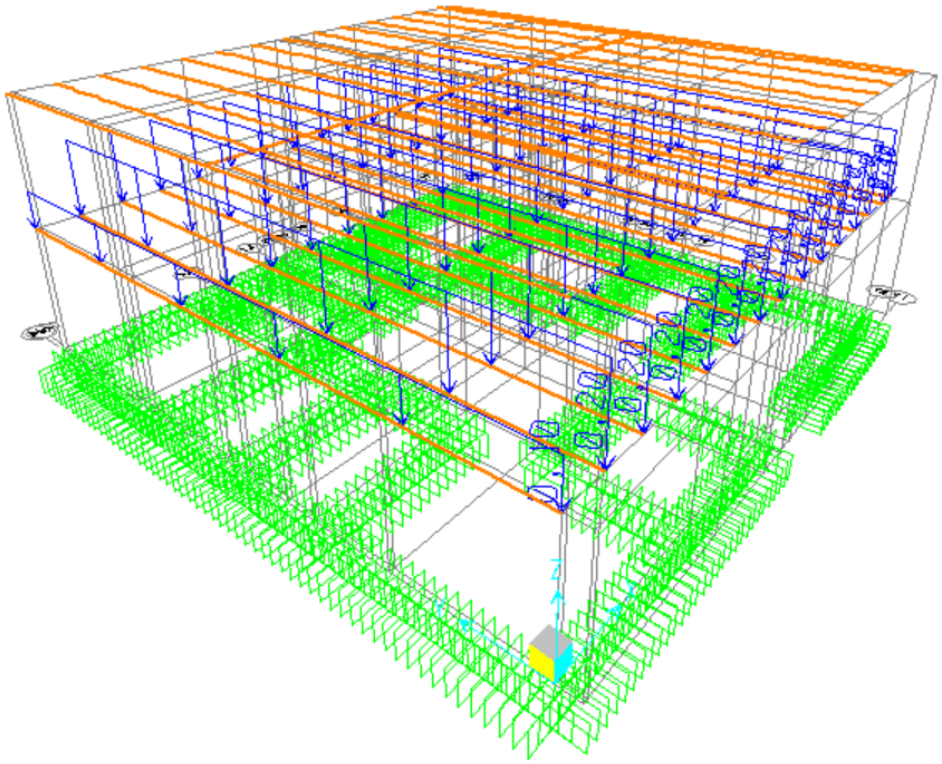
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-26: Carga Muerta modelo 3D simplificado SAP 2000



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-27: Carga Viva modelo 3D simplificado SAP 2000

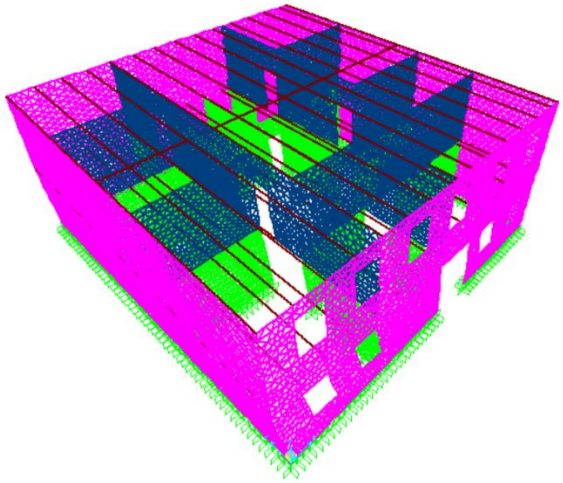


Elaboración: Jhordy Vargas

3.4.5 Validación modelo 3D simplificado

Con el nivel de discretizado definido y las cargas correctamente distribuidas, se procede a encontrar el periodo del modelo 3D simplificado mediante SAP 2000.

FIGURA 3-28: 1er modo de vibración del modelo 3D simplificado



Elaboración: Jhordy Vargas

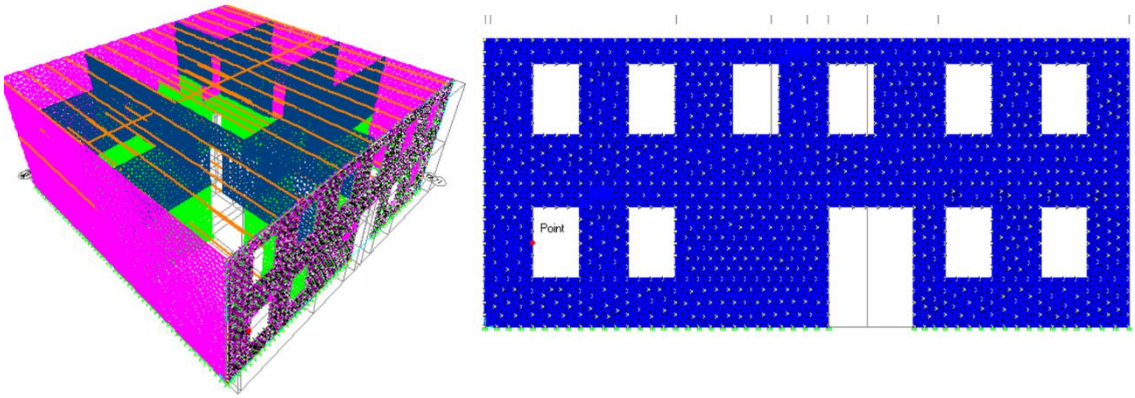
En la FIGURA 3-28 se observa que el primer modo de vibración es en el sentido XZ y se obtiene un valor de T= 0.11249 con lo que se verifica que este periodo es similar al de la estructura con cubierta de T= 0.12767 y un modo de vibración en el sentido XZ. Por lo tanto, es válida la simplificación del modelo mediante la eliminación de la cercha de cubierta.

Las frecuencias de vibración de una estructura dependen de su masa, su rigidez y su amortiguamiento, como se describió en el marco teórico. Al tener periodos similares en los dos modelos, se genera dos sistemas con una rigidez, una masa y un amortiguamiento similar.

3.5 Macromodelo

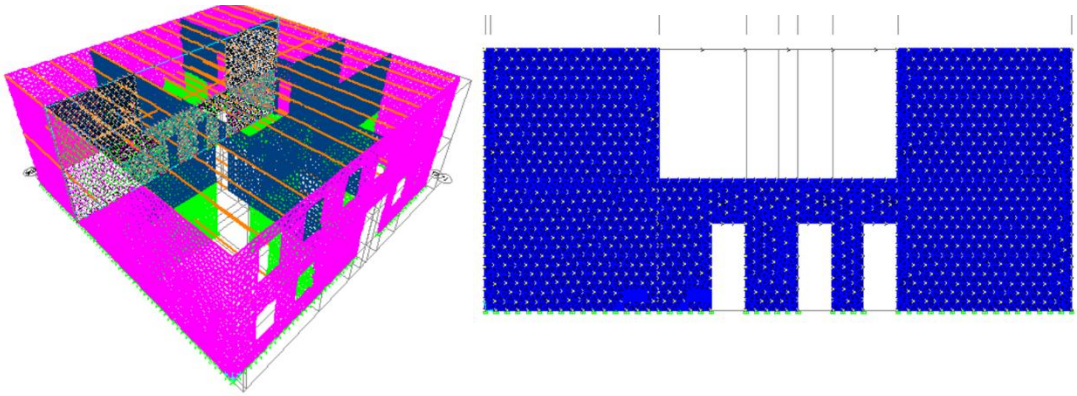
Del modelo 3D simplificado se seleccionan tres pórticos en el plano XZ para comparar y ver cuál de estos pórticos tiene un periodo similar a la estructura 3D simplificada. Con los pórticos seleccionados se los cargo en el programa de manera independiente para analizarlos en el plano XZ. Los pórticos se muestran en las siguientes figuras.

FIGURA 3-29: Pórtico 1 del modelo 3D



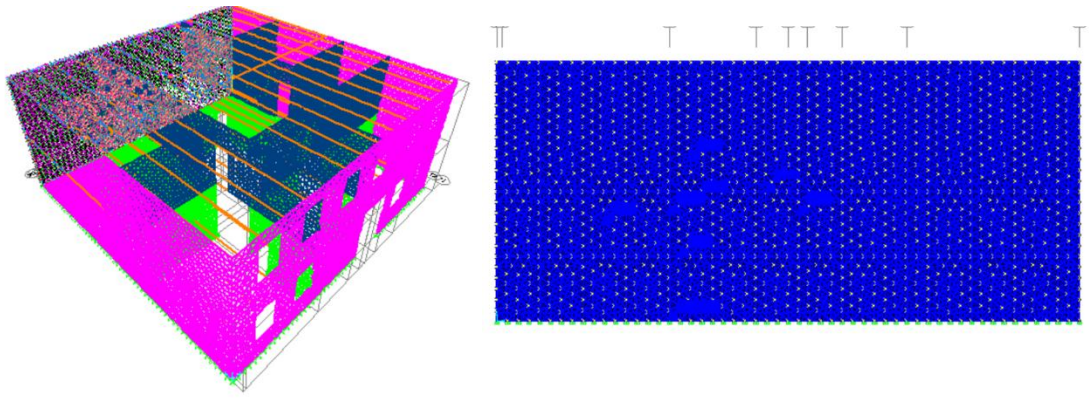
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-30: Pórtico 2 del modelo 3D



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-31: Pórtico 3 del modelo 3D



Elaboración: Jhordy Vargas

Tabla 3-10: Periodos en los pórticos del modelo 3D

PORTICO	PERIODO
1	0,08995
2	0,08093
3	0,06776
3D simplificado	0.11249

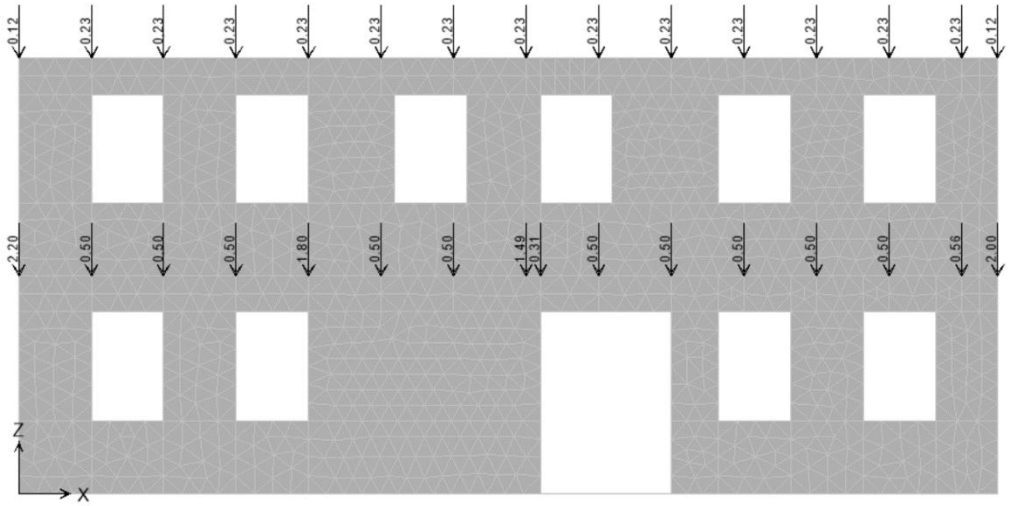
Elaboración: Jhordy Vargas

Se observa en la Tabla 3-10 que el periodo del pórtico 1 es el más cercano a la estructura 3D simplificada con T=0.11249, por lo que se procede a cargarlo en sus nudos para obtener unas reacciones similares a las presentes en el modelo 3D simplificado

3.5.1 Cargas en el pórtico 1

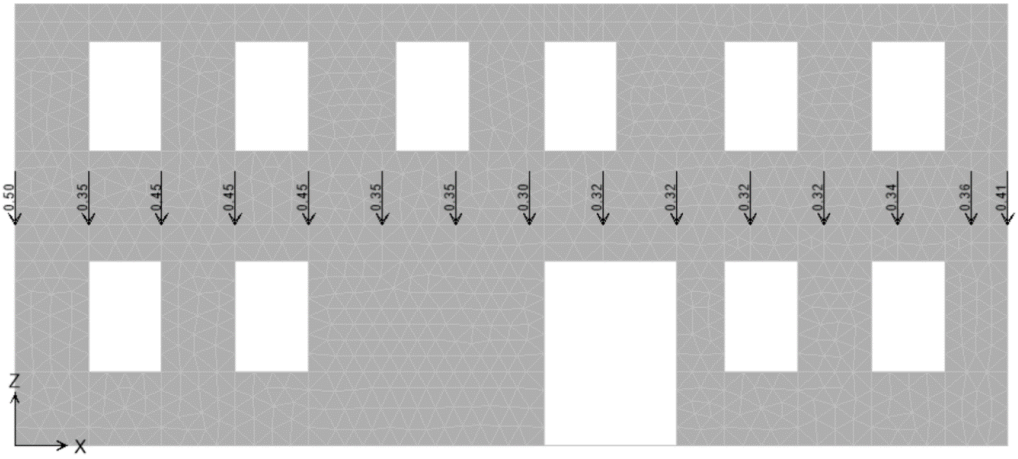
Se lo carga en los nudos de manera puntual para simular la trasmisión de carga que se genera mediante las vigas de madera presentes en el modelo 3D simplificado y se calibran las cargas mediante las reacciones obtenidas en los dos modelos. Las unidades están en T/m^2.

FIGURA 3-32: Carga Muerta en el pórtico 1.



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-33: Carga Viva en el pórtico 1.

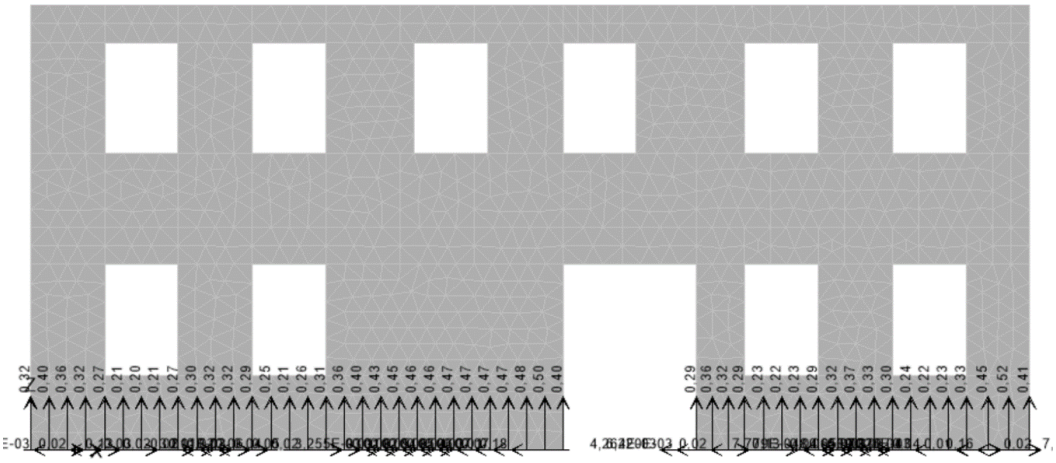


Elaboración: Jhordy Vargas

Como muestra la FIGURA 3-32 y la

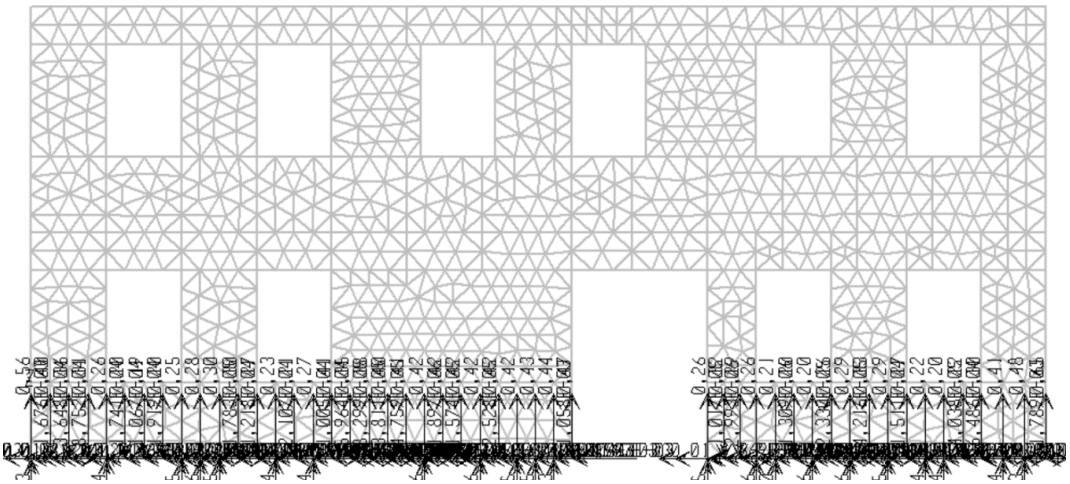
FIGURA 3-33 se colocaron cargas puntuales en el modelo 2D hasta lograr una similitud en las reacciones con el modelo 3D, la FIGURA 3-36 nos muestra la similitud en las reacciones de los modelos 2D y 3D.

FIGURA 3-34: Reacciones verticales por carga muerta en el pórtico 1.



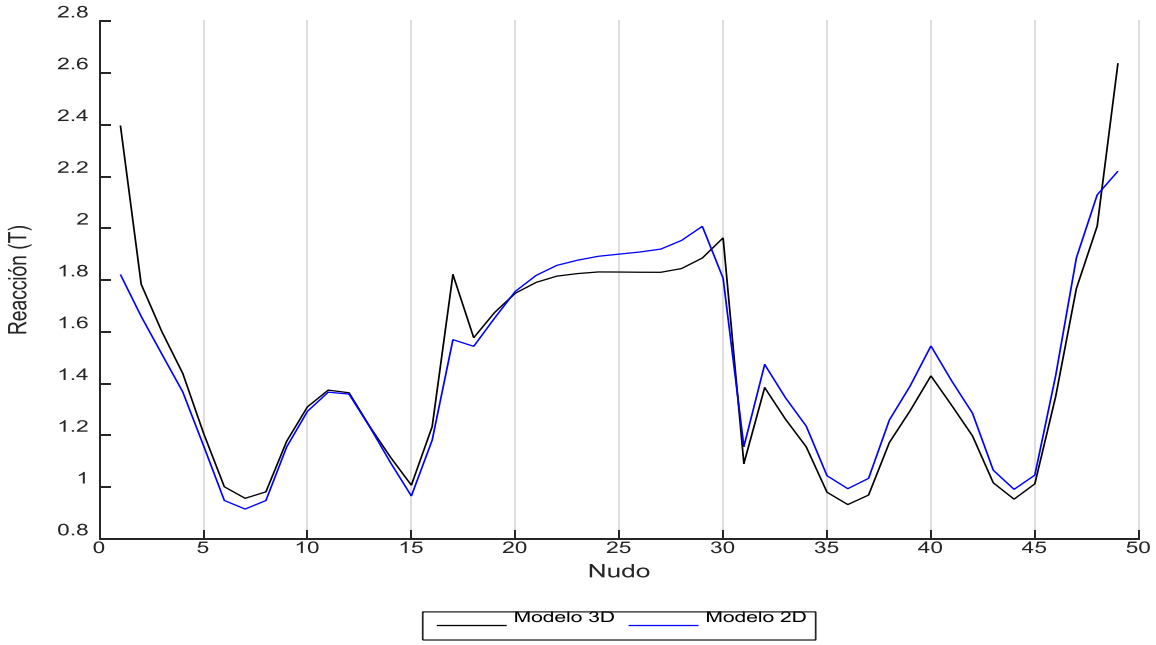
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-35: Reacciones verticales por carga muerta en el modelo 3D simplificado.



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-36: Comparación entre reacciones verticales de los modelos 3D y macromodelo

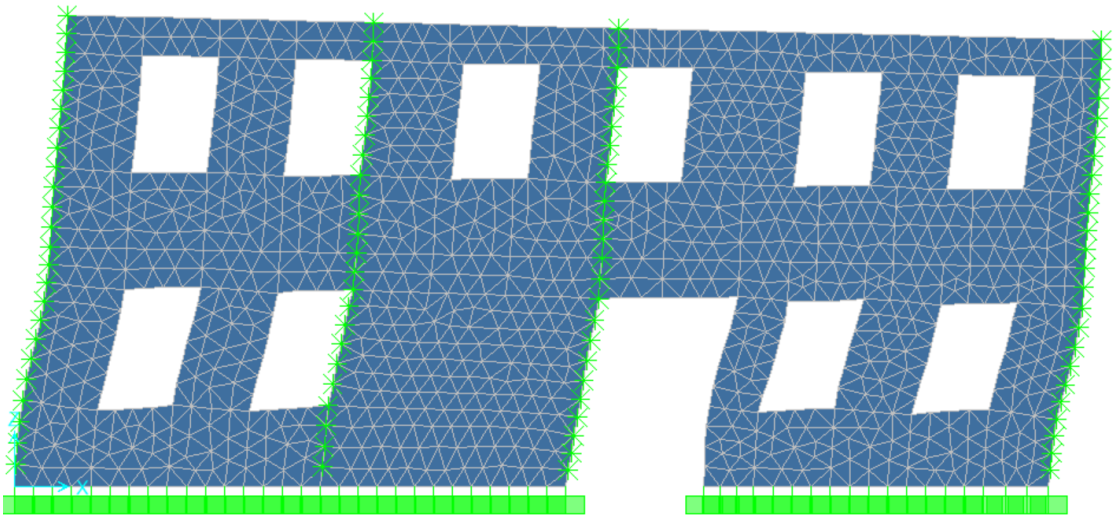


Elaboración: Jhordy Vargas

Ya con las cargas correctamente distribuidas se encuentra el periodo del macromodelo mediante el programa. Para la calibración de las cargas en el macromodelo, se usó la tabla de exel mostrada en el ANEXO 1, donde se cambiaron las cargas en los nudos hasta obtener reacciones similares al modelo 3D.

La FIGURA 3-37 nos muestra el pórtico 1 con un periodo de T=0.10880 en su primer modo de vibración, esto se aproxima al primer modo de vibración del modelo 3D simplificado con T=0.11249. Por esta razón el pórtico 1 será el macromodelo. Y como se describió en el modelo 3D simplificado, la similitud en los periodos nos genera una similitud en la rigidez y en el amortiguamiento del sistema. La masa se calibro mediante las reacciones.

FIGURA 3-37: Periodo del modelo 2D (T=0.1088)



Elaboración: Jhordy Vargas

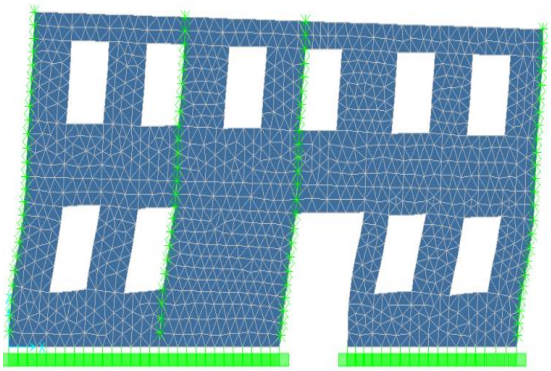
3.5.2 Validación del Macromodelo

Para validar el modelo se realiza una verificación con el programa RIGID en el cual se comparan los periodos de vibración en cada modo.

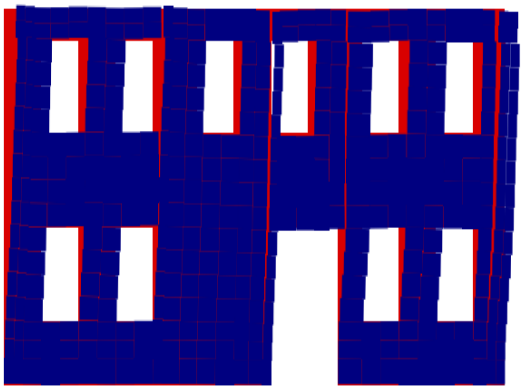
El modelo en RIGID lo realizo el Ing. Wilson Torres, quien realizo el modelo por apoyo en el proyecto de Tesis.

Como se observa en la FIGURA 3-38, FIGURA 3-39, FIGURA 3-40, y FIGURA 3-41 , existe similitud en los modos de vibración y periodo de los dos modelos. Esto nos sirve para validar el modelo realizado en SAP 2000.

FIGURA 3-38: Comparación 1er modo Modelo 2D



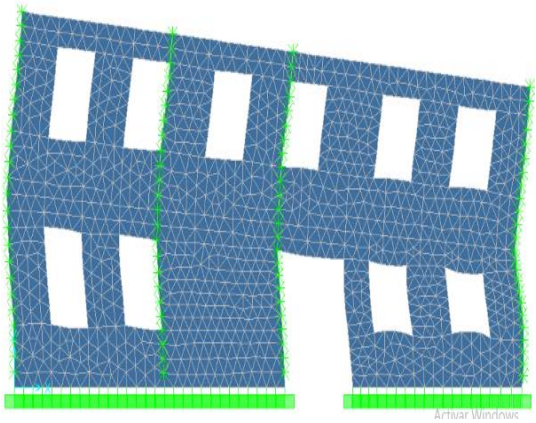
SAP 2000 T= 0,10880



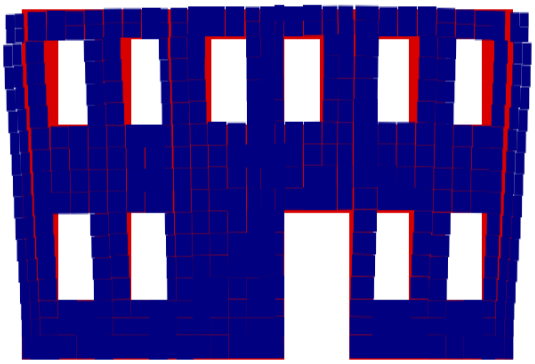
RIGID T= 0.09660

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-39: Comparación 2do modo Modelo 2D



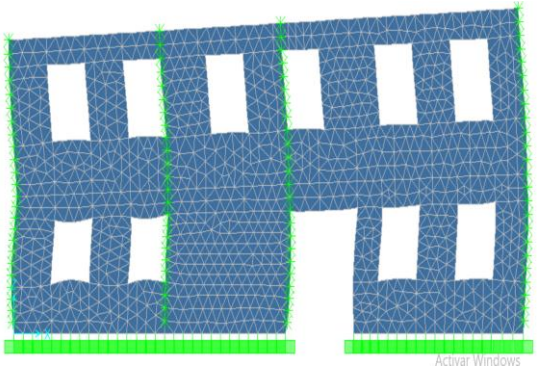
SAP 2000 T= 0,05204



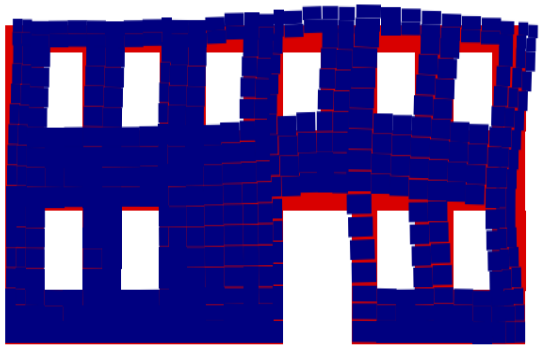
RIGID T= 0.05700

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-40: Comparación 3er modo Modelo 2D



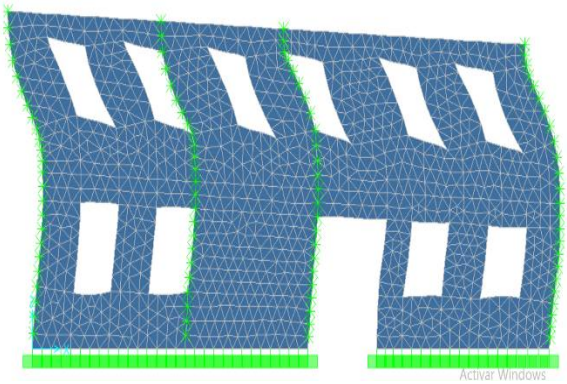
SAP 2000 T= 0,04870



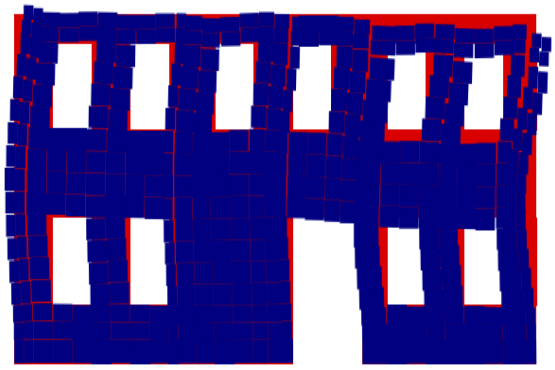
RIGID T= 0.04310

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 3-41: Comparación 4to modo Modelo 2D



SAP 2000 T= 0,03669



RIGID T= 0.0418

Elaboración: Jhordy Vargas.

Los modos de vibración nos generan las siguientes participaciones de masa para un peso total de la estructura de 71,4 T:

Tabla 3-11: Participación de masa por modo de vibración

MODO	Participación de masa acumulado
1er	81%
2do	85%
3er	86%
4to	87%

Elaboración: Jhordy Vargas

Los periodos son similares en los cuatro modos de vibración comparados, y se logra un 87% de participación de masa con los cuatro primeros modos de vibración. Para nuestro análisis es válido el macromodelo, con los cuatro primeros modos de vibración comparados. No se comparan los siguientes modos de vibración porque presentan muy baja participación de masa.

Capítulo 4 : ANÁLISIS DEL MACROMODELO

Se genera el macromodelo para simplificar el modelamiento de la tipología estructural.

Para generar los macroelementos se realiza un análisis de los sectores donde existe concentración de esfuerzos, y se genera un modelo simple que represente el comportamiento en el plano XZ del modelo 3D.

4.1 Generación de los Macro Elementos

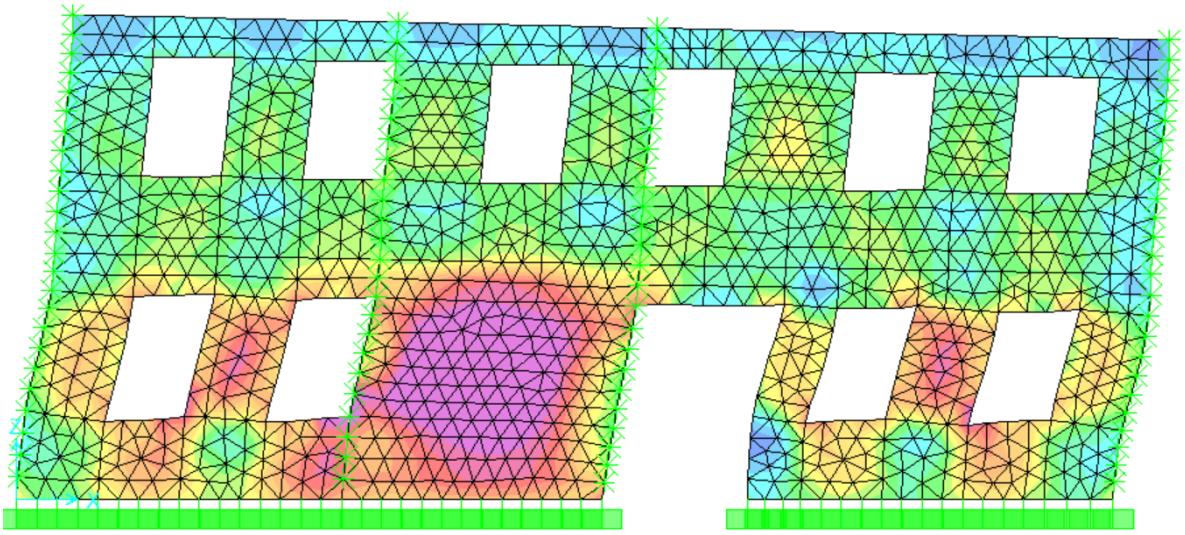
Para generar un macroelemento, se deben conocer el comportamiento físico de la estructura, y representar ese comportamiento mediante sus macroelementos.

Para entender mejor el comportamiento de la mampostería se generó el macromodelo. Y basándonos en este modelo se buscan los sectores donde existen concentración de esfuerzos.

En los sectores donde no existen mayores esfuerzos de corte se utilizó una analogía de columna ancha para simular los esfuerzos a flexión que actúan sobre la mampostería. Y en los sectores que existen esfuerzos de corte se utilizó un puntal a compresión porque es aquí donde la estructura puede fallar por su baja ductilidad.

En la FIGURA 4-1 se observan los esfuerzos de corte producidos en el Macromodelo

FIGURA 4-1: Esfuerzos de corte en el Macromodelo



Elaboración: Jhordy Vargas

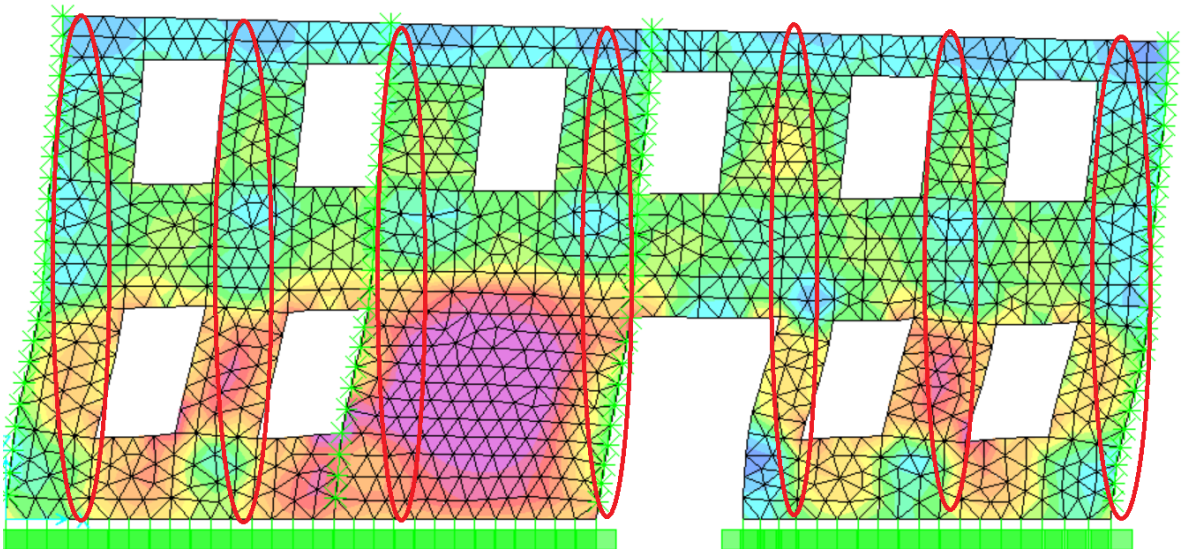
4.2 Método de columna ancha

Es un método de modelación alternativo y sencillo que considera la pared como una sección monolítica, representando el elemento con dos nodos. Este método es utilizado para analizar muros de cortante. La mampostería de la tipología estructural simula un muro de corte por sus dimensiones.

