

1. GENERALIDADES

1.1. TITULO

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

Por: Ings. William Conrad Galicia Guarníz y Javier Rubén León Vasquez

Asesor: Ph.Dr. Genner A. Villarreal Castro

Universidad Privada Antenor Orrego

Trujillo-Perú

-2007-

1.2. RESUMEN

La presente investigación, está orientada al cálculo de edificaciones de albañilería confinada, considerando la flexibilidad de la base de fundación, conocida como Interacción Suelo-Estructura. Para su aplicabilidad se utilizaron los diferentes modelos propuestos por distinguidos científicos extranjeros, cuyas propuestas llevaron años en su estudio, investigación y elaboración.

Los modelos evaluados en la presente investigación fueron tomados como referencia de las publicaciones del Dr. Genner Villarreal Castro, en las cuales abundan conceptos más profundos acerca de éste tópico que vincula a la Ingeniería Estructural y Geotecnia, partiendo de la premisa que toda estructura debe cumplir con las exigencias de las normas de diseño sismorresistente vigentes.

Para ello, se analizó el estado actual de la ciencia vinculado al problema de Interacción Suelo-Estructura. Luego, se fundamentó el uso de plateas de cimentación en edificaciones, así como las distintas metodologías que se aplicarán en la edificación. Posteriormente, se describió el proyecto, considerando los parámetros de ubicación, área de edificación, estudio de suelos, etc., los cuales son muy importantes en la aplicación de la interacción suelo-estructura.

Finalmente, se desarrolló el análisis estructural y análisis sísmico. En el primer caso, se analizaron los conceptos básicos, requisitos, estructuración y evaluación por densidad de muros; y en el segundo; criterios, características del modelo matemático y empleo del programa SAP 2000.

2. PLAN DE INVESTIGACION

2.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

La Interacción Suelo-Estructura, es un campo nuevo de la Ingeniería Civil, el cual une a la Ingeniería Geotécnica con la Ingeniería Estructural. La necesidad de esta unificación ha sido evidente por el simple hecho de que ningún edificio al momento de su diseño podría aislarse de su interacción con el suelo de fundación, existiendo aún sin número de espectros y parámetros a resolver. En los últimos años el desarrollo de las capacidades de las computadoras, ha permitido analizar diversos tipos de estructuras, considerando su interacción con el suelo de fundación.

El efecto de la interacción suelo-estructura es muy notorio en el cálculo de edificaciones, porque influye en la determinación de los modos de vibración libre, así como en la redistribución de los esfuerzos en el edificio y cimentación, cambiando las fuerzas internas en los diferentes elementos estructurales.

Debido a la existencia de poderosos programas de cómputo, como es el caso del SAP2000, el cual nos permite modelar y analizar edificaciones mediante técnicas de modelamiento simple y sofisticado; lo que nos llevó a desarrollar un estudio sobre la sensibilidad de la respuesta sísmica, proporcionadas por los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, habiendo para ello, elegido una edificación de albañilería confinada con platea de cimentación.

2.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Aplicar la Interacción Sísmica Suelo-Estructura a Edificaciones de Albañilería Confinada con Plateas de Cimentación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Elaborar la modelación de la edificación por el Método de Secciones Transformadas, cumpliendo con los requisitos mínimos expresados en las Normas Peruanas E-020, E-030, E-060 y E-070.
- Adaptar los modelos de interacción sísmica suelo-estructura a edificaciones con plateas de cimentación.
- Ejecutar los cálculos de los diferentes modelos de interacción sísmica suelo-platea de cimentación-superestructura para el caso de edificaciones de albañilería confinada.

2.3. PROBLEMA

Aplicar la Interacción Sísmica Suelo-Estructura a Edificaciones de Albañilería Confinada con Plateas de Cimentación, con la finalidad de llegar a investigar la participación del suelo de fundación conjuntamente con la estructura frente a eventos sísmicos y los parámetros que intervienen en dicha interacción.

2.4. HIPÓTESIS

Demostrar la reducción de esfuerzos en los diferentes elementos estructurales debido a que parte de la energía generada por el sismo en la estructura, será absorbida ahora por el suelo de fundación, coadyuvando a un mejor comportamiento estructural.

2.5. TIPO DE INVESTIGACION

De acuerdo al fin que persigue: APLICADA

2.6. CRITERIOS DE SELECCIÓN

MODELOS DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

En la actualidad, estamos orientándonos al cambio de métodos de cálculo más seguros, a la búsqueda de nuevas metodologías de análisis para resolver problemas constructivos, los cuales nos conlleven hacia un diseño económico.

Resulta imposible resolver los diversos problemas de la ingeniería sísmica sin la elaboración fundamentada de los modelos físicos aproximados de las estructuras, con lo cual se propone la elección del tipo de modelo de interacción y el modelo estructural, los cuales están íntegramente relacionados. La principal exigencia para estos modelos es su aproximación cercana con la realidad.

Tradicionalmente se usó el modelo de péndulo invertido sin peso, con masas puntuales a nivel de entresijos y empotrado en la base (suelo), el cual puede comunicar a la estructura la acción sísmica externa en dos direcciones mutuamente perpendiculares (Fig. 1) [1].

Este modelo presenta las siguientes insuficiencias: se pierde la posibilidad de la descripción de diversos efectos dinámicos del trabajo real de la estructura; donde no se muestra el sentido físico

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

de la interacción suelo-estructura, debido a los desplazamientos del suelo que interactúa junto con la estructura.

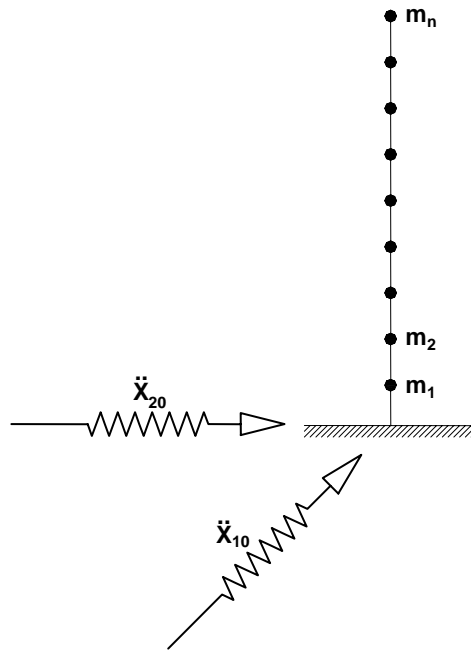
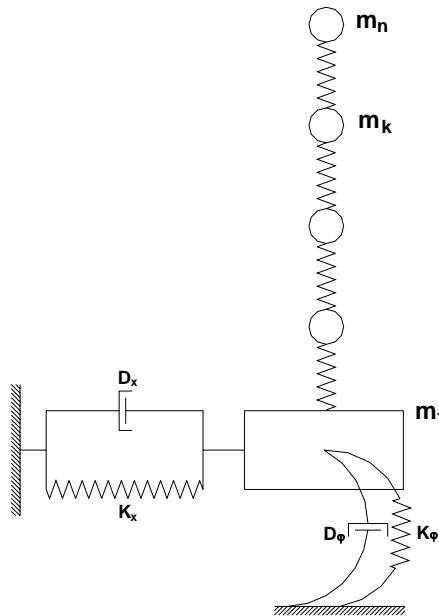


Fig. 1

Luego se propuso un modelo de una barra en voladizo con masas puntuales, donde m_1 es la masa del estrato, que se apoya en suelo rocoso (Fig. 2).

Fig. 2



Ante la acción sísmica la masa m_1 realiza desplazamientos horizontales y giros. El amortiguamiento, tanto en el edificio, como en el suelo se consideran por hipótesis equivalentes de resistencia viscosa.

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

En Japón se planteó la Interacción suelo-estructura en forma de una platea rectangular (Fig. 3), la cual se desplaza por el suelo y gira alrededor del plano vertical, así como parcialmente se puede despegar de la superficie del terreno [1].

En Turquía se presentó un modelo cuyo sistema de cálculo se modeló en forma entrecruzada con masas puntuales en los nudos (Fig. 4).

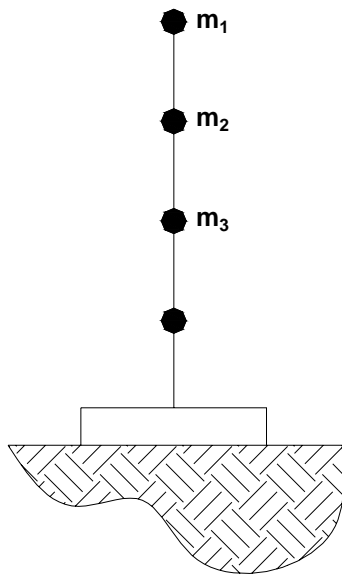


Fig. 3

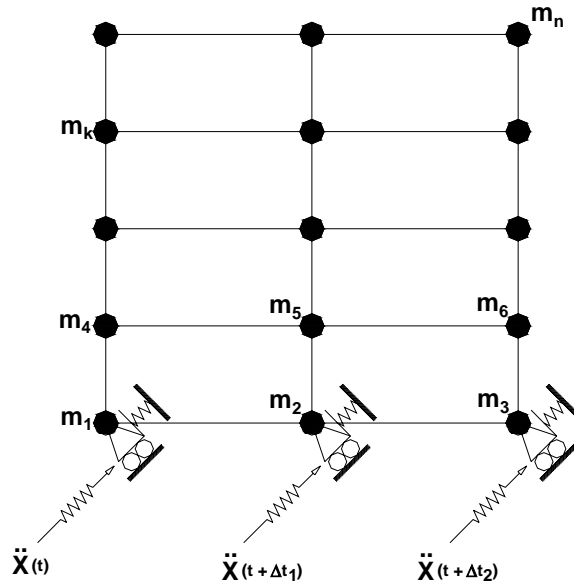


Fig. 4

En Rusia se analizó un modelo basándose en el Método de los Elementos Finitos, investigándose reacciones dinámicas de una edificación rígida (edificio multifamiliar de grandes paneles) considerando la interacción suelo-estructura.

Para ello la edificación se modeló en forma de una placa deformable, dividida en elementos finitos, en cuyos nudos se concentraron las masas puntuales (problema lineal geométrico).

La base de fundación se modeló en forma análoga a una platea y ambas estructuras se unieron elásticamente (Fig. 5), siendo sometidas a la acción sísmica de una parte del acelerograma del Sismo Taft (California 1952).

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

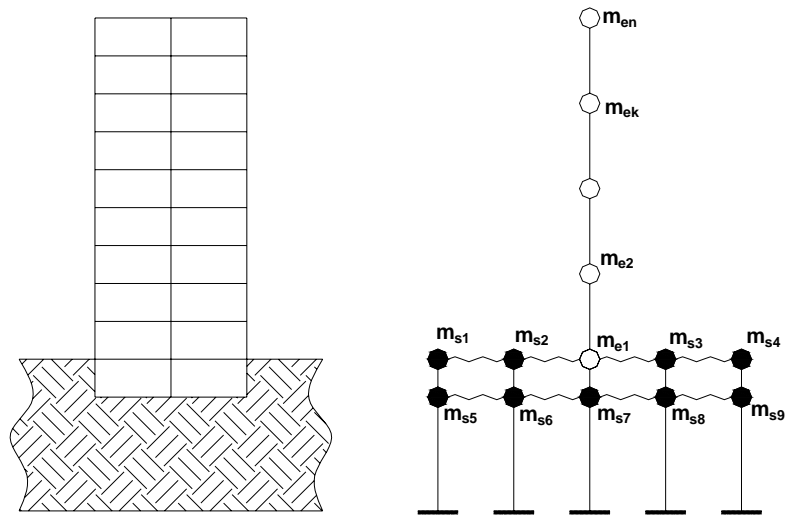
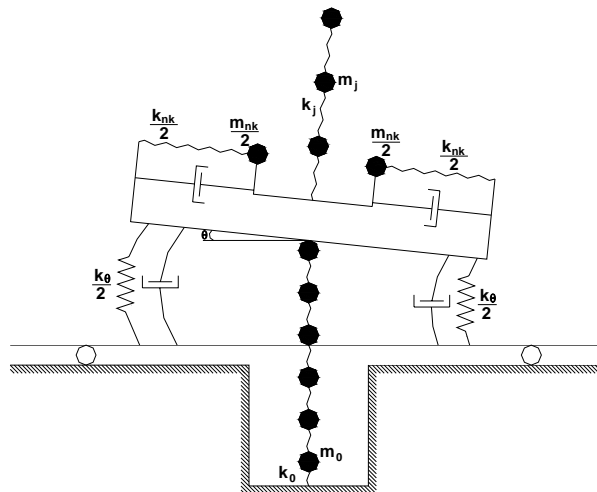


Fig. 5

Como resultado se obtuvo, que los desplazamientos del sistema se determinaron en base a los desplazamientos dinámicos del suelo (el desplazamiento de la estructura resultó en un grado menor); y las vibraciones de la placa, con que se modeló la superestructura tiene la forma de planos paralelos en el plano vertical [1].

Luego se propuso un modelo (Fig. 6), que considera la deformación conjunta elasto-plástica de la estructura y el suelo de fundación. Se denomina genérico a este tipo de modelos y viene a ser la prolongación del desarrollo del modelo de péndulo invertido con masas puntuales. En cierto modo, este modelo considera los desplazamientos horizontales del estrato de suelo.

Fig. 6



Las Investigaciones de Nikolaenko N.A. y Nazarov Yu.P. [1], fueron consideradas como un nuevo paso en la creación de nuevos modelos de cálculo. Ellos propusieron como base el modelo de un cuerpo sólido con 6 grados de libertad (Fig. 7). Tal propuesta describe claramente las vibraciones de desplazamiento y giro, así como los efectos dinámicos del trabajo espacial de la estructura. Los desplazamientos finitos y ángulos de giro (no-linealidad geométrica) se obtienen por el movimiento del mismo modelo.

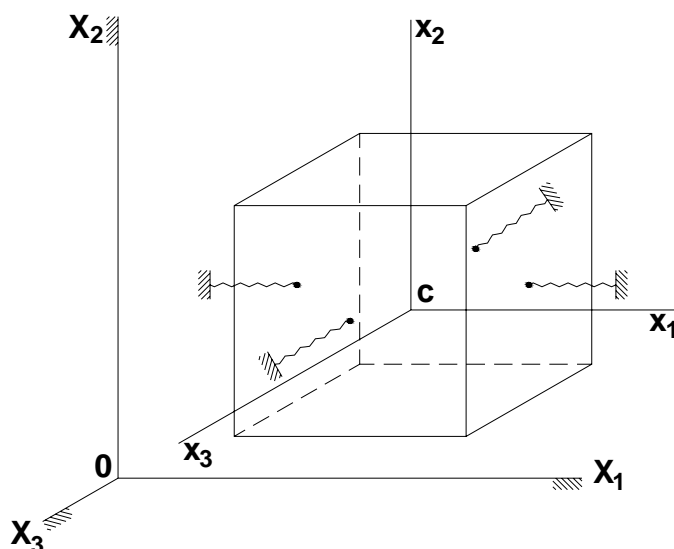


Fig. 7

En éste modelo de cálculo, se puede describir en forma unificada el movimiento de la estructura, considerando o no el desplazamiento del suelo de fundación.

El problema de interacción suelo-estructura ha sido estudiado de diversos puntos de vista por los científicos A.A. Amosov, A.V. Anikev, D.D. Barkan, D.N. Birulia, I.G. Filipov, V.A. Ilichev, N.N. Shaposhnikov, J. Jauzner, B.K. Karapetian, A.Z. Kats, B.G. Korenev, Sh.G. Napetvaridze, A.G. Nazarov, N.P. Pabliuk, A.E. Sargsian, V.I. Smirnov, N.K. Snitko, M.T. Urazbaev y otros [1], quienes han dado notables aportes en la consideración de las propiedades del suelo en el cálculo sísmico, determinando las perturbaciones cinemáticas sísmicas, que surgen en la edificación. Para éste análisis se introducen los coeficientes de rigidez del suelo en las direcciones horizontal, vertical y giros respecto a los mismos ejes en la cual se consideran las propiedades inerciales del suelo de fundación, así como la masa del suelo y cimentación unida a la estructura.

El avance de la Ingeniería Geotécnica ha permitido conocer las velocidades de propagación de las ondas longitudinal y transversal para cada uno de los tipos de suelos, lo cual ha permitido la incorporación de dicho parámetro de interacción suelo-estructura.

AVANCES DE LA INGENIERIA GEOTECNICA

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas de los suelos. Los geotecnistas investigan al suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, y otros.

Es por esto que los ingenieros geotécnicos, además de entender cabalmente los principios de la mecánica y de la hidráulica, necesitan un adecuado dominio de los conceptos básicos de la geología. Es de especial importancia conocer las condiciones bajo las cuales determinados materiales fueron creados o depositados, y los posteriores procesos estructurales o diagenéticos (procesos metamórficos, de sustitución, cristalización, etc.) que han sufrido.

Para edificaciones, los tipo de cimentación más comunes, son las cimentaciones superficiales (cimientos corridos, zapatas aisladas, conectadas, combinadas y plateas de cimentación) y

cimentaciones profundas (pilotes). Las presas y diques son estructuras que pueden ser construidas de suelo o roca y que para su estabilidad y estanqueidad dependen en gran medida de los materiales sobre los que están asentados o de los cuales se encuentran rodeados. Los túneles son estructuras construidas a través del suelo o roca y que dependen en gran medida de las características de los materiales a través de los cuales son construidos para definir el sistema de construcción, la duración de la obra y los costos.

Los ingenieros geotécnicos también investigan el riesgo para los seres humanos, las propiedades y el ambiente de fenómenos naturales o propiciados por la actividad humana, tales como deslizamientos de terreno, hundimientos de tierra, flujos de lodo y caída de rocas.

Antiguamente a la geotecnia se la identificaba como mecánica de suelos, pero el término se amplió para incluir temas como la ingeniería sísmica, la elaboración de materiales geotécnicos, mejoramiento de las características del suelo, interacción suelo-estructura y otros. Sin embargo, la geotecnia es una de las ramas más jóvenes de la ingeniería civil y, por lo tanto, sigue evolucionando activamente.

Uno de los trabajos más completos sobre la historia de la geotecnia es el volumen publicado en el XI Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica de San Francisco (ICSMFE, 1985), que incluye tres conferencias de Kérisel, Skempton y Peck.

