



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE
GUAYAQUIL**
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TEMA

***MODELOS DINÁMICOS PARA EDIFICACIONES DE HORMIGÓN
ARMADO, EVALUANDO INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA.***

TUTOR

MGTR. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA

AUTORES

CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL

SUNTAXI FREIRE TITO JOSE

GUAYAQUIL

2024



| REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| FICHA DE REGISTRO DE TESIS | |
| TÍTULO Y SUBTÍTULO: Modelos Dinámicos para edificaciones de hormigón armado, evaluando interacción suelo-estructura. | |
| AUTOR/ES: CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL SUNTAXI FREIRE TITO JOSE | TUTOR: Mgr. July Roxana Herrera Valencia |
| INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil | Grado obtenido: Ingeniero Civil |
| FACULTAD: INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN | CARRERA: INGENIERÍA CIVIL |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024 | N. DE PÁGS: 175 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción. | |
| PALABRAS CLAVE: Edificios, Modelo de simulación, Suelo, Tectónica. | |

RESUMEN:

La relación entre el suelo y la estructura es crucial no solo en la etapa de diseño inicial, sino a lo largo de la vida útil de una construcción. Las variaciones en las condiciones del suelo, como la consolidación o la presencia de agua subterránea, pueden impactar la estabilidad con el tiempo, requiriendo monitoreo y posiblemente mantenimiento o refuerzos. Considerar esta interacción desde el diseño es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de la construcción, evitando fallas catastróficas, especialmente en áreas sísmicas.

Los enfoques tradicionales de diseño dan prioridad a los aspectos puramente estructurales, ignorando la influencia del suelo circundante en el comportamiento de las edificaciones. Comprender cómo las estructuras de concreto armado se comportan sobre suelos menos rígidos. Empleando modelos dinámicos y estándares internacionales nos permite determinar cómo los períodos de vibración, la deformación en las losas, los desplazamientos laterales y las fuerzas internas máximas pueden ser influenciadas por la flexibilidad del suelo.

N. DE REGISTRO:**N. DE CLASIFICACIÓN:****DIRECCIÓN URL (Web):****ADJUNTO PDF:**

SI

NO

CONTACTO CON AUTOR/ES:

CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL

SUNTAXI FREIRE TITO JOSE

Teléfono:

0988635965

0984194701

E-mail:

kceballosp@ulvr.edu.ec

tsuntaxif@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PhD. Marcial Sebastián Calero Amores
Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y
Construcción.

Teléfono: (04)2596500 Ext. 241**E-mail:** mcaleroa@ulvr.edu.ec

Mgr. Eliana Noemi Contreras Jordán

Directora de Carrera de Ingeniería Civil

Teléfono: (04) 2596500 Ext. 242**E-mail:** econtrerasj@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Modelos Dinámicos para edificaciones de hormigón armado,
evaluando interacción suelo-estructura.

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 6 % | 5 % | 2 % | 1 % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1 | sannkassen.ngi.no Fuente de Internet | 1 % |
| 2 | mail.polodelconocimiento.com Fuente de Internet | <1 % |
| 3 | acustica.snu.ac.kr Fuente de Internet | <1 % |
| 4 | bristol.ac.uk Fuente de Internet | <1 % |
| 5 | Miguel A. Jaimes, Cesar Arredondo, Luciano Fernández-Sola. "Rocking of Non-symmetric Rigid Blocks in Buildings Considering Effects Associated with Dynamic Soil-Structure Interaction", Journal of Earthquake Engineering, 2017 Publicación | <1 % |
| 6 | Turgay Dindaroglu, Yasin Vermez, Recep Gundogan, Tugrul Yakupoglu, Hikmet Gunal, Abdullah E. Akay. "Importance of geotechnical | <1 % |

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL Y SUNTAXI FREIRE TITO JOSE, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, (Infraestructura verde (SUDS) para el control de inundaciones en la Av. Benjamín Carrión, sector La Alborada), corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

.....

Firma:

CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL

C.I.0953452356

.....

Firma:

SUNTAXI FREIRE TITO JOSE

C.I. 0954691275

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Modelos Dinámicos, Suelo, Áreas Sísmicas, ingeniería construcción**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria Y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Modelos Dinámicos, Suelo, Áreas Sísmicas, ingeniería construcción**, presentado por el (los) estudiante (s) **Ceballos Plus Kleiser Josuel y Suntaxi Freire Tito Jose** como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

Mgtr. July Roxana Herrera Valencia

C.C. 0916201569

AGRADECIMIENTO

CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL

Agradezco a mi papá...

Como quisiera que vea en todo lo que me he convertido y todo lo que he logrado.

Como puede alguien, dejar una huella tan profunda como la que él ha dejado en mí...

Hoy más que nunca busco respuestas..... Porque hay tantas cosas que quisiera decirle, pero lo único que me queda es darle las gracias, por haber forjado el hombre que soy...

Papá, como quisiera tan solo tener una pizca de tu valentía... Tan solo eso sería suficiente.

SUNTAXI FREIRE TITO JOSE

La presente tesis está dedicada en primer lugar a Dios, ya que gracias a Él estoy a un paso de concluir mi carrera, a mis padres porque ellos siempre estuvieron a mi lado dándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona; enseñándome a que las metas que se trazan en la vida, se las cumple con esfuerzo, dedicación y disciplina.

A mis hermanos; que a través de sus ejemplos me inspiraron a tenerle amor a los estudios, que me llevan a ser un profesional de calidad como lo son ellos.

Y por último a mi abuelo Víctor, que, pese a no estar físicamente con nosotros, sé que desde el cielo está observando este gran logro, sintiéndose orgulloso, ya que siempre fue un punto principal de inspiración en mi vida.

DEDICATORIA

CEBALLOS PLUAS KLEISER JOSUEL

Dedico este trabajo a Dios y a las personas, que, de alguna manera, en poco o mucho me han ayudado, impulsado o creído en mí,

SUNTAXI FREIRE TITO JOSE

El principal agradecimiento es a Dios que me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante pese a los diversos obstáculos que se me han presentado a lo largo de este camino.

A mi familia por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios, dándole sentido a cada paso que daba.

A mi madre quien es la persona más admirable en mi vida, ya que siempre vi su amor incondicional hacia mí.

A mi padre que su esfuerzo del día a día, me alentaban y me brindaba las fuerzas para no desistir.

RESUMEN – ABSTRACT

La relación entre el suelo y la estructura es crucial no solo en la etapa de diseño inicial, sino a lo largo de la vida útil de una construcción. Las variaciones en las condiciones del suelo, como la consolidación o la presencia de agua subterránea, pueden impactar la estabilidad con el tiempo, requiriendo monitoreo y posiblemente mantenimiento o refuerzos. Considerar esta interacción desde el diseño es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de la construcción, evitando fallas catastróficas, especialmente en áreas sísmicas.

Los enfoques tradicionales de diseño dan prioridad a los aspectos puramente estructurales, ignorando la influencia del suelo circundante en el comportamiento de las edificaciones. Comprender cómo las estructuras de concreto armado se comportan sobre suelos menos rígidos. Empleando modelos dinámicos y estándares internacionales nos permite determinar como los períodos de vibración, la deformación en las losas, los desplazamientos laterales y las fuerzas internas máximas pueden ser influenciadas por la flexibilidad del suelo.

Palabras Clave: Modelos Dinámicos, Suelo, Áreas Sísmicas.

ABSTRACT

The relationship between soil and structure is crucial not only in the initial design stage but throughout the lifespan of a construction. Variations in soil conditions, such as consolidation or the presence of groundwater, can impact stability over time, requiring monitoring and possibly maintenance or reinforcements. Considering this interaction from the design phase is essential to ensure the safety and durability of the construction, avoiding catastrophic failures, especially in seismic areas.

Traditional design approaches prioritize purely structural aspects, ignoring the influence of the surrounding soil on building behavior. Understanding how reinforced concrete structures behave on less rigid soils is important. Employing dynamic models and international standards allows us to determine how vibration periods, deformation in

slabs, lateral displacements, and maximum internal forces can be influenced by soil flexibility.

Keywords: Dynamic Models, Soil, Seismic Areas.

INDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| ENFOQUE DE LA PROPUESTA | 1 |
| 1.1 Tema..... | 1 |
| 1.2 Introducción | 1 |
| 1.3 Planteamiento del Problema..... | 2 |
| 1.4 Formulación del Problema | 5 |
| 1.5 Objetivo General | 6 |
| 1.6 Objetivos Específicos | 6 |
| 1.7 Idea a Defender / Hipótesis (investigaciones cuantitativas) | 6 |
| 1.8 Línea de Investigación Institucional / Facultad | 6 |
| CAPÍTULO II..... | 7 |
| MARCO TEÒRICO..... | 7 |
| 2.1 Antecedentes | 7 |
| 2.2 Teorías que se utilizara | 8 |
| 2.3 Referencias ULVR disponibles | 10 |
| 2.4 Modelos o Experiencias Análogas | 11 |
| 2.5 Legislación y Norma Aplicable | 13 |
| Figura 1 | 14 |
| <i>Pirámide de Kelsen</i> | 14 |
| Marco Conceptual | 15 |
| 2.6 Cimentación..... | 15 |
| Figura 2..... | 15 |
| <i>Cimentación</i> | 15 |
| 2.6.1 Tipos de Cimentación | 16 |
| 2.6.2 Diseño de Cimentaciones para Evitar la Interacción Suelo-Estructura | 17 |
| 2.7 Estudio geotécnico | 19 |
| 2.7.1 Importancia de un estudio geotécnico..... | 19 |
| 2.7.2 Componentes de un estudio Geotécnico | 20 |
| 2.8 Mejoramiento de Suelo..... | 21 |
| 2.9 Periodo Fundamental Estructural..... | 22 |
| 2.9.1 El Contexto Sísmico | 22 |
| 2.9.2 Determinación del Período Fundamental Estructural..... | 23 |
| 2.9.3 Importancia de Evitar la Resonancia Sísmica | 23 |
| 2.10 Licuefacción de suelos..... | 23 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3..... | 24 |
| Licuefacción de Suelos..... | 24 |
| 2.10.1 Factores que Contribuyen a la Licuefacción | 24 |
| 2.10.2 Impacto en las Estructuras | 25 |
| 2.11 Flexibilidad de Suelos | 26 |
| 2.11.1 Comportamiento de Suelo | 26 |
| 2.11.2 Influencia de la Humedad..... | 27 |
| 2.11.3 Compactación y Densidad | 27 |
| 2.12 Respuesta Sísmica | 27 |
| 2.13 Labores en el ámbito espacial y múltiples elementos de la fuerza sísmica..... | 29 |
| 2.14 Rigidez y Amortiguamiento | 30 |
| 2.14.1 Rigidez de la Estructura | 31 |
| 2.14.2 Rigidez del Suelo..... | 31 |
| 2.14.3 Importancia de la Rigidez en la Interacción Suelo-Estructura | 31 |
| 2.14.4 Amortiguamiento en la Interacción Suelo-Estructura | 32 |
| 2.14.5 Importancia del Amortiguamiento en la Interacción Suelo-Estructura..... | 32 |
| 2.14.6 Determinación de Parámetros de Rigidez y Amortiguamiento | 33 |
| 2.15 Interacción suelo estructura (ISE) | 34 |
| Figura 4..... | 35 |
| <i>Interacción suelo-estructura (ISE)</i> | 35 |
| 2.16 Modelos Dinámicos para Interacción suelo – estructura..... | 35 |
| 2.17 Coeficientes de Amortiguamiento y Rigidez..... | 36 |
| Figura 5..... | 36 |
| <i>Coefficientes de Amortiguamiento y Rigidez</i> | 36 |
| CAPITULO III..... | 38 |
| 3.1 Enfoque a utilizar | 38 |
| 3.2 Alcance | 38 |
| 3.3 Técnicas e Instrumentos..... | 38 |
| 3.3.1 Técnicas | 38 |
| 3.3.2 Instrumentos | 39 |
| 3.4 Población y Muestra..... | 39 |
| 3.4 Enfoque a utilizar..... | 39 |
| CAPITULO IV | 41 |
| PROPUESTA E INFORME | 41 |
| 4.1 Antecedentes | 41 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 6..... | 41 |
| <i>Ubicación de Proyecto.....</i> | 41 |
| 4.2 Definición geométrica de modelos de estudio..... | 41 |
| Figura 7..... | 42 |
| <i>Diseño geométrico de modelos de Estudio.....</i> | 42 |
| 4.3 Normativa..... | 42 |
| 4.4 Materiales..... | 42 |
| 4.4.1 Hormigón estructural | 43 |
| 4.4.2 Acero de refuerzo en varillas corrugadas NTE INEN 2167, ASTM A706 | 43 |
| 4.5 Cargas..... | 43 |
| 4.5.1 Carga muerta..... | 43 |
| 4.5.2 Sobrecarga permanente..... | 44 |
| 4.5.3 Carga viva | 44 |
| Figura 8..... | 44 |
| <i>Disposición de NEC-SE-CG para cargas vivas en vivienda.....</i> | 44 |
| Figura 9..... | 45 |
| <i>Disposición de NEC-SE-CG para cargas vivas en locales comerciales.....</i> | 45 |
| 4.3.4 Carga sísmica | 45 |
| 4.4 Zona sísmica y factores que influyen en los espectros de diseño..... | 45 |
| Tabla 1 <i>Factores para los espectros de diseño.....</i> | 46 |
| Tabla 2 <i>Valores de Espectros de Diseño Arena Densa</i> | 46 |
| Figura 10..... | 48 |
| <i>Espectro de Diseño para Arcilla Blanda.....</i> | 48 |
| 4.5 Características geotécnicas de zona de estudio..... | 48 |
| Tabla 3 <i>Características geotécnicas de Estudio</i> | 48 |
| 4.6 Verificación de cortante en la base | 49 |
| Tabla 4 <i>Verificación de Cortante en la Base.....</i> | 49 |
| 4.7 control de derivas inelásticas de piso..... | 49 |
| Tabla 5 <i>Max Drift Arena Densa.....</i> | 50 |
| 4.8 ANÁLISIS DINÁMICO CON INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA..... | 51 |
| Figura 12..... | 51 |
| <i>Distribución de áreas.....</i> | 51 |
| Figura 13. <i>Modelo de base flexible, edificio de 5 Niveles</i> | 53 |
| 4.9 MODELO DINÁMICO D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV (1987)..... | 53 |
| Tabla 6 <i>Tipo de suelo de Base de la Fundación.....</i> | 54 |
| 4.10 Modelo dinámico norma rusa snip 2.02.05 (1987)..... | 55 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.11 | MODELO DINÁMICO NORMA ASCE 41-17..... | 57 |
| | Tabla 7 <i>Valores de reducción del Módulo de Corte. (ASCE)</i> | 57 |
| | Figura 14..... | 58 |
| | <i>Factores de corrección por empotramiento</i> | 58 |
| 4.12 | Obtención de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para edificación de 3 niveles | 59 |
| 4.12.1 | METODO ASCE 41-17 , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings" | 59 |
| | Tabla 8 <i>Effective Shear Modulus Ratio (G/Go)</i> | 60 |
| 4.12.2 | Factores de Corrección por empotramiento | 61 |
| | Figura 16..... | 61 |
| | <i>Ecuaciones de factores de corrección</i> | 61 |
| 4.12.3 | Método de Intensidad de Área o Área Tributaria | 63 |
| | Figura 17..... | 63 |
| | <i>Distribución de áreas</i> | 63 |
| 4.12.4 | Distribución de la rigidez | 64 |
| 4.12.4.- | Rigideces | 64 |
| 4.12.4.3 | Rigideces en Parte Central..... | 65 |
| 4.12.5 | ISE , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings" | 66 |
| 4.13 | Obtención de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para edificación de 4 niveles | 88 |
| 4.13.1 | METODO ASCE 41-17 , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings" | 88 |
| | Tabla 9 <i>Effective Shear Modulus Ratio (G/Go)</i> | 88 |
| 4.13.2 | Factores de Corrección por empotramiento | 90 |
| 4.13.3 | Método de Intensidad de Área o Área Tributaria | 91 |
| 4.13.4 | Distribución de la rigidez | 92 |
| 4.13.5 | ISE , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings" | 94 |
| 4.14 | Obtención de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para edificación de 5 niveles | 112 |
| 4.14.1 | METODO ASCE 41-17 , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings" | 112 |
| | Tabla 10 <i>Effective Shear Modulus Ratio (G/Go)</i> | 112 |
| 4.14.2 | Factores de Corrección por empotramiento | 114 |
| 4.14.3 | Método de Intensidad de Área o Área Tributaria | 115 |
| 4.14.4 | Distribución de la rigidez | 116 |
| 4.14.5 | ISE, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings" | 117 |
| 4.15 | Coeficientes de rigidez y amortiguamiento..... | 137 |
| 4.15.1 | D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV (1987)..... | 137 |
| | Tabla 8 <i>Coeficientes de desplazamiento y rotación</i> | 137 |
| | Tabla 9 <i>Coeficientes de rigidez modelo dinámico D.D. Barkan, O.A Savinov</i> | 138 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.16 MODELO DINÁMICO NORMA RUSA SNIP 2.02.05 (1987) | 138 |
| Tabla 10 Coeficientes de compresión Cz | 138 |
| Tabla 11 Coeficientes de desplazamiento y rotación para Arena Densa | 139 |
| Tabla 13 Amortiguación Relativa en Arena Densa | 140 |
| Tabla 14 Amortiguamiento del sistema suelo fundación en Arena Densa | 140 |
| 4.17 MODELO DINÁMICO NORMA ASCE 41-17 | 141 |
| Tabla 15 Rigidices de fundación en superficie para Arena Densa | 141 |
| Tabla 16 Factores de Corrección por Empotramiento | 141 |
| Tabla 17 Rigidices de fundación confinada para Arena Densa..... | 142 |
| 4.18 RESULTADOS..... | 143 |
| Tabla 18 Periodo Fundamental de Vibracion T (s)..... | 143 |
| Tabla 19 Porcentaje de variación del periodo respecto al modelo de base empotrada | 143 |
| Tabla 20 Cortante en la base debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena Densa | 144 |
| Tabla 21 Desplazamiento de Techo debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena Densa | 144 |
| Tabla 22 Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa..... | 145 |
| | 145 |
| Figura 23..... | 145 |
| Max drift en arena densa para 3 niveles..... | 145 |
| Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024) | 145 |
| Tabla 23 Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa..... | 146 |
| Figura 24..... | 146 |
| Max drift en arena densa para 4 niveles..... | 146 |
| Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024) | 146 |
| Tabla 27 Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa..... | 147 |
| Figura 25..... | 147 |
| Max drift en arena densa para 5 niveles..... | 147 |
| 5 CONCLUSIONES | 147 |
| Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024) | 147 |
| 5 CONCLUSIONES | 148 |
| 6 RECOMENDACIONES | 149 |
| REFERENCIAS..... | 150 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1 | <i>Factores para los espectros de diseño</i> | 46 |
| Tabla 2 | <i>Valores de Espectros de Diseño Arena Densa</i> | 46 |
| Tabla 3 | <i>Características geotécnicas de Estudio</i> | 48 |
| Tabla 4 | <i>Verificación de Cortante en la Base</i> | 49 |
| Tabla 5 | <i>Max Drift Arena Densa</i> | 50 |
| Tabla 6 | <i>Tipo de suelo de Base de la Fundación</i> | 54 |
| Tabla 7 | <i>Valores de reducción del Módulo de Corte. (ASCE)</i> | 57 |
| Tabla 8 | <i>Effective Shear Modulus Ratio (G/Go)</i> | 60 |
| Tabla 9 | <i>Effective Shear Modulus Ratio (G/Go)</i> | 88 |
| Tabla 10 | <i>Effective Shear Modulus Ratio (G/Go)</i> | 112 |
| Tabla 11 | <i>Coeficientes de desplazamiento y rotación</i> | 137 |
| Tabla 12 | <i>Coeficientes de rigidez modelo dinámico D.D. Barkan, O.A Savinov</i> | 138 |
| Tabla 13 | <i>Coeficientes de compresión Cz</i> | 138 |
| Tabla 14 | <i>Coeficientes de desplazamiento y rotación para Arena Densa</i> | 139 |
| Tabla 15 | <i>Coeficientes de Rigidez modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87</i> | 139 |
| Tabla 16 | <i>Amortiguación Relativa en Arena Densa</i> | 140 |
| Tabla 17 | <i>Amortiguamiento del sistema suelo fundación en Arena Densa</i> | 140 |
| Tabla 18 | <i>Rigidices de fundacion en superficie para Arena Densa</i> | 141 |
| Tabla 19 | <i>Factores de Corrección por Empotramiento</i> | 141 |
| Tabla 20 | <i>Rigidices de fundación confinada para Arena Densa</i> | 142 |
| Tabla 21 | <i>Periodo Fundamental de Vibracion T (s)</i> | 143 |
| Tabla 22 | <i>Porcentaje de variación del periodo respecto al modelo de base empotrada</i> | 143 |
| Tabla 23 | <i>Cortante en la base debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena Densa</i> | 144 |
| Tabla 24 | <i>Desplazamiento de Techo debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena Densa</i> | 144 |
| Tabla 25 | <i>Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa</i> | 145 |
| Tabla 26 | <i>Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa</i> | 146 |
| Tabla 27 | <i>Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa</i> | 147 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 | 14 |
| <i>Pirámide de Kelsen</i> | 14 |
| Figura 2 | 15 |
| <i>Cimentación</i> | 15 |
| Figura 3 | 24 |
| Licuefacción de Suelos | 24 |
| Figura 4 | 35 |
| <i>Interacción suelo-estructura (ISE)</i> | 35 |
| Figura 5 | 36 |
| <i>Coefficientes de Amortiguamiento y Rigidez</i> | 36 |
| Figura 6 | 41 |
| <i>Ubicación de Proyecto</i> | 41 |
| Figura 7 | 42 |
| <i>Diseño geométrico de modelos de Estudio</i> | 42 |
| Figura 8 | 44 |
| <i>Disposición de NEC-SE-CG para cargas vivas en vivienda</i> | 44 |
| Figura 9 | 45 |
| <i>Disposición de NEC-SE-CG para cargas vivas en locales comerciales</i> | 45 |
| Figura 10 | 48 |
| <i>Espectro de Diseño para Arcilla Blanda</i> | 48 |
| Figura 12 | 51 |
| <i>Distribución de áreas</i> | 51 |
| Figura 13. <i>Modelo de base flexible, edificio de 5 Niveles</i> | 53 |
| Figura 14 | 58 |
| <i>Factores de corrección por empotramiento</i> | 58 |
| Figura 16 | 61 |
| <i>Ecuaciones de factores de corrección</i> | 61 |
| Figura 17 | 63 |
| <i>Distribución de áreas</i> | 63 |
| Figura 23 | 145 |
| <i>Max drift en arena densa para 3 niveles</i> | 145 |
| Elaborado por: Ceballos y Sntaxi (2024) | 145 |
| Figura 24 | 146 |

| | |
|------------------------------------------------------|-----|
| <i>Max drift en arena densa para 4 niveles</i> | 146 |
| Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024) | 146 |
| Figura 25..... | 147 |
| <i>Max drift en arena densa para 5 niveles</i> | 147 |
| Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024) | 147 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|-------------|-----|
| Anexo | 154 |
|-------------|-----|

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Modelos Dinámicos para edificaciones de hormigón armado, evaluando interacción suelo-estructura.

