



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UN MÓDULO EDUCATIVO DE FORMA HEXAGONAL, CON DIFERENTES TIPOS DE RESPUESTA SÍSMICA DE SUELO, DEL DISTRITO DE TRUJILLO, LA LIBERTAD - 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Bach. Juan Luis Cruz Ventura

Bach. Daniel David Azañedo Reyes

Asesor:

Ms. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

A mi Padre Celestial y mis Padres Terrenales.

Por haberme apoyado en todo momento, por la inspiración, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

En memoria de mi Padre Juanito.

A mi madre Luz Marina, mis hermanos, mi esposa Susana e hijos Susana y Ricardo

Que son lo más valioso que aún tengo.

Juan Luis Cruz Ventura.

A Jehová por darme entendimiento y la fuerzas para superar obstáculos y dificultades y sacarme victorioso a lo largo de toda mi vida.

A mis Amados Padres: **Domingo y Elsa** quienes con esfuerzo y dedicación supieron darme buenos consejos y orientación para el cumplimiento de mis objetivos.

Daniel David Azañedo Reyes.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradezco a mi Padre Celestial, Especialmente también, agradezco a mis familiares, a mis compañeros y amigos de mi promoción, así como a mis profesores por las experiencias y conocimientos impartidos todos estos años.

Agradezco de manera especial a nuestro asesor y tutor Mg. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García, quien con sus conocimientos y apoyo nos guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscábamos.

Juan Luis Cruz Ventura

Agradezco a Dios Jehová, a mis padres, a mi familia, a mis compañeros de mi promoción, y todos los docentes que nos inculcaron con dedicación sus experiencias y conocimientos durante mi formación académica.

A mi asesor: Mg, Ing. Gonzalo Hugo Díaz García, por su incondicional colaboración y su asistencia permanente para el desarrollo de la presente investigación, por brindarnos su tiempo y experiencia bien lograda.

A la Universidad Privada del Norte, a la facultad de Ingeniería, a la escuela profesional del Ingeniería Civil, y a todos los docentes que compartieron sus enseñanzas durante mi paso por nuestra querida y reconocida Alma Mater.

Daniel David Azañedo Reyes

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Antecedentes	14
1.3. Bases teóricas.....	19
1.4. Formulación del problema.....	39
1.5. Objetivos.....	39
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	39
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	39
1.6. Hipótesis	40
1.6.1. <i>Hipótesis general</i>	40
1.6.2. <i>Hipótesis específicas</i>	40
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	42
2.1. Tipo de investigación.....	42
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	43
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	44
2.3.1. <i>Técnicas de recolección de datos</i>	44
2.3.2. <i>Instrumento para la recolección de datos</i>	44
2.4. Procedimiento	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS	49
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	90
REFERENCIAS	97
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Periodos según números de Pisos.....	26
Tabla 2 Modos de Vibración.	27
Tabla 3 Factores de zona “Z”	28
Tabla 4 Factores de suelo.....	29
Tabla 5 Periodos cortos (TP) y largos (TL).....	29
Tabla 6 Coeficiente Ro para sistemas estructurales de concreto armado.	30
Tabla 7 Operacionalización de la variable dependiente.	42
Tabla 8 Operacionalización de la variable independiente.	43
Tabla 9 Resumen de áreas tributarias	52
Tabla 10 Pre dimensionamiento inicial de columnas	53
Tabla 11 Peso sísmico total de las edificaciones.....	57
Tabla 12 Centro de masa de la edificación.....	57
Tabla 13 Factores de zona "Z"	59
Tabla 14 Categoría de la Edificación y el factor de Uso U	60
Tabla 15 Factor de Suelo.	61
Tabla 16 Factor de Amplification sísmica.....	61
Tabla 17 Irregularidades estructurales en Planta.....	62
Tabla 18 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico.....	63
Tabla 19 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy.	64
Tabla 20 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S0).....	65
Tabla 21 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy.	67
Tabla 22 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S1).....	68
Tabla 23 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy	70
Tabla 24 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S2).....	71
Tabla 25 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy.	73
Tabla 26 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S3).....	74
Tabla 27 Modal Direction Factors	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas estructurales dual.	20
Figura 2. Ondas P.	22
Figura 3. Ondas S.	22
Figura 4. Ondas Love.	23
Figura 5. Ondas Rayleigh.	24
Figura 6. Esquema Conceptual del Análisis Dinámico.	25
Figura 7. Zonas sísmicas.	28
Figura 8. Conversión del Espectro de Respuesta	34
Figura 9. Respuesta elástica de estructuras.	35
Figura 10. Respuesta inelástica de estructuras.	36
Figura 11. Diseño de investigación.	42

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factor de amplificación sísmica.	30
Ecuación 2. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R).....	32
Ecuación 3. Espectro de pseudo aceleraciones.....	33
Ecuación 4. Espectro de demanda sísmica.	34
Ecuación 5. Para estructuras regulares.	37
Ecuación 6. Para estructuras irregulares.....	37

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar el modelamiento estructural de un sistema dual de forma hexagonal de un módulo educativo según los parámetros de métodos pedagógicos; obtener su espectro de respuesta, según las propiedades geofísicas del suelo en el distrito de Trujillo y determinar la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo, con la finalidad de comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la Norma Técnica Peruana E050 y E030. El sistema estructural de la edificación en la cual se compararon los métodos de análisis sísmicos es dual, sobre suelos tipo S0, S1, S2 y S3, en la zona sísmica 4. El resultado muestra que: para un tipo de edificación que alberga a una gran cantidad de personas y el colapso de la misma ante un evento sísmico podría ser una tragedia que no queremos lamentar; en este punto radica la principal importancia de este trabajo, de tal manera que se desea conocer la respuesta estructural considerando el efecto de interacción suelo – estructura. Y así empezar a realizar el diseño de futuros edificios seguros ante posibles sismos, por lo que de la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal del modelo evaluado la mayor fuerza cortante fue la del suelo blando (S3) con 855.39 Tn, y su máxima deriva fue de 0.0004; así mismo la fuerza dinámica máxima fue de 663.56 Tn y una deriva 0.0004. Finalmente, al comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos; en la base para estructuras de sistema dual de concreto armado de tres niveles, se encuentra que, en el análisis Estático según la norma E030, con el tipo de suelo S3 fue mayor en un 38% al de suelo tipo S0 (Roca dura), así como un 10% mayor que la de Suelo rígido (S1) y

solo un 5% al de Suelo intermedio (S2). En el análisis Dinámico, las derivas en cada piso obtuvieron las mismas características en porcentaje de 38%, 10% y 5% respectivamente.

Palabras clave: Comparación, análisis sísmico estático y dinámico, sistema estructural dual, derivas

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El incremento poblacional, ocasionando una mayor densidad demográfica. Esto ha desatado un excesivo crecimiento de la zona destinada para viviendas y la necesidad de mejorar la utilización de superficies, teniendo que utilizar edificaciones con gran número de pisos. Este tipo de proyectos requieren de avanzada tecnología para su construcción, debiendo desafiar sobrecargas y peso propio de la misma, el cual al incrementarse reta al máximo la resistencia a compresión de los materiales en uso, además de ser determinante en la flexión de las estructuras ante eventos sísmicos, siendo trascendental la confección de fundaciones y elementos de mayor dimensión que sustenten de manera eficaz y eficiente dichas estructuras, elevándose de manera sustancial su costo económico. La construcción es una de las necesidades básicas de todos los sectores. La forma convencional del edificio preferida principalmente por las personas es en forma de caja. Aunque la tecnología está desarrollada y las diferentes formas de construcción se han implementado, la primera preferencia en la construcción en forma de caja. Este estudio muestra la viabilidad de construir el edificio educativo en forma hexagonal de manera eficiente y económica.

El objetivo de realizar su estudio sobre el centro comercial que debe construirse en la ciudad principal según *Osterreichische Wochenschrift fur den offentlig Baudienst*, XIV, Jg. 1908. [Trans. por Eric M. Nay, Facultad de Arquitectura, Arte y Planificación, Universidad de Cornell. Primavera de 1995.] Muller aparentemente era ingeniero en Viena, posiblemente en la oficina de ingeniero de la ciudad. Su concepto de una ciudad organizada en bloques hexagonales y triangulares también había sido defendido por el arquitecto estadounidense, Charles Lamb. La referencia de Muller al artículo de Bill

Archer aún no ha sido examinada. Evidentemente, Archer era estadounidense, pero nada más sobre sus antecedentes ha llamado la atención del compilador de esta antología. Hasta ahora, la idea del concepto de construcción hexagonal me había complacido (al leer este informe) y me complació, no como un habitante de la ciudad, sino como un sistema de ingeniería del agua e ingeniería de aguas residuales y especialmente como un sistema higiénico y amigable con la naturaleza para Jardines públicos y privados de la ciudad. Según el estudio de Kim et al., donde indica que una idea muy interesante y este periódico produciría su propia propuesta, cuyas nuevas ideas asumiría luego para seguir y trabajar (2020, p. 4791). Ahora siento que estoy creando interés en lograr cierta comprensión como resultado de estos estudios para mis colegas y el cuerpo representativo de la profesión (planificadores urbanos). El concepto de construcción proyectado no habla, por supuesto, de los deseos de la población, lo que hace un típico plan de casa de campo, pero estos conceptos de construcción, que ya existen en un área importante de Schmelz como campos militares de perforación, también se han llevado a cabo. (Rudolf Müller, s. f.). Ahora se podía hacer que las conchas y estructuras de edificios adoptaran cualquier forma que un diseñador quisiera y nadie perdiera el tiempo imitando más al panal. Tener una geometría de cualquier tipo ahora era convencional de alguna manera. El hexágono, la geometría no perpendicular más obvia y menos problemática, ya no era el signo de una creatividad inconformista. La barra para las formas "naturales" y "orgánicas" se restableció a un nivel más allá de las necesidades de cualquier criatura viviente y para que la química tenga la química. y en cada unión de edificios, se crean luz, aire y jardines. Una vez que el ejemplo se haga en un área pequeña y se demuestre que funciona, el sistema demostrará ser un ejemplo líder (para futuras construcciones) (The

Hexagon [a eulogy], s. f.). Los edificios en la ciudad en su gran mayoría, su sistema estructural de entresijos es convencional, usan losa aligerada la cual actúa de manera unidireccional, transmiten las cargas básicamente a vigas en dos extremos opuestos, y carecen de apoyo en los otros dos bordes restantes. Por otro lado, a nivel nacional se utilizan diversas alternativas como losas macizas, placas colaborantes, sistema de encajonados, los cuales actúan de manera bidireccionales, flexionan en dos direcciones y transmiten las cargas a las vigas en dos direcciones, pasando a las columnas, estas siguen a los cimientos hasta llegar al suelo donde las fuerzas son disipadas. De lo antes expuesto, se desprende la necesidad de generar investigaciones sobre nuevos materiales de obra, capaces de facilitar el diseño y construcción de estructuras a pequeña y gran escala, con elementos de menor densidad que no comprometan las propiedades de resistencia. Sin embargo, esta utiliza ladrillos hechos con materiales reciclados, este es de forma piramidal, con dimensión en planta de 52 cm. X 52 cm. y su altura es variable desde los 10 cm. hasta 28 cm, con los cuatro soportes cónicos, que apoya sobre el encofrado para la formación del recubrimiento adecuado. Este proyecto de investigación se justifica, por el diseño estructural del sistema en dos direcciones encajonadas, tiene la ventaja de ser Económico, ya que permite el ahorro concreto, de acero y encofrado, Antisísmicas, relacionada con el menor peso del edificio, columnas y cimientos más esbeltos, Práctico, por su rápido y sencillo proceso constructivo, el diseño del ladrillo permite que no se necesite tarrajeo del cielo raso, Flexible en su forma, a favor de la libertad arquitectónica de la obra, se pueden tener grandes luces de hasta 20 metros en igualdad de carga, Liviano, fino y bidireccional, disminución del peso hasta el 40%, deformaciones reducidas, reducción de la carga en cimentación, reducción del número de columnas, asequible, ahorro de altura útil para

cada piso por efecto de la ausencia de vigas peraltadas, se puede tener más pisos con igualdad de altura en edificios de torres (Daliform,2015,s.n.)

Un correcto diseño estructural es indispensable para una construcción, conjunto con una buena mano de obra y materiales en buenas condiciones hacen una edificación duradera. La necesidad de luces amplias sin tener gran peralte en las vigas es el problema común entre las estructuritas, pues las losas aligeradas convencionales unidireccionales no cumplen con las expectativas de los propietarios. Como el proyecto de investigación se busca probar la hipótesis que, si comparamos un pabellón con el sistema de entrepisos En dos direcciones y el sistema convencional, entonces podremos observar que el diseño Estructural del pabellón con el sistema de entrepisos en dos direcciones las dimensiones se optimizan.

El hexágono es la forma más fuerte conocida. No mucha gente sabe esto, pero si quieres algo que contenga mucho peso, elige un hexágono. Los patrones hexagonales son de naturaleza frecuente debido a su eficiencia. En una cuadrícula hexagonal, cada línea es lo más corta posible si se va a llenar un área grande con la menor cantidad de hexágonos. Esto significa que las formas geométricas Hexagonales (como panales) requieren menos cera para construir y ganar mucha fuerza bajo compresión. También es una de las únicas formas que se teje perfectamente (piense en las baldosas, si alicatar una pared con hexágonos, entonces no habría huecos).

1.2 Antecedentes

Según Angulo (2017) menciona que las fuerzas internas de los elementos estructurales de una edificación son menores cuando se toma en cuenta la interacción existente entre el suelo y la estructura que cuando se considera la base empotrada al suelo” (p.40).

El movimiento telúrico de la tarde del 15 de agosto del 2007 en la ciudad de Pisco. Murieron más de 500 personas y cerca de 2.300 heridos; también 76.000 casas quedaron inhabitables dejando 431.000 damnificados. Todas estas fueron pérdidas que pudieron evitarse. Actualmente el Perú vive un silencio sísmico desde hace más de 270 años, prueba de la existencia de gran cantidad de energía acumulada.

La presente investigación evalúa la capacidad sísmica estructural de un módulo educativo hexagonal, según las normas NTE E.030, E.060 y E.070. El propósito, es verificar si las edificaciones cumplen con los requisitos mínimos de rigidez y resistencia, con la finalidad que permita establecer en un futuro proyectos de reforzamiento en función de las evaluaciones realizadas para aquellas edificaciones que no presenten un adecuado comportamiento sísmico y les permita tener una respuesta óptima frente a un evento sísmico de determinadas características.

Según Pazos, (2017) el objetivo fundamental era la creación de un diseño espacial del aula que se adaptase a un proyecto educativo regido por los principios de actividad, autonomía y simultaneidad de tareas. Con esta experiencia se comprueba, asimismo, la eficacia de la investigación en la acción, como mecanismo idóneo para el desarrollo profesional y la innovación educativa.

En relación con la tecnología digital, el acceso a ésta debe promover la actividad, la transformación y la experimentación, ya sea con juguetes digitales o con computadoras personales. En otras palabras, la diversa y variada tecnología digital que se incorpore

en las Instituciones Educativas debe hacerse dentro de cada aula y no un aula laboratorio fuera de su entorno cotidiano. (Camacho et al. 2008).

El ambiente de aprendizaje está en un espacio material, que bien puede ser una casa, escuela, fábrica, museo o mercado; responde a ciertas características físicas, sociales, culturales, psicosociales, pedagógicas, que posibilitan promover el aprendizaje del alumno, y se vuelve un lugar donde el niño puede “reír, amar, jugar, encontrarse, perderse, vivir” (García-Chato, 2014).

La patente de Montuori, Giovanni & Fadda, Monica & Perrella, Gianpaolo & Mele, Elena. (2015) Hexagrid: Es una estructura de tubos hexagonales para edificios altos: patrones, modelado y diseño. El diseño estructural de edificios altos y especiales. Luego, sobre la base de un criterio de rigidez simple, se ha propuesto un procedimiento de diseño y se ha aplicado a un estudio de caso de un edificio alto, y se han diseñado y evaluado varias soluciones estructurales (tanto hexagrids como diagrids) variando los parámetros geométricos principales de los patrones.

En el estudio de Chang y Seo (2013, p. 147) Las estructuras de mampostería se utilizan en todo el mundo para la construcción de edificios residenciales. En este estudio, para mejorar el rendimiento sísmico de las estructuras de albañilería, se desarrollaron bloques hexagonales y se probaron seis paredes de albañilería utilizadas en el bloqueo hexagonal para detectar fallas bajo carga lateral cíclica invertida, es decir, paredes con diferentes bloques hexagonales y con diferentes disposiciones de barras de refuerzo, sometidas a cargas cíclicas aplicadas.

En relación a una patente liberada de Petter Bruno Josef, (1954); este indica que los edificios, cuyas habitaciones individuales tienen una superficie basal hexagonal o poligonal, son conocidos, pero generalmente no se han adoptado. Las habitaciones

pequeñas y grandes de tal forma, sin ángulos reentrantes, no se pueden juntar para formar un plano útil de un edificio. Se presentan posibilidades mucho mejores si las habitaciones separadas no solo tienen forma hexagonal, sino que su superficie basal se compone de varios hexágonos para que las habitaciones tengan ángulos reentrantes.

Para Looor Cevallos, (2017). En su investigación del Estudio de la vulnerabilidad sísmica y diseño del reforzamiento estructural del edificio; recopila la mayor información posible y disponible del edificio debido a su antigüedad, se realiza el análisis de cada elemento estructural, así como un análisis global de la estructura para decretar un diagnóstico estructural y de seguridad sísmica, encontrándose que el edificio posee una excesiva flexibilidad lateral, mal comportamiento dinámico y deficiencias en sus elementos estructurales, dando como resultado una alta vulnerabilidad sísmica. Se buscaron varias alternativas de reforzamiento estructural para cubrir estos problemas, por lo que una opción fue la implementación de muros estructurales de corte en la periferia del edificio para no causar problemas de funcionamiento dentro de la edificación y no provocar muchos derrocamientos, y así conseguir rigidizar a toda la estructura y aliviar las deficiencias de sus elementos estructurales. Se trata una segunda opción de reforzamiento, la cual fue los muros de relleno en los pórticos, por ser una opción muy utilizada actualmente en reforzamientos de estructuras flexibles. Finalmente, se realiza el análisis de ambas alternativas determinándose que, la mejor opción son los muros de corte en la periferia del edificio y en toda su altura, pues le brinda una gran rigidez a toda la estructura y le da un comportamiento dinámico ideal, mientras que la otra alternativa no consiguió con rigidizar de manera adecuada a toda la estructura, debido a la configuración estructural del edificio.

Así mismo para Aquino y Rodríguez (2015), con un objetivo de comparar la respuesta estructural de los módulos “B” y “C” de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura. Para el desarrollo de su investigación consideraron dos modelos dinámicos. Así mismo, las dos edificaciones que se estudiaron fueron de la categoría esencial (NTP E.030, 2006), además el sistema estructural fueron pórticos de concreto armado y la cimentación de zapatas conectadas. El modelamiento de ambos edificios fue realizado en el programa ETABS en su versión 2015 teniendo en consideración los requerimientos dados en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Del análisis sísmico de los edificios con base empotrada se obtuvieron derivas máximas de 2.15% para el módulo “B” y de 2.43% para el módulo “C”, dichas derivas no cumplieron con lo establecido en la norma sismorresistente E.030 siendo estos edificios muy flexibles lateralmente. Determinaron que los periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas no poseen mayor variación entre los resultados obtenidos y concluyeron que el efecto de interacción suelo – estructura produce que los edificios presenten mejor respuesta estructural siempre y cuando los edificios cumplan con los requerimientos mínimos de la norma sismorresistente E.030 (Pág. 180).

Evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones educativas peruanas. (Lima – 2006), María Astorga y Rafael Aguilar presentaron esta investigación que tenía como objetivo identificar los principales sistemas estructurales de las edificaciones educativas peruanas, y desarrollar herramientas que sirvan para estimar las pérdidas y cuantificar su desempeño en diferentes escenarios de sismicidad.

Estudio del reforzamiento estructural del centro educativo Fermín del Castillo. (Lima – 2009), Fernando Calagua planteó una propuesta de intervención estructural en un

edificio de tres pisos denominado módulo 780, que en planta contaba con un sector rectangular adyacente a un octógono que había sido construido por INFES. La propuesta de refuerzo hacía que la nueva estructura cumpla con los requisitos de la norma E.030 del 2003 y que después de separar los bloques del octógono y de los rectángulos 780, se efectuaron las verificaciones para los elementos estructurales existentes en resistencia y condiciones de servicio, obteniendo que el bloque de los rectángulos requería mayor reforzamiento que el bloque del octógono.

Evaluación del desempeño sismorresistente de los colegios peruanos modernos. (Lima – 2004), Henry León y Úrsula Quintana presentaron esta investigación que tenía como objetivo el estudio analítico del comportamiento sísmico de un edificio de aulas típico, proyectado con la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente de 1997. Donde el desempeño se evaluó para diferentes niveles de severidad sísmica, empleando espectros de demanda y capacidad. Y teniendo en cuenta que para la determinación de la respuesta de la estructura en términos de distorsión máxima se empleó la metodología propuesta por Miranda con parámetros en el rango elástico y parámetros en el rango inelástico. Quiroz (2017). Y Loa Canales (2017) Los colegios típicos peruanos fueron construidos con el antiguo código de diseño sismorresistente de 1977, el cual no garantiza la seguridad de la población estudiantil. Los colegios tipo 780 PRE, aproximadamente 12000 edificaciones, son los más representativos construidos siendo casi el 25% del total de colegios del Perú.

Para Askari, Peyman. (2016), los sistemas estructurales actuales están experimentando una importante evolución para abordar la capacidad de proporcionar flexibilidad en el diseño y uso del edificio junto con la sostenibilidad (verde) y un sistema rentable. Este artículo describe un nuevo sistema estructural inventado, análisis estructural evolutivo

y diseño de edificios altos, que involucra todo el proceso de análisis, incluidas las etapas conceptuales y de diseño y la comparación con el edificio alto existente. Este estudio presenta un nuevo sistema estructural innovador, Beehive (Hexagrid), para edificios altos. Los resultados finales se logran modelando un edificio alto de 80 pisos con el ángulo y la topología optimizados de los miembros del hexágono mediante el análisis por computadora, el análisis de elementos finitos ETABS. La función objetivo de este sistema es utilizar un sistema estructural para maximizar la frecuencia de Eigen para resistir las respuestas dinámicas y minimizar el cumplimiento medio de las respuestas estáticas. El análisis de elementos finitos se lleva a cabo utilizando materiales estandarizados. Las topologías Hexagrid óptimas con la mayor rigidez finalmente se determinan para resistir los comportamientos estáticos y dinámicos.

1.3 Bases teóricas

1.3.1 Mecánica de suelos

Terzaghi (1973), definió la Mecánica de Suelos como *“la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas”*. Según Crespo (2004), define que el *“suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan”*

Y según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2019) en la norma E.050 de Suelos y Cimentaciones en el art. 1 menciona que *“los Estudios de Mecánica de Suelos se ejecutaran con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras.”*

1.3.2 Sistema dual.

Tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos:

- El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para ser capaz de resistir como mínimo 25% del cortante sísmico en la base.

Los dos sistemas deben diseñarse de manera que actuando en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación. Pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, de los pórticos con diagonales, puede ser menor del 75% del cortante sísmico en la base.

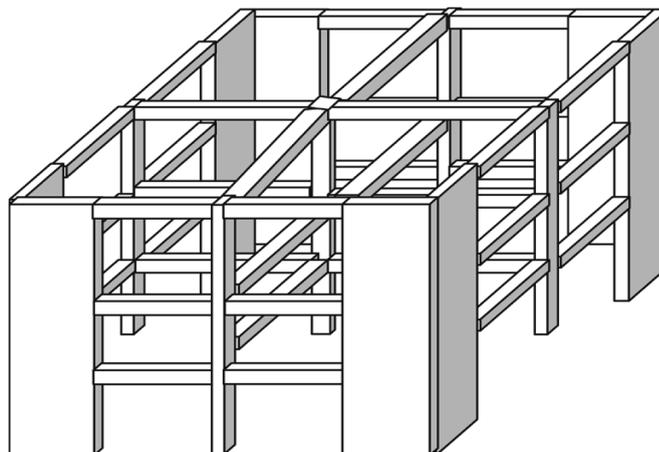


Figura 1. Sistemas estructurales dual.