Como se observa

FIGURA 4-2, los óvalos de color rojo representan los sectores de la mampostería que no tienen mayores esfuerzos de corte, por lo que se los representa con elementos que se plastifican a flexión es decir mediante columnas anchas.

FIGURA 4-2: Sectores para Columna Ancha



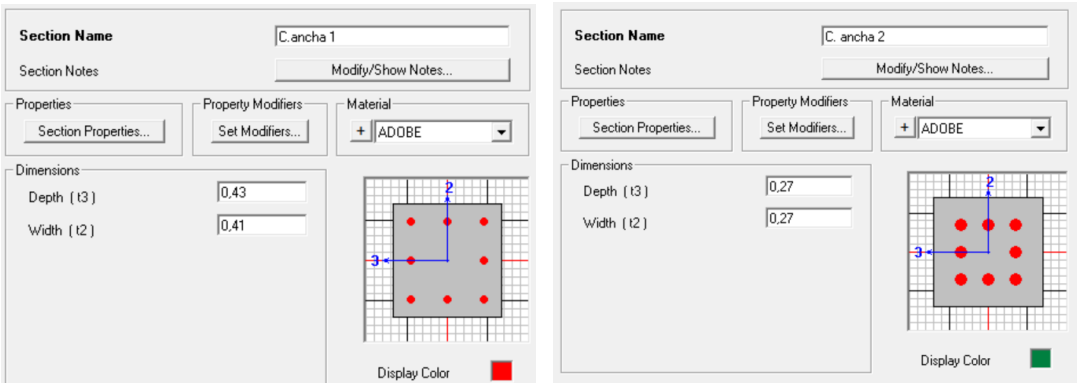
Elaboración: Jhordy Vargas.

Los macroelementos del macromodelo son analogías de una columna ancha, ubicados en los sectores donde no existen mayores esfuerzos de corte, motivo por el que se genera una plastificación concentrada de momento rotación, es decir, estos elementos no presentan una falla frágil.

La rótula plástica se representa gráficamente como un punto que se asigna a un elemento estructural, este punto teórico cuando ya no es capaz de resistir empieza a rotar o falla, por lo que los esfuerzos generados en ese punto de redistribuyen hacia los elementos que confluyen cerca de la rótula plástica.

En el programa SAP 2000 se asignaron dos tipos de columna ancha para simular el modelo de mampostería. A estas columnas anchas se asignaron rótulas plásticas al 5% de su longitud, sin embargo, estos sectores no se plastificarán, porque la falla está controlada por los esfuerzos de corte que se generan en el puntal a compresión.

FIGURA 4-3: Columnas anchas en SAP 2000



Elaboración: Jhordy Vargas

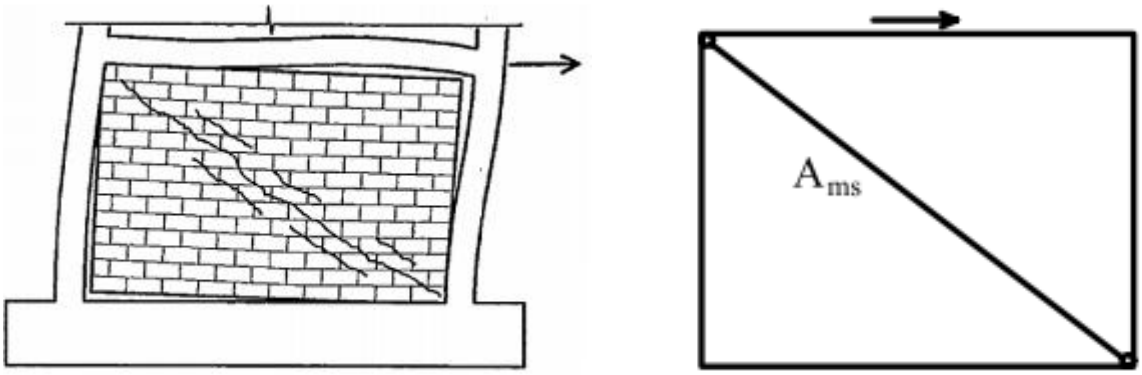
4.3 Puntal de compresión

El macromodelo más simple es aquel que representa el panel de mampostería mediante una diagonal equivalente, conocido como modelo diagonal equivalente propuesto por Polyakov y Holmes en la década de 1960 (Lang, Crisafulli, & Torrisi, 2014).

Los muros de baja ductilidad fallan a corte, por lo tanto, un puntal de compresión, genera un modelo eficaz para analizar el comportamiento a corte de un sector específico de la mampostería. Un puntal solo a compresión es válido por el echo que la mampostería tiene muy baja capacidad a tensión.

Según el FEMA-356, el desempeño ocupacional de una estructura de mamposteria se asume llegara cuando una fisura visualmente significativa aparece, es por esto que se generan puntales a compresión controlados por fuerza. Como la mampostería es un material con baja ductilidad, la falla local generada en el puntal de compresión provoca la falla de la estructura.

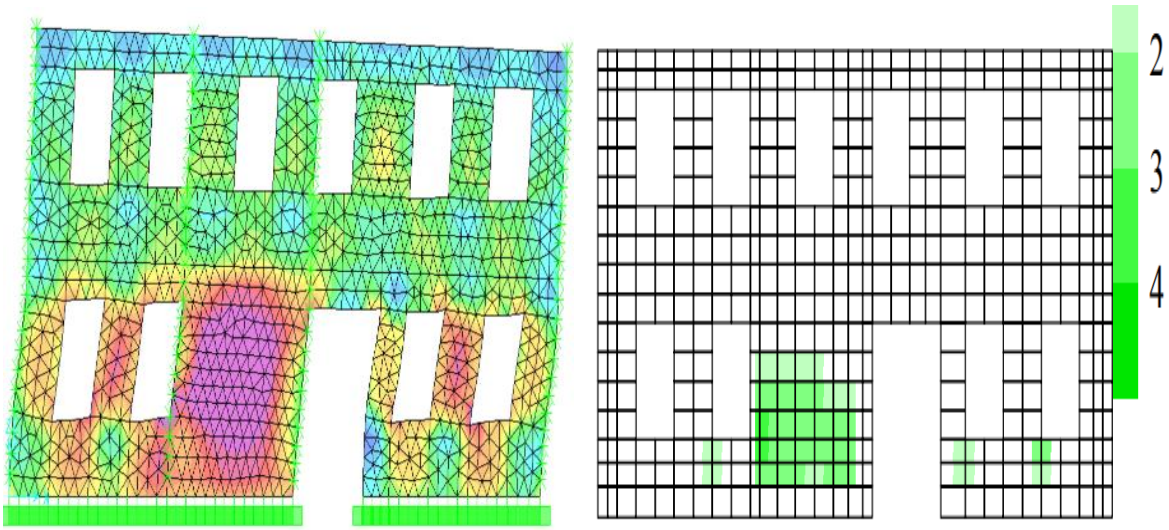
FIGURA 4-4: Analogía puntal a compresión.



Fuente: (Crisafulli, 1997)

En la FIGURA 4-5 se observa que existe gran concentración de esfuerzos a corte en sectores específicos del modelo, por lo que aquí se generara un puntal a compresión. La falla del puntal a compresión se genera mediante una rótula plástica en la mitad, que estará controlada por una fuerza de compresión máxima que es capaz de resistir la mampostería con esas dimensiones.

FIGURA 4-5: Comparación de Esfuerzos de **Corte** en los Modelos



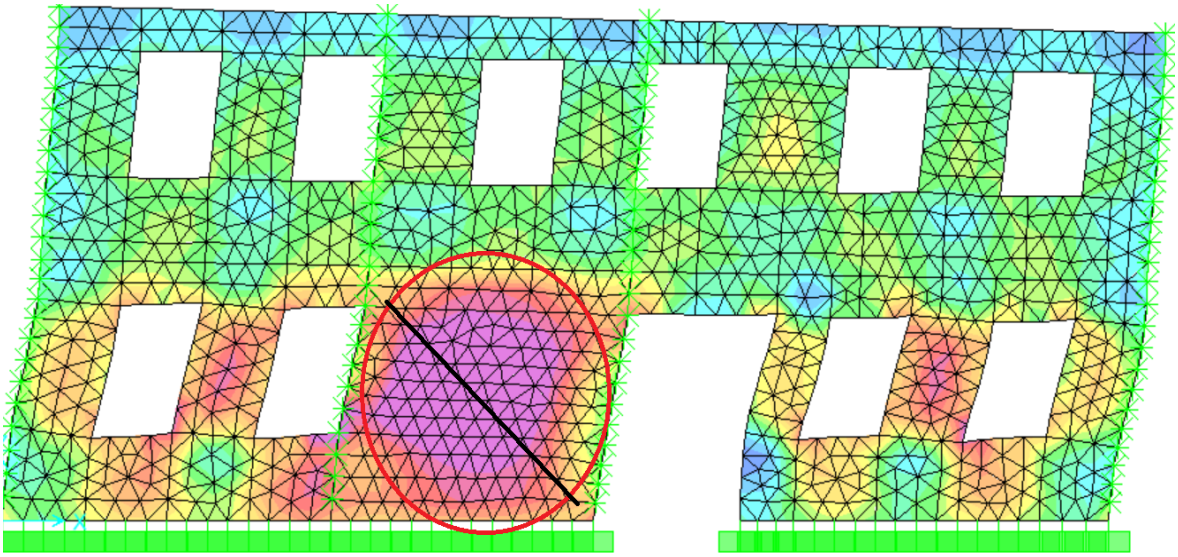
a) SAP 2000 b) RIGID

Elaboración: Jhordy Vargas – Ing. Wilson Torres

La resistencia del puntal se obtuvo de la resistencia a tracción indirecta del adobe (2.957 T/m^2) descrito en el capítulo 3.1.3 de este trabajo. Esta resistencia se la multiplico por el área del muro para obtener la fuerza máxima que logra soportar la mampostería en diferentes sectores.

En la FIGURA 4-6 y FIGURA 4-7, se muestran los sectores del modelo donde se generan los puntales de compresión:

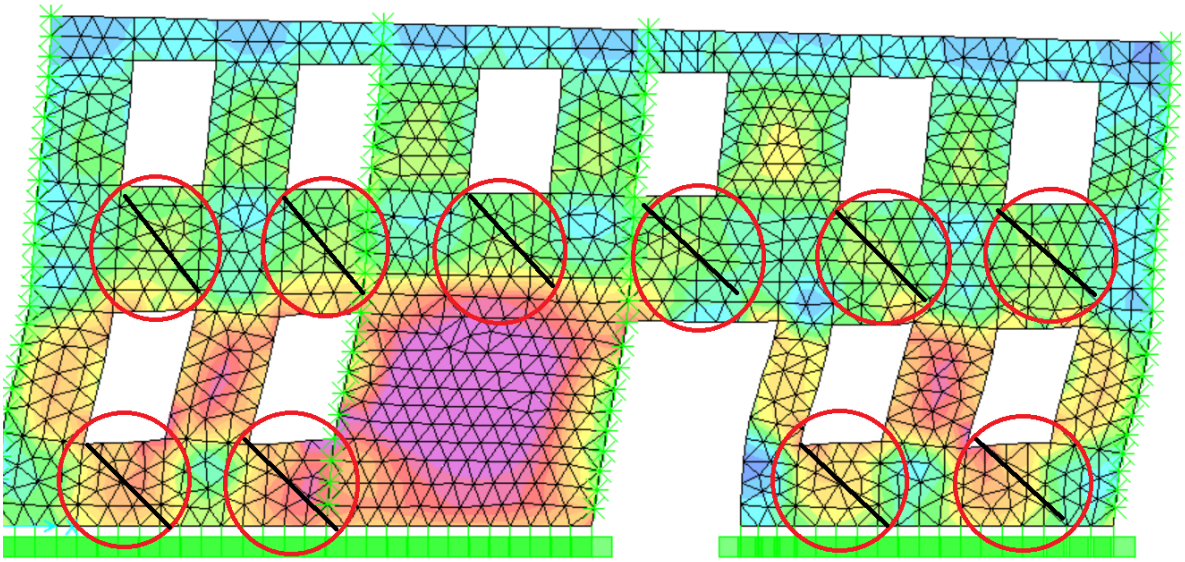
FIGURA 4-6: Sector de la mampostería para el Puntal Grande



Elaboración: Jhordy Vargas

En la FIGURA 4-6 se observa el sector con mayores esfuerzos de corte que estará representado por el puntal grande, este sector de mampostería tiene un área de 3 m x 0.5 m que nos dan 1.5 m^2. La resistencia a tracción indirecta del adobe es de 2.957 T/m^2. Al multiplicar el área de mampostería por la resistencia a tracción del adobe se obtiene la resistencia del puntal a compresión. Este puntal tiene una resistencia a compresión de 4.4 T. Se utiliza una resistencia a compresión de 4 T. para el Puntal Grande.

FIGURA 4-7: Sectores de la mampostería para los Puntales Pequeños.

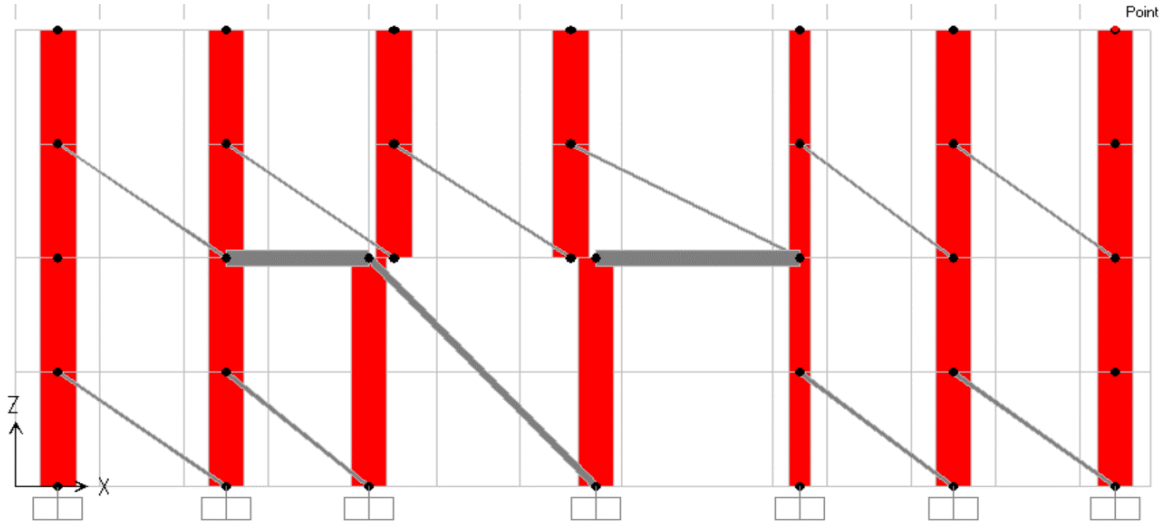


Elaboración: Jhordy Vargas

En la FIGURA 4-7 se visualizan los sectores de mampostería con esfuerzos de corte, para los puntales pequeños. Este sector tiene un área de 1.5 m x 0.5 m que nos dan 0.75 m^2. La resistencia a tracción indirecta del adobe es de 2.957 T/m^2. Al multiplicar el área de mampostería por la resistencia a tracción se obtiene la resistencia del puntal a compresión. Este puntal tiene una resistencia a compresión de 2.21 T. Se utiliza una resistencia a compresión de 2 T. para el Puntal Pequeño.

Una vez definidos los puntales a compresión y las columnas anchas se generó dos modelos en el programa SAP 2000. Los elementos de rojo son las columnas anchas, y los elementos diagonales mostrados en gris son los puntales a compresión. Esto se observa en la FIGURA 4-8, y la FIGURA 4-10

FIGURA 4-8: Macroelementos 1

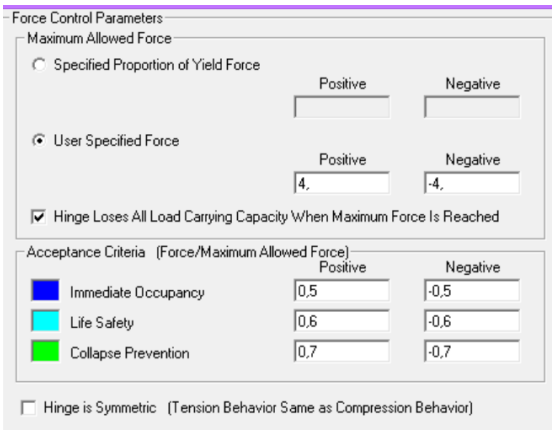


Elaboración: Jhordy Vargas

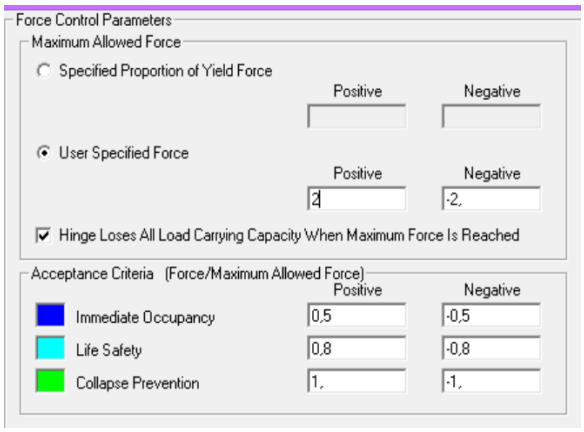
Para los macroelementos 1 se considera que los puntales resisten la misma capacidad a compresión y a tensión, para simular la capacidad a compresión de la mampostería en los dos sentidos, aun sabiendo que la mampostería tiene muy baja resistencia a tensión.

Para crear esta característica en el SAP, a las rótulas de los puntales a compresión se les asigna la misma capacidad a tensión y a compresión como se observa en la FIGURA 4-9

FIGURA 4-9: Capacidad de rótulas en los Macroelementos 1



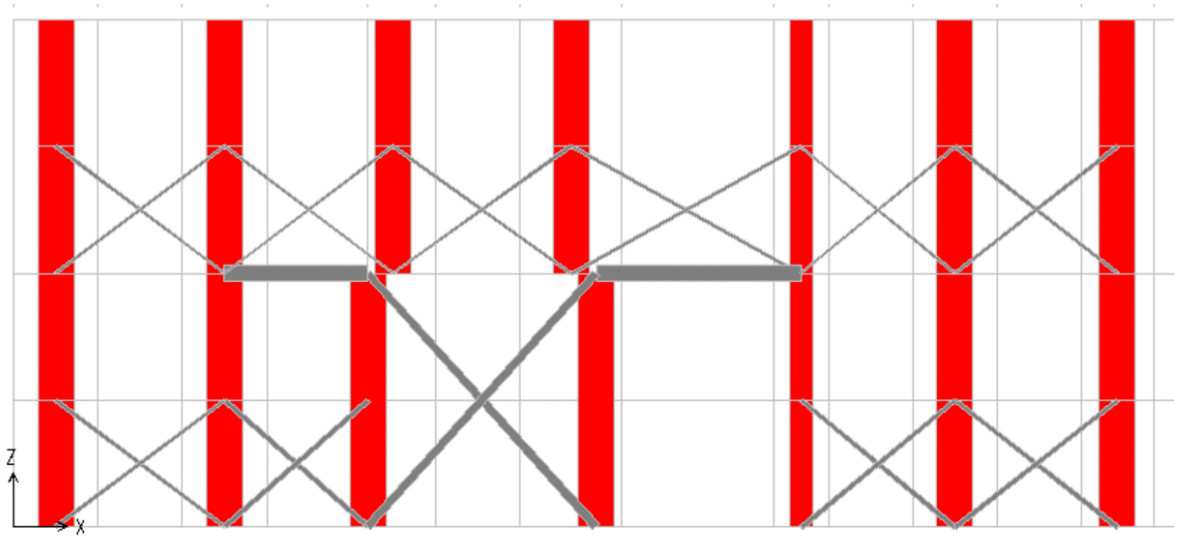
a) Puntal Grande



b) Puntal Pequeño

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 4-10: Macroelementos 2

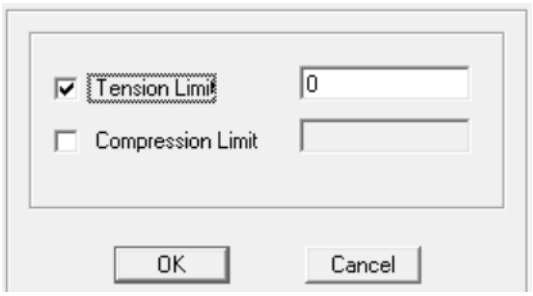


Elaboración: Jhordy Vargas

Para los macroelementos 2 se considera que los puntales resisten solo esfuerzos a compresión, simulando la capacidad a compresión de la mampostería en los dos sentidos. Con esto los puntales solo trabajan en el sentido que corresponde a compresión.

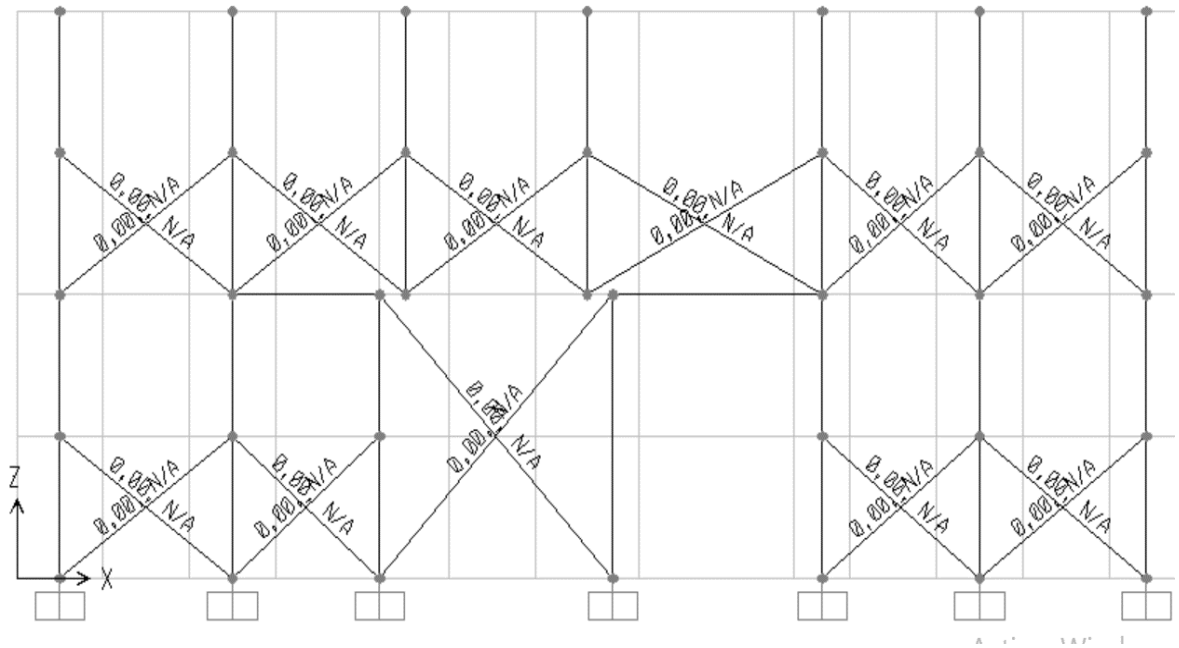
Para generar esta característica en SAP, se asignó a los puntales una tensión límite de 0 T. La capacidad a compresión de los puntales será la misma que en el macromodelo 1

FIGURA 4-11: Tensión límite en puntales de Macroelementos 2



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 4-12: Puntales sin capacidad a tensión en Macroelementos 2



Elaboración: Jhordy Vargas

4.4 Calibración de los Macroelementos

Antes del análisis de los macroelementos, se deben calibrar las cargas actuantes, para que generen reacciones similares al Macromodelo.

4.4.1 Cargas en los Macroelementos.

Se coloca cargas puntuales en los nudos para generar una reacción similar a las del Macromodelo.

A la carga muerta se le adiciono el peso propio del Macromodelo, teniendo en cuenta que los valores de peso propio calculados por el programa no son los mismos que el Macromodelo, debido a la variación en las secciones de los elementos. Y el cálculo automático del peso propio se desactivo en los modelos.

Tabla 4-1: Cargas Obtenidas del modelo 2D.

MODELO	CARGA MUERTA (T)	CARGA VIVA (T)	PESO PROPIO (T)
Macromodelo	16.5	6.6	49.3

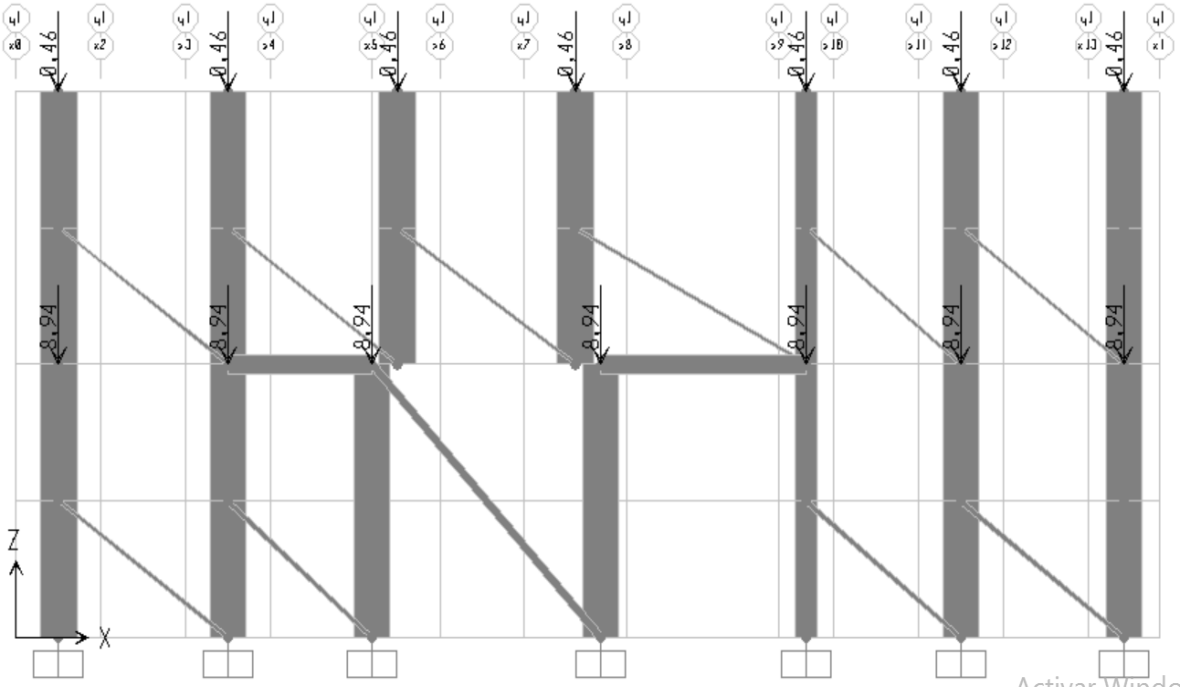
Elaboración: Jhordy Vargas

Para los Macroelementos se sumó la carga muerta y peso propio, esto nos da un valor de 65.8 T, en la primera losa se colocaron 62.6 T que representa la carga generada en la primera planta, en la segunda losa se colocaron 3.2 T que representa la carga generada por la cubierta.

La carga viva se colocó en la primera losa como en el Macromodelo.

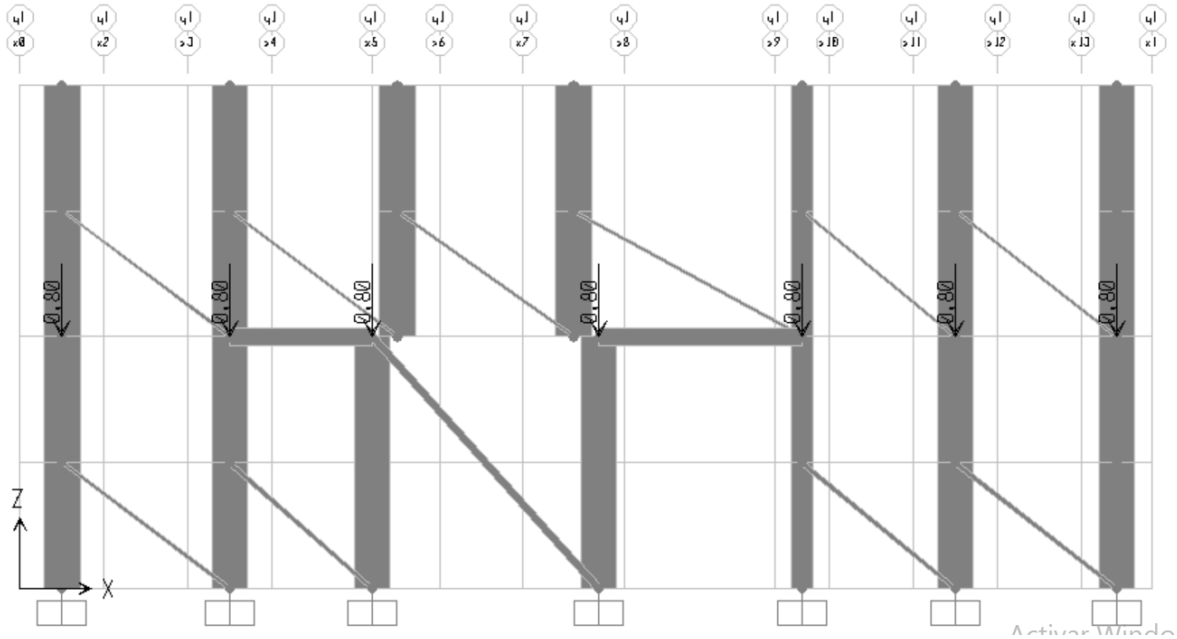
La carga muerta y viva se las dividió entre las 7 columnas anchas de los modelos, para colocar cargas puntuales como se observa en la FIGURA 4-13, FIGURA 4-14, FIGURA 4-15, y FIGURA 4-16

FIGURA 4-13: Carga Muerta en los Macroelementos 1



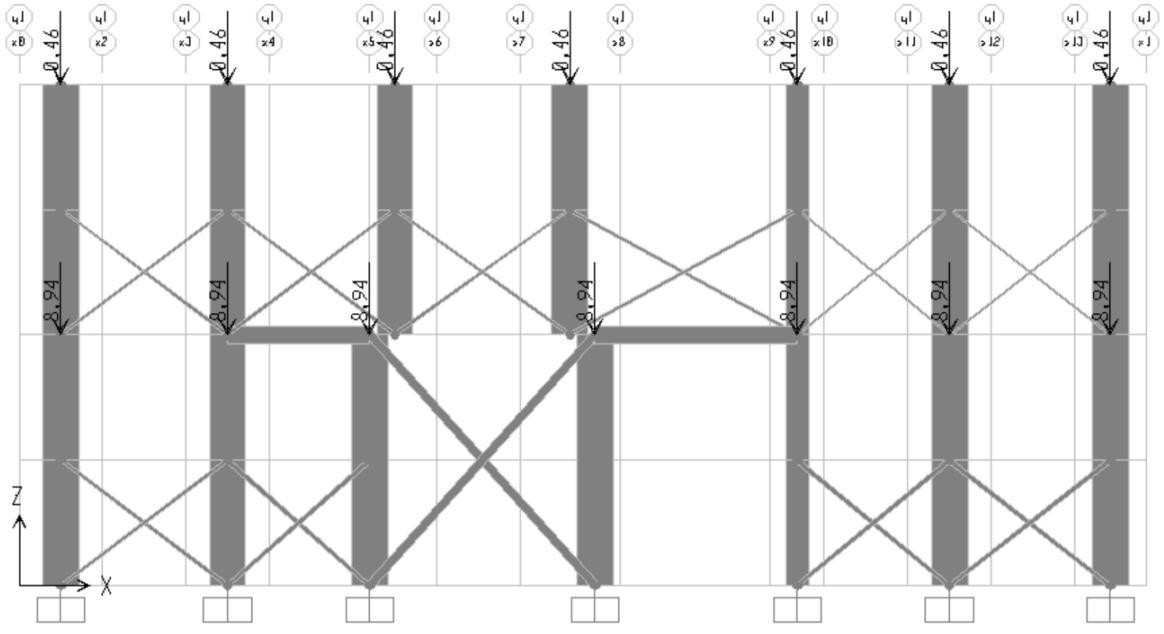
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 4-14: Carga Viva en los Macroelementos 1



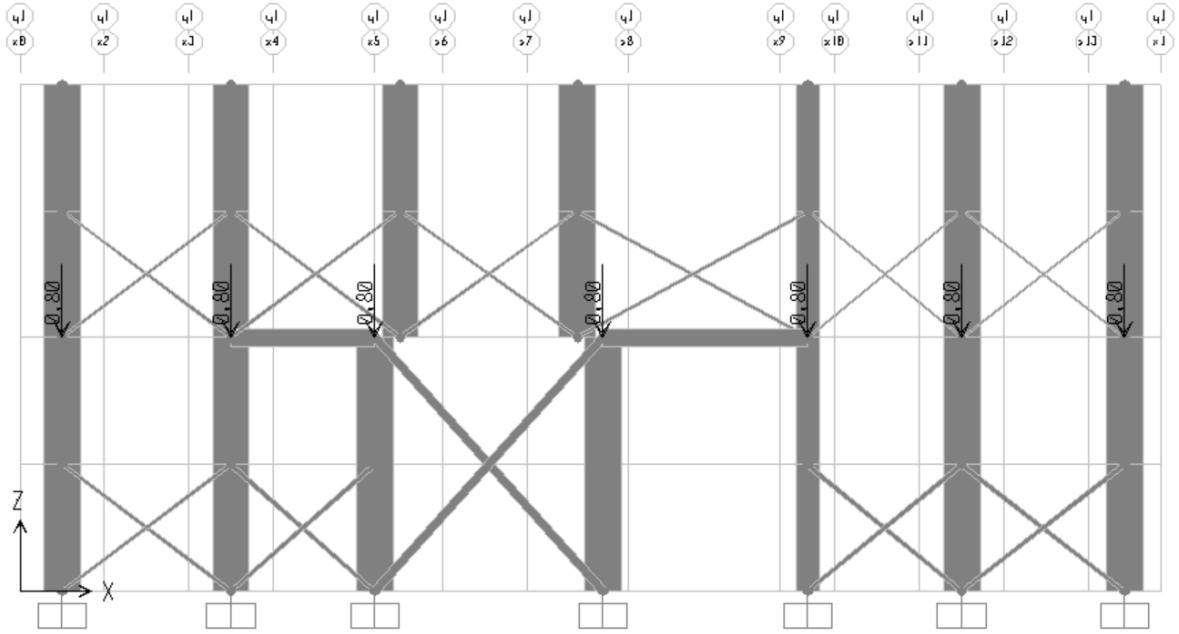
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 4-15: Carga Muerta en los Macroelementos 2



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 4-16: Carga Viva en los Macroelementos 2



Elaboración: Jhordy Vargas

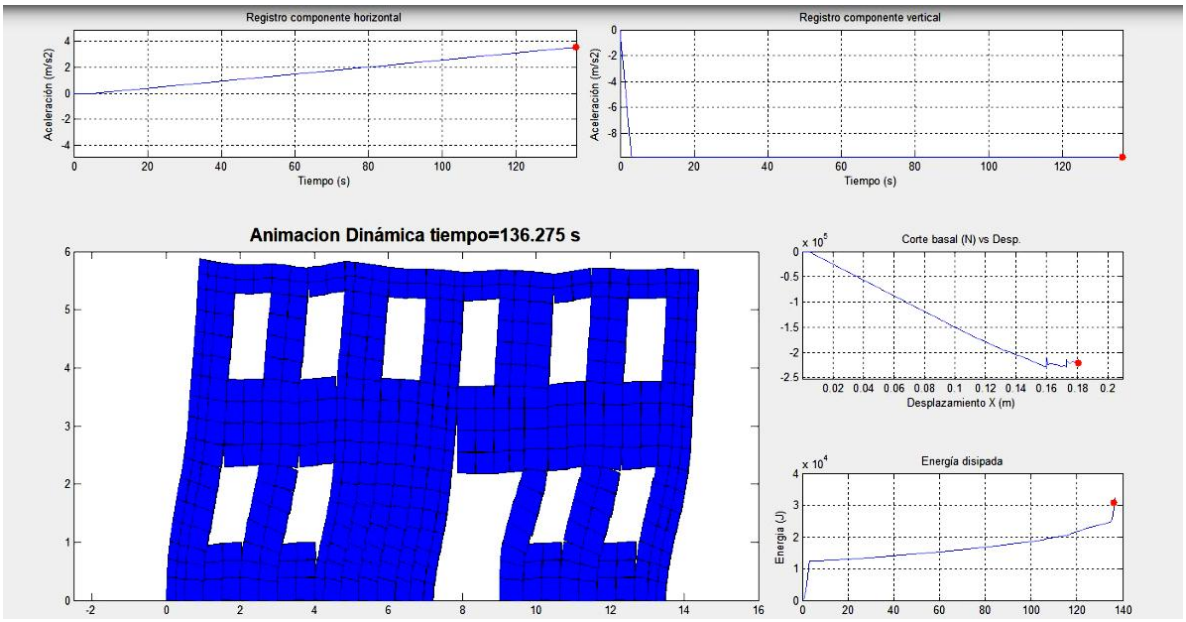
Con las cargas actuantes correctamente colocadas se procede a realizar un análisis estático no lineal en los macromodelos. Para calibrar los modelos generados se realiza una comparación con la curva de capacidad obtenida en RIGID.