La primera de dichas exposiciones, de Jean Kérisel, trata de la historia de la Ingeniería del Terreno hasta 1700. Obviamente no se puede hablar de una determinada tecnología geotécnica antes del siglo XVIII, sino de conocimientos empíricos y realizaciones concretas. A pesar de que existen trabajos sobre la técnica constructiva en la época romana o en la Edad Media, hasta el siglo XVIII la técnica del “maestro de obra” se guía fundamentalmente por el empirismo y es transmitida al interior de los gremios.

La segunda conferencia, de A.W. Skempton, considera el período 1700-1925. Esta separación no es arbitraria. Empieza en los inicios del siglo XVIII, con el avance del racionalismo y con el desarrollo de los institutos y escuelas técnicas de ingenieros, cuando la ciencia comienza a tener una importancia básica en la tecnología hasta entonces desarrollada únicamente a escala artesanal y finaliza con la publicación de la obra de Terzaghi (1925), que constituye el inicio de una nueva etapa para la geotecnia.

Las fechas fundamentales de esta época corresponden a desarrollos analíticos de importancia, relacionados con teorías de cálculo. En el período indicado, Skempton distingue cuatro etapas diferenciadas: Pre-clásica, clásica primera fase, clásica segunda fase y moderna. La primera fase, denominada mecánica del suelo clásica, comienza con los trabajos de Coulomb (1776) sobre empuje de tierras y va hasta la publicación del libro de Rankine (1857) con sus teorías sobre el tema. Con los medios disponibles en esta etapa era preciso simplificar el complejo comportamiento del suelo, alejándose de su comportamiento real. Durante la segunda fase de esta mecánica de suelos clásica, Skempton incluye los trabajos de Darcy, Boussinesq (1885) y los de O. Reynolds (1885 y 1886) sobre la expansión de los suelos. Todos ellos recurren principalmente a técnicas experimentales para estudiar el comportamiento del terreno.

Finalmente, entre 1919 y 1925 se produce un gran avance sobre el conocimiento de las propiedades de la arcilla, incluyendo los estudios de Atterberg, de Fellenius y de sus colegas suecos sobre estabilidad de taludes y el inicio de los trabajos de Karl Terzaghi.

Esta última época (1919-1925), definida según la evolución del desarrollo de los conocimientos geotécnicos, se alarga aproximadamente unos veinte años más. En ella, pese a los avances, las enseñanzas transmitidas son básicamente conocimientos empíricos, pero se inicia la transmisión de procedimientos analíticos de cálculo. De éstos, los preferidos de la época eran los apoyados en la estática.

Estos conocimientos se transmiten en las escuelas de ingeniería, originalmente militares y posteriormente civiles. La primera escuela de ingeniería civil del mundo es la École Nationale des Ponts et Chaussées, fundada en 1747 en París. En España se hubo que esperar hasta el año 1802. Las materias que durante ese primer año se dictaron, de acuerdo con el programa inicial, fueron: mecánica, hidráulica, geometría descriptiva y cálculo de empujes de tierras y bóvedas, así como estereotomía de las piedras y maderas (Sáenz, 1993). Pero a lo largo de esta época las enseñanzas geotécnicas no consiguen constituirse como cuerpos de docencia independientes, sino que se explican conjuntamente con las enseñanzas de estructuras o puentes.

Cabe destacar que durante esta época se inicia la publicación de textos, con los apuntes de las enseñanzas transmitidas en las escuelas y la edición de revistas a través de las cuales los ingenieros civiles transmiten sus experiencias, muchas de ellas relacionadas con la forma de superar problemas relacionados con el terreno. En España destacan los textos de Ribera (1925, 1929, 1931 y 1932) y Entrecañales (1936) y la publicación periódica Revista de Obras Públicas.

El libro de Terzagui, "Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage", publicado en 1925, se considera como el punto de partida de la nueva ciencia geotécnica. Sin embargo este trabajo no parece decisivo para los procedimientos constructivos ni para los métodos de cálculo. Pero sin duda su labor provoca el comienzo de una etapa de desarrollo espectacular para la geotecnia. La característica que hace especial a esta obra y a su autor es la plenitud de la aplicación del método experimental a los problemas del terreno. La difusión de sus trabajos originó el inicio de una nueva etapa en la historia de la geotecnia.

La expansión de la Geotecnia ha sido espectacular en los últimos veinte años, en los que se ha trabajado en aspectos aparentemente diversos, pero íntimamente relacionados entre sí. Una de las razones de esta evolución, entre muchas otras, es la facilidad al acceso de la informática. Ello ha hecho factible la generalización del uso de los métodos numéricos en la investigación. Generalización hoy ya consolidada y que está llegando rápidamente a los proyectistas [5].

Se considera a Karl Terzaghi como el padre de la ingeniería geotécnica y la mecánica de suelos.

Las tendencias actuales en la construcción se dirigen sobre todo en la reconstrucción de edificios, incluyendo los de valor histórico.

Previamente, algunos métodos han sido desarrollados con eficacia para el cálculo de superestructuras y el subsuelo subyacente, utilizando los equipos de cómputo actuales. Sin embargo, los métodos simplificados tienen pruebas inaceptables para la solución de una gama entera de problemas en la construcción y reconstrucción.

La interacción de Suelo-Estructura es un campo de la ingeniería civil, que une a la Ingeniería Geotécnica con la Ingeniería Estructural. La necesidad de esta unificación ha sido evidente por el simple hecho de que ningún edificio al momento de su diseño podría evitar la interacción con el suelo de fundación, existiendo muchos espectros y parámetros a resolver. El cambio de las capacidades de los equipos computarizados, ha creado la premisa para la realización de éste cálculo juntando la interacción suelo-cimentación-superestructura, mediante el uso del computador [6].

Los cálculos de la Interacción Suelo-Estructura han llegado a ser altamente relevantes para los edificios debido a que el diseño estructural en condiciones de campo es complicado. Las deformaciones diferenciadas del subsuelo afectan perceptiblemente en la distribución de las fuerzas a través de toda la estructura y de no hacer caso a ésta amenaza, pone en riesgo la seguridad de los edificios.

El rol de los Ingenieros Geotécnicos aumenta exponencialmente, por ello el tema de la Interacción Suelo-Estructura aspira a ser un eje principal de información que proporciona la exactitud de la predicción de los cálculos al momento de diseñar una edificación, ya que toda obra

está construida sobre o en el terreno.

Que éste acercamiento permita reunir a Ingenieros estructurales y geotécnicos en las etapas iniciales y finales de los proyectos de construcción. Esperamos que nuestra investigación sirva para mejorar la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente y dé el ímpetu adicional para el desarrollo intensivo de ésta nueva área de investigación.

LINEAS DE INVESTIGACION FUTURA

LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE INGENIERIA GEOTECNICA Y MECANICA DE SUELOS (ISSMGE)

La ISSMGE es la organización profesional más importante a nivel mundial que representa los intereses y actividades de Ingenieros, Académicos y Contratistas que participan activamente en la ingeniería geotécnica [7].

Como organización universal, la ISSMGE cuenta con una herramienta efectiva para la comunicación y difusión de información geotécnica a sus más de 75 Sociedades Nacionales y 17000 miembros individuales de todo el mundo, constituyéndose así en el eje del liderazgo profesional.

Los objetivos de esta organización líder a nivel mundial, son:

- Proveer a los miembros de la ISSMGE noticias de actualidad e información sobre las actividades de la Sociedad en el mundo.
- Constituirse en la plataforma de comunicación para la gestión y administración de la Sociedad.
- Ser la plataforma de comunicación para la coordinación efectiva de los Comités Técnicos.
- Constituirse en el único sitio de información científica sobre futuros Congresos y actividades académicas.

Esta Organización hace que los directivos de la Sociedad y los Coordinadores de los Comités Técnicos tengan acceso y puedan manejar el contenido del mismo para la actualización permanente de la información referente a sus gestiones. Se espera que a lo largo del tiempo, el ISSMGE siga desarrollándose para satisfacer las metas a largo plazo del Comité Directivo de la Sociedad que serían:

- Proporcionar una herramienta eficaz para la difusión de las publicaciones e informes de los Comités Técnicos.
- Colaborar en la coordinación y gestión de congresos internacionales y especializados.
- Constituirse en un medio práctico y económico para la publicación y difusión de conferencias magistrales y memorias de los congresos.
- Difundir las principales Investigaciones Internacionales, relacionadas con la Interacción Suelo-Estructura, reconstrucción de ciudades históricas, construcciones subterráneas, desastres naturales y otros.

RECONSTRUCCION DE CIUDADES E INGENIERIA GEOTECNICA

Es una organización rusa, dependiente de la Sociedad Rusa de Mecánica de Suelos, Rocas y Fundaciones, que se creó con la finalidad de preservar las ciudades históricas, como patrimonios culturales y su sede está en la ciudad de San Petersburgo.

El Presidente de la Sociedad Rusa de Mecánica de suelos, Rocas y Fundaciones, es el científico D.Sc., Prof. V.A. Ilichev, reconocido a nivel mundial por sus investigaciones en el área de la dinámica de suelos e ingeniería geotécnica sísmica y al haber presidido con éxito dicho Comité del ISSMGE.

El Presidente de la Organización “Reconstrucción de Ciudades e Ingeniería Geotécnica”, es el científico D.Sc. Prof. V.M. Ulitsky, actual Presidente del Comité T-38 “Interacción Suelo-Estructura” del ISSMGE, quien es muy reconocido por ser el impulsor y creador de la metodología de elementos sólidos como modelo de cálculo de la interacción suelo-estructura en edificaciones.

Los casos particulares investigados por ésta organización es la posibilidad práctica de resolver los desafíos geotécnicos encontrados en la reconstrucción de ciudades históricas y la nueva construcción en áreas congestionadas con condiciones de tierra inestables [8].

La filosofía de esta organización, es investigar fundaciones confiables, que impidan desplazamientos o derrumbes, lo cual ocasionaría desastres y pérdidas materiales y humanas. Por ello, indican “es mejor estudiar bien el terreno y de esta manera no se enterrará su dinero en el subsuelo”.

Ellos han creado un software llamado FEM MODELS, diseñado para abordar la mayoría de los problemas complejos de la interacción suelo-estructura en 3D, utilizando para ello el método de elementos finitos.

Las principales Líneas de Investigación en el área de interacción suelo-estructura son:

- Considerar al suelo como inelástico y disipador de energía.
- Analizar el comportamiento del suelo en forma de elementos sólidos, incorporando el efecto de fricción interna, ángulo de cohesión y otras propiedades.
- Utilizar la metodología de los pasos como método iterativo de cálculo.

Cabe indicar, que en éste tema de investigación, son los rusos y los japoneses, quienes lideran las investigaciones en ésta área y cuyos aportes han permitido proyectar edificaciones seguras, confiables y económicas.

2.7. TAMAÑO MUESTRAL

DESCRIPCION DEL PROYECTO

UBICACIÓN:

La “Residencial San Isidro” se ubica en la manzana C1, lotes 14 y 15 de la Urbanización San Isidro, zona correspondiente al distrito y provincia de Trujillo, departamento de La Libertad.

AREAS DEL PROYECTO:

Area del terreno:	470.90 m ²
Area techada:	1619.15 m ²

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

DATOS GENERALES:

Sistema estructural	Albañilería confinada
Uso	Vivienda Multifamiliar
Numero de Pisos	05 Pisos + Azotea
f'c (vigas y losa)	210 Kg /cm ²
f'c (columnas)	210 Kg /cm ²
f _y	4200 Kg /cm ²
f'm (Albañilería)	65 Kg /cm ²
Tipo de Suelo	SC/SM (Arena Arcillo/Limosa)
Presión Admisible (σ _i)	1.58 Kg /cm ²
Agresividad de suelo	Los suelos en cuestión poseen poca cantidad de sales solubles totales

PARAMETROS SISMICOS:

Factor de Zona	Z = 0.40	
Factor de Amplificación de Suelo	S = 1.40	
Factor de Uso de Edificación	U = 1.00	
Factor que defina la plataforma del espectro	Tp = 0.90	
Factor de Reducción	Rx = 6.00	Ry = 6.00