1.3.3 Sismicidad en el Perú

Asimismo, Tavera (2008), menciona que la distribución de los epicentros sísmicos sugiere la presencia de tres fuentes sismogénicas. La primera produce los sismos denominados como “interplaca”, que no es más que la fricción superficial de las placas Nazca y Sudamericana, comprendiendo su recorrido desde tumbes hasta Tacna es decir toda la costa peruana.

La segunda es conocida históricamente en el Perú por los sismos de mayor magnitud, siendo los que más daño le han causado al país, ejemplo de ello es el sismo de Arequipa del 23 de junio (2001) y Pisco el 15 de agosto (2007) los cuales en la actualidad no se han recuperado en su totalidad. “Estos sismos se consideran como “corticales”, que es la deformación de la corteza terrestre como resultado de la formación de fallas geológicas y/o reactivación de la misma”.

Y, por último, el tercer sismo es conocido como “interplaca” que tiene su origen en la deformación que se produce en el interior de la placa de Nazca por debajo del continente.

1.3.4 Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo son aquellas que se transporta por el interior de la tierra, que están involucradas con la actividad sísmica son las ondas P y las ondas S.

1.3.4.1 Ondas longitudinales (P): el desplazamiento de las partículas se realiza a lo largo de la misma línea de propagación de la onda. Cuando la perturbación se propaga en el medio a través de compresión o dilatación de éste, pero sin que ocurra distorsión, se originan trenes de ondas longitudinales. La velocidad de propagación es más rápida que las ondas

secundarias y son capaces de atravesar materiales sólidos, líquidos o gaseosos.

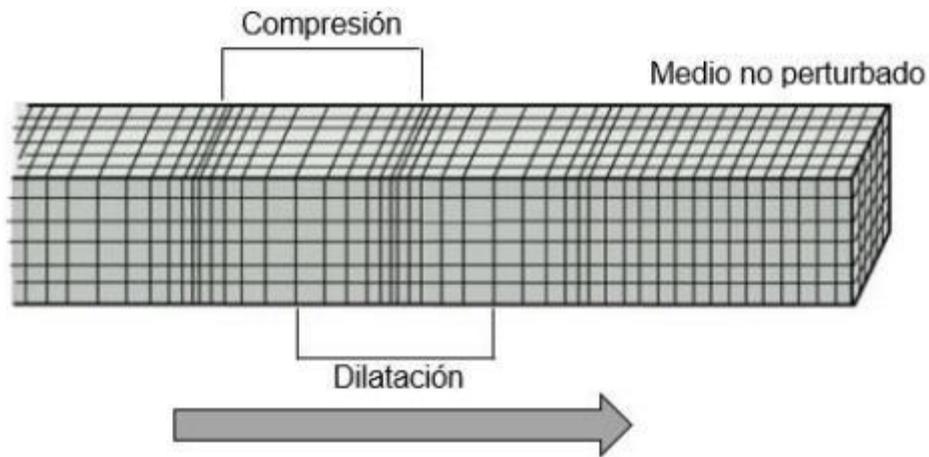


Figura 2. Ondas P.

Fuente: B. Bolt, 1999

1.3.4.2 Ondas transversales (S): según (SEMARNAT, s.f.) en las ondas transversales, el desplazamiento es perpendicular a la dirección de propagación del movimiento ondulatorio. Si la perturbación ocurre en el interior de un medio elástico, homogéneo e isótropo, las ondas se propagan en dicho medio distorsionándolo, pero manteniendo su volumen constante, se originan trenes de ondas transversales.

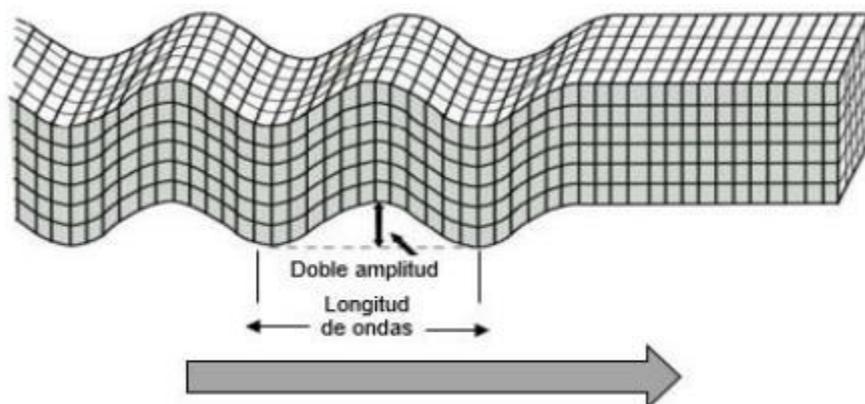


Figura 3. Ondas S.

Fuente: B. Bolt, 1999

1.3.4.3 Ondas superficiales: Según (SEMARNAT, s.f.) un tercer tipo de ondas son las ondas superficiales. El movimiento de las partículas provocado por estas ondas está restringido a la superficie del medio de propagación.

- **Las ondas de Love:** se parecen a las ondas S, su movimiento es horizontal, paralelo a la superficie del terreno, no presentan movimiento vertical. “Estas ondas son dañinas a las cimentaciones de las estructuras” (Bolaños & Monroy, 2004 p.18).

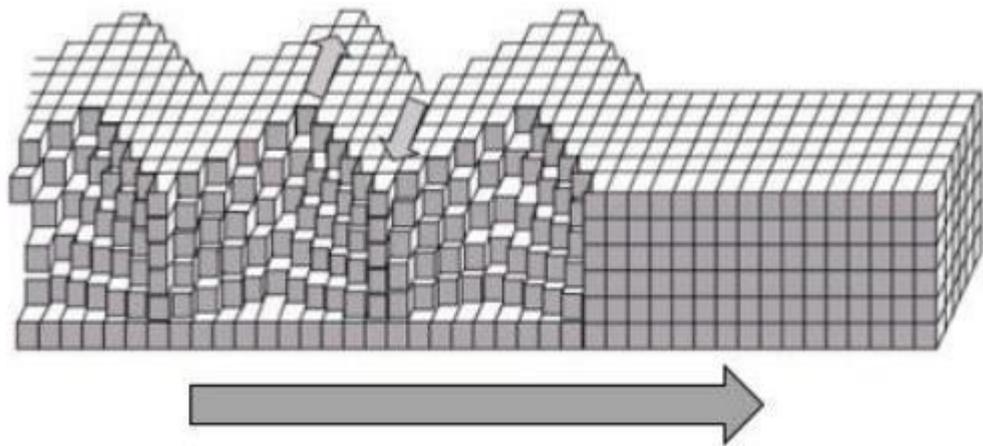


Figura 4. Ondas Love.

Fuente: B. Bolt, 1999

- **Las ondas de Rayleigh:** tienen movimiento tanto vertical como horizontal en un plano vertical. “Las ondas de Rayleigh causan un movimiento rodante parecido a las ondas del mar y sus partículas se mueven en forma elipsoidal en el plano vertical que pasa por la dirección de propagación” (Bolaños & Monroy, 2004).

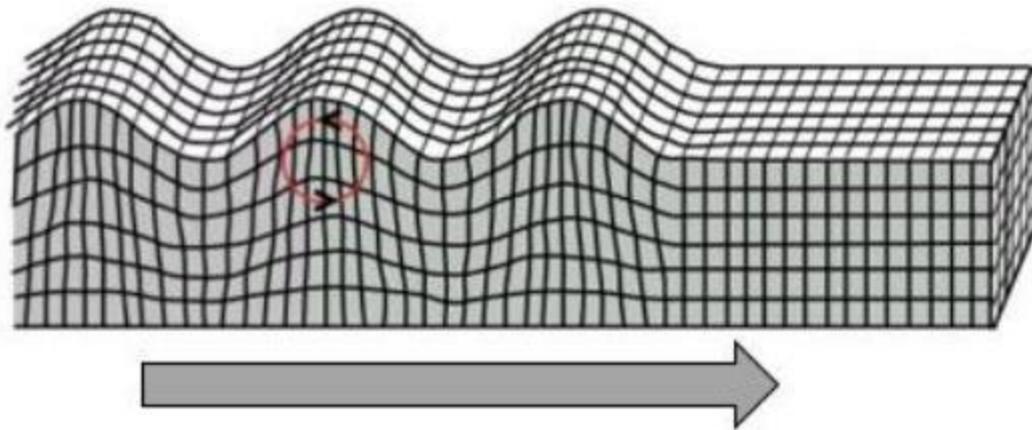


Figura 5. Ondas Rayleigh.

Fuente: B. Bolt, 1999

1.3.5 Análisis estructural

El análisis estructural consiste en calcular los esfuerzos internos (momento flector, fuerza cortante, etc.) a que estarán sometidos los elementos que conforman la estructura tales como: zapatas, cimientos corridos, vigas de cimentación, muros de ladrillos, columnas, vigas, placas, losas, etc. Para efectuar el análisis se hacen idealizaciones de cómo están conectados y apoyados los diferentes elementos entre sí; es decir, se crea modelos matemáticos que simulan el comportamiento del elemento en la realidad (Abanto, 2012 p. 16). Las características del comportamiento que por lo común interesa en el diseño de estructuras son:

- Resultantes de los esfuerzos como fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flector.
- Deflexiones
- Reacciones en los apoyos

El Análisis Sísmico Dinámico considera que la respuesta sísmica de una estructura se determina por medio de un análisis modal considerando un

comportamiento lineal o no-lineal. Desde este punto de vista se cuenta con dos caminos contemplados por la Norma Técnica E.030 del RNE: el análisis modal espectral y el análisis modal tiempo-historia.

La existencia de los modos como un espacio vectorial es extremadamente importante ya que permite reducir la solución de un sistema de n grados de libertad a la solución de n sistemas independientes de un grado de libertad, desacoplando de esa manera las ecuaciones del movimiento (Cutimbo, 2016).

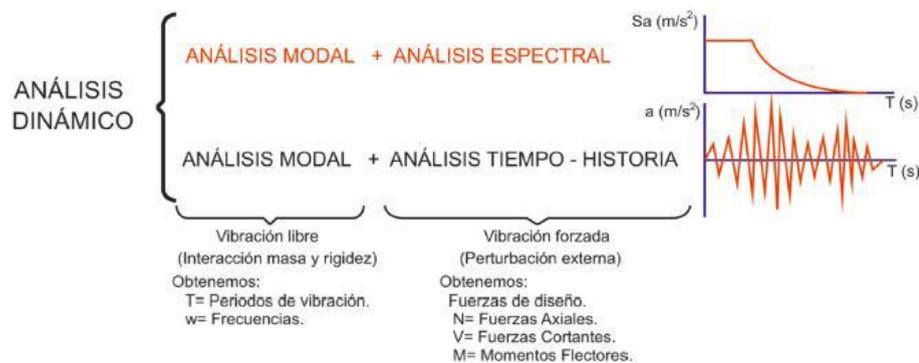


Figura 6. Esquema Conceptual del Análisis Dinámico.

Fuente: Cutimbo, 2016

Espectro de Respuesta, es cuando se trabaja con los espectros obtenidos de los registros de aceleración, combinando los aportes de cada modo, a fin de obtener un valor representativo de la respuesta, ya que la falta de simultaneidad de las máximas respuestas en cada modo de vibración implica la necesidad de combinarlas adecuadamente.

Análisis Dinámica Modal Espectral (Art. 4.6)

El Análisis modal es determinar las frecuencias naturales o frecuencias propias de una estructura, dichas frecuencias son determinadas cuando no hay cargas

actuando (ni el peso propio, pero si, su propia masa, es decir no depende de la gravedad).

Periodo de Edificación

Es el tiempo necesario para realizar un ciclo de movimiento. El siguiente cuadro nos puede dar un alcance del comportamiento del periodo, (altura promedio de entrepiso 3.00m).

Tabla 1 Periodos según números de Pisos.

Nº de Pisos	Nro mínimo de modos (>90% masa participativa)	1º Periodo (seg)
<5	3	<0.50
6 - 10	5	0.60 - 1.00
11- 15	8	1.10 - 1.50
>16	10	≥ 1.60

Nota: $T_1 = 0.10 (N_{pisos})$

Fuente: Cutimbo, 2016

Grados de libertad: Para Saucedo (2016), es el número mínimo de parámetros necesarios para describir de manera única la figura deformada de la estructura, estas corresponden a las rotaciones y las traslaciones libres en cada uno de los nudos de la estructura.

Rigidez: Capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.

Modos de Vibración: Forma de vibración libre de la estructura.

Tabla 2 Modos de Vibración.

	Modos
Modo 1 y 2	Traslación en “X” e “Y”
Modo 3	Rotación alrededor de “Z”
Modo 4	Traslación en “X” y Flexión en plano XZ
Modo 5	Traslación en “Y” y Flexión en plano YZ
Modo 6	Torsión alrededor de “Y” y desplazamiento en “X”
...	...

Fuente: Cutimbo, 2016

Periodos de edificación, es el tiempo requerido para dar un ciclo de movimiento o una oscilación.

1.3.6 Espectro de pseudo aceleraciones según NTE E030-2019

La Norma Técnica E030 Diseño Sismorresistente (2019) define los parámetros siguientes:

- **Zonificación**

Se presenta el Mapa de Zonificación Sísmica (ver Figura 02), el cual se divide en 4 zonas sísmicas. A cada zona se le asigna un factor. “Este factor se interpreta como la máxima aceleración horizontal en suelo rígido con una probabilidad en 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad”. (p. 7)



Figura 7. Zonas sísmicas.

Fuente: Norma Técnica Peruana E030-2019 Diseño Sismorresistente.

Tabla 3 Factores de zona "Z"

FACTORES DE ZONA	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma Técnica Peruana E030-2018 Diseño Sismorresistente.

- **Parámetros de sitio (S , T_P , T_L)**

Tabla 4 Factores de suelo

FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO	S₀	S₁	S₂	S₃
Z₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: Norma Técnica Peruana E030-2018 Diseño Sismorresistente

“Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas N° 3 y N° 4”. (p.12)

Tabla 5 Periodos cortos (TP) y largos (TL)

PERIODOS "T_P" Y "T_L"				
	Perfil de suelo			
	S₀	S₁	S₂	S₃
T_P S	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L S	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: Norma Técnica Peruana E030-2018 Diseño Sismorresistente

- **Factor de amplificación sísmica (C)**

“De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones: este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo”. (p.12)

$$T < T_p \quad ; \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad ; \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad ; \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Ecuación 1. Factor de amplificación sísmica.

Fuente: (E030-2018-Ec (art. 14)

Donde:

T = Periodo de la estructura

T_p = Periodo corto en la plataforma del factor C

T_L = Periodo de inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante

C = Factor de amplificación sísmica.

- **Categoría de las edificación y factor de uso (U)**

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N°5 de la NTE E.030, las cuales son: Edificaciones Esenciales (U=1.5), Edificaciones Importantes (U=1.3), Edificaciones Comunes (U=1.0). Para edificios con aislamiento en la base se puede considerar U=1.5 (p.13)

- **Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (R₀)**

Tabla 6 Coeficiente R₀ para sistemas estructurales de concreto armado.

SISTEMAS ESTRUCTURALES

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Coeficiente R_0 para sistemas estructurales de concreto armado.

Fuente: Norma Técnica Peruana E030-2018 Diseño Sismorresistente.

“Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis”. (p.15)

(*) *Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No aplicable a estructuras tipo péndulo invertido.*

- **Factores de irregularidad (I_a , I_P)**

- **Estructuras regulares:** “Son las que, en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades indicadas en las tablas N° 4 y N° 5. En estos casos el factor I_a e I_P ”. (p.16)

- **Estructuras irregulares:** “Son aquellas que presentan una o más de las irregularidades N°8 y N°9”. (p.16)

- **Los factores de irregularidad son:**

La Norma Técnica E030 Diseño Sismorresistente (2018, p. 16) establece lo siguiente:

- **El factor I_a :** Se determina como el menor de los valores de la tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis.
- **El factor I_P :** Se determina como el menor de los valores de la tabla N°8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en planta en las dos direcciones de análisis.

Si al aplicar las tablas N° 8 y N° 9 se obtuvieran valores distintos de los factores I_a o I_P para las dos direcciones de análisis, se toma para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

Entonces el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas R se determinará con la siguiente expresión:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_P$$

Ecuación 2. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R).

Fuente: (E030-2018-Ec (art. 22))

Donde:

R = *Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas*

R_0 = *Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas*

I_a = *Factor de irregularidad estructural en altura*

I_P = *Factor de irregularidad estructural en planta*

- **Espectro de pseudo aceleraciones**

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS \times g}{R}$$

Ecuación 3. Espectro de pseudo aceleraciones.

(E030-2018-Ec (art. 29.2.1))

Donde:

S_a = Aceleración espectral

Z = Factor de zona

U = Factor de uso

C = Factor de amplificación sísmica

S = Factor de suelo

R = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

g = Aceleración de la gravedad

- **Espectros de demanda sísmica**

Para propósitos de la evaluación del desempeño sísmico se han promovido los espectros de respuesta en formato ADRS (“Acceleration-Displacement Response Spectrum”, *S_a* vs. *S_d*) que grafica en el eje de las ordenadas la aceleración espectral y en las abscisas el desplazamiento espectral, utilizado principalmente en el Método del Espectro de Capacidad.

Para realizar la conversión del espectro de pseudoaceleraciones a formato ADRS se debe calcular el valor de *S_d* para cada punto de la curva *S_{ai}, T_i* mediante la siguiente ecuación:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \times S_{ai} \times g$$

Ecuación 4. Espectro de demanda sísmica.

Se ilustra el espectro de demanda según la norma E030.

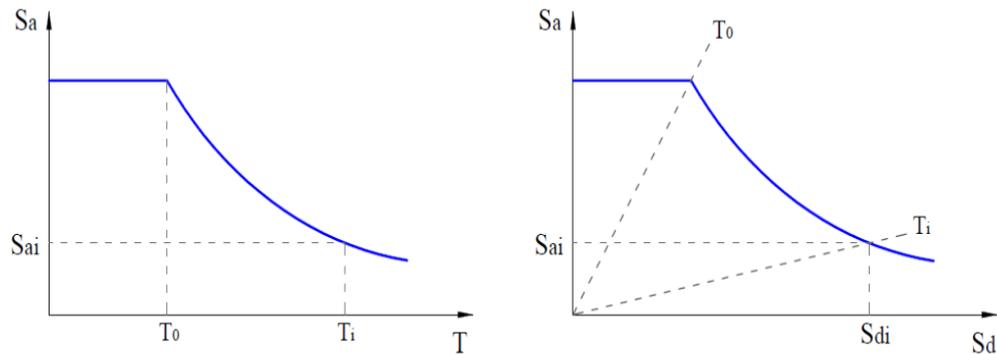


Figura 8. Conversión del Espectro de Respuesta

Fuente: ATC-40 (1996)

- **Respuesta elástica de estructuras**

En el método del Espectro de Capacidad se utiliza un espectro de capacidad y un espectro de demanda en formato ADRS. El punto de desempeño se obtiene de la intersección de ambos espectros. Cuando se espera que la respuesta estructural se produzca en el rango elástico, el punto de desempeño (dp , ap) puede obtenerse intersectando directamente los espectros de demanda y capacidad, según se muestra en la Figura 04.

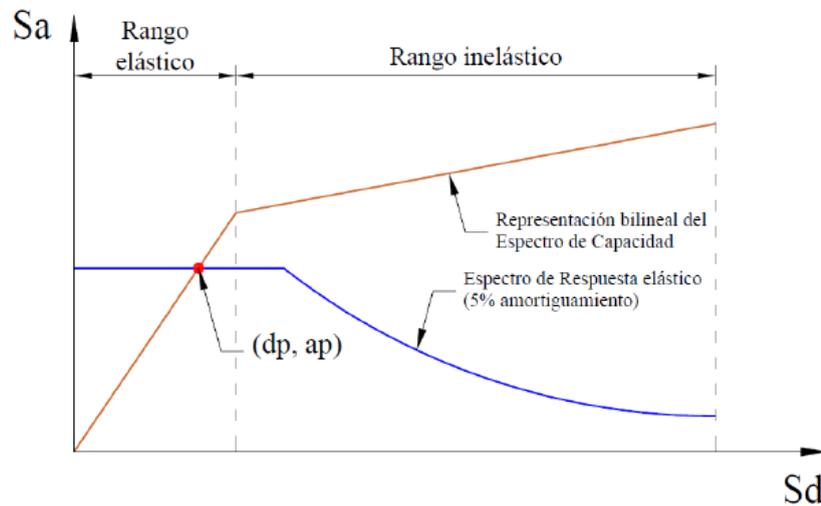


Figura 9. Respuesta elástica de estructuras.

Fuente: ATC-40 (1996)

- **Respuesta inelástica de estructuras**

Para sismos de mayor escala se espera que el edificio incurra en el rango inelástico, formando rótulas plásticas por donde se libera energía. La demanda sísmica es función de las características dinámicas del edificio (masa, rigidez y amortiguamiento), por lo que su rigidez cambia al incursionar en el régimen inelástico.

Los espectros de demanda han sido calculados sobre estructuras con comportamiento elástico, por ello se denominan Espectros de Respuesta Elástico.

Según el ATC-40 el comportamiento inelástico de una estructura puede representarse por medio de un amortiguamiento viscoso equivalente, el mismo que depende del nivel de desplazamiento inelástico alcanzado. Así, para cada punto del tramo inelástico de la curva de capacidad se puede obtener un amortiguamiento viscoso equivalente y un nuevo espectro de demanda. En

la Figura 05 se muestra la reducción del espectro de respuesta elástico para la obtención del punto de desempeño en el rango inelástico (respuesta inelástica).

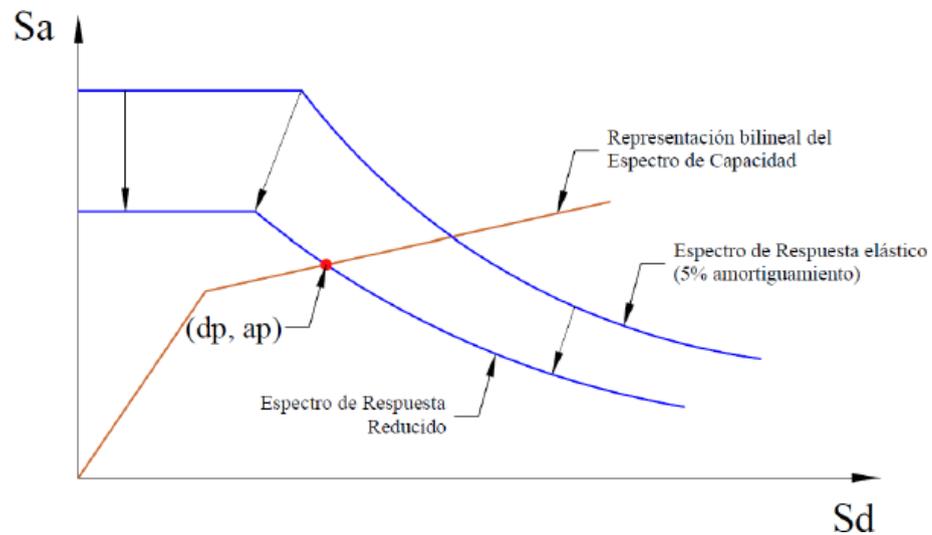


Figura 10. Respuesta inelástica de estructuras.