4.4.2 Análisis estático no lineal

Un análisis estático nolineal (NSP) nos permite evaluar la capacidad de la estructura mediante la relación entre el cortante basal y el desplazamiento lateral máximo en el tope del edificio. Para esto se aplica una carga incremental a la estructura hasta encontrar un desplazamiento máximo. A medida que la carga incrementa se generan unas rótulas plásticas en los elementos de la estructura.

El Ing Wilson Torres genero un modelo más completo en RIGID, donde obtuvo la curva de capacidad de la estructura. Con la curva de capacidad obtenida se logró calibrar los Macroelementos, hasta obtener una curva de capacidad similar a la obtenida en RIGID.

FIGURA 4-17: Modelo en RIGID.

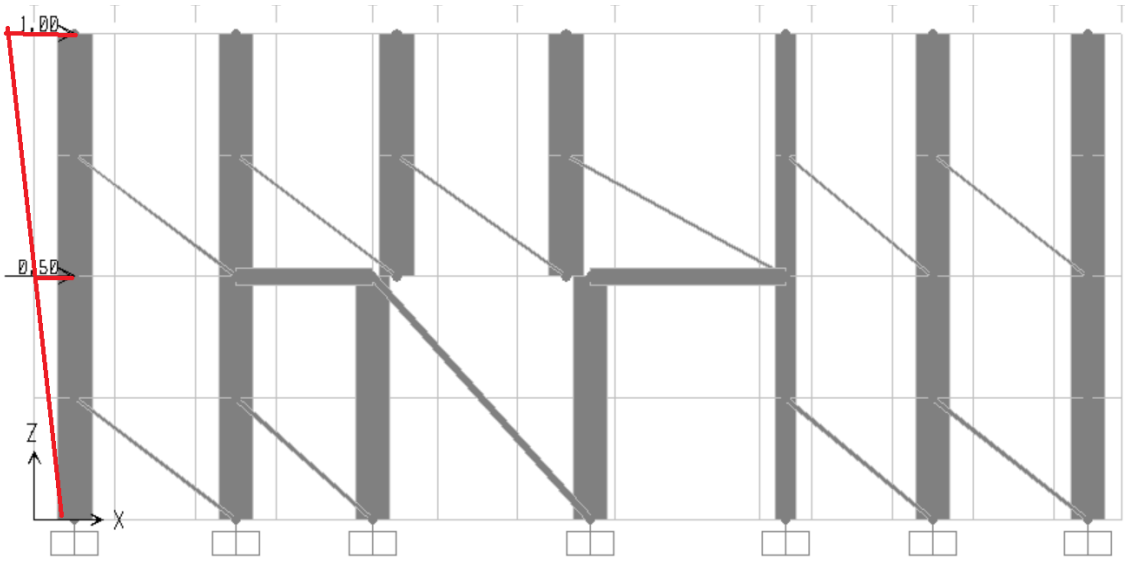


Fuente: Ing. Wilson Torres

Con el modelo generado en RIGID se calibran los modelos. Las dimensiones de las columnas anchas y los puntales de compresión fueron modificadas hasta obtener una curva de capacidad similar. Se utilizó un Análisis estático no lineal o método PUSHOVER para generar la curva de capacidad de los macroelementos.

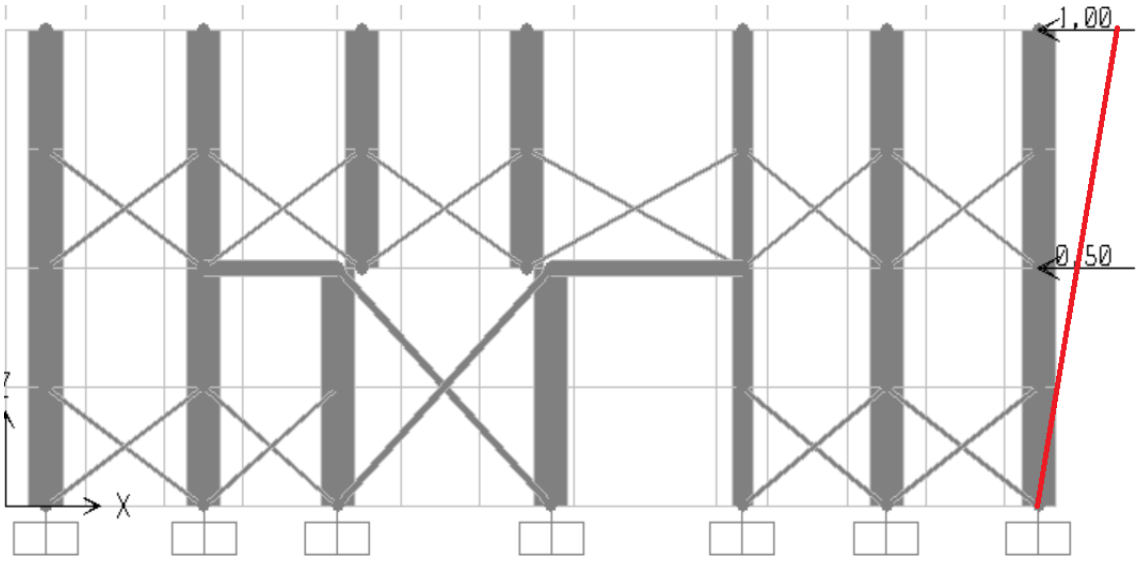
Primero se generó un estado de carga triangular para la carga lateral del PushOver. Esto es válido porque la estructura no supera los dos pisos, por lo que la forma triangular representa el primer modo de vibración. Esto se muestra en la FIGURA 4-18 y FIGURA 4-19.

FIGURA 4-18: Forma de la Carga incremental sentido positivo.



Elaboración: Jhordy Vargas.

FIGURA 4-19: Forma de la Carga incremental sentido negativo

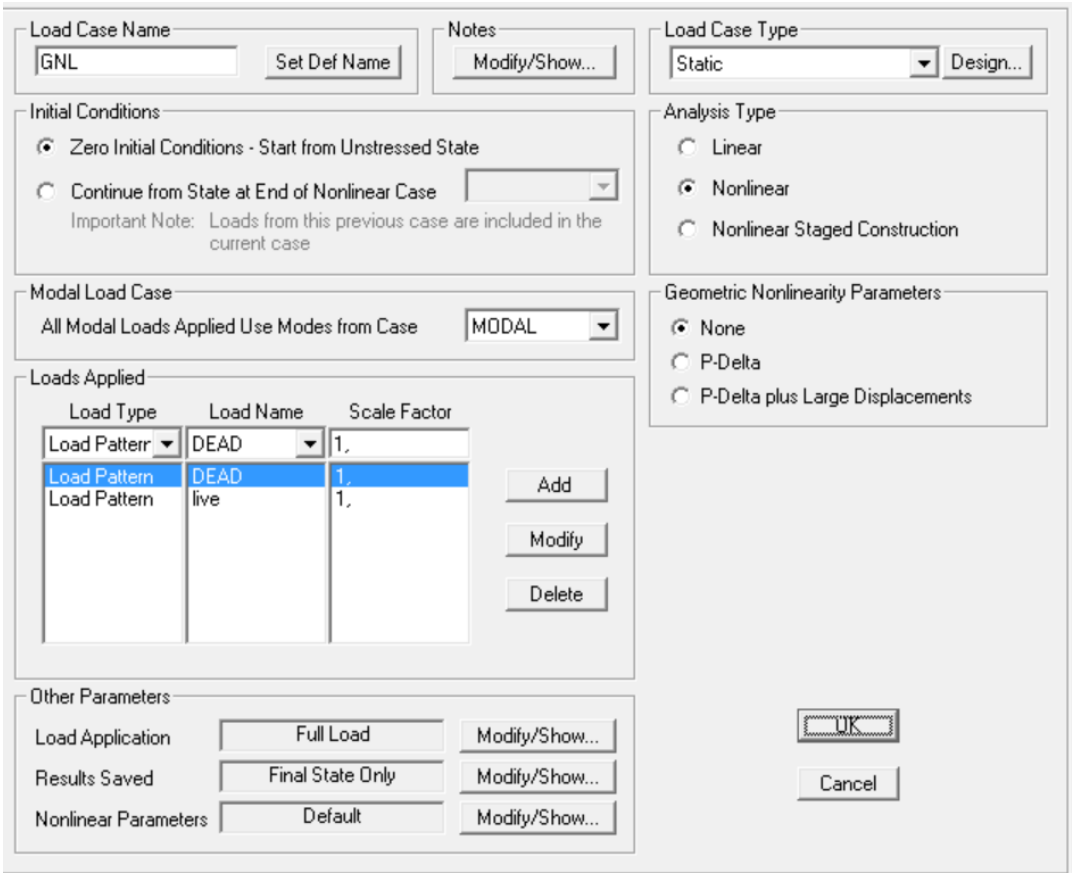


Elaboración: Jhordy Vargas.

Para el análisis PushOver, se creó un patrón de carga no lineal por carga gravitacional, con esto el programa genera un análisis de las cargas gravitacionales actuantes antes de aplicar la carga incremental. Logrando así que el modelo esté deformado por cargas gravitacionales antes del PUSHOVER. Para simular las cargas gravitacionales presentes en una estructura.

En la FIGURA 4-20 se observan los parámetros ingresados en el programa.

FIGURA 4-20: Parámetros de la carga gravitacional no lineal.

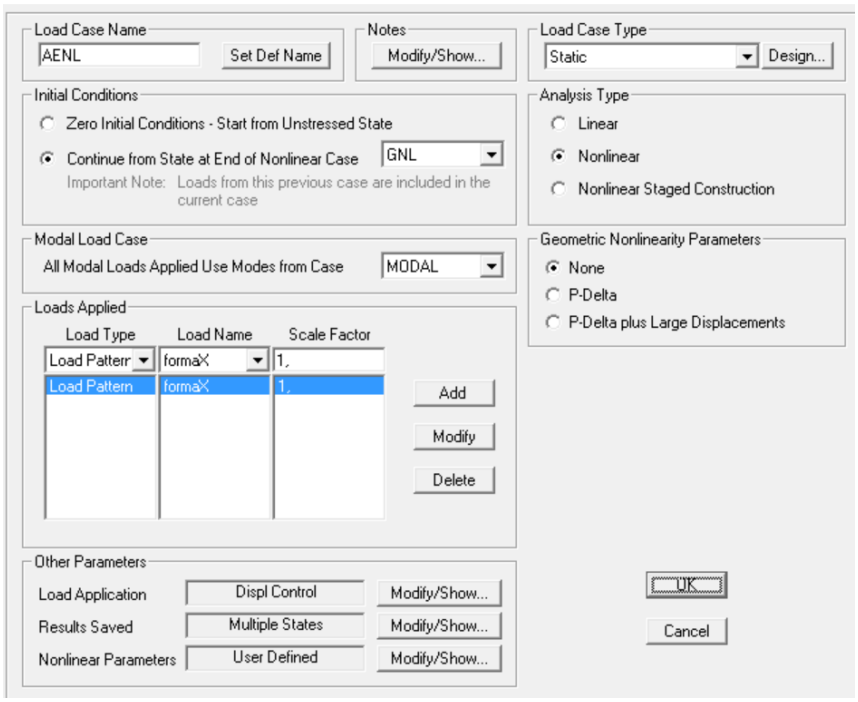


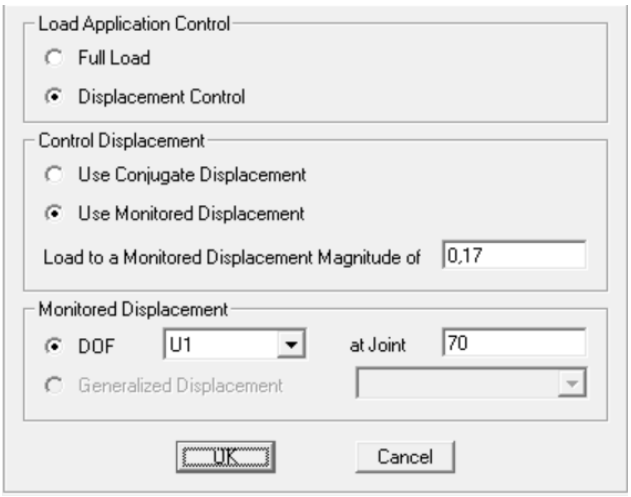
Elaboración: Jhordy Vargas.

A continuación, se generó un patrón de carga no lineal, y se le asignó un desplazamiento máximo de 17 cm en el tope de su estructura, porque en la curva de capacidad generada en RIGID se observa que el modelo falla a los 16 cm. También se ingresó la forma de la carga incremental observado como Load Pattern de la Forma x

Los parámetros ingresados para el análisis se muestran en la FIGURA 4-21.

FIGURA 4-21: Parámetros de la carga incremental no lineal





Elaboración: Jhordy Vargas.

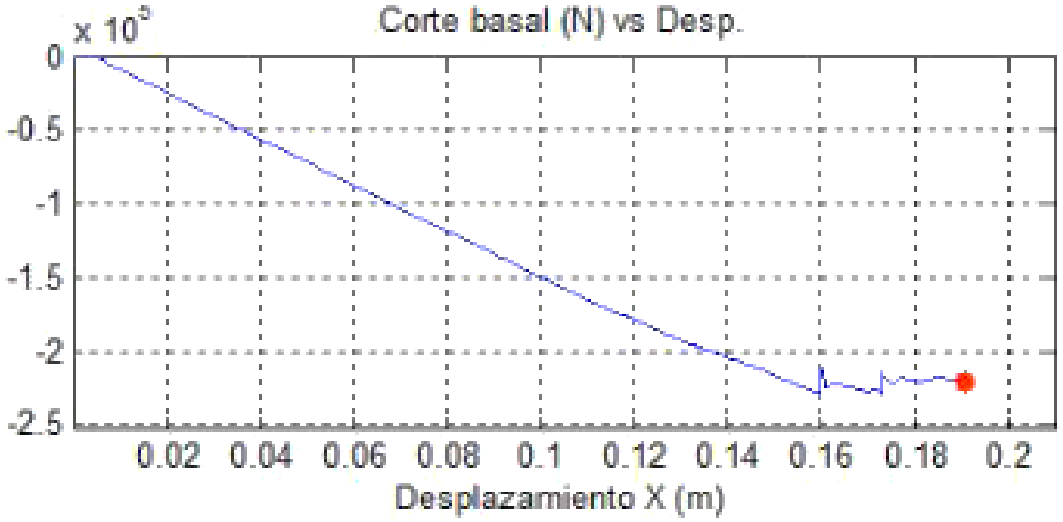
4.4.3 Curvas de Capacidad.

Con los modelos cargados de manera correcta, y los estados de carga ya definidos se procede a verificar las curvas de capacidad obtenidas. En los modelos se cambiaron las secciones de los puntales y columnas anchas hasta generar una curva similar a la del modelo en RIGID.

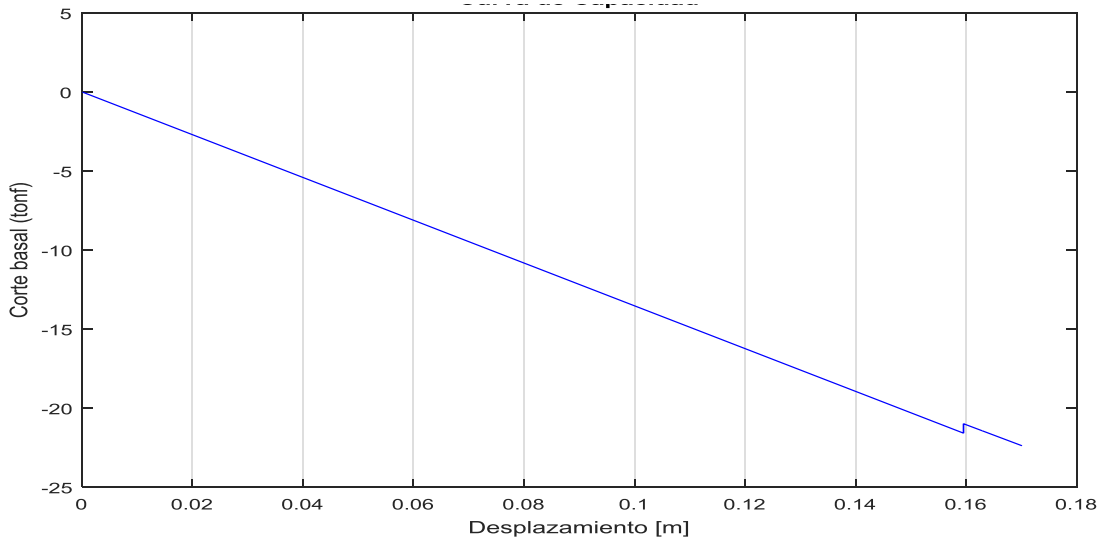
En la FIGURA 4-22 se observa la similitud en las curvas de capacidad de los dos modelos.

FIGURA 4-22: Comparación curvas de capacidad sentido negativo. a) Curva obtenida por RIGID b) Curva obtenida en SAP 2000.

a)



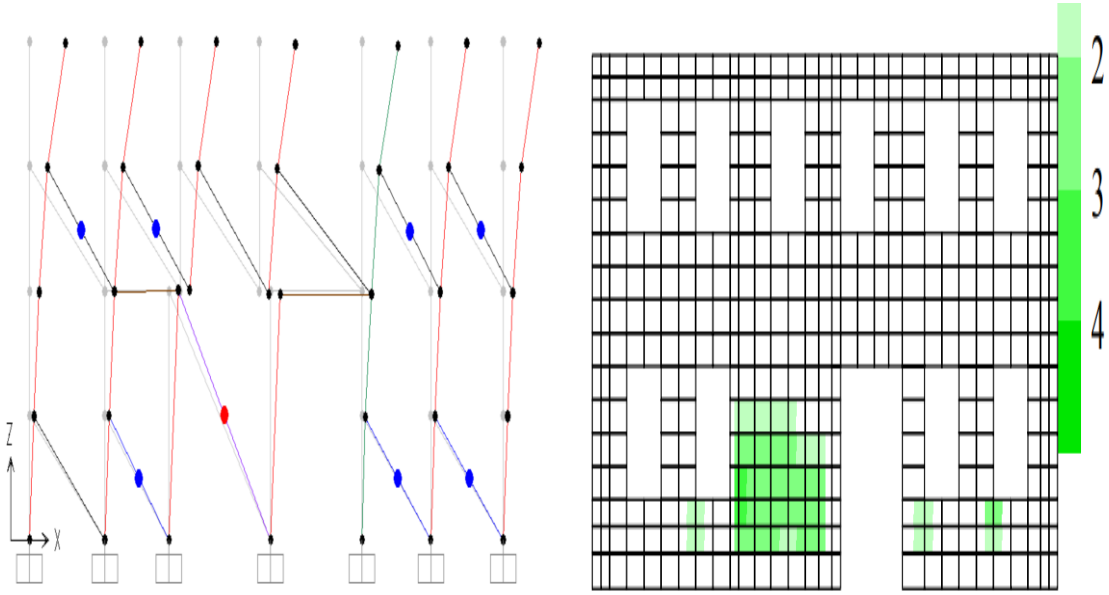
b)



Elaboración: Jhordy Vargas

En la FIGURA 4-23, y FIGURA 4-24 se observan las rótulas plasticas en los modelos antes de la falla, y se las compara con los esfuerzos de corte generados en RIGID.

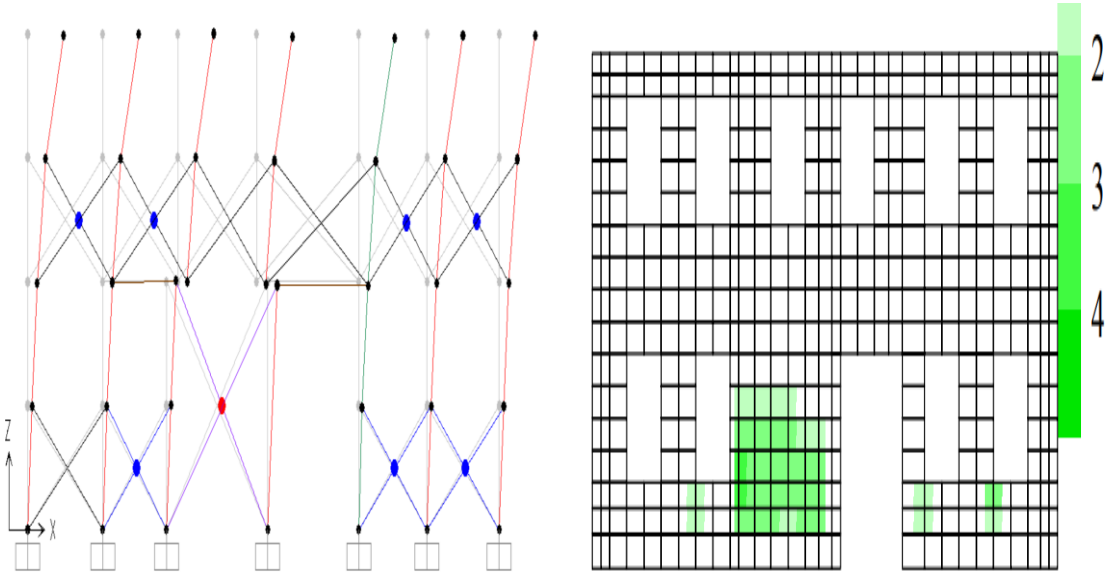
FIGURA 4-23: Comparación falla macroelementos 1 – Esfuerzos de corte RIDID



a) SAP 2000 b) RIGID

Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 4-24: : Comparación falla macroelementos 2 – Esfuerzos de corte RIGID



a) SAP 2000 b) RIGID

Elaboración: Jhordy Vargas

Como la curva de capacidad de los dos macromodelos es similar a la obtenda por RIGID, y la aparición de rótulas plásticas se da en los mismos sectores donde existe concentracion de esfuerzos a corte en RIGID, los dos macromodelos son válidos para realizar un análisis tiempo-historia. Tambien se verifica que en el puntal grande se genera una falla local por la gran concentración de los esfuerzo a corte.

Entonces se pasa al análisis Tiempo-História de los dos macromodelos.

Capítulo 5 : ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

El análisis Tiempo-Historia o conocido paso a paso en el Tiempo, se realiza utilizando las dos componentes horizontales de registro de acelerogramas apropiadamente seleccionadas y escalados a partir de los registros. Esto implica una evaluación paso a paso de la respuesta del edificio, usando acelerogramas como movimiento de entrada sísmica.

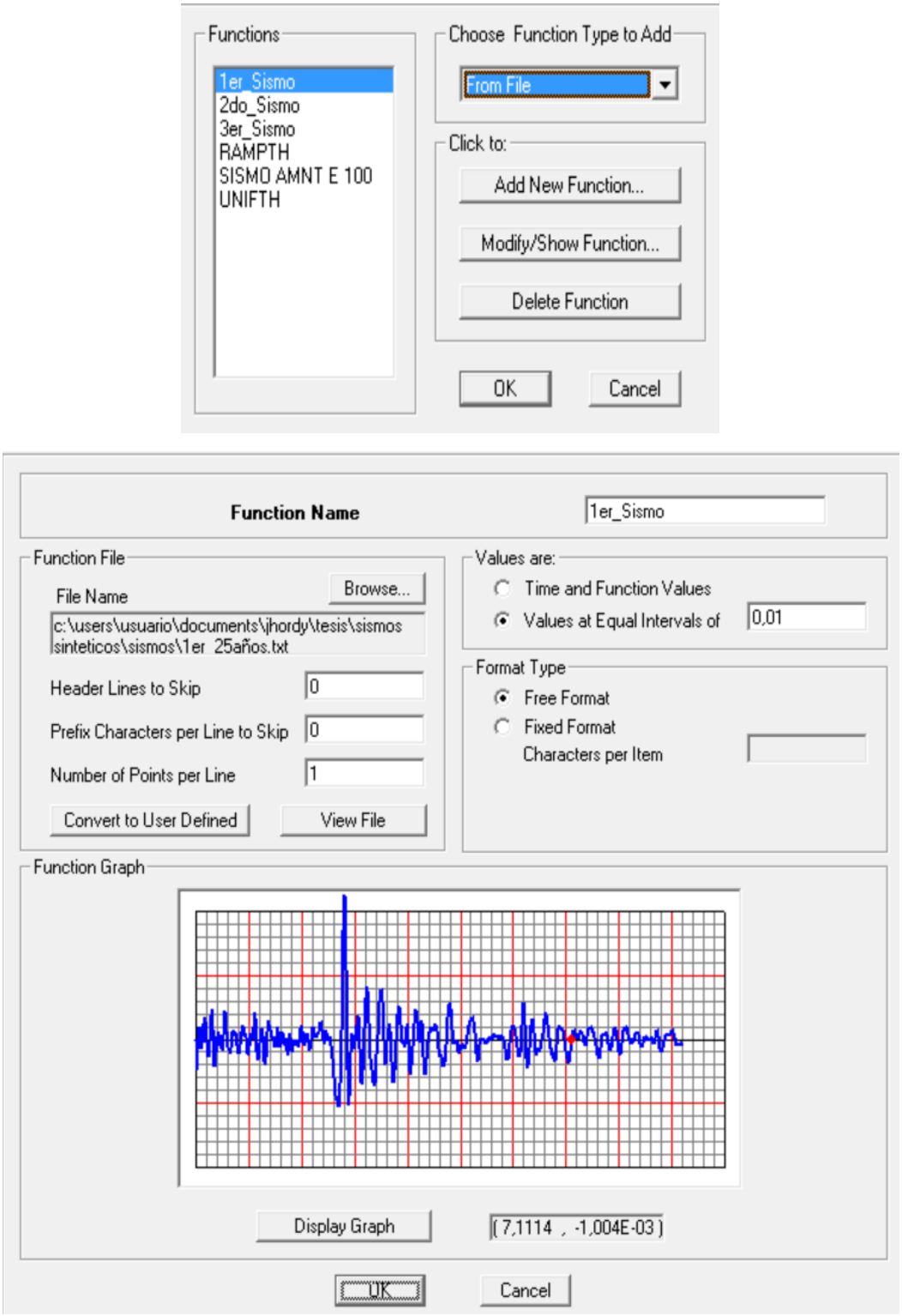
5.1 Análisis Tiempo-Historia en SAP 2000.

Con los dos macromodelos validados se genera un análisis tiempo historia en SAP 2000, para lo cual se ingresan en el programa los registros de los sismos descritos en el CAPITULO 2, y se obtienen los resultados del análisis.

En los macroelementos, se eligen dos puntos de control para el desplazamiento.

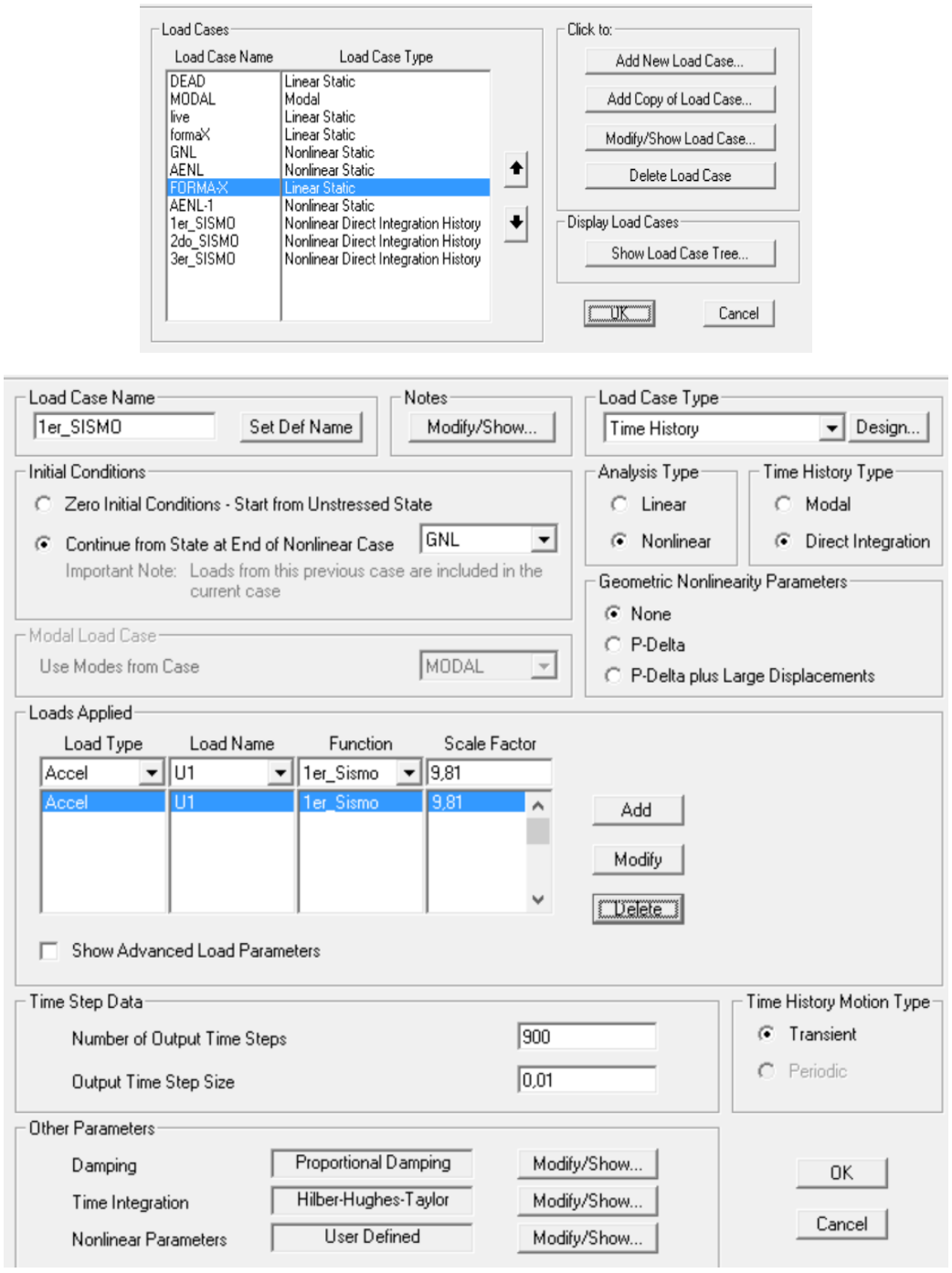
En la FIGURA 5-1, y FIGURA 5-2 se observan los registros ingresados y el patrón de carga para generar un análisis tiempo historia.