PLANOS DE ARQUITECTURA

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

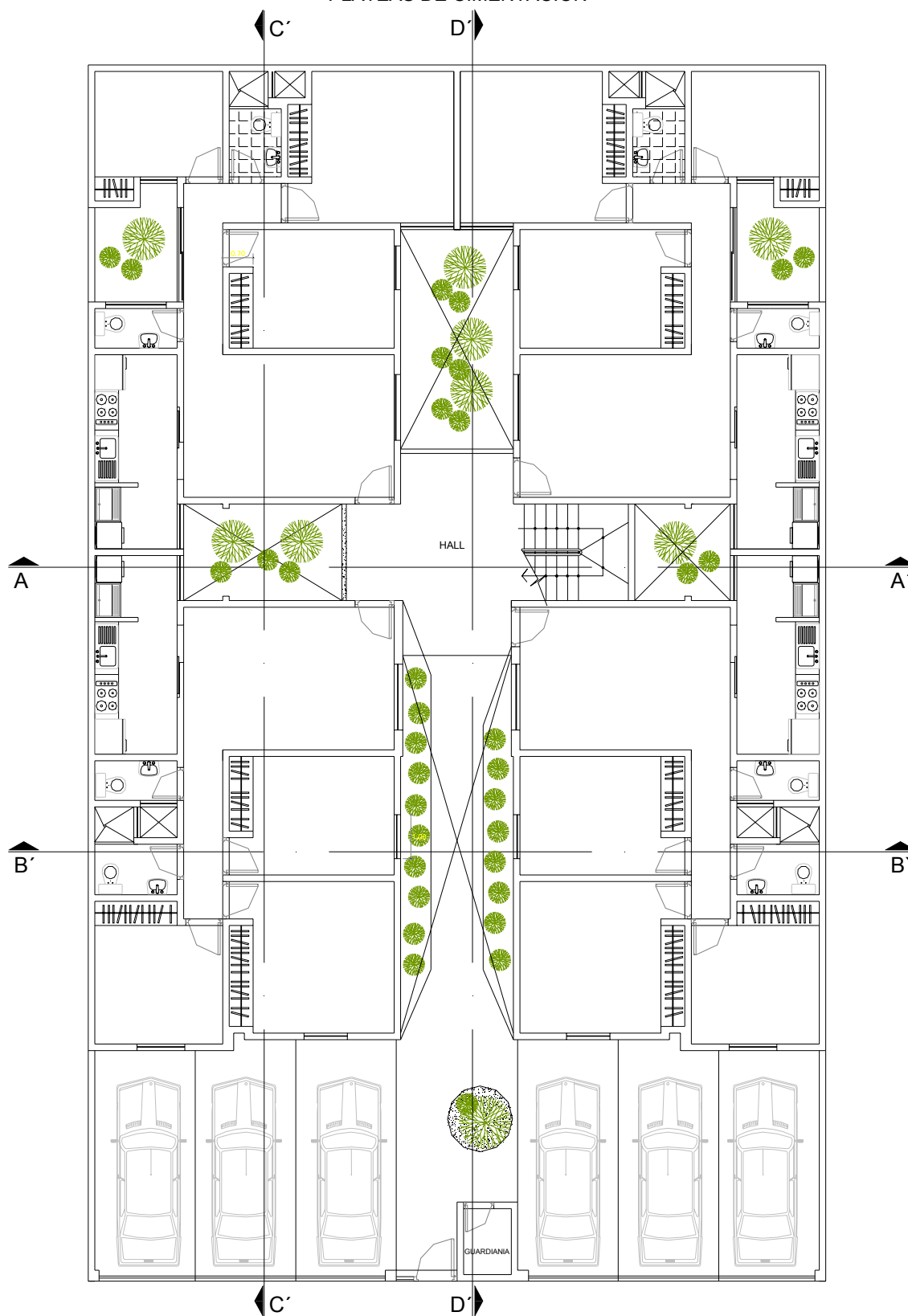


Fig. 8 Planta Primer Piso

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

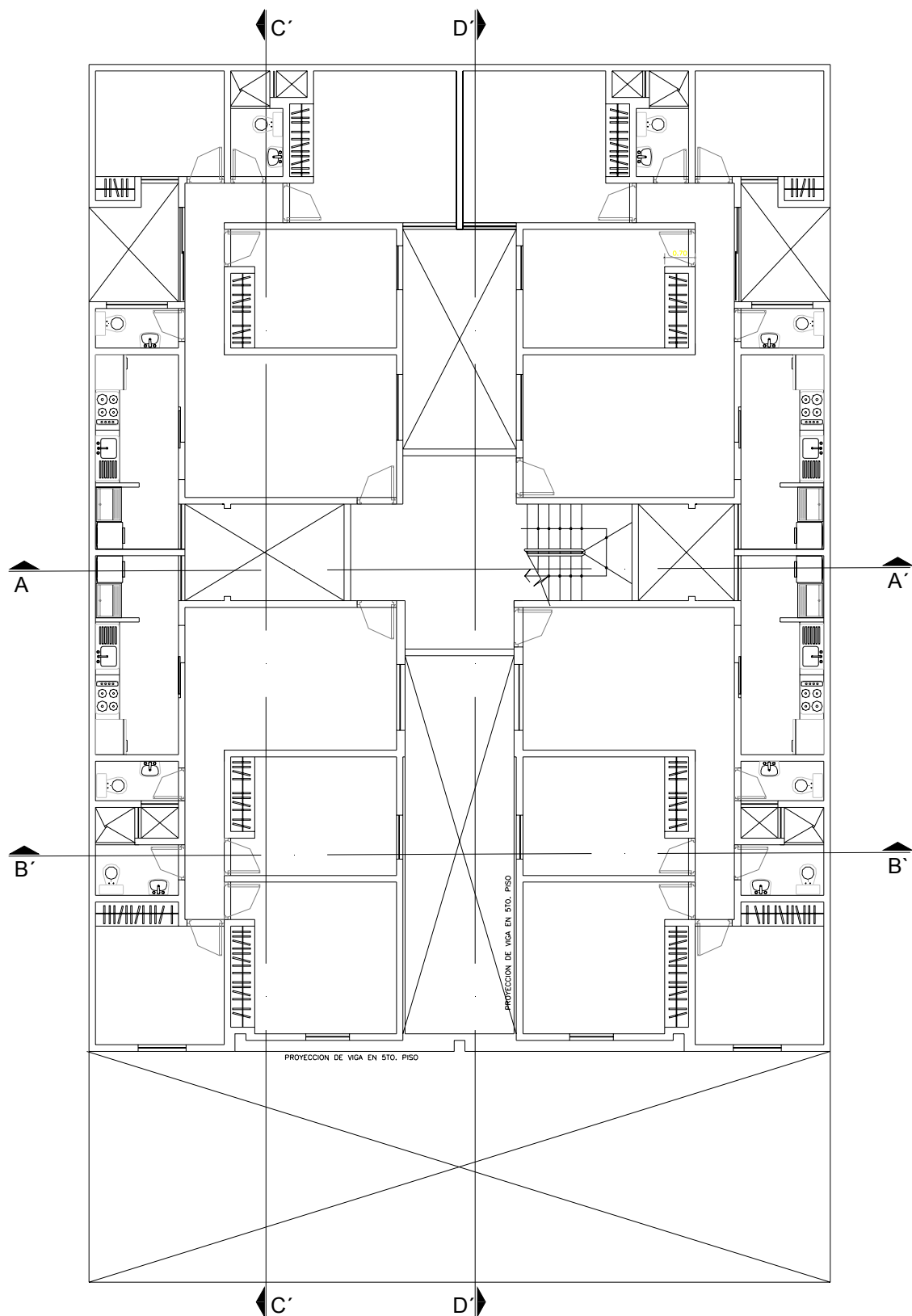


Fig. 9 Planta Típica

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

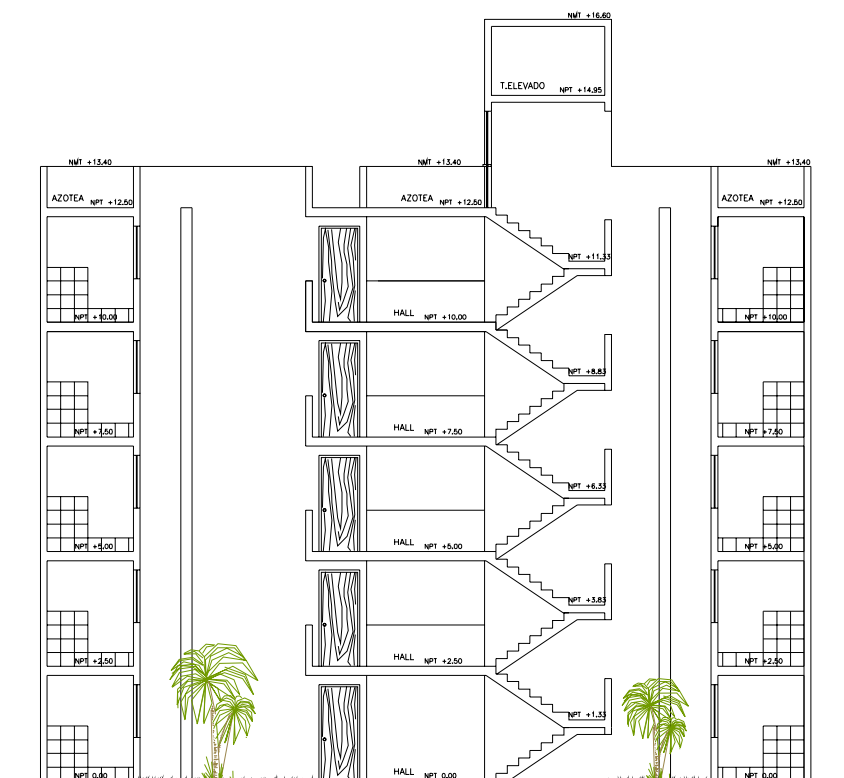


Fig. 10 Corte A-A'

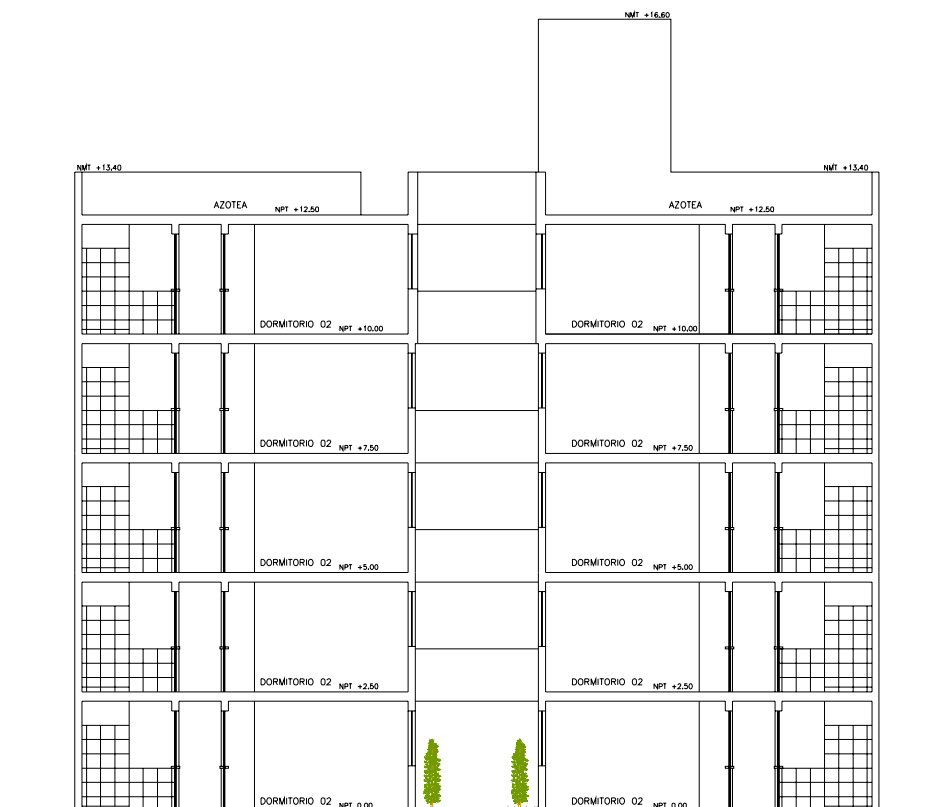


Fig. 11 Corte B-B'

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



Fig. 12 Corte C-C'



Fig. 13 Corte D-D'

DESCRIPCION DE LA ARQUITECTURA:

El edificio "Residencial San Isidro" se ubica en la manzana C1, lotes 14 y 15 de la Urbanización San Isidro, zona correspondiente al distrito y provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. El terreno tiene un área de 470.90 m².

La residencial está compuesta de 5 niveles, los cuales cuentan con cuatro (04) departamentos por cada nivel. Presenta un acceso principal localizado en la parte media de la fachada, éste mismo conduce hacia la zona central de la edificación donde se encuentran los 04 primeros

departamentos de la residencial, en esta zona además existe jardines y de uno de ella, nace la escalera, la cual conduce hacia los niveles superiores.

El acceso central divide a la edificación en dos grandes bloques. Cada bloque contiene dos departamentos por nivel. En cada nivel, existe una losa maciza en la zona central de la residencial, debido a la diferencia de rigideces, la cual se conecta con la escalera, permitiendo el acceso hacia los demás departamentos.

Cada departamento está conformado por los siguientes ambientes: 01 sala comedor, 1 cocina, 3 dormitorios, un medio baño para visitas y un baño completo para uso familiar. La distribución de los ambientes está bien diseñada con la finalidad de lograr la funcionalidad adecuada de cada departamento.

El Proyecto cuenta con una zona de estacionamiento localizada en la zona de ingreso, con una caseta de guardianía para seguridad de la residencial.

ESTUDIO DE SUELOS:

En el presente punto, se mencionará lo más relevante para la estructuración y modelación de la edificación, extraído de las Conclusiones y Recomendaciones, realizados por el ingeniero geotécnico [8] responsable del estudio de suelos, realizado para este proyecto.

Conclusiones Y Recomendaciones

El terreno presenta una superficie casi horizontal. Desde nuestra cota relativa correspondiente al nivel actual de vereda (100.00 m.s.n.m.) hacia abajo, existen suelos de relleno orgánico que tienen una potencia de hasta 1.10 metros de espesor. Por debajo de estos rellenos y en una potencia variable de 0.80 m a 1.60 m, encontramos suelos arcillosos de mediana plasticidad (CL de acuerdo a la clasificación internacional SUCS). Por debajo de estas arcillas y en una potencia muy amplia, encontramos arenas arcillo limosas (SC/SM), en un estado parcialmente seca. A los niveles estudiados que alcanzaron 6.00 metros de profundidad, no se ubicaron aguas freáticas.

Se realizaron ensayos estándar y especiales, con la finalidad de conocer propiedades físicas, químicas, mecánicas, hidráulicas y dinámicas del suelo sustentante. El material de apoyo que se desarrolla a partir de -1.90m de la superficie del terreno, posee las siguientes características:

Clasificación SUCS : SC/SM (Arena Arcillo/Limosa)

Contenido de Humedad Natural	=	1.36 %
Densidad Unitaria	=	1.65 gr / cm ³
Contenido de Sales	=	0.09 %
Angulo de Fricción Interna	=	26 ⁰
Cohesión	=	0.10 Kg / cm ²
Permeabilidad	=	1.75*10 ⁻² cm / seg
Módulo de Poissón (ν)	=	0.30
Módulo de Elasticidad (E)	=	175 Kg / cm ²
Módulo de Corte (G)	=	67 Kg / cm ²
Coefficiente de Balasto	=	3.05 kg / cm ³

Las capacidades admisibles de los suelos en estudio, para un asentamiento instantáneo de 0.517 cms, considerando cimentaciones corridas y cuadradas son como se indica a continuación:

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON
PLATEAS DE CIMENTACION

Tipo de Cimentación	(B) (m)	D _f (m)	q _a (kg / cm ²)
Corrida	0.60	1.90	1.24
Cuadrada	1.50	2.10	1.58

Los valores de q_a (capacidad de carga) indicados en el cuadro, son bajos comparados con otros tipos de suelos, para evitar asentamientos diferenciales inesperados y absorber cualquier esfuerzo de torsión debido a la colocación de zapatas excéntricas, será necesario unir las zapatas aisladas por medio de una viga de cimentación, la cual será proyectada en base a las cargas que llegan en cada columna.

De acuerdo con la estratigrafía de la zona en estudio, los parámetros de subsuelo ante excitaciones sísmicas, están designadas por la siguiente clasificación de acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente:

Tipo de Suelo	Clasificación	Período de Vibración
Flexible	S3	0.90 seg

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina a partir de la expresión $V=0.23P$, donde P es el peso de la edificación.

Es posible proyectar plateas de cimentación, realizando un mejoramiento del terreno con materiales de préstamo adecuado, eliminando todo el material orgánico encontrado, los mismos que tendrán una potencia de 1.00 m, repartidos entre hormigones (0.50 m) y afirmados (0.50 m) de buena calidad, los que tendrán que compactarse de acuerdo a los valores Proctor Modificado obtenidos en el laboratorio. La capacidad admisible a considerar en este caso será de 1.18kg/cm².

2.8. OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

USO DE PLATEAS DE CIMENTACION

DEFINICION

Es un elemento estructural de concreto armado que tiene una gran área en planta con respecto a su sección transversal y que soporta cargas normales a su plano, empleando una superficie de apoyo continua tratando de transmitir presiones uniformes al terreno de apoyo que generalmente es blando.

Cuando son insuficientes otros tipos de cimentación o se prevean asientos diferenciales en el terreno, aplicamos la patea de cimentación. En general, cuando la superficie de cimentación mediante zapatas aisladas o corridas es superior al 75% de la superficie total del terreno, es conveniente el estudio de una patea de cimentación. También es frecuente su utilización cuando la esfuerzo admisible del terreno es menor de 0.8 kg / cm².

Existen diferentes tipos de plateas de cimentación, entre las principales tenemos:

- Plateas de espesor constante
- Plateas con capiteles
- Plateas con vigas de rigidez

PROCESO CONSTRUCTIVO DE PLATEAS DE ESPESOR CONSTANTE

- Limpieza y replanteo en el terreno
- Excavación del terreno
- Nivelación de la base de la excavación y relleno de ser necesario, recomendado por el EMS
- Encofrado del perímetro de la platea, si procede
- Vaciado y nivelado del solado
- Replantar ejes de la estructura
- Colocación de separadores de armadura superior e inferior
- Colocación de malla de acero, indicada en los planos
- Colocación de la armadura superior, apoyada sobre los separadores
- Vaciado y vibrado del concreto
- Nivelación de la capa final

MODELO DINAMICO DE INTERACCIÓN SUELO – PLATEA DE CIMENTACIÓN - SUPERESTRUCTURA

La formulación tradicional del cálculo de edificaciones, considerando el empotramiento perfecto de las columnas con las cimentaciones, nos lleva a la necesidad de una descripción más detallada de las condiciones de fijación de los apoyos de la edificación, esto es, a una formulación correcta de las condiciones de frontera, si se habla acerca de la formulación del problema de cálculo de la edificación dentro del campo de la mecánica de cuerpo sólido, pero pasando al campo de un análisis integro de la edificación, el suelo de fundación donde está apoyada la estructura tiene una participación importante, por lo cual tendríamos que realizar un análisis considerando la interacción en forma dinámica, definiendo rigideces para los seis grados de libertad a la cual está sometida la estructura. Para ello, existen diversos modelos dinámicos aplicados para diferentes tipos de cimentación. Para el caso de plateas, analizaremos los modelos dinámicos de D.D. BARKAN - O.A. SAVINOV, V.A. ILICHEV, A.E. SARGSIAN y LA NORMA RUSA, los cuales son aplicados para plateas de cimentación [1].

En el texto “Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas” del Dr. Genner Villarreal Castro, se presentan dos tipos de modelos usados para una zapata aislada.

En la figura 14, podremos observar el primer modelo propuesto, en el cual se muestra el esquema espacial de la ubicación de los coeficientes de rigidez de la zapata aislada. Dicho modelo debe realizarse bajo los siguientes principios: La cimentación debe ser analizado como un cuerpo rígido, despreciando la flexibilidad de la zapata, para ello se debe utilizar un trecho rígido que vaya desde el eje de la columna hacia los bordes de la zapata para cada dirección, colocando resortes y amortiguadores que idealiza el comportamiento del suelo

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

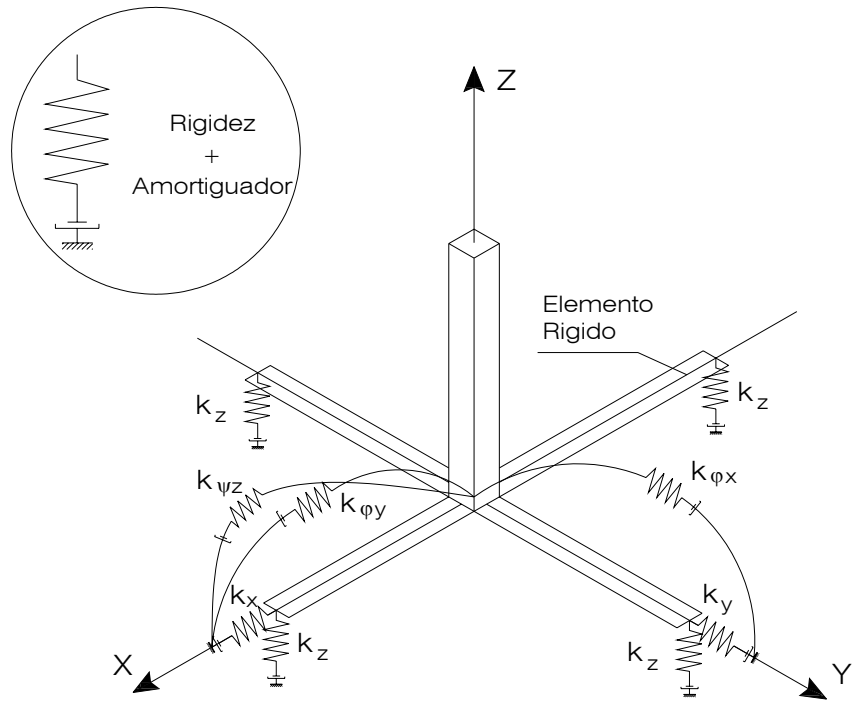


Fig. 14

En la figura 15, se presenta el modelo de una zapata aislada donde en el centroide de la misma se concentran las rigideces para cada grado de libertad con su respectivo amortiguador. Estas rigideces deben estar en función del área que se está analizando y la malla, que va a ser la idealización del área de la zapata, la cual debe ser rígida, despreciando la flexión de la misma.

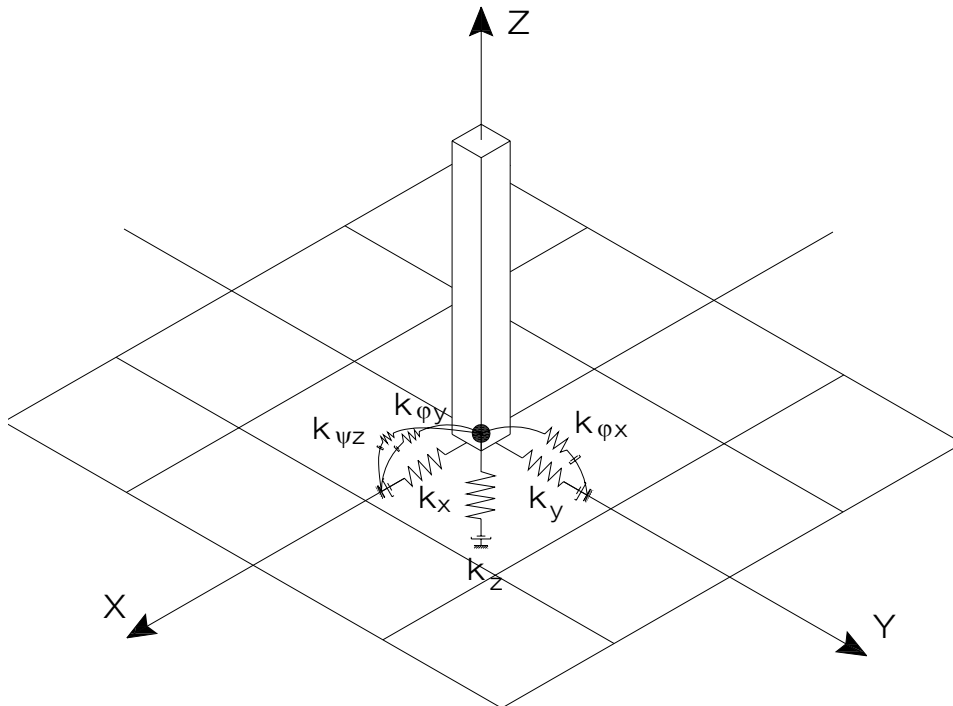


Fig. 15

Ambos modelos son validos ya que tienen en cuenta las vibraciones verticales, horizontales y rotacionales.

Para modelar nuestra platea de cimentación usaremos la segunda forma, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La platea de cimentación estará representada por una malla rígida. La división de la malla será de acuerdo a la estructuración del proyecto, teniendo en cuenta que todo elemento vertical debe estar intersecándose con el enmallado.
- En el centroide de la platea de cimentación se va a concentrar las masas en todas las direcciones obtenidas del cálculo.
- En el centroide de la platea de cimentación se va a concentrar las rigideces y los amortiguamientos.