Fuente: ATC-40 (1996)

- **Comportamiento de edificaciones ante acciones laterales**

Las cargas de gravedad son la carga principal en un edificio. Sin embargo, a medida que un edificio se vuelve más alto, debe tener la resistencia y rigidez adecuadas para resistir las cargas laterales impuestas por vientos y sismos. “Cuando la altura de un edificio aumenta, la rigidez adicional requerida para controlar la deflexión, en lugar de la resistencia de los miembros, domina el diseño” Balendra (1993).

- **Fuerza Cortante Mínima (Art. 4.6.4)**

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

Factor de Escala:

$$FE = \left(\frac{ZUSg}{R} \right) * \frac{0.80 * V_{Estático}}{V_{Dinámico}}$$

Ecuación 5. Para estructuras regulares.

$$FE = \left(\frac{ZUSg}{R} \right) * \frac{0.90 * V_{Estático}}{V_{Dinámico}}$$

Ecuación 6. Para estructuras irregulares.

- **Análisis Modal:** es el proceso de la determinación de las características dinámicas inherentes a un sistema mecánico y necesario para la posterior formulación de un modelo matemático del comportamiento dinámico de dicho sistema. Los parámetros modales (frecuencias, modos naturales de vibración y amortiguamiento) propios del sistema, que dependen de la distribución de sus características de la masa, rigidez y amortiguamiento.
- **Deriva de entrepiso:** Es el cociente entre la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos pisos consecutivos y la altura libre o separación de los mismos. (Norma E.030).

- **Diafragma rígido:** Se produce cuando el desplazamiento de cada nudo de la losa depende del desplazamiento de su centro de masa.
- **Elemento estructural:** Elemento que soporta carga axial, de corte o momento flector, pueden ser vigas, columnas, losas, placas, muros portantes.
- **Estructura:** Es el armazón que le da forma a un edificio, lo sostiene, fija al suelo y hace que las cargas se transmiten a este. La estructura hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos.
- La presente investigación se justifica en la incorporación de modelos nuevos y pedagógicos según la norma según Resolución Viceministerial N°084-2019-MINEDU, la misma que su anexo N°2 variabilidad de la forma de los ambientes, establece esquema de ambiente Hexagonal, así mismo que los ambientes educativos deberán ser apropiadas a las nuevas metodologías, donde los estudiantes trabajan en grupos pequeños, la misma que es la más eficaz en aprendizaje colaborativo, obteniendo como beneficiados de modo directo serán los estudiantes y docentes.
- La principal limitación de la investigación es el cierre de las instituciones educativas en todo el país por efectos de la pandemia; además de contar con poca información sobre el tema. A pesar de estas limitaciones se pudo realizar el estudio planteado ya que existen una Resolución Viceministerial N°084-2019-MINEDU.
- Asimismo, se reconoce la limitación que se tiene en realizar ensayos reales que verifiquen los planteamientos de este estudio, para lo cual según el estudio de Silva (2019) “Utilización de Métodos Experimentales y de Simulación Numérica para el estudio de la Microzonificación Sísmica del distrito de Trujillo”, donde se

caracteriza las propiedades geofísicas y mecánicas del suelo en el distrito de Trujillo, así como de la misma que forma en la presente investigación la norma E030 y E050 del Reglamento nacional de Edificaciones.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el resultado de la Comparación de la respuesta estructural de un módulo educativo de forma hexagonal, con diferentes tipos de respuesta sísmica de suelo, del distrito de Trujillo, La Libertad - 2020?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Como objetivo general de la investigación se realizó, la comparación de la respuesta estructural de un módulo educativo de forma hexagonal, con diferentes tipos de respuesta sísmica de suelo, del distrito de Trujillo, la Libertad – 2020.

1.5.2. Objetivos específicos

- Modelar estructuralmente un Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo, según los parámetros de métodos pedagógicos.
- Obtener su espectro de respuesta, según las propiedades geofísicas del suelo en el distrito de Trujillo.
- Determinar la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo.

- Comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la Norma Técnica Peruana E050 y E030

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Mediante la comparación de la respuesta estructural de un módulo educativo de forma hexagonal, con diferentes tipos de respuesta sísmica de suelo según la norma E-030 y E-050 en la ciudad de Trujillo, se determinará la comparación y el tipo de reforzamiento estructural de la estructura según los tipos de suelos normativos.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Al realizar el modelamiento estructural un Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo, cumpliremos lo establecido en la R. V. N°084-2019-MINEDU, los parámetros de métodos pedagógicos.
- Si obtenemos los espectros de respuesta, según las propiedades geofísicas, con criterios de velocidad, obtendremos valores de respuesta máxima de los suelos, lo que es requisito importante para mejorar los resultados de la respuesta estructural del módulo educativo, en el distrito de Trujillo.
- Al determinar la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo, comprobaremos si esta cumple con la validación de la estructura según la Norma Técnica Peruana E030.

- Al comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la Norma Técnica Peruana E050 y E030, determinaremos finalmente las mejoras ó la validación estructural de las mismas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo no experimental porque no se manipula las variables respuesta estructural y tipos de suelos; dado que se basa en la observación de estas en un tiempo determinado. Por lo tanto, el diseño de investigación es transversal ya que es la recolección de datos con el propósito de describir las variables y analizar su comportamiento en un mismo tiempo.



Figura 11. Diseño de investigación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Operacionalización de la variable dependiente.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Respuesta estructural	Comportamiento experimentado por una estructura ante un sismo.	Se realizará la verificarán comportamiento de la estructura después de haber sido analizadas a través de los modelos con y sin considerar flexibilidad en la base de la fundación	Análisis Dinámico Modal Espectral	Modelamiento estructural Respuesta por piso Fuerzas internas	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema estructural para cada dirección. • Propiedades de los materiales • Periodos de vibración • Máximos desplazamientos laterales. • Derivas de entrepiso. • Fuerzas normales. • Fuerza cortante. • Momentos Flectores.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
<i>Respuesta sísmica de suelo</i>	Un espectro de respuesta es un valor utilizado en los cálculos de ingeniería sísmica, que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta.	Caracterización de los diferentes tipos de suelos según estudios geofísicos midiendo velocidades del sitio, así como de la normativa E050 y E030 para la construcción de los espectros de respuestas y medir cómo responde la estructura a las acciones que se le inducen desde el exterior.	<i>Espectro de Respuesta</i> Exploraciones geofísicas MASW	<i>Parámetros sísmicos</i> <i>Profundidad</i> <i>Velocidad onda S</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Factor de zona</i> • <i>Factor de suelo</i> • <i>Factor de uso</i> • <i>Factor de reducción de fuerzas sísmicas.</i> • <i>Factor de amplificación sísmica</i> <i>Perfil sísmico del suelo.</i>

Fuente: Elaboración propia

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

La población para la presente investigación está constituida por un módulo educativo de forma hexagonal según la norma técnica de criterios de diseño para locales educativos de primaria y secundaria del RVM-N084-MINEDU; con los 4 tipos de suelos, según la norma E030 y la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo.

Muestra

“Muestra no probabilística o dirigida es un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 176).

Se realizará mediante métodos estadísticos, porque a partir de la información obtenida se recolecta, presenta y caracteriza un conjunto de datos con el fin de describir apropiadamente las diversas características de ese conjunto.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

Los datos recolectados para esta investigación se obtendrán mediante la técnica de la recopilación documental, según la norma técnica de criterios de diseño para locales educativos de primaria y secundaria del RVM-N084-MINEDU; con los 4 tipos de suelos, mediante un análisis dinámico, para el distrito de Trujillo – 2020 y la técnica de la observación, debido a que se ha hecho un registro visual de los resultados obtenidos en el software computarizado ETABS.

2.3.2. Instrumento para la recolección de datos

Los instrumentos de medición empleado para las variables consideradas son: una ficha de observación correspondiente a los resultados provenientes del modelamiento estructural del módulo educacional de forma hexagonal y de la recopilación documental, proveniente de exploraciones geofísicas MASW, realizada en la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Búsqueda bibliográfica

Se recolectó información para ampliar los conocimientos de las variables de estudio, procedimiento que se hizo a través de la recopilación documental, proveniente de exploraciones geofísicas MASW, realizada en la

microzonificación sísmica del distrito de Trujillo, finalmente se realizó el estado del arte, para elegir la metodología más adecuada a emplear en la investigación.

2.4.2. Zonas de estudio

Para efectos de la investigación la zona de estudio son todos los tipos de suelos del distrito de Trujillo, con alcance de todos los tipos de suelo normativos, con la zona elegida se procedió a delimitar en función de nuestro estudio.

2.4.3. Fichas de observación

La ficha de observación correspondiente a los resultados provenientes del modelamiento estructural del módulo educacional de forma hexagonal, para que nos permitirá definir adecuadamente los parámetros, este formato está presentado a detalle en el marco teórico.

2.4.4. Procesamiento de datos

Culminado la visita de campo, se procedió a ordenar e interpretar valores registrados y obtenidos, en las fichas de observación, usando el software Microsoft Excel, el análisis de datos se realizó en el software ETABS, asimismo se usó software de diseño AutoCAD para el levantamiento de geometría de los planos.

La investigación inicia con la elaboración del modelamiento de un módulo educativo de forma hexagonal, la construcción de los diferentes tipos de respuesta sísmica del suelo se tendrá como inicio la investigación realizada por

Silva (2019), Posteriormente se realiza el predimensionamiento de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones vigente al año 2020. Después de eso se efectúa el metrado de las cargas por piso, calculando el peso total de la edificación, que es igual a la suma de la carga muerta con la carga viva y el peso sísmico total de la edificación, que corresponde a la suma de la carga muerta con el 50% de la carga viva. A continuación, se realiza el cálculo de las masas traslacionales y rotaciones, presión estática y rigidez para los modelos dinámicos. Posteriormente se modela la edificación considerando y sin considerar la interacción suelo estructura y se procede a recolectar los datos generados en la ficha de observación, a partir de los resultados se compara los periodos de vibración, desplazamientos máximos y las fuerzas internas máximas. Es así que se determinará la mejor respuesta estructural de una edificación con sistema estructural Dual. Finalmente, se realizará recomendaciones para futuras investigaciones relacionados al tema.

Procesamiento de la información

En la siguiente figura se muestra el procedimiento para concluir con los objetivos presentados.

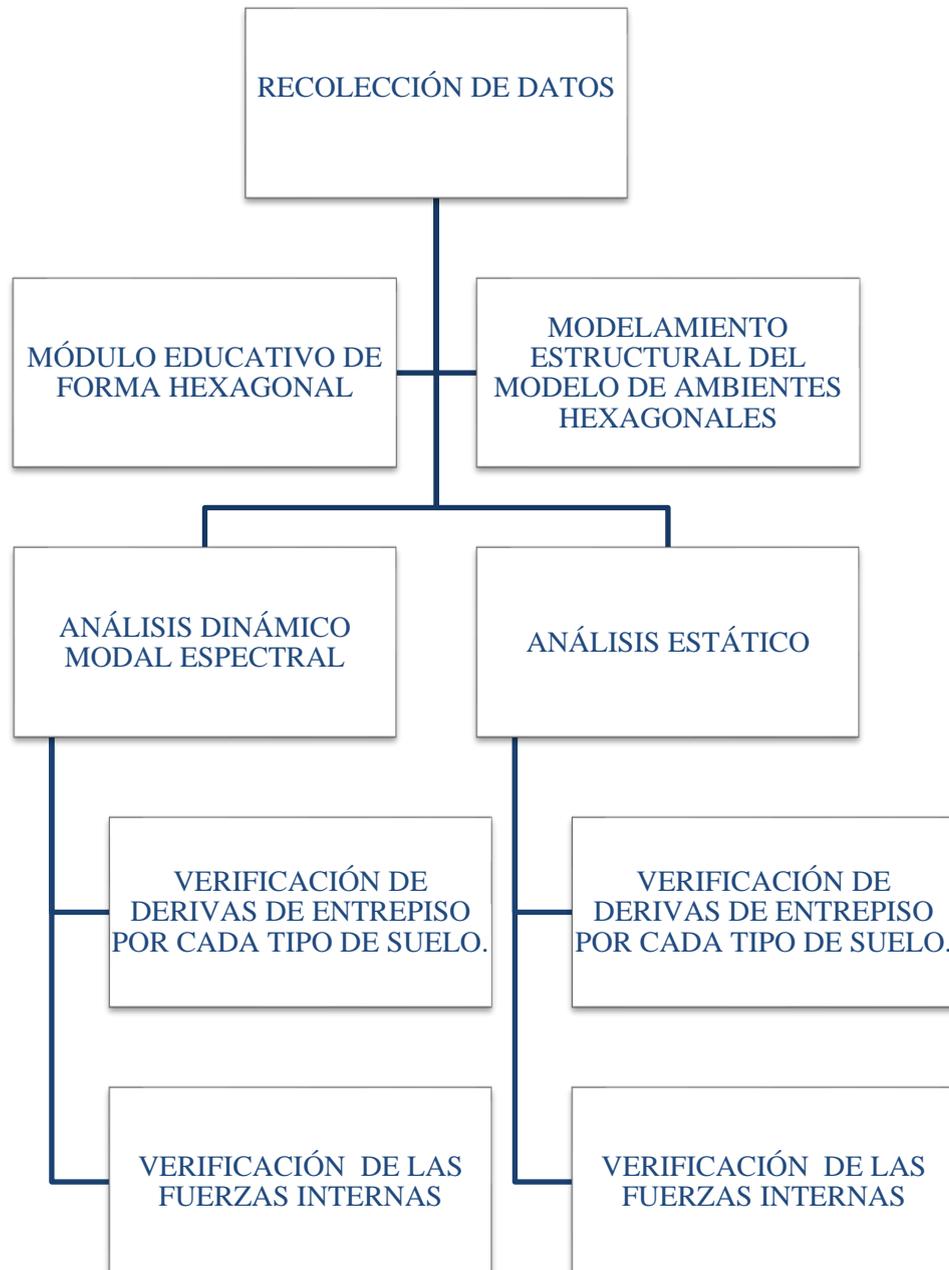


Figura 15. Procedimiento y recolección de datos.

Fuente: Elaboración propia

La investigación inicia con la elaboración de los planos de arquitectura, estructuras y cimentaciones, el estudio de mecánica de suelos será extraído de la investigación realizada por el Ing. Enrique F. Luján Silva que lleva como título: Utilización de Métodos Experimentales y de Simulación Numérica

para el estudio de la Microzonificación Sísmica del Distrito de Trujillo. Posteriormente se realiza el predimensionamiento de la loza aligerada, vigas, columnas y zapatas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones vigente al año 2020. Después de eso se efectúa el metrado de las cargas por piso, calculando el peso total de la edificación, que es igual a la suma de la carga muerta con la carga viva y el peso sísmico total de la edificación, que corresponde a la suma de la carga muerta con el 50% de la carga viva. A continuación, se realiza el cálculo de las masas traslacionales y rotaciones, presión estática y rigidez para los modelos dinámicos. Posteriormente se modela la edificación considerando y sin considerar la interacción suelo estructura y se procede a recolectar los datos generados en la ficha de observación, a partir de los resultados se compara los periodos de vibración, desplazamientos máximos y las fuerzas internas máximas. Es así que se determinará la mejor respuesta estructural de una edificación aporticada con zapatas aisladas considerando o sin considerar la interacción suelo estructura. Finalmente, se realizará recomendaciones para futuras investigaciones relacionados al tema.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

La presente investigación fue realizada a un módulo educativo en forma hexagonal, un tipo de edificación que alberga a una gran cantidad de personas y el colapso de la misma ante un evento sísmico podría ser una tragedia que no queremos lamentar; en este punto radica la principal importancia de este trabajo, de tal manera que se desea conocer la respuesta estructural considerando el efecto de interacción suelo – estructura. Y así empezar a realizar el diseño de futuros edificios seguros ante posibles sismos.

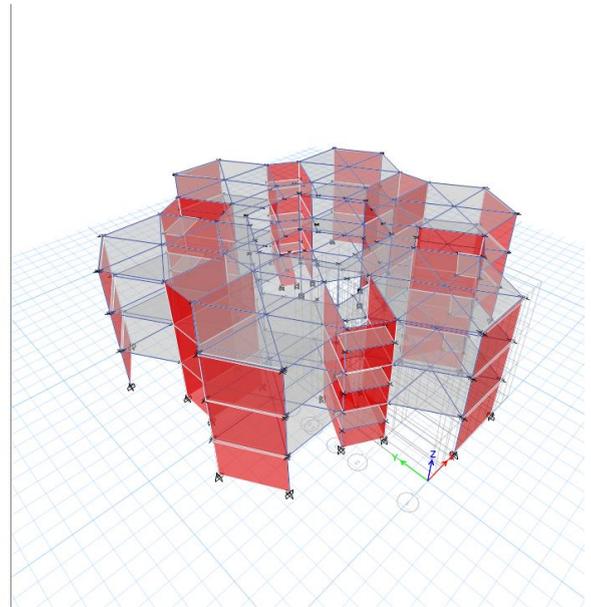
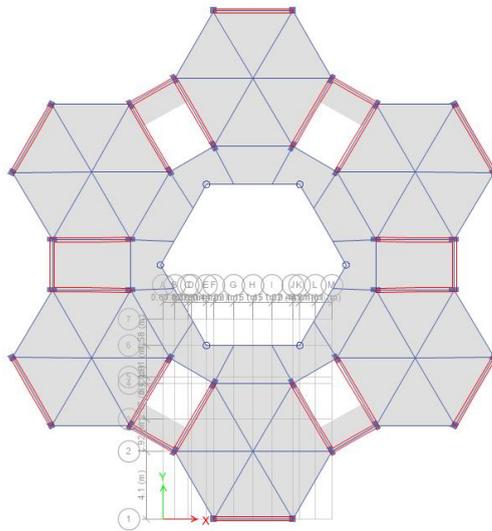
Para dar respuesta a nuestro primer objetivo: **Modelar estructuralmente un Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo**, según los parámetros de métodos pedagógicos. Se obtuvo los siguientes resultados:

Los resultados de estos análisis serán comparados con el modelo Empotrado de la Norma E.030 de la normativa peruana que considera rigidez infinita en los apoyos, asumiendo que el suelo no influencia en el comportamiento de la estructura, además de omitir cambios significativos en la respuesta de las edificaciones generados por el suelo.

Descripción del proyecto

El proyecto corresponde a un edificio de tres niveles con una altura de 10.50m de altura destinada para aulas, proyectada para diferentes tipos de suelos destinados para el Distrito de Trujillo – Provincia de Trujillo – Departamento La Libertad.

El sistema estructural del edificio es Dual. El área construida consta de 347.58 m², el sistema de techado es de losa aligerada en una sola dirección y una altura típica de entrepiso de 3.00m.



Pre dimensionamiento

Los resultados obtenidos en el pre dimensionamiento están basados en la Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Pre dimensionamiento de losa aligerada

La Norma E.060 el peralte mínimo de una losa aligerada adecuada para no hacer la verificación de deflexiones será obtenida a partir de la siguiente expresión:

$$h \leq \frac{l}{25}$$

Ecuación 14. Espesor de la losa aligerada.

Donde:

h: Peralte de la losa aligerada

l: Luz libre máxima de la losa aligerada

Entonces, al tener una luz libre máxima de 6m. se tendrá un peralte de igual a 20cm, lo cual es recomendable para losas aligeradas conformadas por ladrillos de ancho igual a 30cm, viguetas de 10cm y con una losa superior de 5cm, que tengan sobrecargas menores

a 300 kg/cm² y luces menores de 7.5 m.

pre dimensionamiento de vigas

La Norma E060 indica que para vigas que formen parte de un sistema aporticado, las cuales resistirán fuerzas de sismos, el ancho mínimo debe ser de 25cm ni tampoco debe ser mayor al ancho de la columna de soporte.

Para pre dimensionamiento del peralte se suele usar un factor que va de 1/10 a 1/12 de luz libre entre caras de columnas y para la base 1/2 a 2/3 del peralte de la viga, sin embargo, se usará 1/10 para el peralte y 1/2 para la base con fines prácticos.

Por lo tanto, para las vigas longitudinales se tiene una luz libre máxima de 5.40m., por ende, se obtiene un peralte de 55cm y una base de 30cm y para las vigas transversales se tiene una luz máxima de 5.70m., por ende, se obtiene un peralte de 50cm y una base de 25 cm. Sin embargo, por estar del lado de la seguridad y ayudar al proceso constructivo con una misma dimensión de encofrado, se decidió tener un peralte de 70 cm y una base de 40 cm en todas las vigas de la edificación.

Pre dimensionamiento de columnas

Existen cuatro tipos de columnas según su ubicación, Central(C1), Externa pórtico principal(C2), Externa pórtico secundario(C3), Esquina(C4) para determinar las cargas que soporta cada columna, primero, se debe determinar el área tributaria de cada columna, luego se procede a multiplicar una carga P por el número de piso. Los cuales se efectúan de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$\text{Central (C1)} = \frac{P_{servicio}}{0.45 \times f'c}$$

$$\text{Externa, esquina (C2, C3 y C4)} = \frac{P_{servicio}}{0.35 \times f'c}$$

$$P_{servicio} = P \times A_{tributaria} \times N_{pisos}$$

Donde:

Atriburia: Área

tributaria $P_{servicio}$:

Peso de servicio

N: Numero de piso

K: Factor que depende del tipo de suelo

Q_{adm} : Capacidad admisible del terreno de fundación de acuerdo al proyecto se conoce los siguientes datos

$$P = 1500 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$$

Categoría A

$$N = 3 \text{ pisos}$$

$$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Como se señala, es necesario conocer el área tributaria, por lo tanto, en la siguiente figura se muestra el área tributaria que corresponde a cada tipo de columna sobre cargas por cada tipo de columnas, se realiza el cálculo de las áreas tributarias que se muestran a continuación se muestra el resumen de las áreas tributarias del proyecto en donde el área tributaria de la columna C2 y C3 son iguales y se uniformizó área tributaria de la columna C1 igual a 30m².

Tabla 9 Resumen de áreas tributarias

Columna	Area (m ²)
Externa portico principal (C2, C3)	12.00
Central (C1)	15.00
Esquina (C4)	7.00

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, en la siguiente tabla se muestra las columnas como pre

dimensionamiento inicial que más adelante serán verificados bajo ciertos criterios.

Tabla 10 Pre dimensionamiento inicial de columnas

COLUMNA	AT (m ²)	C.V.	C.M.	P servicio (kg)	Área de Columna (cm ²)	Sección cuadrada
Central (C1)	15.00	0.25	0.37	77.18	1600.00	Diámetro 40cm
Externa pórtico (C2, C3)	12.00	0.25	0.37	68.74	1600.00	40x40
Esquina (C4)	7.00	0.25	0.37	18.10	1256.64	40x40

Fuente: Elaboración propia

Para la corroborar el correcto pre dimensionamiento de la columna existen 3 criterios.

El primer criterio está en función a la altura de primer piso debido a que se considera la columna desde el techo hasta la zapata por ende esta representa la mayor dimensión.

- Si es una columna centrada se divide en 8 la altura del primer piso y el resultado aproximado al 0.05 será el peralte.
- Si es una columna excéntrica se divide en 9 la altura del primer piso y el resultado aproximado al 0.05 será el peralte.
- Si es una columna esquinada se divide en 10 la altura del primer piso y el resultado aproximado al 0.05 será el peralte.

Para efectos de este estudio se ha tomado en consideración cuando la columna es centrada debido a que está ubicación es la más crítica.

El segundo criterio consiste en calcular las dimensionales de la columna en función al peralte de la viga las cuales deben estar entre 0.8 y 0.9 veces.

El tercer y último criterio señala que es muy importante que el cociente entre la rigidez de la columna y la viga debe ser mayor o igual que 1.2 con el fin de evitar la rápida aparición de la rotura plástica.

Se realiza la verificación de las columnas poniendo énfasis en el último criterio, concluyendo que la sección de 40x40 cm, evita la rotura plástica.