1.2 Introducción

La interacción suelo-estructura es un aspecto fundamental en la ingeniería civil y la arquitectura que se encarga de estudiar cómo el suelo y las estructuras interactúan entre sí. Esta interacción es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones y obras civiles en general. Comprender cómo el suelo y la estructura se influyen mutuamente es crucial para diseñar y construir infraestructuras duraderas y seguras.

El suelo es una parte fundamental de cualquier construcción, ya que es la base sobre la cual se asientan las estructuras. Sin embargo, el suelo no es un material homogéneo; varía en cuanto a su composición, densidad y capacidad de carga en diferentes ubicaciones geográficas. Esto significa que la interacción entre el suelo y la estructura puede ser muy compleja y debe ser estudiada cuidadosamente.

La carga de una estructura se transfiere al suelo a través de la cimentación, que es la parte de la estructura que se encuentra en contacto directo con el suelo. La cimentación tiene como objetivo distribuir la carga de manera uniforme sobre el suelo y evitar que la estructura se hunda o se incline de manera insegura. Para lograr esto, es necesario conocer las propiedades del suelo en el lugar de construcción y diseñar la cimentación adecuada.

Además de la carga vertical, las estructuras también están sujetas a cargas horizontales, como las provocadas por el viento o los movimientos sísmicos. La capacidad del suelo para resistir estas cargas horizontales es un factor crítico en la seguridad sísmica y el diseño contra vientos fuertes.

La interacción suelo-estructura no solo se limita al diseño inicial de una construcción, sino que también es relevante durante su vida útil. Los cambios en las condiciones del suelo, como la consolidación del terreno o la presencia de agua subterránea, pueden afectar la estabilidad de una estructura a lo largo del tiempo. Es esencial monitorear y, si es necesario, realizar mantenimiento y refuerzos para garantizar la seguridad continua de la edificación.

Considerar la interacción suelo-estructura en el diseño radica en la seguridad y la durabilidad de la construcción. Una cimentación adecuada y una comprensión precisa de cómo el suelo responderá a las cargas son fundamentales para prevenir fallas catastróficas. Esto es especialmente crucial en áreas sísmicas, donde las cargas dinámicas pueden tener un impacto significativo en las estructuras si no se diseñan y construyen correctamente.

Además, la interacción suelo-estructura influye en la eficiencia de los cimientos y en el costo total del proyecto. Un diseño que tenga en cuenta las propiedades específicas del suelo puede resultar en una cimentación más económica y eficiente. Por otro lado, ignorar la interacción suelo-estructura puede llevar a gastos adicionales debido a reparaciones costosas o incluso la demolición y reconstrucción de la estructura.

1.3 Planteamiento del Problema

La interacción suelo-estructura es un fenómeno intrínseco en la ingeniería civil que juega un papel crítico en la seguridad, el comportamiento y la eficiencia de las edificaciones. El análisis y diseño estructural exitoso requiere una comprensión profunda

de cómo las características del suelo interactúan con las cargas aplicadas a una estructura. La falta de consideración adecuada de esta interacción puede tener consecuencias significativas en términos de desempeño estructural, seguridad y costos. En el contexto de Ecuador y en diversas partes del mundo, este problema cobra aún mayor relevancia debido a la variabilidad geotécnica y la exposición a eventos sísmicos.

La omisión de la interacción suelo-estructura en los diseños estructurales es un problema persistente que afecta a edificaciones tanto en Ecuador como en el resto del mundo. A menudo, los enfoques de diseño tradicionales priorizan aspectos estructurales, dejando de lado la influencia del suelo circundante en el comportamiento de la edificación. Según las investigaciones de (Vicencio & Alexander, 2019), esta falta de consideración puede llevar a subestimar los riesgos sísmicos, deformaciones excesivas, asentamientos diferenciales y, en última instancia, a la falla estructural. A pesar de los avances en la ingeniería geotécnica y estructural, la interacción suelo-estructura sigue siendo un aspecto subestimado y sub atendido en muchos proyectos de construcción.

Diversos factores contribuyen a la falta de consideración de la interacción suelo-estructura en los diseños. La complejidad del análisis y la dificultad para obtener datos geotécnicos precisos a menudo disuaden a los ingenieros de abordar adecuadamente esta interacción. Además, la falta de códigos de diseño claros y específicos para la interacción suelo-estructura puede dificultar su incorporación en la práctica de diseño convencional. La falta de conciencia y educación sobre la importancia de este fenómeno también desempeña un papel en la problemática.

Las edificaciones diseñadas sin tener en cuenta esta interacción pueden sufrir daños estructurales significativos, lo que pone en peligro la vida de las personas y aumenta los costos de rehabilitación. Además, la falta de consideración de la interacción suelo-estructura puede resultar en diseños sobre dimensionados, pérdida de eficiencia estructural y un mayor consumo de recursos. En última instancia, esta problemática mina la confianza en la ingeniería y puede tener un impacto negativo en la sostenibilidad y la resiliencia de las edificaciones.(Vicencio & Alexander, 2021)

Se requieren investigaciones exhaustivas que analicen cómo diferentes tipos de suelo y condiciones sísmicas influyen en la respuesta estructural. La creación y actualización de normativas y códigos de diseño específicos para la interacción suelo-estructura son esenciales para garantizar la seguridad y la calidad de las construcciones. Además, la educación continua de ingenieros y la promoción de enfoques interdisciplinarios son fundamentales para superar los desafíos asociados con la incorporación de la interacción suelo-estructura en los diseños.

El terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8, en escala Richter afectó muchas edificaciones, dejando dolorosas pérdidas de vidas y un cuantioso perjuicio económico. La magnitud del sismo reflejada en los espectros de respuesta superó notablemente a los espectros que prescriben el Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC, Peligro Sísmico, 2014), encontrando estructuras bastante flexibles que tuvieron grandes desplazamientos. (Testori et al., 2021)

Según (Araujo et al., 2021) , la actividad sísmica del Ecuador se debe totalmente a la posición geográfica de estar en el Cinturón de Fuego del Pacífico, generalmente en suelos de arcilla o arenosos se produce una amplificación de onda sísmica haciendo que el suelo pierda su capacidad de soportar peso, y es que la mayoría del análisis estructural se realiza bajo la suposición que la base de una estructura se encuentra empotrada sobre suelos relativamente rígidos, obteniendo un comportamiento distinto en la edificación.

La interacción suelo-estructura no solo se limita al diseño inicial de una construcción, sino que también es relevante durante su vida útil. Los cambios en las condiciones del suelo, como la consolidación del terreno o la presencia de agua subterránea, pueden afectar la estabilidad de una estructura a lo largo del tiempo. Es esencial monitorear y, si es necesario, realizar mantenimiento y refuerzos para garantizar la seguridad continua de la edificación.

Considerar la interacción suelo-estructura en el diseño radica en la seguridad y la durabilidad de la construcción. Una cimentación adecuada y una comprensión precisa de cómo el suelo responderá a las cargas son fundamentales para prevenir fallas catastróficas. Esto es especialmente crucial en áreas sísmicas, donde las cargas dinámicas pueden tener un impacto significativo en las estructuras si no se diseñan y construyen correctamente.

Además, la interacción suelo-estructura influye en la eficiencia de los cimientos y en el costo total del proyecto. Un diseño que tenga en cuenta las propiedades específicas del suelo puede resultar en una cimentación más económica y eficiente. Por otro lado, ignorar la interacción suelo-estructura puede llevar a gastos adicionales debido a reparaciones costosas o incluso la demolición y reconstrucción de la estructura.

La necesidad de llevar a cabo esta investigación surge de la importancia de comprender cómo las edificaciones de concreto armado responden cuando están construidas sobre suelos no rígidos. Utilizando modelos dinámicos y normativas internacionales como referencia, se buscará evaluar si los resultados obtenidos cumplen con las regulaciones locales ecuatorianas. Para lograrlo, se realizarán pruebas de laboratorio de suelo de las edificaciones en estudio, centrándose en aspectos como los períodos de vibración, el alabeo en las losas, los desplazamientos laterales y las fuerzas internas máximas, que están influenciados por la flexibilidad del suelo.

1.4 Formulación del Problema

¿Cómo los modelos dinámicos mejoran la seguridad de las edificaciones en áreas vulnerables de Guayaquil con suelos desfavorables?

1.5 Objetivo General

Analizar comportamiento sísmico de edificios en suelos no rígidos, mediante interacción suelo-estructura.

1.6 Objetivos Específicos

- Calcular coeficientes de rigidez y amortiguamiento mediante modelos dinámicos para las edificaciones de estudio.
- Modelar edificaciones con parámetros de suelo usando elementos finitos y programas informáticos para análisis sísmico.
- Evaluar los riesgos y cambios asociados al enfoque tradicional de diseño que no considera los efectos de interacción suelo-estructura.

1.7 Idea a Defender / Hipótesis (investigaciones cuantitativas)

La propuesta de 3 modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, analizara el comportamiento real de edificaciones cuando no se tenga suelos rígidos en la zona de estudio.

1.8 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

El presente trabajo de titulación corresponde a la línea de investigación institucional de la facultad de ingeniería, industria y construcción es territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción. Así mismo, este trabajo de titulación así mismo se encuentra dentro de la línea de investigación técnica, tecnología e innovación, teniendo una sub línea de investigación en modelaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÒRICO

2.1 Antecedentes.

La interacción suelo-estructura es un aspecto fundamental en la ingeniería civil y la arquitectura que se encarga de estudiar cómo el suelo y las estructuras interactúan entre sí. Esta interacción es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones y obras civiles en general. Comprender cómo el suelo y la estructura se influyen mutuamente es crucial para diseñar y construir infraestructuras duraderas y seguras.

El suelo es una parte fundamental de cualquier construcción, ya que es la base sobre la cual se asientan las estructuras. Sin embargo, el suelo no es un material homogéneo; varía en cuanto a su composición, densidad y capacidad de carga en diferentes ubicaciones geográficas. Esto significa que la interacción entre el suelo y la estructura puede ser muy compleja y debe ser estudiada cuidadosamente.

El Ecuador registra una alta actividad sísmica y volcánica, donde convergen la placa de Nazca y la placa Continental Americana, causantes de terremotos y de eventos naturales de gran destrucción. El artículo presentado por (Pérez et al., 2020), establece que mediante ciclos se libera tensión acumulada de energía a través de grandes terremotos agrupados, lo que resulta en un período prolongado de mayor riesgo sísmico.

En la investigación realizada por (Minuchin, 2021), indica que la ciudad de Francisco de Orellana, se caracteriza por tener la siguiente distribución de suelos: suelos blandos, suelos rocosos, suelos de transición y zonas con peligro de deslizamiento; los cuales afectan de una o de otra manera el comportamiento de la estructura en el caso de un sismo de magnitud considerable. Por todos estos factores mencionados, en el artículo científico realizado por (González Acosta et al., 2021), resalta que cuando una

estructura está desplantada sobre suelo blando, es necesario tener en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura (ISE).

La carga de una estructura se transfiere al suelo a través de la cimentación, que es la parte de la estructura que se encuentra en contacto directo con el suelo. La cimentación tiene como objetivo distribuir la carga de manera uniforme sobre el suelo y evitar que la estructura se hunda o se incline de manera insegura. Para lograr esto, es necesario conocer las propiedades del suelo en el lugar de construcción y diseñar la cimentación adecuada.

Debido a esta situación, es fundamental llevar a cabo una investigación con el propósito de analizar el comportamiento real de estructuras de concreto armado convencionales cuando están ubicadas en áreas con suelos no rígidos. Este análisis se realizará mediante la implementación de modelos dinámicos como los propuestos por D.D. BARKAN, O.A. SAVINOV, NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87 y ASCE47-16. Permitiendo determinar si los resultados obtenidos cumplen con las regulaciones establecidas por la normativa ecuatoriana, en particular, la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción).

2.2 Teorías que se utilizara

La evaluación de la interacción suelo-estructura en cimentaciones superficiales es un aspecto crucial en la ingeniería geotécnica y estructural. Esta interacción se refiere a cómo las características del suelo influyen en el comportamiento de las cimentaciones y, por ende, en el rendimiento de las estructuras construidas sobre ellas.(Forcellini, 2021)

La distribución de cargas, los asentamientos diferenciales y las tensiones inducidas por las cargas aplicadas son fenómenos clave que deben ser comprendidos y analizados. La teoría de la mecánica de suelos proporciona las bases para entender la interacción entre el suelo y la estructura, considerando propiedades como la capacidad

de carga del suelo, su compresibilidad y su cohesión. Métodos analíticos y numéricos, como el método de elementos finitos, permiten simular el comportamiento conjunto suelo-estructura, lo que proporciona información vital para el diseño y la seguridad de cimentaciones superficiales en diversas condiciones geotécnicas y estructurales.

En la investigación realizada por (Park & Kang, 2023), el estudio del comportamiento dinámico de estructuras en suelos sísmicamente activos es esencial para comprender cómo las fuerzas sísmicas afectan a las construcciones y para desarrollar estrategias de diseño sísmico efectivas. La interacción suelo-estructura en zonas sísmicas implica la propagación de ondas sísmicas a través del suelo, lo que puede resultar en efectos como amplificación de la aceleración sísmica y resonancia.

La teoría de la dinámica estructural y la mecánica de suelos proveen los fundamentos para abordar este tema. Los análisis dinámicos, como el análisis modal espectral y el análisis de respuesta de tiempo, permiten evaluar las respuestas y deformaciones de las estructuras ante cargas sísmicas variables.

La mecánica de suelos provee el marco teórico para analizar la capacidad portante, asentamientos y comportamiento lateral de estas cimentaciones. Los métodos de diseño y dimensionamiento consideran parámetros geotécnicos como la capacidad de carga, la resistencia lateral del suelo y la presión de punta.

Los modelos dinámicos en interacción suelo-estructura son fundamentales para analizar la respuesta de construcciones sujetas a cargas dinámicas, como sismos o cargas dinámicas inducidas por maquinaria. Estos modelos integran las teorías de la dinámica estructural y la mecánica de suelos, considerando la influencia mutua entre la estructura y el suelo circundante. Se basan en métodos numéricos avanzados, como el método de elementos finitos, para simular la respuesta dinámica y evaluar la transferencia de energía entre la estructura y el suelo.(Wang & Milani, 2023)

Los parámetros geotécnicos del suelo, como la rigidez y la amortiguación, son esenciales para caracterizar la interacción. Estos modelos permiten prever la distribución de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones en la estructura y el suelo durante eventos dinámicos. La validación de los modelos mediante comparación con datos experimentales y casos históricos garantiza su precisión y fiabilidad. Los modelos dinámicos en interacción suelo-estructura son vitales para el diseño sísmico y la evaluación de la seguridad de las construcciones en entornos dinámicos. (Sawamura et al., 2019)

De acuerdo al artículo de (Siddiquee et al., 2021) , estudiar casos históricos de eventos sísmicos en relación con daños a estructuras proporciona información valiosa para el diseño y la mitigación de riesgos en zonas sísmicas, garantizando la seguridad y la resistencia de las construcciones ante futuros sismos.

2.3 Referencias ULVR disponibles

Durante mucho tiempo, se ha utilizado la suposición de apoyo empotrado en los modelos estructurales de edificios. Sin embargo, esta suposición considera que el material o el suelo debajo de la estructura es inalterable, es decir, que el apoyo empotrado tiene una rigidez infinita y, por lo tanto, no permite desplazamientos verticales ni horizontales. Esta suposición no refleja la realidad debido a los asentamientos, desplazamientos en traslación y rotación que ocurren en la base de las edificaciones.(Goya Montoya & Campaña Carrillo, 2020)

La influencia del suelo de cimentación en los periodos, frecuencias y modos de vibración de las estructuras, impactando las fuerzas sísmicas, ha sido objeto de una investigación limitada. Esto presenta una oportunidad de investigación. La incorporación de la flexibilidad del suelo en el cálculo mejora la precisión del diseño estructural.(Toapanta Orbea & Troya Miranda, 2022)

2.4 Modelos o Experiencias Análogas

La evaluación de la interacción suelo-estructura (SSI) implica el análisis conjunto de tres sistemas interconectados: la estructura, la cimentación y el suelo circundante. Asimismo, aborda los desafíos relacionados con la aplicación real de SSI en el diseño estructural y proporciona enfoques para simular estos fenómenos en la práctica de la ingeniería.

Al emplear modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, se evidencia que la flexibilidad de la base de la cimentación tiene un impacto directo en la definición de los parámetros de análisis, lo que posibilita una redistribución más eficiente de las cargas dentro del edificio y la cimentación, generando modificaciones en las fuerzas internas de los componentes estructurales.

En Chile, se llevó a cabo un estudio que examinó cómo la interacción suelo-estructura afecta la demanda sísmica en edificios de altura media. Este trabajo se centra en los efectos de la interacción inercial en dos edificios de altura media y cómo esto influye en su respuesta sísmica. En el análisis, se tuvieron en cuenta los períodos fundamentales característicos de cada estructura investigada. Los resultados indican que se logra una respuesta estructural más favorable cuando se considera dentro del rango lineal. (Vicencio et al., 2023)

Dentro de las investigaciones de (Aguilar et al., 2018), en Perú, se realizó un estudio centrado en los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura aplicados a un edificio con cimentación de zapatas aisladas. En esta investigación se argumenta que los mecanismos internos de amortiguamiento, como las deformaciones plásticas, el amortiguamiento viscoso y la energía de fractura, se ven alterados debido a la flexibilidad del suelo de cimentación, que absorbe parte de la energía sísmica liberada. Mediante la utilización de modelos dinámicos como la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 y el ASCE/SEI 41-13, se concluye que la influencia de la flexibilidad del suelo de cimentación incide directamente en la determinación de los parámetros de cálculo del edificio, resultando en

un aumento del período de la primera vibración en hasta un 34.39%, así como un incremento de los desplazamientos en el orden del 35.87% para el eje X y del 39.45% para el eje Y.

A nivel nacional, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la interacción suelo-estructura, y en este contexto, el estudio de (Yépez & Yépez, 2017), destaca el impacto de las ondas sísmicas que se propagan a través del suelo en la estructura y cómo afectan a una parte del suelo alrededor de la cimentación. Además, se propone un enfoque de análisis que involucra dos modelos diferentes. Uno de estos modelos considera el uso de elementos finitos para representar el comportamiento del suelo que rodea la cimentación, mientras que el otro modelo adopta un enfoque de cuerpo libre, en el cual el suelo se representa mediante resortes. Se subraya que el aumento en el período de vibración de la estructura debido a la interacción con el suelo a través de resortes puede dar lugar a modificaciones en la aceleración espectral, incluso llegando a causar el colapso de un edificio con el aumento de la aceleración sísmica.

En la investigada realizada por (Aguiar & Ortiz, 2017), se lleva a cabo un análisis de los edificios que experimentaron colapsos durante el terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 en Portoviejo. A través de la investigación geotécnica, se señala que uno de los factores de diseño estructural insuficiente fue la falta de consideración del fenómeno de licuefacción del suelo, lo cual tuvo un impacto directo en las cimentaciones de estas edificaciones. Se concluye que las estructuras con mayor flexibilidad experimentaron desplazamientos laterales significativos, lo que activó el efecto $P - \Delta$, provocando deformaciones adicionales en las estructuras y, en última instancia, contribuyendo al colapso de gran parte de los edificios en la zona cero de Portoviejo.

Así mismo (Aguiar & Mieles Bravo, 2016), presentan una comparación detallada del diseño de un edificio de hormigón armado al considerar dos enfoques: un sistema de cimentación rígida y la interacción suelo-estructura. A través de modelos numéricos, se explica cómo la interacción suelo-estructura afecta los modos de vibración libre, los desplazamientos y la distribución de las fuerzas internas en los componentes

estructurales. Se resalta que este efecto se intensifica con la altura del edificio y se acentúa aún más cuando el suelo de cimentación es más suave.

2.5 Legislación y Norma Aplicable

El concepto de un sistema legal jerárquico se utiliza principalmente en el contexto de la pirámide de Kelsen, que establece una estructura para la interrelación de las normas legales.

La Constitución política de Ecuador aborda este tema de manera explícita en el Título IX - Supremacía de la Constitución, como lo indican el siguiente artículo:

“Art. 424.- La Constitución es la norma suprema y prevalece sobre cualquier otra del ordenamiento jurídico. Las normas y los actos del poder público deberán mantener conformidad con las disposiciones constitucionales; en caso contrario carecerán de eficacia jurídica. La Constitución y los tratados internacionales de derechos humanos ratificados por el Estado que reconozcan derechos más favorables a los contenidos en la Constitución, prevalecerán sobre cualquier otra norma jurídica o acto del poder público.”

Las pautas aplicadas a cada fase de la investigación se determinan según las siguientes regulaciones:

- Para el sistema de pórticos de concreto armado, se sigue el ACI 318-19 "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural".
- El análisis dinámico se rige por las directrices de la NEC 2015, la Norma Ecuatoriana de Diseño Sismorresistente (NEC-15 & Camicon, 2015).
- La metodología de interacción suelo-estructura en los modelos se basa en el FEMA 440 "Mejora de los Procedimientos de Análisis Sísmico No Lineal Estático".

- Se utiliza el código ASCE 41-17 "Evaluación Sísmica y Reforzamiento de Edificios Existentes" para calcular funciones de impedancia considerando la interacción suelo-estructura sin considerar amortiguamiento del suelo.

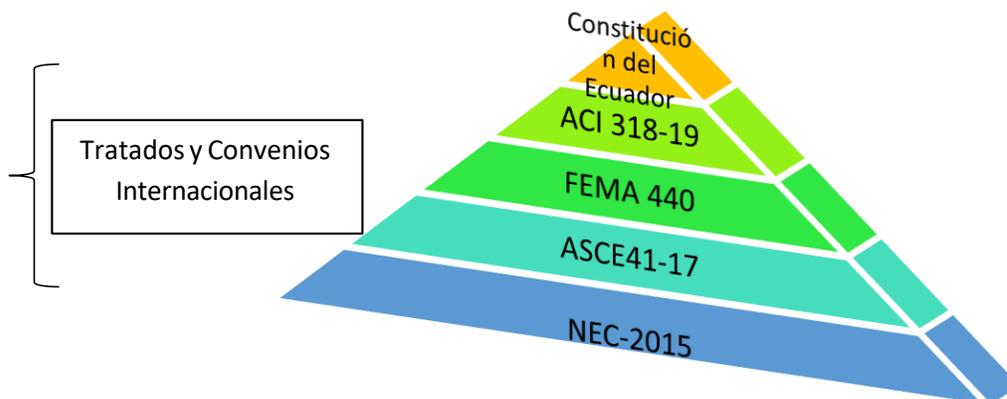
La publicación NIST GCR 12-917-21 "Interacción Suelo-Estructura para Estructuras de Edificios" incorpora explícitamente la interacción suelo-estructura y considera el amortiguamiento del terreno en las previsiones."