Asimismo, considerando su adaptación de las investigaciones realizadas a la realidad nacional, la presente investigación debe ser de suma utilidad a los especialistas e investigadores peruanos.

MODELO DINAMICO D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV

El modelo dinámico de D.D. Barkan - O.A. Savinov es teórico-experimental, basado en la interacción de la cimentación con la base de fundación en forma de un proceso establecido de vibraciones forzadas [2].

Para determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, el científico D.D. Barkan propuso colocarlas en función de los coeficientes de compresión y desplazamiento elástico que operan sobre una inercia y un área respectivamente. Solo se calculan cinco coeficientes de rigidez de los seis grados de libertad existentes, debido a que en este modelo se restringe el giro en el eje "z", según las siguientes fórmulas [2]:

$$\begin{aligned}K_x &= C_x \times A & K_{\phi,x} &= C_{\phi,x} \times I_x \\K_y &= C_y \times A & K_{\phi,y} &= C_{\phi,y} \times I_y \\K_z &= C_z \times A\end{aligned}$$

Donde:

$C_{x,y}$ = coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

C_z, C_ϕ = coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

A = área de la base de la cimentación

I = momento de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal, perpendicular al plano de vibración.

De las investigaciones obtenidos por el Dr. Genner Villareal Castro, plasmadas en una de sus publicaciones, se analizaron diversos modelos, con el propósito de obtener los coeficientes de desplazamiento y de compresión elástica, teniendo como resultados para el modelo D.D. Barkan-O.A. Savinov las siguientes expresiones [2]:

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

$$C_x = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad C_{\phi_x} = C_0 \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta.A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_y = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad C_{\phi_y} = C_0 \left[1 + \frac{2(3a+b)}{\Delta.A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Donde:

$C_0, D_0 =$ Coeficientes determinados a través de experimentos

a, b = Dimensiones de la cimentación en el plano

$\Delta =$ Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta = 1m^{-1}$

Para el coeficiente D_0 , como se mostraron en los experimentos se puede utilizar la dependencia empírica [2]:

$$D_0 = \frac{1-\mu}{1-0.5\mu} \cdot C_0$$

El valor de C_0 cuando $\rho_0 = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ estará en función de acuerdo al tipo de suelo de la base de fundación, a través de la tabla 1.

TABLA 1			
Perfi I	Base de fundación	Suelo	C_0 (kg/cm^3)
S1	Roca o suelo muy rígido	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3.0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2.2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa.	2.6
S2	Suelo intermedio	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0.25 < I_L \leq 0.5$)	2.0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0.5$)	1.6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0.80$)	1.4
		Arena de grano fino, mediano y grueso independiente de su densidad y	1.8

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

		humedad	
S3	Suelo flexible o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0.5 < I_L \leq 0.75$)	0.8
		Arena plástica ($0.5 < I_L \leq 1$)	1.0
		Arena polvorosa, saturada, porosa ($e > 0.80$)	1.2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0.75$)	0.6
		Arena movediza ($I_L > 1$)	0.6
Según el Libro del Dr. Genner Villarreal Castro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" [2]			

MODELO DINAMICO V.A. ILICHEV

El modelo dinámico V.A. Ilichev es estrictamente teórico, basado en la solución teórica del problema de interacción dinámica suelo-estructura y desde el punto de vista del modelo de semiespacio elástico [2].

El modelo dinámico fue elaborado para aplicarlo a problemas ondulatorios de interacción suelo-estructura, modelado como un semiespacio elástico donde integra en su modelo la influencia de la velocidad de propagación de las ondas transversales. Podemos ver el esquema de cálculo en la figura 16.

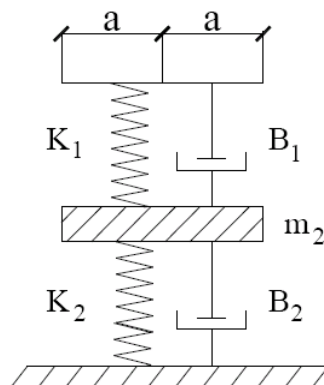


Fig. 16

La parte superior del sistema es una placa sin peso, donde el resorte con rigidez K_1 y el amortiguador B_1 modelan el efecto creado por las ondas longitudinales. Los parámetros K_1 y B_1 dependen del radio de la placa, densidad del material del semiespacio y velocidad de las ondas longitudinales; y no depende del coeficiente de Poisson y de la velocidad de ondas transversales. A la parte inferior del sistema le corresponde el comportamiento dinámico de la placa ante las ondas transversales y de Rayleigh. Los parámetros K_2 , B_2 y m_2 , también dependen de las dimensiones de la placa y densidad del medio, pero a diferencia de los parámetros del sistema

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON
PLATEAS DE CIMENTACION

superior, dependen de μ y C_2 , más no dependen de la velocidad de las ondas longitudinales. Asimismo, en el modelo se ha dividido la influencia de las ondas longitudinales en las transversales, así como las ondas Rayleigh en el movimiento de la placa.

El modelo dinámico descrito fue determinado como un sistema con 1,5 grados de libertad, donde un grado de libertad se determina en la parte inferior del sistema y medio grado de libertad se registra en la parte superior de la misma.

Los cinco parámetros adimensionales del modelo mecánico de la base con 1.5 grados de libertad, representan una dependencia lineal de \sqrt{A} , según las siguientes expresiones [2]:

$$C_{X.i} = K_{0X.i} + K_{1X.i} \cdot \text{tg } \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}} \qquad C_{\phi.x.i} = K_{0\phi.x.i} + K_{1\phi.x.i} \cdot \text{tg } \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}}$$

$$C_{Y.i} = K_{0Y.i} + K_{1Y.i} \cdot \text{tg } \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}} \qquad C_{\phi.y.i} = K_{0\phi.y.i} + K_{1\phi.y.i} \cdot \text{tg } \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}}$$

$$C_{Z.i} = K_{0Z.i} + K_{1Z.i} \cdot \text{tg } \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}}$$

Donde:

- i = 1 (Coeficiente para vibraciones verticales), 2 (Coeficiente para vibraciones horizontales)
- C = Representa a los parámetros con su respectiva dirección (x, y, z, ϕ_x , ϕ_y)
- α = Radio asumido de la base de cimentación ($\alpha = \sqrt{A/\pi}$)

Los coeficientes K son obtenidos de las siguientes tablas en función del módulo de Poisson, tanto para vibraciones verticales como horizontales. Según las tablas del Libro del Dr. Genner Villarreal Castro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" [2].

TABLA 2

μ	Dirección "x" e "y"					Dirección "z"					Giro en "x" e "y"				
	bo ₁	bo ₂	Ko ₁	Ko ₂	mo	bo ₁	bo ₂	Ko ₁	Ko ₂	mo	bo ₁	bo ₂	Ko ₁	Ko ₂	mo
0.25	3.10	5.20	12.40	7.60	1.80	5.34	6.21	21.80	7.50	2.80	1.36	1.60	5.60	7.50	1.00
0.35	3.10	5.70	12.40	8.30	1.90	6.44	6.90	26.30	8.40	3.12	1.63	1.70	6.70	7.90	1.03
0.45	3.10	6.40	12.40	9.20	2.10	10.53	7.50	43.00	9.20	3.29	2.50	1.60	10.70	7.30	0.84

TABLA 3

μ	Direccion "x" e "y"					Direccion "z"					Giro en "x" e "y"				
	b_{11}	b_{12}	K_{11}	K_{12}	m_1	b_{11}	b_{12}	K_{11}	K_{12}	m_1	b_{11}	b_{12}	K_{11}	K_{12}	m_1
0.25	0.53	0.75	2.09	1.53	0.28	0.87	2.88	3.56	2.88	0.56	0.22	0.12	1.16	1.34	0.12
0.30	0.53	0.80	2.09	1.70	0.30	0.97	3.19	3.95	3.19	0.59	0.25	0.12	1.29	1.58	0.14
0.35	0.53	0.84	2.09	1.87	0.31	1.06	3.50	4.34	3.50	0.62	0.28	0.12	1.41	1.81	0.16
0.45	0.53	0.84	2.09	1.91	0.37	1.81	3.72	7.41	3.72	0.69	0.50	0.12	1.97	1.81	0.16

Donde:

$b_{z1}, k_{z1}, m_z, b_{z2}, k_{z2}$ Coeficientes de vibraciones verticales para la parte superior (1) y la parte inferior (2)

$b_{x1}, k_{x1}, m_x, b_{x2}, k_{x2}$ Coeficientes de vibraciones horizontales para la parte superior (1) y la parte inferior (2)

$b_{\phi1}, k_{\phi1}, m_{\phi}, b_{\phi2}, k_{\phi2}$ Coeficientes de vibraciones rotacionales para la parte superior (1) y la parte inferior (2)

Obteniendo los coeficientes tanto para vibraciones horizontales – verticales, como rotacionales, podremos determinar los coeficientes de rigidez y de amortiguamiento para la platea que se calculará.

Para vibraciones horizontales y verticales [2]:

$$K_{x(y)(z)} = (C_2)^2 \cdot \rho \cdot k_{x(z)} \cdot \alpha$$

$$B_{x(y)(z)} = (C_2) \cdot \rho \cdot k_{x(z)} \cdot \alpha^2$$

Para vibraciones rotacionales [2]:

$$K_{\phi} = (C_2)^2 \cdot \rho \cdot k_{\phi} \cdot \alpha^3$$

$$B_{\phi} = (C_2) \cdot \rho \cdot k_{\phi} \cdot \alpha^4$$

Donde:

C_2 = Velocidad de propagación de la onda transversal

$$(C_2)^2 = \frac{E}{2(1 + \mu)\rho}$$

E = Modulo de elasticidad de la base de fundación

ρ = Densidad del suelo de la base fundación.

Finalmente, calculamos las rigideces equivalentes, considerando que en el modelo analizado las rigideces horizontales son en forma paralela mientras las verticales serán en forma consecutiva, con lo cual tenemos las siguientes expresiones [2]:

Para vibraciones horizontales
$$K_{X(Y)} = K_{X(Y)1} + K_{X(Y)2}$$

Para vibraciones verticales:
$$K_z = \frac{K_{z1} \cdot K_{z2}}{K_{z1} + K_{z2}}$$

Para vibraciones rotacionales:
$$K_\phi = \frac{K_{\phi1} \cdot K_{\phi2}}{K_{\phi1} + K_{\phi2}}$$

MODELO DINAMICO A.E. SARGSIAN

De acuerdo a éste modelo dinámico, en su análisis se ingresan parámetros cuasiestáticos de rigidez de la base de fundación K_x , K_y , K_z , $K_{\phi x}$, $K_{\phi y}$, $K_{\phi z}$, los cuales se determinan por las siguientes fórmulas [6]:

$$K_x = K_y = \frac{28.8(1-\mu^2) \cdot \rho \cdot C_2^2 \sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)} \qquad K_z = \frac{4 \cdot \rho \cdot C_2^2 \sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(1-\mu^2)}$$

$$K_{\phi x} = \frac{8.52 \cdot \rho \cdot C_2^2 I_{AX}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)\sqrt{A}} \qquad K_{\phi y} = \frac{8.52 \cdot \rho \cdot C_2^2 I_{AY}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)\sqrt{A}} \qquad K_{\phi z} = \frac{4 \cdot \rho \cdot C_2^2 I_{AZ}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)\sqrt{A}}$$

Donde:

ρ = Densidad del suelo de fundación

μ = Módulo de Poisson del suelo de fundación

C_1 = Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación

C_2 = Velocidad de propagación de las ondas transversales en el suelo de fundación

A = Área de la base de fundación

De acuerdo a la concepción de semiespacio elástico, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales se determinan por las siguientes fórmulas [6]:

$$C_1^2 = \frac{(1-\mu) \cdot E}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu) \cdot \rho} \qquad C_2^2 = \frac{E}{2(1+\mu) \cdot \rho}$$

Donde: E = Módulo de elasticidad de la base de la fundación

Cabe resaltar que los coeficientes K toman en cuenta la rigidez al giro geométrico y al de las masas inerciales del suelo de fundación que interactúa con la estructura, respecto a los planos "X", "Y" y "Z", con la finalidad de lograr un comportamiento real suelo-estructura con sus 6 grados de libertad activados (figura 15).

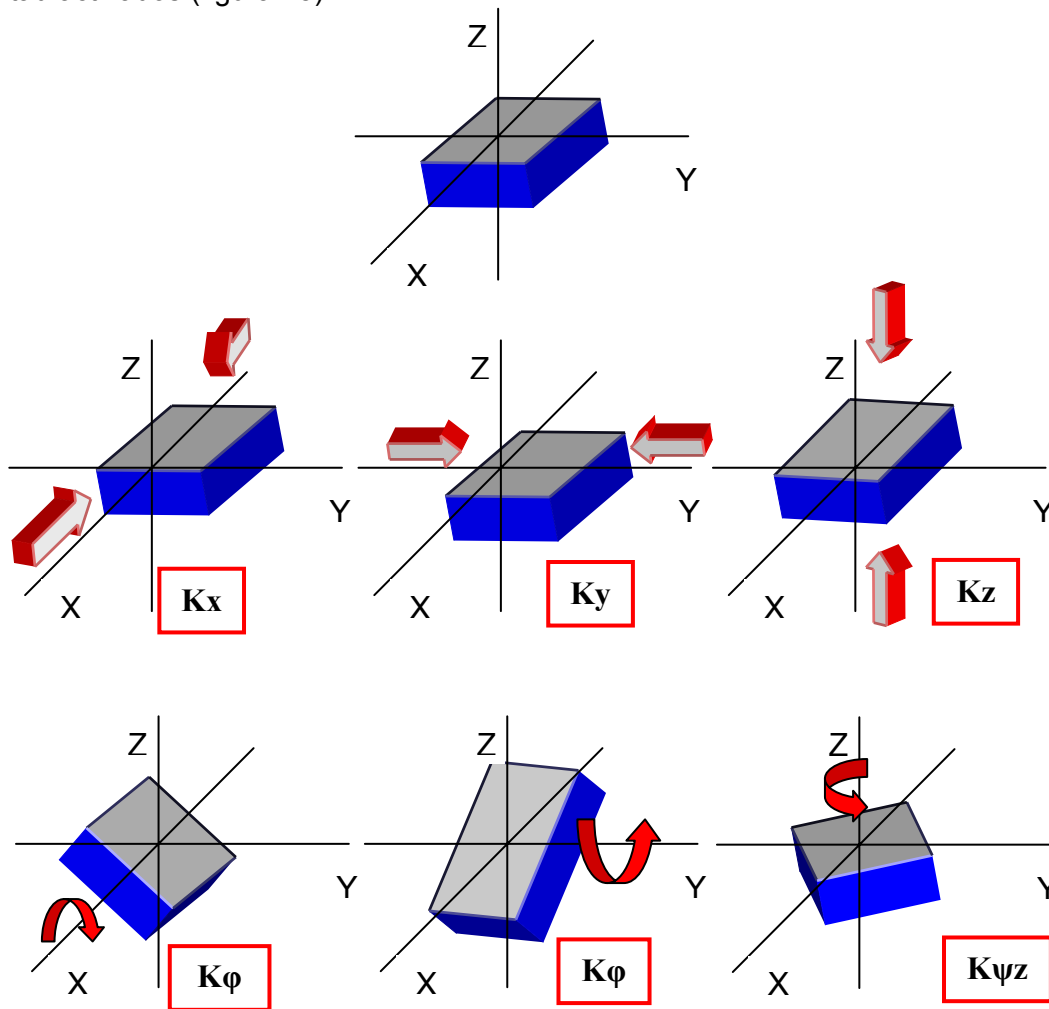


Fig. 17 Grados de libertad para modelo de A.E. Sargsian

Además éste modelo de análisis presenta coeficientes de amortiguamiento en los 6 grados de libertad del movimiento, logrando con ello disipar la energía del sismo tal y como sucede en una edificación real. Estos parámetros resultan de la aplicación de las siguientes fórmulas [6]:

$$\eta_x = \eta_y = \frac{18.24(1-\mu) \cdot \rho \cdot C_2 A}{\pi \cdot (7-8\mu)} \qquad \eta_{\phi x} = \frac{1.6\sqrt{(1-2\mu)} \cdot \rho \cdot C_1 \cdot I_x}{(1-\mu)\pi\sqrt{2} \cdot (1-\mu)}$$

$$\eta_z = \frac{3.4\sqrt{(1-2\mu)} \cdot \rho \cdot C_1 A}{(1-\mu)\pi\sqrt{2} \cdot (1-\mu)} \qquad \eta_{\phi y} = \frac{1.6\sqrt{(1-2\mu)} \cdot \rho \cdot C_1 \cdot I_y}{(1-\mu)\pi\sqrt{2} \cdot (1-\mu)}$$

$$\eta_{\psi z} = \frac{3.4\sqrt{(1-2\mu)} \cdot \rho \cdot C_1 \cdot I_z}{(1-\mu)\pi\sqrt{2} \cdot (1-\mu)}$$

Donde:

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

- ρ = Densidad del suelo de fundación
- μ = Módulo de Poisson del suelo de fundación
- C_1 = Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación
- C_2 = Velocidad de propagación de las ondas transversales en el suelo de fundación
- A = Área de la base de fundación
- I_x, I_y, I_z = Momento de inercia respecto a los ejes X, Y, Z.
- η_x, η_y, η_z = Coeficientes de amortiguamiento en las direcciones X, Y, Z.

La unión del coeficiente de amortiguamiento y el de rigidez, forman un elemento denominado DAMPER, el cual tiene en cuenta la rigidez de la interacción más el amortiguamiento del suelo de fundación (figura 18).