FIGURA 5-1: Ingreso de registros sísmicos en SAP 2000.



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-2: Ingreso de patrón de carga tiempo historia en SAP 2000



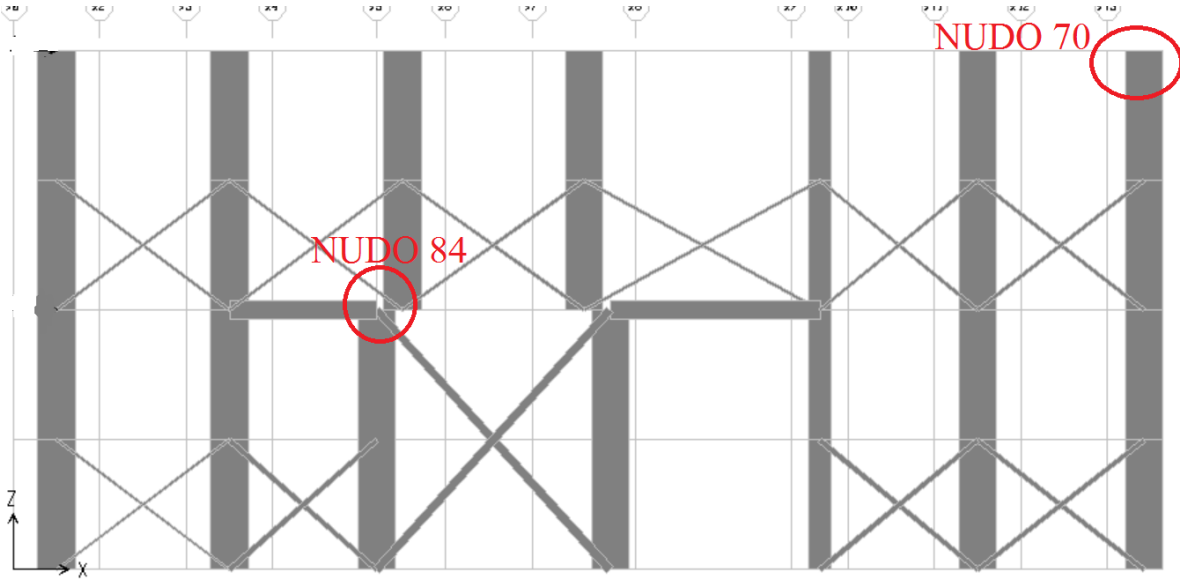
Elaboración: Jhordy Vargas

Se debe verificar las unidades del registro sísmico, en este trabajo se multiplico el registro por 9.81m/s2 para tener unidades en metros, pues el registro estaba en función de la gravedad.

5.2 Puntos de Control.

Con todos los sismos correctamente cargados en SAP se obtienen los resultados para dos puntos de control en los modelos, estos dos puntos de control seleccionados nos sirven para observar el desplazamiento de la estructura en su primera y segunda losa. La FIGURA 5-3 muestra los dos puntos de control seleccionados para los dos modelos.

FIGURA 5-3: Puntos de control en los modelos



Elaboración: Jhordy Vargas

Estos puntos de control serán el NUDO 70 para el nivel +6.0m y el NUDO 84 para el nivel +3.0m. Los resultados de desplazamiento y corte basal en la estructura se obtienen del SAP 2000, y se los exporta a una tabla de Exel para generar gráficas de tiempo vs desplazamiento, y de desplazamiento vs corte-basal. Para las gráficas se utilizó el programa MATLAB, con el cual podemos realizar un correcto manejo de grandes cantidades de datos.

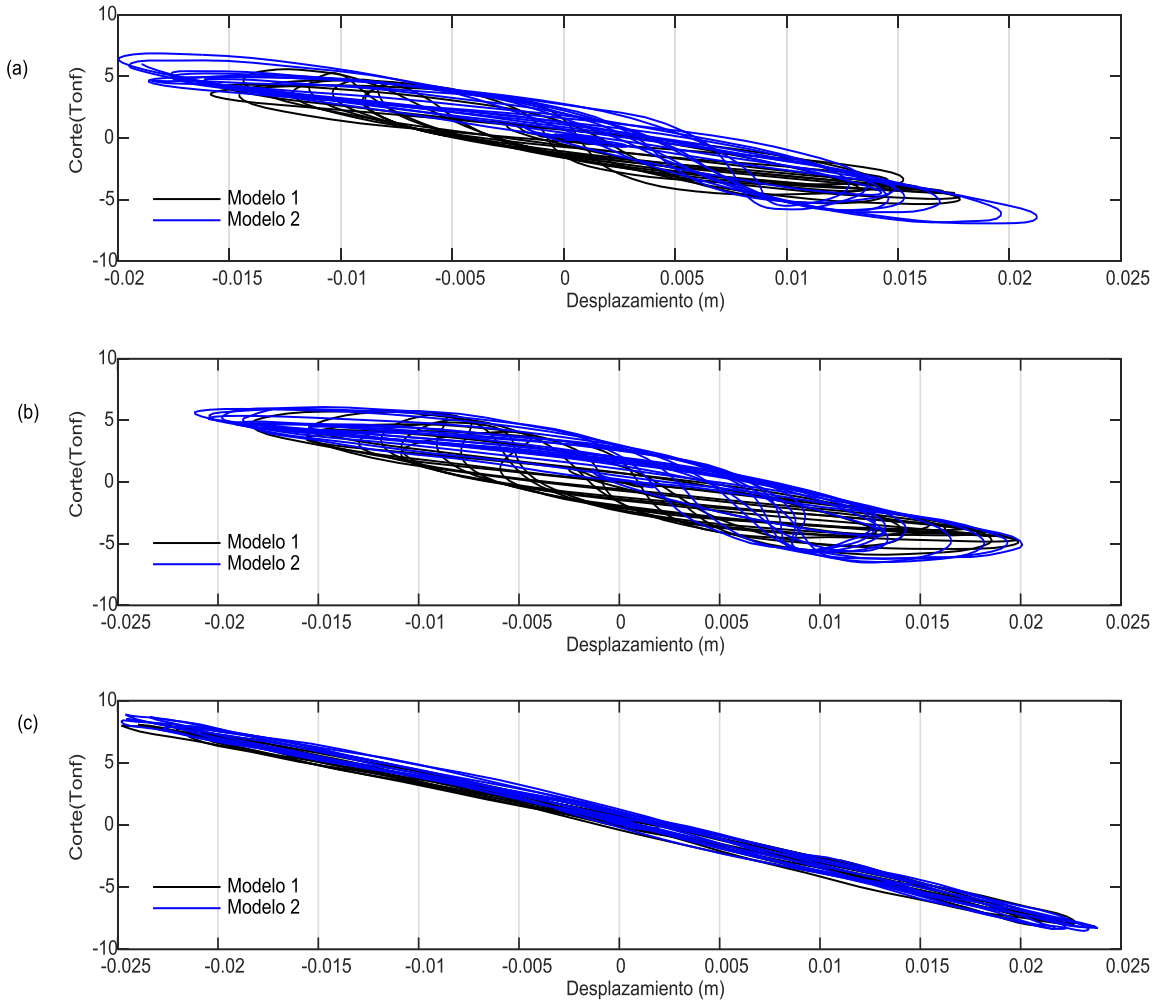
5.3 Gráficas de resultados.

En las siguientes figuras se puede observar los resultados obtenidos para los diferentes sismos, por periodo de recurrencia de 25 años, 35 años, 50 años, y 75 años. También se generó un análisis con los tres sismos Originales.

En cada periodo se utilizó tres sismos sintéticos. Y el chequeo se realizó en los dos puntos de control antes mencionados. El Modelo 1 es el macromodelo 1 y el Modelo 2 es el macromodelo 2. Las gráficas se muestran en las figuras siguientes.

Las gráficas se generaron con la rutina elaborada en MATLAB en el ANEXO 2

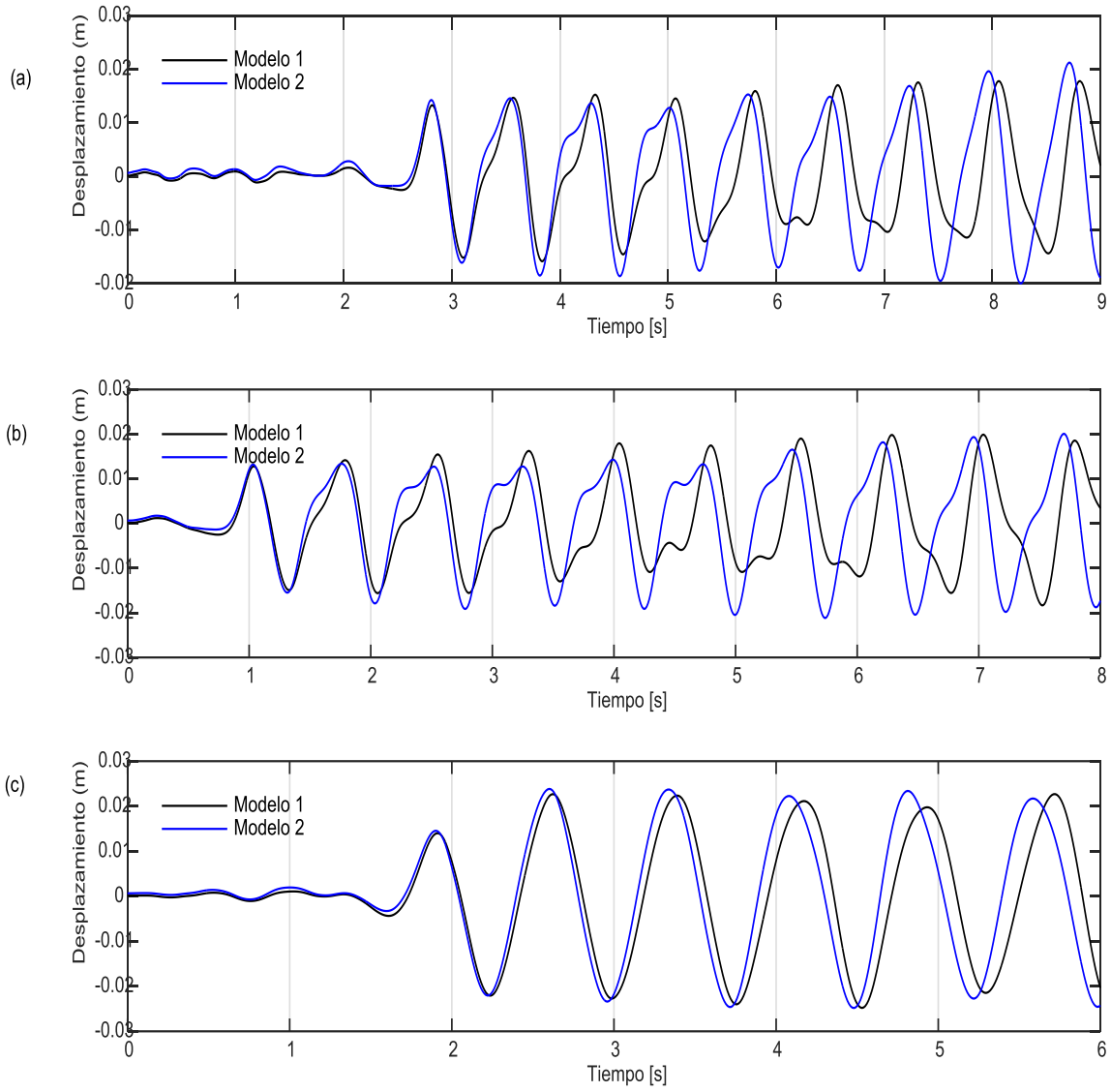
FIGURA 5-4: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **25 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

Las gráficas desplazamiento vs corte basal representan la histéresis del punto de control, porque relacionan dos propiedades físicas que dependen de su comportamiento previo. Ante cada desplazamiento existe un cortante en un tiempo determinado, es decir se genera un ciclo de carga mediante la aceleración sísmica,

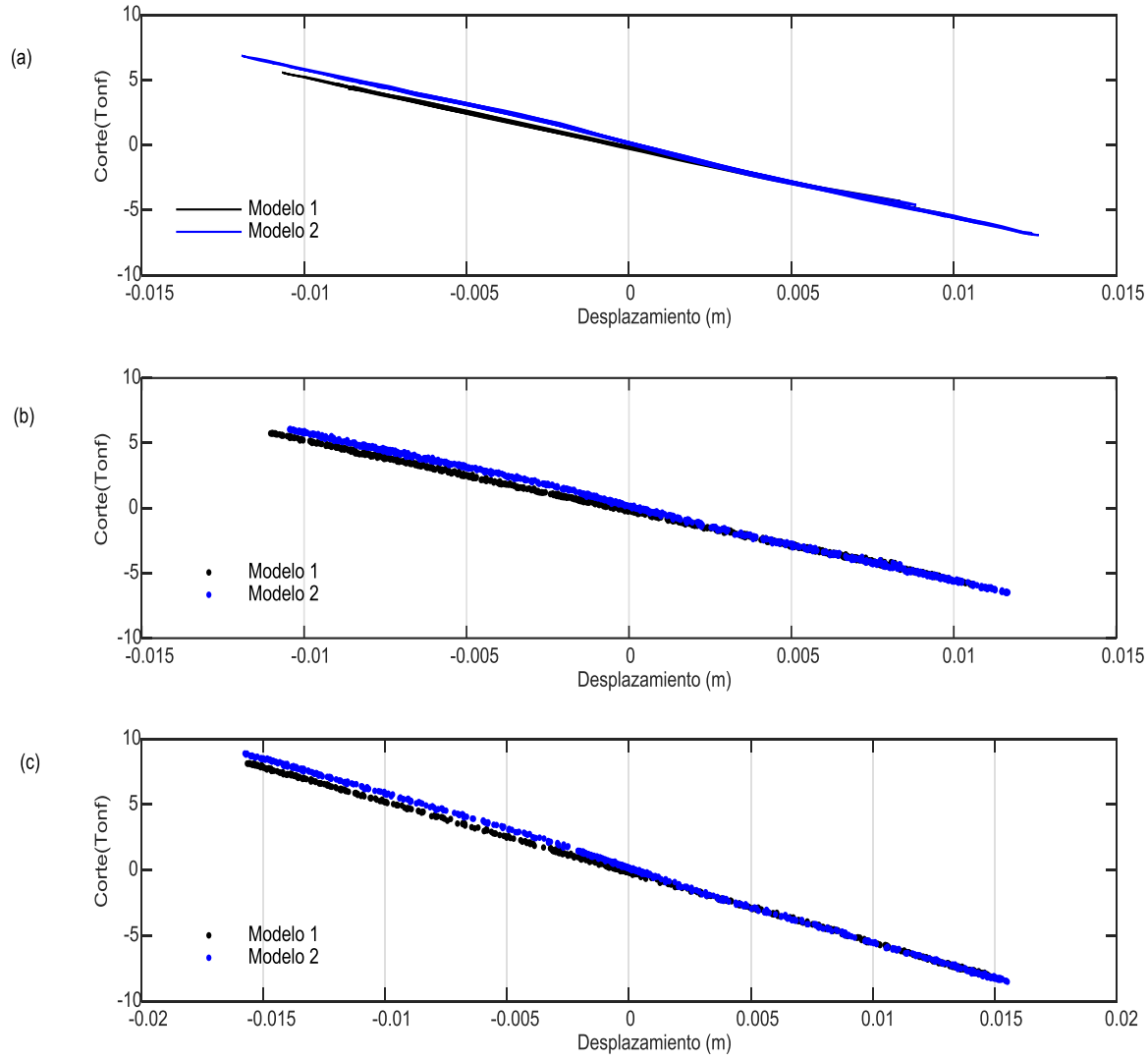
FIGURA 5-5: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **25 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

La grafica Tiempo-Desplazamiento nos permite observar cómo se mueve el punto de control durante la excitación sísmica.

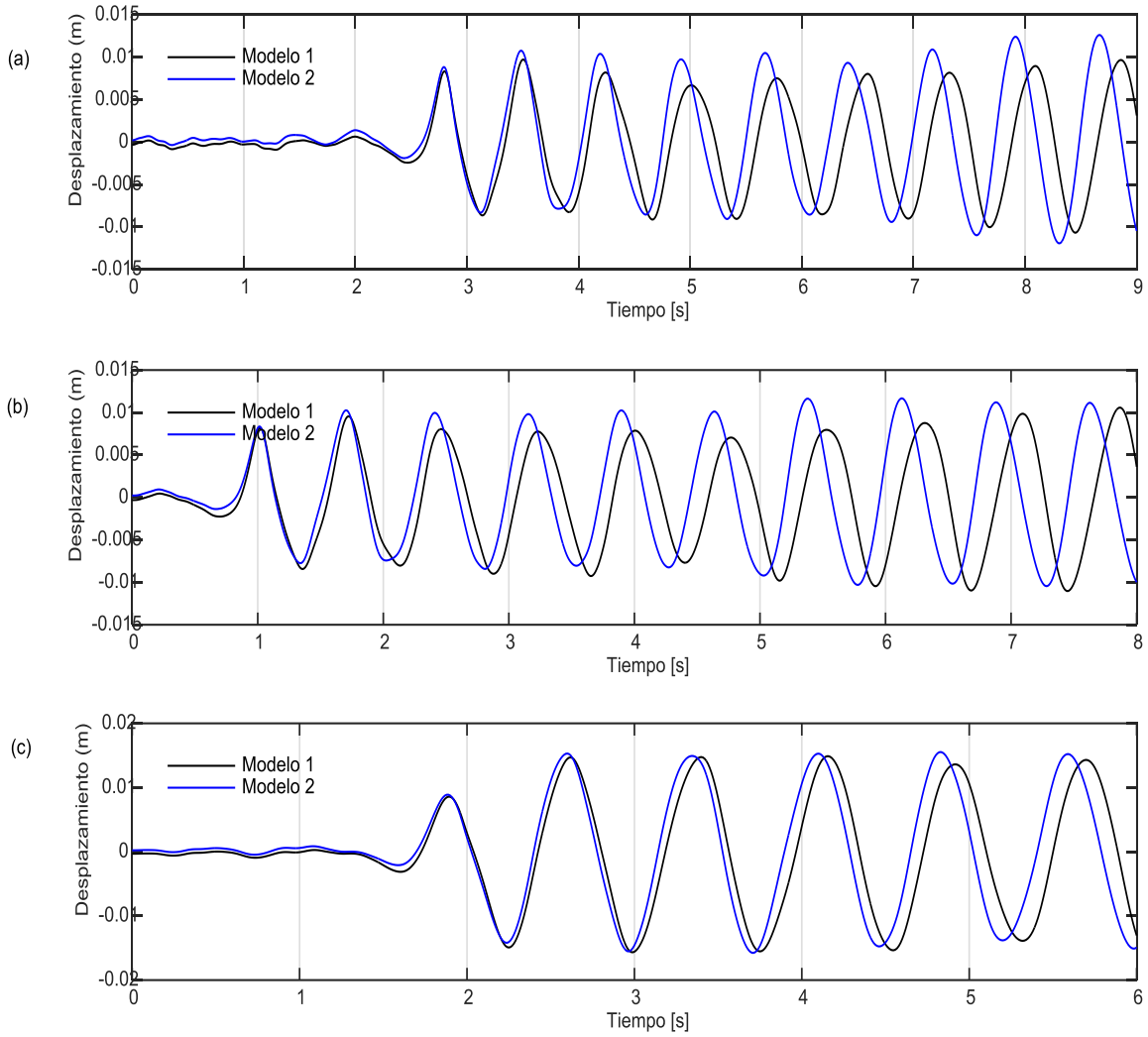
FIGURA 5-6: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **25 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

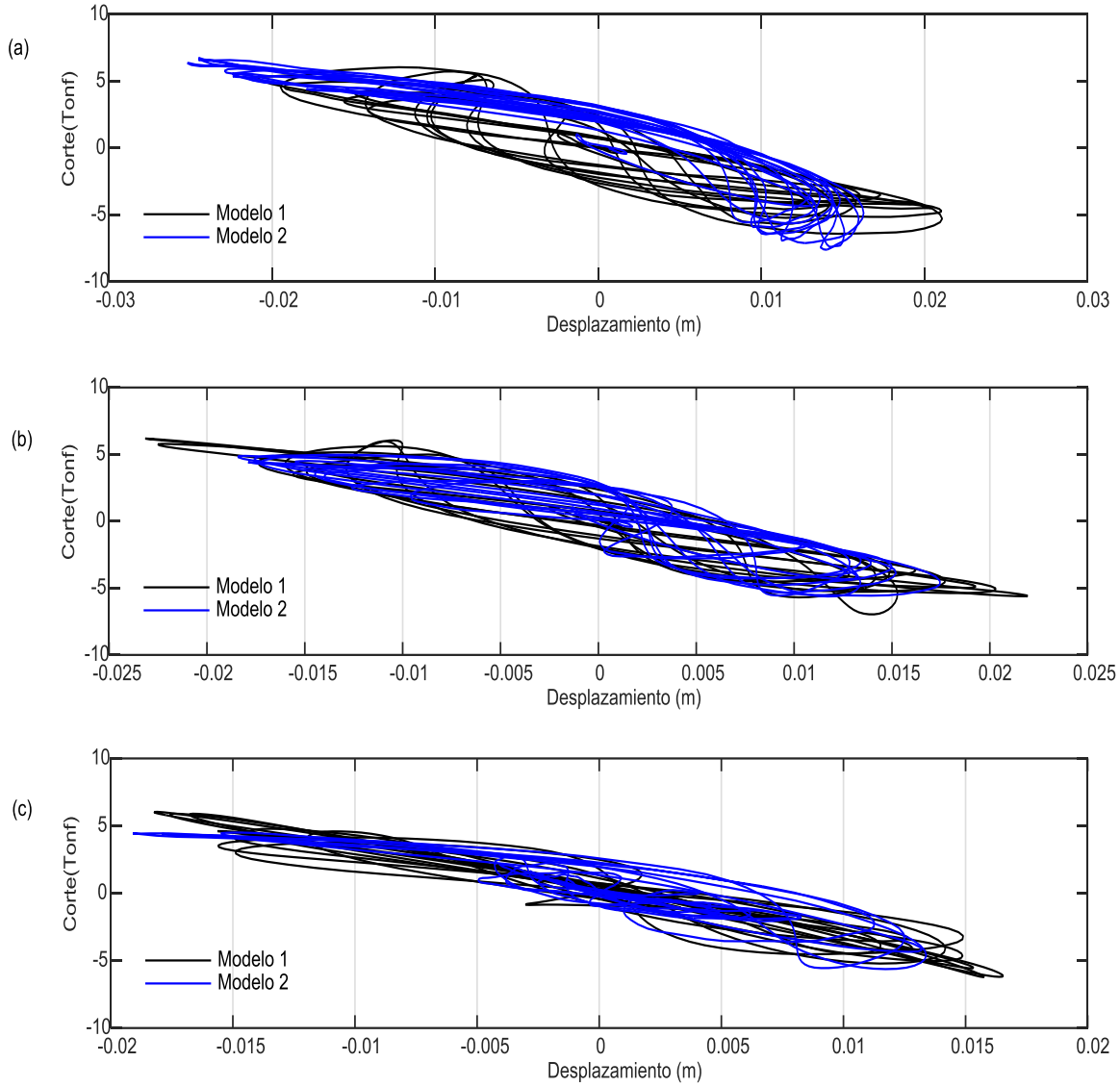
La Histéresis es el fenómeno por medio del cual dos, o más, propiedades físicas se relacionan de una manera que depende de la historia de su comportamiento previo según la NEC. En los gráficos se observa la histéresis de los puntos de control.

FIGURA 5-7: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **25 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



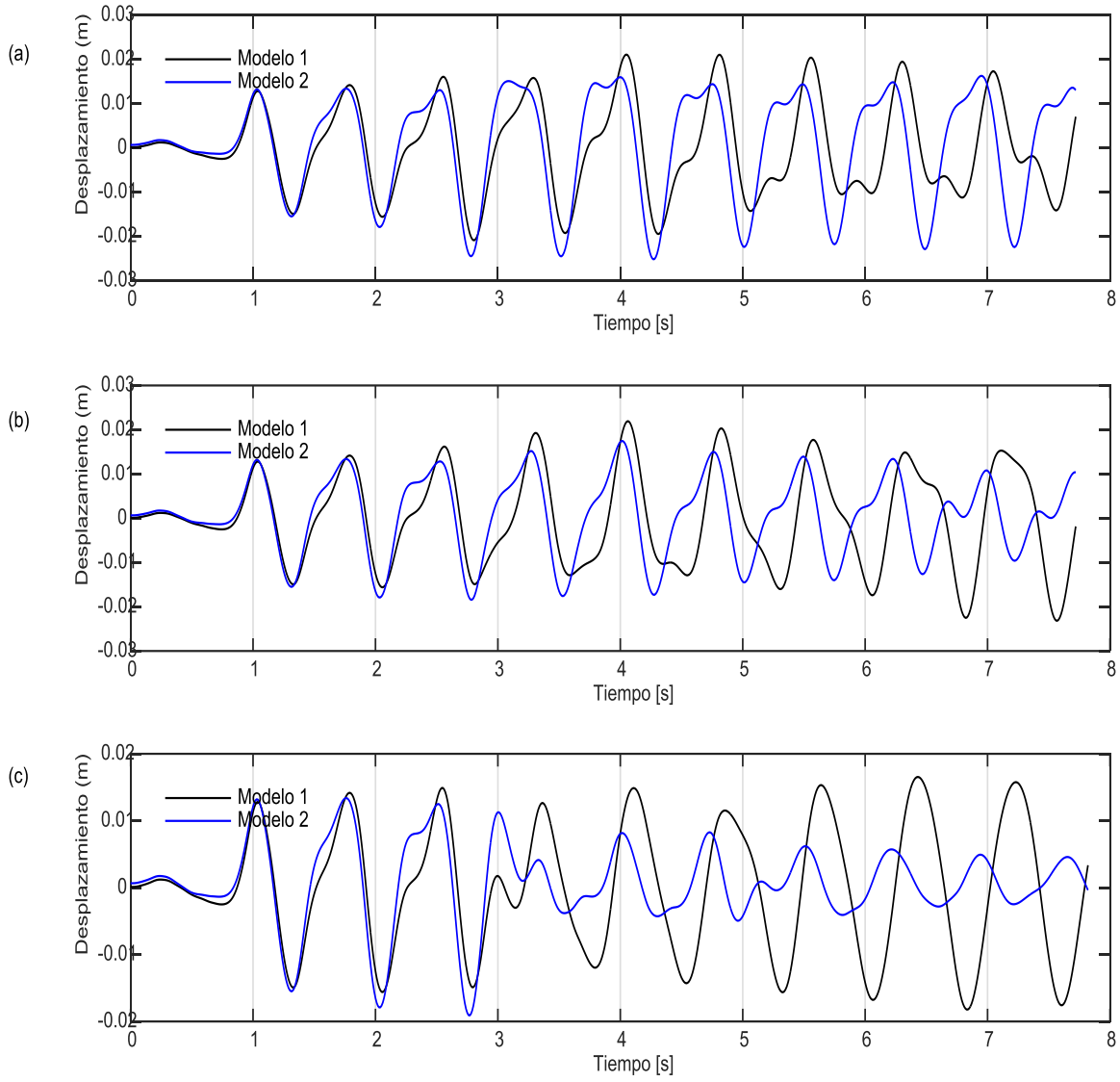
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-8: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **35 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



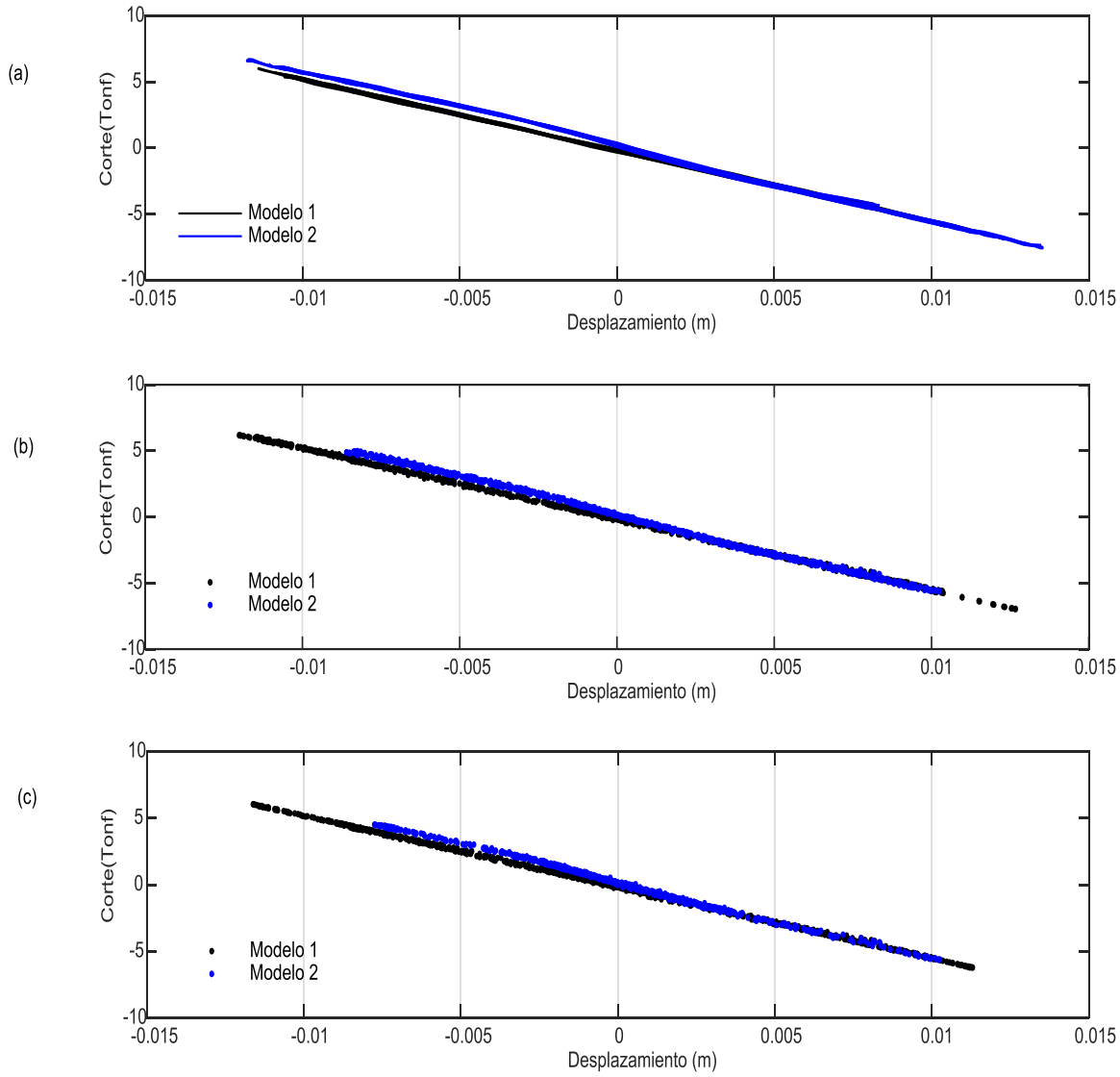
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-9: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **35 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