Nota Importante: Dentro del país de Ecuador, no hay una ley que esté vigente el uso o diseño de interacción suelo-estructura. Es por esto, que la introducción de la Interacción Suelo-Estructura en los códigos de construcción de cada país es fundamental para garantizar la seguridad estructural, promover la eficiencia en el diseño, proteger el medio ambiente y cumplir con las normativas internacionales. Además, contribuye a la resiliencia ante desastres naturales y al desarrollo de una infraestructura segura y sostenible. Es una medida esencial que protege la vida y el patrimonio de las personas y asegura la calidad de la construcción en todo el mundo.

Tomando lo establecido en el artículo antes señalado de la Constitución Política del Estado del Ecuador del año 2008, la pirámide de Kelsen para el país quedaría representada como se muestra en la (figura 5), mostrada a continuación.

Figura 1.

Pirámide de Kelsen;



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Marco Conceptual

2.6 Cimentación

La cimentación es una parte crítica de cualquier estructura, ya que actúa como el vínculo entre la construcción y el suelo subyacente. Su función principal es transmitir las cargas de la estructura al suelo de manera segura y eficiente, asegurando que la edificación sea estable y que sus componentes estén protegidos contra daños. Sin embargo, la interacción entre la cimentación y el suelo (Figura 1), en el que se asienta puede ser un factor determinante en la seguridad y el comportamiento a largo plazo de la estructura.(Feizi et al., 2023)

Figura 2.

Cimentación;



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

2.6.1 Tipos de Cimentación

Existen varios tipos de cimentaciones disponibles, cada uno diseñado para adaptarse a diferentes condiciones geotécnicas y cargas de diseño. Los tipos más comunes incluyen:

Cimentación Superficial:

Este tipo de cimentación se utiliza cuando las cargas de la estructura se distribuyen principalmente en una capa superficial del suelo. Incluye cimentaciones de zapatas, losas y vigas corridas. Son adecuadas para edificaciones livianas y suelos resistentes.

Cimentación Profunda:

Las cimentaciones profundas se utilizan cuando la capa superficial del suelo no es lo suficientemente resistente para soportar las cargas de la estructura. Los pilotes y las columnas son ejemplos de cimentaciones profundas que transfieren las cargas a capas más resistentes del suelo o la roca subyacente.

Cimentación Flotante:

Las cimentaciones flotantes son adecuadas para suelos blandos o con alto contenido de agua. Se diseñan para distribuir el peso de la estructura sobre un área más amplia, reduciendo la presión sobre el suelo y minimizando los asentamientos.

Cimentación de Pilotes:

Los pilotes son elementos largos y delgados que se introducen profundamente en el suelo para alcanzar capas más resistentes. Son ideales para suelos blandos o suelos que pueden experimentar asentamientos diferenciales.

Cimentación de Losa de Cimentación:

Esta es una variante de la cimentación superficial que implica una losa de concreto armado que se extiende por toda el área de la estructura. Se utiliza comúnmente en edificios de gran altura y es adecuada para suelos resistentes.

Cimentación de Zapatas Aisladas:

Este tipo de cimentación utiliza zapatas individuales debajo de columnas o paredes para soportar la carga. Es adecuada para estructuras de carga ligera a moderada y se utiliza comúnmente en viviendas.

2.6.2 Diseño de Cimentaciones para Evitar la Interacción Suelo-Estructura

El diseño de una cimentación adecuada que evite problemas de interacción suelo-estructura es una tarea compleja que requiere una comprensión profunda de los factores mencionados anteriormente. Aquí se describen algunas estrategias clave para abordar estos desafíos de diseño:

Análisis Geotécnico Detallado:

Se debe realizar un estudio geotécnico exhaustivo para comprender las propiedades del suelo, incluyendo su capacidad de carga, compresibilidad, resistencia al corte y otros parámetros relevantes. Esto proporciona la base para la selección de la cimentación adecuada.

Consideración de las Cargas de Diseño:

Se deben identificar y evaluar todas las cargas que actúan sobre la estructura, tanto las permanentes como las variables. Esto incluye el peso de la construcción, las cargas vivas (personas, muebles), las cargas ambientales y las cargas dinámicas, como las fuerzas sísmicas.

Evaluación de la Zona Sísmica:

En áreas propensas a terremotos, es fundamental evaluar la amenaza sísmica y diseñar la cimentación para resistir las fuerzas sísmicas. Esto puede incluir el uso de dispositivos de aislamiento sísmico y amortiguadores de masa.

Consideración del Nivel Freático:

Si el nivel freático es alto, se deben implementar medidas para controlar y drenar el agua subterránea de manera efectiva. Esto puede incluir sistemas de drenaje, impermeabilización y la elevación de la cimentación por encima del nivel freático.

Selección del Tipo de Cimentación:

Basándose en los datos geotécnicos y las cargas de diseño, se debe seleccionar el tipo de cimentación más apropiado. Esto implica decidir si se utilizará una cimentación superficial, profunda o flotante, así como la configuración específica de la misma.

Diseño Sísmico Adecuado:

En áreas sísmicas, el diseño sísmico es esencial para garantizar que la cimentación sea capaz de resistir las fuerzas sísmicas. Esto puede incluir el uso de sistemas de aislamiento sísmico y amortiguadores de masa para reducir la transmisión de fuerzas sísmicas a la estructura.

Evaluación de Asentamientos Diferenciales:

Se debe evaluar la posibilidad de asentamientos diferenciales en el suelo y diseñar la cimentación para minimizar estos efectos. Esto puede incluir el uso de pilotes o cimentaciones flotantes.

Monitoreo y Mantenimiento Continuo:

Una vez construida la cimentación, es esencial llevar a cabo un monitoreo continuo para detectar cualquier cambio en su comportamiento. Se deben implementar medidas de mantenimiento adecuadas para garantizar la integridad a largo plazo de la cimentación.

2.7 Estudio geotécnico

Un estudio geotécnico es una investigación detallada que se realiza para evaluar las propiedades y el comportamiento del suelo en un sitio de construcción específico. Este estudio proporciona información fundamental para el diseño de cimentaciones, la selección de tipos de cimentaciones apropiadas y la mitigación de riesgos relacionados con la interacción suelo-estructura.(Garg et al., 2023)

2.7.1 Importancia de un estudio geotécnico

La importancia de un estudio geotécnico adecuado radica en su capacidad para:

Evaluar las Propiedades del Suelo:

Un estudio geotécnico proporciona datos sobre la composición, la densidad, la resistencia, la compresibilidad y otras propiedades del suelo en el sitio de construcción. Esto es esencial para determinar cómo el suelo reaccionará ante las cargas de la estructura.

Identificar Riesgos Geotécnicos:

Permite identificar y evaluar los riesgos geotécnicos potenciales, como licuefacción del suelo, expansión del suelo arcilloso, asentamientos, deslizamientos de tierra y socavación. Estos riesgos pueden afectar la estabilidad y la seguridad de la construcción.

Seleccionar el Tipo de Cimentación:

Basándose en los datos geotécnicos, los ingenieros pueden seleccionar el tipo de cimentación más adecuado para la estructura. Esto puede incluir cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas o sistemas de cimentación especiales.

Diseñar Cimentaciones Eficientes:

Un estudio geotécnico proporciona la información necesaria para diseñar cimentaciones que distribuyan adecuadamente las cargas de la estructura al suelo. Esto evita problemas como el asentamiento diferencial y garantiza la estabilidad a largo plazo.

Prevenir Daños Estructurales:

Un estudio geotécnico sólido puede ayudar a prevenir daños en la estructura debido a movimientos del suelo, como grietas en las paredes, deformaciones y fallas de cimentación.

Cumplir con Normativas y Regulaciones:

En muchas jurisdicciones, un estudio geotécnico es un requisito legal para obtener permisos de construcción. Cumplir con estas regulaciones es fundamental para evitar problemas legales y de responsabilidad.

2.7.2 Componentes de un estudio Geotécnico

Un estudio geotécnico completo consta de varios componentes esenciales que ayudan a recopilar información precisa sobre el suelo y su comportamiento. Estos componentes incluyen:

Exploración del Sitio:

Se realizan investigaciones de campo para obtener muestras de suelo y evaluar las características geotécnicas. Esto puede incluir perforaciones, calicatas, ensayos de penetración estándar (SPT), ensayos de cono de arena y otros métodos de exploración.

Muestreo de Suelo:

Las muestras de suelo recopiladas en el sitio se analizan en el laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Esto incluye la densidad, la

granulometría, la resistencia a la compresión, la plasticidad y otros parámetros relevantes.

Análisis Geotécnico:

Los ingenieros geotécnicos utilizan los datos de exploración y los resultados de los ensayos de laboratorio para realizar análisis y modelamiento geotécnico. Esto permite prever el comportamiento del suelo bajo cargas específicas.

Informe Geotécnico:

Se elabora un informe geotécnico que resume todos los hallazgos del estudio. Este informe incluye recomendaciones para el diseño de cimentaciones y medidas de mitigación de riesgos geotécnicos.

Diseño de Cimentación:

Con base en el informe geotécnico, los ingenieros diseñan la cimentación de la estructura, seleccionando el tipo de cimentación más apropiado y dimensionándola para soportar las cargas previstas.

2.8 Mejoramiento de Suelo

El mejoramiento del suelo como estrategia para mitigar la interacción suelo-estructura es un enfoque crucial en ingeniería geotécnica. Implica la modificación de las propiedades del suelo para mejorar su capacidad portante, deformabilidad y resistencia, reduciendo así los efectos negativos en las construcciones. Las técnicas de mejoramiento incluyen la compactación, la consolidación, la estabilización química y el uso de geo sintéticos.(Dindaroglu et al., 2023)

En la mecánica de suelos y la geotecnia, analizando cómo estas técnicas influyen en la respuesta del suelo y la estructura. Los beneficios del mejoramiento incluyen la

reducción de asentamientos diferenciales, incremento de la capacidad de carga y mitigación de riesgos en zonas de cimentación problemáticas.

En las investigaciones realizadas por (Maquera, 2018), indica que la selección de la técnica adecuada depende de las características del suelo y los requerimientos de la estructura. Estudiar casos de aplicación exitosa y consideraciones económicas y ambientales también es esencial para optimizar el proceso de mejoramiento del suelo.

2.9 Periodo Fundamental Estructural

El diseño sísmico de edificaciones es esencial para garantizar la seguridad de las personas y la integridad de las estructuras en áreas propensas a terremotos. Uno de los aspectos más cruciales de este diseño es la determinación del período fundamental estructural, que desempeña un papel fundamental en la respuesta sísmica de un edificio. El período fundamental es el intervalo de tiempo en el que una estructura vibraría en su modo fundamental de oscilación en ausencia de amortiguamiento. Su correcta identificación y manipulación son esenciales para evitar la resonancia sísmica y reducir la interacción entre el suelo y la estructura.(Saadatkah et al., 2023)

2.9.1 El Contexto Sísmico

En regiones sísmicas, las fuerzas generadas por un terremoto pueden tener un impacto devastador en las edificaciones si no se toman medidas adecuadas de diseño y construcción. Los terremotos generan ondas sísmicas que se propagan a través del suelo y afectan la respuesta de las estructuras. Para mitigar estos efectos, es fundamental comprender y controlar el comportamiento de las edificaciones durante un sismo. El período fundamental estructural es un parámetro crucial en este contexto.

2.9.2 Determinación del Período Fundamental Estructural

La determinación del período fundamental estructural es un proceso complejo que implica el análisis detallado de la geometría, la rigidez y la masa de la estructura. Se puede calcular a través de métodos analíticos o utilizando software de análisis estructural avanzado. En esencia, el período está relacionado con la capacidad de una estructura para oscilar y absorber la energía sísmica sin entrar en resonancia. Resonancia se refiere a la amplificación de las vibraciones de la estructura debido a la coincidencia entre su período natural y el período de las ondas sísmicas.

2.9.3 Importancia de Evitar la Resonancia Sísmica

Evitar la resonancia sísmica es crítico en el diseño de edificaciones sísmicamente resistentes. Cuando la frecuencia de las ondas sísmicas se acerca o coincide con el período natural de la estructura, las vibraciones pueden aumentar significativamente, lo que puede resultar en daños severos o incluso el colapso de la edificación. Por lo tanto, los ingenieros buscan diseñar estructuras con períodos fundamentales que estén fuera del rango de frecuencias sísmicas predominantes en la región.

2.10 Licuefacción de suelos

Según (Guan et al., 2022), la licuefacción del suelo es un proceso en el cual un suelo granular saturado, como arena o limo, experimenta una pérdida temporal de su resistencia y se comporta de manera similar a un líquido durante eventos sísmicos. Esto ocurre debido a la acumulación de presión de poros en el suelo, lo que reduce la fricción entre las partículas del suelo y permite que las partículas se deslicen y se separen. Como resultado (Figura 2), el suelo se vuelve momentáneamente incapaz de soportar cargas, lo que puede dar lugar a asentamientos diferenciales, hundimientos y daños graves en las estructuras construidas sobre él.

Figura 3.

Licuefacción de Suelos.



Fuente: (Guan et al., 2022)

2.10.1 Factores que Contribuyen a la Licuefacción

La licuefacción es más probable en ciertas condiciones geotécnicas y geológicas, que incluyen:

Tipo de Suelo:

Los suelos granulares saturados, como las arenas y los limos, son más propensos a la licuefacción que los suelos arcillosos debido a su estructura porosa y la capacidad de retención de agua.

Contenido de Agua:

La saturación del suelo es un factor crítico. La presencia de una cantidad significativa de agua en el suelo es esencial para que ocurra la licuefacción.

Presión de Poros:

Las cargas sísmicas generan presión de poros en el suelo, lo que reduce la cohesión y la fricción entre las partículas del suelo, facilitando la licuefacción.

Historia de Sismos:

Las áreas que han experimentado sismos en el pasado pueden ser más propensas a la licuefacción debido a la presencia de suelos removidos previamente de su estado de equilibrio.

2.10.2 Impacto en las Estructuras

La licuefacción del suelo puede tener graves consecuencias en la interacción suelo-estructura:

Hundimientos y Asentamientos Diferenciales:

Las estructuras pueden hundirse o asentarse de manera desigual, lo que daña su integridad y estabilidad.

Daño Estructural:

Los cimientos y pilotes pueden verse dañados o incluso destruidos, lo que pone en peligro la seguridad de las edificaciones.

Inestabilidad General:

La licuefacción puede provocar la inclinación o el colapso de estructuras, lo que resulta en pérdidas materiales y, en casos extremos, en pérdidas humanas.

2.11 Flexibilidad de Suelos

La flexibilidad en suelo se refiere a la capacidad de un suelo para deformarse bajo cargas aplicadas, ya sea en forma de carga estática o dinámica. Esta deformación puede ocurrir debido a una serie de factores, incluyendo la composición del suelo, su compactación, la humedad presente y otros factores geotécnicos.(Liu et al., 2023)

La flexibilidad del suelo es una propiedad esencial que influye en el comportamiento de una estructura sobre o dentro de ese suelo. Aquí, exploraremos los componentes clave de la flexibilidad en suelo:

2.11.1 Comportamiento de Suelo

El comportamiento del suelo es complejo y puede variar ampliamente según su tipo y características geológicas. Los suelos pueden ser clasificados en tres categorías principales: suelos cohesivos, suelos granulares y suelos mixtos. Cada tipo de suelo tiene sus propias propiedades de flexibilidad, lo que significa que su respuesta ante cargas aplicadas será diferente.

Suelos Cohesivos:

Estos suelos, como arcillas y limos, tienden a ser más rígidos y menos flexibles. Tienen una mayor cohesión y resistencia al corte, lo que significa que su deformación bajo carga será limitada.

Suelos Granulares:

Estos suelos, como arenas y gravas, tienden a ser más flexibles. Tienen menos cohesión y suelen permitir una mayor deformación bajo carga.

Suelos Mixtos:

Estos suelos tienen una combinación de características de suelos cohesivos y granulares, lo que resulta en propiedades de flexibilidad intermedias.

2.11.2 Influencia de la Humedad

La humedad presente en el suelo también tiene un impacto significativo en su flexibilidad. Un suelo saturado de agua tiende a ser menos flexible que uno parcialmente saturado o seco. La presencia de agua en el suelo puede alterar las propiedades de cohesión y fricción entre las partículas del suelo, lo que afecta su capacidad para deformarse bajo carga.

2.11.3 Compactación y Densidad

La densidad y la compactación del suelo son factores críticos que influyen en su flexibilidad. Un suelo densamente compactado tiende a ser más rígido y menos flexible que uno con una baja densidad. La compactación adecuada durante la construcción es esencial para garantizar la estabilidad de las estructuras sobre el suelo.

2.12 Respuesta Sísmica

Generalmente, en el proceso de cálculo y diseño de edificios, se suele asumir que la base es infinitamente rígida y no se tienen en cuenta los efectos de la Interacción Suelo-Estructura que dependen de cómo varían las propiedades dinámicas del suelo. Comenzar un análisis con interacción suelo-estructura implica tener un entendimiento de los principios de la Ingeniería Geotécnica Sísmica, que se enfoca en abordar el problema de la conexión entre el edificio y el terreno desde una perspectiva dinámica. (Xu et al., 2022)

La interacción entre el suelo y la estructura es una disciplina que se deriva de la Ingeniería Geotécnica Sísmica, que a su vez es una rama especializada de la ingeniería geotécnica. Uno de sus objetivos principales consiste en diseñar y construir estructuras que puedan resistir la acción de sismos o terremotos, teniendo en cuenta las características dinámicas del suelo sobre el cual se asientan dichas estructuras.

Cuando consideramos la rigidez que puede generarse, por ejemplo, a través de un sistema de cimentación profunda con pilotes, un sistema que involucre zapatas, o incluso una losa de cimentación real en nuestros modelos, estamos reconociendo que en la base de la edificación existe la posibilidad de desplazamiento y condiciones de movimiento específicas. Esto implica que el soporte ya no se asume como infinitamente rígido, sino que ahora se considera como un soporte con una rigidez limitada. Estos pasos iniciales marcan el inicio de nuestra comprensión de los fenómenos de interacción suelo-estructura, que consisten en entender cómo la edificación interactúa con el terreno y, de manera recíproca, cómo el terreno interactúa con la edificación.

Cuando abordamos el análisis de la respuesta sísmica de una edificación, debemos tener en cuenta que la cimentación tiene la función de transferir las cargas desde la edificación hacia el terreno. Sin embargo, es importante recordar que la acción sísmica proviene del suelo en sí. Por lo tanto, la cimentación se convierte en el mecanismo que facilita la transferencia de cargas desde la edificación hacia el terreno y también el mecanismo que permite que la acción sísmica pase del terreno hacia la propia edificación.

A medida que la acción sísmica es absorbida por la edificación, esta debe estar diseñada de manera que sea capaz de disipar parte de la energía sísmica y devolverla al terreno. Este proceso repetitivo que ocurre entre la edificación y el terreno es un desafío que se somete a un análisis exhaustivo y se evalúa desde la perspectiva de la interacción suelo-estructura.

Si además exploramos la configuración y la estructura de la cimentación y procedemos a diseñarla de manera alternativa, teniendo en cuenta su interacción con el terreno, se puede apreciar que esta interacción se vuelve más completa al abordar conjuntamente el suelo, la cimentación y la edificación. Esto permite una evaluación de las edificaciones considerando una condición de rigidez que se asemeja más a la realidad que la suposición de apoyos infinitamente rígidos. En algunos casos, puede no haber beneficios significativos al considerar esta influencia desde una perspectiva de comportamiento. Sin embargo, en situaciones particulares, incorporar la interacción suelo-estructura puede resultar extremadamente beneficioso.

Observamos, por lo tanto, que el dilema reside en que muchos sistemas estructurales son concebidos con una suposición de rigidez infinita en sus puntos de apoyo, es decir, como si estuvieran empotrados. Este enfoque no es incorrecto en sí mismo, siempre y cuando haya evidencia de que incorporar en el análisis estructural la interacción entre la estructura y el suelo no provoque modificaciones sustanciales en la respuesta del sistema. Cuando se lleva a cabo el análisis de un edificio que presume rigidez infinita en sus apoyos, se pueden calcular magnitudes como desplazamientos laterales, derivas, períodos de vibración, fuerzas máximas, entre otros.

No obstante, resulta que, si se incluye la rigidez del suelo en el análisis, esto puede resultar en deformaciones más significativas en el sistema estructural. Como consecuencia, podrían generarse fenómenos como momentos de segundo orden, un aumento en el efecto p-delta, incrementos en las derivas, y otros. Por lo tanto, esto indica que considerar la interacción suelo-estructura en el análisis adquiere una relevancia sustancial.

2.13 Labores en el ámbito espacial y múltiples elementos de la fuerza sísmica.

En la teoría actual de construcciones resistentes a sismos, ampliamente estudiadas a nivel global, se ha llegado a la conclusión de que el método de cálculo

normativo todavía no logra capturar de manera precisa el comportamiento real de los edificios durante los terremotos. En las regulaciones de diseño estructural, todavía se utiliza el enfoque de cálculo basado en el modelo de péndulo invertido, el cual solo refleja adecuadamente el comportamiento real de la estructura en ciertas situaciones específicas. Por otro lado, el enfoque de cálculo tridimensional sí logra representar de manera precisa el comportamiento esfuerzo-deformación de la edificación.(Rodrik, 1990)

Para llevar a cabo estos cálculos, es necesario utilizar y aplicar software específico que cumpla con las normativas de diseño antisísmico correspondientes. Por ejemplo, en Rusia, se emplean principalmente programas como LIRA, SCAD y STARK. En los Estados Unidos, se utilizan programas como SAP2000, ETABS, STAAD y COSMOS. En Francia e Inglaterra, se recurre al programa ROBOT MILLENNIUM, y en otros países, se adaptan estos mismos programas a sus normativas o se emplean otros programas de análisis estructural.

Es importante señalar que el enfoque de cálculo en tres dimensiones se relaciona directamente con la consideración moderna de la acción sísmica, que se expresa en términos de múltiples componentes que definen tanto la dirección como el momento principal de dicha acción.

2.14 Rigidez y Amortiguamiento

La rigidez es un parámetro fundamental en la interacción suelo-estructura y se refiere a la capacidad del suelo y la estructura para resistir deformaciones bajo la acción de cargas externas. En este contexto, la rigidez se divide en dos componentes clave: la rigidez de la estructura y la rigidez del suelo.

2.14.1 Rigidez de la Estructura

La rigidez de la estructura se relaciona con su capacidad para resistir deformaciones cuando se le aplica una carga. Esto depende de varios factores, como el tipo de material de construcción, la geometría de la estructura y la calidad de la construcción. Una estructura más rígida tiende a experimentar menos deformaciones bajo cargas dadas.

2.14.2 Rigidez del Suelo

La rigidez del suelo se refiere a su capacidad para resistir deformaciones cuando se aplica una carga. Esto depende de las propiedades geotécnicas del suelo, como su densidad, consolidación y compresibilidad. Un suelo más rígido tiende a transmitir menos movimientos y deformaciones a la estructura.

2.14.3 Importancia de la Rigidez en la Interacción Suelo-Estructura

La rigidez es esencial en la interacción suelo-estructura por varias razones:

Distribución de Cargas:

La rigidez del suelo y la estructura determina cómo se distribuyen las cargas entre ellos. Una estructura rígida puede transmitir eficazmente las cargas al suelo, evitando asentamientos excesivos o deformaciones no deseadas.