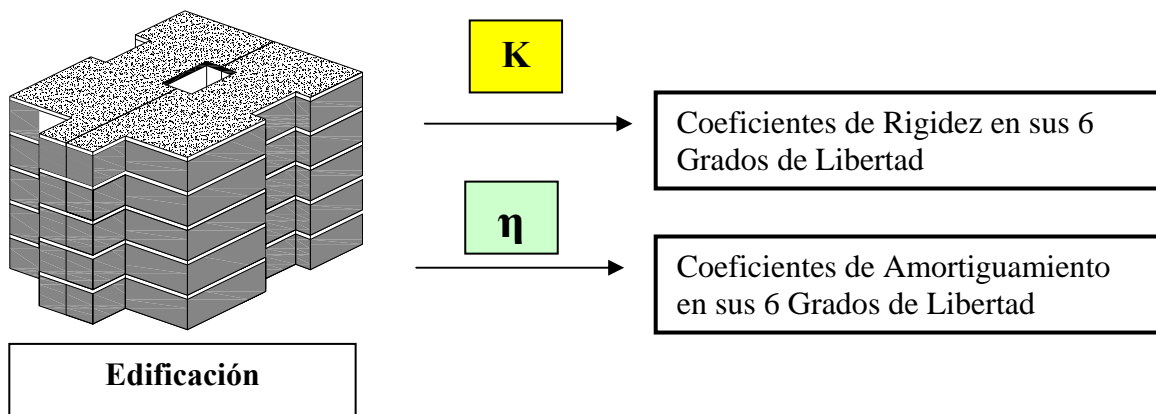


Fig. 18

MODELO DINÁMICO DE LA NORMA RUSA

En éste modelo de análisis, también se consideran los 6 grados de libertad de la interacción suelo-estructura. Los coeficientes de rigidez de compresión elástica uniforme K_z , desplazamiento elástico uniforme K_x ; compresión elástica no uniforme K_ϕ y desplazamiento elástico no uniforme K_ψ ; se calculan con las siguientes fórmulas [2]:

$$K_z = C_z A \qquad K_x = C_x A \qquad K_\phi = C_\phi I_\phi \qquad K_\psi = C_\psi I_\psi$$

Donde:

- A = Área de la base de fundación
- C_x = Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme en X

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

- C_y = Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme en Y
- C_z = Coeficiente de compresión elástica uniforme
- C_ϕ = Coeficiente de compresión elástica no uniforme
- C_ψ = Coeficiente de desplazamiento elástico no uniforme

La principal característica elástica de la cimentación, es decir el coeficiente de compresión elástica uniforme C_z , se determina por medio de ensayos experimentales. En caso que no exista dicha información se puede determinar por la siguiente fórmula [2]:

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Donde:

- b_0 = Coeficiente (m^{-1}) asumido mediante la tabla 4
- E = Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación
- A_{10} = 10 m²

Según las tablas del Libro del Dr. Genner Villarreal Castro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" [2].

Tabla 4

Tipo de Suelo de Fundación	b_0
suelos arenosos	1
arenas arcillosas	1.2
arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas	1.5

Los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme, compresión elástica no uniforme y el de desplazamiento elástico no uniforme, se determinan por las siguientes fórmulas [2]:

$$C_x = C_y = 0.7C_z$$

$$C_\phi = 2C_z$$

$$C_\psi = C_z$$

En las propiedades de amortiguación de la base de la cimentación, se deben de considerar las amortiguaciones relativas ξ , determinado por ensayos de laboratorio. En el caso que no existan datos experimentales, la amortiguación relativa para las vibraciones verticales ξ_z se puede determinar por las fórmulas [2]:

Para las vibraciones establecidas (armónicas) o conocidas:

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

$$\xi_z = \frac{2}{\sqrt{C_z p_m}}$$

Para las vibraciones no establecidas (impulsos) o desconocidas:

$$\xi_z = 6 \sqrt{\frac{E}{C_z p_m}}$$

Donde:

E = Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación

C_z = Coeficiente de compresión elástica uniforme

p_m = Presión estática media en la base de la cimentación

$$p_m \leq \gamma_{ts} \cdot R$$

Siendo γ_{ts} , el coeficiente de la condición de trabajo del suelo de fundación asumido mediante la tabla 5.

Según las tablas del Libro del Dr. Genner Villarreal Castro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" [2].

Tabla 5

Tipo de Suelo de Fundación	γ_{ts}
Arenas saturadas de grano fino o polvorosa y arcillas de consistencia movediza	0.70
Resto de suelos	1.00

El valor de R es la resistencia de cálculo del suelo de fundación determinado por la tabla 6.

Tabla 6

Arenas	R kPa ó kg/cm ²	
	Densas	Medio Densas
Grandes	600(6.0)	500(5.0)
Medianas	500(5.0)	400(4.0)
Pequeñas:		
-Poco Húmedas	400(4.0)	300(3.0)
-Húmedas y saturadas con Agua	300(3.0)	200(2.0)
Polvorosas:		
-Poco Húmedas	300(3.0)	250(2.5)
-Húmedas.	200(2.0)	150(1.5)
-Saturadas con agua.	150(1.5)	100(1.0)

Las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales y rotacionales respecto a sus ejes horizontal y vertical, se pueden determinar por las siguientes fórmulas [2]:

$$\xi_z = 0.6\xi_z \quad \xi_\varphi = 0.5\xi_z \quad \xi_\psi = 0.3\xi_z$$

Los parámetros de amortiguación crítica para las vibraciones horizontales y rotacionales respecto a sus ejes horizontal y vertical, con las que junto a las rigideces conformarán el elemento DAMPER, se determinan por medio de las siguientes fórmulas [2]:

$$\eta_x = 2\xi_x \sqrt{K_x m_x} \quad \eta_y = 2\xi_y \sqrt{K_y m_y} \quad \eta_z = 2\xi_z \sqrt{K_z m_z}$$

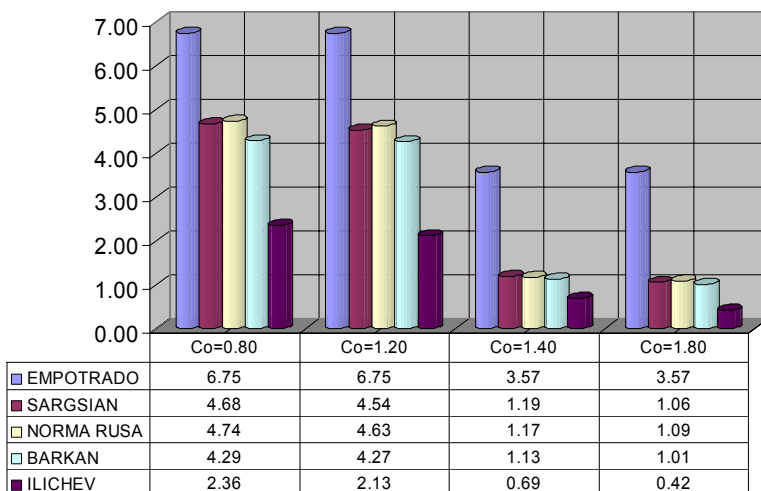
$$\eta_{\varphi x} = 2\xi_{\varphi x} \sqrt{K_{\varphi x} I_x} \quad \eta_{\varphi y} = 2\xi_{\varphi y} \sqrt{K_{\varphi y} I_y} \quad \eta_{\psi z} = 2\xi_{\psi z} \sqrt{K_{\psi z} I_z}$$

2.9. RESULTADOS

Se le asignó a la estructura los coeficientes anteriores para diferentes tipos de suelos mejorando cada vez el terreno, con las recomendaciones respectivas del Ingeniero Geotécnico. El procedimiento se detalla en los siguientes esquemas:

DETERMINACION DEL TIPO DE SUELO ADECUADO

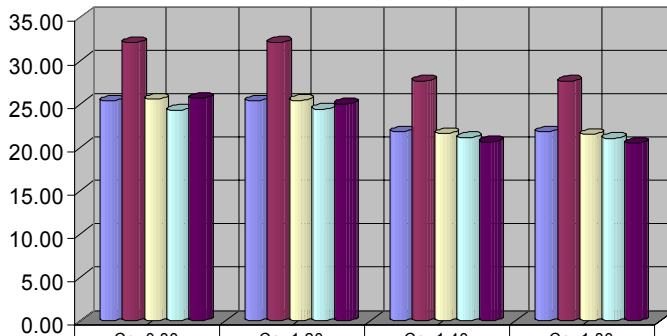
Muro X2D



Se puede apreciar que el análisis con interacción disminuye las cargas axiales con respecto al modelo con empotramiento en la base (se cumple para todos los modelos).

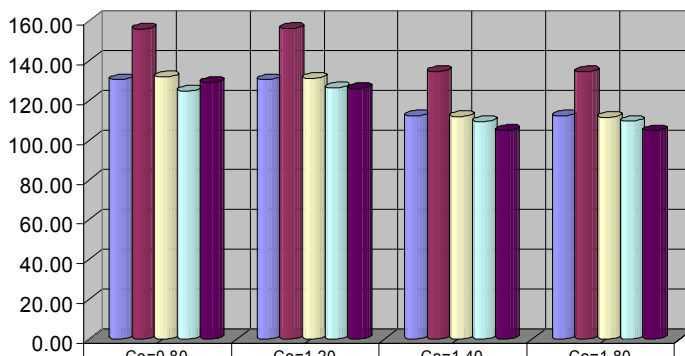
CARGA AXIAL (TON)

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



La fuerza cortante también disminuye con el análisis de interacción, a excepción del modelo de Sargsian, el cual está por encima de los demás modelos e incluso sobre el modelo de empotramiento en la base.

FUERZA CORTANTE (TON)

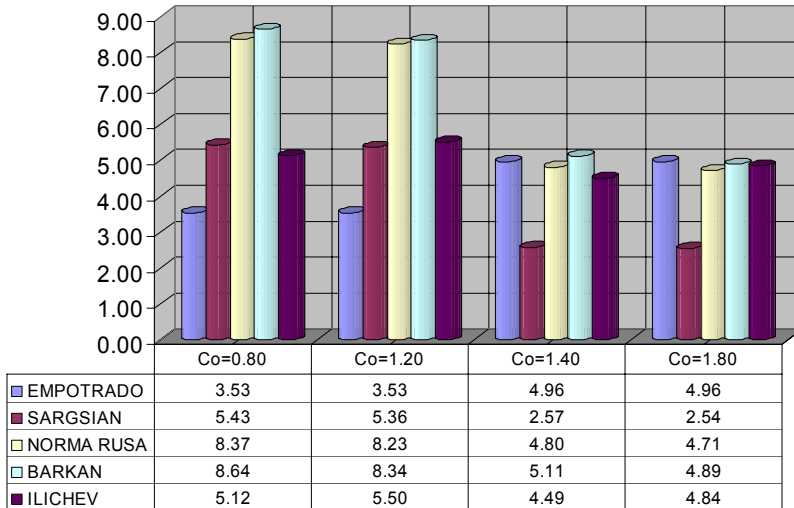


El momento flector al igual que la fuerza cortante también disminuye con el análisis de interacción. Se aprecia que el modelo de Sargsian sigue por encima de los demás modelos e incluso sobre el modelo de empotramiento en la base.

MOMENTO FLECTOR (TON-M)

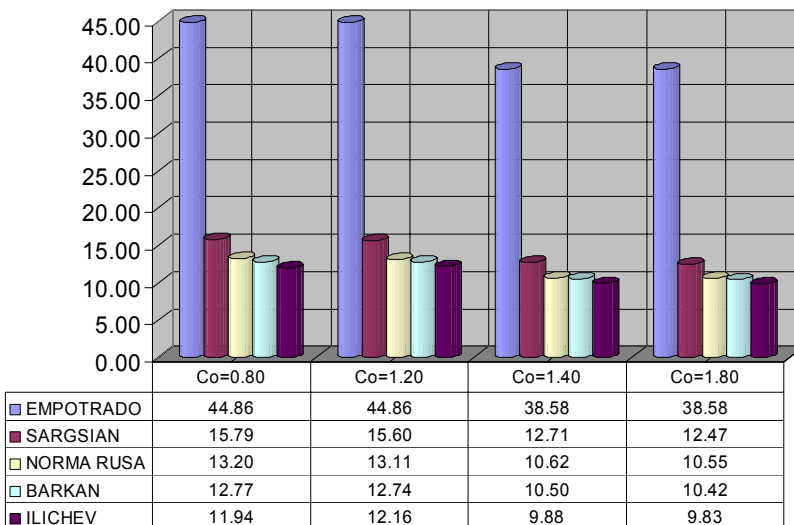
Muro Y3i

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



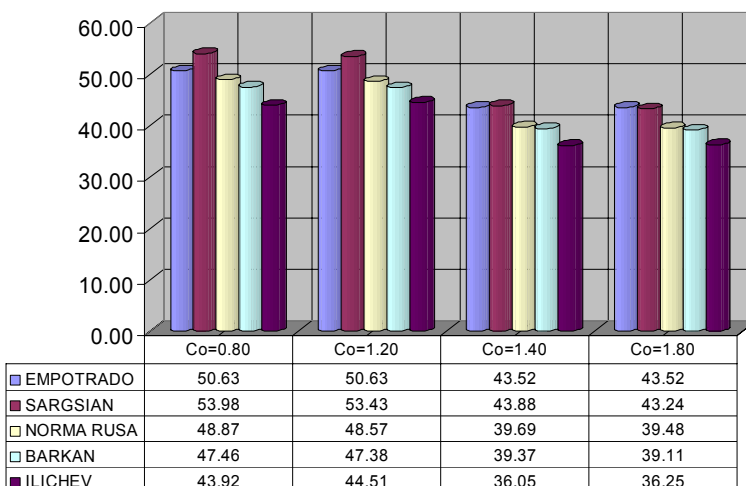
El análisis con interacción incrementa las cargas axiales con respecto al modelo con empotramiento, pero en la medida que el suelo se va mejorando, la diferencia se reduce hasta lograr una estabilidad en los resultados, colocando al análisis de empotramiento por encima de los demás métodos y al modelo de Sargsian como menor.

CARGA AXIAL (TON)



El modelo de empotramiento en la base está por encima de todos los modelos en lo que respecta a la fuerza cortante, manteniéndose el mismo orden de métodos que nos proporciona con el muro en X.

FUERZA CORTANTE (TON)

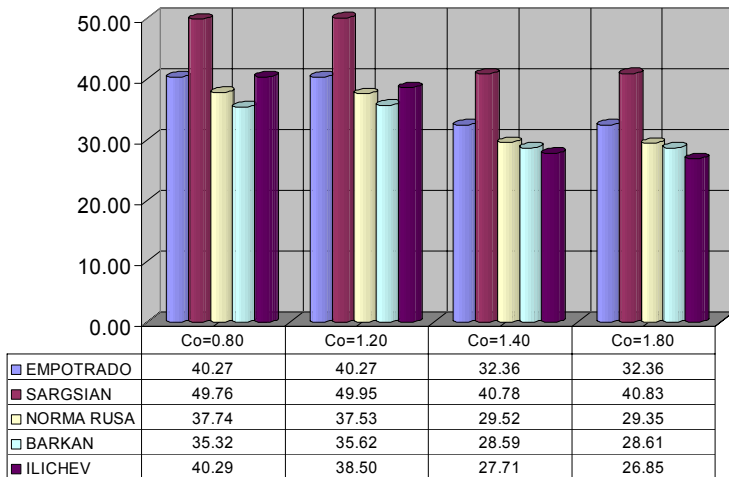


Se mantiene el orden anterior, pero con un ajuste en el modelo de Sargsian paralelo a la mejora del suelo, llegando a igualar resultados con el modelo de empotramiento en la base.

MOMENTO FLECTOR (TON)

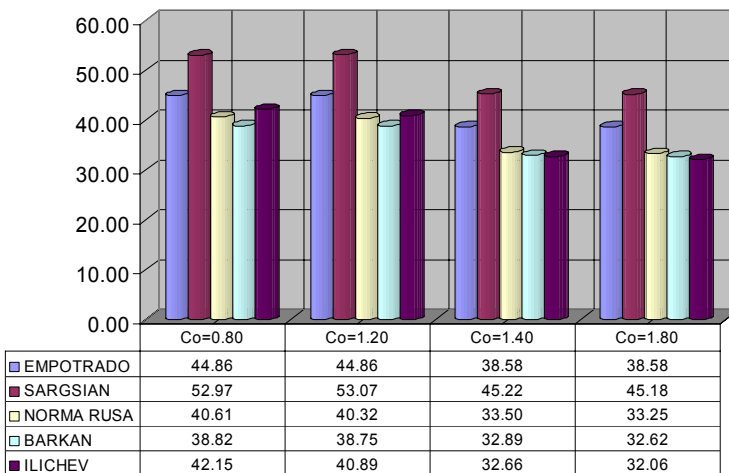
Placa 21d

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



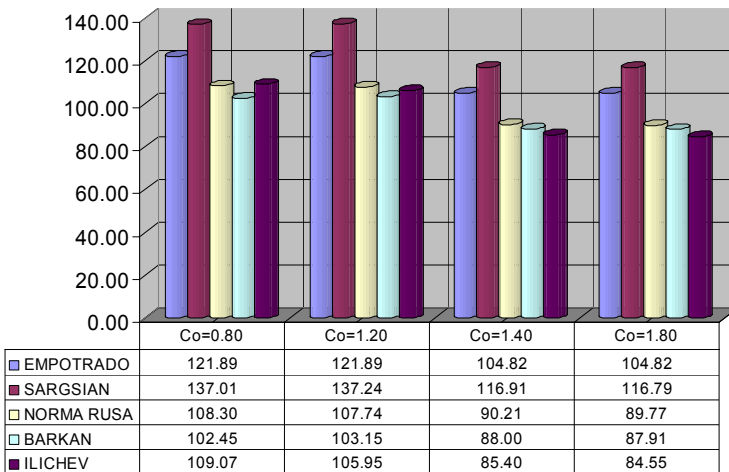
El análisis con interacción disminuye las cargas axiales con respecto al modelo con empotramiento en la base, a excepción del modelo de Sargsian, el cual se mantiene por encima del resto en todos los casos a pesar de la mejora del suelo.

CARGA AXIAL (TON)



La fuerza cortante en la placa es menor para un análisis con interacción que el de empotramiento, pero al igual que en el caso anterior, el modelo de Sargsian sigue por encima de todos los métodos.

FUERZA CORTANTE (TON)



El momento flector presenta el mismo comportamiento de los anteriores sin cambio de orden en los métodos aplicados.

MOMENTO FLECTOR (TON)

Comentario:

De acuerdo a los resultados obtenidos, descartamos el modelo de Sargsian debido a la variación de resultados para los distintos elementos estructurales y para los diferentes tipos de suelos. A esto se suma que con lo detallado según la Norma Peruana E030 de Diseño Sismorresistente, dicho método no cumple los requerimientos mínimos de desplazamientos de entrepisos para todos los tipos de suelos.