Pre dimensionamiento de zapatas

Se ha mencionado que existen cuatro tipos de columnas según su ubicación, Central (C1), Externa pórtico principal (C2), Externa pórtico secundario (C3), Esquina (C4), los cuales se van a encargar de soportar una única columna y de transmitir las cargas al suelo de fundación para determinar las cargas que soporta cada columna, primero, se debe determinar el área tributaria de cada columna, luego se procede a multiplicar una carga P por el número de piso.

Los cuales se efectúan de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$A_{Zapata} = \frac{P_{Servicio}}{(K * Q_{adm})}$$

Ecuación 14. Área de la Zapata

Donde:

A. zapata: Área de la zapata.

P. Servicio: Peso de servicio.

K: Factor que depende del tipo de suelo.

Q. adm: Capacidad admisible del terreno de fundación.

Para el pre dimensionamiento de zapatas es necesario conocer la capacidad admisible y como ya se ha mencionado será un dato extraído a partir de la investigación del Ing.

Para dar respuesta a nuestro **Segundo objetivo**: Obtener su espectro de respuesta, según las propiedades geofísicas del suelo en el distrito de Trujillo. Se obtuvo los siguientes resultados:

Enrique F. Luján Silva (2018) que tuvo la finalidad de determinar los tipos de suelo existentes en cuanto a su profundidad y su distribución en el distrito. Obtener los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, definir la posición del nivel freático, determinar rangos de valores de capacidad de carga, evaluar probables zonas de comportamiento crítico y determinar el comportamiento de los suelos frente a movimientos sísmicos. Las pruebas de campo fueron realizadas mediante calicatas y sondajes, empleando los equipos DPL (ensayo de penetración dinámica ligera) y SPT (ensayo de penetración estándar). Como resultado se presentó el mapa de microzonificación geotécnica de Trujillo donde se pudo identificar cuatro zonas geotécnicas en el distrito de Trujillo, de acuerdo a las características físicas y mecánicas de los suelos de fundación.

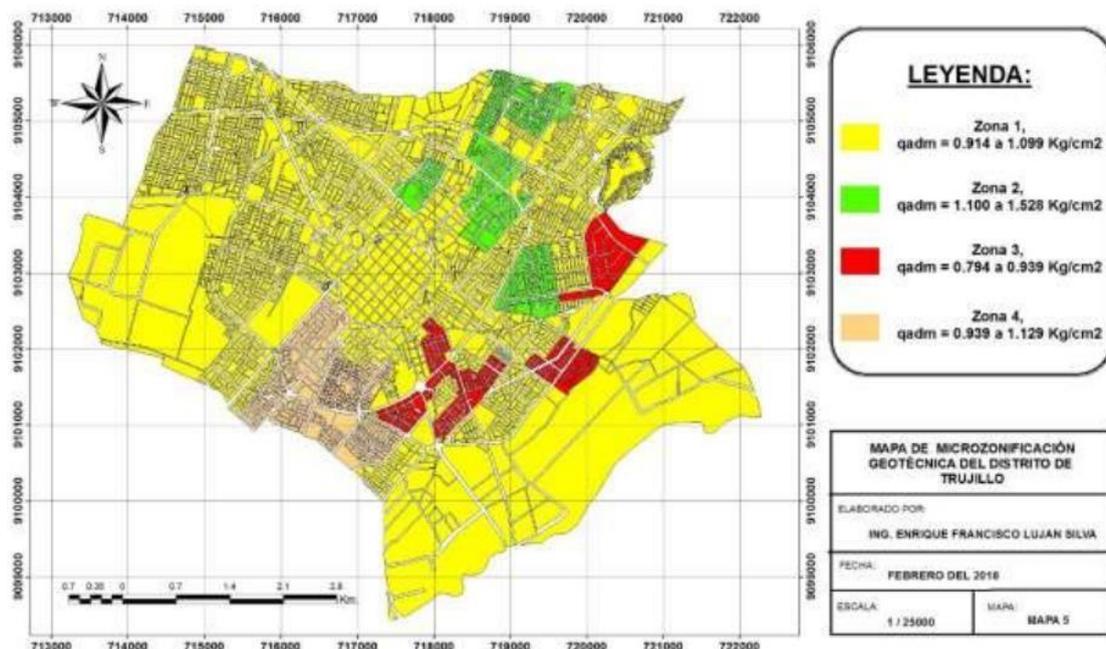


Figura 18. Mapa de Microzonificación Geotécnica del Distrito de Trujillo Fuente: Lujan, E (2018)

La investigación se ubica en la Urbanización San Isidro II Etapa del Distrito de Trujillo y según el anexo 3: Distribución de las urbanizaciones del distrito de Trujillo por zonas (I, II, III, IV), el proyecto pertenece a la Zona I donde predomina arena pobremente graduada (SP) o arena pobremente graduada con limos (SP-SM), con cierta presencia de gravas de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " y una capacidad admisible que oscila entre 0.914 y 1.009 kg/cm².

Para dar respuesta a nuestro **Tercer objetivo**: Determinar la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo. Se obtuvo los siguientes resultados:

Ante lo antes mencionado se tiene que: Para para efectos de la investigación se usará un $Q_{adm} = 1.000 \text{ kg/cm}^2$ y un factor $K = 0.8$

Materiales:

CONCRETO

- Concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad $= 15000 \times \sqrt{210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$
- Poisson $U = 0.2$
- Peso por unidad de volumen $= 2400 \text{ kg/m}^3$

ACERO

- Acero $= 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad $= 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2000000 \text{ kg/cm}^2$
- Peso por unidad de volumen $= 7.849 \text{ Tn/m}^3$

Estimación del peso (P)

La estructura en estudio está dentro de la categoría de edificaciones esencial (A2), el peso sísmico de la edificación será igual a la suma de la carga muerta con el 50% de la carga viva.

- Aulas = 250kg/m²
- Corredores y escaleras = 400 kg/m²
- Tabiquería = 150 kg/m²
- Carga viva de techo = 100 kg/m²
- Acabado = 100 kg/m² = se aplicará =150 kg/m²

Tabla 11 Peso sísmico total de las edificaciones

Piso	Carga Muerta (CM)	Carga Viva (CV)	CM+50%CV
3	170.89	73.67	189.31
2	170.89	73.67	189.31
1	179.10	73.67	197.52
Total (Ton)		754.40	

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los momentos de inercia se usa el Teorema de Steiner con la finalidad de llevar el centro a de masa de cada figura al centro de masa de la edificación.

Tabla 12 Centro de masa de la edificación

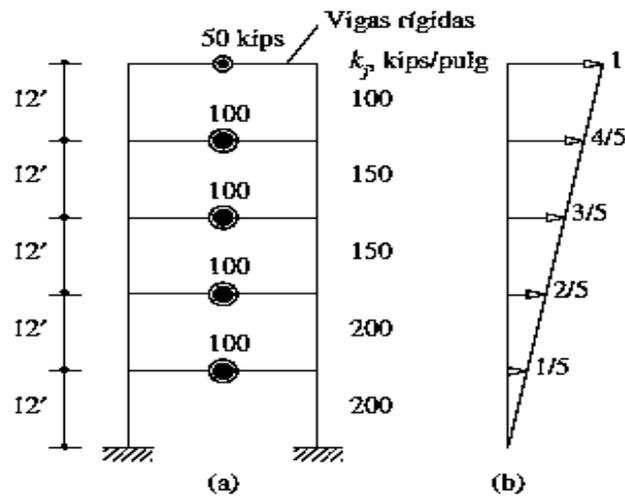
TABLE: Centers Of Mass And Rigidity					
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM
		tonf- s ² /m	tonf- s ² /m	m	m
Story1	D1	90.2898	90.2898	5.40	15.34
Story2	D2	89.23978	89.23978	5.40	15.32
Story3	D3	78.19076	78.19076	5.40	15.35

Fuente: Elaboración propia

Análisis Sísmico Estático

Parámetros de sitio y de configuración de la estructura

La fuerza cortante total en base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:



Fuente: Anil K. Chopra P.342

Ecuación 18. Fuerza cortante en la base

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

$$F_i = \alpha_i * V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i (h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j (h_j)^k}$$

Donde:

Z: factor de zona

U: factor de uso e importancia

C: factor de amplificación sísmica

S: factor de suelo

R: coeficiente de reducción sísmica

P: peso de la edificación.

V: Cortante basal

Fi: Fuerza lateral

La Zonificación

Consideraciones de la edificación:

- Departamento: La Libertad
- Provincia: Trujillo
- Distrito: Trujillo

Tabla 13 Factores de zona "Z"

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

Según el anexo N° 01 de la Norma E.030 y al mapa de zonificación sísmica, la ciudad de Trujillo se encuentra ubicada en la Zona 4, asignando un factor $Z = 0.45$.



Figura 20. Mapa de Zonificación Sísmica

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2018

La edificación a analizar es para centros educativos, y según a la importancia que describe la Norma E.030 lo clasifica como edificaciones esenciales que corresponde a la Categoría "A" y el factor uso $U = 1.5$.

Factor de suelo

Si la edificación a evaluar se ha establecido por criterios de alta amenaza sísmica en la zona 4 y en este aspecto los factores de suelo empleados serían las indicadas en la norma, la misma que se detallan:

Tabla 15 Factor de Suelo.

FACTOR DE SUELO "S"				
Zona \ Suelo	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10

Fuente: Sencico, 2019

Factor de amplificación sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) con un valor de: 2.50 por su altura de tres niveles.

Tabla 16 Factor de Amplificación sísmica.

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN	
Período	C
$T < T_p$	2.5

$T_P < T < T_L$	$2.5 \times \left(\frac{T_P}{T}\right)$
$T > T_L$	$2.5 \times \left(\frac{T_P \times T_L}{T^2}\right)$

Fuente: Sencico, 2019

Coefficiente de reducción de fuerza sísmica (R)

La estructura presenta sistema estructural dual concreto armado en ambas direcciones, dado la forma poligonal y un interior hexagonal y que por lo menos el 70 % y mayor que 20% de la fuerza cortante en la base actúa sobre los muros estructurales.

De acuerdo a la configuración geométrica en planta del proyecto se presenta Discontinuidad del Diafragma y Sistemas no Paralelos en ambas direcciones, la misma que se toma el valor más crítico:

Tabla 17 Irregularidades estructurales en Planta.

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA	Ip Dir X-X	Ip Dir Y-Y
Discontinuidad del Diafragma	0.85	0.85
Sistemas no Paralelos	0.90	0.90
Tener en cuenta las restricciones de la tabla N° 10	0.85	0.85

Fuente: Sencico, 2019

Por lo que corresponde, por norma, un valor de $I_p = 0.85$, en altura no presenta irregularidad, por ende, $I_a = 1.0$ por lo tanto se tiene:

$$R = R_0 \times I_a \times I_p = 7 \times 1 \times 0.85 = 5.95$$

Cortante estático en la base

Tabla 18 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico

DATOS	FACTORES	S0	S1	S2	S3
Z	0.45	0.80	1.00	1.05	1.10
U	1.50	TP	TP	TP	TP
R ₀	7	0.30	0.40	0.60	1.00
l _a	1.00	TL	TL	TL	TL
l _p	0.85	3.00	2.50	2.00	1.60
R	5.95	C	C	C	C
P (Tn)	2473.35	2.50	2.50	2.50	2.50
ZUSC/R		0.23	0.28	0.30	0.31

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos, se determinó la cortante estática en la base.

Debiendo considerarse para C/R el siguiente valor mínimo: 0.11

Para dar respuesta a nuestro Cuarto objetivo: Comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la NTP E050 y E030, Se obtuvo los siguientes resultados:

Análisis dinámico modal – espectral

Factor de Escala para el Análisis Espectral

El valor del factor de escala fue obtenido a través de la siguiente expresión:

$$FE = \frac{ZUS}{R} = \frac{0.45 \times 1.0 \times 1.05 \times 9.81}{5.96} = 0.77$$

Espectros de Aceleración por tipo de suelo

a) Diseño del espectro tipo de suelo Rígido S0.

Se calculó la distribución de las fuerzas que actúan en el centro de masa de cada piso, como indica la Norma Técnica E.030 – 2018

Tabla 19 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy.

DIRECCIÓN XX				$V_{DIR XX}$	622.10	$Eac_{DIR YY}$	1.2532
Piso (i)	Peso (Pi) Ton	Altura (hi) m	k	$Pi*(h)^k$	α	Fi Ton	Mt Ton.m
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	311.04929	389.81376
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	207.36619	259.87584
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	103.68310	129.93792
$\sum Pi*(h)^k$				19,192.89	$\sum Fi$	622.10	Cumple

DIRECCIÓN YY				$V_{DIR XX}$	622.10	$Eac_{DIR YY}$	1.2532
Piso (i)	Peso (Pi) Ton	Altura (hi) m	k	$Pi*(h)^k$	α	Fi Ton	Mt Ton.m
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	311.04929	389.81376
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	207.36619	259.87584
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	103.68310	129.93792
$\sum Pi*(h)^k$				19,192.89	$\sum Fi$	622.10	Cumple

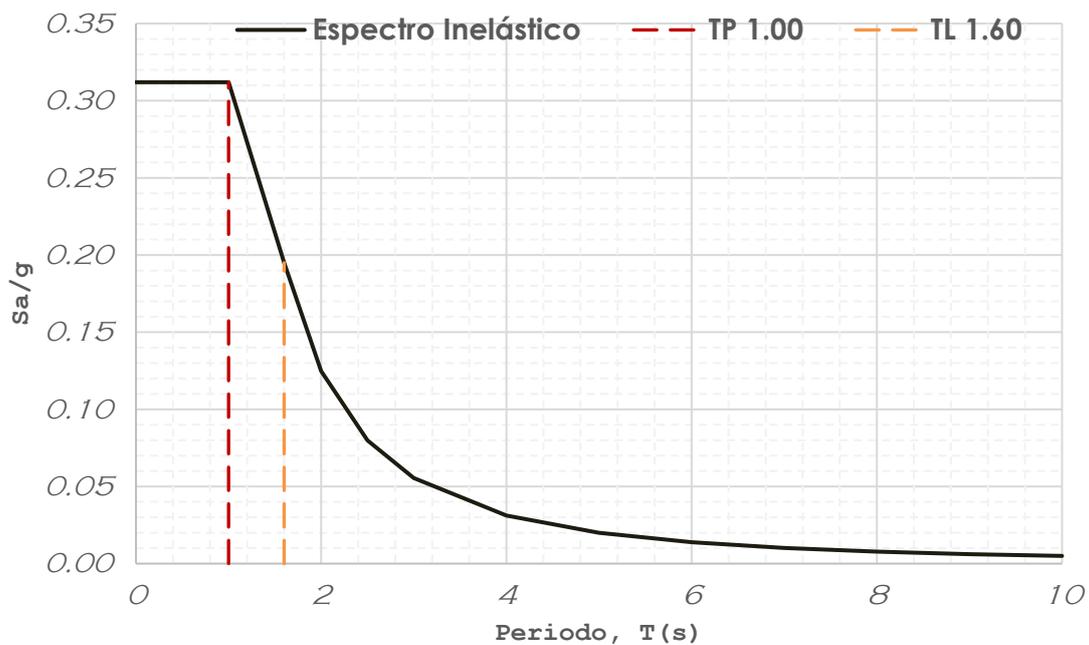
Fuente: Elaboración propia.

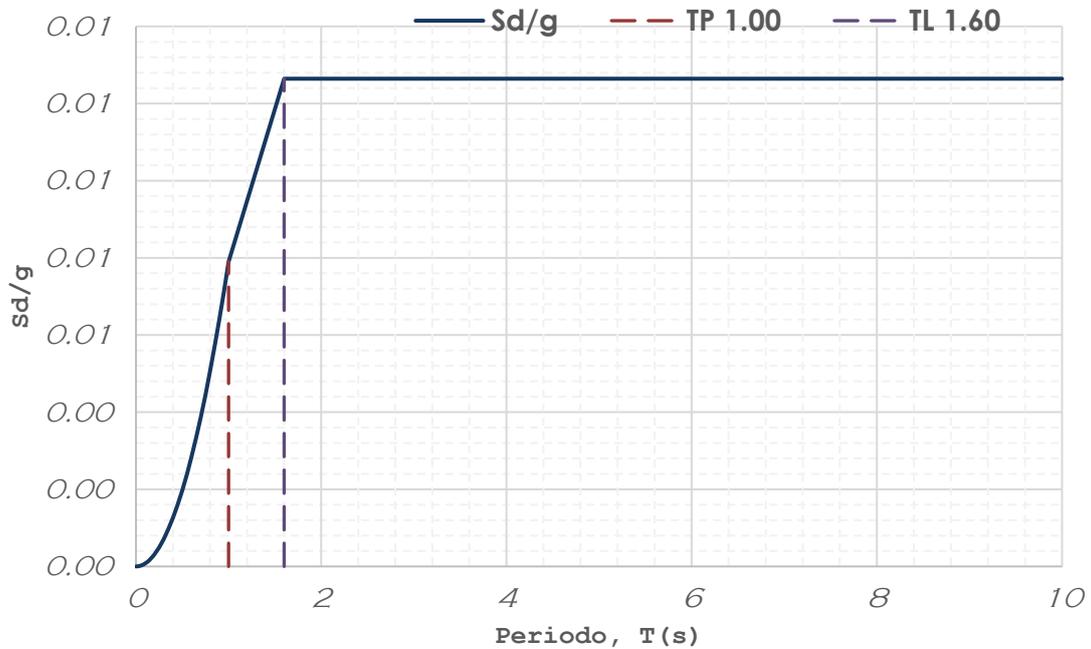
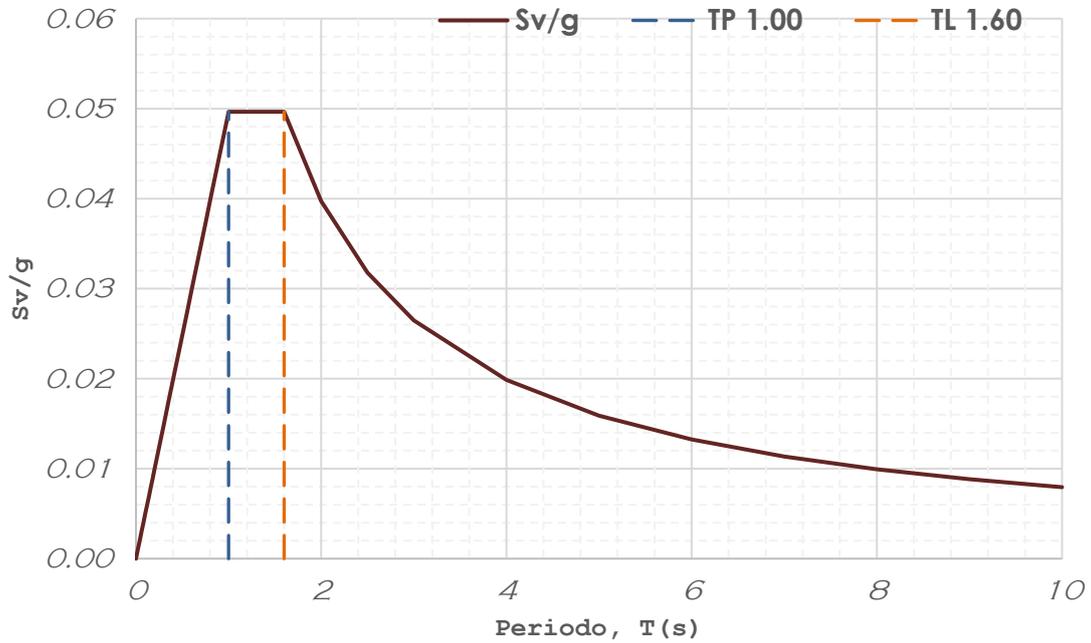
- Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5*T)$

Como el período del edificio $T=0,34$ s es menor que 0,5s entonces el exponente $k=1.0$

Tabla 20 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S0).

DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.45	R ₀	7	7
U	1.50	I _a	1.00	1.00
S	0.80	I _p	0.85	0.85
T _P	0.30	R	5.95	5.95
T _L	3.00			





Diseño del espectro tipo de suelo Rígido S1.

Se calculó la distribución de las fuerzas que actúan en el centro de masa de cada piso, como indica la Norma Técnica E.030 – 2018

Tabla 21 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy.

Piso (i)	DIRECCIÓN XX			$V_{DIR\ XX}$	777.62	$Eac_{.DIR\ YY}$	1.2532	
	Peso (Pi)	Altura (hi)	k	$Pi*(h)^k$	α	Fi	Mt	
	Ton	m				Ton	Ton.m	
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	388.81161	487.26720	
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	259.20774	324.84480	
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	129.60387	162.42240	
				$\sum Pi*(h)^k$		$\sum Fi$	777.62	Cumple

Piso (i)	DIRECCIÓN YY			$V_{DIR\ XX}$	777.62	$Eac_{.DIR\ YY}$	1.2532	
	Peso (Pi)	Altura (hi)	k	$Pi*(h)^k$	α	Fi	Mt	
	Ton	m				Ton	Ton.m	
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	388.81161	487.26720	
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	259.20774	324.84480	
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	129.60387	162.42240	
				$\sum Pi*(h)^k$		$\sum Fi$	777.62	Cumple

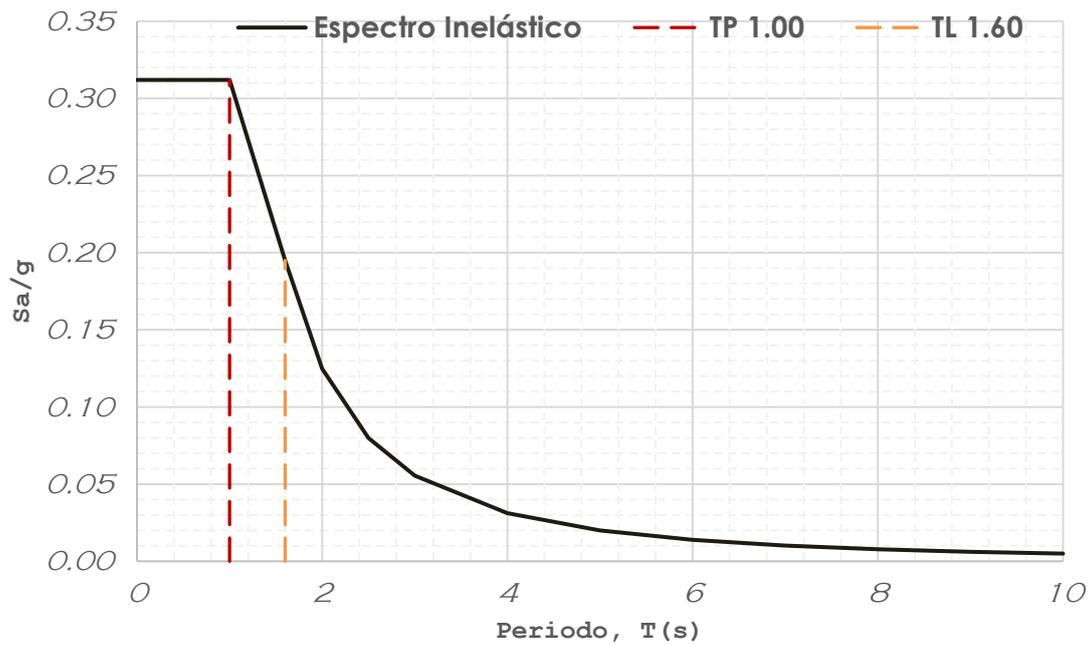
Fuente: Elaboración propia.