Amortiguamiento de Vibraciones:

La rigidez también influye en la capacidad de una estructura para amortiguar vibraciones inducidas por cargas sísmicas. Una estructura más rígida puede reducir la amplitud de las vibraciones, lo que es fundamental para la seguridad y comodidad de los ocupantes.

Comportamiento Sísmico:

En el diseño sísmico, la rigidez del suelo y la estructura son determinantes para resistir las fuerzas sísmicas. Una estructura flexible en un suelo rígido puede ser vulnerable a daños sísmicos, mientras que una estructura rígida en un suelo flexible puede experimentar tensiones excesivas.

2.14.4 Amortiguamiento en la Interacción Suelo-Estructura

El amortiguamiento se refiere a la capacidad del sistema suelo-estructura para disipar energía durante la respuesta a cargas dinámicas, como las generadas por sismos. En la interacción suelo-estructura, el amortiguamiento puede ser considerado tanto en la estructura como en el suelo.

Amortiguamiento de la Estructura:

El amortiguamiento de la estructura se relaciona con la capacidad de la propia estructura para disipar energía durante la respuesta a cargas dinámicas. Esto depende de factores como la capacidad de deformación plástica de los materiales y la presencia de dispositivos de amortiguación.

Amortiguamiento del Suelo:

El amortiguamiento del suelo se refiere a su capacidad para disipar energía durante la respuesta a cargas dinámicas. Esto depende de la presencia de agua en el suelo, la fricción entre partículas y otros factores geotécnicos.

2.14.5 Importancia del Amortiguamiento en la Interacción Suelo-Estructura

El amortiguamiento desempeña un papel crucial en la interacción suelo-estructura por varias razones:

Control de Vibraciones:

Un adecuado amortiguamiento en la estructura y el suelo puede ayudar a controlar las vibraciones inducidas por sismos, evitando movimientos excesivos que puedan dañar la estructura o poner en riesgo a los ocupantes.

Reducción de Tensiones Dinámicas:

El amortiguamiento reduce las tensiones dinámicas en la estructura y el suelo, lo que es fundamental para prevenir daños estructurales y garantizar la seguridad durante eventos sísmicos.

Comportamiento Sísmico Mejorado:

Un adecuado amortiguamiento mejora la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas, lo que reduce la probabilidad de daños severos durante un terremoto.

2.14.6 Determinación de Parámetros de Rigidez y Amortiguamiento

La determinación de los parámetros de rigidez y amortiguamiento en la interacción suelo-estructura implica una serie de pasos y consideraciones técnicas:

Ensayos Geotécnicos:

Para determinar la rigidez y el amortiguamiento del suelo, se realizan ensayos geotécnicos, como ensayos de corte, ensayos de compresión y ensayos de penetración estándar. Estos ensayos proporcionan información sobre las propiedades geotécnicas del suelo.

Análisis Estructural:

El análisis estructural se utiliza para determinar la rigidez y el amortiguamiento de la estructura. Esto implica modelar la estructura y evaluar su comportamiento bajo cargas estáticas y dinámicas.

Modelado Numérico:

El uso de software de modelado numérico, como programas de elementos finitos, es común para calcular los parámetros de rigidez y amortiguamiento en la interacción suelo-estructura. Estos programas permiten simular el comportamiento del suelo y la estructura en situaciones reales o bajo cargas sísmicas simuladas.

Ensayos de Campo y Monitoreo:

En algunos casos, se realizan ensayos de campo y monitoreo en estructuras existentes para determinar cómo interactúan con el suelo y evaluar los parámetros de rigidez y amortiguamiento en condiciones reales.

2.15 Interacción suelo estructura (ISE).

Durante un largo período de tiempo, se ha asumido la condición de apoyo empotrado en los modelos estructurales de edificios. Esta suposición implica que, en el proceso de análisis, el material o suelo sobre el cual se apoya la estructura es considerado como inmóvil y rígido, lo que significa que la condición de apoyo empotrado se caracteriza por una rigidez infinita y la ausencia de desplazamientos verticales u horizontales. (Genç et al., 2023)

Sin embargo, esta condición de apoyo no refleja la realidad debido a fenómenos como asentamientos, traslaciones y rotaciones que ocurren en la base de las edificaciones.

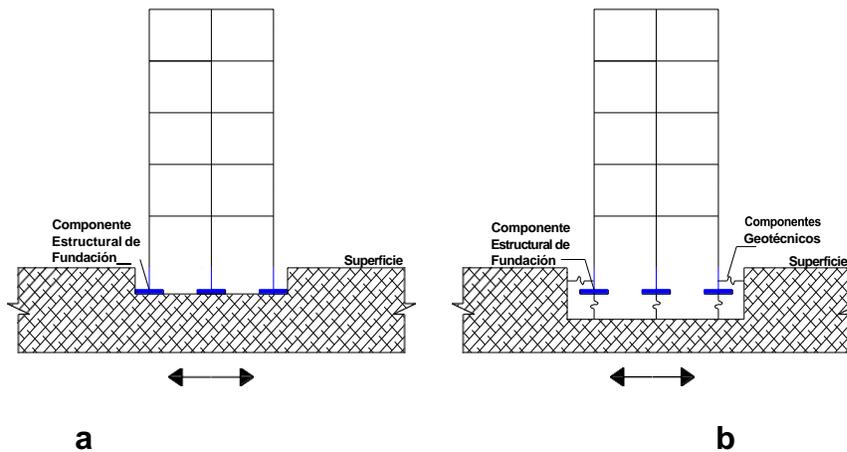
En general, los análisis y diseños de edificios que se basan en la suposición de una base infinitamente rígida no tienen en cuenta los efectos de la Interacción Suelo-Estructura (Figura 3), los cuales están influenciados por las variaciones en las propiedades dinámicas del suelo. Iniciar un análisis considerando la interacción suelo-estructura implica comprender los principios de la Ingeniería Geotécnica Sísmica, que se

enfoca en resolver el desafío de la interacción entre el edificio y el terreno desde una perspectiva dinámica.

La interacción suelo-estructura emerge como una rama especializada de la ingeniería geotécnica sísmica, que a su vez es una subespecialidad de la ingeniería geotécnica. Su objetivo principal es diseñar y construir estructuras capaces de resistir la acción sísmica o los terremotos teniendo en cuenta las propiedades dinámicas del suelo sobre el cual se sustentan las edificaciones.

Figura 4.

Interacción suelo-estructura (ISE)



- a) Estructura con Enfoque tradicional
- b) Estructura con (ISE)

Fuente: (Genç et al., 2023)

2.16 Modelos Dinámicos para Interacción suelo – estructura.

En este estudio, se usará varios modelos dinámicos experimentales, incluyendo el modelo D.D. Barkan – O.A. Savinov, la Norma Rusa SNIP 2.02.05. También se hizo uso del modelo proporcionado por la normativa estadounidense ASCE 41-17 para

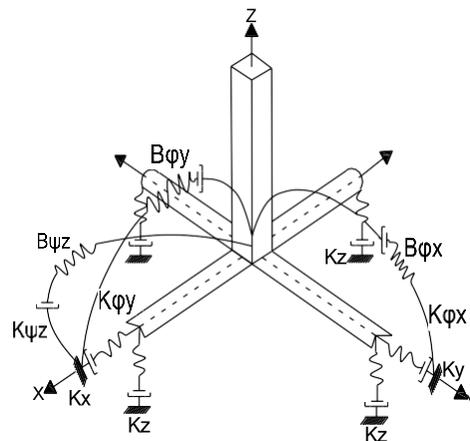
obtener coeficientes de rigidez y amortiguamiento específicos para las zapatas aisladas en los casos de estudio.

En cuanto al primer modelo dinámico, se enfoca en la interacción entre la base de la fundación y la cimentación, describiendo un proceso teórico-experimental de vibración forzada. El segundo modelo dinámico, en cambio, integra todos los parámetros relacionados con el suelo, las masas y las rigideces para determinar los coeficientes de amortiguamiento y rigidez. Por otro lado, Por último, el cuarto modelo dinámico sigue las directrices de la normativa estadounidense ASCE 41-17, que sugiere la correlación entre el tipo de suelo y la demanda sísmica como método para obtener los coeficientes de rigidez.(Villareal, 2020)

2.17 Coeficientes de Amortiguamiento y Rigidez

Figura 5.

Coeficientes de Amortiguamiento y Rigidez



Fuente : (Villareal, 2020)

La flexibilidad de la cimentación se determinó a partir de la evaluación de los coeficientes de rigidez y las propiedades de amortiguamiento. Según se muestra en la (figura 4), se asignaron las características de los resortes, tanto en traslación como en rotación, mediante el uso de elementos Spring. Sin embargo, para abordar el amortiguamiento, se emplearon elementos Damper, donde se aplicaron las mencionadas propiedades.

Dentro de los coeficientes de rigidez que se consideraron se incluyen los siguientes:

La rigidez de compresión elástica uniforme (K_z).

La rigidez de desplazamiento elástico uniforme (K_x, K_y).

La rigidez de compresión elástica no uniforme ($K_{\theta x}, K_{\theta y}$).

La rigidez de desplazamiento elástico no uniforme ($K_{\varphi z}$).

Además, se determinaron los coeficientes de amortiguamiento, que comprenden $B_z, B_x, B_y, B_{\theta x}, B_{\theta y}$ y $B_{\varphi z}$. Esto indica que se considerarán vibraciones que involucran rotación alrededor del eje vertical, vibraciones horizontales-rotacionales y vibraciones tanto horizontales como verticales.

CAPITULO III

3.1 Enfoque a utilizar

El plan de trabajo será mixto, con el fin de recopilar información, estableciendo como información primaria: Pruebas de laboratorio de suelo, complementando la información secundaria con la búsqueda de una geometría de estructura de Hormigón armado de 3,4,5 niveles referente a la zona de estudio, empleando dicha información para modelar las edificaciones mediante programas informáticos, para determinar el comportamiento real de las edificaciones.

3.2 Alcance

El enfoque será descriptivo, permitiendo que el estudio acerca del efecto de interacción suelo – estructura en edificaciones mediante modelos dinámicos, pueden permitir distinguir con claridad las potencialidades que cada uno de estos modelos presentan para obtener el comportamiento real de las edificaciones. Esto permitiría no solo aumentar la seguridad a los ocupantes en relación con los proyectos de construcción de edificaciones futuras en la provincia de Francisco de Orellana, sino que permitiría diseñar proyectos con mejores resultados en zonas vulnerables donde el suelo no tenga un comportamiento favorable.

3.3 Técnicas e Instrumentos

3.3.1 Técnicas:

- ACI 318-19 "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural".
- El análisis dinámico se rige por las directrices de la NEC 2015, la Norma Ecuatoriana de Diseño Sismo resistente (NEC-15 & Camicon, 2015).
- FEMA 440 "Mejora de los Procedimientos de Análisis Sísmico No Lineal Estático".

- Código ASCE 41-17 "Evaluación Sísmica y Reforzamiento de Edificios Existentes" para calcular funciones de impedancia considerando la interacción suelo-estructura sin considerar amortiguamiento del suelo.
- La publicación NIST GCR 12-917-21 "Interacción Suelo-Estructura para Estructuras de Edificios".

3.3.2 Instrumentos:

- Laboratorio de Suelos (Ensayos, Informes, Toma de Muestras, etc....)
- Programas Informáticos que nos permitan modelar y determinar los resultados. (SAP 2000, Etabs, etc....)

3.4 Población y Muestra

Como universo de estudio se tomará al cantón "El Coca" perteneciente a la provincia Francisco de Orellana, tomando las muestras de suelo en dicha zona, se procederá a delimitar e identificar el sector donde se concentren las edificaciones. Con un sistema de muestreo aleatorio y de acuerdo con la información que se disponga se establecerá la geometría clásica que exista en la zona de estudio, que nos permitirá imponernos las estructuras a modelar. El estudio se limitará a edificaciones de hasta 5 Niveles con tipo de cimentación Zapatas Aisladas.

3.4 Enfoque a utilizar

El presente trabajo de titulación presentara, una solución a la gran mayoría del análisis estructural en edificaciones de la ciudad de Francisco de Orellana, que se realiza bajo la suposición que la base de una estructura se encuentra empotrada sobre suelos relativamente rígidos, obteniendo un comportamiento distinto al real en las edificaciones. Lo que deja vulnerables a las edificaciones ante grandes eventos sísmicos al no

considerar los efectos de interacción Suelo – Estructura, donde se aportara con una metodología que permita comprender el funcionamiento, de todos los parámetros de suelo en cómo influyen en una estructura mediante modelos dinámicos, permitiendo obtener una mejor respuesta colectiva de la misma.

CAPITULO IV

PROPUESTA E INFORME

4.1 Antecedentes

Los modelos estructurales se ubicarán en una zona de estudio, siendo en la provincia Francisco de Orellana; en el cantón “Orellana”, (UTM: 0283541 N// 9888460 E).

Figura 6.

Ubicación de Proyecto



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.2 Definición geométrica de modelos de estudio

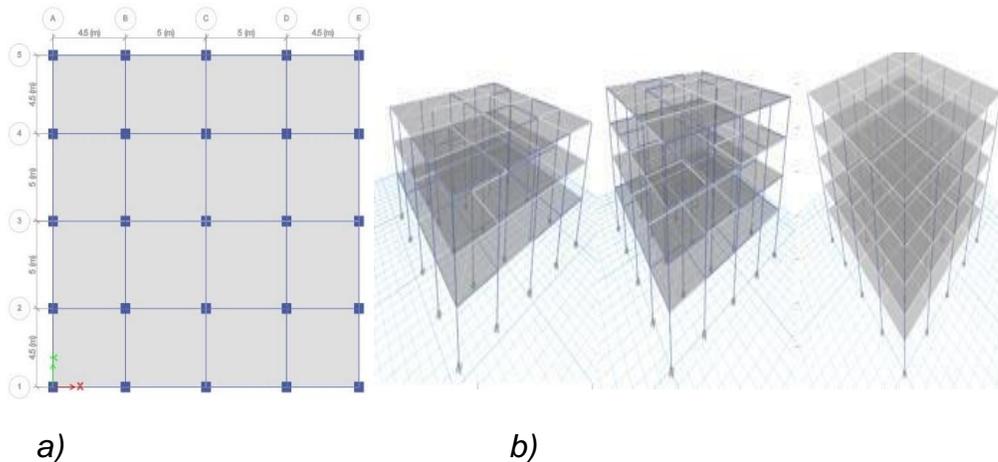
Para los modelos de estudio en lo que se refiere a dimensiones en planta, se tiene una longitud total en dirección “X” de 19 m, dividido en 4 vanos de 4.5 m y 5 m cada uno. Mientras que para la longitud total en dirección “Y” de 19 m, dividido en 4 vanos de 4.5 m y 5 m cada uno. En lo que se refiere a las dimensiones en elevación, se estudiara edificios de 3, 4 y 5 pisos, siendo la altura de entrepiso típica de 3 m.

Figura 7.

Diseño geométrico de modelos de Estudio

a. Planta tipo de Modelos de Estudio.

b. Elevación tipo de Modelos de Estudio.



Fuente: (Etap,2023)

4.3 Normativa

Para el diseño estructural de las edificaciones de hormigón armado se utilizaron las siguientes normativas:

- ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute (ACI).
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. En sus respectivos apartados: NEC- SE-CG (Cargas no Sísmicas), NEC-SE-DS (Peligro Sísmico) y NEC-SE-HM (Hormigón Armado).

4.4 Materiales

Se usó en el diseño de las edificaciones, las siguientes especificaciones:

4.4.1 Hormigón estructural

Resistencia mínima a la compresión simple a los 28 días:

- Resistencia a la compresión: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico: $\rho_{HA} = 2400 \text{ kg/m}^3$
- E Hormigón = $1400\sqrt{f_c}$

4.4.2 Acero de refuerzo en varillas corrugadas NTE INEN 2167, ASTM A706.

La tensión de fluencia nominal deberá ser la mínima especificada para el grado de acero seleccionado.

El módulo de elasticidad del hormigón de las armaduras, se deberá asumir igual a $E_s = 200.000 \text{ MPa}$.

- Límite de fluencia: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico: $\rho_{acero} = 7850 \text{ kg/m}^3$

4.5 Cargas

Las estructuras fueron diseñadas para solicitaciones resultantes de las cargas provenientes de cargas muertas, cargas de ocupación, sobrecargas permanentes como cargas de enlucidos y cargas de origen sísmico.

4.5.1 Carga muerta

Determinada por el peso propio de la estructura de losas, vigas y columnas, para lo cual se multiplican sus secciones transversales por sus respectivos pesos específicos. Su análisis de estas cargas se lo realiza para la pre-dimensión de los elementos.

4.5.2 Sobrecarga permanente

Determinada por los elementos no estructurales como es el recubrimiento de pisos, enlucidos de paredes y mampostería, instalaciones sanitarias, cielo falso. Análisis hecho de acuerdo a la configuración arquitectónica del edificio, también se consideran el peso específico de la mampostería o del mortero para los enlucidos los cuales se pueden encontrar en el apartado NEC-SE-CG (Cargas no Sísmicas) de la NEC 2015.

4.5.3 Carga viva

Proviene del apartado de la NEC-SE-CG (Cargas no Sísmicas) para viviendas especifica una carga viva de: 2.00 kN/m²

Figura 8.

Disposición de NEC-SE-CG para cargas vivas en vivienda:

| Ocupación o Uso | Carga uniforme (kN/m ²) |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| Residencias | |
| Viviendas (unifamiliares y bifamiliares) | 2.00 |
| Hoteles y residencias multifamiliares | |
| Habitaciones | 2.00 |
| Salones de uso público y sus corredores | 4.80 |

Fuente: (NEC 15, 2015)

Proviene del apartado de la NEC-SE-CG (Cargas no Sísmicas) para Locales comerciales especifica una carga viva de: 4.80 kN/m²

Figura 9.

Disposición de NEC-SE-CG para cargas vivas en locales comerciales.;

| Ocupación o Uso | Carga uniforme (kN/m ²) | Carga concentrada (kN) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Almacenes | | |
| Venta al por menor Primer piso | 4.80 | 4.50 |
| Pisos superiores | 3.60 | 4.50 |
| Venta al por mayor. Todos los pisos | 6.00 | 4.50 |

Fuente: (NEC 15, 2015)

4.3.4 Carga sísmica

La carga sísmica de diseño ha sido determinada de acuerdo a los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS.

4.4 Zona sísmica y factores que influyen en los espectros de diseño.

Se describen los parámetros y criterios utilizados para la determinación de los efectos sísmicos y la construcción del espectro inelástico y elástico para las 2 zonas de estudio:

Tabla 1*Factores para los espectros de diseño*

| Tipo de Suelo | Arena Densa |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Zona de estudio | Orellana |
| Factor de zona sísmica (Z) | 0.35 |
| Tipo de Perfil de Suelo | E |
| Factor de Reducción de Resistencia Sísmica (R) | 6 |
| Coefficiente de Importancia (I) | 1 |
| Coefficiente de Configuración de Planta ($\emptyset P$) | 1 |
| Coefficiente de Configuración de Elevación ($\emptyset E$) | 1 |
| Razón entre la Aceleración Espectral (η) | 2.6 |
| Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó (Fa) | 1.50 |
| Desplazamientos para diseño en roca (Fd) | 1.75 |
| Comportamiento no lineal de los suelos (Fs) | 1.60 |
| Factor usado en el espectro de diseño elástico (r) | 1.50 |
| Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones Tc | 1.03 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)**Tabla 2***Valores de Espectros de Diseño Arena Densa*

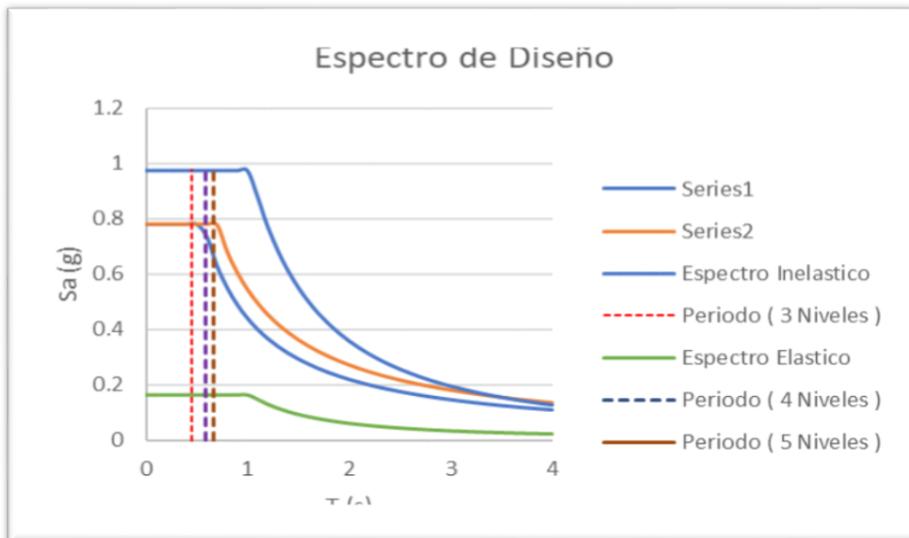
| T (s) | Sa_D(Inelástico) | Sa_D(Elástico) |
|--------------|-------------------------|------------------------|
| 0 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.1 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.2 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.3 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.4 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.5 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.6 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.7 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.8 | 0.967 | 0.1612 |
| 0.9 | 0.935 | 0.1559 |

| | | |
|-----|-------|--------|
| 1 | 0.798 | 0.1331 |
| 1.1 | 0.692 | 0.1153 |
| 1.2 | 0.607 | 0.1012 |
| 1.3 | 0.539 | 0.0898 |
| 1.4 | 0.482 | 0.0803 |
| 1.5 | 0.435 | 0.0724 |
| 1.6 | 0.395 | 0.0658 |
| 1.7 | 0.360 | 0.0600 |
| 1.8 | 0.331 | 0.0551 |
| 1.9 | 0.305 | 0.0508 |
| 2 | 0.282 | 0.0470 |
| 2.1 | 0.262 | 0.0437 |
| 2.2 | 0.245 | 0.0408 |
| 2.3 | 0.229 | 0.0382 |
| 2.4 | 0.215 | 0.0358 |
| 2.5 | 0.202 | 0.0337 |
| 2.6 | 0.190 | 0.0317 |
| 2.7 | 0.180 | 0.0300 |
| 2.8 | 0.170 | 0.0284 |
| 2.9 | 0.162 | 0.0269 |
| 3 | 0.154 | 0.0256 |
| 3.1 | 0.146 | 0.0244 |
| 3.2 | 0.139 | 0.0232 |
| 3.3 | 0.133 | 0.0222 |
| 3.4 | 0.127 | 0.0212 |
| 3.5 | 0.122 | 0.0203 |
| 3.6 | 0.117 | 0.0195 |
| 3.7 | 0.112 | 0.0187 |
| 3.8 | 0.108 | 0.0180 |
| 3.9 | 0.104 | 0.0173 |
| 4 | 0.100 | 0.0166 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Figura 10.