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

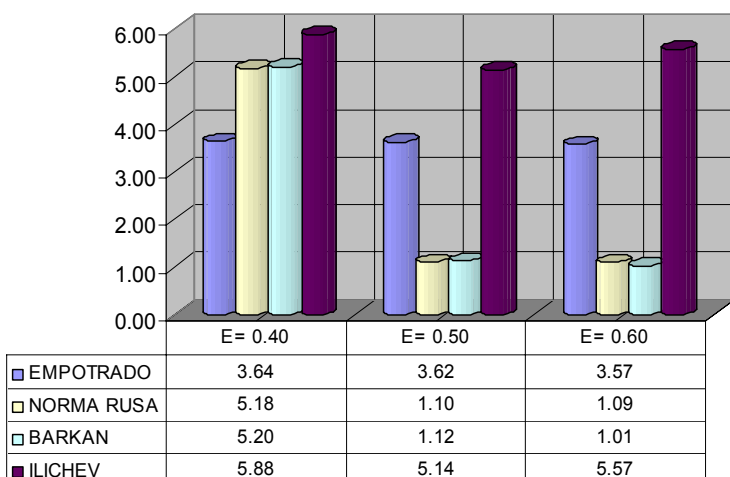
A la vez concluimos en que el mejor suelo con el cual la estructura se comporta es con el de $C=1.8$. Este suelo coadyuva a la estructura a que se le proporcione menores esfuerzos que en los demás suelos.

Asimismo, la interacción suelo - estructura, nos permite realizar un análisis de rigidez de la edificación en ambas direcciones. De acuerdo a los resultados anteriores en el sentido X las variaciones de fuerzas son mínimas comparándolo el modelo empotrado con los modelos de interacción; pero en el otro sentido se puede notar una variación importante, lo cual nos refleja la necesidad de proporcionarle más rigidez en X y según el criterio de cada proyectista eliminar algunos elementos en la dirección Y que le proporcionan el exceso de rigidez en dicha dirección.

El siguiente paso es determinar el espesor de la platea de cimentación. Como se mencionó anteriormente, el espesor elegido inicialmente fue de 0.60 m. Consideramos espesores de 0.50m y 0.40m para la aplicación de los modelos restantes de análisis y con el suelo $C=1.80$. Los elementos a analizar son los mismos, a fin de seguir con un mismo orden de investigación y para la mejor comprensión de los resultados.

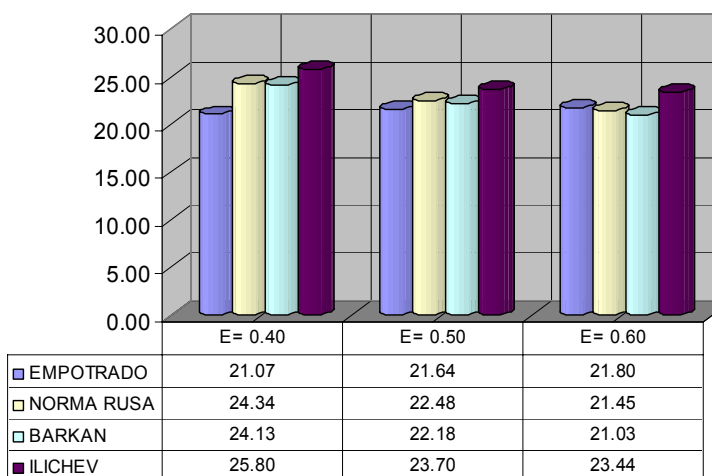
DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA PLATEA DE CIMENTACION

Muro X2D



El análisis de interacción suelo-estructura permite a la estructura esforzarla menos conforme el espesor de la platea se incrementa mientras el modelo de Ilichev presenta un comportamiento superior a los demás modelos.

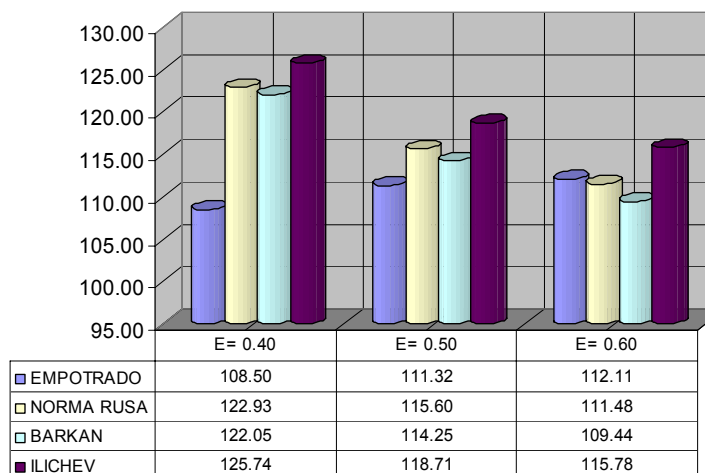
CARGA AXIAL (TON)



El modelo de empotramiento en la base de fundación presenta un comportamiento menor al de los demás modelos incrementando el cortante conforme se incrementa el espesor de la platea de cimentación. En todos los casos Ilichev es mayor que todos los modelos.

FUERZA CORTANTE (TON)

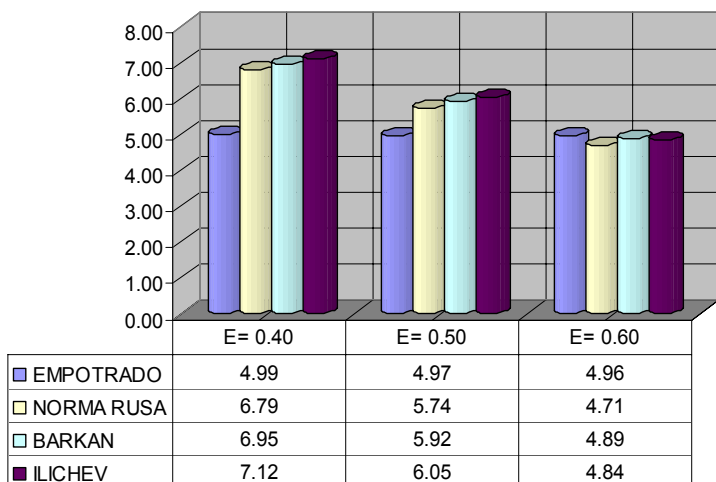
INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



El momento flector presenta un comportamiento similar al de la fuerza cortante, manteniéndose el modelo de empotramiento debajo de los demás modelos, a excepción del espesor de 0.60m donde es mayor que Barkan y la Norma Rusa y menor que Ilichev

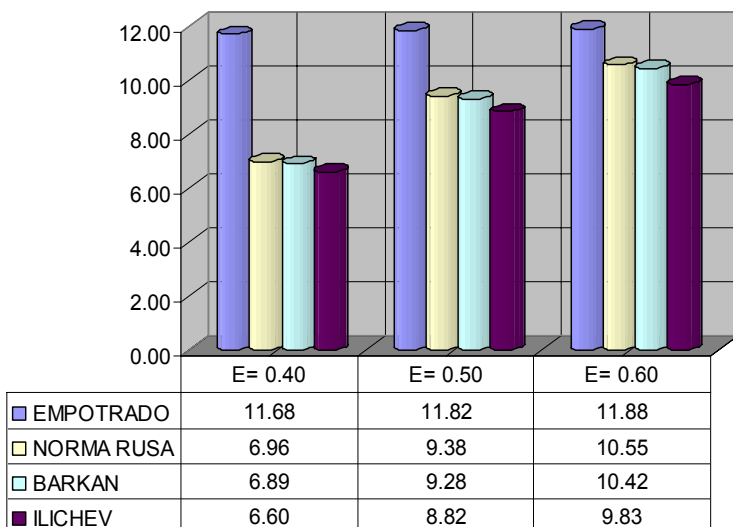
MOMENTO FLECTOR(TON.M)

Muro Y3i



Se presenta un comportamiento más uniforme con la tendencia a que el modelo de empotramiento se coloque por encima de todos.

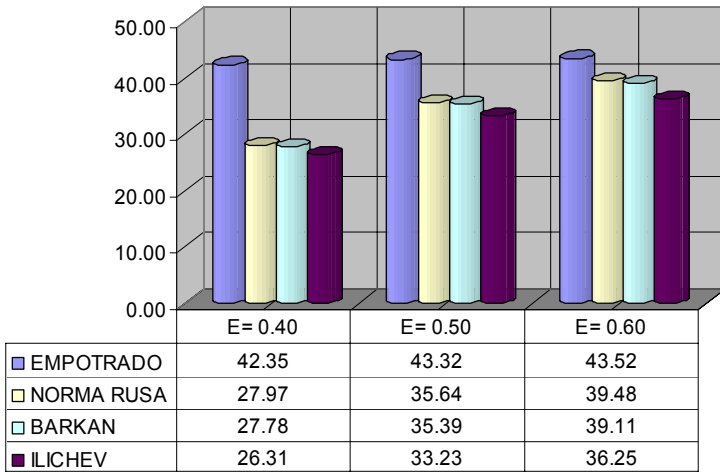
CARGA AXIAL (TON)



La fuerza cortante obtenida del modelo de empotramiento resulta mayor en relación a los demás modelos, los cuales se incrementan conforme aumenta el espesor de la platea.

FUERZA CORTANTE (TON)

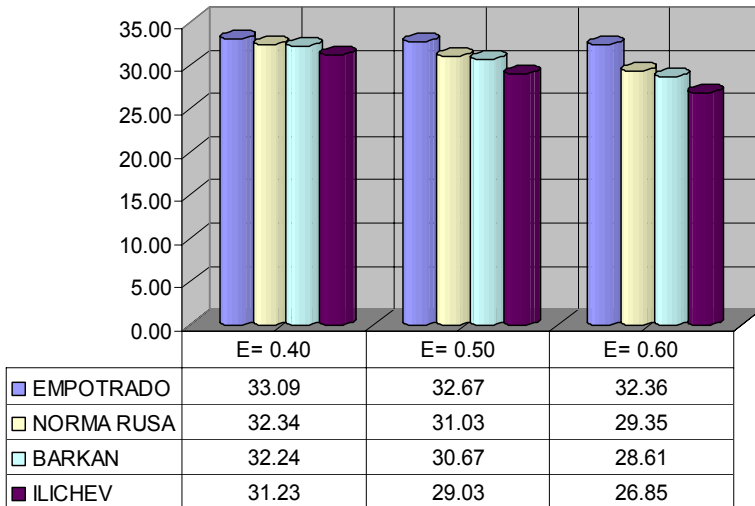
INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



El momento flector presenta un comportamiento similar al de la fuerza cortante manteniendo al modelo de empotramiento mayor que los demás modelos.

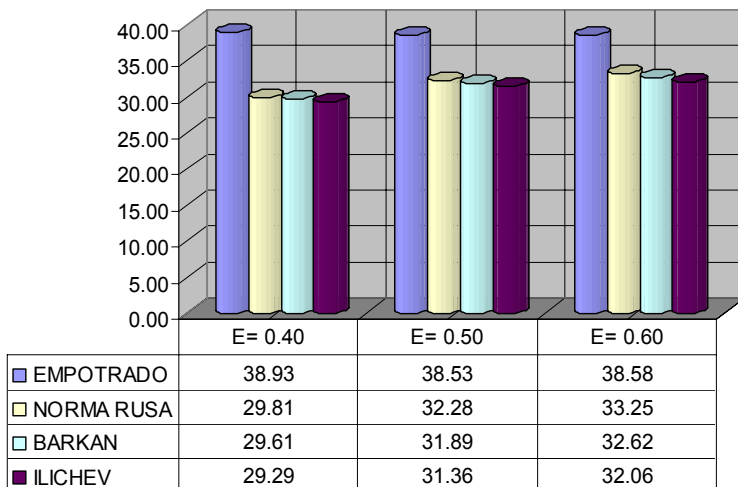
MOMENTO FLECTOR (TON.M)

Placa 21d



Se presenta un comportamiento más uniforme reduciéndose la carga axial, conforme la placa incrementa su espesor, siendo el mayor de todos el modelo de empotramiento de la base de fundación.

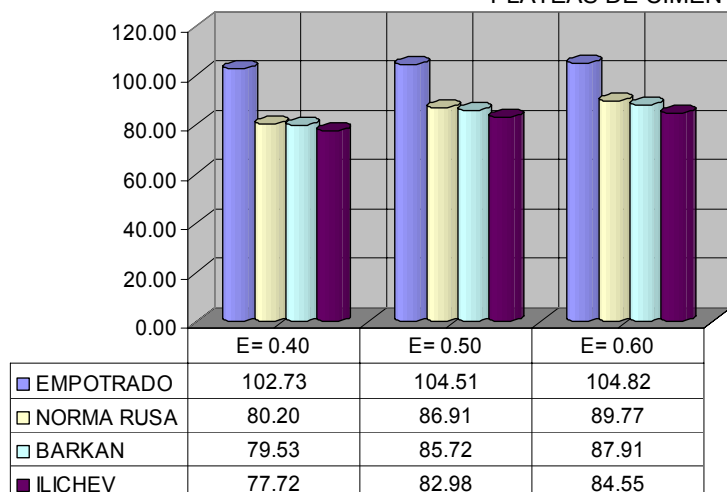
CARGA AXIAL (TON)



Para la fuerza cortante, el comportamiento es similar al de carga axial.

FUERZA CORTANTE (TON)

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION



El momento flector sigue la tendencia de los parámetros anteriores, siendo el modelo de empotramiento en la base de fundación, el que tiene los mayores valores.

MOMENTO FLECTOR(TON)

Comentario:

De acuerdo a los resultados obtenidos, descartamos el modelo de Llichev, debido a que cuando se analiza la estructura en la dirección X, presenta un comportamiento diferente de carga axial en comparación con los demás modelos. Presenta también un mayor asentamiento de la platea de cimentación en relación a los modelos de Barkan y de la Norma Rusa. El espesor de platea a seleccionar es el de 0.50m.

La elección de la platea de cimentación queda determinada por presentar esfuerzos promedios entre las plateas de 0.60m y 0.40m. El espesor de 0.40m se descarta debido a que la estructura muestra mayores esfuerzos en los elementos estructurales. Como es de esperarse la platea que mejor se comporta con la estructura es la de 0.60m, esforzando de ésta manera menos a los elementos que la de 0.40m.

Sin embargo, al continuar con el criterio de esfuerzos en la estructura, optaríamos por una platea de cimentación de hasta 1.00m de espesor. Se sabe que para todo proyecto es muy importante el aspecto económico, y que al elegir una platea de dicho espesor el costo de la cimentación se incrementaría considerablemente. Por ello el criterio económico también tiene un rol importante al momento del diseño estructural, de acuerdo a ello optamos por la platea de 0.50m de espesor, variación que comparada con la de 0.60m es importante.

Optando por una platea de 0.50 m de espesor constante podremos comparar e interpretar los resultados obtenidos tanto para un modelo empotrado como para un modelo con interacción suelo - estructura. De los resultados obtenidos se puede apreciar que el comportamiento en la dirección "X", el modelo de interacción presenta esfuerzos mayores al modelo de empotramiento en la base, contrariamente a ello, del análisis que se desprende de la dirección "Y" presentan resultados de interacción menores al de empotramiento.

Todo ello indica que la estructura presenta una dirección rígida (Y) y una dirección flexible (X), es decir mediante el análisis de interacción suelo-estructura se puede determinar en que dirección a la edificación se le puede incrementar o disminuir rigidez, ajustando el modelo hacia uno ideal. Con ello se logra la eficiencia estructural lo cual demuestra la importancia de la interacción suelo-estructura en cualquier proyecto de ingeniería.

Por esa razón se realizó un ajuste en la estructuración, proporcionándole mayor rigidez en X, en función al requerimiento de interacción. De esta manera, la nueva estructuración quedó según muestra la figura 19. Estos cambios producen un nuevo cálculo de masa, de peso, de nuevos coeficientes de rigidez y con esto un cambio en el modelo. A partir de estos resultados se procedió a las verificaciones y al diseño correspondiente de los elementos estructurales.

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

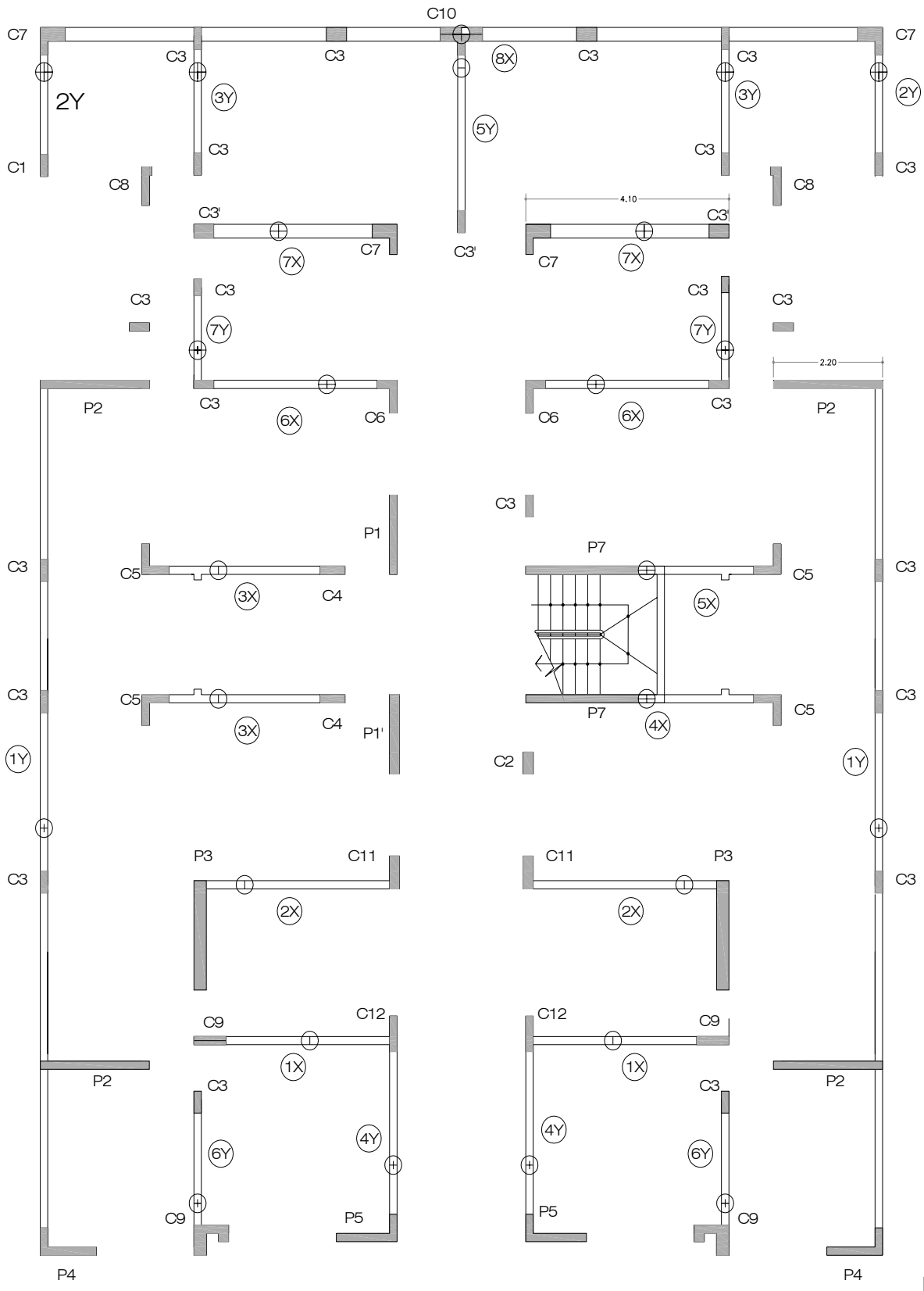
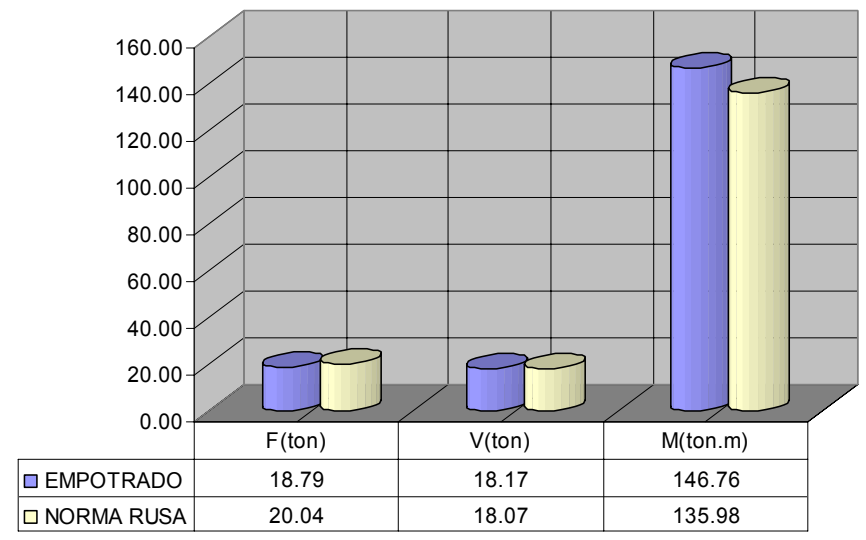