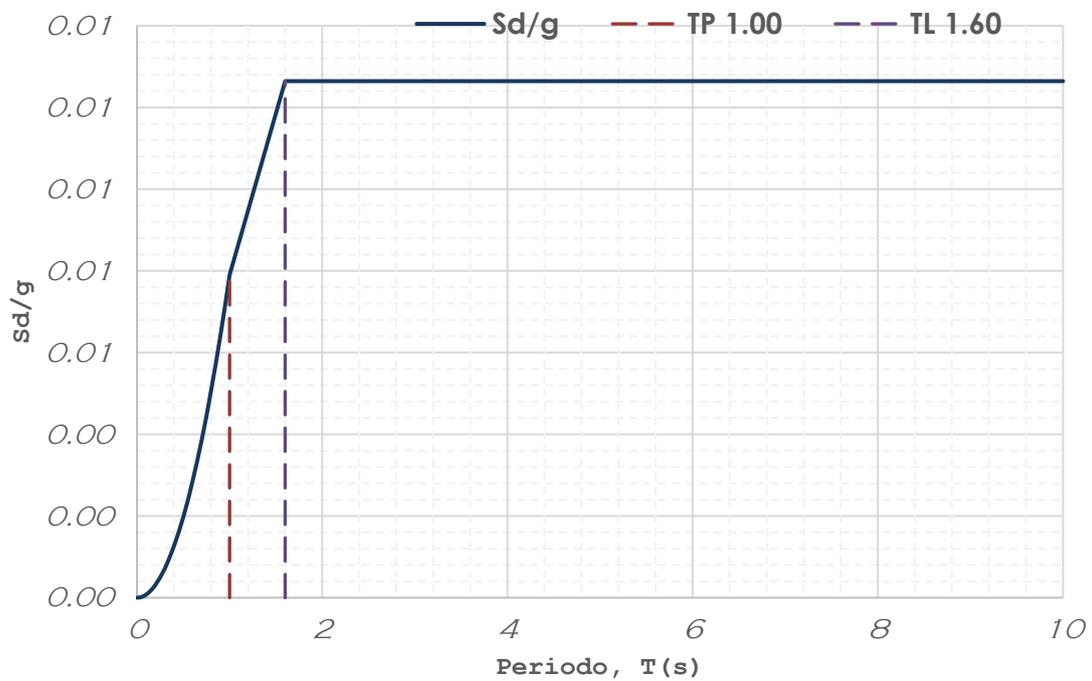
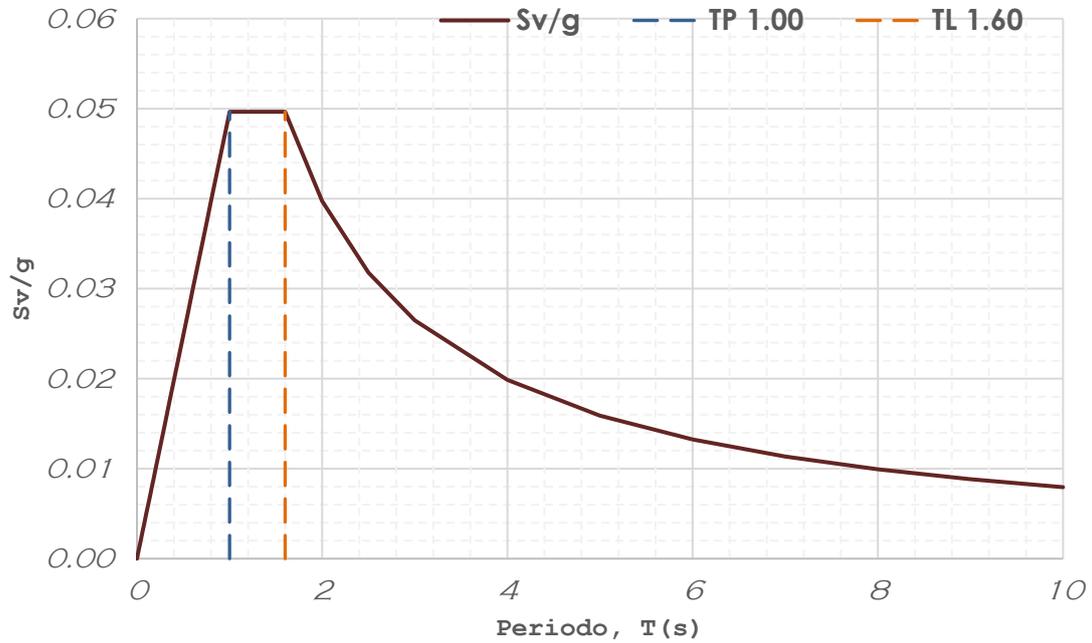
- Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5*T)$

Como el período del edificio $T=0,34s$ es menor que 0,5s entonces el exponente $k=1.0$

Tabla 22 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (SI)..

DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.45	R ₀	7	7
U	1.50	l _a	1.00	1.00
S	1.00	l _p	0.85	0.85
TP	0.40	R	5.95	5.95
TL	2.50			





Diseño del espectro tipo de suelo Rígido S2.

Se calculó la distribución de las fuerzas que actúan en el centro de masa de cada piso, como indica la Norma Técnica E.030 – 2018

Tabla 23 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy

DIRECCIÓN XX				$V_{DIR XX}$	816.50	$Eac_{-DIR YY}$	1.2532
Piso (i)	Peso (Pi)	Altura (hi)	k	$Pi*(h)^k$	α	Fi	Mt
	Ton	m				Ton	Ton.m
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	408.25219	511.63057
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	272.16813	341.08704
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	136.08406	170.54352
$\sum Pi*(h)^k$				19,192.89	$\sum Fi$	816.50	Cumple

DIRECCIÓN YY				$V_{DIR XX}$	816.50	$Eac_{-DIR YY}$	1.2532
Piso (i)	Peso (Pi)	Altura (hi)	k	$Pi*(h)^k$	α	Fi	Mt
	Ton	m				Ton	Ton.m
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	408.25219	511.63057
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	272.16813	341.08704
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	136.08406	170.54352
$\sum Pi*(h)^k$				19,192.89	$\sum Fi$	816.50	Cumple

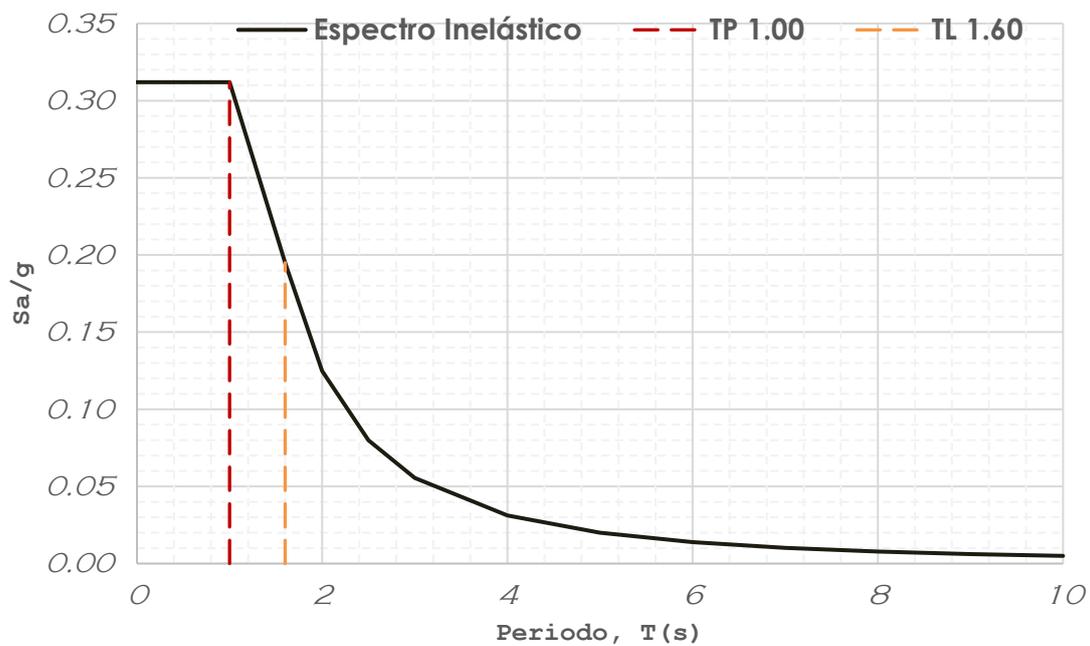
Fuente: Elaboración propia.

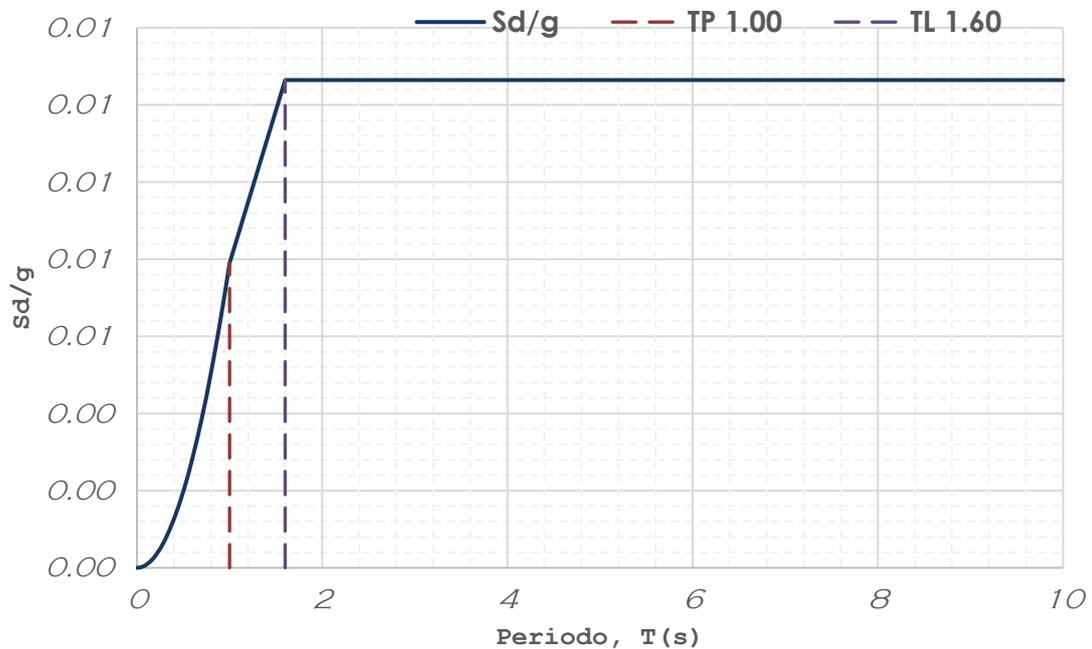
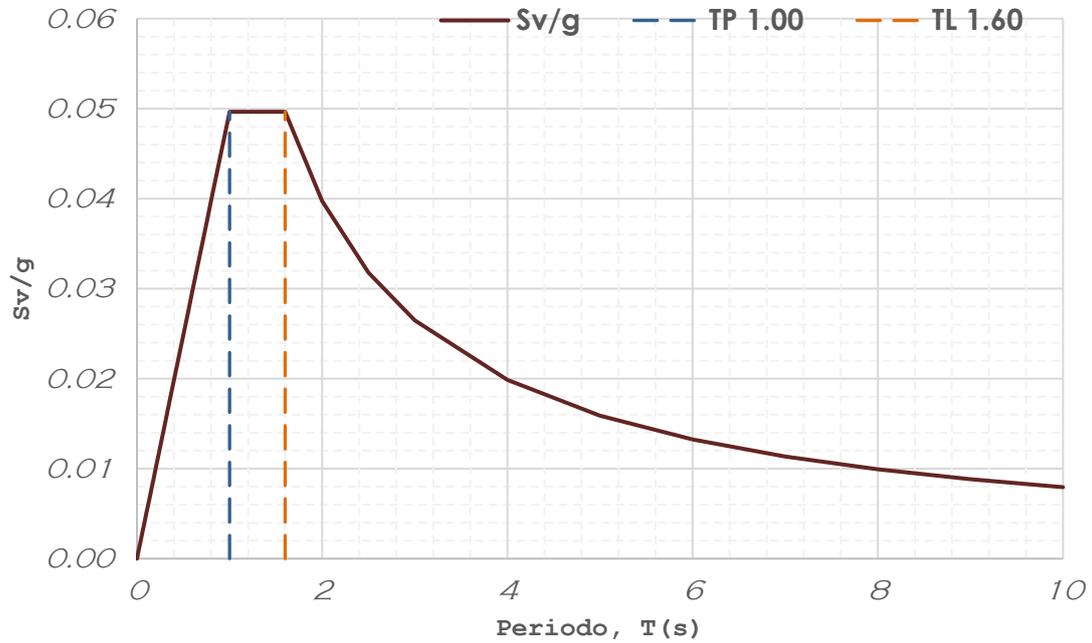
- Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5*T)$

Como el período del edificio $T=0,34s$ es menor que $0,5s$ entonces el exponente $k=1.0$

Tabla 24 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S2)

DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.45	R ₀	7	7
U	1.50	I _a	1.00	1.00
S	1.05	I _p	0.85	0.85
T _P	0.60	R	5.95	5.95
T _L	2.00			





Diseño del espectro tipo de suelo Rígido S3.

Se calculó la distribución de las fuerzas que actúan en el centro de masa de cada piso, como indica la Norma Técnica E.030 – 2018

Tabla 25 Distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones xx-yy.

Piso (i)	DIRECCIÓN XX			$V_{DIR\ XX}$	855.39	$Eac_{-DIR\ YY}$	1.2532
	Peso (Pi)	Altura (hi)	k	$Pi^*(h)^k$	α	Fi	Mt
	Ton	m				Ton	Ton.m
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	427.69277	535.99393
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	285.12851	357.32928
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	142.56426	178.66464
$\sum Pi^*(h)^k$				19,192.89	$\sum Fi$	855.39	Cumple

Piso (i)	DIRECCIÓN YY			$V_{DIR\ XX}$	855.39	$Eac_{-DIR\ YY}$	1.2532
	Peso (Pi)	Altura (hi)	k	$Pi^*(h)^k$	α	Fi	Mt
	Ton	m				Ton	Ton.m
TECHO 3	913.95	10.50	1.00	9,596.45	0.50000	427.69277	535.99393
TECHO 2	913.95	7.00	1.00	6,397.63	0.33333	285.12851	357.32928
TECHO 1	913.95	3.50	1.00	3,198.82	0.16667	142.56426	178.66464
$\sum Pi^*(h)^k$				19,192.89	$\sum Fi$	855.39	Cumple

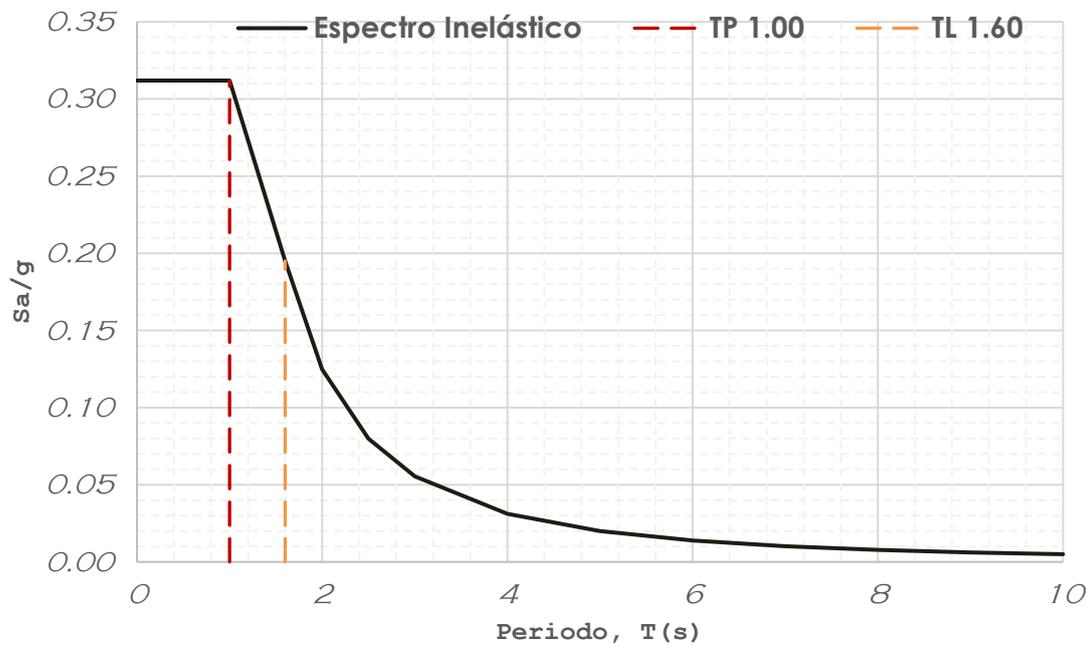
Fuente: Elaboración propia.

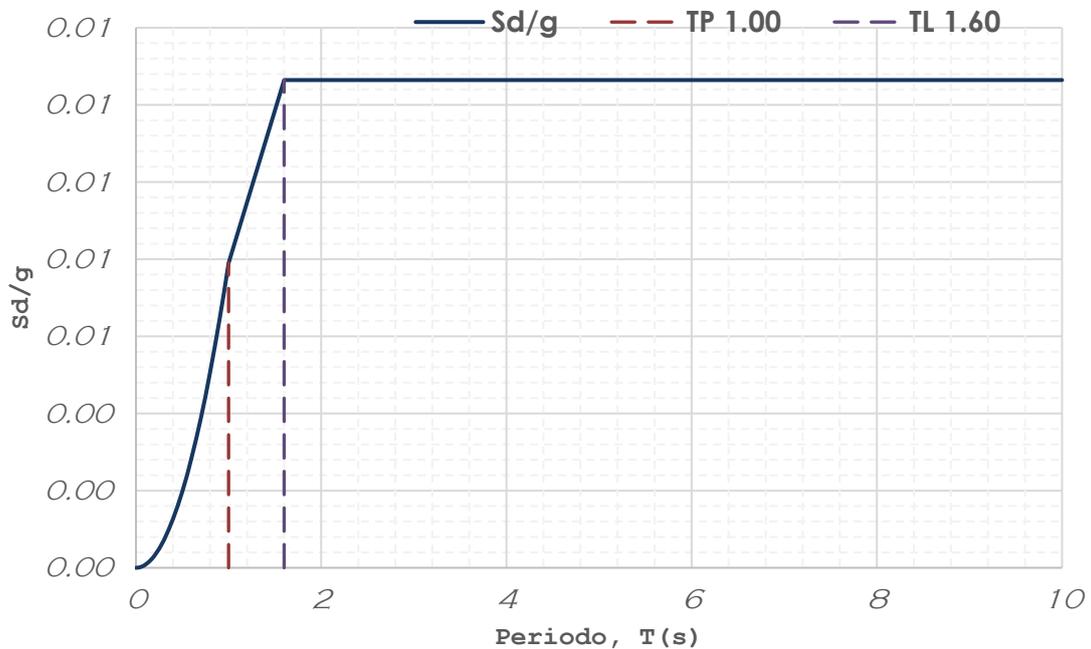
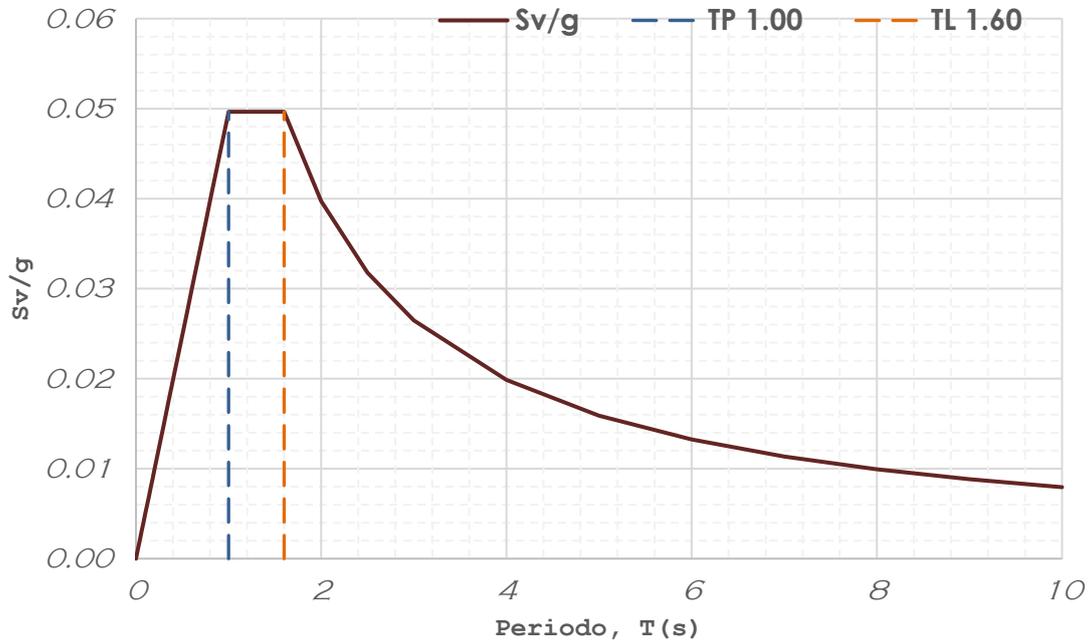
- Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$
- Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5*T)$

Como el período del edificio $T=0,34s$ es menor que 0,5s entonces el exponente $k=1.0$

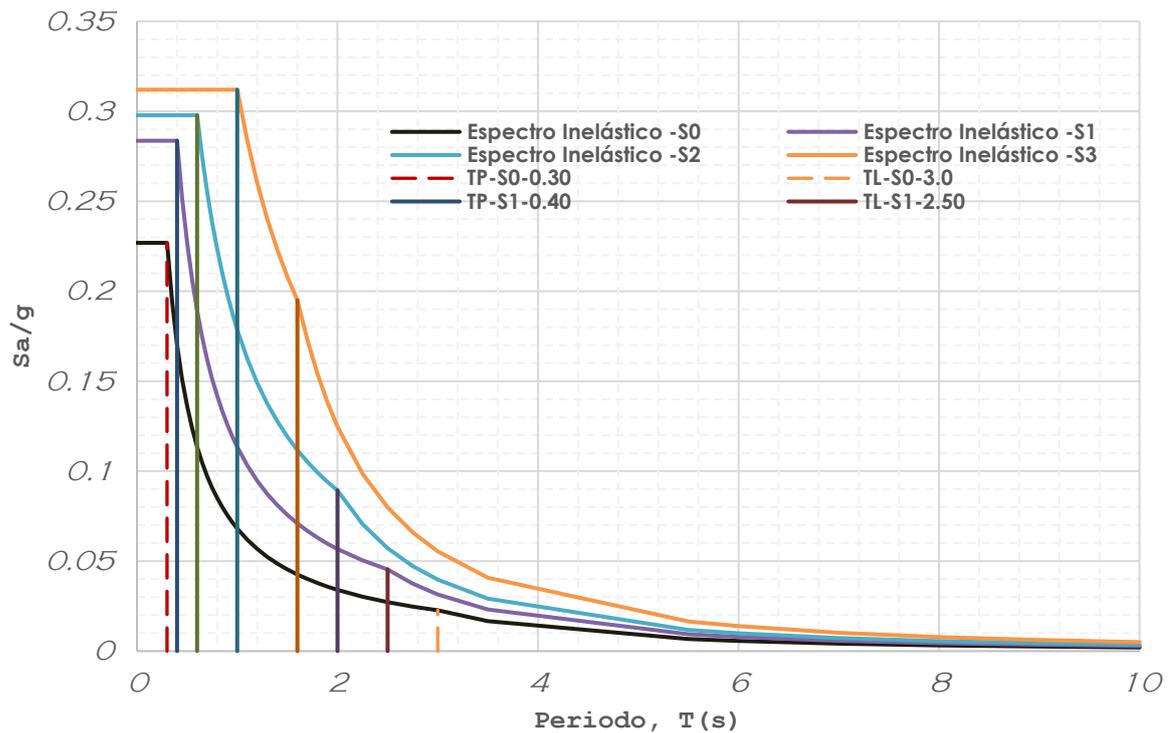
Tabla 26 Parámetros para el análisis Sísmico Dinámico para un suelo rígido (S3).

DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.45	R ₀	7	7
U	1.50	I _a	1.00	1.00
S	1.10	I _p	0.85	0.85
T _P	1.00	R	5.95	5.95
T _L	1.60			



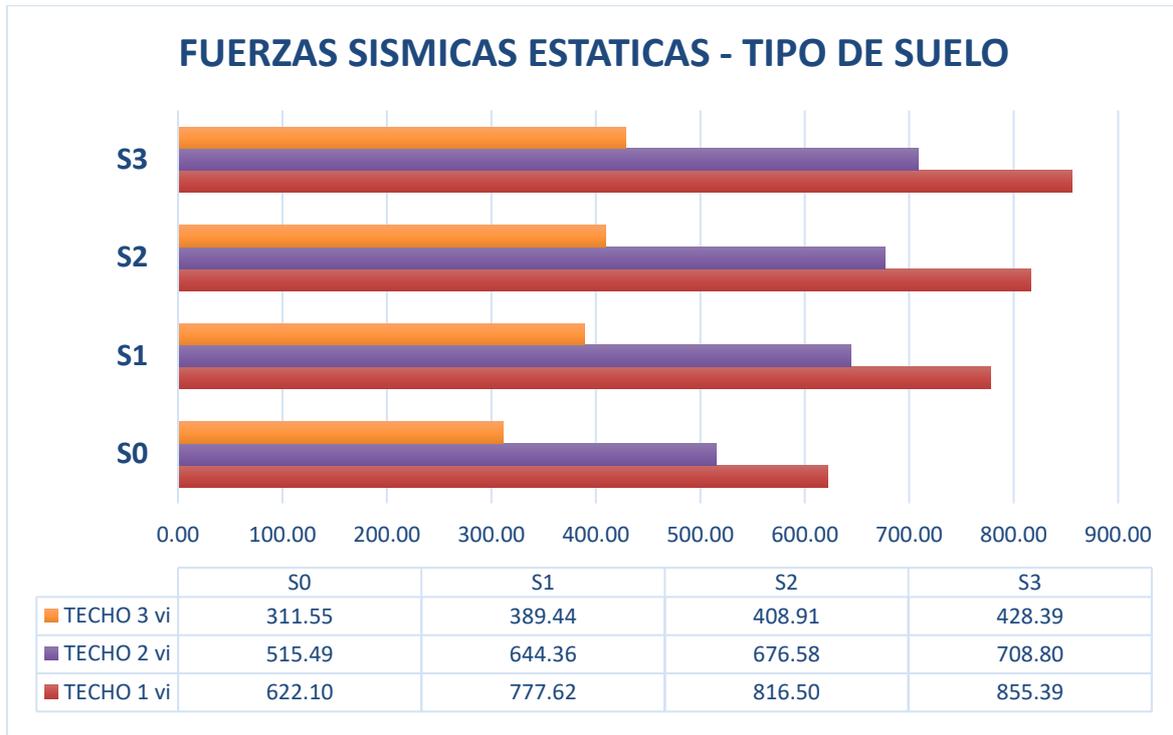


Resumen de los Espectros.



Observamos el incremento de las fuerzas acelerométricas según el tipo de suelo, las mismas que serán evaluadas en el modelo de modulo hexagonal.

En resumen, se tiene en cuenta las fuerzas sísmicas estáticas según el tipo de suelo, la cual se muestra un aumento en sus fuerzas las cuales se han tenido en consideración.



Modos de vibración

Para los modos de vibración en cada dirección, se considerarán aquellos cuya suma de masas efectivas sean por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta, por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección del análisis. Para el presente proyecto, se consideraron 3 modos de vibración por piso, haciendo un total de 09 modos de vibración.

Tabla 27 Modal Direction Factors

Case	Mode	Period sec
Modal	1	0.170
Modal	2	0.169
Modal	3	0.118
Modal	4	0.049
Modal	5	0.049
Modal	6	0.032
Modal	7	0.028
Modal	8	0.028
Modal	9	0.017

Excentricidad Accidental (Art 4.6.5).

Este valor es normalmente considerado un porcentaje de la máxima dimensión en planta de cada lado de la edificación. Este valor se da debido a la existencia de factores que no son tomados en cuenta a la hora del análisis tales como las torsiones generadas por la rotación del terreno o a la diferencia en la llegada de las ondas sísmicas a los apoyos de las edificaciones, también se le puede atribuir parte de la responsabilidad a las diferencias entre las propiedades de los elementos usados para el cálculo y a las propiedades reales. Como se mencionó en un inicio, se suele usar un porcentaje de la dimensión máxima por cada lado de la edificación, normalmente del 5%, de tal forma que se usan las siguientes expresiones:

$$e_x = 0.05 \cdot Lx = 0.05 \times 31.20 = 1.015m$$

$$e_y = 0.05 \cdot Ly = 0.05 \times 31.20 = 1.015m$$

Obtener su espectro de respuesta, según las propiedades geofísicas del suelo en el distrito de Trujillo.

Determinar la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo.

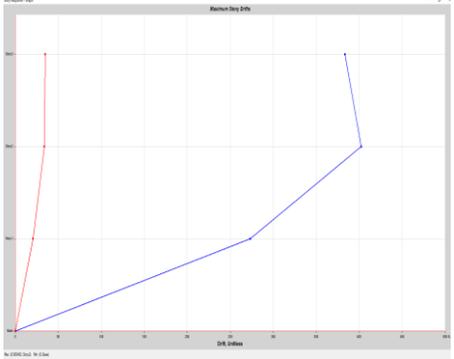
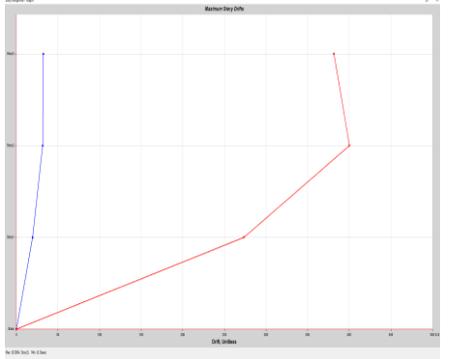
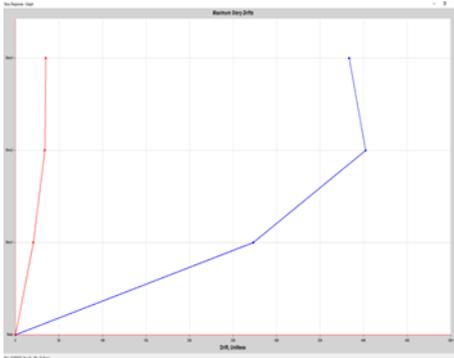
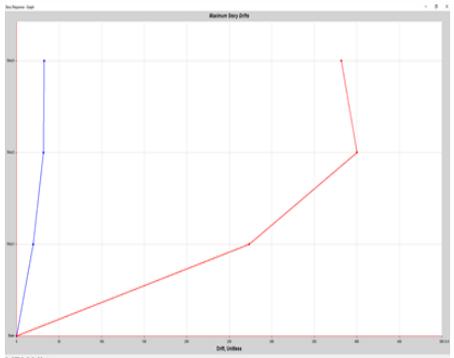
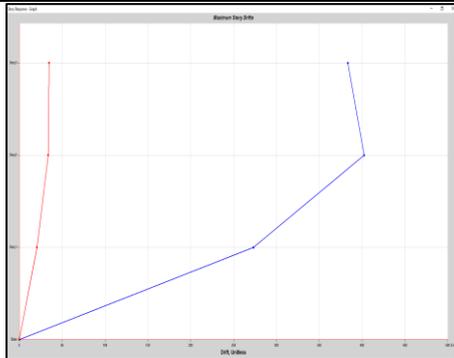
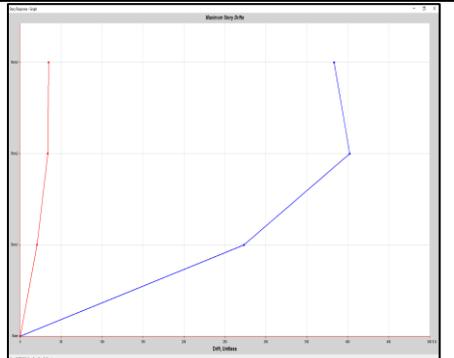
Comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la Norma Técnica Peruana E050 y E030.

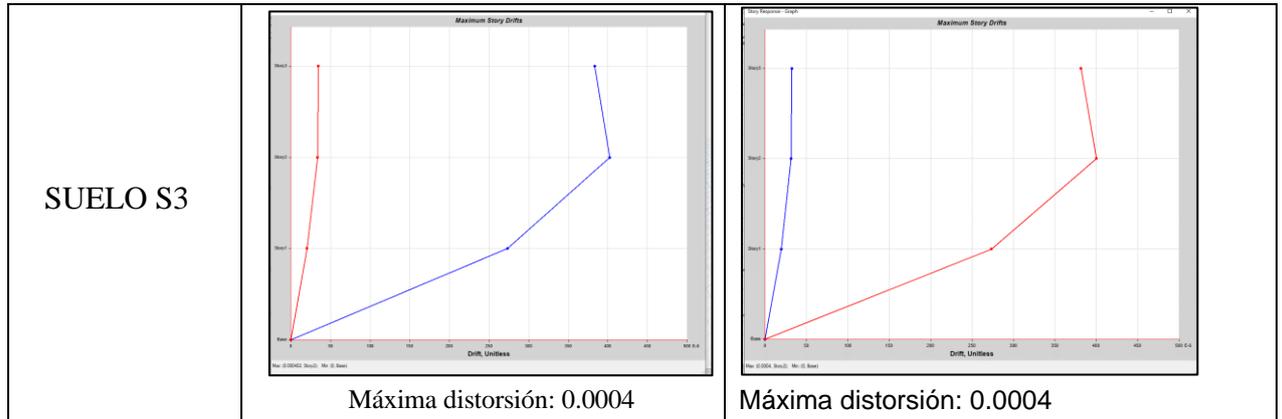
Cálculo de distorsión por nivel

Luego añadimos SISMO X y SISMO Y tipo espectral, combinación modal COMBINACIÓN CUADRÁTICA COMPLETA dirección combinacional RAÍZ CUADRADA DE LA SUMA DE CUADRADOS con aceleración en dirección en X y

X respectivamente, espectro C y factor de escala es el mismo en ambas direcciones porque la estructura es íntegramente aporticada, la cual incluye el amortiguamiento de la estructura. Se consideró un amortiguamiento del 5% del crítico.

Figura 33. Caso de carga sismo estático.

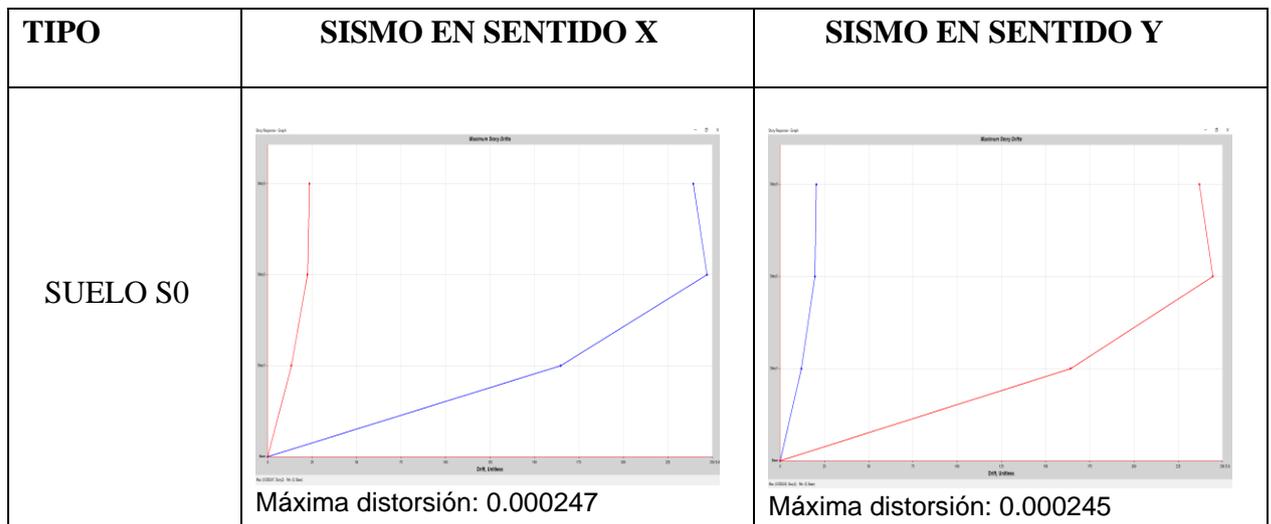
TIPO	SISMO EN SENTIDO X	SISMO EN SENTIDO Y
SUELO S0	 <p>Máxima distorsión: 0.0004</p>	 <p>Máxima distorsión: 0.0004</p>
SUELO S1	 <p>Máxima distorsión: 0.0004</p>	 <p>Máxima distorsión: 0.0004</p>
SUELO S2	 <p>Máxima distorsión: 0.000402</p>	 <p>Máxima distorsión: 0.0004</p>

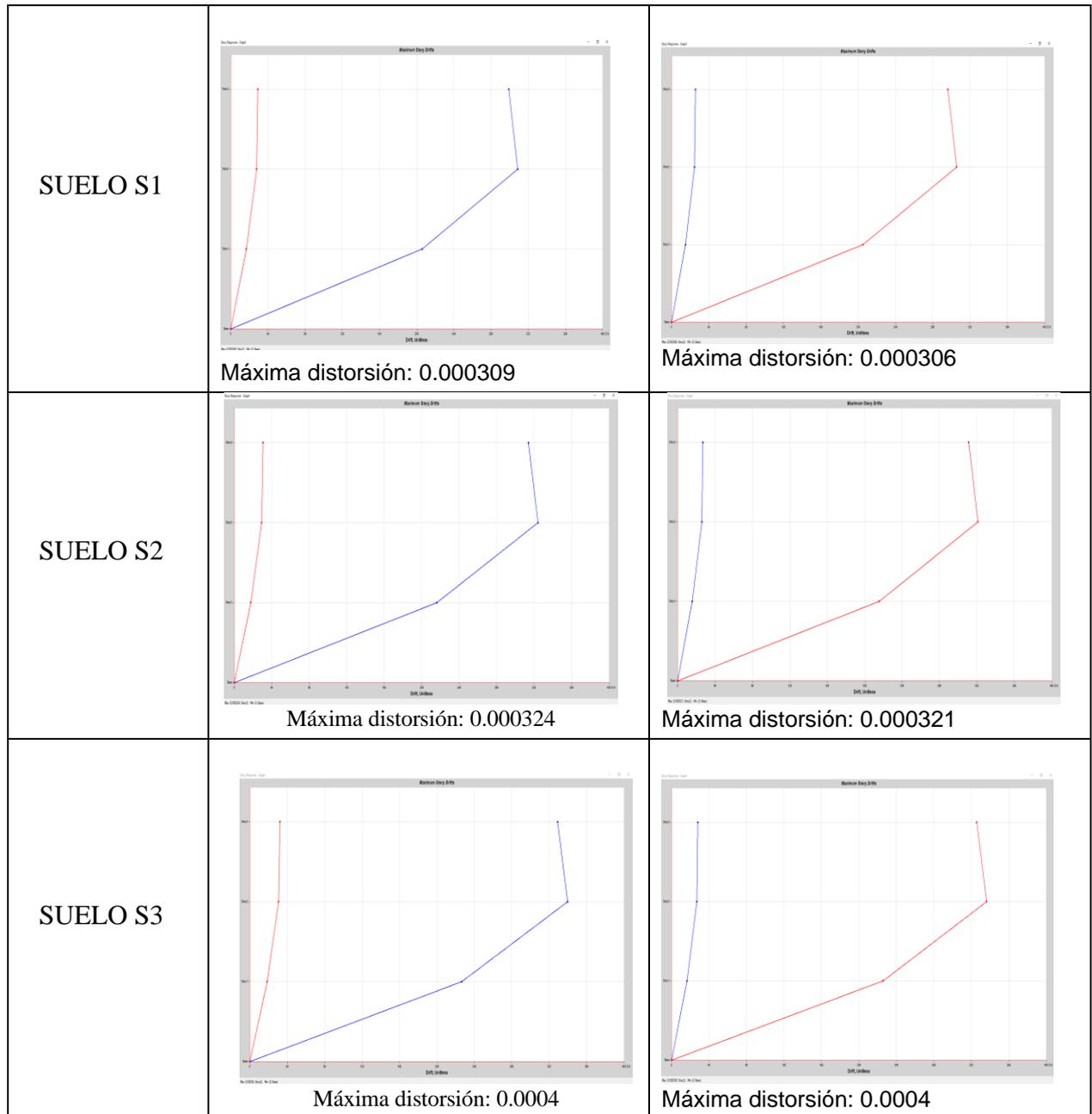


Fuente: Elaboración propia

Después se definen las combinaciones de cargas donde los sismos son multiplicados por el factor R porque es una estructura irregular.

Figura 34. Combinación de cargas dinámicas mediante los espectros de diseño tanto en sismo en X y Y.



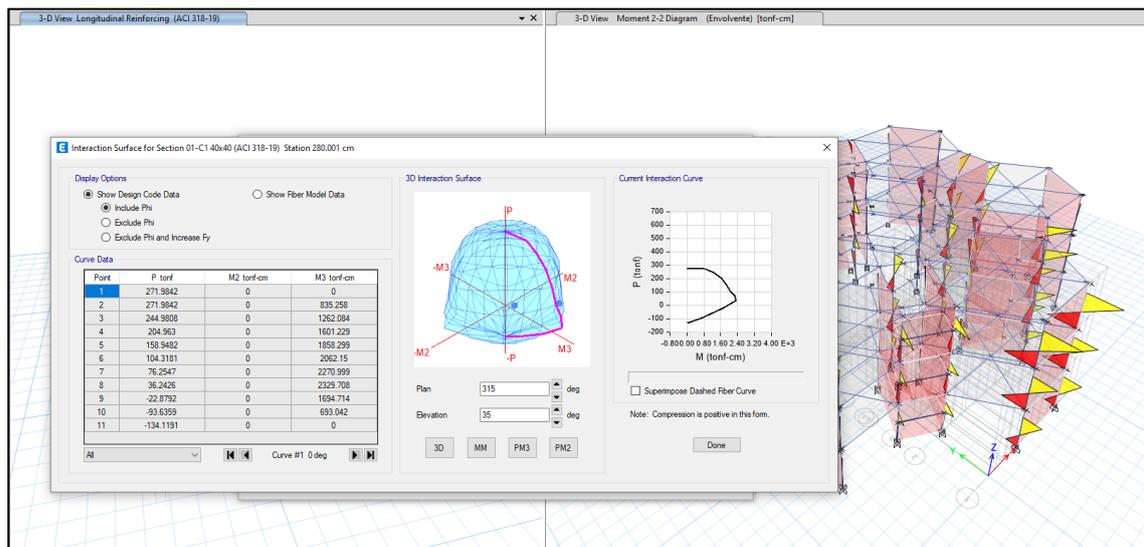


Fuente: Elaboración propia

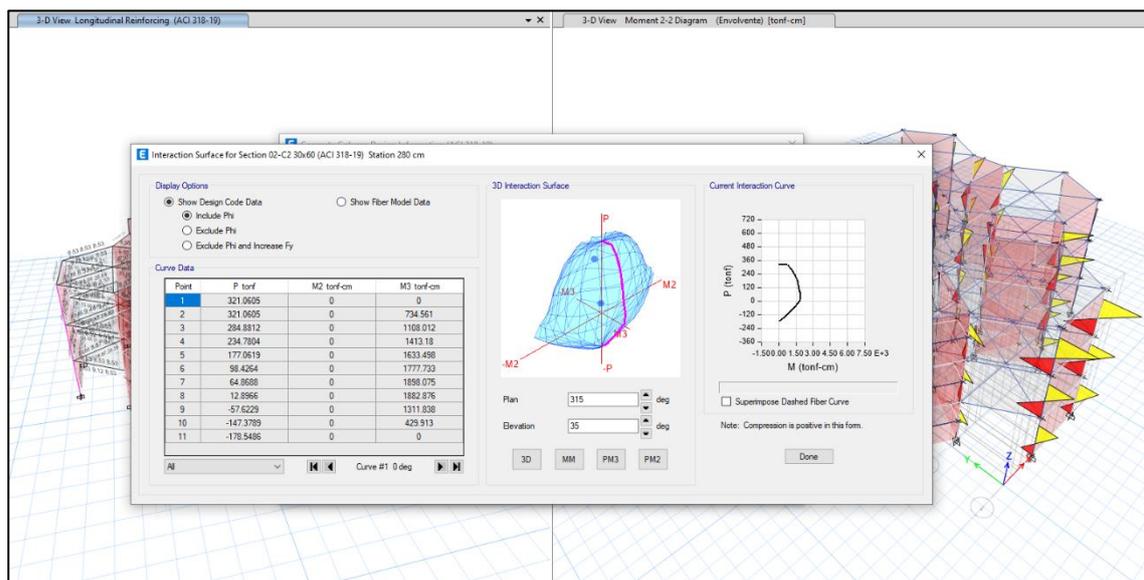
Determinar la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo, considerando que existen muros de concreto armado de 25 cm en el muro de fondo (pizarra), ladrillo con un $f'm:65 \text{ kg/cm}^2$ y un espesor de 25 cm, en los costados de

las escaleras y baños.

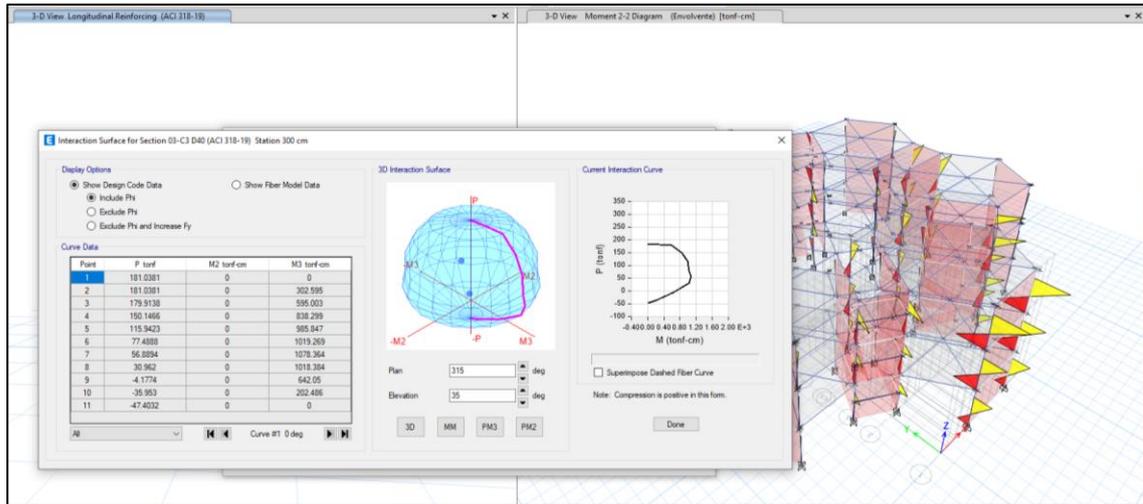
Resultados del análisis en columnas tipo C1 (40x40), con la que corresponde a los diseños generales del modelamiento estructural en un suelo S3 y una fuerza máxima según esta investigación.