Espectro de Diseño para Arcilla Blanda.;



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.5 Características geotécnicas de zona de estudio

A continuación, en la (tabla.3), se deja todos los parámetros geotécnicos que se usaron dentro del análisis (ISE):

Tabla 3

Características geotécnicas de Estudio

| Tipo de Suelo | Arena Densa |
|----------------------------------------------------|-------------|
| Zona de Estudio | Orellana |
| Peso Unitario γ (Kn/m ³) | 17.49 |
| Coefficiente de poisson ν | 0.33 |
| Velocidad de onda de corte promedio V_s (m/s) | 258 |
| Módulo de Elasticidad de Suelo (Mpa) | 28.4 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.6 Verificación de cortante en la base

La fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 85% de la cortante obtenida por el método estático. En el caso de que el VDINÁMICO sea menor que VESTÁTICO, los valores para el diseño deben multiplicarse por el factor VESTÁTICO/VDINÁMICO.

Tabla 4

Verificación de Cortante en la Base

| Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | V_ Dinámico (Ton) | | 85 % V_ Estatico (Ton) | | Control | |
|---------------|--------------------|-------------------|---------|------------------------|---------|---------|---------|
| | | Sismo X | Sismo Y | Sismo X | Sismo Y | Sismo X | Sismo Y |
| | 3 Niveles | 156.17 | 156.17 | 155.32 | 155.32 | OK | OK |
| Arena Densa | 4 Niveles | 212.07 | 212.07 | 210.60 | 210.60 | OK | OK |
| | 5 Niveles | 285.29 | 285.29 | 283.16 | 283.16 | OK | OK |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.7 control de derivas inelásticas de piso

Una vez que las derivas se han evaluado y están dentro de los máximos permitidos $\Delta_m = 0.00444$ se puede ver que las secciones transversales propuestas y su disposición es correcta.

$$\Delta_m = \frac{0.02}{0.75 * R} = \frac{0.02}{0.75 * 6} = 0.00444$$

Tabla 5

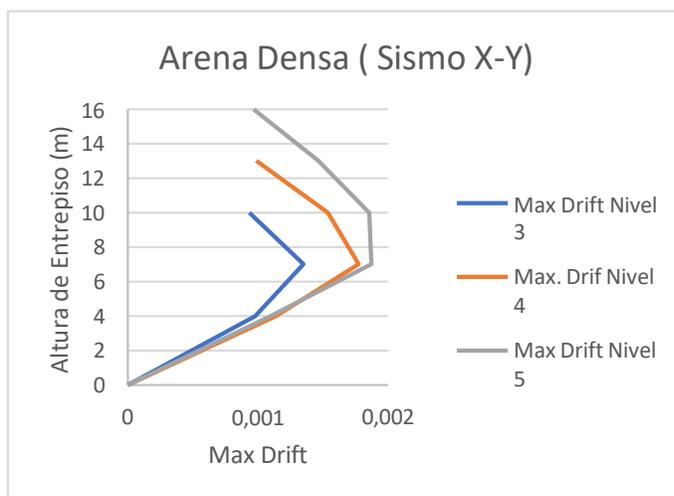
Max Drift Arena Densa

| Modelo de Estudio | Altura (m) | Max Drift |
|-------------------|------------|-----------|
| 3 Niveles | 0 | 0 |
| | 4 | 0.000951 |
| | 7 | 0.001312 |
| | 10 | 0.000908 |
| 4 Niveles | 0 | 0 |
| | 4 | 0.001116 |
| | 7 | 0.001742 |
| | 10 | 0.001513 |
| | 13 | 0.000971 |
| 5 Niveles | 0 | 0 |
| | 4 | 0.001075 |
| | 7 | 0.001836 |
| | 10 | 0.001819 |
| | 13 | 0.001436 |
| | 16 | 0.000947 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Figura 11.

Max. Drift para arcilla blanda;



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

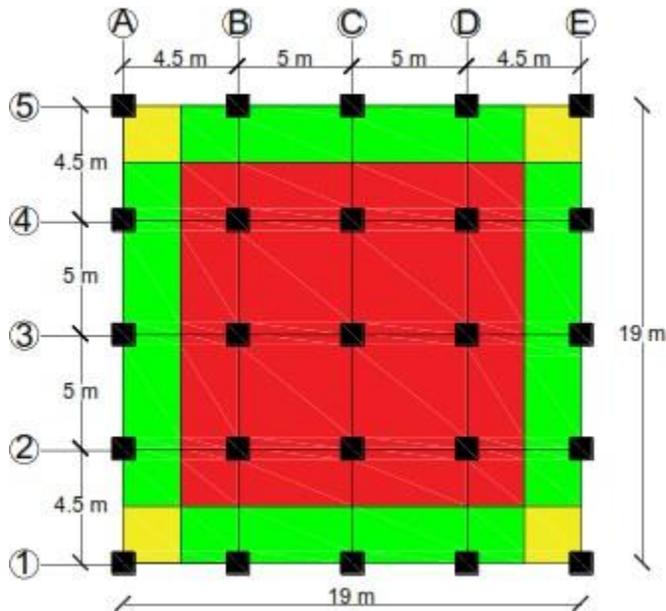
4.8 ANALISIS DINÁMICO CON INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA

Para determinar el comportamiento real de las edificaciones como modelo de estudio en condiciones de suelo no rígido, se usó los modelos dinámicos experimentales D.D. Barkan – O.A. Savinov, Norma Rusa Snip 2.02.05-87 y el de la normativa americana ASCE41-17. Aplicando elementos finitos se verificará si los resultados cumplen con la normativa ecuatoriana (NEC, Peligro Sísmico, 2015).

Dentro de lo que se refiere a la fase de modelación de las estructuras de estudio, para el análisis de la interacción suelo estructura, se utilizó el programa “Etabs”. Luego de haber obtenido las rigideces y amortiguamientos para los distintos modelos dinámicos, se debe asignar en la base de cada modelo estructural las rigideces mediante elementos Spring y definir dentro el programa “Etabs” tres tipos de resorte, centrales, laterales y de esquina.

Figura 12.

Distribución de áreas;



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

De esta forma, el área sombreada en amarillo corresponde al área tributaria para los resortes esquineros, luego el área sombreada en verde corresponde al área tributaria de los resortes laterales y el área sombreada en rojo corresponde al área tributaria de los resortes centrales.

El procedimiento general consiste en dividir la rigidez K_i entre el área total de la cimentación y dicho valor de rigidez distribuida (K_i/A_{total}) se multiplica por el área tributaria correspondiente, es decir:

Área tributaria Central:

$$K_{centrales} = \left(\frac{k_i}{A_{total}} \right)$$

Área tributaria Lateral:

$$K_{laterales} = \left(\frac{k_i}{A_{total}} \right)$$

Área tributaria esquina:

$$K_{esquina} = \left(\frac{k_i}{A_{total}} \right)$$

A continuación, se obtiene las áreas parciales:

El área total para la losa es igual a

$$A_t = 19m * 19m = 361m^2$$

Las áreas parciales son:

Área de esquinas

$$A_e = A_{e1} + A_{e2} + A_{e3} + A_{e4} = 4 * 2.25m * 2.25m = 20.25m^2$$

Área lateral

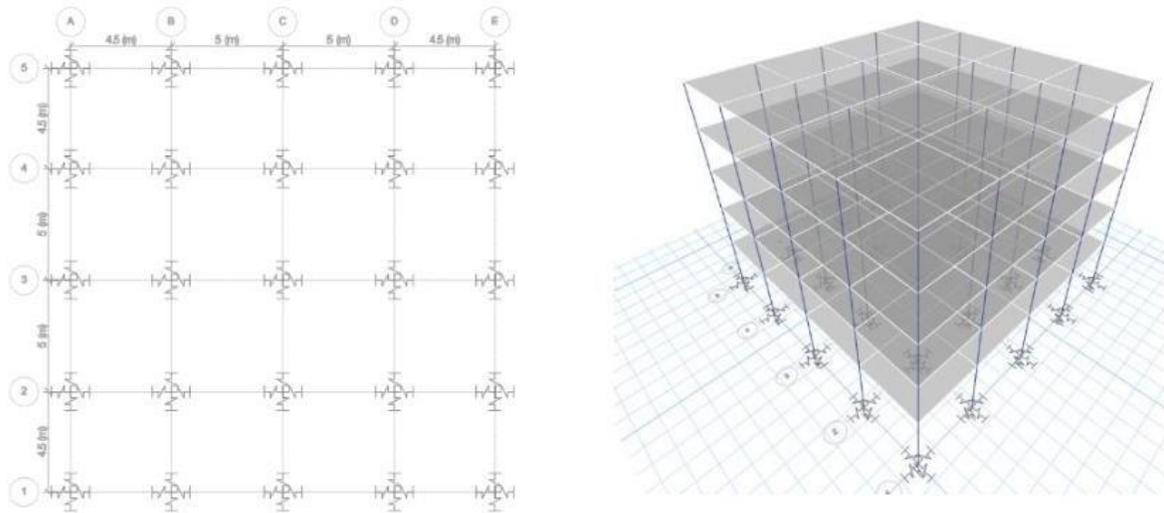
$$A_l = A_{l1} + A_{l2} + A_{l3} + A_{l4} = 4A_l = 4(14.5m * 2.25m) = 130.5m^2$$

Área central

$$A_c = 14.5m * 14.5m = 210.25m^2$$

Los modelos estructurales que se realizaron se ingresó los coeficientes de rigidez y amortiguamiento, deben ser equivalentes a lo mostrado en la figura 10.

Figura 13. Modelo de base flexible, edificio de 5 Niveles



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.9 MODELO DINÁMICO D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV (1987)

El modelo teórico experimental propuesto por D. D. Barkan y O. A. Savinov, se basa en la interacción de la cimentación con la base de fundación en forma de vibración forzada como un proceso ondulatorio no estacionario (Villarreal G. 2017). Después de muchas investigaciones experimentales para determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, Barkan y Savinov proponen las siguientes expresiones:

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

Donde:

C_x: Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

C_z, C_{φx}, C_{φy}: Coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

A: Área de la base de la cimentación

I_x, I_y: Momentos de inercia de la cimentación respecto a los ejes x e y

Los coeficientes de desplazamiento y rotación de la base en este modelo se determinan por las siguientes fórmulas:

$$C_z = C_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

$$C_x = D_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

$$C_{\phi y} = C_o \left[1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta A} \right] \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

$$C_{\phi x} = C_o \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta A} \right] \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

Tabla 6

Tipo de suelo de Base de la Fundación

| Tipo de Perfil | Características de la base de fundación | SUELO | $c_{0=kG/cm^3}$ |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|
| S1 | Roca o suelos muy rígidos | Arcilla y arena arcillosa dura (IL < 0) | 3 |
| | | Arena compacta (IL < 0) | 2.2 |
| | | Cascajo, grava, canto rodado, arena densa | 2.6 |
| S2 | Suelos Intermedios | Arcilla y arena arcillosa plástica (0,25 < IL ≤ 0,5) | 2 |
| | | Arena plástica (0 < IL < 0.5) | 1.6 |
| | | Arena polvorosa medio densa y densa (e ≤ 0,80) | 1.4 |
| | | Arenas de grano fino, mediano y grueso. | 1.8 |
| S3 | Suelos Flexibles | Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad (0,5 < IL ≤ 0,75) | 0.8 |

| | | | |
|----|---------------------------|--------------------------------------------------|-----|
| | | Arena plástica (0,5 < IL ≤ 1) | 1 |
| | | Arenas polvorosa, saturada, porosa (e > 0,80) | 1.2 |
| S2 | Condiciones excepcionales | Arcilla y arena arcillosa muy blanda (IL > 0,75) | 0.6 |
| | | Arena movediza (IL > 1) | 0.6 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Donde:

Co: Coeficiente que se obtiene en la tabla 7 de la referencia (Villareal, G.2017), determinado a través de ensayos experimentales para $p_0 = 0.2 \text{ kg/cm}^2$. Para arena densa $C_0 = 1.4 \text{ kg/cm}^3$; para arcilla blanda $C_0 = 0.8 \text{ kg/cm}^3$.

a, b: Dimensiones de la cimentación en los ejes X e Y respectivamente.

Δ : Coeficiente empírico igual a 1 m⁻¹

p: Presión estática que se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$p = \frac{Peso_{edif} + Peso_{fundc}}{Area_{fund}}$$

Para el coeficiente D_0 , de acuerdo a Villareal G. (2020) se puede emplear la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \nu}{1 - 0.5\nu} C_0$$

Donde:

ν : Coeficiente de poisson del suelo

4.10 Modelo dinámico norma rusa snip 2.02.05 (1987)

Los coeficientes de rigidez propuestos en la Norma Rusa se calculan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} K_z &= C_z A \\ K_x &= K_y = C_x A \\ K_{\psi z} &= C_{\psi z} I_z \\ K_{\varphi y} &= C_{\varphi y} I_y \\ K_{\varphi x} &= C_{\varphi x} I_x \end{aligned}$$

Donde:

A: Área de la cimentación

I_x, I_y: Momento de inercia de la cimentación respecto a los ejes x, y

I_z: Momento polar de inercia

Al no contar con ensayos experimentales, el coeficiente de compresión elástica uniforme C_z , se determina por la siguiente fórmula. (Villarreal, G. 2020)

$$C_z = b_o E \left[1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right]$$

Donde:

b₀: Coeficiente de corrección de unidad de medida m-1, para el artículo se adopta igual a 1.5.

E: Módulo de elasticidad del suelo

A: Área de la cimentación

Los coeficientes de desplazamiento y compresión elástica uniforme y no uniforme se determinan por las fórmulas:

$$\begin{aligned} C_x &= 0.7C_z \\ C_{\psi z} &= C_z \\ C_{\varphi x} &= C_{\varphi y} = 2C_z \end{aligned}$$

Las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales y rotacionales se determinan por las fórmulas:

$$\begin{aligned} \beta_{\psi z} &= 0.3\beta_z \\ \beta_{\varphi x} &= \beta_{\varphi y} = 0.5\beta_z \\ \beta_x &= 0.6\beta_z \end{aligned}$$

Finalmente, las características de amortiguamiento del sistema suelo fundación se determinan por:

$$\begin{aligned}
 B_z &= 2\beta_z \sqrt{K_z M_z} \\
 B_x = B_y &= 2\beta_x \sqrt{K_x M_x} \\
 B_{\psi z} &= 2\beta_z \sqrt{K_{\psi z} M_{\psi z}} \\
 B_{\varphi y} &= 2\beta_{\varphi y} \sqrt{K_{\varphi y} M_{\varphi y}} \\
 B_{\varphi x} &= 2\beta_{\varphi x} \sqrt{K_{\varphi x} M_{\varphi x}}
 \end{aligned}$$

4.11 MODELO DINÁMICO NORMA ASCE 41-17.

El método propuesto por la normativa americana ASCE41-17, emplea el valor de G dentro de sus ecuaciones para obtener los coeficientes de rigidez. Sin embargo, muy pocas veces se cuenta con un análisis de respuesta sísmica de sitio por lo que el código ASCE 7, recomienda la tabla (7) que correlaciona la demanda sísmica con el tipo de suelo.

Tabla 7

Valores de reducción del Módulo de Corte. (ASCE)

| Site Class | Reduction Factor (G/ Gmax) | | |
|------------|-----------------------------|------|-------|
| | Sds/2.5 | | |
| | ≤ 0.1 | 0.40 | ≥ 0.8 |
| A | 1 | 1 | 1 |
| B | 1 | 0.95 | 0.9 |
| C | 0.95 | 0.75 | 0.6 |
| D | 0.90 | 0.50 | 0.10 |
| E | 0.60 | 0.05 | (*) |
| F | (*) | (*) | (*) |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Con estos parámetros de entrada obtenemos las rigideces de fundación en la superficie del terreno de acuerdo a las siguientes ecuaciones para todos los casos de estudio.

$$K_{xsur} = \frac{G * B}{2 - \nu} (3.4 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 1.20)$$

$$K_{ysur} = \frac{G * B}{2 - \nu} (3.4 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8)$$

$$K_{zsur} = \frac{G * B}{2 - \nu} (1.55 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.75} + 0.8)$$

$$K_{xxsur} = \frac{G * B^3}{1 - \nu} (0.4 \left(\frac{L}{B}\right) + 0.1)$$

$$K_{yyur} = \frac{G * B^3}{1 - \nu} (0.47 \left(\frac{L}{B}\right)^{2.4} + 0.034)$$

$$K_{zzsur} = GB^3 (0.53 \left(\frac{L}{B}\right)^{2.45} + 0.51)$$

Donde:

ν : Coeficiente de Poisson de suelo

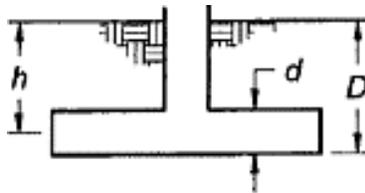
B, L: Dimensiones de la cimentación en los ejes X e Y respectivamente.

G: Correlación de la demanda sísmica con el tipo de suelo, Tabla (2).

Con estos parámetros se realiza la corrección por factores de empotramiento del terreno de acuerdo a las siguientes ecuaciones para todos los casos de estudio.

Figura 14.

Factores de corrección por empotramiento;



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

$$B_x = (1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}}) (1 + 1.6 (\frac{h * d * (B + L)}{B * L^2})^{0.4})$$

$$B_y = (1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}}) (1 + 1.6 (\frac{h * d * (B + L)}{L * B^2})^{0.4})$$

$$B_z = (1 + \frac{1}{21} * \frac{D}{B}) (2 + 2.6 (\frac{B}{L})) (1 + 0.32 (\frac{d(B + L)}{B * L})^{\frac{2}{3}})$$

$$B_{xx} = (1 + 2.5 * \frac{d}{B}) ((1 + \frac{2d}{B} * (\frac{d}{D})^{-0.2}) * (\sqrt{\frac{B}{L}}))$$

$$B_{yy} = (1 + 1.4 * \frac{d}{L})^{0.6} * 1.5 + 3.7 (\frac{d}{L})^{1.9} ((\frac{d}{D})^{-0.6})$$

$$B_{zz} = (1 + 2.6 (1 + \frac{B}{L})) * (\frac{d}{B})^{0.9}$$

4.12 Obtención de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para edificación de 3 niveles.

4.12.1 METODO ASCE 41-17 , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings"

NIVEL DE PISO: 3 NIVELES

TIPO DE SUELO: ARENA DENSA

MODELO DINÁMICO: NORMA ASCE 41-17

DATOS:

$$V_{S_{30}} := 258 \frac{m}{s} \quad G_{max} := \frac{\gamma}{g} \cdot (V_{s_{30}})^2 = 118.716 \text{ MPa}$$

Para el suelo tipo E en la ciudad del Coca, se tiene un $P_{ga} =$

$$z = 0.30 \quad f_a = 1.3$$

$$P_{ga} := z \cdot f_a = 0.39$$

Tabla 8

Effective Shear Modulus Ratio (G/G_0)

| Effective Peak Acceleration, $S_{XS}/2.5^a$ | | | | |
|---------------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Site Class | $S_{XS}/2.5 = 0$ | $S_{XS}/2.5 = 0.1$ | $S_{XS}/2.5 = 0.4$ | $S_{XS}/2.5 = 0.8$ |
| A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| B | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.90 |
| C | 1.00 | 0.95 | 0.75 | 0.60 |
| D | 1.00 | 0.90 | 0.50 | 0.10 |
| E | 1.00 | 0.60 | 0.05 | <i>b</i> |
| F | <i>b</i> | <i>b</i> | <i>b</i> | <i>b</i> |

^aUse straight-line interpolation for intermediate values of $S_{XS}/2.5$.
^bSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

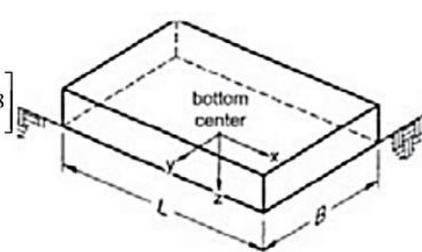
ASCE-> Table 8

$v_{tabla} = 0.4825$

Figura 15.

$G := G_{max} \cdot v_{tabla} = 57.28 \text{ MPa}$

Ecuaciones de rigidez en los diferentes ejes

| Degree of Freedom | Stiffness of Foundation at Surface | Note |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation along x-axis | $K_{x,sur} = \frac{GB}{2-v} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$ |  <p>Orient axes such that $L > B$. If $L = B$, use x-axis equations for both x-axis and y-axis.</p> |
| Translation along y-axis | $K_{y,sur} = \frac{GB}{2-v} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$ | |
| Translation along z-axis | $K_{z,sur} = \frac{GB}{1-v} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$ | |
| Rocking about x-axis | $K_{xx,sur} = \frac{GB^3}{1-v} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$ | |
| Rocking about y-axis | $K_{yy,sur} = \frac{GB^3}{1-v} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$ | |
| Torsion about z-axis | $K_{z,tur} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$ | |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Grados de Libertad

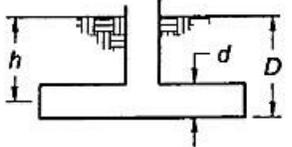
Rigidez de la fundación en la Superficie

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Traslación alrededor del Eje X | $K_{xsur} := \frac{G \cdot B}{2 - \nu} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right) = 2997787.366 \frac{kN}{m}$ |
| Traslación alrededor del Eje Y | $K_{ysur} := \frac{G \cdot B}{2 - \nu} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right) = 2997787.366 \frac{kN}{m}$ |
| Traslación alrededor del Eje Z | $K_{zsur} := \frac{G \cdot B}{1 - \nu} \cdot \left(1.55 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right) = 3817266.878 \frac{kN}{m}$ |
| Rotación alrededor del Eje X | $K_{xxsur} := \frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \cdot \left(0.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right) = 293198583.628 \frac{kN \cdot m}{rad}$ |
| Rotación alrededor del Eje Y | $K_{yysur} := \frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \cdot \left(0.47 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right) = 295544172.297 \frac{kN \cdot m}{rad}$ |
| Torsión alrededor del Eje Z | $K_{zzsur} := G \cdot B^3 \cdot \left(0.53 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right) = 408601546.144 \frac{kN \cdot m}{rad}$ |

4.12.2 Factores de Corrección por empotramiento

Figura 16.