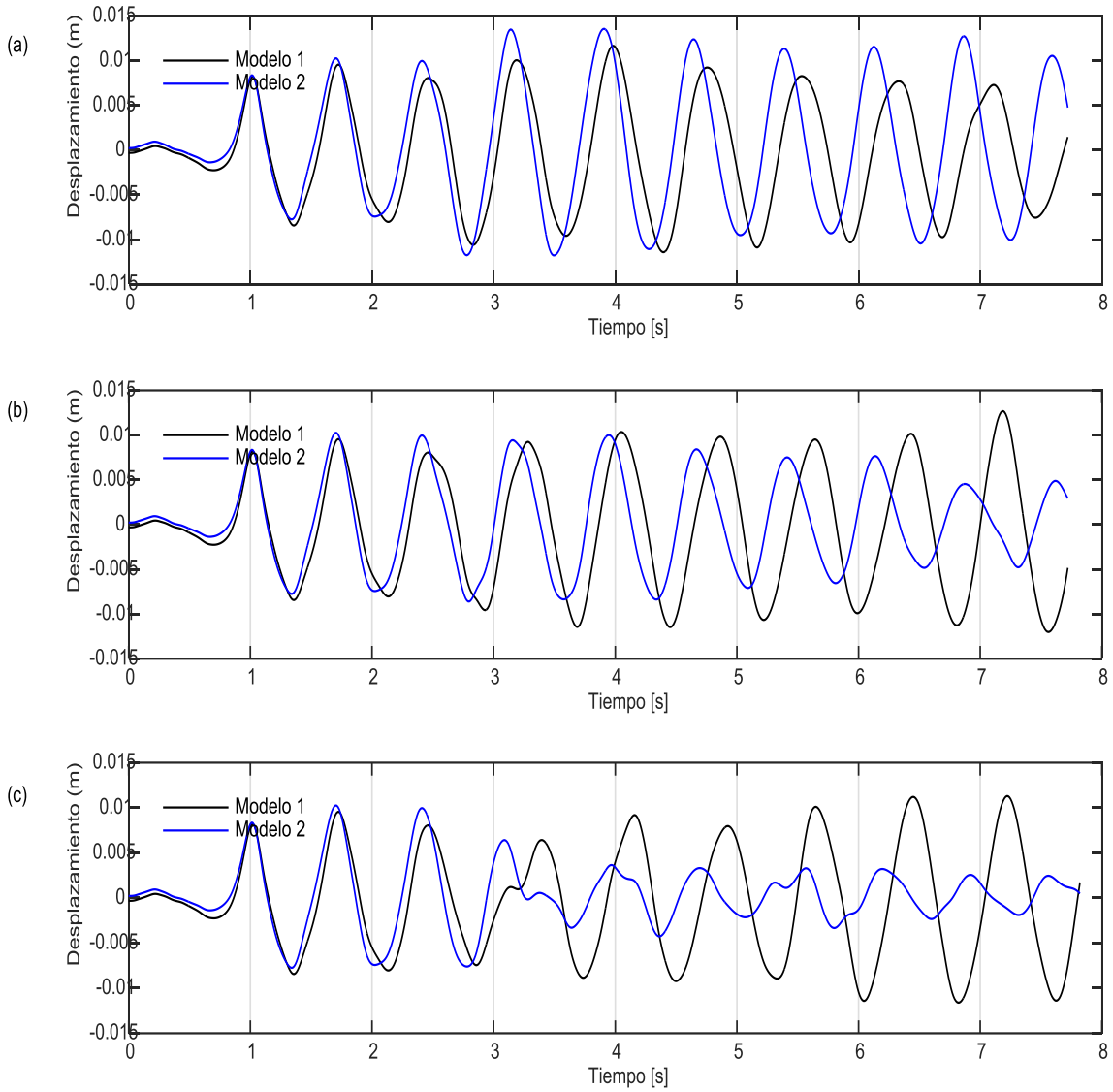
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-10: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **35 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



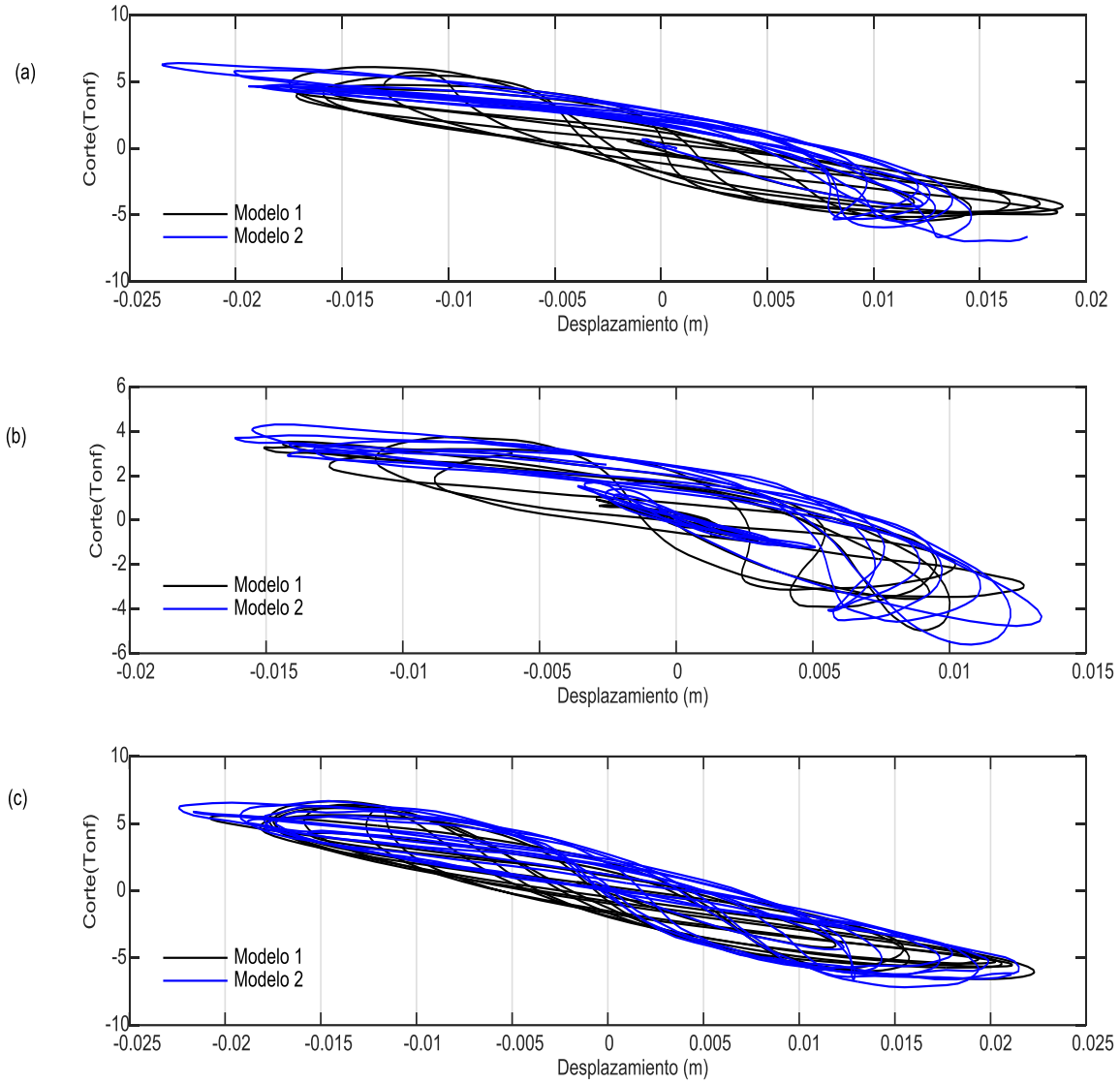
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-11: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **35 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



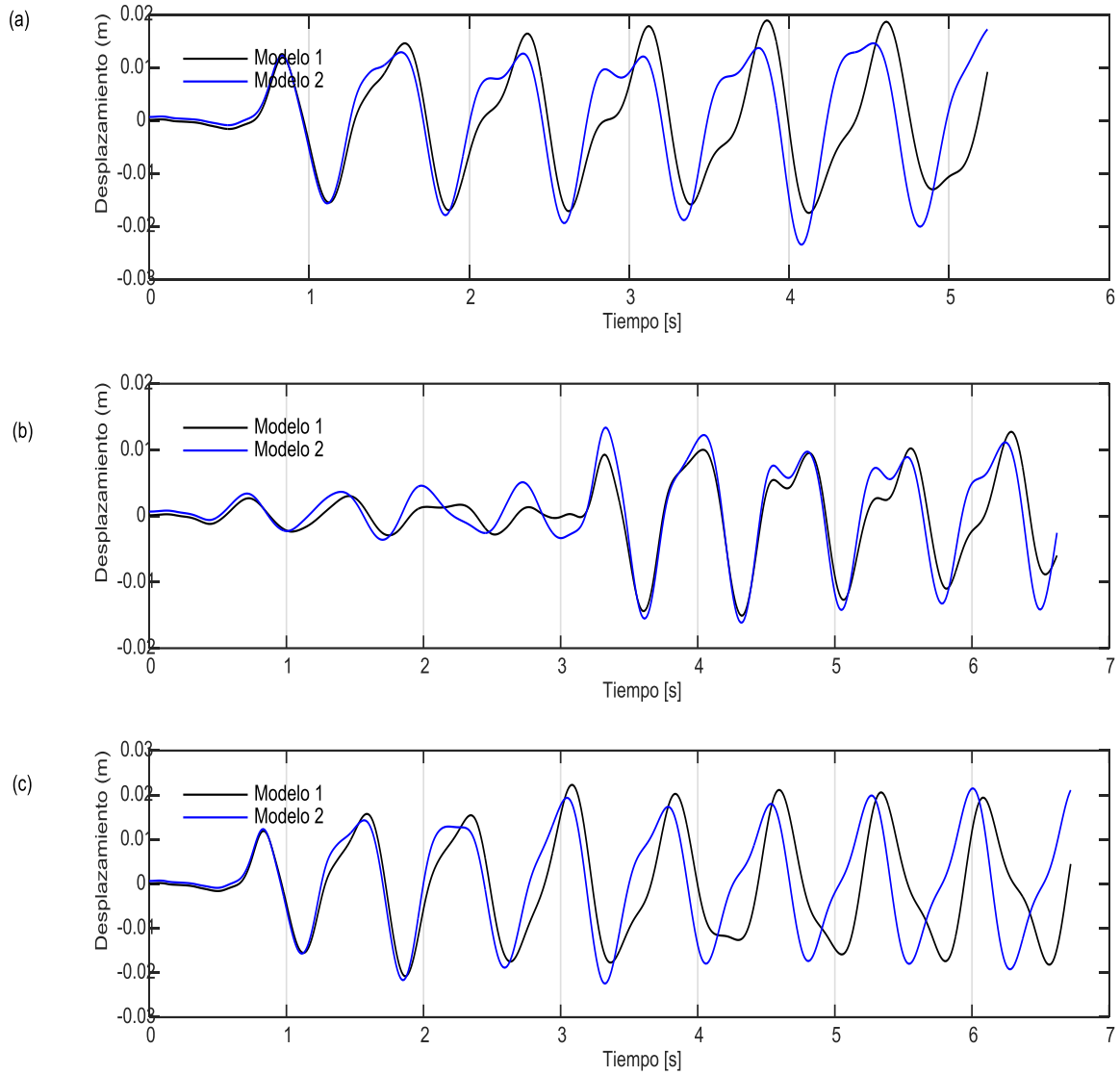
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-12: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **50 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



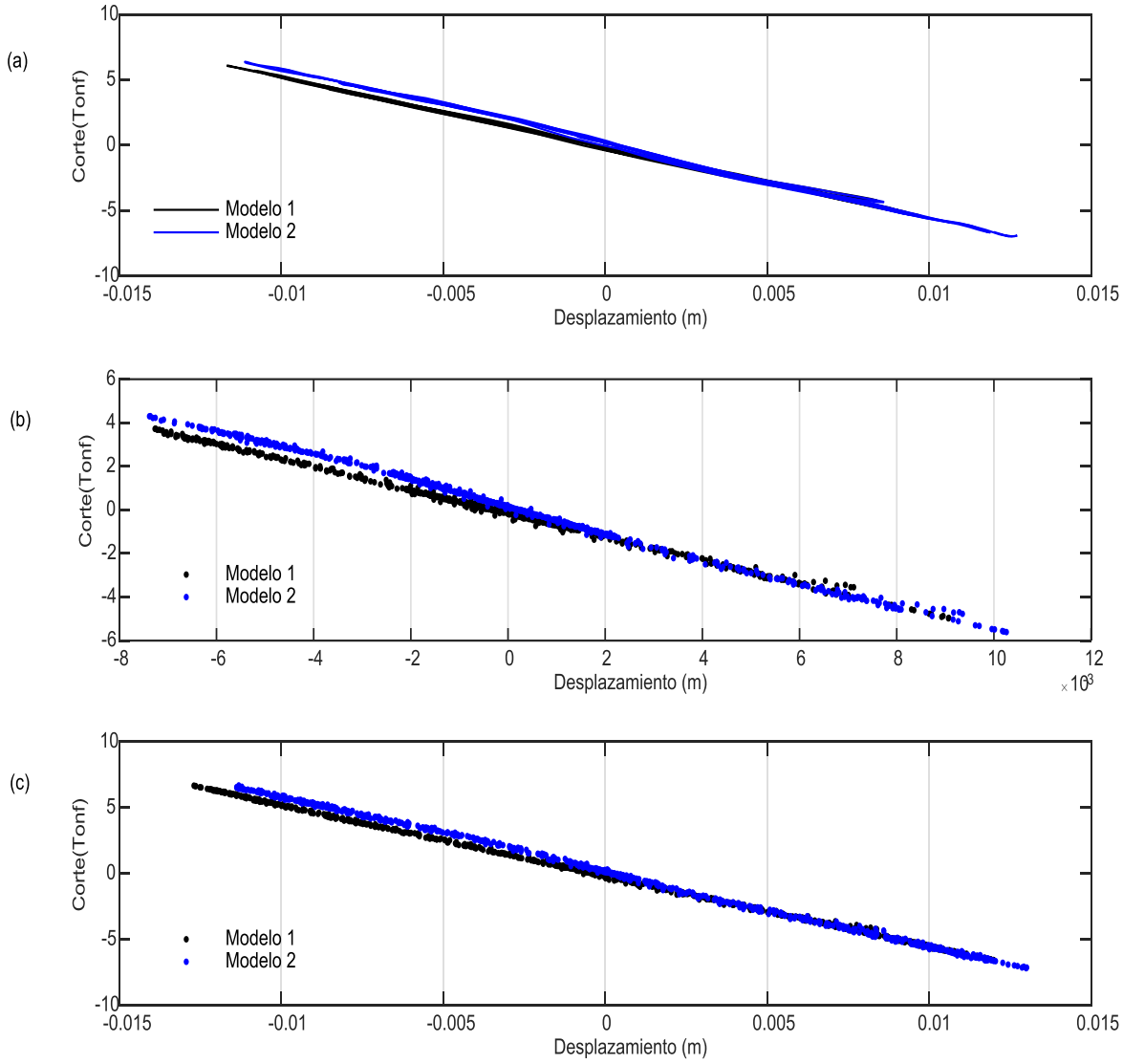
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-13: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **50 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

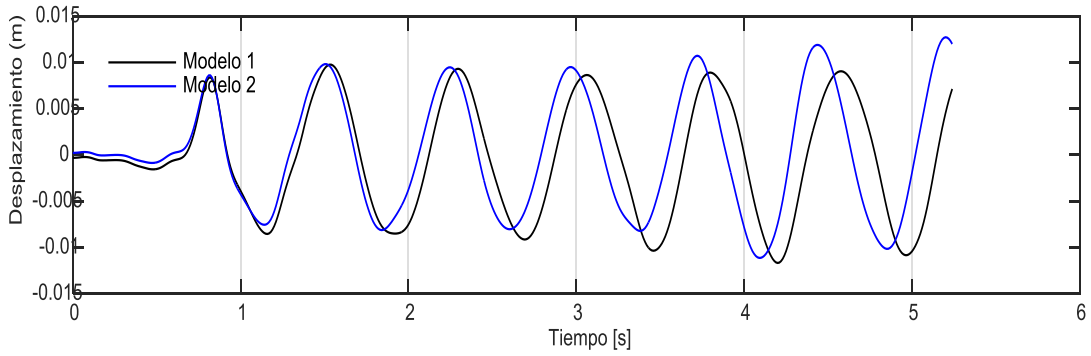
FIGURA 5-14: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **50 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



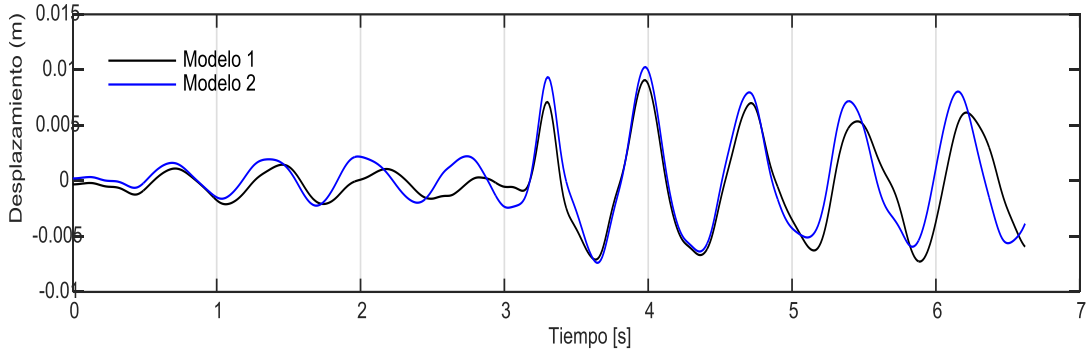
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-15: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **50 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo

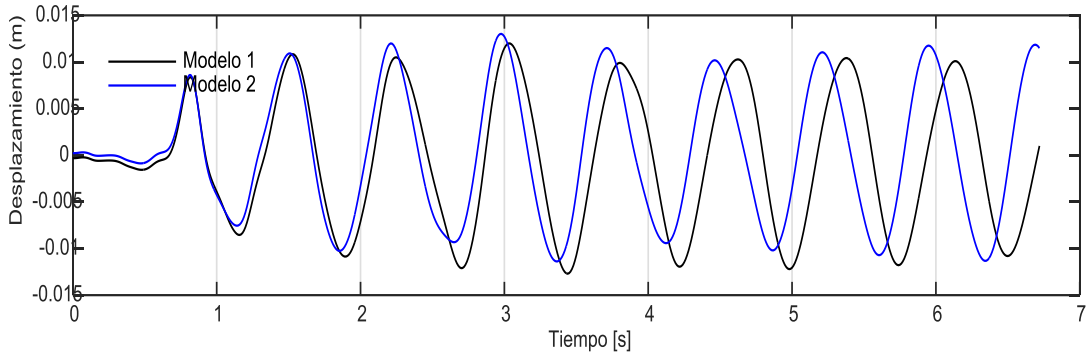
(a)



(b)

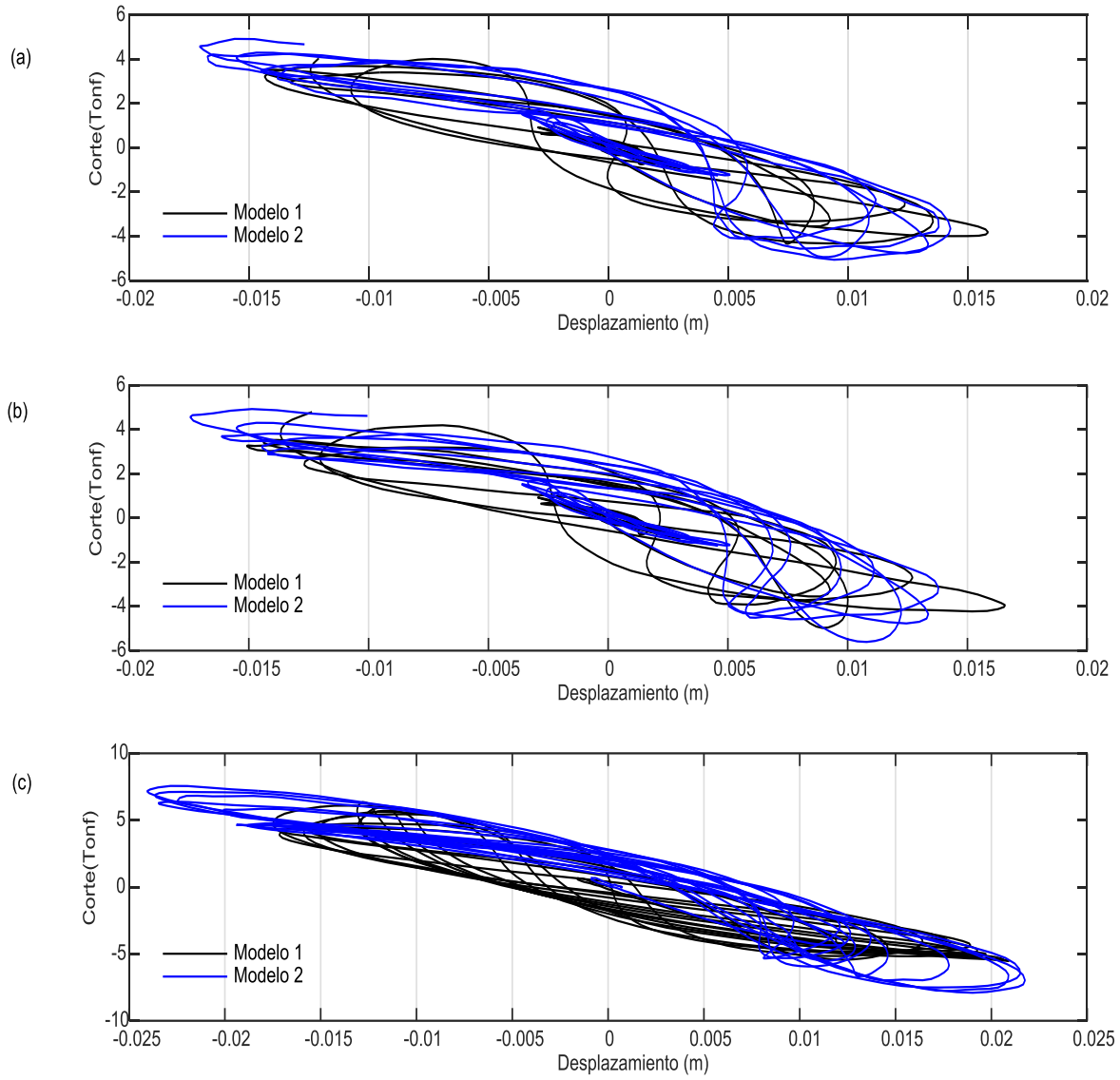


(c)



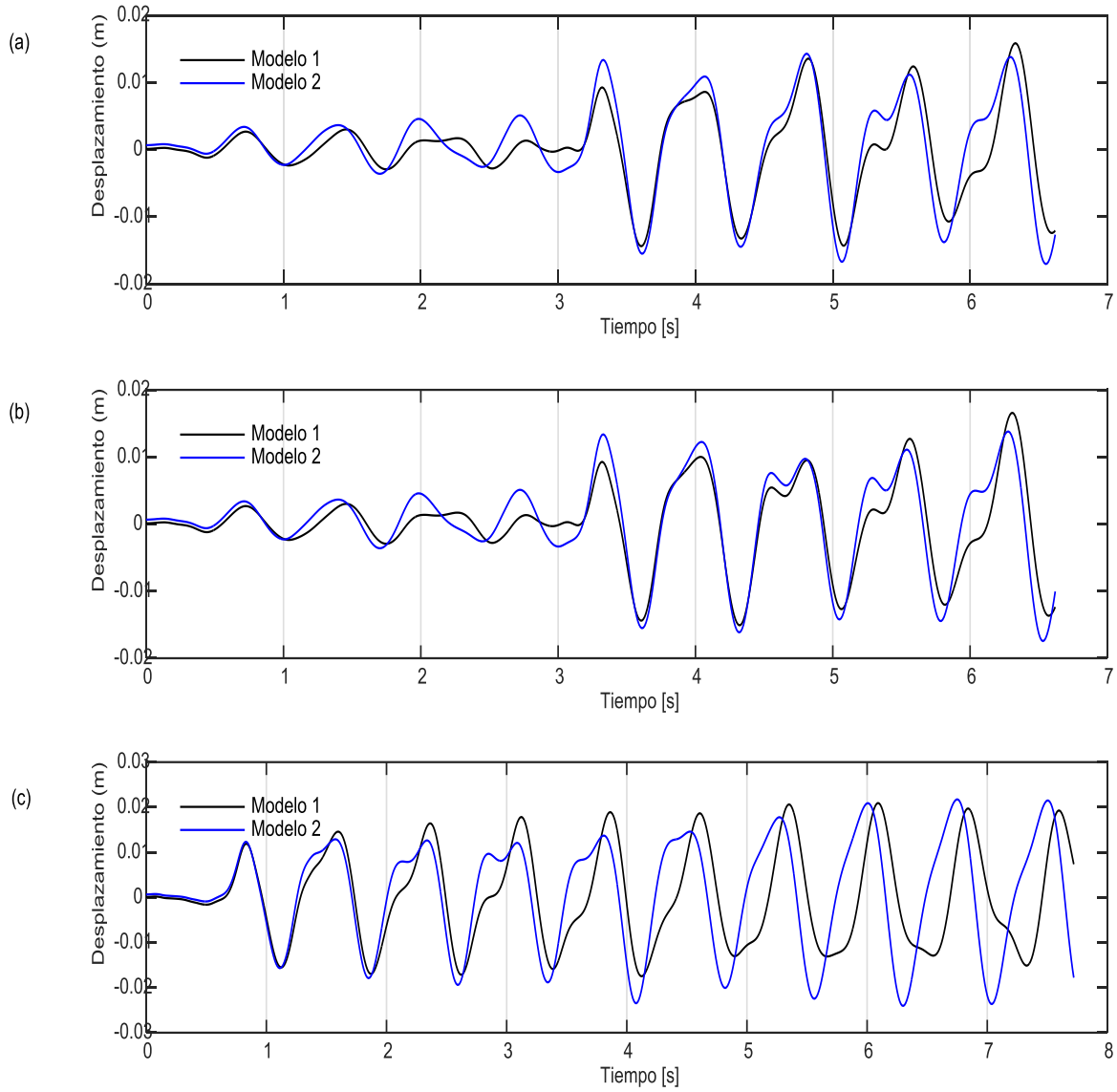
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-16: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con periodo de **75 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



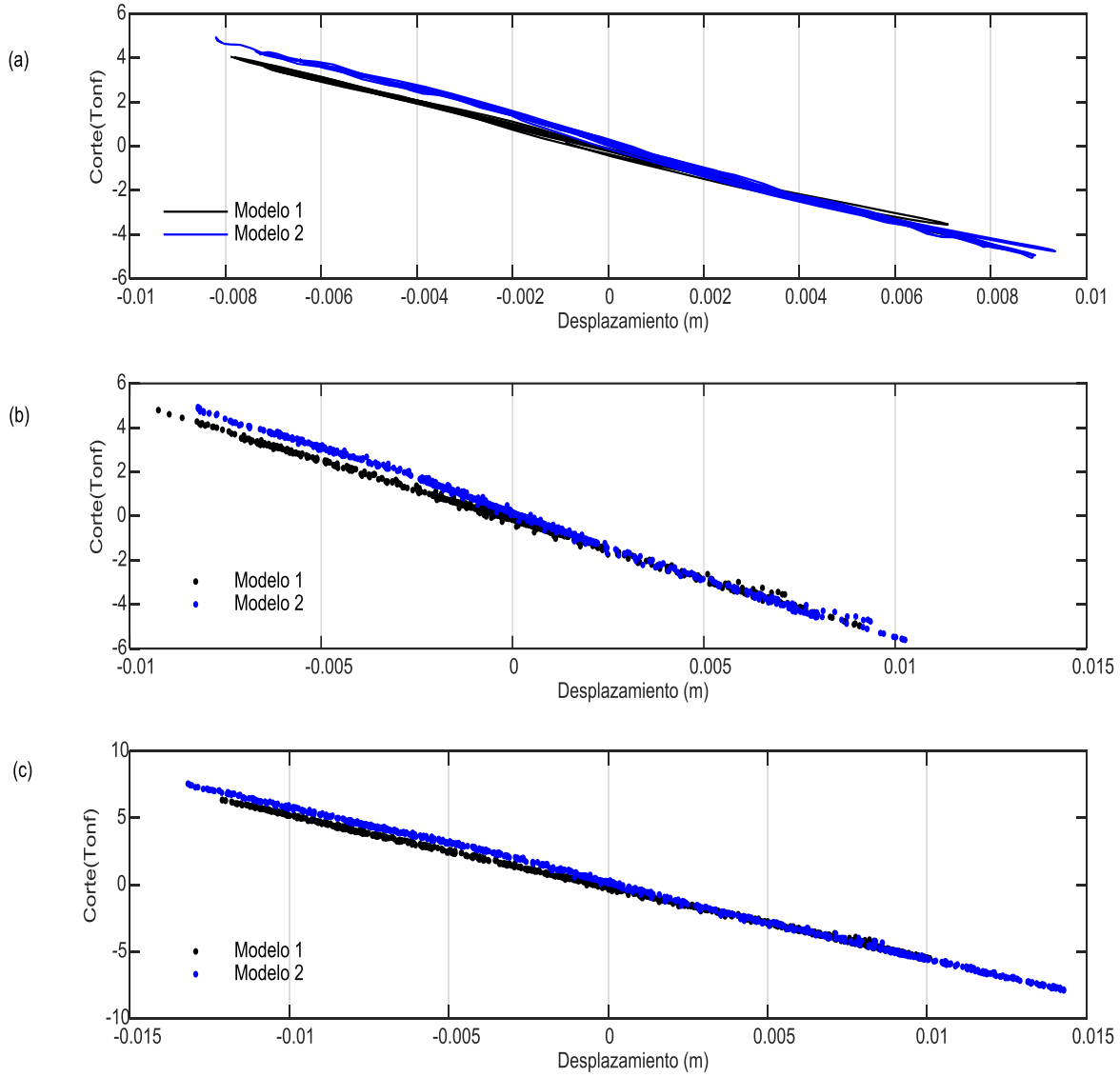
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-17: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con periodo de **75 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



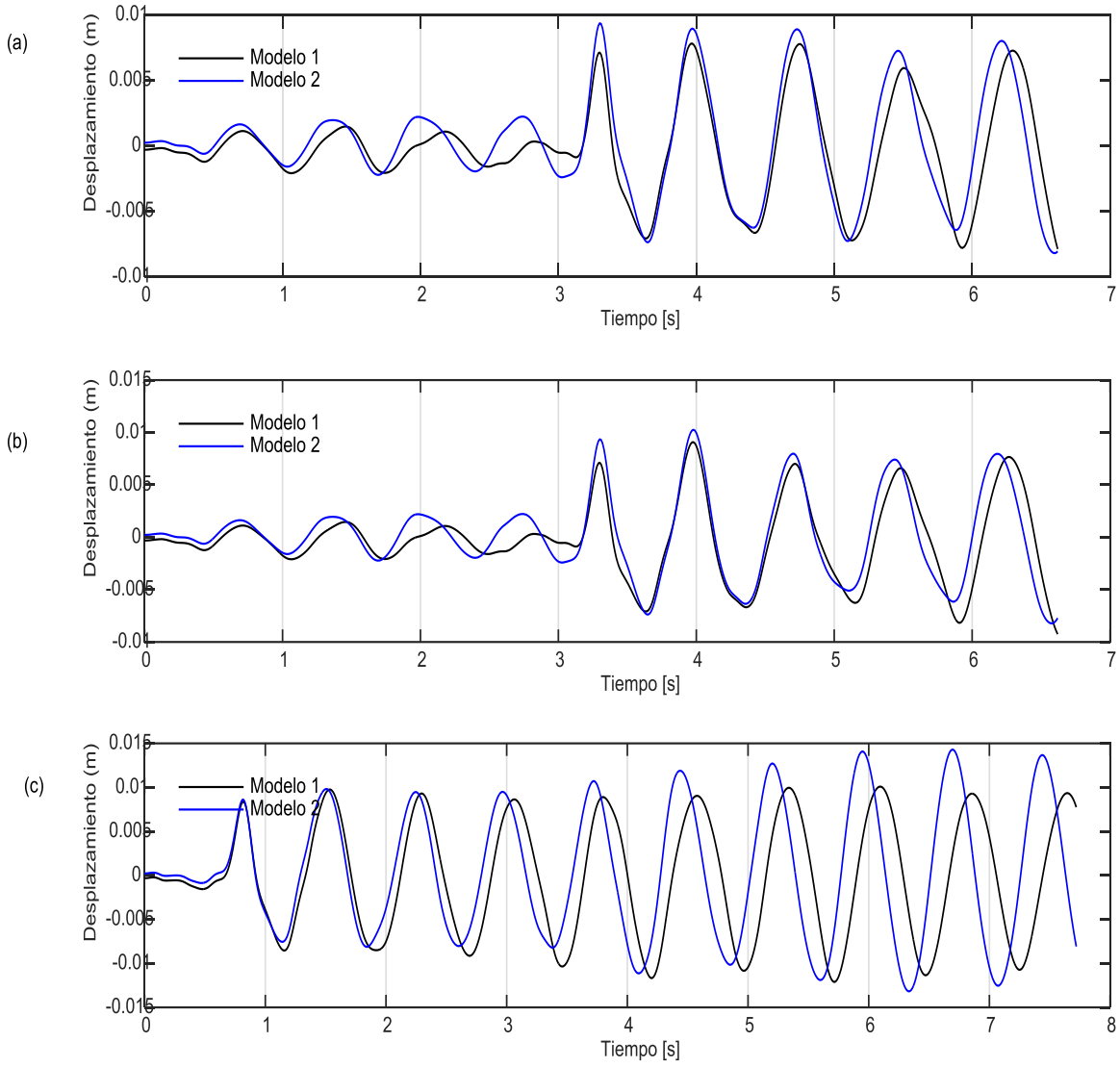
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-18: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con periodo de **75 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