Fig. 19

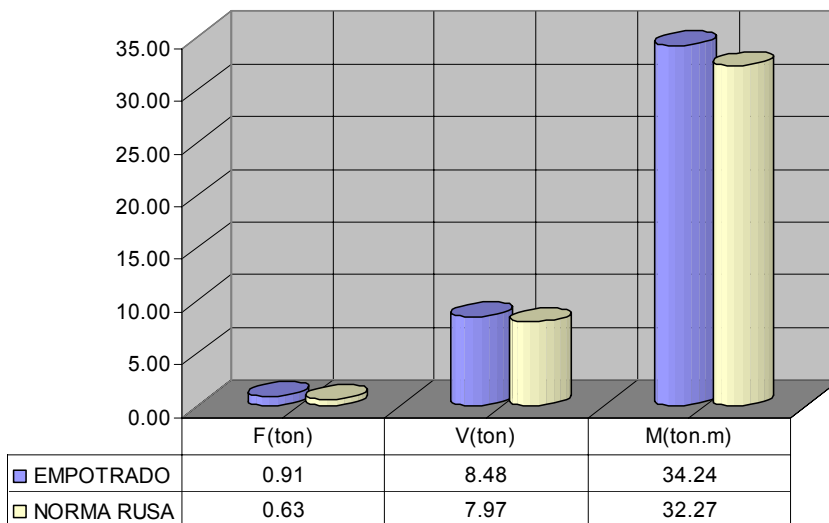
INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON
PLATEAS DE CIMENTACION
RESULTADOS DE LA REESTRUCTURACION DE LA EDIFICACION

MURO X2D



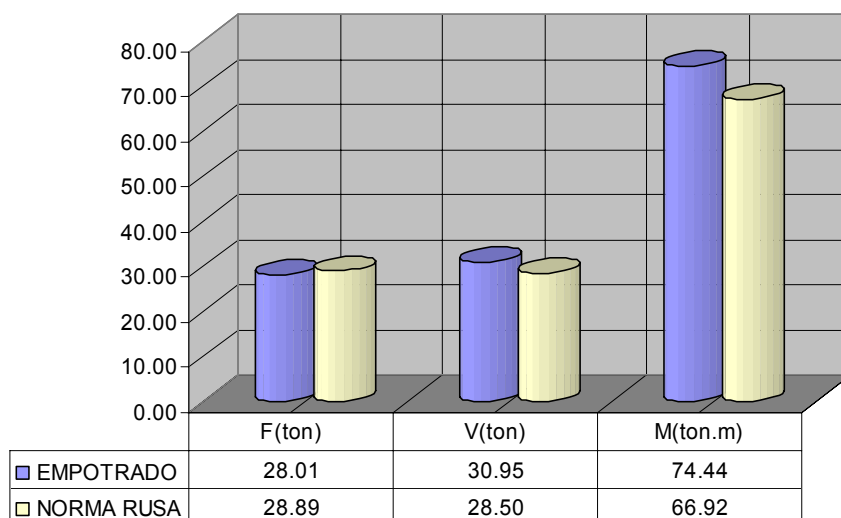
Ahora la estructura presenta un comportamiento en esfuerzos en la dirección "X" ligeramente menor en comparación con la configuración estructural anterior.

MURO Y3i



En la dirección "Y" se presentó una disminución de diferencias de resultados entre el modelo de empotramiento con el de la Norma Rusa, debido a que en la dirección "X" comienza a absorber mayor rigidez luego de haber sido reestructurado (antes fue flexible).

PLACA 21D



El análisis en la placa también nos proporcionó un reajuste en los resultados debido a la modificación estructural realizada.

Con la finalidad de analizar integralmente a la estructura, optamos por el modelo de la Norma Rusa, debido a que toma en cuenta parámetros de amortiguación en los 6 grados de libertad de la estructura, proporcionando resultados más reales en la edificación.

RESULTADOS DE ANALISIS TIEMPO – HISTORIA

Hasta éste punto se analizó la estructura espectralmente según los requerimientos de la Norma Peruana E030. Vamos a aplicar acelerogramas a la estructura para visualizar como se comporta la edificación durante todo el tiempo que dura el sismo, lo cual es diferente a lo que dice la Norma de Diseño Sismorresistente E030, la cual solo analiza hasta un intervalo de 4 segundos.

Para ello, utilizamos el acelerograma del sismo de Lima de 1974, debido a que es uno de los más intensos que han ocurrido en nuestro país, el cual fue proporcionado por el Instituto Geofísico del Perú. En todo el historial de acelerogramas, también se tiene el registro del sismo de Chimbote de 1970, el cual es uno de los más cercanos a la ciudad de Trujillo y con el que se podría aplicar a la estructura.

El motivo que nos llevó a la no aplicación del acelerograma del sismo de Chimbote, fue que el acelerógrafo se encontraba en la ciudad de Lima, y no en el epicentro del sismo o en Chimbote mismo. Lógicamente la intensidad de éste sismo llegó a Lima con una distorsión de aceleraciones, con lo cual no se recomienda utilizar éste acelerograma pues no refleja verdaderamente lo que pasó en la Región Ancash y zonas cercanas.

La aceleración del sismo de Lima del año 1974 fue de 1.925 m/s², y la aceleración de nuestro espectro de diseño es de 1.046 m/s². Este valor se ha calculado aplicando los coeficientes estipulados en la Norma de Diseño Sismorresistente E030. Con ello se comprueba que la aceleración que nos presenta la norma, la cual se obtiene de un estudio estadístico de todos los sismos que han ocurrido en nuestro país, es menor que la aceleración del sismo de Lima del año 1974.

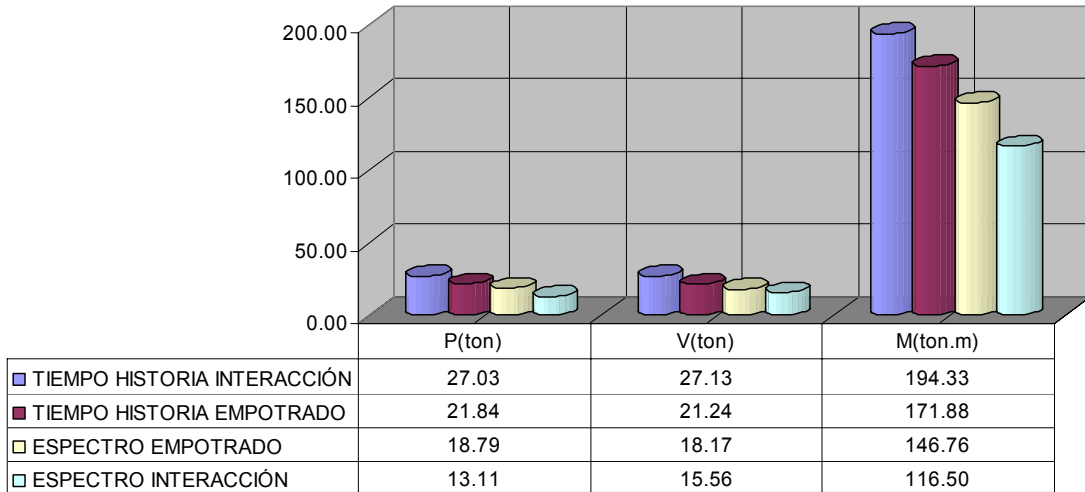
De esta forma, podemos sustentar con fundamento en base a nuestro proyecto, que nuestra norma sísmica necesita un ajuste en los factores que intervienen en el cálculo de la aceleración

INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

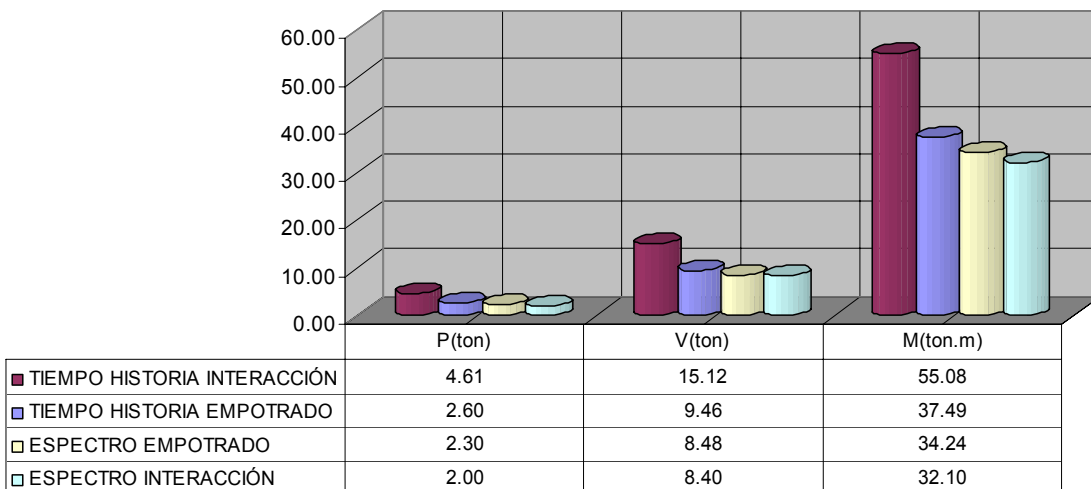
espectral. En lo referido tratamos de motivar a los demás colegas, que éste tema sea motivo de investigación para la mejora de nuestros códigos de diseño.

A continuación se presenta la comparación de resultados entre el análisis tiempo-historia y el análisis espectral.

MX2d

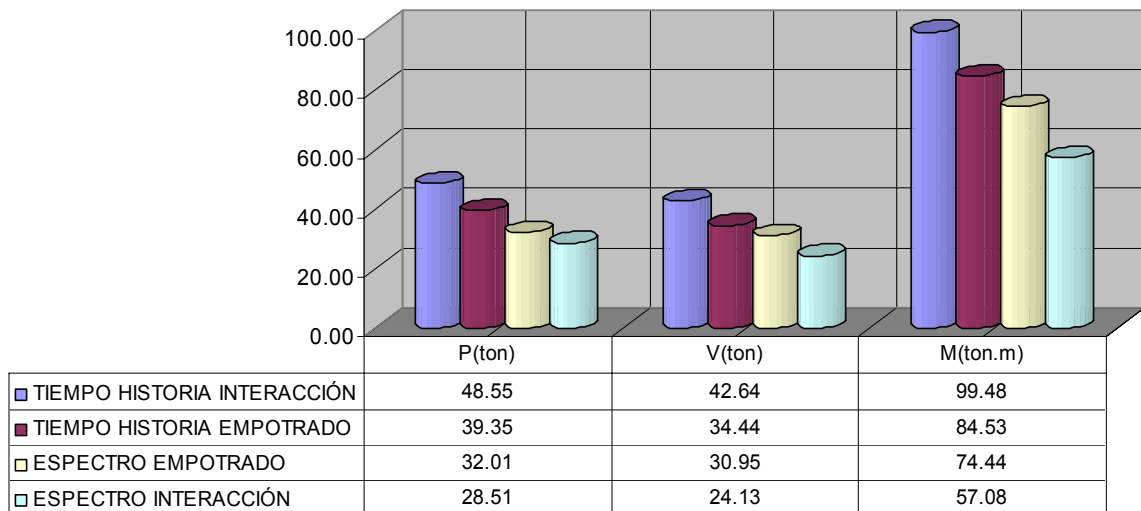


MY3i



INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

P21D



Según los resultados obtenidos en las tablas anteriores, corroboramos lo mencionado anteriormente. El análisis Tiempo-Historia presenta resultados de mayores esfuerzos que el Análisis Espectral.

DISTRIBUCION DE ENERGIA EN EL EDIFICIO

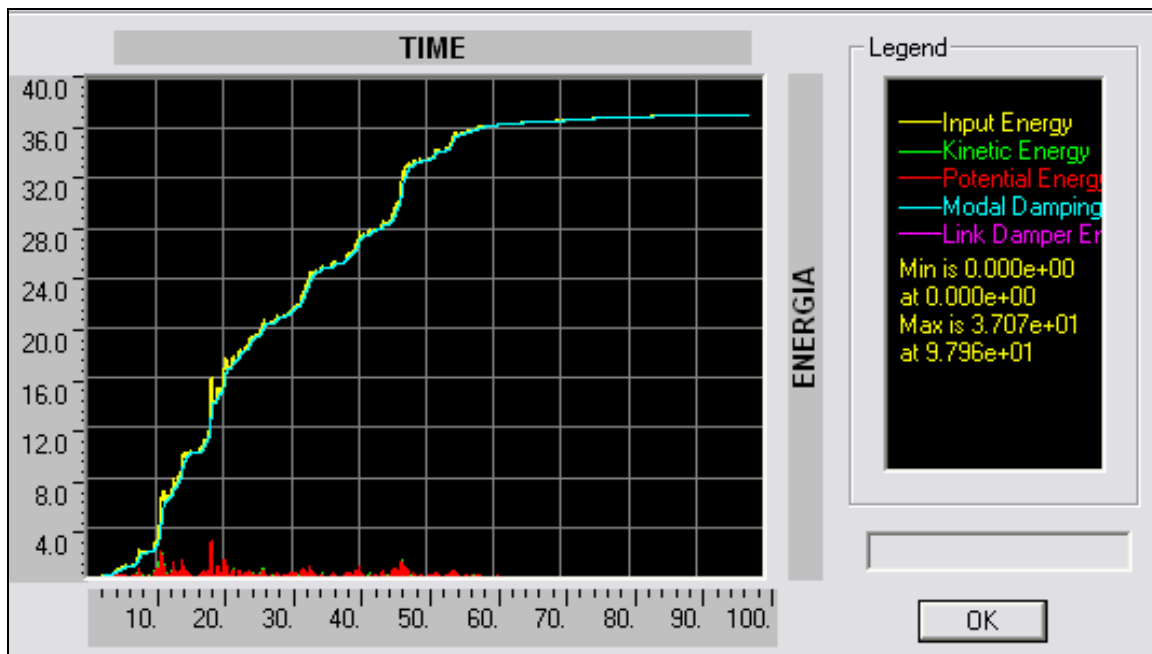


Fig. 20

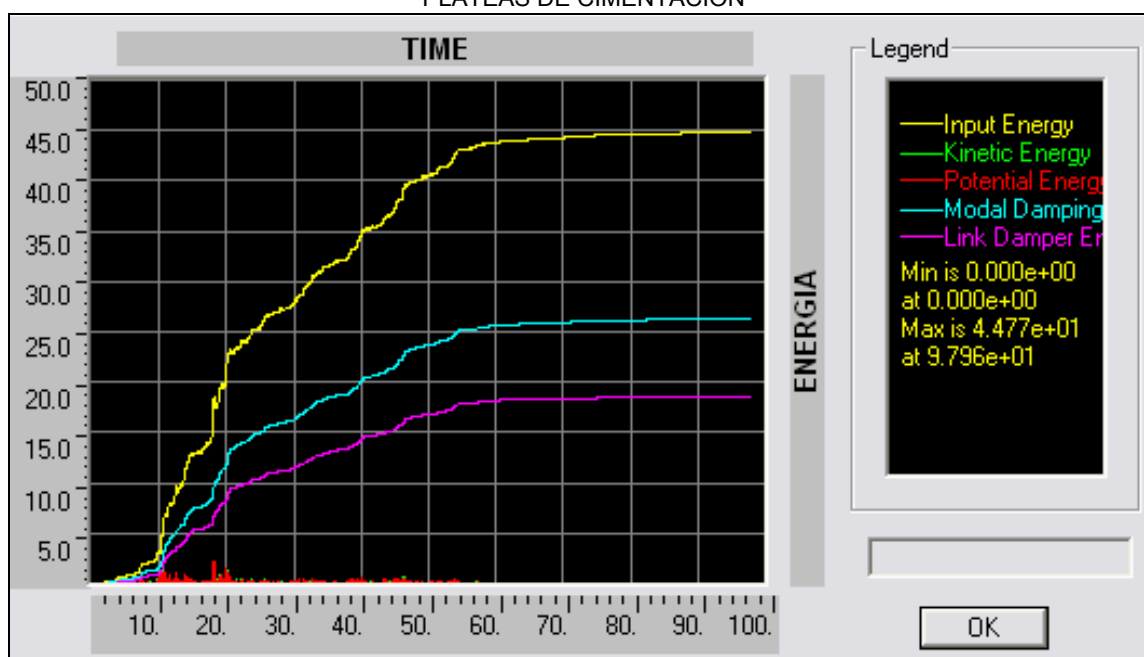


Fig. 21

Comentario:

Para éste balance energético, se eligió el sentido “Y” de la edificación, debido a que es la dirección más rígida de la estructura, en la cual, el sismo va actuar en gran magnitud.