Ecuaciones de factores de corrección

| Degree of Freedom | Correction Factor for Embedment | |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation along x-axis | $\beta_x = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$ |  |
| Translation along y-axis | $\beta_y = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{L}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{LB^2} \right)^{0.4} \right]$ | |
| Translation along z-axis | $\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL} \right)^{0.5} \right]$ | |
| Rocking about x-axis | $\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$ | |
| Rocking about y-axis | $\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L} \right)^{1.0} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$ | |
| Torsion about z-axis | $\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9}$ | |

d = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height)

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

DATOS:

$$D:=0.35 \text{ m}$$

$$h:=1.325 \text{ m}$$

$$d:=1.5 \text{ m}$$

Grados de Libertad

Factores de Corrección por empotramiento

Traslación alrededor del Eje X

$$B_x := \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt[2]{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{B \cdot L^2} \right)^{0.4} \right) = 1.3$$

Traslación alrededor del Eje Y

$$B_y := \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt[2]{\frac{D}{L}} \right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{L \cdot B^2} \right) \right) = 1.3$$

Traslación alrededor del Eje Z

$$B_z := \left(1 + \frac{1}{21} \cdot \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right) \cdot \left(1 + 0.32 \left(\frac{d \cdot (B+L)}{B \cdot L} \right)^{\frac{2}{3}} \right) = 1.098$$

Rotación alrededor del Eje X

$$B_{xx} := 1 + 2.5 \frac{d}{B} \cdot \left(1 + \frac{2d}{B} \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.2} \right) \cdot \left(\sqrt[2]{\frac{B}{L}} \right) = 1.221$$

Rotación alrededor del Eje Y

$$B_{yy} := 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \cdot 1.5 + 3.7 \cdot \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} = 1.47$$

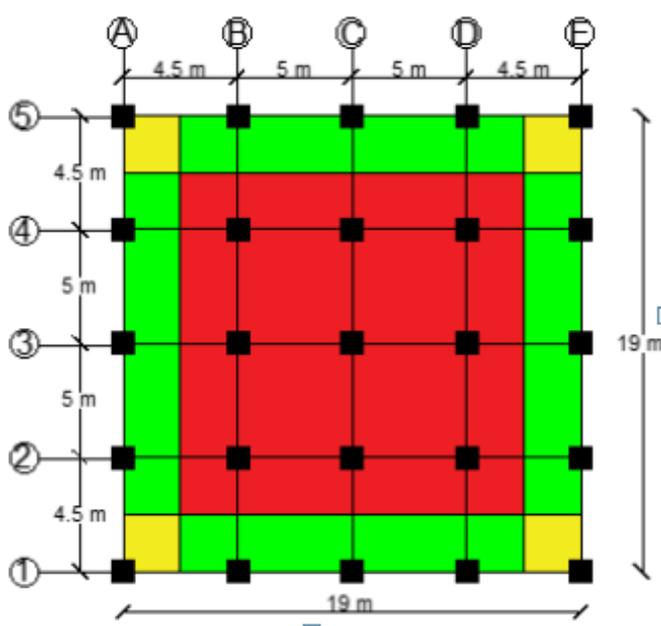
Torsión alrededor del Eje Z

$$B_{zz} := \left(1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \cdot \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9} \right) = 1.529$$

4.12.3 Método de Intensidad de Área o Área Tributaria

Figura 17

Distribución de áreas



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

1.- Área Total:

$$At := B \cdot L = 361 \text{ m}^2$$

2.- Área Parciales:

2.1 Área de las esquinas: $Col_{ezq} := 4$

$$Ae := (4 * (2.25 \text{ m} * 2.25 \text{ m})) = 20.25 \text{ m}^2$$

2.2- Área Lateral: $Col_{lat} := 12$

2.3- Área Central: $Col_{cent} := 9$

$$Ac := 14.5 \text{ m} * 14.5 \text{ m} = 210.25 \text{ m}^2$$

4.12.4 Distribución de la rigidez

La distribución de la rigidez en cada una de las direcciones de los grados de libertad.

$$K_{ij} = K_i \frac{A_j}{A_t n}$$

Siendo i cada uno de los grados de libertad existentes, j cada uno de los tipos de áreas que a sido discretizada y n el número de columnas en dicha área. Este procedimiento es repetido para cada caso estudiado en la investigación.

4.12.4.- Rigideces

4.12.4.1- Rigideces en esquinas:

$$K_{xe1} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 54632.863 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ye1} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 54632.863 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ze1} := K_{zsur} \cdot B_z \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 58772.061 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xxe1} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 5018977.079 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

$$K_{yye1} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 6093182.058 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

$$K_{zze1} := K_{zzsur} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 8762292.955 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

4.12.4.2.- Rigideces en Laterales:

$$K_{xe2} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 117359.483 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ye2} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 117359.483 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ze2} := K_{zsur} \cdot B_z \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 126251.095 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xxe2} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 10781506.317 m \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{yye2} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 13089057.755 m \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{zxe2} := K_{zzsur} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 18822703.385 m \cdot \frac{kN}{rad}$$

4.12.4.3 Rigideces en Parte Central:

$$K_{xe3} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 252105.555 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ye3} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 252105.555 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ze3} := K_{zsur} \cdot B_z \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 271206.055 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xxe3} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 23160272.829 m \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{yye3} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 28117235.177 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{zze3} := K_{zsur} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 40433955.419 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

4.12.5 ISE , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings"

origin := 1

NIVEL DE PISO: 3 NIVELES

TIPO DE SUELO: ARENA DENSA

MODELOS DINÁMICOS: D.D. BARKAN - O.A. SAVINOV , A.E. SARGSIAN y
NORMA RUSA

DATOS Para Zapatas:

$$P_{sismico} := 1216.25 \text{ ton}$$

D+0.25 L

$$A_{edf} := 361 \text{ m}^2$$

$$A_{trib1} := 5.06 \cdot \text{m}^2 \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$A_{trib2} := 11.25 \cdot \text{m}^2 \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$A_{trib3} := 25 \cdot \text{m}^2 \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

$$P_{unit_zpt} := \frac{P_{sismico}}{A_{edf}} = 3.369 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{trib_edf_z1} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib1} = 17.048 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_z2} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib2} = 37.903 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_z3} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib3} = 84.228 \text{ ton}$$

| | | | |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|
| $a_{z1} = 2.7 \text{ m}$ | $b_{z1} = 2.7 \text{ m}$ | $c_{z1} = 0.35 \text{ m}$ | * Zapatas |
| Esquineras | | | |
| $a_{z2} = 2.75 \text{ m}$ | $b_{z2} = 2.75 \text{ m}$ | $c_{z2} = 0.35 \text{ m}$ | 4.12.5.3 Zapatas |
| Laterales | | | |
| $a_{z3} = 3.25 \text{ m}$ | $b_{z3} = 3.25 \text{ m}$ | $c_{z3} = 0.35 \text{ m}$ | 4.12.5.4 Zapatas |
| Centrales | | | |

Datos Para Suelo:

$$\gamma_c := 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

* Peso Específico de Hormigón.

Coeficiente experimental para: $\rho_o := 0.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ $C_o := 1.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ *

Mirar Tabla

Coeficiente de Poisson del suelo: $\mu_s := 0.33$

Módulo de Elasticidad del Suelo: $\epsilon_s := 28.40 \text{ MPa}$

Densidad del Suelo: $\rho_{s1} := 0.18 \text{ ton} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}^4}$ $\rho_{s2} := 1.8 \text{ kN} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}^4}$ $A_{10} := 10 \text{ m}^2$
 $\phi_s := 0.833$

Coeficiente Empírico del suelo: $b_o := 1.5 \text{ m}^{-1}$ **Valor Experimental según tipo de suelo**

Módulo de Deformación Suelo: $M_s := 2896 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$

4.12.5.1.- Modelo BARKAN D.D:

1).- Calculamos masas Traslacionales.

Teorema del Paralepipedo: $M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{\gamma c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma c \cdot V_{zapata}}{g} = \frac{\gamma c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.624 \frac{ton \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.648 \frac{ton \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.904 \frac{ton \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

$$M_{\varphi x'} = M_t d^2 + I_{inx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi y'} = M_t d^2 + I_{iny} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi z'} = I_{inz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12}$$

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.405 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.405 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 0.758 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'_2} := Mt_2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2} \right)^2 + \frac{Mt_2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 0.435 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt_2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2} \right)^2 + \frac{Mt_2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 0.435 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt_2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 0.816 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Centrales

$$M\psi_{x'_3} := Mt_3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2} \right)^2 + \frac{Mt_3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 0.833 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_3} := Mt_3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2} \right)^2 + \frac{Mt_3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 0.833 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_3} := \frac{Mt_3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 1.592 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota: Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Pesos de Cada Zapata y Área de cada Zapata

* Zapatas Esquinas

$$P_{zpt1} := a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1} \cdot \gamma_c = 6.124 \text{ ton}$$

$$Area_{z1} := a_{z1} \cdot b_{z1} = 7.29 \text{ m}^2$$

* Zapatas Laterales

$$P_{zpt2} := a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2} \cdot \gamma_c = 6.353 \text{ ton} \quad Area_{z2} := a_{z2} \cdot b_{z2} = 7.563 \text{ m}^2$$

* Zapatas Centrales

$$P_{zpt3} := a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3} \cdot \gamma_c = 8.873 \text{ ton} \quad Area_{z3} := a_{z3} \cdot b_{z3} = 10.563 \text{ m}^2$$

4).- Calculo de Presión estática en Cada Zapata

$$\rho = \frac{p_{edif}^{trib} + P_{zap}}{A_{zap}}$$

* Zapatas Esquinas

$$p_{z1} := \frac{P_{trib_edf_z1} + P_{zpt1}}{Area_{z1}} = 3.179 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z1} := p_{z1} \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot \text{kg}}{10 \cdot \text{cm}^2} = 0.318 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

* Zapatas Laterales

$$p_{z2} := \frac{P_{trib_edf_z2} + P_{zpt2}}{Area_{z2}} = 5.852 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z2} := p_{z2} \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot \text{kg}}{10 \cdot \text{cm}^2} = 0.585 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

* Zapatas Centrales

$$p_{z3} := \frac{P_{trib_edf_z3} + P_{zpt3}}{Area_{z3}} = 8.814 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z3} := p_{z3} \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot \text{kg}}{10 \cdot \text{cm}^2} = 0.881 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

5).- Calculamos Do.

$$D_o := \frac{1 - \mu_s}{1 - (0.5) \cdot (\mu_s)} \cdot C_o = 1.123 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

6).- Coeficientes de Compresión y Desplazamiento.

Coeficientes de compresión y desplazamiento

$$C_x = C_y = D_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

* Zapatas Esquinas

$$C_{x_z1} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 3.514 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z1} = 3.514 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{x_z1} = 3514 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z1} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 3514179.792 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z1} = 3.514 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{y_z1} = 3514 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 4379612.129 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z1} = 4.3796 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{z_z1} = 4379.6 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + 3 \cdot (b_z1))}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 6994305.938 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} = 6.994 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{\varphi x_z1} = 6994 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z1 + 3 \cdot (a_z1))}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 6994305.938 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} = 6.994 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{\varphi y_z1} = 6994 \frac{ton}{m^3}$$

* Zapatas Laterales

$$C_{x_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4.717 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z2} = 4.717 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z2} = 4717 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4716513.249 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z2} = 4.717 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{y_z2} = 4717 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 5878042.631 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z2} = 5.878 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{z_z2} = 5878 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + 3 \cdot (b_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 9361327.153 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} = 9.361 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} = 9361 \frac{ton}{m^3}$$

* Zapatas Centrales

$$C_{x_z3} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + b_z3)}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho o}} = 5.261 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z3} = 5.261 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z3} = 5261 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z3} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + b_z3)}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho_0}} = 5260757.483 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z3} = 5.261 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{y_z3} := 5261 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z3} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + b_z3)}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho_0}} = 6556317.162 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z3} = 6.556 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{z_z3} := 6556 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + 3 \cdot (b_z3))}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho_0}} = 10173595.596 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} = 10.174 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{\varphi x_z3} := 10174 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z3 + 3 \cdot (a_z3))}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho_0}} = 10173595.596 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} = 10.174 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{\varphi y_z3} := 10174 \frac{ton}{m^3}$$

7).- Coeficientes de Rigidez de desplazamiento Y compresión. K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$

$$\begin{aligned} K_x &= K_y = C_x A \\ K_z &= C_z A \\ K_{\varphi x} &= C_{\varphi x} I_x \end{aligned}$$

*** Zapatas Esquinas**

$$K_{x_{z1_1}} := C_{x_{z1}} \cdot Area_{z1} = 25617.06 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z1_1}} := C_{y_{z1}} \cdot Area_{z1} = 25617.06 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z1_1}} := C_{z_{z1}} \cdot Area_{z1} = 31927.284 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z1_1}} := C_{\varphi x_{z1}} \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12} = 30974.153 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_{z1_1}} := C_{\varphi y_{z1}} \cdot \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12} = 30974.153 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Laterales**

$$K_{x_{z2_1}} := C_{x_{z2}} \cdot Area_{z2} = 35672.313 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z2_1}} := C_{y_{z2}} \cdot Area_{z2} = 35672.313 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z2_1}} := C_{z_{z2}} \cdot Area_{z2} = 44452.375 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z2_1}} := C_{\varphi x_{z2}} \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12} = 44614.063 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_{z2_1}} := C_{\varphi y_{z2}} \cdot \frac{b_{z2} \cdot a_{z2}^3}{12} = 44614.063 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Centrales**

$$Kx_{z3_1} := Cx_{z3} \cdot Area_{z3} = 55569.313 \frac{ton}{m}$$

$$Ky_{z3_1} := Cy_{z3} \cdot Area_{z3} = 55569.313 \frac{ton}{m}$$

$$Kz_{z3_1} := Cz_{z3} \cdot Area_{z3} = 69247.75 \frac{ton}{m}$$

$$K\varphi x_{z3_1} := C\varphi x_{z3} \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12} = 94589.718 \text{ ton} \cdot m$$

$$K\varphi y_{z3_1} := C\varphi y_{z3} \cdot \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12} = 104263.172 \text{ ton} \cdot m$$

4.12.5.2.- Modelo A.E SARGSIAN

1).- Calculamos masas Traslacionales.

Teorema del Paralepipedo: $M_t = M_x = M_y = M_z = \gamma c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma c \cdot V_{zapata}}{g} = \frac{\gamma c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.624 \frac{ton \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.648 \frac{ton \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.904 \frac{ton \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

$$M_{\varphi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi z'} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12}$$

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.405 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.405 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 0.758 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 0.435 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 0.435 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 0.816 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Centrales

$$M\psi_{x'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 0.833 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 0.833 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 1.592 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota : Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Velocidades de Propagación de Ondas Longitudinales y Transversales

3.1).- Calculamos Velocidad de Propagación de las ondas longitudinales en suelo de Fundición.

$$C1 := \sqrt[2]{\frac{(1 - \mu s) \cdot \epsilon s}{(1 + \mu s) \cdot (1 - 2 \cdot \mu s) \cdot \rho s^2}} = 152.896 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.2).- Calculamos Velocidad de Propagación de las ondas Transversales en suelo de Fundición.

$$C2 := \sqrt[2]{\frac{\epsilon s}{2 \cdot (1 + \mu s) \cdot \rho s^2}} = 77.016 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4).- Coeficientes de Rigidez de desplazamiento Y compresión. K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$

*** Zapatas Esquinas**

$$K_{x_{z1_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 5401.11 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z1_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 5401.11 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z1_2}} := \frac{\rho s1 \cdot C1^2 \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 15305.76 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z1_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}} = 12564.251 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_{z1_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}} = 12564.251 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Laterales**

$$K_{x_{z2_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 5501.131 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z2_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 5501.131 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z2_2}} := \frac{\rho s1 \cdot C1^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 15589.2 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z2_2} := \frac{8.52 \cdot \rho_{s1} \cdot C2^2 \cdot \frac{a_z2 \cdot b_z2^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z2 \cdot b_z2}} = 13275.271 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z2_2} := \frac{8.52 \cdot \rho_{s1} \cdot C2^2 \cdot \frac{b_z2 \cdot a_z2^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z2 \cdot b_z2}} = 13275.271 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Centrales**

$$Kx_{z3_2} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho_{s1} \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6501.336 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_{z3_2} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho_{s1} \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6501.336 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_{z3_2} := \frac{\rho_{s1} \cdot C1^2 \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 18423.6 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z3_2} := \frac{8.52 \cdot \rho_{s1} \cdot C2^2 \cdot \frac{a_z3 \cdot b_z3^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}} = 21912.675 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z3_2} := \frac{8.52 \cdot \rho_{s1} \cdot C2^2 \cdot \frac{b_z3 \cdot a_z3^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}} = 21912.675 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

4.12.5.3 Modelo NORMA RUSA

1).- Calculamos masas Traslacionales.

Teorema del Paralepipedo: $Mt=Mx=My=Mz: \quad \gamma c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$

$$Mt1 := \gamma c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.624 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.648 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.904 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

*** Zapatas Esquinas**

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.405 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.405 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 0.758 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

*** Zapatas Laterales**

$$M\psi_{x'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 0.435 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 0.435 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 0.816 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

*** Zapatas Centrales**

$$M\psi_{x'3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 0.833 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 0.833 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 1.592 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota: Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Calculamos Coeficientes de Compresión Elástica Uniforme

Calculamos el coeficiente de compresión elástica uniforme por la fórmula 2.17 de la pag. 37 del libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro

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

Donde:

b_0 : coeficiente (m^{-2}) asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1.2; para arcillas, cascajos, gravas, cintas rodadas, arenas densas igual a 1.5.

E_s : módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación, kPa (T/m^2), determinadas por las tablas 3 y 4 del anexo de la investigación [144] o en forma experimental.

$A_{10} = 10\text{m}^2$

A : área de la base de la cimentación (m^2).

$A = ab$

$$Cz_{z1} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z1} \cdot b_{z1}}} \right) = 9431.753 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Cz_{z2} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z2} \cdot b_{z2}}} \right) = 9339.249 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Cz_{z3} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z3} \cdot b_{z3}}} \right) = 8570.749 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

4).- Calculo de Coeficientes de desplazamiento elástico Uniforme, compresión elástica no uniforme, desplazamiento elástico no uniforme.

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$C_{x_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6602.227 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 18863.507 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6602.227 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z1} := C_{z_z1} = 9431.753 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 18863.507 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

4).- Calculo de Coeficientes de desplazamiento elástico Uniforme , compresión elástica no uniforme , desplazamiento elástico no uniforme .

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$C_{x_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6602.227 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 18863.507 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6602.227 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z1} := C_{z_z1} = 9431.753 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 18863.507 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

*** Zapatas Laterales**

$$C_{x_z2} := 0.7 \cdot C_{z_z2} = 6537.474 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := 2 \cdot C_{z_z2} = 18678.498 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := 2 \cdot C_{z_z2} = 18678.498 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z2} := C_{z_z2} = 9339.249 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z2} := 0.7 \cdot C_{z_z2} = 6537.474 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

*** Zapatas Centrales**

$$C_{x_z3} := 0.7 \cdot C_{z_z3} = 5999.524 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} := 2 \cdot C_{z_z3} = 17141.498 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} := 2 \cdot C_{z_z3} = 17141.498 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z3} := C_{z_z3} = 8570.749 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z3} := 0.7 \cdot C_{z_z3} = 5999.524 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

5).- Ahora calculamos coeficientes de Rigidez K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$K_{x_z1_3} := C_{x_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 48130.238 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_z1_3} := C_{y_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 48130.238 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_z1_3} := C_{z_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 68757.482 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_z1_3} := C_{\varphi x_z1} \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12} = 83540.341 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_z1_3} := C_{\varphi y_z1} \cdot \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12} = 83540.341 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\psi z_z1_3} := C_{\psi z_z1} \cdot \left(\frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12} + \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12} \right) = 83540.341 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Laterales**

$$K_{x_z2_3} := C_{x_z2} \cdot a_{z2} \cdot b_{z2} = 49439.648 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_z2_3} := C_{y_z2} \cdot a_{z2} \cdot b_{z2} = 49439.648 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_z2_3} := C_{z_z2} \cdot a_{z2} \cdot b_{z2} = 70628.069 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_z2_3} := C_{\varphi x_z2} \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12} = 89020.795 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_z2_3} := C_{\varphi y_z2} \cdot \frac{b_{z2} \cdot a_{z2}^3}{12} = 89020.795 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\psi z_z2_3} := C_{\psi z_z2} \cdot \left(\frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12} + \frac{b_{z2} \cdot a_{z2}^3}{12} \right) = 89020.795 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Centrales**

$$K_{x_z3_3} := C_{x_z3} \cdot a_{z3} \cdot b_{z3} = 63369.975 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_z3_3} := C_{y_z3} \cdot a_{z3} \cdot b_{z3} = 63369.975 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_z3_3} := C_{z_z3} \cdot a_{z3} \cdot b_{z3} = 90528.536 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_z3_3} := C_{\varphi x_z3} \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12} = 159367.944 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_z3_3} := C_{\varphi y_z3} \cdot \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12} = 159367.944 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\psi z_z3_3} := C_{\psi z_z3} \cdot \left(\frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12} + \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12} \right) = 159367.944 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Se asignaron las propiedades de los resortes traslacionales y rotacionales a través del elemento SPRING. Para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 se liberó la rotación alrededor del eje vertical, debido a la existencia del coeficiente de rigidez $K_{\psi z}$.

$$\beta_z := 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_B}{C_z \cdot P_m}}$$

$$P_m := 30 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Valor Experimental según tipo de suelo

$$Cz_{z1} = (9.432 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad Cz_{z2} = (9.339 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad Cz_{z3} = (8.571 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$\beta_{z_z1} := 0.606$$

$$\beta_{z_z2} := 0.610$$

$$\beta_{z_z3} := 0.636$$

7).- Calculo de los Parámetros de Amortiguamiento $\beta_x, \beta_y, \beta\Phi_x, \beta\Phi_y, \beta\Phi_z \dots$

* Zapatas Esquinas

$$\beta_{x_z1} := 0.6 \cdot \beta_{z_z1} = 0.364$$

$$\beta\Phi_{y_z1} := 0.5 \cdot \beta_{z_z1} = 0.303$$

$$\beta_{y_z1} := 0.6 \cdot \beta_{z_z1} = 0.364$$

$$\beta\Phi_{z_z1} := 0.3 \cdot \beta_{z_z1} = 0.182$$

$$\beta\Phi_{x_z1} := 0.5 \cdot \beta_{z_z1} = 0.303$$

* Zapatas Laterales

$$\beta_{x_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.366$$

$$\beta\Phi_{y_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.305$$

$$\beta_{y_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.366$$

$$\beta\Phi_{z_z2} := 0.3 \cdot \beta_{z_z2} = 0.183$$

$$\beta\Phi_{x_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.305$$

* Zapatas Laterales

$$\beta_{x_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.366$$

$$\beta\Phi_{y_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.305$$

$$\beta_{y_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.366$$

$$\beta\Phi_{z_z2} := 0.3 \cdot \beta_{z_z2} = 0.183$$

$$\beta\Phi_{x_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.305$$

8).- Calculo de las Características de Amortiguamiento $B_x, B_y, B\varphi_x, B\varphi_y, B\Phi_z \dots$

* Zapatas Esquinas

$$B_{x_z1} := 2 \cdot \beta_{x_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{x_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 126.047 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{y_z1} := 2 \cdot \beta_{y_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{y_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 126.047 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z1} := 2 \cdot \beta_{z_{z1}} \cdot (Mt1 \cdot Kz_{z1_3})^{\frac{1}{2}} = 251.091 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z1}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{x_{z1}}} \cdot (M\psi_{x'_{z1}} \cdot K\varphi_{x_{z1_3}})^{\frac{1}{2}} = 111.427 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z1}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{y_{z1}}} \cdot (M\psi_{y'_{z1}} \cdot K\varphi_{y_{z1_3}})^{\frac{1}{2}} = 111.427 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z1}} := 2 \cdot \beta_{\Phi_{z_{z1}}} \cdot (M\psi_{z'_{z1}} \cdot K\psi_{z_{z1_3}})^{\frac{1}{2}} = 91.523 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

* Zapatas Laterales

$$Bx_{z2} := 2 \cdot \beta_{x_{z2}} \cdot (Mt2 \cdot Kx_{z2_3})^{\frac{1}{2}} = 130.974 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$By_{z2} := 2 \cdot \beta_{y_{z2}} \cdot (Mt2 \cdot Ky_{z2_3})^{\frac{1}{2}} = 130.974 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z2} := 2 \cdot \beta_{z_{z2}} \cdot (Mt2 \cdot Kz_{z2_3})^{\frac{1}{2}} = 260.907 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z2}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{x_{z2}}} \cdot (M\psi_{x'_{z2}} \cdot K\varphi_{x_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 119.974 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z2}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{y_{z2}}} \cdot (M\psi_{y'_{z2}} \cdot K\varphi_{y_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 119.974 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z2}} := 2 \cdot \beta_{\Phi_{z_{z2}}} \cdot (M\psi_{z'_{z2}} \cdot K\psi_{z_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 98.656 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

* Zapatas Centrales

$$By_{z1} := 2 \cdot \beta_{y_{z1}} \cdot (Mt1 \cdot Ky_{z1_3})^{\frac{1}{2}} = 126.047 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$By_{z3} := 2 \cdot \beta_{y_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Ky_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 182.713 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z3} := 2 \cdot \beta_{z_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Kz_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 363.972 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z3}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{x_{z3}}} \cdot (M\psi_{x'_{z3}} \cdot K\varphi_{x_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 231.732 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z3}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{y_{z3}}} \cdot (M\psi_{y'_{z3}} \cdot K\varphi_{y_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 231.732 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z3}} := 2 \cdot \beta_{\Phi_{z_{z3}}} \cdot (M\psi_{z'_{z3}} \cdot K\psi_{z_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 192.223 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

4.13 Obtención de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para edificación de 4 niveles.

4.13.1 METODO ASCE 41-17, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings"

NIVEL DE PISO: 4 NIVELES

TIPO DE SUELO: ARENA DENSA

MODELO DINÁMICO: NORMA ASCE 41-17

DATOS:

$$B := 19 \text{ m}$$

$$\nu = 0.33$$

$$V_{s_30} := 258 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L := 19 \text{ m}$$

$$\gamma := 17.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$G_{max} := \frac{\gamma}{g} \cdot (V_{s_30})^2 = 118.716 \text{ MPa}$$

Para el suelo tipo E en la ciudad del Coca, se tiene un $P_{ga} =$

$$z := 0.30$$

$$f_a := 1.3$$

$$P_{ga} := z \cdot f_a = 0.39$$

Tabla 9

Effective Shear Modulus Ratio (G/G_0)

| Site Class | Effective Peak Acceleration, $S_{XS}/2.5^a$ | | | |
|------------|---------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | $S_{XS}/2.5 = 0$ | $S_{XS}/2.5 = 0.1$ | $S_{XS}/2.5 = 0.4$ | $S_{XS}/2.5 = 0.8$ |
| A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| B | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.90 |
| C | 1.00 | 0.95 | 0.75 | 0.60 |
| D | 1.00 | 0.90 | 0.50 | 0.10 |
| E | 1.00 | 0.60 | 0.05 | <i>b</i> |
| F | <i>b</i> | <i>b</i> | <i>b</i> | <i>b</i> |

^aUse straight-line interpolation for intermediate values of $S_{XS}/2.5$.

^bSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

ASCE-> Table 9

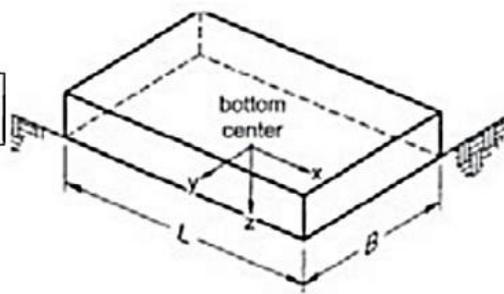
$$v_{\text{tabla}} := 0.4825$$

$$G := G_{\text{max}} \cdot v_{\text{tabla}} = 57.28 \text{ MPa}$$

Resolución

Figura 18 .

Ecuaciones de rigidez en los diferentes ejes

| Degree of Freedom | Stiffness of Foundation at Surface | Note |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation along x -axis | $K_{x,\text{sur}} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$ |  <p>Orient axes such that $L > B$. If $L = B$, use x-axis equations for both x-axis and y-axis.</p> |
| Translation along y -axis | $K_{y,\text{sur}} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$ | |
| Translation along z -axis | $K_{z,\text{sur}} = \frac{GB}{1-\nu} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$ | |
| Rocking about x -axis | $K_{xx,\text{sur}} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$ | |
| Rocking about y -axis | $K_{yy,\text{sur}} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$ | |
| Torsion about z -axis | $K_{zz,\text{sur}} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$ | |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Grados de Libertad

Rigidez de la fundación en la Superficie

Traslación alrededor del Eje X $K_{x,\text{sur}} := \frac{G \cdot B}{2-\nu} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right) = 2997787.366 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Traslación alrededor del Eje Y $K_{y,\text{sur}} := \frac{G \cdot B}{2-\nu} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right) = 2997787.366 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Traslación alrededor del Eje Z
$$K_{zsur} := \frac{G \cdot B}{1 - \nu} \cdot \left(1.55 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right) = 3817266.878 \frac{kN}{m}$$

Rotación alrededor del Eje X
$$K_{xsur} := \frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \cdot \left(0.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right) = 293198583.628 kN \cdot \frac{m}{rad}$$

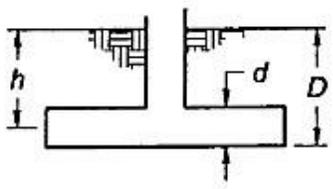
Rotación alrededor del Eje Y
$$K_{ysur} := \frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \cdot \left(0.47 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right) = 295544172.297 kN \cdot \frac{m}{rad}$$

Torsión alrededor del Eje Z
$$K_{zsur} := G \cdot B^3 \cdot \left(0.53 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right) = 408601546.144 kN \cdot \frac{m}{rad}$$

4.13.2 Factores de Corrección por empotramiento

Figura 18

Ecuaciones de factores de corrección

| Degree of Freedom | Correction Factor for Embedment | |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation along x-axis | $\beta_x = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{BE^2} \right)^{0.4} \right]$ |  <p>d = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height)</p> |
| Translation along y-axis | $\beta_y = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{L}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{LE^2} \right)^{0.4} \right]$ | |
| Translation along z-axis | $\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL} \right)^{2/5} \right]$ | |
| Rocking about x-axis | $\beta_{rx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$ | |
| Rocking about y-axis | $\beta_{ry} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$ | |
| Torsion about z-axis | $\beta_{tz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9}$ | |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

DATOS:

$$D = 0.40 \text{ m}$$

$$h = 1.6 \text{ m}$$

$$d = 1.8 \text{ m}$$

Grados de Libertad

Traslación alrededor del Eje X

Traslación alrededor del Eje Y

Traslación alrededor del Eje Z

Rotación alrededor del Eje X

Rotación alrededor del Eje Y

Torsión alrededor del Eje Z

Factores de Corrección por empotramiento

$$B_x = \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{B \cdot L^2} \right)^{0.4} \right) = 1.345$$

$$B_y = \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt{\frac{D}{L}} \right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{L \cdot B^2} \right)^{0.4} \right) = 1.345$$

$$B_z = \left(1 + \frac{1}{21} \cdot \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right) \cdot \left(1 + 0.32 \left(\frac{d \cdot (B+L)}{B \cdot L} \right)^{\frac{2}{3}} \right) = 1.111$$

$$B_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \cdot \left(1 + \frac{2d}{B} \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.2} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{B}{L}} \right) = 1.27$$

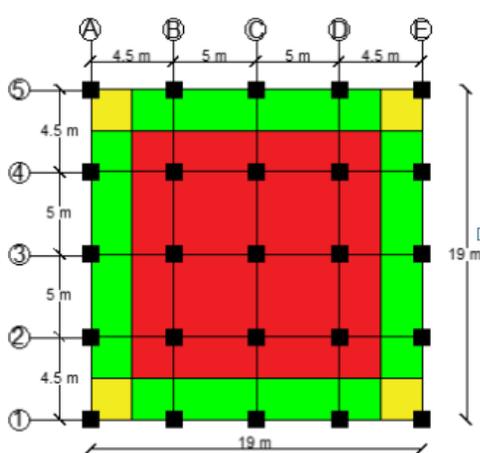
$$B_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \cdot 1.5 + 3.7 \cdot \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} \cdot \left(\left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right) = 1.528$$

$$B_{zz} = \left(1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \cdot \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9} \right) = 1.624$$

4.13.3 Método de Intensidad de Área o Área Tributaria

Figura 19

Distribución de áreas



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

1.- Área Total:

$$A_t := B \cdot L = 361 \text{ m}^2$$

2.- Área Parciales:

2.1 Área de las esquinas:

$$Col_{ezq} = 4$$

$$A_e := (4 \cdot (2.25 \text{ m} \cdot 2.25 \text{ m})) = 20.25 \text{ m}^2$$

2.2- Área Lateral:

$$Col_{Lat} = 12$$

$$A_l := 4 \cdot (14.5 \text{ m} \cdot 2.25 \text{ m}) = 130.5 \text{ m}^2$$

2.3- Área Central:

$$Col_{cent} = 9$$

$$A_c := 14.5 \text{ m} \cdot 14.5 \text{ m} = 210.25 \text{ m}^2$$

4.13.4 Distribución de la rigidez

La distribución de la rigidez en cada una de las direcciones de los grados de libertad.

$$K_{ij} = K_i \frac{A_j 1}{A_t n}$$

Siendo i cada uno de los grados de libertad existentes, j cada uno de los tipos de áreas que a sido discretizada y n el número de columnas en dicha área. Este procedimiento es repetido para cada caso estudiado en la investigación.

4.13.4.1- Rigideces en esquinas:

$$K_{xe1} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 56563.364 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{ye1} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 56563.364 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Kze1 := K_{zsur} \cdot Bz \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 59455.551 \frac{kN}{m}$$

$$Kxe1 := K_{xsur} \cdot Bx \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 5222082.912 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

$$Kye1 := K_{ysur} \cdot By \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 6331695.728 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

$$Kze1 := K_{zsur} \cdot Bz \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 9303002.813 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

4.13.4.3 Rigideces en Laterales:

$$Kxe2 := K_{xsur} \cdot Bx \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 121506.485 \frac{kN}{m}$$

$$Kye2 := K_{ysur} \cdot By \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 121506.485 \frac{kN}{m}$$

$$Kze2 := K_{zsur} \cdot Bz \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 127719.333 \frac{kN}{m}$$

$$Kxe2 := K_{xsur} \cdot Bx \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 11217807.737 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

$$Kye2 := K_{ysur} \cdot By \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 13601420.452 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

$$Kze2 := K_{zsur} \cdot Bz \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 19984228.265 \frac{m \cdot kN}{rad}$$

4.13.4.4 Rigideces en Parte Central:

$$Kxe3 := K_{xsur} \cdot Bx \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 261013.932 \frac{kN}{m}$$

$$Kye3 := K_{ysur} \cdot By \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 261013.932 \frac{kN}{m}$$

$$Kze3 := K_{zsur} \cdot Bz \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 274360.048 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xxe3} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 24097512.917 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{yye3} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 29217866.157 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{zze3} := K_{zlsru} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_{cent}} = 42929082.939 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

4.13.5 ISE , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings"

origin := 1

NIVEL DE PISO: 4 NIVELES

TIPO DE SUELO: ARENA DENSA

MODELOS DINÁMICOS: D.D. BARKAN - O.A. SAVINOV, A.E. SARGSIAN y
NORMA RUSA.

DATOS Para Zapatas:

$$P_{sismico} := 1640.91 \text{ ton}$$

D+0.25 L

$$A_{edf} := 361 \text{ m}^2$$

$$A_{trib1} := 5.06 \cdot \text{m}^2 \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$A_{trib2} := 11.25 \cdot \text{m}^2 \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$A_{trib3} := 25 \cdot \text{m}^2 \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

$$P_{unit_zpt} := \frac{P_{sismico}}{A_{edf}} = 4.545 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$P_{trib_edf_z1} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib1} = 23 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_z2} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib2} = 51.136 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_z3} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib3} = 113.636 \text{ ton}$$

$$a_{z1} = 3 \text{ m} \quad b_{z1} = 3 \text{ m} \quad c_{z1} = 0.4 \text{ m} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$a_{z2} = 3.35 \text{ m} \quad b_{z2} = 3.35 \text{ m} \quad c_{z2} = 0.4 \text{ m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$a_{z3} = 3.7 \text{ m} \quad b_{z3} = 3.7 \text{ m} \quad c_{z3} = 0.4 \text{ m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

DATOS Para Suelo:

$$\gamma_c := 2.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad * \text{ Peso Especifico de Hormigón.}$$

Tabla Coeficiente experimental para: $\rho_o := 0.2 \frac{kg}{cm^2}$ $C_o := 1.4 \frac{kg}{3}$ * Mirar

Coeficiente de Poisson del suelo: $\mu_s := 0.33$

Módulo de Elasticidad del Suelo: $\epsilon_s := 28.40 MPa$

Densidad del Suelo: $\rho_{s1} := 0.18 \frac{ton \cdot s^2}{m^4}$ $\rho_{s2} := 1.8 \frac{kN \cdot s^2}{m^4}$ $A_{10} := 10 m^2$
 $\phi_s := 0.833$

Coeficiente Empírico del suelo $b_o := 1.5 m^{-1}$ Valor Experimental según tipo de suelo

Módulo de Deformación Suelo : $M_s := 2896 \frac{ton}{m^2}$

4.13.5.1.- Modelo BARKAN D.D:

1).- Calculamos masas Traslacionales.

Teorema del Paralepipedo: $M_t = M_x = M_y = M_z = \gamma_c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot V_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$M_{t1} := \gamma_c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.881 \frac{ton \cdot s^2}{m}$$

* Zapatas Esquinas

$$M_{t2} := \gamma_c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.098 \frac{ton \cdot s^2}{m}$$

* Zapatas Laterales

$$M_{t3} := \gamma_c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.34 \frac{ton \cdot s^2}{m}$$

* Zapatas Centrales

2).- Calculamos masas Rotacionales.

$$M_{\varphi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi z'} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12}$$

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.708 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.708 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 1.321 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.086 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.086 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 2.054 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Centrales

$$M\psi_{x'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 1.6 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 1.6 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 3.057 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota: Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Pesos de Cada Zapata y Área de cada Zapata

* Zapatas Esquinas

$$P_{zpt1} := a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1} \cdot \gamma_c = 8.64 \text{ ton} \quad \text{Area}_{z1} := a_{z1} \cdot b_{z1} = 9 \text{ m}^2$$

* Zapatas Laterales

$$P_{zpt2} := a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2} \cdot \gamma_c = 10.774 \text{ ton} \quad \text{Area}_{z2} := a_{z2} \cdot b_{z2} = 11.223 \text{ m}^2$$

* Zapatas Centrales

$$P_{zpt3} := a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3} \cdot \gamma_c = 13.142 \text{ ton} \quad \text{Area}_{z3} := a_{z3} \cdot b_{z3} = 13.69 \text{ m}^2$$

4).- Calculo de Presión estática en Cada Zapata

$$\rho = \frac{p_{\text{edif}}^{\text{trib}} + P_{\text{zap}}}{A_{\text{zap}}}$$

* Zapatas Esquinas

$$p_{z1} := \frac{P_{\text{trib_edf_z1}} + P_{\text{zpt1}}}{\text{Area_z1}} = 3.516 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z1} := p_{z1} \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot \text{kg}}{10 \cdot \text{cm}^2} = 0.352 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

* Zapatas Laterales

$$p_{z2} := \frac{P_{\text{trib_edf_z2}} + P_{\text{zpt2}}}{\text{Area_z2}} = 5.517 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z2} := p_{z2} \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot \text{kg}}{10 \cdot \text{cm}^2} = 0.552 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

* Zapatas Centrales

$$p_{z3} := \frac{P_{\text{trib_edf_z3}} + P_{\text{zpt3}}}{\text{Area_z3}} = 9.261 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z3} := p_{z3} \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot \text{kg}}{10 \cdot \text{cm}^2} = 0.926 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

5).- Calculamos Do.

$$D_o := \frac{1 - \mu_s}{1 - (0.5) \cdot (\mu_s)} \cdot C_o = 1.123 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

6).- Coeficientes de Compresión y Desplazamiento.

Coeficientes de compresión y desplazamiento

$$C_x = C_y = D_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

* Zapatas Esquinas

$$C_{x_z1} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 3.475 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z1} = 3.475 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{x_z1} = 3475 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z1} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 3475163.327 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z1} = 3.475 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{y_z1} = 3475 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 4330987.131 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z1} = 4.331 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{z_z1} = 4331 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + 3 \cdot (b_z1))}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 6805836.92 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} = 6806 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z1 + 3 \cdot (a_z1))}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 6805836.92 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} = 6.806 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} = 6806 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} = 6.806 \frac{kg}{cm^3}$$

* Zapatas Laterales

$$C_{x_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4.093 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z2} = 4.093 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{x_z2} = 4093 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4093355.5 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z2} = 4.093 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{y_z2} := 4093 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 5101420.66 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z2} = 5.101 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{z_z2} := 5101 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + 3 \cdot (b_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 7877704.013 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} = 7.878 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{\varphi x_z2} := 7878 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z2 + 3 \cdot (a_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 7877704.013 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} = 7.878 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{\varphi y_z2} := 7878 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

* Zapatas Laterales

$$C_{x_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4.093 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$C_{x_z2} = 4.093 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{x_z2} := 4093 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4093355.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z2} = 4.093 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{y_z2} := 4093 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 5101420.66 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z2} = 5.101 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{z_z2} := 5101 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + 3 \cdot (b_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z2}{\rho o}} = 7877704.013 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} = 7.878 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad C_{\varphi x_z2} := 7878 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z2 + 3 \cdot (a_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 7877704.013 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} = 7.878 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := 7878 \frac{ton}{m^3}$$

7).- Coeficientes de Rigidez de desplazamiento Y compresión. K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$

$$\begin{aligned} K_x &= K_y = C_x A \\ K_z &= C_z A \\ K_{\varphi x} &= C_{\varphi x} I_x \end{aligned}$$

* Zapatas Esquinas

$$K_{x_z1_1} := C_{x_z1} \cdot Area_z1 = 31275 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_z1_1} := C_{y_z1} \cdot Area_z1 = 31275 \frac{ton}{m}$$

$$K_{z_z1_1} := C_{z_z1} \cdot Area_z1 = 38979 \frac{ton}{m}$$

$$K_{\varphi x_z1_1} := C_{\varphi x_z1} \cdot \frac{a_z1 \cdot b_z1^3}{12} = 45940.5 \text{ ton} \cdot m$$

$$K_{\varphi y_z1_1} := C_{\varphi y_z1} \cdot \frac{b_z1 \cdot a_z1^3}{12} = 45940.5 \text{ ton} \cdot m$$

* Zapatas Laterales

$$K_{x_z2_1} := C_{x_z2} \cdot Area_z2 = 45933.693 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_z2_1} := C_{y_z2} \cdot Area_z2 = 45933.693 \frac{ton}{m}$$

$$K_{z_z2_1} := C_{z_z2} \cdot Area_z2 = 57245.973 \frac{ton}{m}$$

$$K\varphi_{x_z2_1} := C\varphi_{x_z2} \cdot \frac{a_z2 \cdot b_z2^3}{12} = 82682.568 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z2_1} := C\varphi_{y_z2} \cdot \frac{b_z2 \cdot a_z2^3}{12} = 82682.568 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

* Zapatas Centrales

$$Kx_{z3_1} := Cx_{z3} \cdot Area_{z3} = 68874.39 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_{z3_1} := Cy_{z3} \cdot Area_{z3} = 68874.39 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_{z3_1} := Cz_{z3} \cdot Area_{z3} = 85822.61 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z3_1} := C\varphi_{x_z3} \cdot \frac{a_z3 \cdot b_z3^3}{12} = 148777.147 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z3_1} := C\varphi_{y_z3} \cdot \frac{b_z3 \cdot a_z3^3}{12} = 164001.843 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

4.13.5.2.- Modelo A.E SARGSIAN

1).- Calculamos masas Traslacionales.

$$\text{Teorema del Paralepipedo: } M_t = M_x = M_y = M_z: \gamma_c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot V_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma_c \cdot \frac{a_z1 \cdot b_z1 \cdot c_z1}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.881 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

* Zapatas Esquinas

$$Mt2 := \gamma_c \cdot \frac{a_z2 \cdot b_z2 \cdot c_z2}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.098 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

* Zapatas Laterales

$$Mt3 := \gamma_c \cdot \frac{a_z3 \cdot b_z3 \cdot c_z3}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.34 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

* Zapatas Centrales

2).- Calculamos masas Rotacionales.

$$M_{\varphi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t(b^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t(a^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\varphi z'} = I_{mz} = \frac{M_t(a^2 + b^2)}{12}$$

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := M t_1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{M t_1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.708 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_1} := M t_1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{M t_1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.708 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{M t_1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 1.321 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'_2} := M t_2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{M t_2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.086 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_2} := M t_2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{M t_2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.086 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{M t_2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 2.054 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Centrales

$$M\psi_{x'_3} := M t_3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{M t_3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 1.6 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_3} := M t_3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{M t_3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 1.6 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_3} := \frac{M t_3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 3.057 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota : Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Velocidades de Propagación de Ondas Longitudinales y Transversales

3.1).- Calculamos Velocidad de Propagación de las ondas longitudinales en suelo de Fundición.

$$C1 := \sqrt[2]{\frac{(1-\mu s) \cdot \epsilon s}{(1+\mu s) \cdot (1-2 \cdot \mu s) \cdot \rho s2}} = 152.896 \frac{m}{s}$$

3.2).- Calculamos Velocidad de Propagación de las ondas Transversales en suelo de Fundición.

$$C2 := \sqrt[2]{\frac{\epsilon s}{2 \cdot (1+\mu s) \cdot \rho s2}} = 77.016 \frac{m}{s}$$

4).- Coeficientes de Rigidez de desplazamiento Y compresión. K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$

* Zapatas Esquinas

$$K_{x_z1_2} := \frac{28.8 \cdot (1-\mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z1 \cdot b_z1}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6001.234 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_z1_2} := \frac{28.8 \cdot (1-\mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z1 \cdot b_z1}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6001.234 \frac{ton}{m}$$

$$K_{z_z1_2} := \frac{\rho s1 \cdot C1^2 \cdot \sqrt[2]{a_z1 \cdot b_z1}}{\Phi s \cdot (1-\mu s^2)} = 17006.4 \frac{ton}{m}$$

$$K_{\varphi x_z1_2} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{a_z1 \cdot b_z1^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi \cdot (1-\mu s)} \cdot \sqrt[2]{a_z1 \cdot b_z1}} = 17234.912 \text{ ton} \cdot m$$

$$K_{\varphi y_z1_2} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{b_z1 \cdot a_z1^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi \cdot (1-\mu s)} \cdot \sqrt[2]{a_z1 \cdot b_z1}} = 17234.912 \text{ ton} \cdot m$$

* Zapatas Laterales

$$K_{x_z2_2} := \frac{28.8 \cdot (1-\mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z2 \cdot b_z2}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6701.377 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_{z2_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6701.377 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z2_2}} := \frac{\rho s1 \cdot C1^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 18990.48 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z2_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}} = 23998.259 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_{z2_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{b_{z2} \cdot a_{z2}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}} = 23998.259 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Centrales**

$$K_{x_{z3_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z3} \cdot b_{z3}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 7401.521 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z3_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt{a_{z3} \cdot b_{z3}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 7401.521 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z3_2}} := \frac{\rho s1 \cdot C1^2 \cdot \sqrt{a_{z3} \cdot b_{z3}}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 20974.56 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z3_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z3} \cdot b_{z3}}} = 32333.334 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_{z3_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z3} \cdot b_{z3}}} = 32333.334 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

4.13.5.3 Modelo NORMA RUSA

1).- Calculamos masas Traslacionales.

$$\text{Teorema del Paralepipedo: } Mt=Ms=My=Mz: \gamma c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 0.881 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.098 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.34 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2} \right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.708 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2} \right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 0.708 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 1.321 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2} \right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.086 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2} \right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.086 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 2.054 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

*** Zapatas Centrales**

$$M\psi_{x'3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 1.6 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 1.6 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 3.057 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota : Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Calculamos Coeficientes de Compresión Elástica Uniforme

Calculamos el coeficiente de compresión elástica uniforme por la fórmula 2.17 de la pag. 37 del libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro

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

Donde:

b_0 : coeficiente (m^{-2}) asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1.2; para arcillas, cascajas, gravas, cantos rodados, arenas densas igual a 1.5.