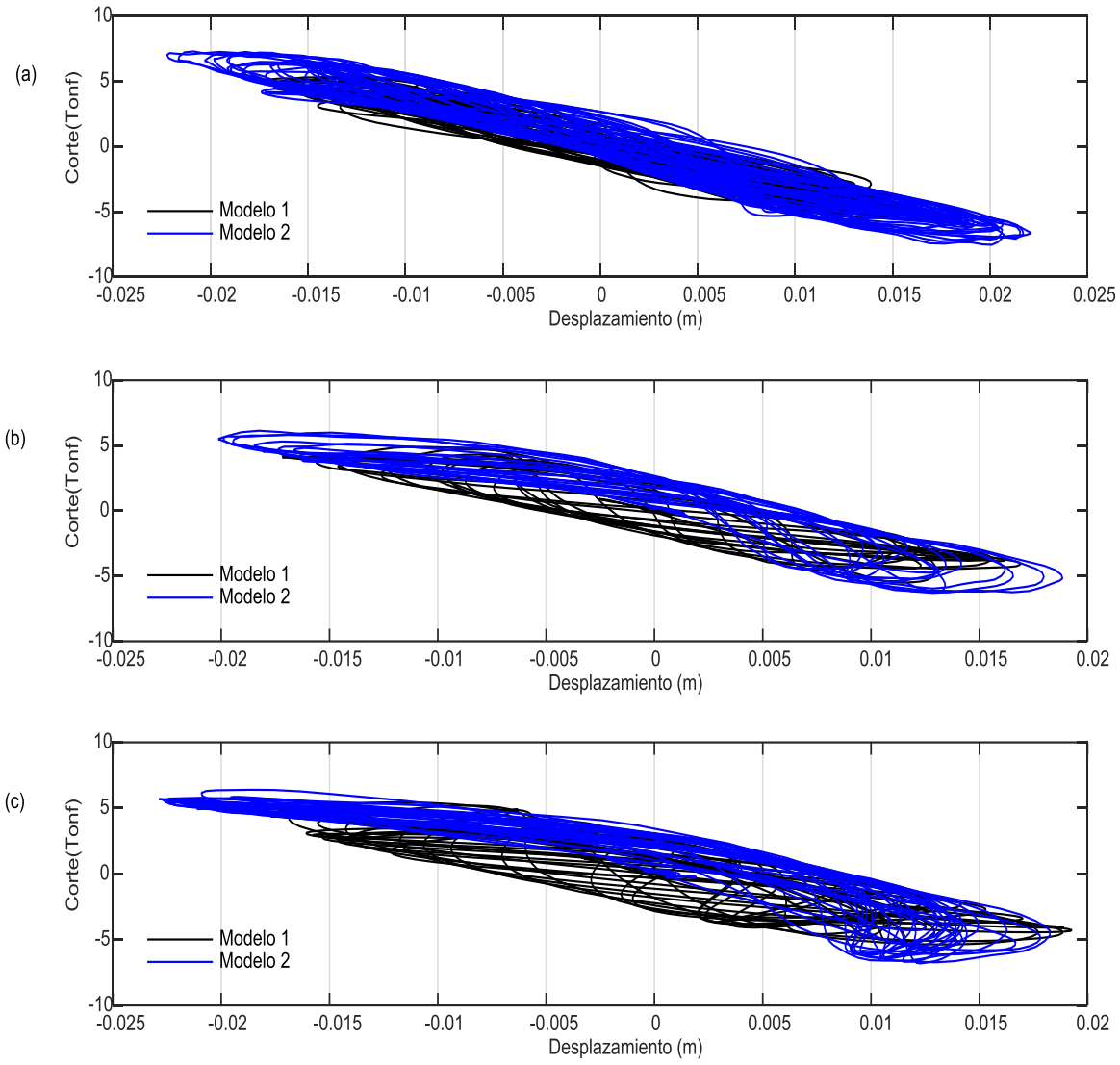
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-19: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con periodo de **75 AÑOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



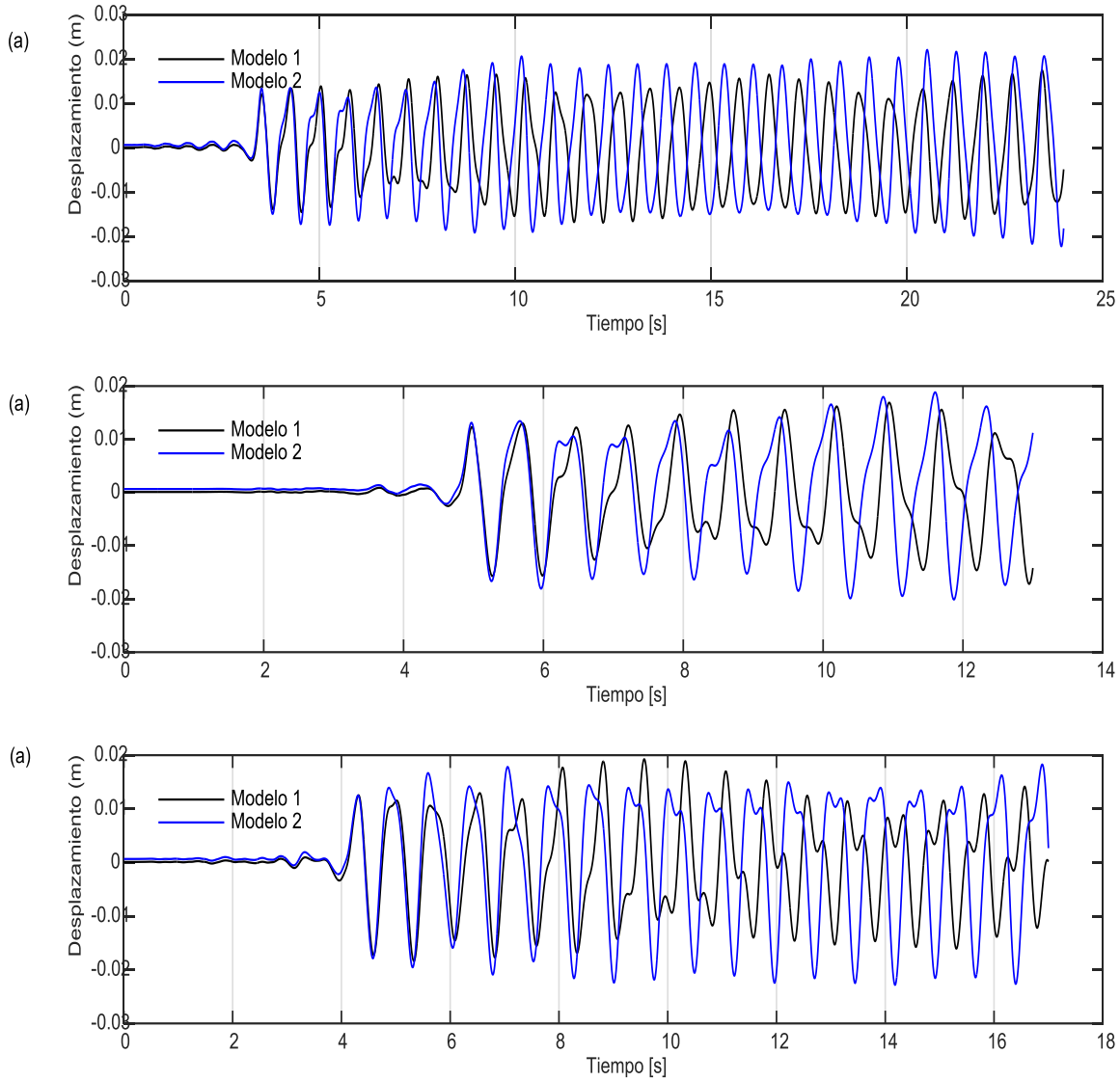
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-20: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 70** con sismos **ORIGINALES**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



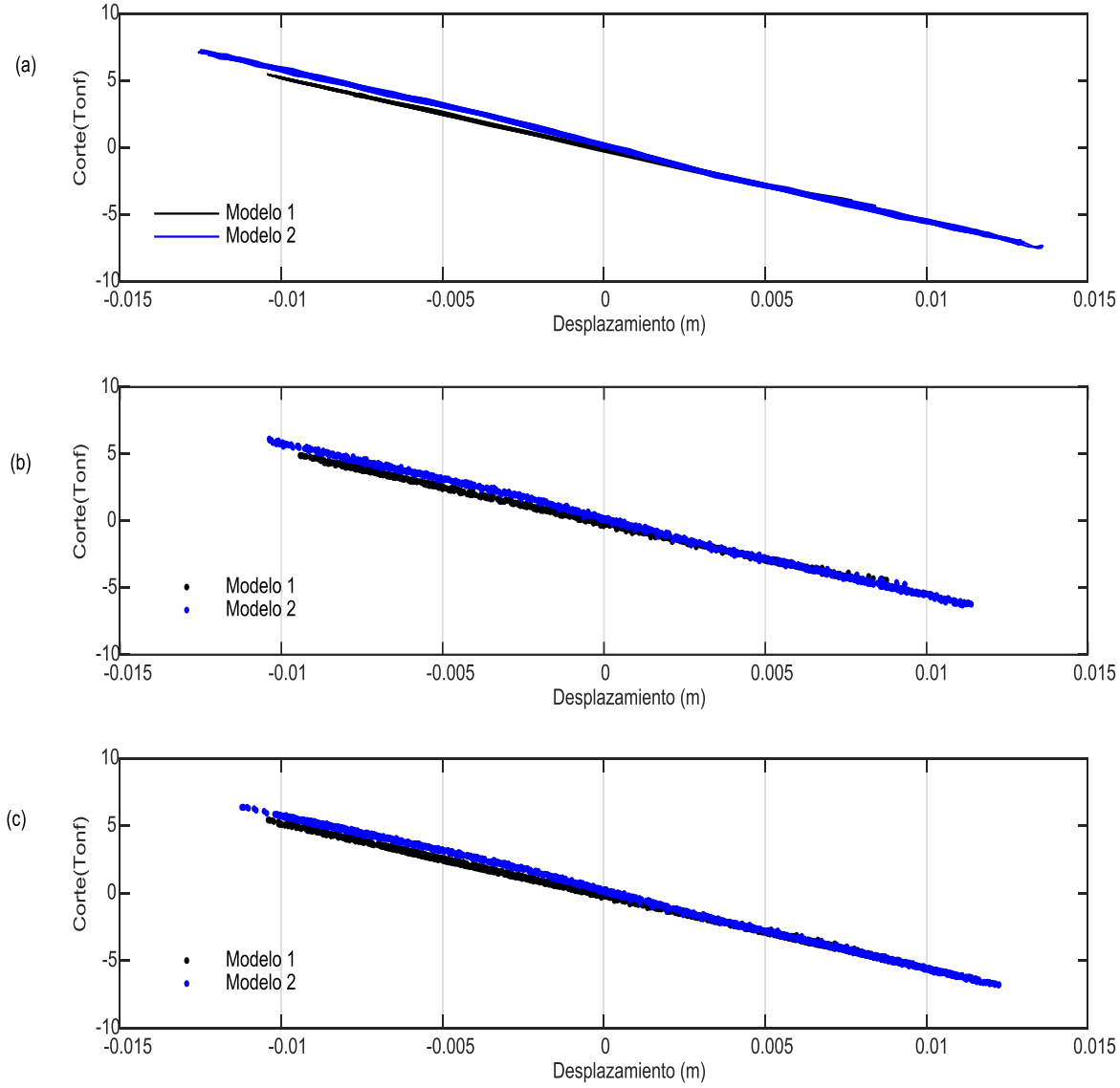
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-21: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con sismos **ORIGINALES**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



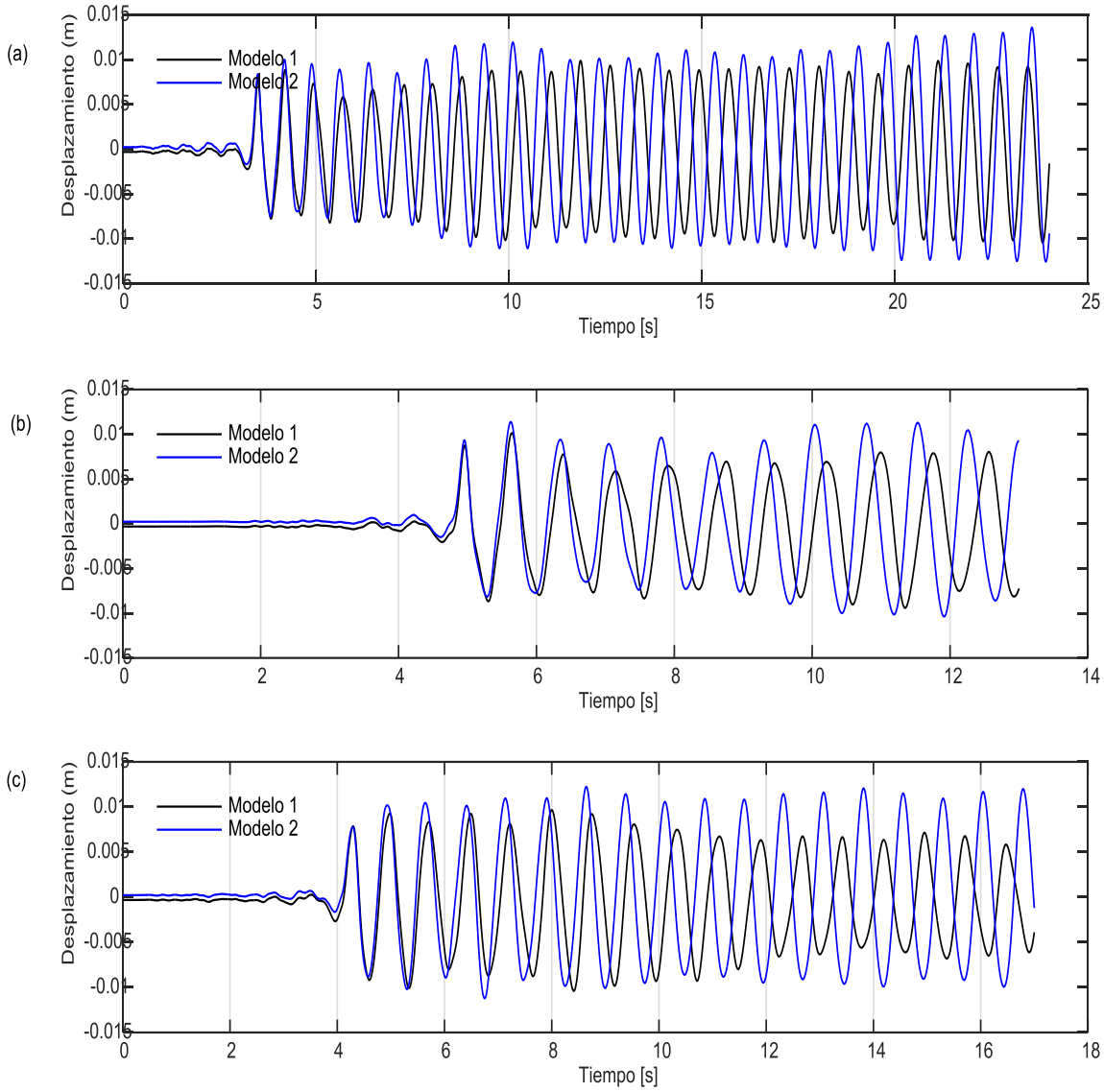
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-22: Desplazamiento VS Corte Basal en **NUDO 84** con sismos **ORIGINALES**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-23: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con sismos **ORIGINALES**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

Se observa que los dos macromodelos tienen un comportamiento similar ante cada excitación sísmica ingresada. Además, ningún macromodelo alcanzo la máxima capacidad estructural con las diferentes excitaciones sísmicas ingresadas.

5.4 Gráficas con sismo Escalado.

Para realizar una última verificación se escaló linealmente los tres registros de 25 AÑOS para lograr una aceleración máxima similar a la esperada en un periodo de retorno de 475 años según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Para lograr la amplificación se multiplico a cada registro por 3, logrando las siguientes aceleraciones máximas mostradas en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Amplificación lineal del PGA para sismos de 25 años.

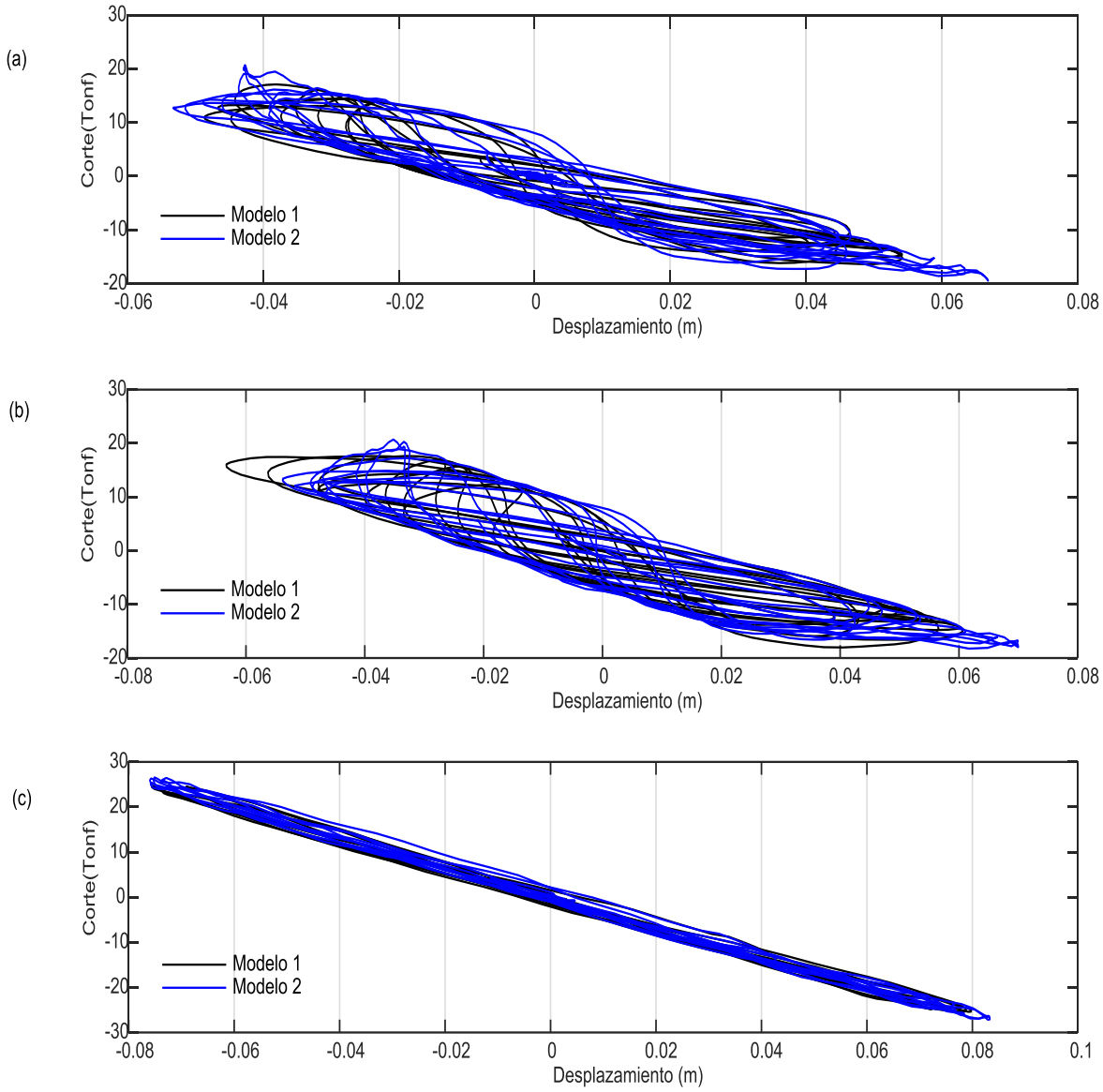
REGISTRO SISMICO	PGA	FACTOR AMPLIFICACION	PGA AMPLIFICADO
1er 25 años	0.135 G	3	0.4 G
2do 25 años	0.135 G	3	0.4 G
3er 25 años	0.068 G	3	0.2 G
Esperado de 475 años	**0.4 G**		**0.4 G**

Elaboración: Jhordy Vargas

Con esta amplificación lineal se logra obtener una aceleración pico similar a la máxima esperada en un periodo de 475 años según la NEC.

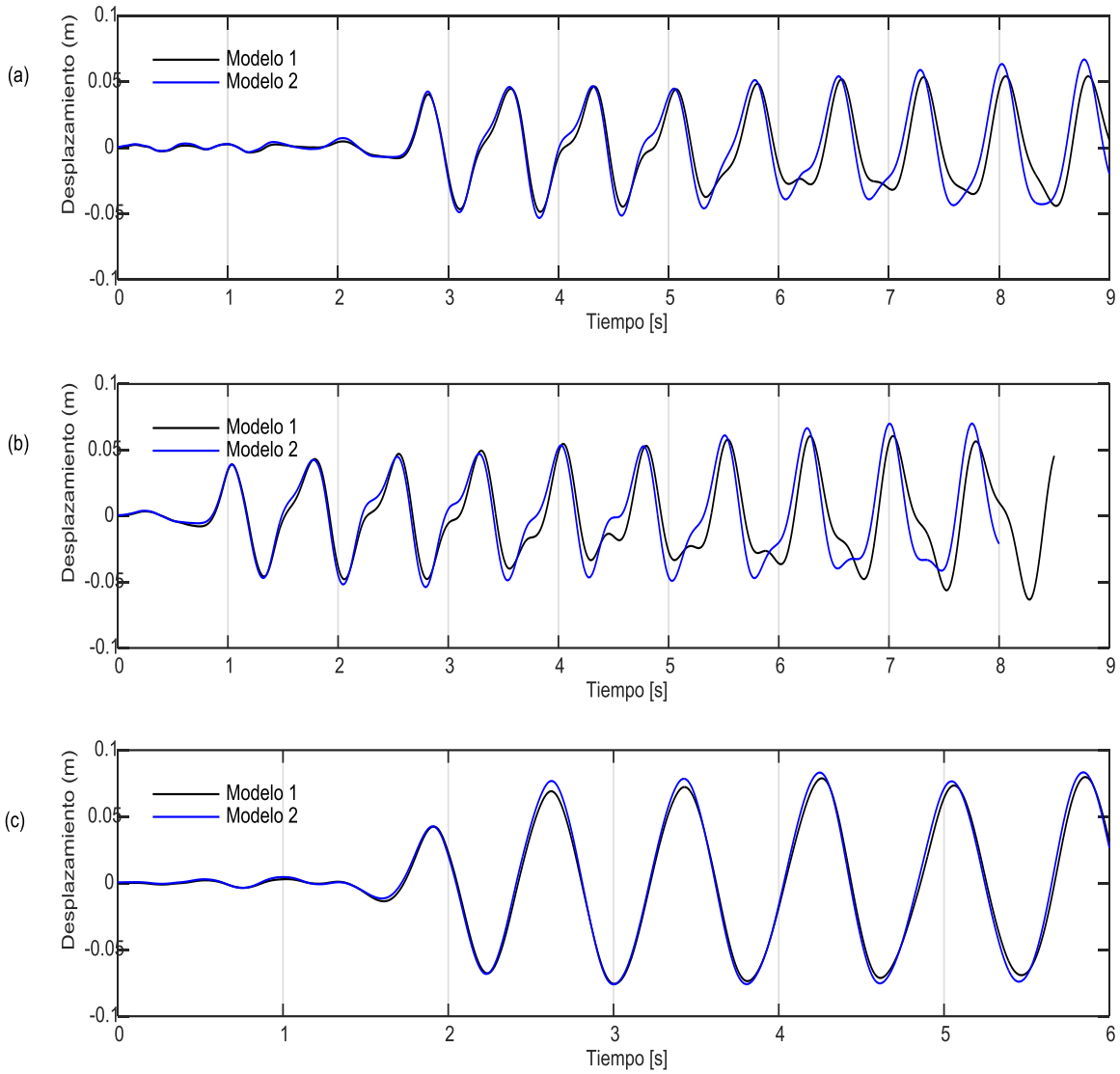
Estos registros escalados a un periodo de 475 años se los ingresa en el SAP y se generan las gráficas de los dos puntos de control. Esto se observa en las figuras siguientes:

FIGURA 5-24: Desplazamiento VS Corte basal en **NUDO 70** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



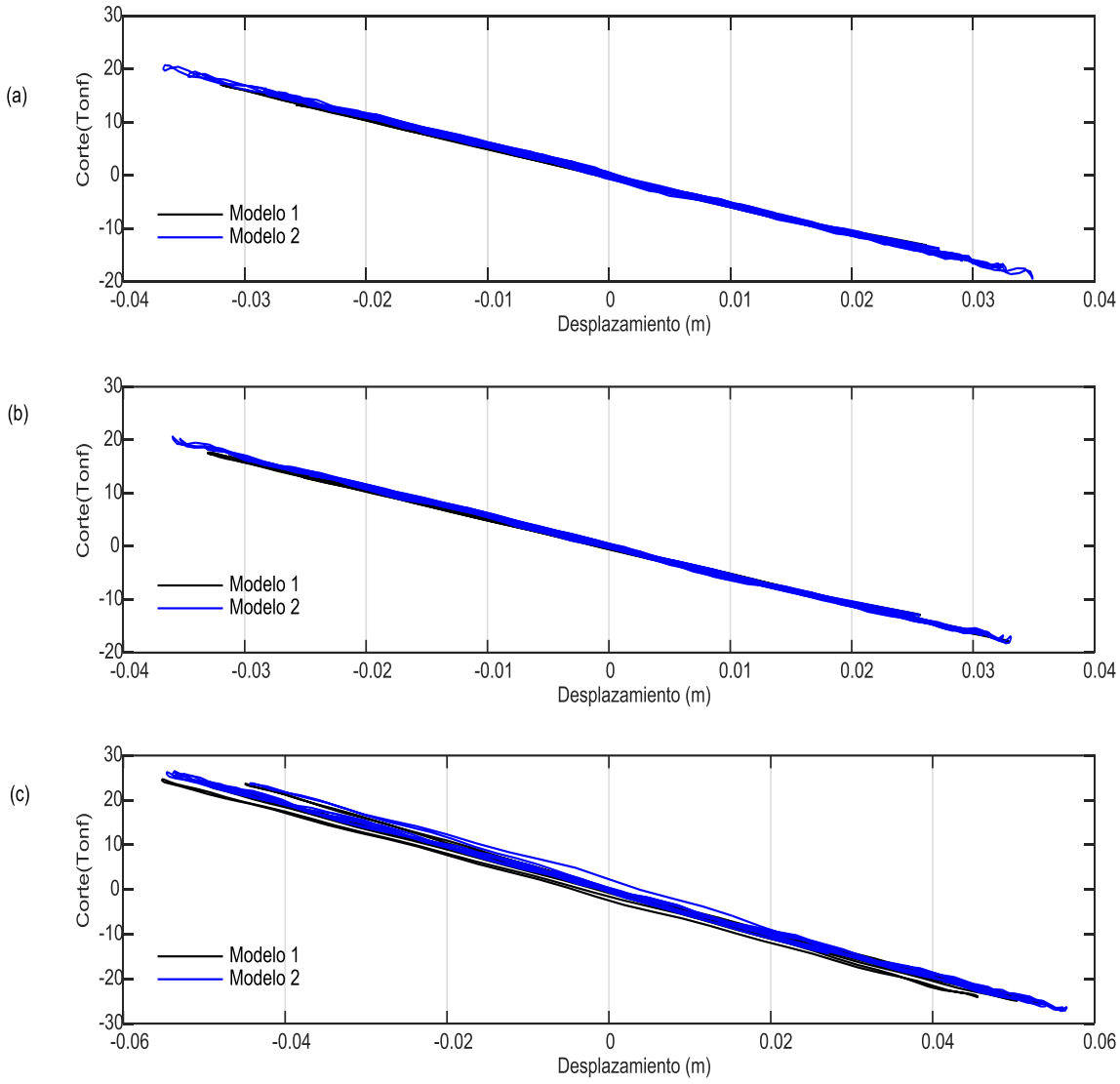
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-25: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 70** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



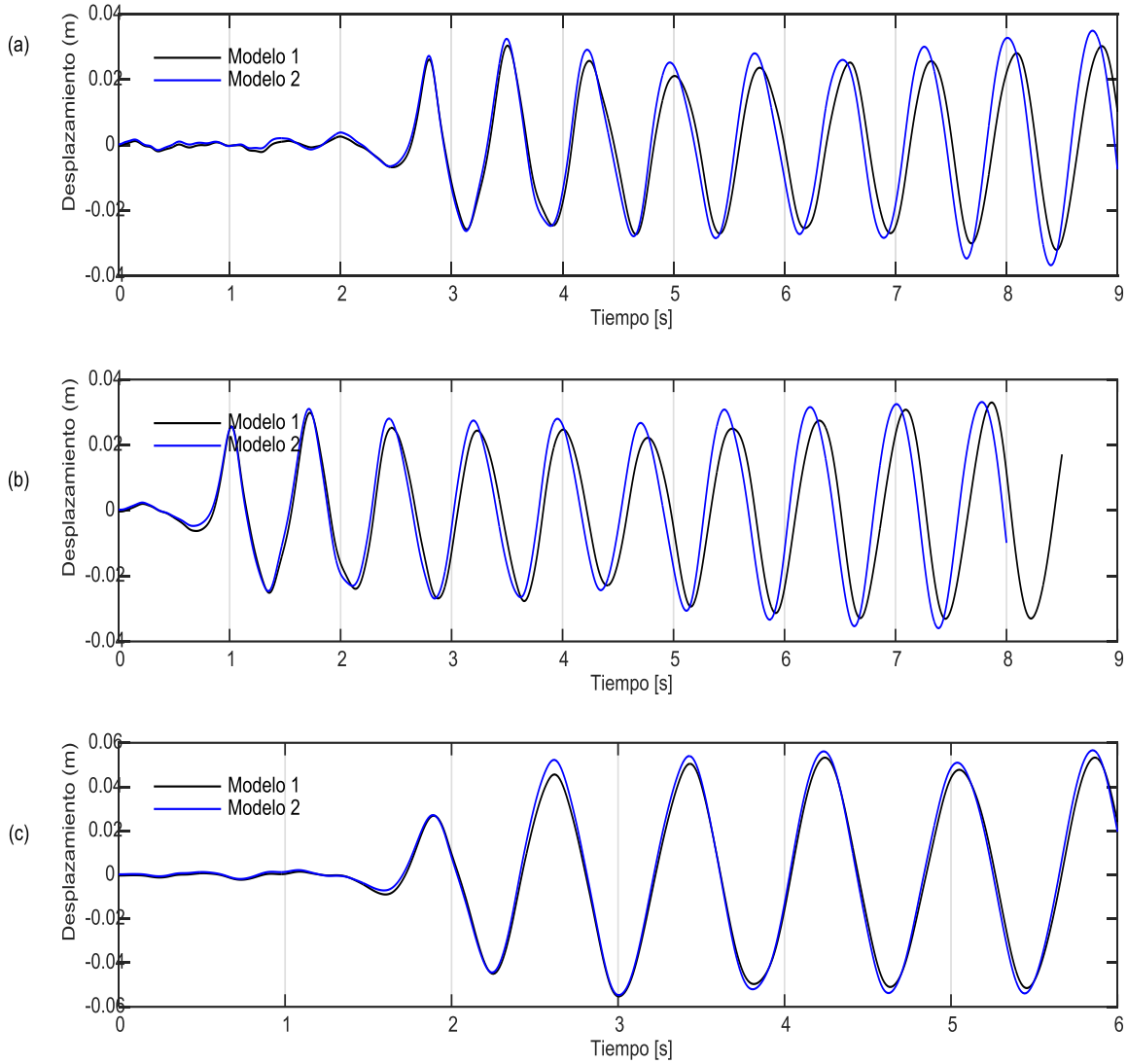
Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-26: Desplazamiento VS Corte basal en **NUDO 84** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



Elaboración: Jhordy Vargas

FIGURA 5-27: Tiempo VS Desplazamiento en **NUDO 84** con sismos **ESCALADOS**; a) 1er Sismo b) 2do Sismo c)3er Sismo



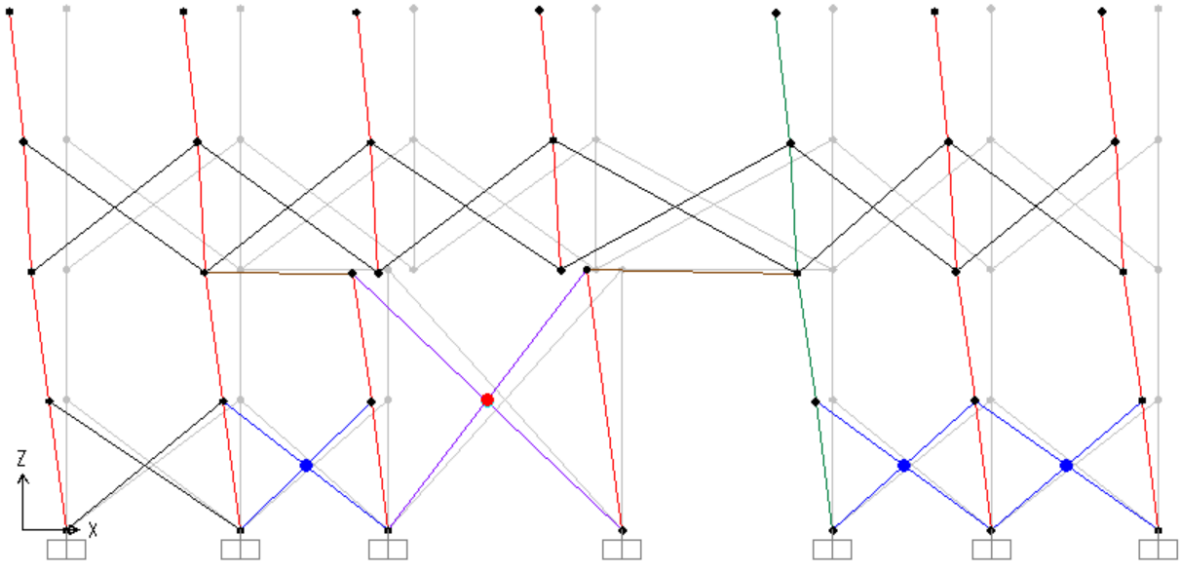
Elaboración: Jhordy Vargas

Se verificó en SAP 2000 que el modelo llega a su máxima capacidad estructural frente al 3er sismo escalado como se muestra en la

FIGURA 5-28.