De los gráficos anteriores (figuras 20 y 21) se desprenden las siguientes observaciones:

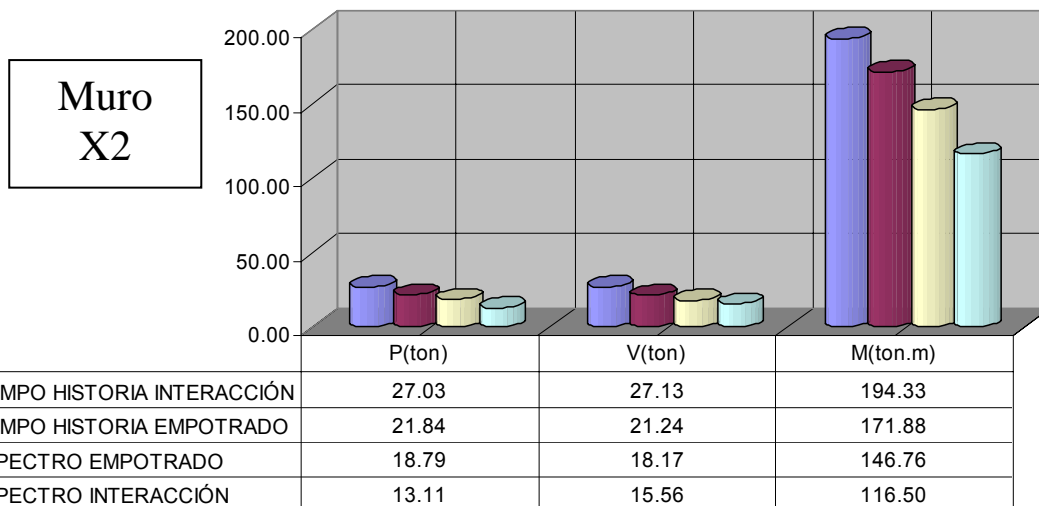
- La energía de amortiguamiento modal es la que fue especificada con el 5% del amortiguamiento crítico, ésta energía es importante como parámetro de comparación con la energía disipada por los elementos Damper, porque la disipación de energía influye en el daño estructural.
- Se demuestra gráficamente en la figura 21, la modificación del comportamiento estructural del sistema con la inclusión de los disipadores de energía distribuyendo la energía de entrada durante todo el tiempo del sismo.
- Según la figura 21, la energía que absorbe el disipador es del orden del 41.31 % de la energía derivada del sismo, dejando una parte a ser disipada por la acción inelástica de los elementos de concreto de la estructura.
- En la figura 20, se observa que la estructura está absorbiendo la mayor cantidad de energía generada por el sismo, extrayéndole la mayor cantidad de esfuerzo posible a la edificación, es decir se la sobre esfuerza, hasta que no pueda soportar más. Contrariamente a lo que se observa en figura 21, la amortiguación reduce el esfuerzo, redistribuyendo las fuerzas por toda la estructura, absorbiendo un porcentaje de la energía de entrada.
- También se puede observar, que la energía cinética y la energía potencial presentan un bajo porcentaje de la energía del sismo y son más relevantes entre los 9.8 y los 20 segundos aproximadamente del tiempo del sismo. Con lo cual la energía disipada por la estructura debido a las deformaciones plásticas es de mayor significación que estas energías.
- El comportamiento del suelo no es lineal, presenta más bien un comportamiento tipo amortiguador con resorte y es inelástico. De acuerdo con estas características, redistribuye mejor todos los esfuerzos presentando un mejor comportamiento en toda la estructura.

INTERACCION SIMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

- Llegado a éste punto de análisis, se puede hacer un estudio en el cual se investiga en que parte la estructura empieza a fallar con la aparición de rótulas plásticas durante todo el tiempo del sismo.

2.10. DISCUSION

Según los resultados obtenidos, al visualizar los siguientes gráficos que muestran la variación de la fuerza axial, fuerza cortante en la base y momento flector, debido a la modelación con interacción y sin interacción, para los elementos orientados en “X” e “Y”, podemos realizar el siguiente análisis comparativo.



Al analizar un modelo espectral sin interacción, nos resultan valores mayores que al analizar un modelamiento espectral con interacción, incrementando la fuerza axial, fuerza cortante y momento flector. Se nota claramente que el suelo de fundación absorbe parte de dichos esfuerzos.

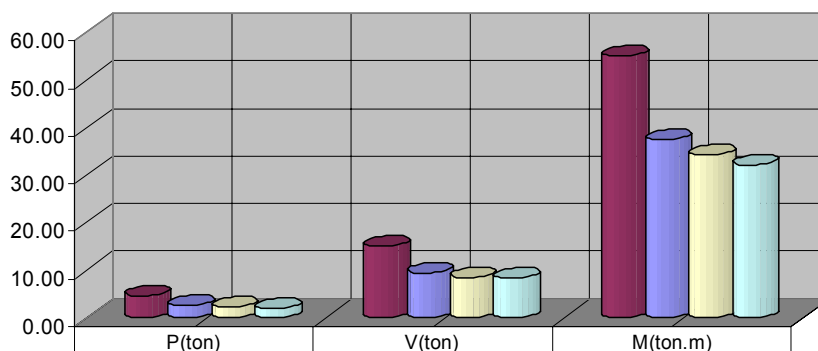
Al aplicar al modelo, un análisis tiempo-historia, los esfuerzos son mayores en un modelo con interacción que la modelación sin interacción, sin seguir el patrón del análisis espectral anterior, lo cual tiene la siguiente explicación:

El acelerograma aplicado al modelo fue el sismo de Lima del año 1974 con una aceleración máxima de 1.925 m/s², comparada con la aceleración de nuestro espectro de diseño que es de 1.046 m/s² (calculado según los coeficientes estipulados en la Norma de Diseño Sismorresistente E030), se comprueba que la aceleración que nos presenta la norma, es menor que la aceleración del sismo de Lima del año 1974. Con ello podemos sustentar, que nuestra norma sísmica necesita un ajuste en los factores que intervienen en el cálculo de la aceleración espectral de diseño, de tal manera que no exista incongruencia en los resultados, comparándolo con la realidad.

El mismo comportamiento se presenta en los demás elementos analizados, tal como se muestra en los siguientes esquemas:

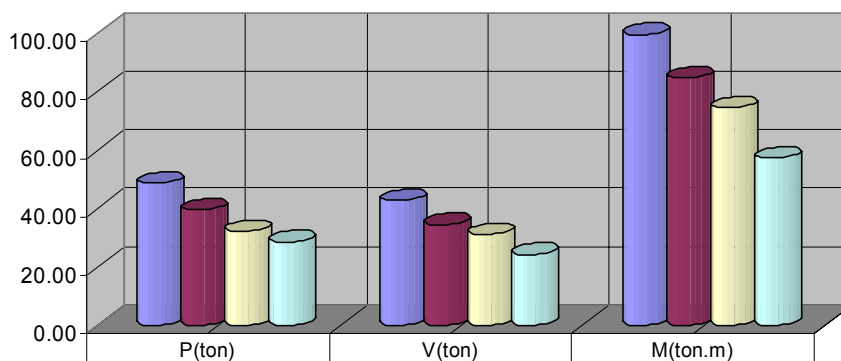
INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA CONFINADA CON PLATEAS DE CIMENTACION

Muro
Y3



	P(ton)	V(ton)	M(ton.m)
■ TIEMPO HISTORIA INTERACCIÓN	4.61	15.12	55.08
■ TIEMPO HISTORIA EMPOTRADO	2.60	9.46	37.49
■ ESPECTRO EMPOTRADO	2.30	8.48	34.24
■ ESPECTRO INTERACCIÓN	2.00	8.40	32.10

Placa
21d



	P(ton)	V(ton)	M(ton.m)
■ TIEMPO HISTORIA INTERACCIÓN	48.55	42.64	99.48
■ TIEMPO HISTORIA EMPOTRADO	39.35	34.44	84.53
■ ESPECTRO EMPOTRADO	32.01	30.95	74.44
■ ESPECTRO INTERACCIÓN	28.51	24.13	57.08

2.11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Habiendo cumplido con los objetivos planteados en esta investigación, durante la modelación de la edificación por el Método de Secciones Transformadas, con lo cual nos permitió analizar y elegir los modelos de interacción sísmica suelo-estructura con platea de cimentación para una edificación de albañilería confinada (Vivienda multifamiliar de 5 niveles) se concluye que:

La interacción suelo estructura nos permite determinar simultáneamente el comportamiento del suelo de fundación con la edificación frente a eventos sísmicos, demostrando que ante tal escenario el suelo coadyuva a una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos estructurales de la edificación, mediante la disipación de cierto porcentaje de energía inducida por un sismo.

A continuación se presenta, las conclusiones específicas que nos llevaron a la conclusión final anteriormente descrita:

A. MODELO DE SECCIONES TRANSFORMADAS

- El predimensionamiento de las columnas y placas son referenciales, debido a que los resultados de acuerdo a los análisis de los modelos, nos obliga a redimensionar dichos elementos; mientras que en el predimensionamiento de las vigas las

dimensiones son más cercanas a las obtenidas del análisis estructural. En cuanto al peralte de las losas no sufrió modificaciones; pero en los muros algunos presentaron variaciones en su espesor, logrando de esta manera rigidizarlos y cumplir con los parámetros de la Norma Peruana.

- La verificación de la densidad de muros en ambos sentidos es importante para una buena estructuración, permitiendo cumplir los requisitos de la Norma Peruana E030 en cuanto a desplazamientos y distribución de la fuerza sísmica.
- Se debe tener en cuenta los requisitos y limitaciones de la Norma Peruana para su correcta aplicación al momento de ingresar el modelo al programa SAP2000, de esta manera se evitan errores de interpretación en cuanto a los resultados que nos proporciona dicho programa.
- Como se ha mencionado anteriormente, para casos prácticos se podría asumir el centro de gravedad como centro de masas en edificaciones simétricas, y en cuanto al peso del edificio se podrían elegir valores entre 1.00 y 1.20 ton/m².
- El análisis Tiempo-Historia con un acelerograma de Chimbote (31.05.1970), no es muy confiable, ya que las aceleraciones registradas no son las reales. El sismo de Chimbote fue registrado en la ciudad de Lima a una distancia de 420Km. del epicentro siendo su registro de menor intensidad que el existente.
- Se optó por trabajar con un acelerograma del sismo de Lima (31.10.1974), ya que este presenta un sismo moderado con una aceleración de 1.925 m/s². El sismo más intenso en el registro peruano es el de Lima de octubre de 1966 con una aceleración de 2.69 m/s². No se optó por trabajar con este acelerograma ya que su período de retorno es considerable comparado a la vida útil de la edificación haciendo un diseño antieconómico.
- En cuanto al análisis Tiempo-Historia con el acelerograma del sismo de Lima de octubre de 1974, podemos decir que la aceleración fue de 1.925 m/s², y la aceleración de nuestro espectro de diseño es de 1.046 m/s², éste valor se ha calculado aplicando los coeficientes estipulados en la Norma de Diseño Sismorresistente E030. Con ello se comprueba que la aceleración que nos presenta la norma, la cual se obtiene de un estudio estadístico de todos los sismos que han ocurrido en nuestro país, es menor que la aceleración del sismo de Lima de octubre de 1974. De esto podemos sustentar en base a nuestro proyecto que nuestra norma sísmica necesita un ajuste en los factores que intervienen en el cálculo de la aceleración espectral.

B. INTERACCION SISMICA SUELO-PLATEA DE CIMENTACION-SUPERESTRUCTURA

- El lograr que el suelo de fundación interactúe de manera conjunta con la estructura, nos permite obtener resultados que describen el verdadero comportamiento de éste frente a un evento sísmico, mediante la utilización de los parámetros que nos brinda el estudio de mecánica de suelos y que muchas veces algunos de ellos no se toman en cuenta en un modelamiento común que no considera interacción.
- Con ayuda de los modelos dinámicos de interacción suelo – estructura nos muestra que la flexibilidad de la base de fundación influye directamente en la determinación de los parámetros de cálculo. Este modelo en comparación con un modelo empotrado permite que:
 - + Los desplazamientos laterales máximos de entresijos aumenten un 40%. Estos desplazamientos cumplen con los límites para desplazamiento lateral de entresijos permitidos para un edificio de albañilería según La Norma Peruana E030.
 - + Las fuerzas axiales máximas disminuyan en un 25%
 - + Las fuerzas cortantes máximas disminuyan en un 23%
 - + El momento flector disminuya en un 25%
 - + Las fuerzas cortantes en la base de la estructura aumenten en un 25%. Esta fuerza cortante supera el 90% del cortante estático obtenido del análisis; por

otro lado si el análisis hubiera sido por el Modelo empotrado, la fuerza cortante en la base de la estructura se encontraría por abajo del 90% del cortante estático, en este caso se tendrían que amplificar las fuerzas internas para su diseño.

- Se determinó el tipo de suelo de fundación adecuado para la estructura, después de haber analizado diferentes suelos. El suelo propuesto es el S2 (suelo intermedio) independiente de su densidad y humedad denominado "Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad" según la tabla 1. Se determinó además el espesor de la platea de cimentación iterando con distintos espesores, eligiendo el de 0.50m, debido a que la edificación presentaba esfuerzos menores en comparación con espesores menores a éste.
- El análisis Tiempo-Historia fue aplicado debido a que representa el verdadero historial del sismo en tiempo y en duración, con lo cual permitió concluir que en dicho análisis se presentan resultados con mayores esfuerzos que el espectral.
- Se realizó un balance energético en el cual nos permitió asegurar que el comportamiento del suelo no era lineal, sino más bien presenta un comportamiento tipo amortiguador con resorte y es inelástico. De acuerdo con estas características, permite una mejor redistribución de todos los esfuerzos, presentando un mejor comportamiento con la estructura.

C. DISEÑO ESTRUCTURAL

- El diseño de estructuras en general está basado en un delicado balance entre resistencia y capacidad de deformación de una estructura. De esta forma, las estructuras que tienen mayor resistencia son capaces de soportar las fuerzas y deformaciones inducidas por eventos sísmicos, comportándose en el rango lineal, esto es, sin daño permanente de los componentes estructurales principales. Por otra parte, estructuras que tienen una mayor capacidad de deformación son diseñadas para soportar un sismo a través de la disipación de energía que resulta de la generación de trabajo en la plastificación de los elementos estructurales. Tal disipación está asociada al daño permanente de la estructura. Sin embargo, debido a razones de costo, este último procedimiento es preferido hoy en día frente al aumento de resistencia necesario para mantener a una estructura elástica.
- Se basa en satisfacer la ecuación de demanda externa y capacidad de la estructura. La demanda considera las fuerzas y deformaciones generadas en las estructuras por el sismo; mientras que la capacidad considera la resistencia y deformabilidad que puede ser desarrollada por la estructura sin comprometer su estabilidad.

D. EFECTO DE LOS MUROS PORTANTES Y PLACAS

- Tanto los muros como las placas, son elementos estructurales que absorben la mayor fuerza sísmica, es por ello, de la necesidad de su correcta estructuración y diseño, la cual se obtiene a través de la optimización estructural (espesor, ancho, ubicación y otros), en función del efecto de la interacción suelo –estructura, debido a que se obtienen las fuerzas reales de su comportamiento integral con el resto de elementos estructurales y el suelo de fundación.
- Para el cálculo estructural, será necesario utilizar un acelerograma intenso, esforzando a la estructura al máximo, logrando un diseño estructural seguro y confiable.

2.12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Villarreal Castro Genner**. Interacción sísmica suelo-pilote-superestructura en edificios altos. 1ra. Edición. ISBN 9972-33-175-X. Trujillo, Mayo 2005.
2. **Villarreal Castro Genner**. Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas. 1ra. Edición. ISBN 9972-33-242-X. Lima, Agosto 2006.
3. **Sargsian A.E.** Mecánica estructural. 2da. Edición. Moscú, 2004.
4. **J. Darío Aristizábal-Ochoa**. Estructuras de vigas sobre suelos elásticos de rigidez variable. Bogotá, 1993.
5. **Universidad Politécnica de Cataluña**. Área de Geotecnia para Ingeniería Civil y Arquitectura. Capitulo I. Cataluña, 2006.
6. **Ulitsky V.M.** Soil-Structure Interaction: Calculation Methods and Engineering Practice. Volume I. Saint Petersburg, 2005.
7. **Sociedad Internacional de Ingeniería Geotécnica y Mecánica de Suelos**. Website: www.issmge.org
8. **Reconstrucción de Ciudades Históricas e Ingeniería Geotécnica**. Website: www.georec.spb.ru
9. **San Bartolomé Ángel**. Construcciones de albañilería confinada. 1ra Edición. Lima, Octubre 1998.
10. **San Bartolomé Ángel**. Análisis de edificios. 2da. Edición. Lima, Noviembre 1999.
11. **Huertas Polo José**. INGEOTEC EIRL. Estudio de suelo realizado para la "Residencial San Isidro". Trujillo, Julio 2006.
12. **Abanto Castillo Flavio**. Análisis y diseño de edificaciones de albañilería. 2da. Edición. Lima, 2004.
13. **García Messeguer Álvaro**. Elemento estructurales - Estructuras de Hormigón Armado. Madrid, 2004
14. **Blanco Blasco Antonio**. Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. Lima, 1991.
15. **Norma Técnica Peruana E 030 Diseño sismorresistente**
16. **Norma Técnica Peruana E 060 Concreto Armado**
17. **Norma Técnica Peruana E 070 Albañilería**
18. **Capítulo Peruano ACI**. Norma de construcciones en concreto estructural y comentarios (ACI 318-99). Lima, Diciembre 2000.
19. **Arthur H. Nilson** Diseño de estructuras de concreto. 12va. Edición. Junio 2000.
20. **Edgard G. Nawy**. Concreto reforzado Un enfoque básico. 1ra. Edición 1988.
21. **Meli Piralla Roberto**. Diseño estructural. México 1994.
22. **Teodoro E. Harmsen**. Diseño de estructuras de concreto armado. 3ra. Edición. 2002.
23. **SAP2000**. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. Structural and Earthquake Engineering Software. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, 2004.
24. **Wikipedia**. Enciclopedia multimedia Website: <http://es.wikipedia.org>
25. **Instituto Geofísico Del Perú** Website: <http://www.igp.gob.pe>