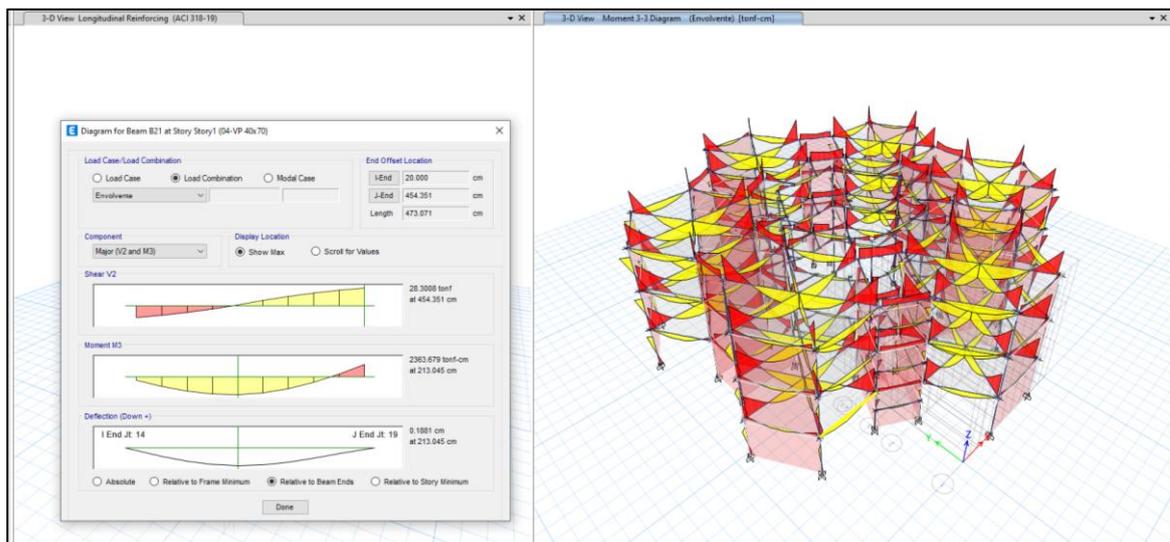
Resultados del análisis en columnas tipo C2 (30x60), con la que corresponde a los diseños generales del modelamiento estructural en un suelo S3 y una fuerza máxima según esta investigación.

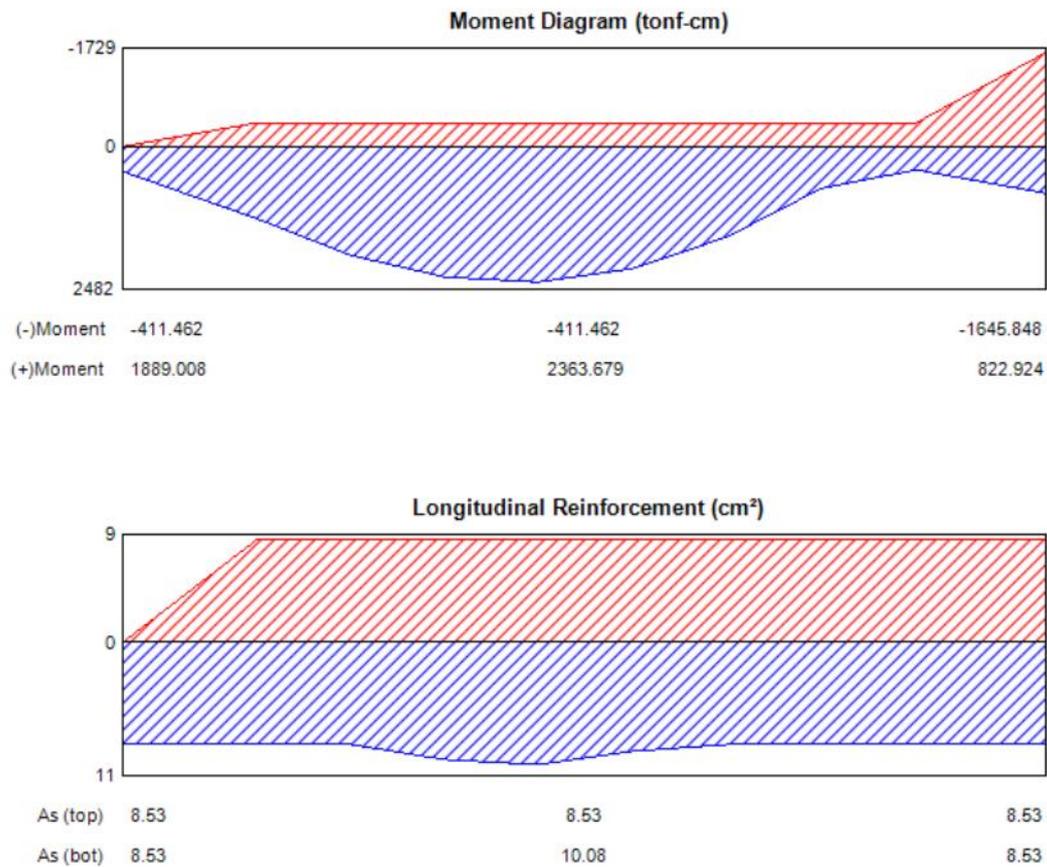


Resultados del análisis en columnas tipo C3 (diámetro 40cm), con la que corresponde a los diseños generales del modelamiento estructural en un suelo S3 y una fuerza máxima según esta investigación.

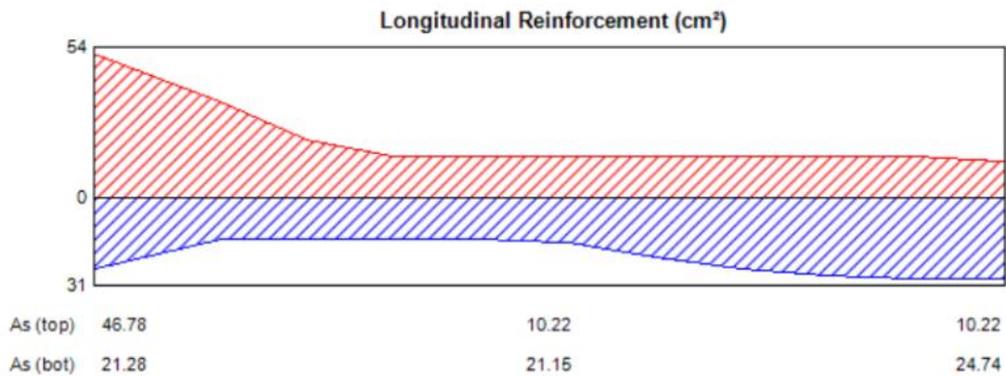
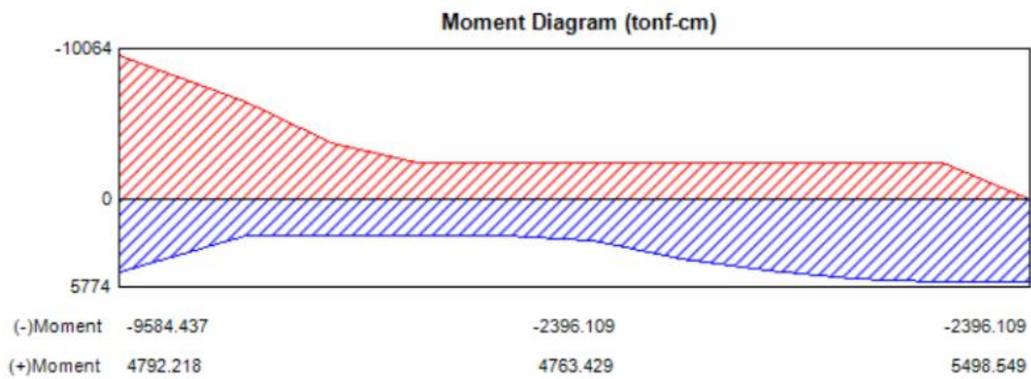
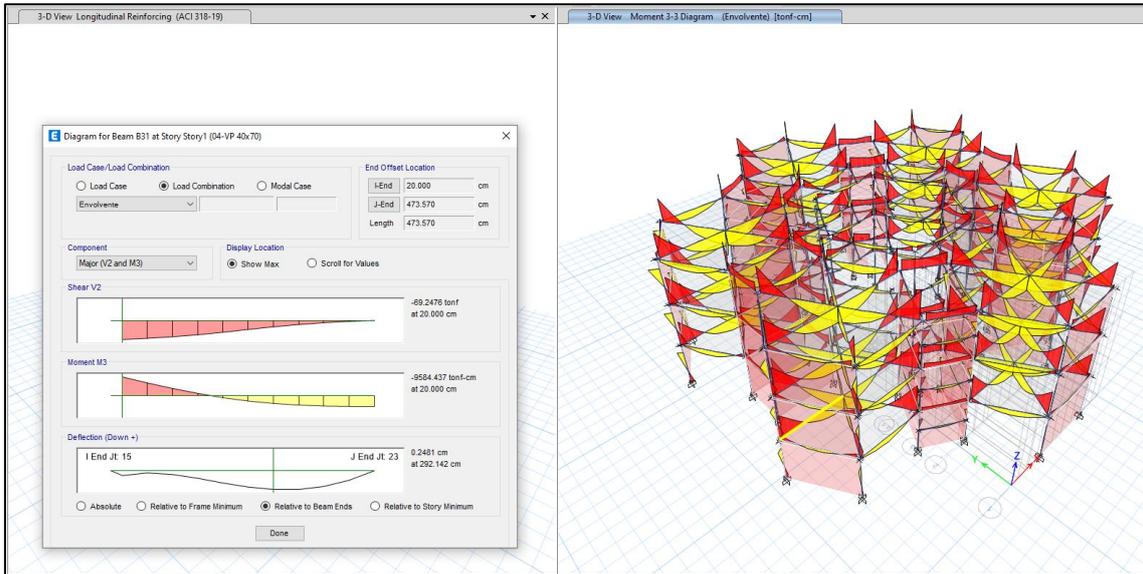


Respuesta de las cargas según la envolvente de diseño para lo cual se muestra una viga lateral (40x70cm) en un aula y su relación entre el momento flector y el área de acero de diseño, según las normas E060.



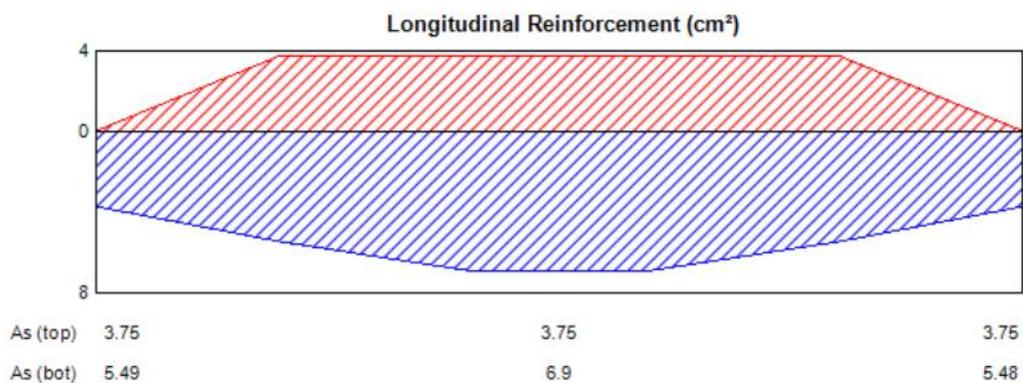
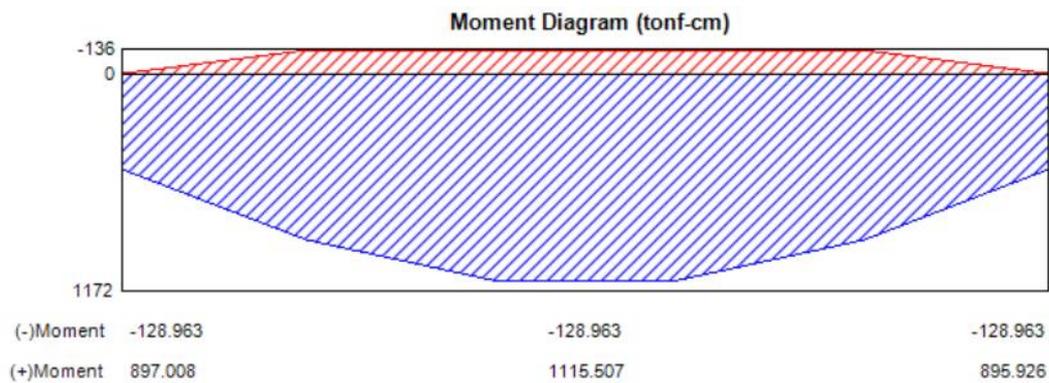
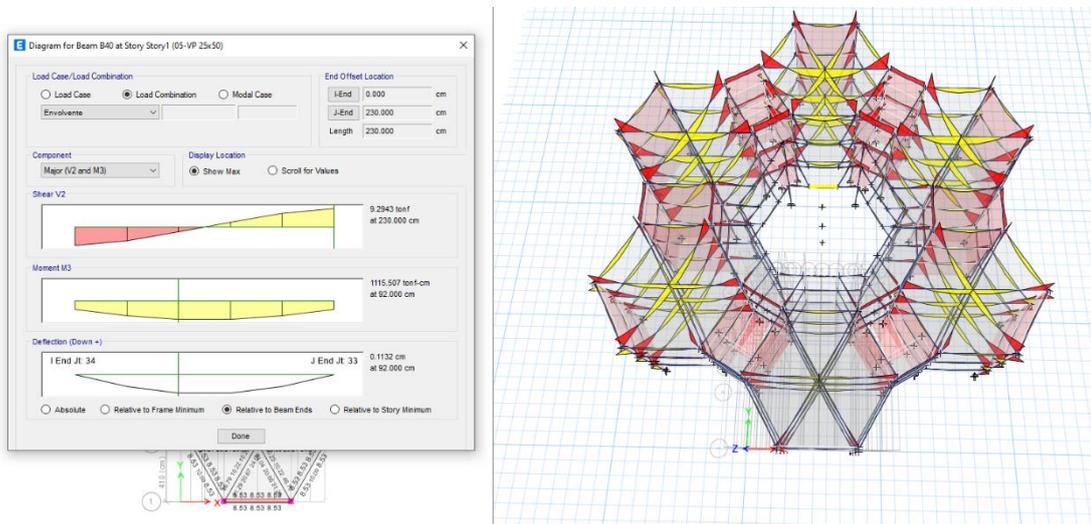


Respuesta de las cargas según la envolvente de diseño para lo cual se muestra una viga central (40x70cm) en un aula y su relación entre el momento flector y el área de acero de diseño, según las normas E060.



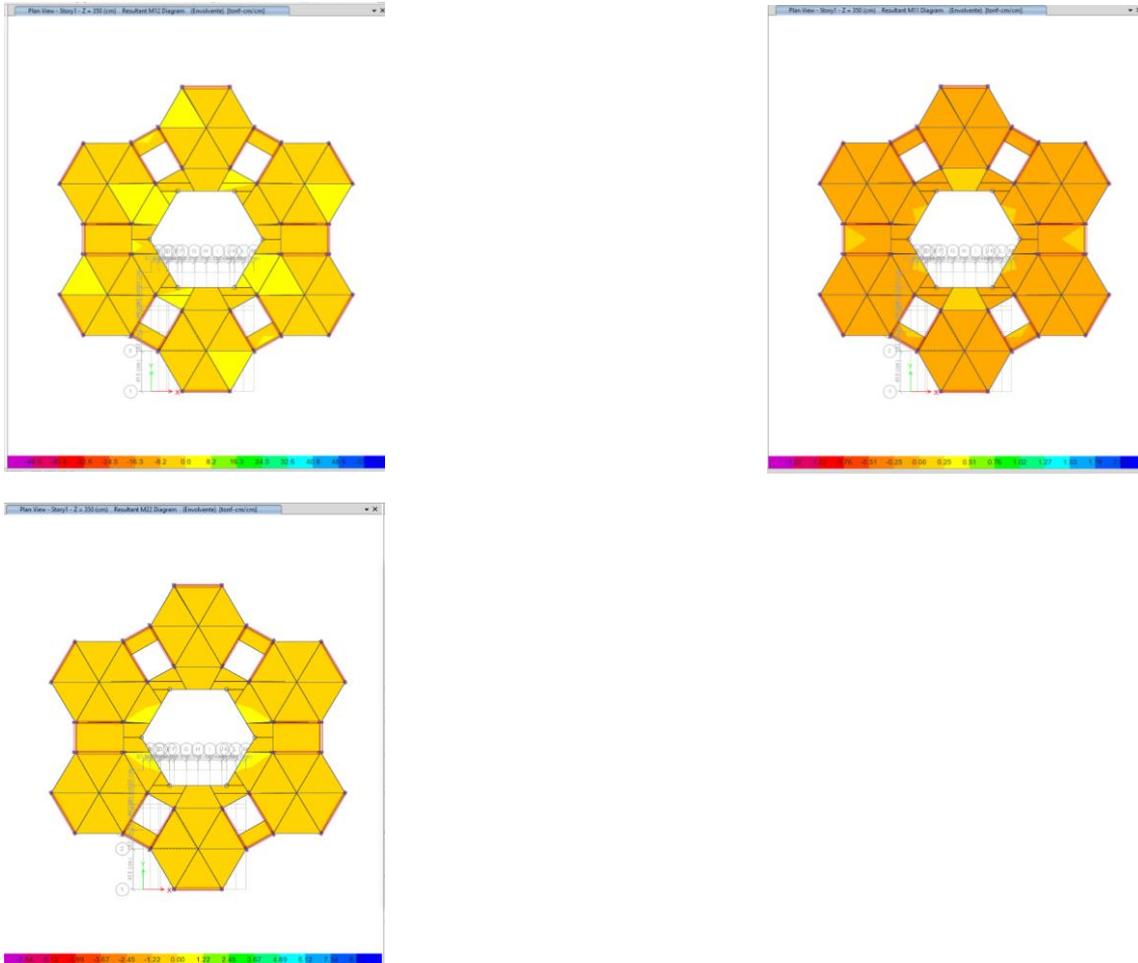
Respuesta de las cargas según la envolvente de diseño para lo cual se muestra una viga

del balcón (voladizo 25x50cm) en un aula y su relación entre el momento flector y el área de acero de diseño, según las normas E060.

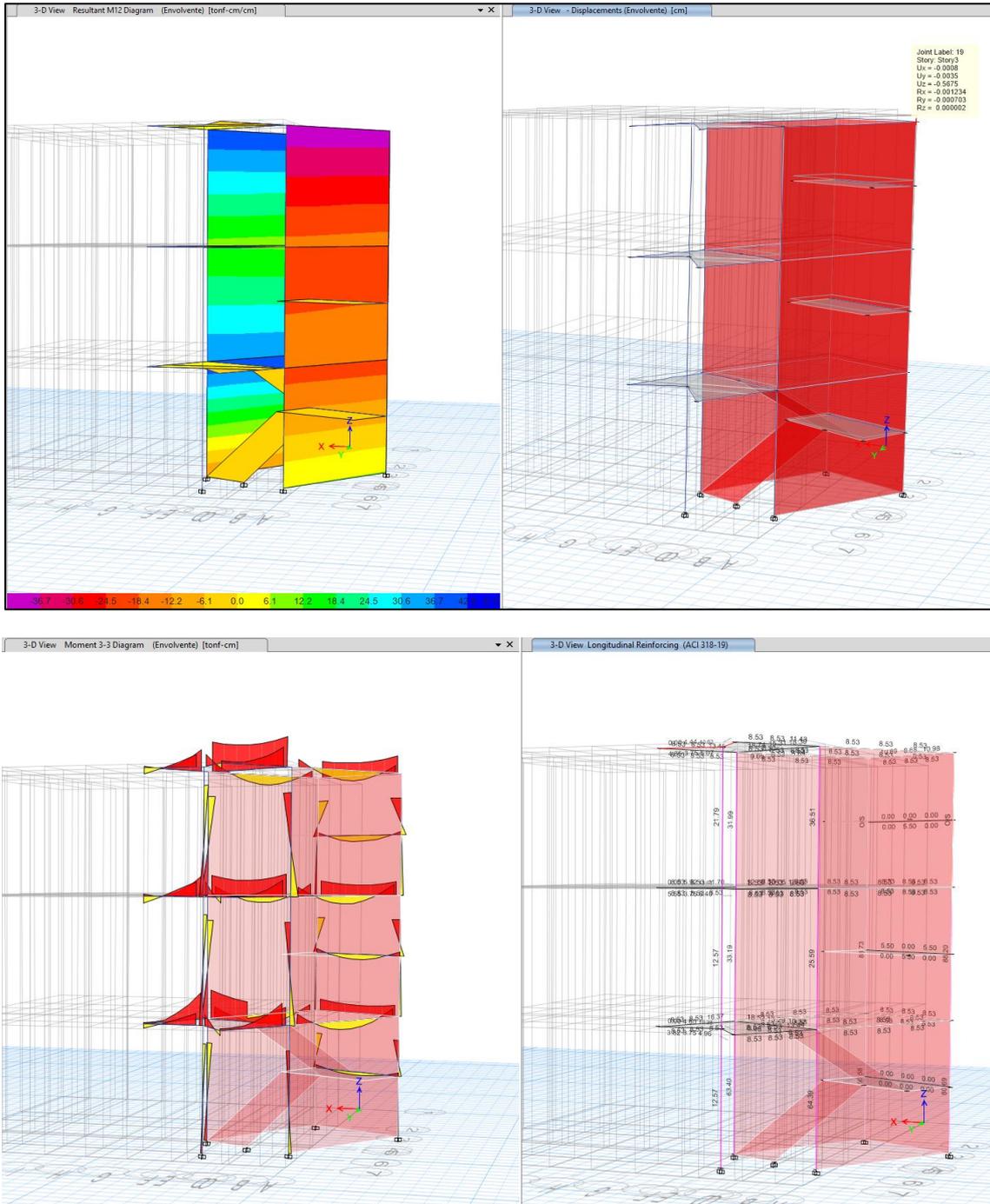


Respuesta de las cargas según la envolvente de diseño para lo cual se muestra el forjado de losa aligerada de 20cm de espesor, con el análisis de momentos según M12, M11 y

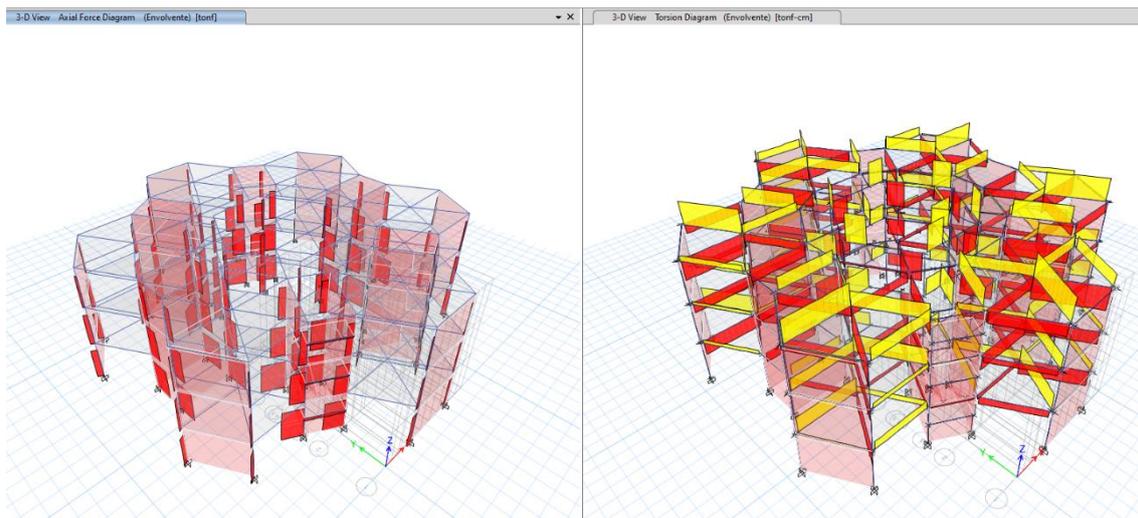
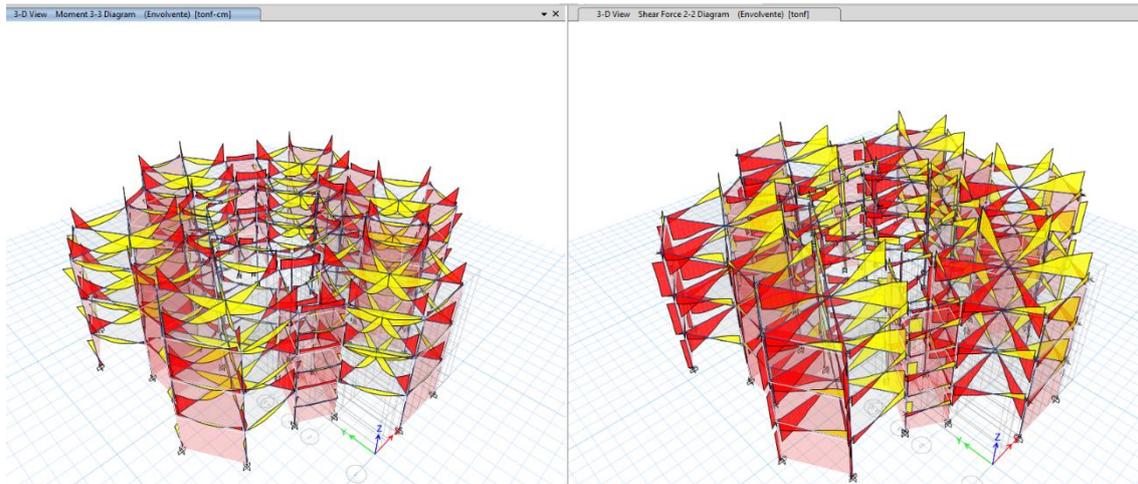
M22. Con resultados satisfactorios.