Con los otros dos sismos escalados el modelo no llego a su máxima capacidad estructural.

FIGURA 5-28: Falla del modelo ante 3er sismo ESCALADO.



Elaboración: Jhordy Vargas

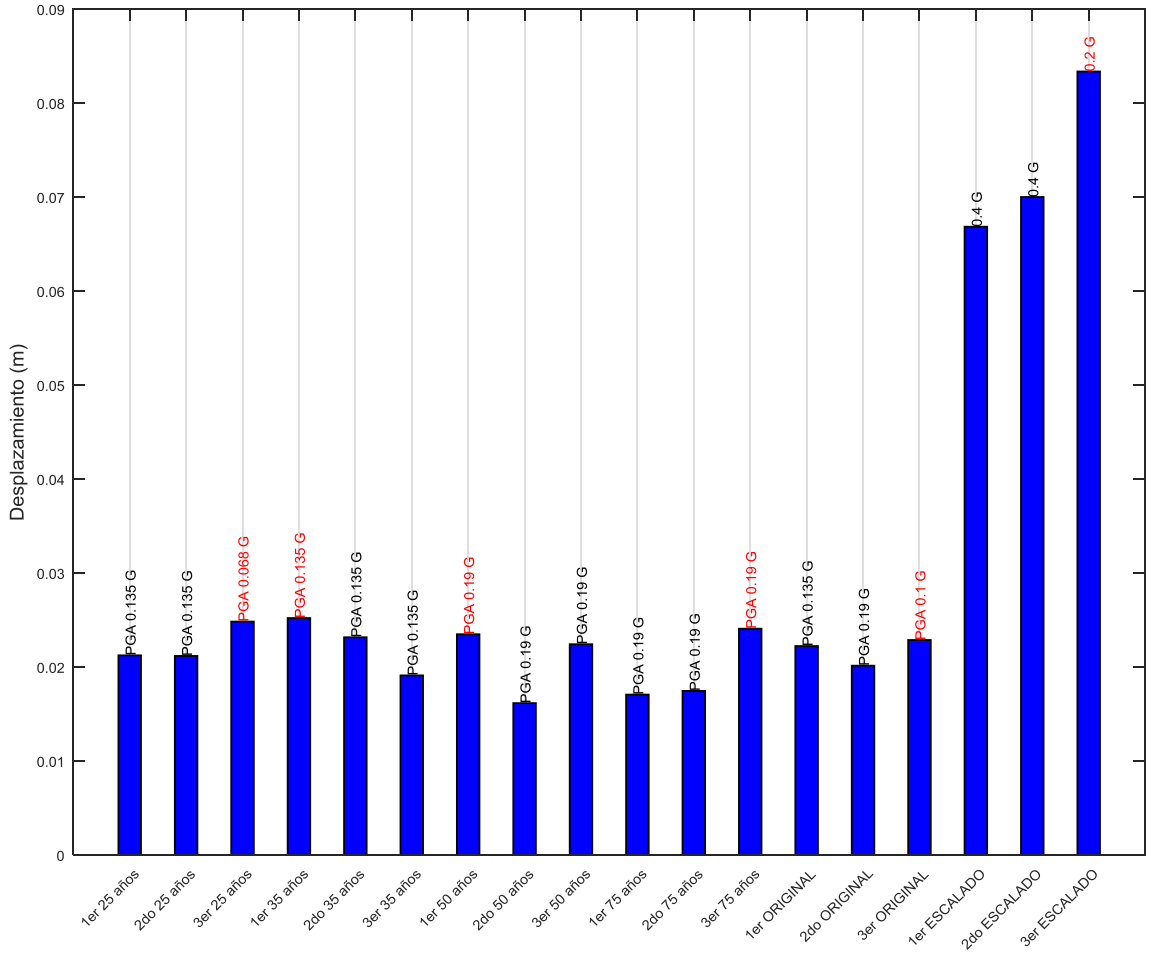
Los dos modelos fallan ante el 3er Sismo Escalado, porque se generaron rótulas plásticas en los sectores de mampostería más críticos. Y la falla local se produjo en el sector del puntal grande, donde se observa la rótula de color rojo.

5.5 Gráficas de resumen.

Con los resultados obtenidos se elaboró un resumen de los desplazamientos y cortes máximos por periodo, y se los represento en graficas que se observan a continuación.

Las gráficas de resumen se generaron con la rutina generada en MATLAB y mostrada en el ANEXO 3.

FIGURA 5-29: Máximos **desplazamientos** en el **NUDO 70.**

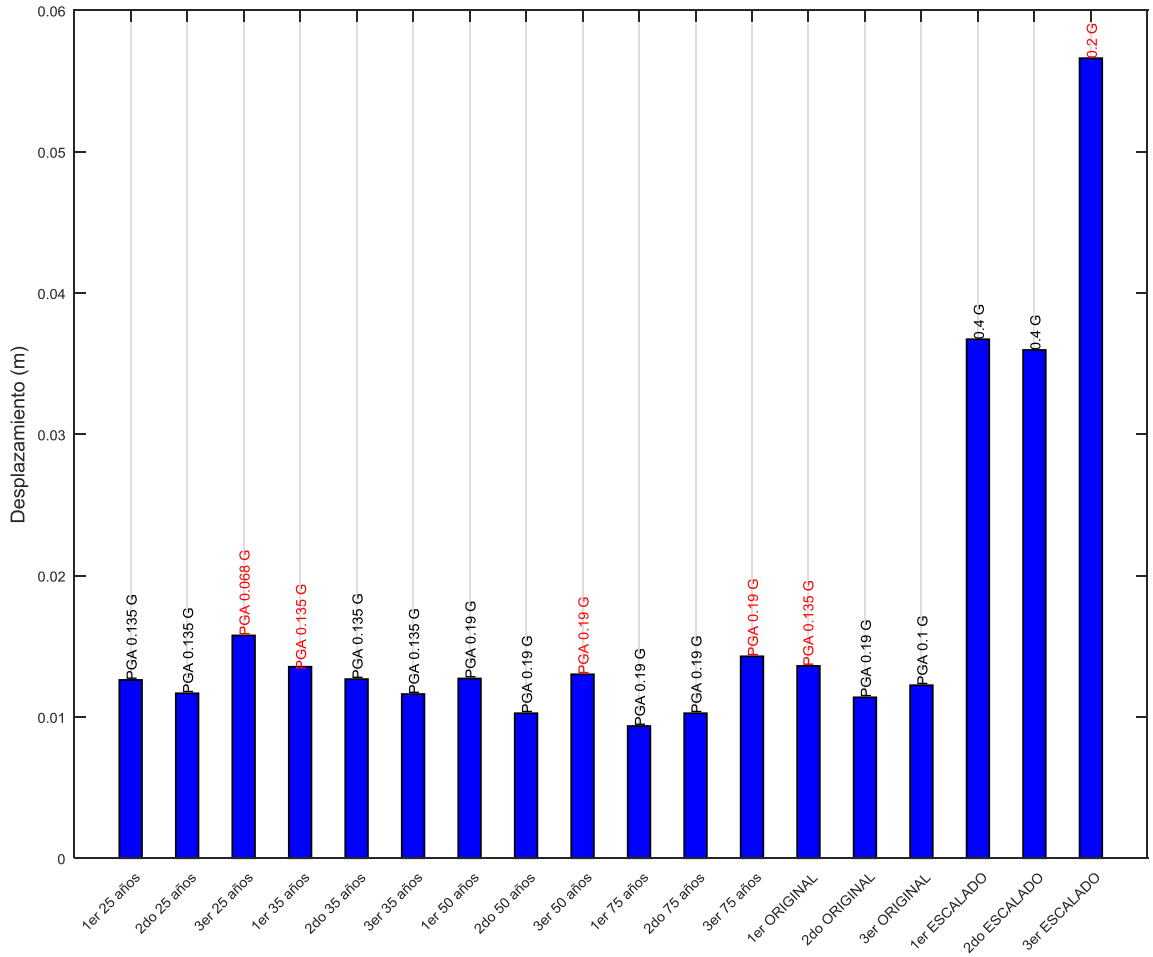


Elaboración: Jhordy Vargas

En la FIGURA 5-29, se observa el máximo desplazamiento alcanzado ante cada sismo, también se observa el PGA de cada sismo en la parte superior de cada barra.

Es importante notar que los máximos desplazamientos por periodo están resaltados mediante el PGA del sismo en color rojo, y se observa que el PGA máximo no siempre causa un mayor desplazamiento.

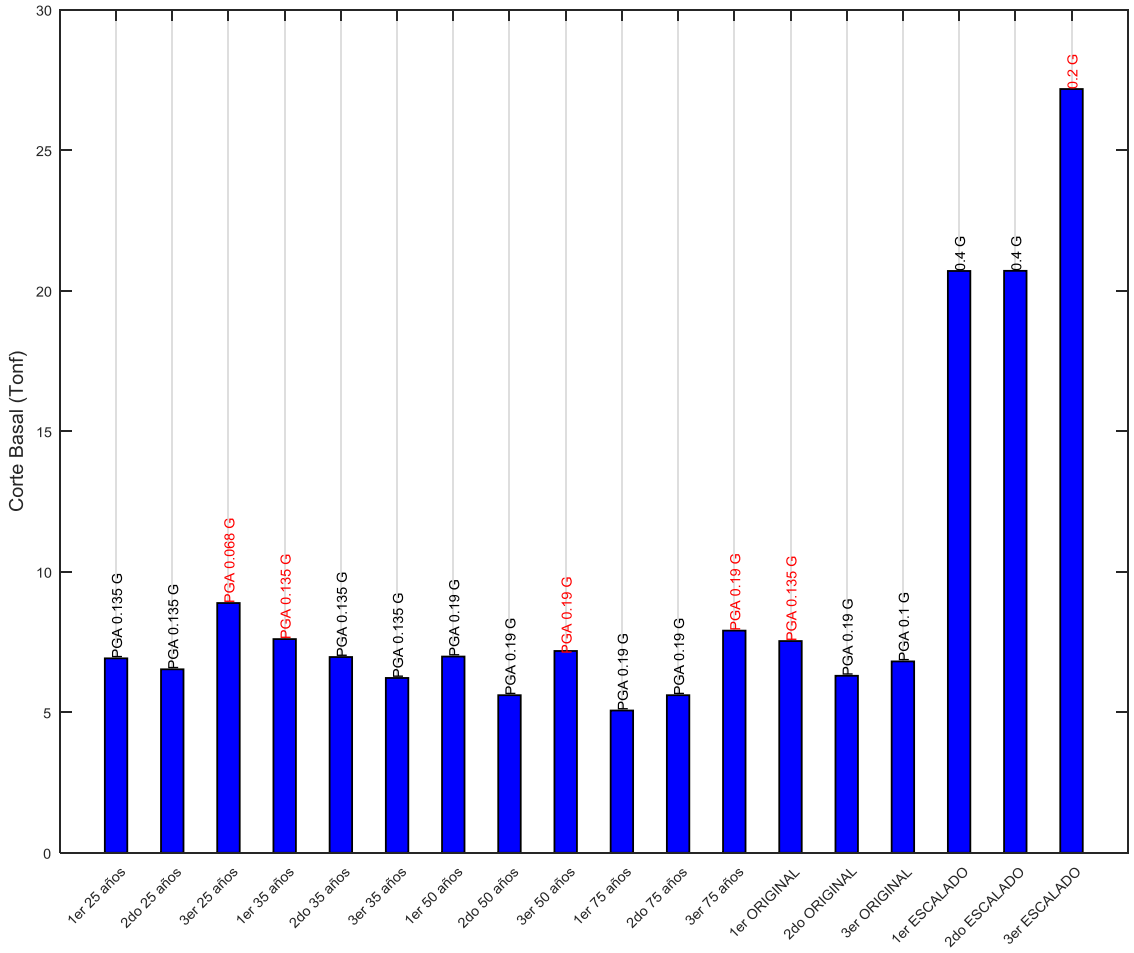
FIGURA 5-30: : Máximos **desplazamientos** en el **NUDO 84**



Elaboración: Jhordy Vargas

Al igual que en el NUDO 70 se realizó el chequeo en el NUDO 84 y se resaltó el PGA del sismo que causó mayor desplazamiento en cada periodo.

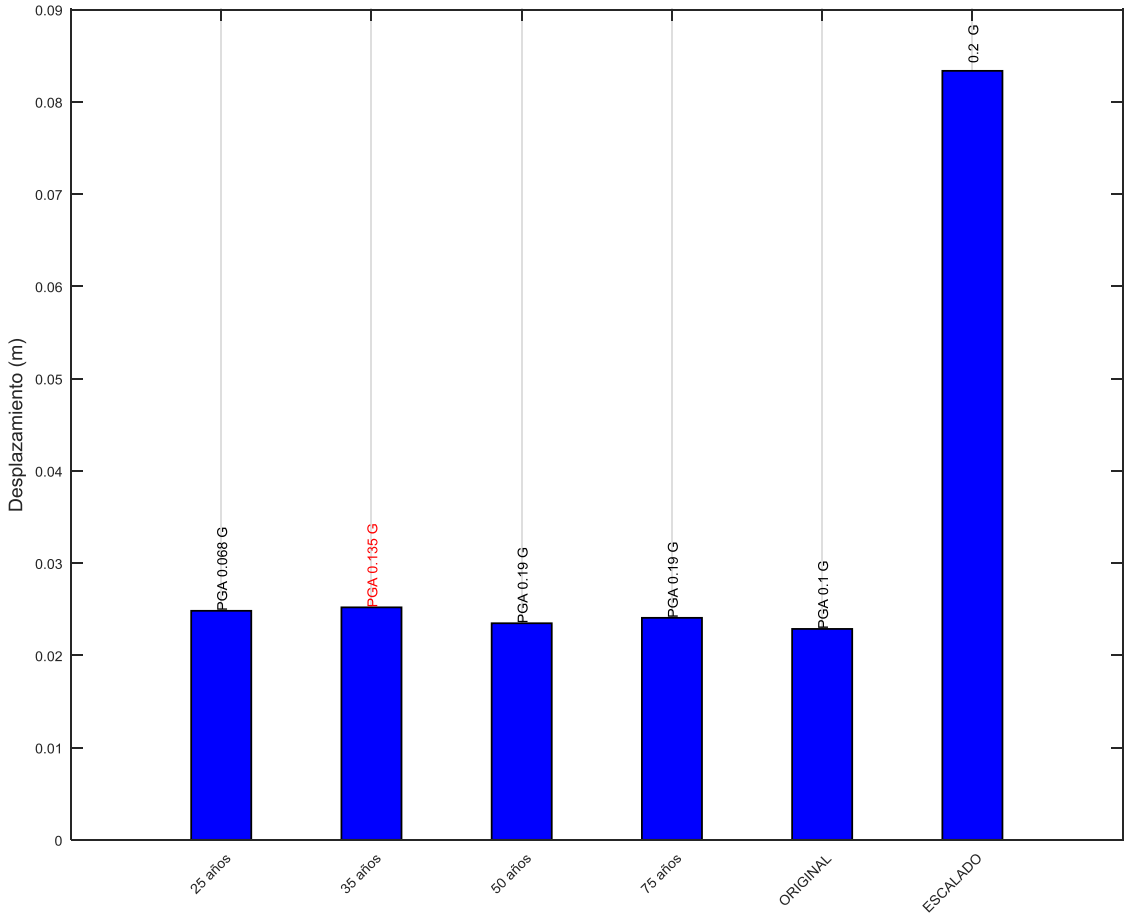
FIGURA 5-31: : Máximo **Corte basal** por sismo.



Elaboración: Jhordy Vargas

El corte basal máximo por periodo está expresado en la FIGURA 5-31, se observa que el máximo corte basal no siempre lo genera un sismo con un mayor pico de aceleración (PGA). El 3er sismo escalado genera el mayor corte basal, a pesar de tener la mitad de la aceleración máxima de los otros dos sismos escalados.

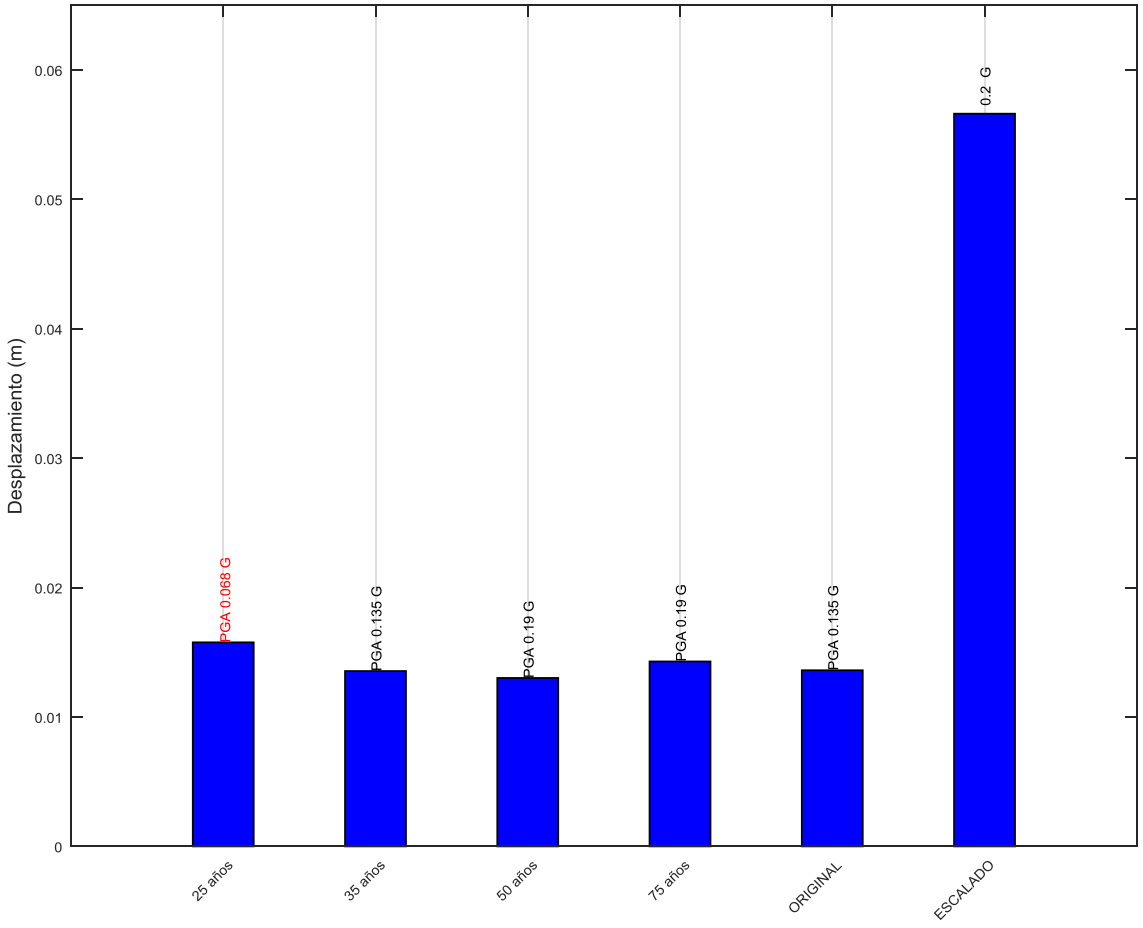
FIGURA 5-32: : Máximos **desplazamientos** por Periodo en **el NUDO 70**.



Elaboración: Jhordy Vargas

Aquí se generó una gráfica con los máximos desplazamientos observados en el NUDO 70 en cada periodo, se resaltó el PGA del sismo sin escalar que generó un mayor desplazamiento.

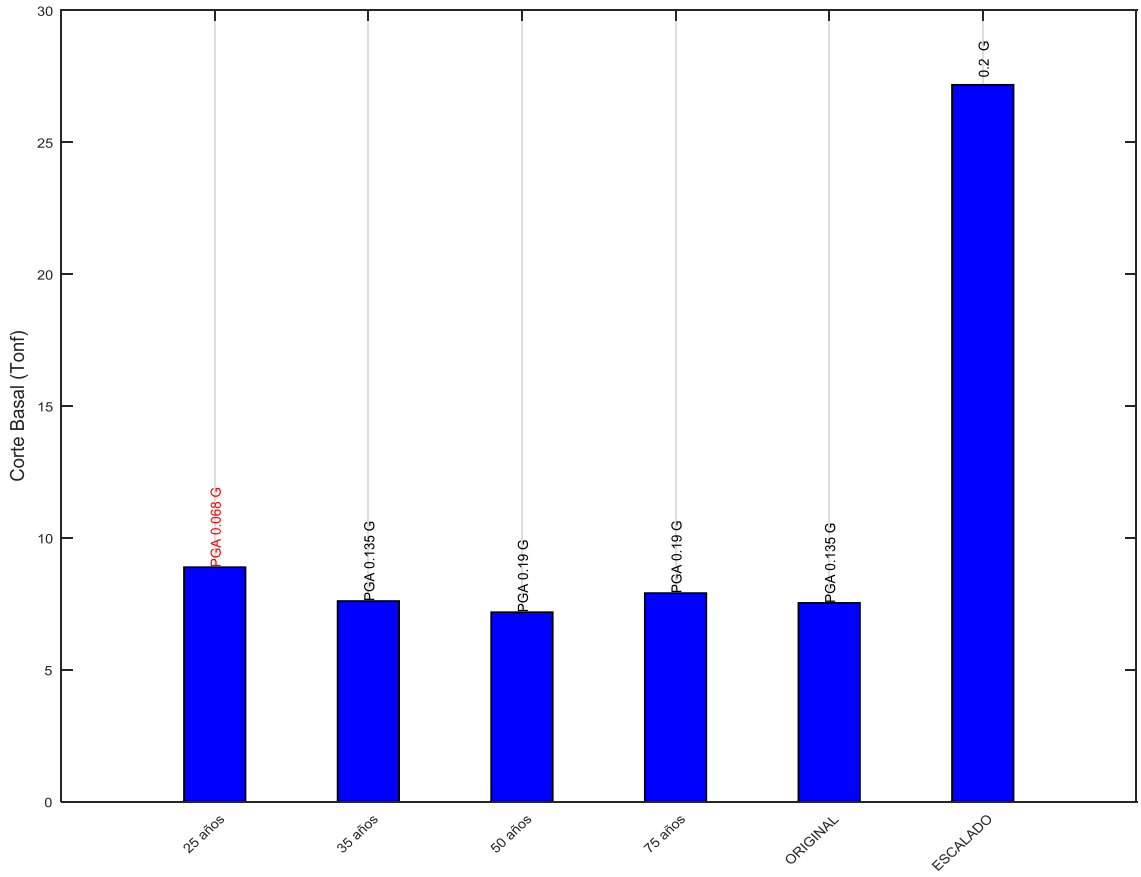
FIGURA 5-33: : Máximos **desplazamientos** por Periodo en el **NUDO 84**.



Elaboración: Jhordy Vargas

Como en el NUDO 70 se graficaron los máximos desplazamientos para el NUDO 84, y se resaltó el PGA del sismo sin escalar que causó un mayor desplazamiento.

FIGURA 5-34: : Máximo **Corte basal** por Periodo.



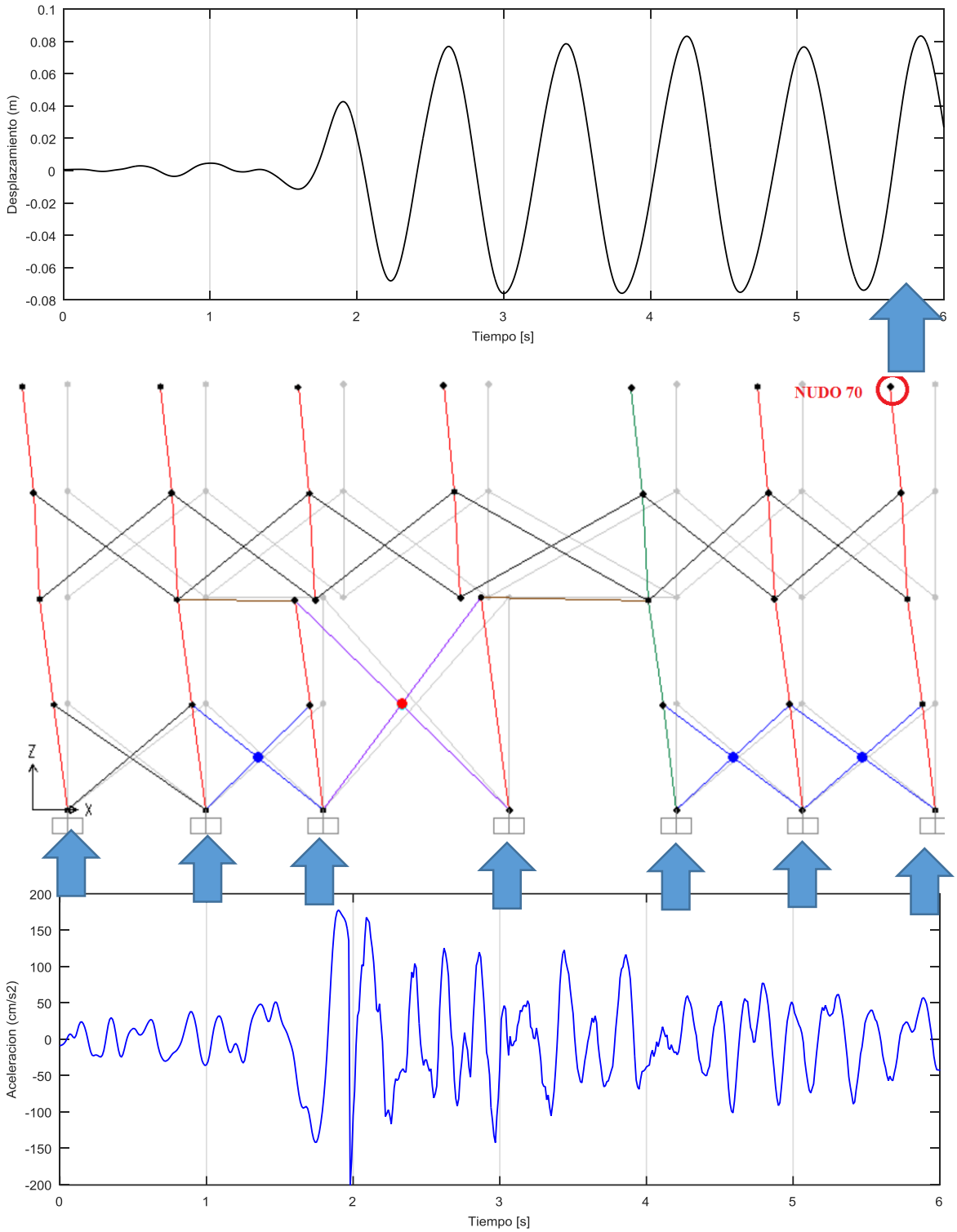
Elaboración: Jhordy Vargas

Se graficó el máximo corte-basal por periodo, y se resaltó en color rojo el PGA del sismo sin escalar que generó un mayor corte.

De las figuras anteriores se observa que el 3er sismo escalado, con un PGA de 0.2 G es el que genera mayor daño al macromodelo, siendo el sismo que provoca la falla estructural.

En la FIGURA 5-35 se realiza un esquema de la interacción sismo-estructura. Se observa como el 3er sismo escalado (representado por un acelerograma) actúa en la base de la estructura, lo que genera un movimiento (representado por el desplazamiento del NUDO 70).

FIGURA 5-35: Esquema interacción sismo-estructura con **3er Sismo Escaldo**.



Elaboración: Jhordy Vargas

Capítulo 6 : CONCLUSIONES

- Este estudio no es concluyente ni extrapolable, porque se analizó solo una de las tipologías presentes en el centro histórico frente a un conjunto de registros sísmicos limitado. Es necesario tener una mayor cantidad de registros originales con diferentes periodos de retorno para reducir la incertidumbre. No obstante, el modelo esta validado en función de un análisis monotónico incremental generado por el Ing. Wilson Torres.
- De los 18 sismos analizados, el que produjo mayores daños a la tipología estructural analizada, tiene el 50% de la aceleración pico esperada en 475 años. Sin embargo, su contenido frecuencial genero una falla de colapso en la tipología estructural analizada.
- Para generar un macromodelo que represente una tipología estructural, se deben conocer los sectores donde se concentran los esfuerzos en la estructura. La generación de un modelo Macromodelo por elementos finitos nos permite encontrar que sectores de la mampostería pueden sufrir daño, para empezar así el modelamiento de los macroelementos.
- De tesis como la del Dr. Crisfulli se conoce que, para elementos de baja ductilidad un puntal de compresión dentro de un análisis tiempo historia da buenos resultados, siempre y cuando este correctamente calibrado. Esto se da porque el mecanismo de falla de un elemento de gran peralte como lo es una mampostería de baja ductilidad, es precisamente el modo de falla a corte, y un puntal a compresión trabaja plenamente a tensión axial.

- La utilización de MATLAB para la interpretación de los resultados obtenidos es importante, porque nos permite reducir el tiempo, y así generar mayores simulaciones con diferentes sismos.
- Controlar el periodo entre los modelos generados es muy importante, pues con periodos similares entre los modelos 3D y Macromodelo se está garantizando que los modelos conserven una rigidez y masa similares entre ellos.
- Se observó que la estructura analizada tuvo una falla de colapso a una equivalencia de deriva menor al 2%. Lo que nos reafirma la fragilidad y baja ductilidad de la tipología estructural.

Capítulo 7 : RECOMENDACIONES

- Si se quieren calibrar modelos matemáticos, es primordial continuar realizando ensayos de vibración ambiental y caracterización de los materiales de las diferentes tipologías.
- Mayor acceso a los datos del instituto geofísico, y mayores puntos de control para tener un mayor número de registros sísmicos.
- Incluir los estudios de microzonificación sísmica de la ciudad de Quito, para tener en cuenta los efectos de amplificación por suelo y efectos generados por fallas locales.
- Generar otros modelos para comparar los resultados obtenidos.
- Realizar un análisis incremental dinámico (IDA) para obtener curvas de fragilidad de la tipología estructural.
- Calibrar los puntales a compresión mediante ensayos de laboratorio, sometiendo modelos a escala a fuerzas incrementales, para poder calibrar de mejor manera las curvas de capacidad obtenidas matemáticamente.

Capítulo 8 : BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, R. (2003). *Análisis Sísmico por Desempeño* (Primera). Quito: Centro de Investigaciones CIentíficas. Escuela Politécnica del Ejército.

Aguiar, R. (2017). *Microzonificación sísmica de quito* (Segunda; D. de C. de la T. y la Construcción & U. de las F. A. ESPE, eds.).

Aguilar, E. D., y Quezada, R. A. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca (Universidad de Cuenca). Retrieved from http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143

Annecchiarico, M., Portioli, F., & Landolfo, R. (2010). Micro and macro-finite element modeling of brick masonry panels subject to lateral loadings. *COST ACTION C26: Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events - Proceedings of the Final Conference*, (January 2016), 315–320.

Bonett, R. L. (2003). Vulnerabilidad Y Riesgo Sísmico De Edificios. Aplicación a Entornos urbanos en Zonas de Amenza Alta y Moderada (Universitat Politècnica de Catalunya). Retrieved from http://www.tdx.cat/handle/10803/6230

Cardona A., O. D. (2001). *Indicadores De Riesgo De Desastres y de Gestión de Riesgos*. Retrieved from https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/0/35060/INDICADORES_DE_RIESGO_DE_DESASTRES_BID.pdf

Celi, C., Pantoja, J., Sosa, D., & Ayala, C. (2018). Seismic Vulnerability of Quito Ecuador, Phase 1: Capacity Curves of Structural Tipologies, Project Gem -Sara. *Revista PUCE*, *0*(106), 43–80. Retrieved from http://www.revistapuce.edu.ec/index.php/revpuce/article/view/130

Crisafulli, F. J. (1997). *SEISMIC BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH MASONRY INFILLS*. Canterbury Chrischurch.

Crisafulli, F. J., & Carr, A. J. (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*. https://doi.org/10.1029/2004JA010850

Dávila, G. F. (2013). *Recuperando la vocación residencial en el CHQ*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Hasik, V., Chhabra, J. P. S., Warn, G. P., & Bilec, M. M. (2018). Review of approaches for integrating loss estimation and life cycle assessment to assess impacts of seismic building damage and repair. *Engineering Structures*, Vol. 175, pp. 123–137. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.08.011

Lang, A. F., Crisafulli, F. J., & Torrisi, G. S. (2014). Overview and assessment of analysis techniques for confined masonry buildings. *NCEE 2014 - 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*, (September). https://doi.org/10.4231/D3F47GV1P

Meli, R. (1998). *Ingenieria Estructural de los Edificios Históricos* (Primera Ed). Mexico: Fundación ICA.

Pelà, L., Cervera, M., & Roca, P. (2012). *An orthotropic damage model for the analysis of masonry structures An orthotropic damage model for the analysis of masonry structures*. *7*(January). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.014

Roca, P., Cervera, M., Gariup, G., & Pela', L. (2010). Structural analysis of masonry historical constructions. Classical and advanced approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*. https://doi.org/10.1007/s11831-010-9046-1

Saloustros, S., Pelà, L., Cervera, M., & Roca, P. (2014). *A macro-modelling finite element technique for the realistic simulation of cracking in masonry structures*. *77*(13), 2431.

Tarque, N. (2015). Masonry infilled frame structures : State-of- the-art review of numerical modelling. *Earthquake and Structures*, *8*(1), 225–251. https://doi.org/10.12989/eas.2015.8.3.733

Torres, W., Luis, J., & Cristián, A. (2017). Fragility analysis of the nave macro-element. *Bulletin of Earthquake Engineering*. https://doi.org/10.1007/s10518-017-0292-6

Capítulo 9 : ANEXOS.