Análisis y cálculo de diagrama de momentos flectores en la escalera de diseño, con el análisis de momentos según M12. Y los desplazamientos según los esfuerzos de envolvente, con resultados satisfactorios.



Al presentar el tramo inclinado y el descanso una capa de 12cm de concreto, se consideró este espesor como garganta efectiva para resistir la fuerza cortante última. Según el análisis, para el tramo inclinado de la escalera presenta un momento actuante a flexión de $M_u (+) = 0.17 \text{ Ton.m}$, mientras que su extremo superior del tramo presenta un $M_u (-) = 0.32 \text{ Ton.m}$, este presenta un área de refuerzo $A_s = 2.19 \text{ cm}^2$, de las dos mallas de acero. Por lo que el refuerzo proveniente del panel es suficiente para dichos momentos.



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

OE1 - Dentro del proceso de modelar estructuralmente un Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo, según los parámetros de métodos pedagógicos. Revisamos las referencias bibliográficas relacionadas y la resolución viceministerial N° 084-2019-Minedu, en donde se dispone aprobar la norma técnica “criterios de diseño para locales educativos de primaria y secundaria” la misma que expresa en su anexo N° 2; la variabilidad de la forma de los ambientes que pueden ser de formas diversa siempre y cuando cumplan con lo establecido en la norma E030 del RNE, Así como con las demás normas referidas a estructuras, señaladas en el RNE, la cual el esquema de ambiente hexagonal, es una de ellas, por lo que se obtuvo el modelamiento de 06 ambientes educativas por cada nivel excepto el primer nivel que solo cuenta con 04 ambientes educativos hexagonales, con un área de 56.843m² y un perímetro de 28.065 ml, además columnas C1 de 40x40cm y C2 de 30x60cm, una columna circular C3 de 40 cm de diámetro así como de vigas peraltadas VP1 de 40x70cm y VP2 de 25x50cm, la losa aligerada de 20 cm según la luz entre vigas radiales dentro de la losa. Para Aquino y Rodríguez (2015), El modelamiento de ambos edificios fue realizado en el programa ETABS en su versión 2015 teniendo en consideración los requerimientos dados en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

OE2- Por otro lado, la obtención de cada uno de sus espectros de respuesta sísmica del suelo, según las propiedades geofísicas del suelo en el distrito de Trujillo, se determinó a partir de los 4 tipos de suelos descritos en la norma técnica E030, así como de la referencia bibliográfica establecida por el Mapa de Microzonificación Geotécnica del Distrito de Trujillo, según la investigación realizada por Lujan, E (2018), revisando que cada uno de

los espectros de respuesta sean las que se caracterizan adecuadamente para la zona de estudio que es el Z4 con una aceleración de 0.45g. Uso de 1.50 Categoría A2; El sistema estructural Dual con un Valor de R igual a 7 cabe indicar que esta edificación cuenta con irregularidad en planta como discontinuidad del diafragma (0.85) y sistemas no paralelos (0.90) esto es para generar esfuerzos críticos que afectaran en su vida útil de la edificación, Periodo de suelo $S_0= 0.80$, $T_p=0.30$, $T_l=3.00$; un $S_1= 1.00$, $T_p=0.40$, $T_l=2.50$; un $S_2= 1.05$, $T_p=0.60$, $T_l=2.00$ finalmente $S_3= 1.10$, $T_p=1.00$, $T_l=1.60$; la misma que se obtuvieron las máximas de aceleración según su tipo de suelo: $S_0= 2.226g$; $S_1= 2.782g$; $S_2= 2.921g$; $S_3= 3.060g$.

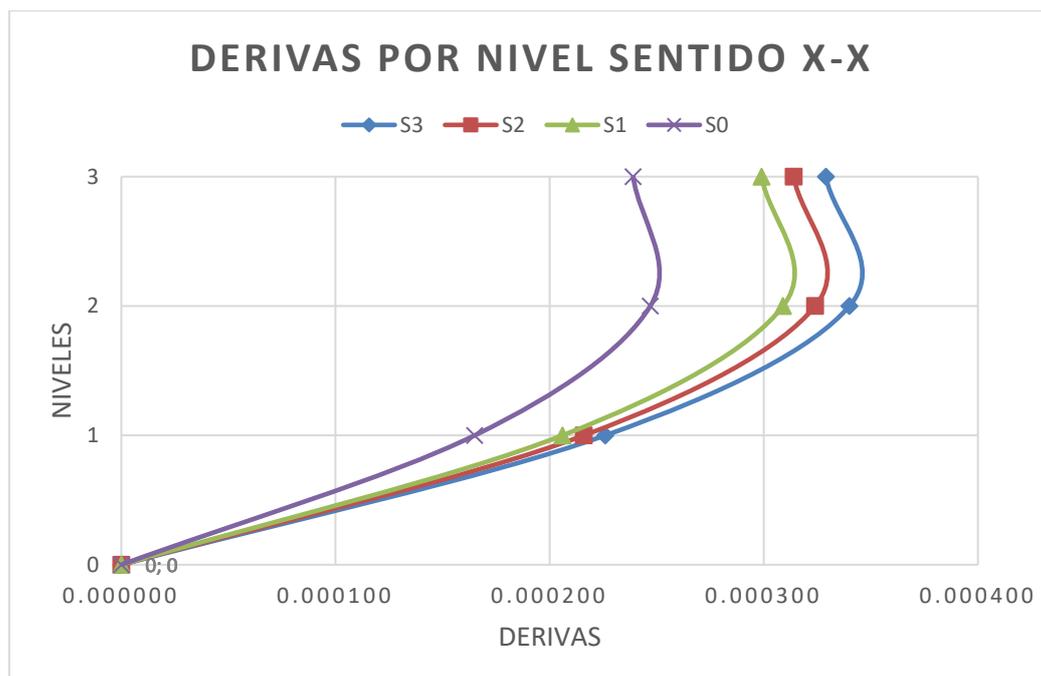
OE3- Según Angulo (2017) menciona que las fuerzas internas de los elementos estructurales de una edificación son menores cuando se toma en cuenta la interacción existente entre el suelo y la estructura que cuando se considera la base empotrada al suelo” (p.40). en ello el análisis de la determinación en la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo se determinó de forma aceptable dado que las deformaciones con derivas en cada nivel fueron menores que 0.007, Aun así, Para Loor Cevallos, (2017). En su investigación del Estudio de la vulnerabilidad sísmica y diseño del reforzamiento estructural del edificio; recopila la mayor información posible y disponible del edificio debido a su antigüedad, se realiza el análisis de cada elemento estructural, así como un análisis global de la estructura para decretar un diagnóstico estructural y de seguridad sísmica, encontrándose que el edificio posee una excesiva flexibilidad lateral, mal comportamiento dinámico y deficiencias en sus elementos estructurales las mismas que generaron un mejor comportamiento sísmico con la inclusión de muros de albañilería en los cantos de escaleras y baños; considerando que

los muros de concreto se encuentran en el fondo del ambiente (en la zona de la pizarra) donde se obtuvo una respuesta en derivas según el tipo de suelo para cargas estáticas; para un S0 una distorsión de 0.0004 en ambas direcciones, en el S1 una distorsión de 0.0004, en el S2 una distorsión de 0.000402 en la dirección de análisis “X” y 0.0004 en la dirección “Y” ; para un S3 una distorsión de 0.0004, y finalmente en las cargas Dinámicas; un S0 una distorsión de 0.000247 en la dirección de análisis “X” y 0.000245 en la dirección “Y”, en el S1 una distorsión de 0.000309 en la dirección de análisis “X” y 0.000306 en la dirección “Y”, en el S2 una distorsión de 0.000324 en la dirección de análisis “X” y 0.000321 en la dirección “Y” ; para un S3 una distorsión de 0.0004 en la dirección de análisis “X” y 0.0004.

OE4- En la comparación de los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la Norma Técnica Peruana E050 y E030. Se presenta en la investigación de Aquino y Rodríguez (2015), con un objetivo de comparar la respuesta estructural de los módulos “B” y “C” de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura. Para el desarrollo de su investigación consideraron dos modelos dinámicos. Así mismo, las dos edificaciones que se estudiaron fueron de la categoría esencial (NTP E.030, 2006), Además en el estudio del reforzamiento estructural del centro educativo Fermín del Castillo. (Lima – 2009), Fernando Calagua, planteó una propuesta de intervención estructural en un edificio de tres pisos denominado módulo 780, que en planta contaba con un sector rectangular adyacente a un octógono que había sido construido por INFES. La propuesta de refuerzo hacía que la nueva estructura cumpla con los requisitos de la norma E.030 del 2003 y que

después de separar los bloques del octógono y de los rectángulos 780, se efectuaron las verificaciones para los elementos estructurales existentes en resistencia y condiciones de servicio, obteniendo que el bloque de los rectángulos requería mayor reforzamiento que el bloque del octógono. Lo cual hace significativo lo aportes realizados tanto por las formas y la secuencia del modelado, así como en la patente de Montuori, Giovanni & Fadda, Monica & Perrella, Gianpaolo & Mele, Elena. (2015) Hexagrid: Es una estructura de tubos hexagonales para edificios altos y en el estudio de Chang y Seo (2013, p. 147) Las estructuras de mampostería se utilizan en todo el mundo para la construcción de edificios residenciales. En este estudio, para mejorar el rendimiento sísmico de las estructuras de albañilería, se desarrollaron bloques hexagonales y se probaron seis paredes de albañilería utilizadas en el bloqueo hexagonal para detectar fallas bajo carga lateral cíclica invertida, donde se obtuvo buenos resultados en generar estabilidad y buen comportamiento estructural.

Figura 34. Derivas de por nivel según el sentido de análisis.



En el cálculo de las derivas en el sentido X, se ha determinado que las derivas cumplen la norma técnica peruana E030 con la cual tenemos un máximo menor que el 0.007, dando una confiabilidad de los resultados finales del diseño y la respuesta estructural del modelado.



Al igual que en el sentido Y el cálculo de las derivas se ha determinado que las derivas cumplen la norma técnica peruana E030 con la cual tenemos un máximo menor que el 0.007, dando una confiabilidad de los resultados finales del diseño y la respuesta estructural del modelado.

4.2 Conclusiones

- Se ha realizado el modelamiento estructural de un Sistema Dual de forma hexagonal de un módulo educativo con un área en cada una de sus ambientes educativos de 56.843m², según los parámetros de métodos pedagógicos con la resolución viceministerial N° 084-2019-Minedu, en donde se dispone en aprobar la norma técnica “Criterios de diseño para locales educativos de primaria y secundaria”.
- Mediante la revisión bibliográfica se ha obtenido las propiedades geofísicas del suelo en el distrito de Trujillo mediante Mapa de Microzonificación Geotécnica del Distrito de Trujillo, según la investigación realizada por Lujan, con lo cual se ha logrado realizar 4 gráficos de espectros de respuesta dentro de la aceleración, Velocidad y Desplazamiento según los tipos de suelo según la norma E030, para estructuras de sistema dual de concreto armado de tres niveles, con un periodo inferior a los 0.17 segundos.
- De la respuesta estructural del Sistema Dual de forma hexagonal del modelo evaluado la mayor fuerza cortante fue la del suelo blando(S3) con 855.39 Tn, y su máxima deriva fue de 0.0004; así mismo la fuerza dinámica máxima fue de 663.56 Tn y una deriva 0.0004.
- Finalmente al comparar los resultados considerando el modelamiento del sistema dual y los diferentes tipos de espectro de respuesta para los diferentes tipos de suelos, según las exploraciones geofísicas MASW y la Norma Técnica Peruana E050 y E030; en la base para estructuras de sistema dual de concreto armado de tres niveles, se encuentra que, en el análisis Estático según la norma E030, con el tipo de suelo S3 fue mayor en un 38% al de suelo tipo S0 (Roca

dura), así como un 10% mayor que la de Suelo rígido (S1) y solo un 5% al de Suelo intermedio (S2). En el análisis Dinámico, las derivas en cada piso obtuvieron las mismas características en porcentaje de 38%, 10% y 5% respectivamente.

REFERENCIAS

- Askari, Peyman. (2016). *Beehive (Hexagrid), New Innovated Structural System for Tall Buildings*. International Journal of High-Rise Buildings. 5. 251-262. 10.21022/IJHRB.2016.5.4.251.
- Astorga Mendizábal, M., & Aguilar Velez, R. (2005). *Evaluación del riesgo sísmico en edificaciones educativas peruanas*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de posgrado, Lima.
- Calagua Mendoza, F. (2009). *Estudio del reforzamiento estructural del centro educativo Fermín del Castillo*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de posgrado, Lima.
- Calvi, G. M., Kingsley, G. R., & Magenes, G. (1996). Testing of Masonry Structures for Seismic Assessment. *Earthquake Spectra*, 12(1), 145-162. <https://doi.org/10.1193/1.1585872>
- Camacho Álvarez, María Marta, & González García, Victoria (2008). *Principios para la incorporación de tecnología digital en espacios preescolares*. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, IX(17),47-58.[fecha de Consulta 15 de Julio de 2020]. ISSN: 2215-2458. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=666/66615066004>
- Chang, K. K., & Seo, D. W. (2013). Shear Capacity of Hexagonal Masonry Walls with Hollow and Solid Blocks. *Applied Mechanics and Materials*, 432, 144-151. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.432.144>
- Gameros, Santiago. (2015). *Análisis comparativo de tres tipos de refuerzo estructural para pabellones de aulas de locales escolares de dos pisos y tres aulas por piso*. Tesis de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Guadalupe García-Chato (2014). *Ambiente de aprendizaje: su significado en educación preescolar*. Guadalajara: Editorial Revista de Educación y Desarrollo. Mexico

Consulta 15 de Julio de 2020]. ISSN:1665-3572. Disponible en:
http://www.cucs.udg.mx/revistas/edu_desarrollo/anteriores/29/029_Garcia.pdf

Kim, K. P., Freda, R., & Nguyen, T. H. D. (2020). Building Information Modelling Feasibility Study for Building Surveying. *Sustainability*, 12(11), 4791. <https://doi.org/10.3390/su12114791>

IBC-2009, 2009 International Building Code, (2009).

León , H., & Quintana , Ú. (2004). *Evaluación del desempeño sismorresistente de los colegios peruanos modernos*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de posgrado, Lima.

Loa Canales, G. J. F. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997*.

Loor Cevallos, C. A. (2017). Estudio de la vulnerabilidad sísmica y diseño del reforzamiento estructural del edificio administrativo de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 180 hojas. Quito: EPN.

Montuori, Giovanni & Fadda, Monica & Perrella, Gianpaolo & Mele, Elena. (2015). *Hexagrid - Hexagonal tube structures for tall buildings: Patterns, modeling, and design. The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 24. 10.1002/tal.1218.

Pazos, S. M. (2017, 4 mayo). *idUS - Diseño espacial en el aula de preescolar un estudio de caso*. idUS - Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/59206>

Petter Bruno Josef, P. B. J. (1954). *Buildings with multangular rooms, the ground plan of which is combined from hexagonal elements* (US2886855A). U. S. Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US2886855A/en>

Quiroz Rojas, Edward. (2017). *Vulnerabilidad sísmica de una edificación escolar típica módulo 780 Pre NDSR-1997 mediante modelos no lineales*. Tesis de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Rodríguez, Ali, Bojórquez Mora, Edén, Reyes-Salazar, Alfredo, Avilés, Javier, & Ruiz Gómez, Sonia E.. (2017). Determinación de espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura. *Ingeniería sísmica*, (96), 18-38. Recuperado en 29 de julio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2017000100018&lng=es&tlng=es.

Rudolf Müller, R. M. (s. f.). *Muller, city of the future: hexagonal building*. urbanplanning.library.cornell.edu.
<http://urbanplanning.library.cornell.edu/DOCS/muller.htm>

Silva, L. S. (2019, 26 junio). «*Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo*». <http://dspace.unitru.edu.pe/>. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12822>

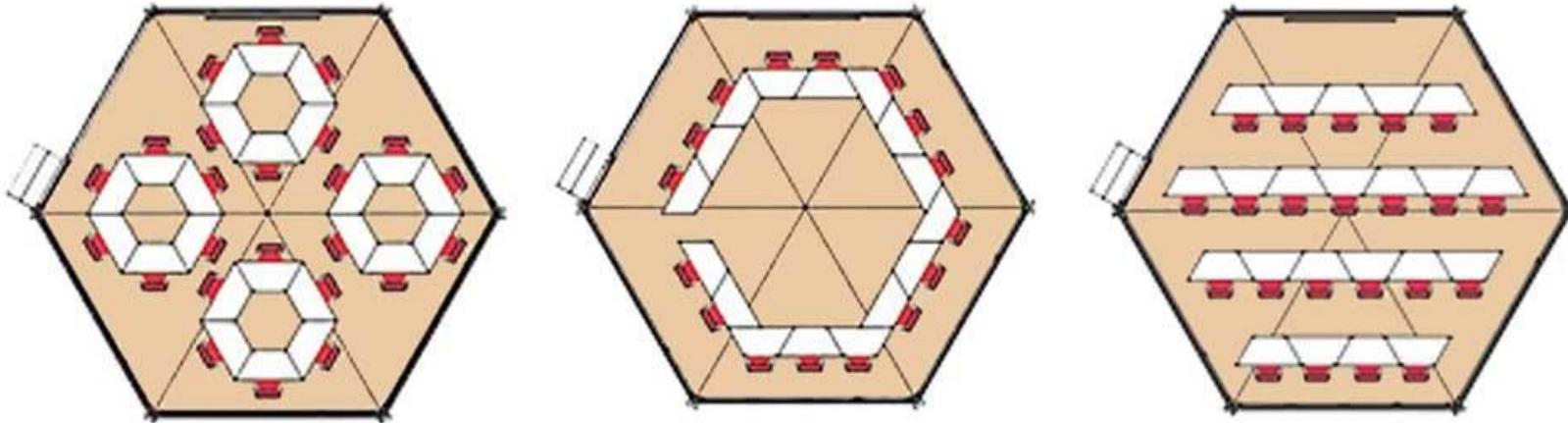
The Hexagon [a eulogy]. (s. f.). [misfitsarchitecture](https://misfitsarchitecture.com/2018/04/02/the-hexagon/).
<https://misfitsarchitecture.com/2018/04/02/the-hexagon/>

Wang, J.; Kwan, M.-P. *Hexagon-Based Adaptive Crystal Growth Voronoi Diagrams Based on Weighted Planes for Service Area Delimitation*. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2018, 7, 257.

ANEXOS

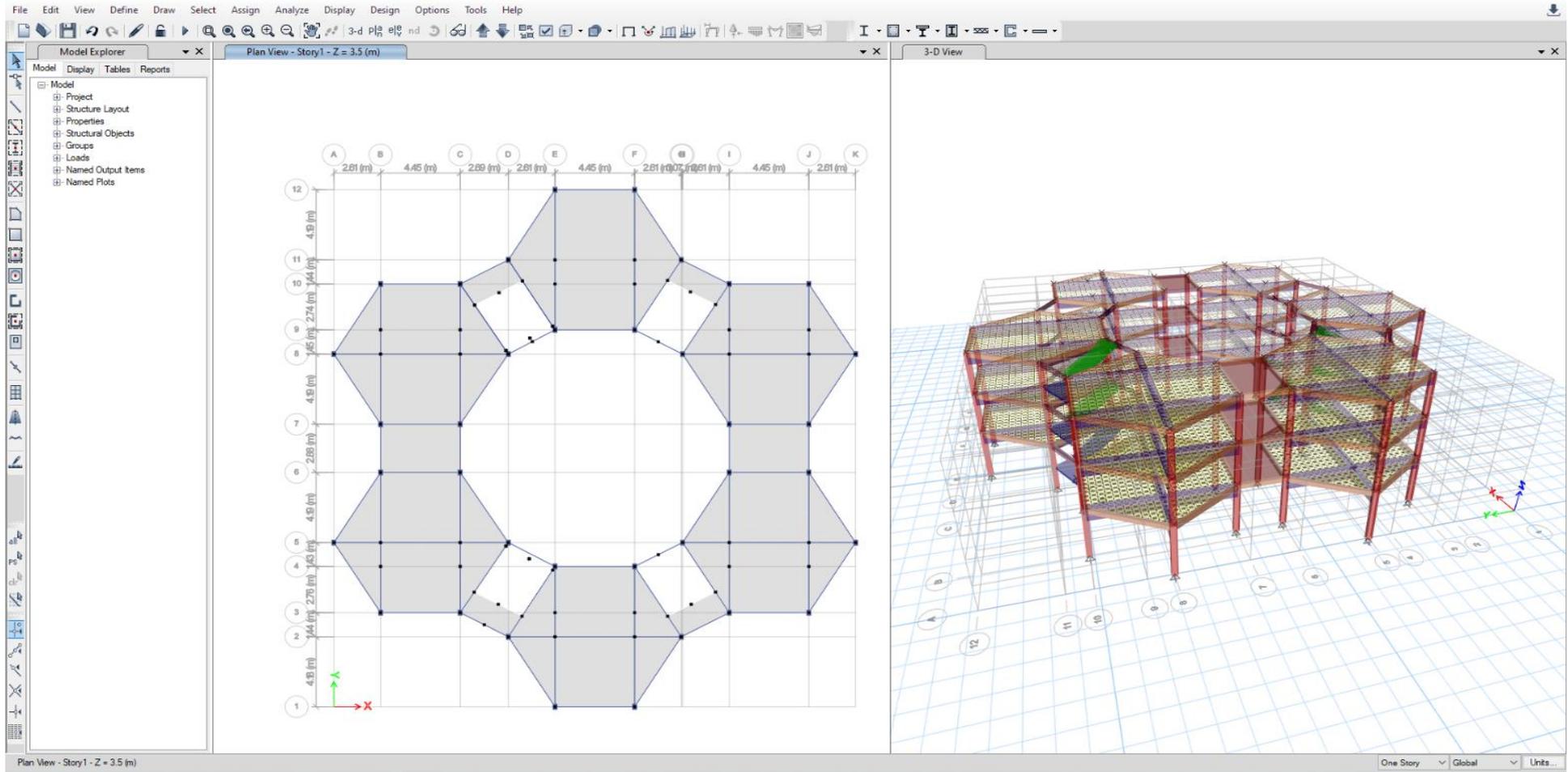
ANEXO 01
PANEL FOTOGRÁFICO: MODELO CON AULAS HEXAGONALES Y DISPOSICIÓN DE MOBILIARIO





ANEXO 2: MODELO DE AULAS EN FORMA HEXAGONAL

ANEXO 3: MODELAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO DE DISEÑO ESTRUCTURAL



ANEXO 4: PLANO ARQUITECTONICO DE AULA EDUCATIVA HEXAGONAL EN 1ER, 2DO Y 3ER NIVEL