ANEXO 1: TABLA DE CALIBRACION DE REACCIONES EN LOS MODELOS

	REACCIONES			
NUDO	Modelo 3D	Modelo 2D_1	Modelo 2D_2	Modelo 2D
1	2,39699	1,30	1,28	1,31
2	1,78375	1,69	1,68	1,72
3	1,59981	1,56	1,54	1,58
4	1,43949	1,41	1,40	1,43
5	1,20855	1,19	1,18	1,21
6	1,00167	0,98	0,97	0,98
7	0,9571	0,94	0,93	0,95
8	0,98213	0,97	0,97	0,98
9	1,17743	1,19	1,18	1,20
10	1,31051	1,33	1,32	1,34
11	1,37497	1,41	1,40	1,42
12	1,36473	1,40	1,39	1,41
13	1,23414	1,27	1,26	1,28
14	1,11542	1,12	1,12	1,13
15	1,00773	0,98	0,98	0,99
16	1,23388	1,19	1,18	1,19
17	1,8214	1,34	1,34	1,35
18	1,57724	1,55	1,55	1,56
19	1,6743	1,69	1,69	1,70
20	1,74902	1,80	1,80	1,81
21	1,79096	1,87	1,86	1,87
22	1,81518	1,91	1,90	1,91
23	1,82508	1,93	1,92	1,93
24	1,83133	1,94	1,94	1,95
25	1,83103	1,95	1,95	1,95
26	1,83023	1,96	1,96	1,96
27	1,83007	1,97	1,97	1,97
28	1,84445	2,01	2,01	2,00
29	1,88509	2,06	2,06	2,06
30	1,96309	1,60	1,60	1,60
31	1,09131	1,19	1,19	1,18
32	1,38489	1,51	1,52	1,50
33	1,26282	1,38	1,38	1,37

34	1,15594	1,26	1,27	1,26
35	0,98062	1,07	1,07	1,06
36	0,93293	1,02	1,02	1,01
37	0,96976	1,06	1,06	1,05
38	1,17249	1,29	1,29	1,28
39	1,29545	1,42	1,43	1,41
40	1,43005	1,58	1,59	1,57
41	1,316	1,44	1,45	1,43
42	1,19824	1,31	1,32	1,30
43	1,01705	1,09	1,09	1,08
44	0,95376	1,01	1,02	1,00
45	1,01292	1,07	1,07	1,06
46	1,34943	1,46	1,47	1,44
47	1,76753	1,92	1,94	1,90
48	2,00844	2,16	2,18	2,13
49	2,6378	1,67	1,69	1,65
TOTAL (T)	**71,3942**	**71,394**	**71,394**	**71,3942**

ANEXO 2: RUTINA PARA GRAFICAR RESULTADO DEL TIME HISTORY

```
clc
clear all;
close all;
%% RUTINA PARA GRAFICAR LOS DATOS EXTRAIDOS DE SAP 2000
% DATOS DEL ANALISIS TIEMPO HISTORIA
% GRAFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO Y DESPLAZAMIENTO VS CORTE
BASAL
% VALIDO PARA DOS PUNTOS DE CONTROL
% VALIDO PARA TRES REGISTROS SISMICOS
% VALIDO PARA DOS MODELO GENERADOS

% ELABORADO POR JHORDY VARGAS

% GENERAR UNA TABLA EXEL CON LOS DATOS EXTRAIDOS DE SAP 2000
% LA TABLA DEBE TENER EL TIEMPO EN LA PRIMERA COLUMNA
% EL DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO DE CONTROL EN LA SEGUNDA
COLUMNA
% EL CORTE BASAL EN LA TERCERA COLUMNA
```

```
%% DATO EXTRAIDOS DE SAP 2000

%1ER SISMO
M1S1=xlsread('M1_1erSismoE_N70.xlsx','A1:K25001'); %COLOCAR
EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE EXEL
M2S1=xlsread('M2_1erSismoE_N70.xlsx','A1:K25001');%MODELO 2-
1er PUNTO DE CONTRO
M1S184=xlsread('M1_1erSismoE_N84.xlsx','A1:K25001');%MODELO
1-2do PUNTO DE CONTROL
M2S184=xlsread('M2_1erSismoE_N84.xlsx','A1:K25001');%MODELO
2-2do PUNTO DE CONTROL
%2DO SISMO
M1S2=xlsread('M1_2doSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S2=xlsread('M2_2doSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S284=xlsread('M1_2doSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S284=xlsread('M2_2doSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
%3ER SISMO
M1S3=xlsread('M1_3erSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S3=xlsread('M2_3erSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S384=xlsread('M1_3erSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S384=xlsread('M2_3erSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');

Nsismo1='1er Sismo ORIGINAL';  %%ingresar nombre del registro
sismico
Nsismo2='2do Sismo ORIGINAL';  %%ingresar nombre del registro
sismico
Nsismo3='3er Sismo ORIGINAL';  %%ingresar nombre del registro
sismico
tm1=6;  %tamaño de letra TITULO
tm2=5;  %tamaño de letra EJES
tm4=5;  %tamaño de letra NUMERALES
ms=7; %%TAMAÑO markersize

%% COMPARACION entre SISMOS para FUERZA-DESPLAZAMIENTO NUDO
70

X1=(min((M1S1(:,2))))-0.005;

figure(1);
%1ER SISMO
subplot (3,1,1);
hold on

CS170(1)=plot(M1S1(:,2),M1S1(:,3),'k','markersize',ms);

CS170(2)=plot(M2S1(:,2),M2S1(:,3),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
```

```
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
            ylabel('Corte(Tonf)','FontSize',tm2);
%             title({'Corte Vs. Desplazamiento NUDO
70';Nsismo1},'FontSize',tm1);
        CS170={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([CS170],'Location','southwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff');
        text((min((M1S1(:,2))))-
0.01,max(M1S1(:,3)),'(a)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%2DO SISMO
subplot (3,1,2);
hold on

CS270(1)=plot(M1S1(:,6),M1S1(:,7),'k','markersize',ms);

CS270(2)=plot(M2S1(:,6),M2S1(:,7),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
            ylabel('Corte(Tonf)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo2},'FontSize',tm1);
        CS270={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([CS270],'Location','southwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text((min((M1S1(:,2))))-
0.01,max(M1S1(:,3)),'(b)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%3ER SISMO
subplot (3,1,3);
hold on

CS370(1)=plot(M1S1(:,10),M1S1(:,11),'k','markersize',ms);

CS370(2)=plot(M2S1(:,10),M2S1(:,11),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
```

```
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
            ylabel('Corte(Tonf)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo3},'FontSize',tm1);
        CS370={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([CS370],'Location','southwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text((min((M1S1(:,2))))-
0.01,max(M1S1(:,3)),'(c)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%% COMPARACION entre SISMOS para TIMPO-DESPLAZAMIENTO NUDO 70

figure(2);
%1ER SISMO
subplot (3,1,1);
hold on

S170(1)=plot(M1S1(:,1),M1S1(:,2),'k','markersize',ms);

S170(2)=plot(M2S1(:,1),M2S1(:,2),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Tiempo [s]','FontSize',tm2);
            ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
%             title({'Tiempo Vs. Desplazamiento
NUDO70';Nsismo1},'FontSize',tm1);
        S170={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([S170],'Location','northwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text(-1,max(M1S1(:,2)),'(a)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%2DO SISMO
subplot (3,1,2);
hold on

S270(1)=plot(M1S1(:,5),M1S1(:,6),'k','markersize',ms);
```

```
S270(2)=plot(M2S1(:,5),M2S1(:,6),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Tiempo [s]','FontSize',tm2);
            ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo2},'FontSize',tm1);
        S270={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([S270],'Location','northwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text(-1,max(M1S1(:,2)),'(b)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%3ER SISMO
subplot (3,1,3);
hold on

S370(1)=plot(M1S1(:,9),M1S1(:,10),'k','markersize',ms);

S370(2)=plot(M2S1(:,9),M2S1(:,10),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Tiempo [s]','FontSize',tm2);
            ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo3},'FontSize',tm1);
        S370={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([S370],'Location','northwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text(-1,max(M1S1(:,2)),'(c)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%% COMPARACION entre SISMOS para FUERZA-DESPLAZAMIENTO NUDO
84

figure(3);
%1ER SISMO
subplot (3,1,1);
hold on
```

```
CS184(1)=plot(M1S184(:,2),M1S184(:,3),'k','markersize',ms);

CS184(2)=plot(M2S184(:,2),M2S184(:,3),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
            ylabel('Corte(Tonf)','FontSize',tm2);
%             title({'Corte Vs. Desplazamiento NUDO
84';Nsismo1},'FontSize',tm1);
        CS184={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([CS184],'Location','southwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text((min((M1S184(:,2))))-
0.005,max(M1S184(:,3)),'(a)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%2DO SISMO
subplot (3,1,2);
hold on

CS284(1)=plot(M1S184(:,6),M1S184(:,7),'k','markersize',ms);

CS284(2)=plot(M2S184(:,6),M2S184(:,7),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
            ylabel('Corte(Tonf)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo2},'FontSize',tm1);
        CS284={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([CS284],'Location','southwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text((min((M1S184(:,2))))-
0.005,max(M1S184(:,3)),'(b)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%3ER SISMO
subplot (3,1,3);
hold on
```

```
CS384(1)=plot(M1S184(:,10),M1S184(:,11),'k','markersize',ms);

CS384(2)=plot(M2S184(:,10),M2S184(:,11),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
            ylabel('Corte(Tonf)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo3},'FontSize',tm1);
        CS384={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([CS384],'Location','southwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text((min((M1S384(:,2))))-
0.005,max(M1S384(:,3)),'(c)','FontSize',tm4);
        box on

hold off

%% COMPARACION entre SISMOS para TIMPO-DESPLAZAMIENTO NUDO 84

figure(4);
%1ER SISMO
subplot (3,1,1);
hold on

S184(1)=plot(M1S184(:,1),M1S184(:,2),'k','markersize',ms);

S184(2)=plot(M2S184(:,1),M2S184(:,2),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Tiempo [s]','FontSize',tm2);
            ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
%             title({'Tiempo Vs. Desplazamiento NUDO
84';Nsismo1},'FontSize',tm1);
        S184={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([S184],'Location','northwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text(-1,max(M1S184(:,2)),'(a)','FontSize',tm4);
        box on
hold off
```

```
%2DO SISMO
subplot (3,1,2);
hold on

S284(1)=plot(M1S184(:,5),M1S184(:,6),'k','markersize',ms);

S284(2)=plot(M2S184(:,5),M2S184(:,6),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Tiempo [s]','FontSize',tm2);
            ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo2},'FontSize',tm1);
        S284={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([S284],'Location','northwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text(-1,max(M1S284(:,2)),'(b)','FontSize',tm4);
        box on
hold off

%3ER SISMO
subplot (3,1,3);
hold on

S384(1)=plot(M1S184(:,9),M1S184(:,10),'k','markersize',ms);

S384(2)=plot(M2S184(:,9),M2S184(:,10),'b','markersize',ms);
            ax = gca;
            ax.XGrid = 'on';
            ax.YGrid = 'off';
            set(gca,'FontSize',tm2);
            xlabel('Tiempo [s]','FontSize',tm2);
            ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
%             title({Nsismo3},'FontSize',tm1);
        S384={'Modelo 1','Modelo 2'};

aux1=legend([S384],'Location','northwest','FontSize',tm2);
        legend('boxoff')
        text(-1,max(M1S184(:,2)),'(c)','FontSize',tm4);
        box on
hold off
```

ANEXO 3: RUTINA PARA MAXIMOS RESULTADOS CON BARRAS

```
clc
clear all ;
close all;
%% RUTINA PARA GRAFICAR LOS MAXIMOS RESULTADOS
% DATOS DEL ANALISIS TIEMPO HISTORIA
% GRAFICA DE BARRAS CON LOS MAXIMOS VALORES POR SISMO
% VALIDO PARA DOS PUNTOS DE CONTROL
% VALIDO PARA 3 REGISTROS SISMICOS POR PERIODO
% VALIDO PARA 6 PERIODOS
% VALIDO PARA 2 MODELOS GENERADOS

% ELABORADO POR JHORDY VARGAS

% GENERAR UNA TABLA EXEL CON LOS DATOS EXTRAIDOS DE SAP 2000
% LA TABLA DEBE TENER EL TIEMPO EN LA PRIMERA COLUMNA
% EL DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO DE CONTROL EN LA SEGUNDA
COLUMNA
% EL CORTE BASAL EN LA TERCERA COLUMNA

%% TAMAÑO LEYENDAS
tm1=6.2;  %EJES DE BARRAS
tm2=8;  %EJE Y
tm3=7;  %TITULO
tm4=6;  %EJE PGA
%% 25 AÑOS
%1ER SISMO
M1S251=xlsread('M1_1erSismo_N70.xlsx','A1:K25001');% NOMBRE
DEL ARCHIVO EXEL
M2S251=xlsread('M2_1erSismo_N70.xlsx','A1:K25001');% MODELO 2
1er SISMO DE 25 AÑOS NUDO 70
M1S25184=xlsread('M1_1erSismo_N84.xlsx','A1:K25001');% MODELO
1 1er SISMO DE 25 AÑOS NUDO 84
M2S25184=xlsread('M2_1erSismo_N84.xlsx','A1:K25001');
%2DO SISMO
M1S252=xlsread('M1_2doSismo_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S252=xlsread('M2_2doSismo_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S25284=xlsread('M1_2doSismo_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S25284=xlsread('M2_2doSismo_N84.xlsx','A1:K25001');
%3ER SISMO
M1S253=xlsread('M1_3erSismo_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S253=xlsread('M2_3erSismo_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S25384=xlsread('M1_3erSismo_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S25384=xlsread('M2_3erSismo_N84.xlsx','A1:K25001');
%% 35 AÑOS
%1ER SISMO
M1S351=xlsread('M1_1erSismo35_N70.xlsx','A1:K25001');
```

```
M2S351=xlsread('M2_1erSismo35_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S35184=xlsread('M1_1erSismo35_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S35184=xlsread('M2_1erSismo35_N84.xlsx','A1:K25001');
%2DO SISMO
M1S352=xlsread('M1_2doSismo35_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S352=xlsread('M2_2doSismo35_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S35284=xlsread('M1_2doSismo35_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S35284=xlsread('M2_2doSismo35_N84.xlsx','A1:K25001');
%3ER SISMO
M1S353=xlsread('M1_3erSismo35_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S353=xlsread('M2_3erSismo35_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S35384=xlsread('M1_3erSismo35_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S35384=xlsread('M2_3erSismo35_N84.xlsx','A1:K25001');
%% 50 AÑOS
%1ER SISMO
M1S501=xlsread('M1_1erSismo50_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S501=xlsread('M2_1erSismo50_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S50184=xlsread('M1_1erSismo50_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S50184=xlsread('M2_1erSismo50_N84.xlsx','A1:K25001');
%2DO SISMO
M1S502=xlsread('M1_2doSismo50_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S502=xlsread('M2_2doSismo50_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S50284=xlsread('M1_2doSismo50_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S50284=xlsread('M2_2doSismo50_N84.xlsx','A1:K25001');
%3ER SISMO
M1S503=xlsread('M1_3erSismo50_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S503=xlsread('M2_3erSismo50_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S50384=xlsread('M1_3erSismo50_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S50384=xlsread('M2_3erSismo50_N84.xlsx','A1:K25001');
%% 75 AÑOS
%1ER SISMO
M1S751=xlsread('M1_1erSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S751=xlsread('M2_1erSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S75184=xlsread('M1_1erSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S75184=xlsread('M2_1erSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
%2DO SISMO
M1S752=xlsread('M1_2doSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S752=xlsread('M2_2doSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S75284=xlsread('M1_2doSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S75284=xlsread('M2_2doSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
%3ER SISMO
M1S753=xlsread('M1_3erSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S753=xlsread('M2_3erSismo75_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S75384=xlsread('M1_3erSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S75384=xlsread('M2_3erSismo75_N84.xlsx','A1:K25001');

%% ORIGINALES
```

```
%1ER SISMO
M1SO1=xlsread('M1_1erSismoO_N70.xlsx','A1:K25001');
M2SO1=xlsread('M2_1erSismoO_N70.xlsx','A1:K25001');
M1SO184=xlsread('M1_1erSismoO_N84.xlsx','A1:K25001');
M2SO184=xlsread('M2_1erSismoO_N84.xlsx','A1:K25001');
%2DO SISMO
M1SO2=xlsread('M1_2doSismoO_N70.xlsx','A1:K25001');
M2SO2=xlsread('M2_2doSismoO_N70.xlsx','A1:K25001');
M1SO284=xlsread('M1_2doSismoO_N84.xlsx','A1:K25001');
M2SO284=xlsread('M2_2doSismoO_N84.xlsx','A1:K25001');
%3ER SISMO
M1SO3=xlsread('M1_3erSismoO_N70.xlsx','A1:K25001');
M2SO3=xlsread('M2_3erSismoO_N70.xlsx','A1:K25001');
M1SO384=xlsread('M1_3erSismoO_N84.xlsx','A1:K25001');
M2SO384=xlsread('M2_3erSismoO_N84.xlsx','A1:K25001');
%% ESCALADO
M1S1=xlsread('M1_1erSismoE_N70.xlsx','A1:K25001');
M2S1=xlsread('M2_1erSismoE_N70.xlsx','A1:K25001');
M1S184=xlsread('M1_1erSismoE_N84.xlsx','A1:K25001');
M2S184=xlsread('M2_1erSismoE_N84.xlsx','A1:K25001');


%% DESPLAZAMIENTO NUDO 70
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 25 AÑOS
d1=max(abs(M1S251(:,2))); %MODELO 1 SISMO 1
d2=max(abs(M1S252(:,2)));
d3=max(abs(M1S253(:,2)));
d4=max(abs(M2S251(:,2))); %MODELO 2 SISMO 1
d5=max(abs(M2S252(:,2)));
d6=max(abs(M2S253(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 35 AÑOS
d7=max(abs(M1S351(:,2)));
d8=max(abs(M1S352(:,2)));
d9=max(abs(M1S353(:,2)));
d10=max(abs(M2S351(:,2)));
d11=max(abs(M2S352(:,2)));
d12=max(abs(M2S353(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 50 AÑOS
d13=max(abs(M1S501(:,2)));
d14=max(abs(M1S502(:,2)));
d15=max(abs(M1S503(:,2)));
d16=max(abs(M2S501(:,2)));
d17=max(abs(M2S502(:,2)));
d18=max(abs(M2S503(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 75 AÑOS
d19=max(abs(M1S751(:,2)));
d20=max(abs(M1S752(:,2)));
```

```
d21=max(abs(M1S753(:,2)));
d22=max(abs(M2S751(:,2)));
d23=max(abs(M2S752(:,2)));
d24=max(abs(M2S753(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 ORIGINALES
d25=max(abs(M1SO1(:,2)));
d26=max(abs(M1SO2(:,2)));
d27=max(abs(M1SO3(:,2)));
d28=max(abs(M2SO1(:,2)));
d29=max(abs(M2SO2(:,2)));
d30=max(abs(M2SO3(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 ESCALADO
d31=max(abs(M1S1(:,2)));
d32=max(abs(M2S1(:,2)));
d33=max(abs(M1S1(:,6)));
d34=max(abs(M2S1(:,6)));
d35=max(abs(M1S1(:,10)));
d36=max(abs(M2S1(:,10)));

%% DESPLAZAMIENTO NUDO 70MAXIMO POR SISMO DEL PERIODO
% 25 AÑOS
d251=max([d1 d4]);
d252=max([d2 d5]);
d253=max([d3 d6]);
% 35 AÑOS
d351=max([d7 d10]);
d352=max([d8 d11]);
d353=max([d9 d12]);
% 50 AÑOS
d501=max([d13 d16]);
d502=max([d14 d17]);
d503=max([d15 d18]);
% 75 AÑOS
d751=max([d19 d22]);
d752=max([d20 d23]);
d753=max([d21 d24]);
% ORIGINALES
dO1=max([d25 d28]);
dO2=max([d26 d29]);
dO3=max([d27 d30]);
% ESCALADO
dE1=max([d31 d32]);
dE2=max([d33 d34]);
dE3=max([d35 d36]);

%% GRAFICO DESPLAZAMIENTOS NUDO 70 POR PERIODO
```

```
desp70=[d251 d252 d253 d351 d352 d353 d501 d502 d503 d751
d752 d753 dO1 dO2 dO3 dE1 dE2 dE3];
T={'1er 25 años','2do 25 años','3er 25 años','1er 35
años','2do 35 años','3er 35 años','1er 50 años','2do 50
años','3er 50 años','1er 75 años','2do 75 años','3er 75
años','1er ORIGINAL','2do ORIGINAL','3er ORIGINAL','1er
ESCALADO','2do ESCALADO','3er ESCALADO'};

figure(1)
b1=bar(desp70,0.4,'facecolor','b');
% b1(2).EdgeColor = 'red';
set(gca,'xtick',1:18);
set(gca,'xticklabel',T);
set(gca,'xticklabelrotation',45);
ax = gca;
ax.XGrid = 'on';
ax.YGrid = 'off';
ax.XLim=[0 19];
set(gca,'FontSize',tm1);
ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
title('DESPLAZAMIENTOS NUDO 70','FontSize',tm3);

text(1,d251,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(2,d252,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(3,d253,'PGA 0.068 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(4,d351,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(5,d352,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(6,d353,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(7,d501,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(8,d502,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(9,d503,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(10,d751,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(11,d752,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(12,d753,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(13,dO1,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(14,dO2,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(15,dO3,'PGA 0.1 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(16,dE1,'0.4 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(17,dE2,'0.4 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(18,dE3,'0.2 G','rotation',90,'FontSize',tm4);

%% DESPLAZAMIENTO NUDO 84
%DESPLAZAMIENTO NUDO 84 25 AÑOS
d184=max(abs(M1S25184(:,2))); %MODELO 1 SISMO 1
d284=max(abs(M1S25284(:,2)));
d384=max(abs(M1S25384(:,2)));
d484=max(abs(M2S25184(:,2))); %MODELO 2 SISMO 1
```

```
d584=max(abs(M2S25284(:,2)));
d684=max(abs(M2S25384(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 35 AÑOS
d784=max(abs(M1S35184(:,2)));
d884=max(abs(M1S35284(:,2)));
d984=max(abs(M1S35384(:,2)));
d1084=max(abs(M2S35184(:,2)));
d1184=max(abs(M2S35284(:,2)));
d1284=max(abs(M2S35384(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 50 AÑOS
d1384=max(abs(M1S50184(:,2)));
d1484=max(abs(M1S50284(:,2)));
d1584=max(abs(M1S50384(:,2)));
d1684=max(abs(M2S50184(:,2)));
d1784=max(abs(M2S50284(:,2)));
d1884=max(abs(M2S50384(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 75 AÑOS
d1984=max(abs(M1S75184(:,2)));
d2084=max(abs(M1S75284(:,2)));
d2184=max(abs(M1S75384(:,2)));
d2284=max(abs(M2S75184(:,2)));
d2384=max(abs(M2S75284(:,2)));
d2484=max(abs(M2S75384(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 ORIGINALES
d2584=max(abs(M1SO184(:,2)));
d2684=max(abs(M1SO284(:,2)));
d2784=max(abs(M1SO384(:,2)));
d2884=max(abs(M2SO184(:,2)));
d2984=max(abs(M2SO284(:,2)));
d3084=max(abs(M2SO384(:,2)));
%DESPLAZAMIENTO NUDO 70 ESCALADO
d3184=max(abs(M1S184(:,2)));
d3284=max(abs(M2S184(:,2)));
d3384=max(abs(M1S184(:,6)));
d3484=max(abs(M2S184(:,6)));
d3584=max(abs(M1S184(:,10)));
d3684=max(abs(M2S184(:,10)));

%% DESPLAZAMIENTO MAXIMO NUDO 84 POR SISMO DEL PERIODO
% 25 AÑOS
d25184=max([d184 d484]);
d25284=max([d284 d584]);
d25384=max([d384 d684]);
% 35 AÑOS
d35184=max([d784 d1084]);
d35284=max([d884 d1184]);
d35384=max([d984 d1284]);
```

```
% 50 AÑOS
d50184=max([d1384 d1684]);
d50284=max([d1484 d1784]);
d50384=max([d1584 d1884]);
% 75 AÑOS
d75184=max([d1984 d2284]);
d75284=max([d2084 d2384]);
d75384=max([d2184 d2484]);
% ORIGINALES
dO184=max([d2584 d2884]);
dO284=max([d2684 d2984]);
dO384=max([d2784 d3084]);
% ESCALADO
dE184=max([d3184 d3284]);
dE284=max([d3384 d3484]);
dE384=max([d3584 d3684]);

%% GRAFICO DESPLAZAMIENTOS NUDO 84 POR PERIODO
desp84=[d25184 d25284 d25384 d35184 d35284 d35384 d50184
d50284 d50384 d75184 d75284 d75384 dO184 dO284 dO384 dE184
dE284 dE384];
T={'1er 25 años','2do 25 años','3er 25 años','1er 35
años','2do 35 años','3er 35 años','1er 50 años','2do 50
años','3er 50 años','1er 75 años','2do 75 años','3er 75
años','1er ORIGINAL','2do ORIGINAL','3er ORIGINAL','1er
ESCALADO','2do ESCALADO','3er ESCALADO'};

figure(2)
b=bar(desp84,0.4,'facecolor','b');
% b(2).EdgeColor = 'red';
set(gca,'xtick',1:18);
set(gca,'xticklabel',T);
set(gca,'xticklabelrotation',45);
ax = gca;
ax.XGrid = 'on';
ax.YGrid = 'off';
ax.XLim=[0 19];
set(gca,'FontSize',tm1);
ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
title('DESPLAZAMIENTOS NUDO 84','FontSize',tm3);

text(1,d25184,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(2,d25284,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(3,d25384,'PGA 0.068 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(4,d35184,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(5,d35284,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(6,d35384,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
```

```
text(7,d50184,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(8,d50284,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(9,d50384,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(10,d75184,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(11,d75284,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(12,d75384,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(13,dO184,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(14,dO284,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(15,dO384,'PGA 0.1 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(16,dE184,'0.4 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(17,dE284,'0.4 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(18,dE384,'0.2 G','rotation',90,'FontSize',tm4);

%% CORTE
%CORTE 25 AÑOS
c1=max(abs(M1S251(:,3))); %MODELO 1 SISMO 1
c2=max(abs(M1S252(:,3)));
c3=max(abs(M1S253(:,3)));
c4=max(abs(M2S251(:,3))); %MODELO 2 SISMO 1
c5=max(abs(M2S252(:,3)));
c6=max(abs(M2S253(:,3)));
%CORTE 35 AÑOS
c7=max(abs(M1S351(:,3)));
c8=max(abs(M1S352(:,3)));
c9=max(abs(M1S353(:,3)));
c10=max(abs(M2S351(:,3)));
c11=max(abs(M2S352(:,3)));
c12=max(abs(M2S353(:,3)));
%CORTE AÑOS
c13=max(abs(M1S501(:,3)));
c14=max(abs(M1S502(:,3)));
c15=max(abs(M1S503(:,3)));
c16=max(abs(M2S501(:,3)));
c17=max(abs(M2S502(:,3)));
c18=max(abs(M2S503(:,3)));
%CORTE AÑOS
c19=max(abs(M1S751(:,3)));
c20=max(abs(M1S752(:,3)));
c21=max(abs(M1S753(:,3)));
c22=max(abs(M2S751(:,3)));
c23=max(abs(M2S752(:,3)));
c24=max(abs(M2S753(:,3)));
%CORTE ORIGINALES
c25=max(abs(M1SO1(:,3)));
c26=max(abs(M1SO2(:,3)));
c27=max(abs(M1SO3(:,3)));
c28=max(abs(M2SO1(:,3)));
```

```
c29=max(abs(M2SO2(:,3)));
c30=max(abs(M2SO3(:,3)));
%CORTE ESCALADO
c31=max(abs(M1S1(:,3)));
c32=max(abs(M2S1(:,3)));
c33=max(abs(M1S1(:,7)));
c34=max(abs(M2S1(:,7)));
c35=max(abs(M1S1(:,11)));
c36=max(abs(M2S1(:,11)));


%% CORTE MAXIMO POR SISMO DEL PERIODO
% 25 AÑOS
c251=max([c1 c4]);
c252=max([c2 c5]);
c253=max([c3 c6]);
% 35 AÑOS
c351=max([c7 c10]);
c352=max([c8 c11]);
c353=max([c9 c12]);
% 50 AÑOS
c501=max([c13 c16]);
c502=max([c14 c17]);
c503=max([c15 c18]);
% 75 AÑOS
c751=max([c19 c22]);
c752=max([c20 c23]);
c753=max([c21 c24]);
% ORIGINALES
cO1=max([c25 c28]);
cO2=max([c26 c29]);
cO3=max([c27 c30]);
% ESCALADO
cE1=max([c31 c32]);
cE2=max([c33 c34]);
cE3=max([c35 c36]);

%% GRAFICO CORTE POR PERIODO
corte=[c251 c252 c253 c351 c352 c353 c501 c502 c503 c751 c752
c753 cO1 cO2 cO3 cE1 cE2 cE3];
T={'1er 25 años','2do 25 años','3er 25 años','1er 35
años','2do 35 años','3er 35 años','1er 50 años','2do 50
años','3er 50 años','1er 75 años','2do 75 años','3er 75
años','1er ORIGINAL','2do ORIGINAL','3er ORIGINAL','1er
ESCALADO','2do ESCALADO','3er ESCALADO'};

figure(3)
```

```
b=bar(corte,0.4,'facecolor','b');
% b(2).EdgeColor = 'red';
set(gca,'xtick',1:18);
set(gca,'xticklabel',T);
set(gca,'xticklabelrotation',45);
ax = gca;
ax.XGrid = 'on';
ax.YGrid = 'off';
ax.XLim=[0 19];
set(gca,'FontSize',tm1);
ylabel('Corte Basal (Tonf)','FontSize',tm2);
title('CORTE-BASAL MAXIMOS','FontSize',tm3);

text(1,c251,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(2,c252,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(3,c253,'PGA 0.068 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(4,c351,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(5,c352,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(6,c353,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(7,c501,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(8,c502,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(9,c503,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(10,c751,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(11,c752,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(12,c753,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(13,cO1,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(14,cO2,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(15,cO3,'PGA 0.1 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(16,cE1,'0.4 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(17,cE2,'0.4 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(18,cE3,'0.2 G','rotation',90,'FontSize',tm4);



%% MAXIMOS DE CADA PERIODO
%NUDO 70
D2570=max([d251 d252 d253]);
D3570=max([d351 d352 d353]);
D5070=max([d501 d502 d503]);
D7570=max([d751 d752 d753]);
DO70=max([dO1 dO2 dO3]);
DE70=max([dE1 dE2 dE3]);
%NUDO 84
D2584=max([d25184 d25284 d25384]);
D3584=max([d35184 d35284 d35384]);
D5084=max([d50184 d50284 d50384]);
D7584=max([d75184 d75284 d75384]);
```

```
DO84=max([dO184 dO284 dO384]);
DE84=max([dE184 dE284 dE384]);
%CORTE
C25=max([c251 c252 c253]);
C35=max([c351 c352 c353]);
C50=max([c501 c502 c503]);
C75=max([c751 c752 c753]);
CO=max([cO1 cO2 cO3]);
CE=max([cE1 cE2 cE3]);

%% GRAFICO MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS NUDO 70
D70=[D2570 D3570 D5070 D7570 DO70 DE70];
TT={'25 años','35 años','50 años','75
años','ORIGINAL','ESCALADO'};

figure(4)
b=bar(D70,0.4,'facecolor','b');
% b(2).EdgeColor = 'red';
set(gca,'xticklabel',TT);
set(gca,'xticklabelrotation',45);
ax = gca;
ax.XGrid = 'on';
ax.YGrid = 'off';
set(gca,'FontSize',tm1);
ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
title('DESPLAZAMIENTOS NUDO 70','FontSize',tm3);

text(1,D2570,'PGA 0.068 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(2,D3570,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(3,D5070,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(4,D7570,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(5,DO70,'PGA 0.1 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(6,DE70,'  0.2  G','rotation',90,'FontSize',tm4);

%% GRAFICO MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS NUDO 84
DES84=[D2584 D3584 D5084 D7584 DO84 DE84];
TT={'25 años','35 años','50 años','75
años','ORIGINAL','ESCALADO'};

figure(5)
b=bar(DES84,0.4,'facecolor','b');
% b(2).EdgeColor = 'red';
set(gca,'xticklabel',TT);
set(gca,'xticklabelrotation',45);
ax = gca;
ax.XGrid = 'on';
ax.YGrid = 'off';
```

```
set(gca,'FontSize',tm1);
ylabel('Desplazamiento (m)','FontSize',tm2);
title('DESPLAZAMIENTOS NUDO 84','FontSize',tm3);

text(1,D2584,'PGA 0.068 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(2,D3584,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(3,D5084,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(4,D7584,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(5,DO84,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(6,DE84,'  0.2  G','rotation',90,'FontSize',tm4);

%% GRAFICO MAXIMOS CORTE
CMA=[C25 C35 C50 C75 CO CE];
TT={'25 años','35 años','50 años','75
años','ORIGINAL','ESCALADO'};

figure(6)
b=bar(CMA,0.4,'facecolor','b');
% b(2).EdgeColor = 'red';
set(gca,'xticklabel',TT);
set(gca,'xticklabelrotation',45);
ax = gca;
ax.XGrid = 'on';
ax.YGrid = 'off';
set(gca,'FontSize',tm1);
ylabel('Corte Basal (Tonf)','FontSize',tm2);
title('CORTE-BASAL MAXIMO POR PERIODO','FontSize',tm3);

text(1,C25,'PGA 0.068 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(2,C35,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(3,C50,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(4,C75,'PGA 0.19 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(5,CO,'PGA 0.135 G','rotation',90,'FontSize',tm4);
text(6,CE,'  0.2  G','rotation',90,'FontSize',tm4);
```