E_s : módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación, kPa (T/m^2), determinadas por las tablas 3 y 4 del anexo de la investigación [144] o en forma experimental.

$A_{10} = 10m^2$

A : área de la base de la cimentación (m^2)

$A = a \cdot b$

$$Cz_{z1} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z1} \cdot b_{z1}}} \right) = 8922.978 \frac{\text{ton}}{m^3} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Cz_{z2} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z2} \cdot b_{z2}}} \right) = 8444.577 \frac{\text{ton}}{m^3} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Cz_{z3} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z3} \cdot b_{z3}}} \right) = 8056.685 \frac{\text{ton}}{m^3} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

4).- Calculo de Coeficientes de desplazamiento elástico Uniforme, compresión elástica no uniforme, desplazamiento elástico no uniforme.

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$C_{x_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6246.085 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 17845.956 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 17845.956 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z1} := C_{z_z1} = 8922.978 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6246.085 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$C_{x_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6246.085 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 17845.956 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := 2 \cdot C_{z_z1} = 17845.956 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z1} := C_{z_z1} = 8922.978 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z1} := 0.7 \cdot C_{z_z1} = 6246.085 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

*** Zapatas Laterales**

$$C_{x_z2} := 0.7 \cdot C_{z_z2} = 5911.204 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := 2 \cdot C_{z_z2} = 16889.155 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := 2 \cdot C_{z_z2} = 16889.155 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z2} := C_{z_z2} = 8444.577 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z2} := 0.7 \cdot C_{z_z2} = 5911.204 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

*** Zapatas Centrales**

$$C_{x_z3} := 0.7 \cdot C_{z_z3} = 5639.679 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} := 2 \cdot C_{z_z3} = 16113.37 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} := 2 \cdot C_{z_z3} = 16113.37 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z3} := C_{z_z3} = 8056.685 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z3} := 0.7 \cdot C_{z_z3} = 5639.679 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

5).- Ahora calculamos coeficientes de Rigidez K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$K_{x_z1_3} := C_{x_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 56214.762 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_z1_3} := C_{y_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 56214.762 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_z1_3} := C_{z_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 80306.802 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_z1_3} := C_{\varphi x_z1} \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12} = 120460.204 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_z1_3} := C_{\varphi y_z1} \cdot \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12} = 120460.204 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\psi z_z1_3} := C_{\psi z_z1} \cdot \left(\frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12} + \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12} \right) = 120460.204 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Laterales**

$$K_{x_z2_3} := C_{x_z2} \cdot a_{z2} \cdot b_{z2} = 66338.489 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_z2_3} := C_{y_z2} \cdot a_{z2} \cdot b_{z2} = 66338.489 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_z2_3} := C_{z_z2} \cdot a_{z2} \cdot b_{z2} = 94769.269 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_z2_3} := C_{\varphi x_z2} \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12} = 177258.021 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_z2_3} := C_{\varphi y_z2} \cdot \frac{b_{z2} \cdot a_{z2}^3}{12} = 177258.021 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\psi_{z2_3} := C\psi_{z2_3} \cdot \left(\frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12} + \frac{b_{z2} \cdot a_{z2}^3}{12} \right) = 177258.021 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Centrales**

$$Kx_{z3_3} := Cx_{z3} \cdot a_{z3} \cdot b_{z3} = 77207.211 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_{z3_3} := Cy_{z3} \cdot a_{z3} \cdot b_{z3} = 77207.211 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_{z3_3} := Cz_{z3} \cdot a_{z3} \cdot b_{z3} = 110296.016 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z3_3} := C\varphi_{x_z3} \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12} = 251658.744 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z3_3} := C\varphi_{y_z3} \cdot \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12} = 251658.744 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\psi_{z3_3} := C\psi_{z3} \cdot \left(\frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12} + \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12} \right) = 251658.744 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Se asignaron las propiedades de los resortes traslacionales y rotacionales a través del elemento SPRING. Para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 se liberó la rotación alrededor del eje vertical, debido a la existencia del coeficiente de rigidez $K_{\psi z}$.

6).- Calculamos el Parámetro de Amortiguamiento β_z

$$\beta_z := 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_s}{C_z \cdot P_m}}$$

$$P_m := 30 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Valor Experimental según tipo de suelo

$$C_{z_z1} = (8.923 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z2} = (8.445 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z3} = (8.057 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$\beta_{z_z1} := 0.6240$$

$$\beta_{z_z2} := 0.641$$

$$\beta_{z_z3} := 0.656$$

7).- Calculo de los Parámetros de Amortiguamiento $\beta_x, \beta_y, \beta\Phi_x, \beta\Phi_y, \beta\Phi_z \dots$

*** Zapatas Esquinas**

$$\beta_{x_z1} := 0.6 \cdot \beta_{z_z1} = 0.374$$

$$\beta\Phi_{y_z1} := 0.5 \cdot \beta_{z_z1} = 0.312$$

$$\beta_{y_z1} := 0.6 \cdot \beta_{z_z1} = 0.374$$

$$\beta\Phi_{z_z1} := 0.3 \cdot \beta_{z_z1} = 0.187$$

$$\beta\Phi_{x_z1} := 0.5 \cdot \beta_{z_z1} = 0.312$$

*** Zapatas Laterales**

$$\beta_{x_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.385$$

$$\beta\Phi_{y_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.321$$

$$\beta_{y_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.385$$

$$\beta_{\Phi z_z2} := 0.3 \cdot \beta_{z_z2} = 0.192$$

$$\beta_{\Phi x_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.321$$

* Zapatas Centrales

$$\beta_{x_z3} := 0.6 \cdot \beta_{z_z3} = 0.394$$

$$\beta_{\Phi y_z3} := 0.5 \cdot \beta_{z_z3} = 0.328$$

$$\beta_{y_z3} := 0.6 \cdot \beta_{z_z3} = 0.394$$

$$\beta_{\Phi z_z3} := 0.3 \cdot \beta_{z_z3} = 0.197$$

$$\beta_{\Phi x_z3} := 0.5 \cdot \beta_{z_z3} = 0.328$$

8).- Calculo de las Características de Amortiguamiento $B_x, B_y, B_{\varphi x}, B_{\varphi y}, B_{\Phi z} \dots$

* Zapatas Esquinas

$$B_{x_z1} := 2 \cdot \beta_{x_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{x_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 166.615 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{y_z1} := 2 \cdot \beta_{y_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{y_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 166.615 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{z_z1} := 2 \cdot \beta_{z_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{z_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 331.904 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{\varphi x_z1} := 2 \cdot \beta_{\Phi x_z1} \cdot (M\psi_{x'_1} \cdot K_{\varphi x_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 182.17 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B_{\varphi y_z1} := 2 \cdot \beta_{\Phi y_z1} \cdot (M\psi_{y'_1} \cdot K_{\varphi y_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 182.17 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B_{\Phi z_z1} := 2 \cdot \beta_{\Phi z_z1} \cdot (M\psi_{z'_1} \cdot K_{\psi z_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 149.357 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

* Zapatas Laterales

$$B_{x_z2} := 2 \cdot \beta_{x_z2} \cdot (Mt2 \cdot K_{x_z2_3})^{\frac{1}{2}} = 207.619 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{y_z2} := 2 \cdot \beta_{y_z2} \cdot (Mt2 \cdot K_{y_z2_3})^{\frac{1}{2}} = 207.619 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z2} := 2 \cdot \beta_{z_{z2}} \cdot (Mt2 \cdot Kz_{z2_3})^{\frac{1}{2}} = 413.588 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z2}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{x_{z2}}} \cdot (M\psi_{x'_{z2}} \cdot K\varphi_{x_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 281.193 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z2}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{y_{z2}}} \cdot (M\psi_{y'_{z2}} \cdot K\varphi_{y_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 281.193 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z2}} := 2 \cdot \beta_{\Phi_{z_{z2}}} \cdot (M\psi_{z'_{z2}} \cdot K\psi_{z_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 232.074 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

* Zapatas Centrales

$$Bx_{z3} := 2 \cdot \beta_{x_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Kx_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 253.173 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$By_{z3} := 2 \cdot \beta_{y_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Ky_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 253.173 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z3} := 2 \cdot \beta_{z_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Kz_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 504.332 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z3}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{x_{z3}}} \cdot (M\psi_{x'_{z3}} \cdot K\varphi_{x_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 416.241 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z3}} := 2 \cdot \beta_{\varphi_{y_{z3}}} \cdot (M\psi_{y'_{z3}} \cdot K\varphi_{y_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 416.241 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z3}} := 2 \cdot \beta_{\Phi_{z_{z3}}} \cdot (M\psi_{z'_{z3}} \cdot K\psi_{z_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 345.215 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

4.14 Obtención de coeficientes de rigidez y amortiguamiento para edificación de 5 niveles

4.14.1 METODO ASCE 41-17 , "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings"

NIVEL DE PISO: 5 NIVELES

TIPO DE SUELO: ARENA DENSA

MODELO DINÁMICO: NORMA ASCE 41-17

DATOS:

$$B := 19 \text{ m}$$

$$v := 0.33$$

$$V_{s_30} := 258 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L := 19 \text{ m}$$

$$\gamma := 17.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$G_{max} := \frac{\gamma}{g} \cdot (V_{s_30})^2 = 118.716 \text{ MPa}$$

Para el suelo tipo E en la ciudad del Coca, se tiene un $P_{ga} =$

$$z := 0.30$$

$$f_a := 1.3$$

$$P_{ga} := z \cdot f_a = 0.39$$

Tabla 10

Effective Shear Modulus Ratio (G/G_0)

| Site Class | Effective Peak Acceleration, $S_{XS}/2.5^a$ | | | |
|------------|---------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | $S_{XS}/2.5 = 0$ | $S_{XS}/2.5 = 0.1$ | $S_{XS}/2.5 = 0.4$ | $S_{XS}/2.5 = 0.8$ |
| A | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| B | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.90 |
| C | 1.00 | 0.95 | 0.75 | 0.60 |
| D | 1.00 | 0.90 | 0.50 | 0.10 |
| E | 1.00 | 0.60 | 0.05 | <i>b</i> |
| F | <i>b</i> | <i>b</i> | <i>b</i> | <i>b</i> |

^aUse straight-line interpolation for intermediate values of $S_{XS}/2.5$.

^bSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed.

ASCE-> Table 10

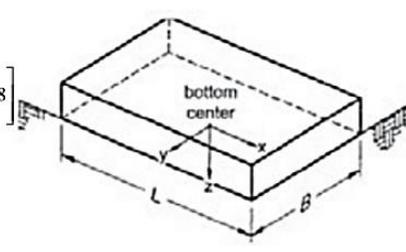
$$v_{tabla} := 0.4825$$

$$G := G_{max} \cdot v_{tabla} = 57.28 \text{ MPa}$$

Resolución

Figura 20

Ecuaciones de rigidez en los diferentes ejes

| Degree of Freedom | Stiffness of Foundation at Surface | Note |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation along x -axis | $K_{x, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$ |  <p style="text-align: center;">Orient axes such that $L > B$. If $L = B$, use x-axis equations for both x-axis and y-axis.</p> |
| Translation along y -axis | $K_{y, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$ | |
| Translation along z -axis | $K_{z, sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$ | |
| Rocking about x -axis | $K_{xx, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$ | |
| Rocking about y -axis | $K_{yy, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$ | |
| Torsion about z -axis | $K_{zz, sur} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$ | |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Grados de Libertad

Rigidez de la fundación en la Superficie

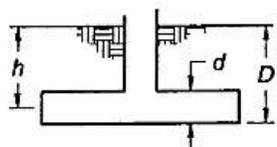
| | |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Traslación alrededor del Eje X | $K_{x sur} := \frac{G \cdot B}{2 - \nu} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right) = 2997787.366 \frac{kN}{m}$ |
| Traslación alrededor del Eje Y | $K_{y sur} := \frac{G \cdot B}{2 - \nu} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right) = 2997787.366 \frac{kN}{m}$ |
| Traslación alrededor del Eje Z | $K_{z sur} := \frac{G \cdot B}{1 - \nu} \cdot \left(1.55 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right) = 3817266.878 \frac{kN}{m}$ |
| Rotación alrededor del Eje X | $K_{xx sur} := \frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \cdot \left(0.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right) = 293198583.628 \frac{kN \cdot m}{rad}$ |
| Rotación alrededor del Eje Y | $K_{yy sur} := \frac{G \cdot B^3}{1 - \nu} \cdot \left(0.47 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right) = 295544172.297 \frac{kN \cdot m}{rad}$ |
| Torsión alrededor del Eje Z | $K_{zz sur} := G \cdot B^3 \cdot \left(0.53 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right) = 408601546.144 \frac{kN \cdot m}{rad}$ |

4.14.2 Factores de Corrección por empotramiento

Figura 21

Ecuaciones de factores de corrección

| Degree of Freedom | Correction Factor for Embedment |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation along x-axis | $\beta_x = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}}\right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{BL^2}\right)^{0.4}\right]$ |
| Translation along y-axis | $\beta_y = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{L}}\right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{LB^2}\right)^{0.4}\right]$ |
| Translation along z-axis | $\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L}\right)\right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL}\right)^{\frac{2}{3}}\right]$ |
| Rocking about x-axis | $\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}}\right]$ |
| Rocking about y-axis | $\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L}\right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L}\right)^{1.9} \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.6}\right]$ |
| Torsion about z-axis | $\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{d}{B}\right)^{0.9}$ |



d = height of effective
sidewall contact (may be
less than total foundation
height)

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

DATOS:

$$D := 0.45 \text{ m}$$

$$d := 2.25 \text{ m}$$

$$h := 2.02 \text{ m}$$

Grados de Libertad

Factores de Corrección por empotramiento

Traslación alrededor del Eje X

$$B_{xx} := \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt{\frac{D}{B}}\right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{B \cdot L^2}\right)^{0.4}\right) = 1.411$$

Traslación alrededor del Eje Y

$$B_{yy} := \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt{\frac{D}{L}}\right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{L \cdot B^2}\right)^{0.4}\right) = 1.411$$

Traslación alrededor del Eje Z

$$B_{zz} := \left(1 + \frac{1}{21} \cdot \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L}\right)\right) \cdot \left(1 + 0.32 \left(\frac{d \cdot (B+L)}{B \cdot L}\right)^{\frac{2}{3}}\right) = 1.128$$

Rotación alrededor del Eje X

$$B_{xxx} := 1 + 2.5 \frac{d}{B} \cdot \left(1 + \frac{2d}{B} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.2}\right) \cdot \left(\sqrt{\frac{B}{L}}\right) = 1.347$$

Rotación alrededor del Eje Y

$$B_{yyy} := 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L}\right)^{0.6} \cdot 1.5 + 3.7 \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{1.9} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.6} = 1.608$$

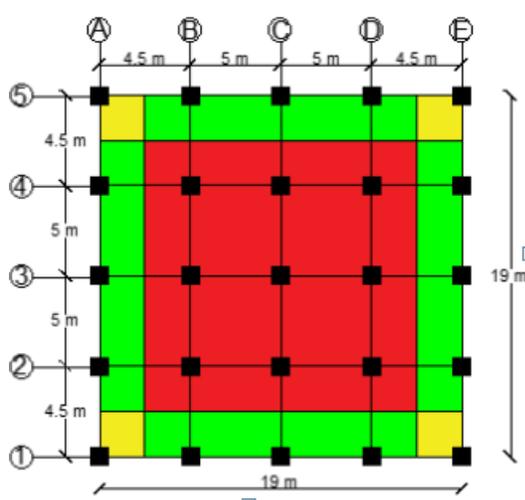
Torsión alrededor del Eje Z

$$B_{zzz} := \left(1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \cdot \left(\frac{d}{B}\right)^{0.9}\right) = 1.762$$

4.14.3 Método de Intensidad de Área o Área Tributaria

Figura 22

Distribución



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

1.- Área Total:

$$A_t := B \cdot L = 361 \text{ m}^2$$

2.- Área Parciales:

2.1 Área de las esquinas:

$$Col_{ezq} = 4$$

$$A_e := (4 \cdot (2.25 \text{ m} \cdot 2.25 \text{ m})) = 20.25 \text{ m}^2$$

$$Col_{Lat} = 12$$

2.2- Área Lateral:

$$A_l := 4 \cdot (14.5 \text{ m} \cdot 2.25 \text{ m}) = 130.5 \text{ m}^2$$

$$Col_{cent} = 9$$

2.3- Área Central:

$$A_c := 14.5 \text{ m} \cdot 14.5 \text{ m} = 210.25 \text{ m}^2$$

4.14.4 Distribución de la rigidez

La distribución de la rigidez en cada una de las direcciones de los grados de libertad.

$$K_{ij} = K_i \frac{A_j 1}{A_t n}$$

Siendo i cada uno de los grados de libertad existentes, j cada uno de los tipos de áreas que ha sido discreteada y n el número de columnas en dicha área. Este procedimiento es repetido para cada caso estudiado en la investigación.

4.14.4.1- Rigideces en esquinas:

$$K_{xe1} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 59320.893 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ye1} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 59320.893 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ze1} := K_{zsur} \cdot B_z \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 60400.776 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xe1} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 5537913.901 \frac{kN}{m \cdot rad}$$

$$K_{ye1} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 6665599.262 \frac{kN}{m \cdot rad}$$

$$K_{ze1} := K_{zsur} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Ae}{At} \cdot \frac{1}{Col_{ezq}} = 10097686.223 \frac{kN}{m \cdot rad}$$

4.14.4.2- Rigideces en Laterales:

$$K_{xe2} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 127430.066 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ye2} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 127430.066 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ze2} := K_{zsur} \cdot B_z \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 129749.815 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xe2} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_{Lat}} = 11896259.491 \frac{kN}{m \cdot rad}$$

$$K_{yye2} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 14318694.711 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{zze2} := K_{zzsur} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Al}{At} \cdot \frac{1}{Col_Lat} = 21691325.96 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

4.14.4.3- Rigideces en Parte Central:

$$K_{xe3} := K_{xsur} \cdot B_x \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 273738.661 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ye3} := K_{ysur} \cdot B_y \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 273738.661 \frac{kN}{m}$$

$$K_{ze3} := K_{zsur} \cdot B_z \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 278721.824 \frac{kN}{m}$$

$$K_{xXe3} := K_{xxsur} \cdot B_{xx} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 25554927.797 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{yYe3} := K_{yysur} \cdot B_{yy} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 30758677.528 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

$$K_{zZe3} := K_{zzsur} \cdot B_{zz} \cdot \frac{Ac}{At} \cdot \frac{1}{Col_cent} = 46596181.692 \text{ m} \cdot \frac{kN}{rad}$$

4.14.5 ISE, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings"

origin := 1

NIVEL DE PISO: 5 NIVELES

TIPO DE SUELO: ARENA DENSA

MODELOS DINÁMICOS: D.D. BARKAN - O.A. SAVINOV , A.E. SARGSIAN y

NORMA RUSA

DATOS Para Zapatas :

| | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| | $P_{sismico} := 2191.45 \text{ ton}$ | D+0.25 L |
| $A_{edf} := 361 \text{ m}^2$ | | |
| $A_{trib1} := 5.06 \cdot \text{m}^2$ | | * Zapatas Esquinas |
| $A_{trib2} := 11.25 \cdot \text{m}^2$ | | * Zapatas Laterales |
| $A_{trib3} := 25 \cdot \text{m}^2$ | | * Zapatas Centrales |

$$P_{unit_zpt} := \frac{P_{sismico}}{A_{edf}} = 6.07 \frac{ton}{m^2}$$

$$P_{trib_edf_z1} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib1} = 30.717 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_z2} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib2} = 68.293 \text{ ton}$$

$$P_{trib_edf_z3} := P_{unit_zpt} \cdot A_{trib3} = 151.762 \text{ ton}$$

$$a_{z1} = 3.2 \text{ m} \quad b_{z1} := 3.2 \text{ m} \quad c_{z1} = 0.45 \text{ m} \quad * \text{ Zapatas Esquineras}$$

$$a_{z2} = 3.5 \text{ m} \quad b_{z2} := 3.5 \text{ m} \quad c_{z2} = 0.45 \text{ m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$a_{z3} = 3.85 \text{ m} \quad b_{z3} := 3.85 \text{ m} \quad c_{z3} = 0.45 \text{ m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

DATOS Para Suelo :

$$\gamma_c := 2.4 \frac{ton}{m^3}$$

* Peso Especifico de Hormigón.

Tabla Coeficiente experimental para : $\rho_o := 0.2 \frac{kg}{cm^3}$ $C_o := 1.4 \frac{kg}{cm^3}$ * Mirar

Coeficiente de Poisson del suelo : $\mu_s := 0.33$

Modulo de Elasticidad del Suelo : $\epsilon_s := 28.40 \text{ MPa}$

Densidad del Suelo : $\rho_{s1} := 0.18 \frac{ton \cdot s^2}{m^4}$ $\rho_{s2} := 1.8 \frac{kN \cdot s^2}{m^4}$ $A_{10} := 10 \text{ m}^2$
 $\Phi_s := 0.833$

suelo Coeficiente Empírico del suelo : $b_o := 1.5 \text{ m}^{-1}$ Valor Experimental según tipo de

Módulo de Deformación Suelo : $M_s := 2896 \frac{ton}{m^2}$

4.14.5.1- Modelo BARKAN D.D:

1).- Calculamos masas Traslacionales.

$$\text{Teorema del Paralepipedo: } M_t = M_x = M_y = M_z = \gamma_c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot V_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma_c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.127 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma_c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.349 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma_c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1.632 \frac{\text{ton} \cdot s^2}{m} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

$$M_{\psi x'} = M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\psi y'} = M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12}$$

$$M_{\psi z'} = I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12}$$

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 1.038 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 1.038 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 1.924 \text{ ton} \cdot m \cdot s^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.468 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.468 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 2.753 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Centrales

$$M\psi_{x'3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 2.126 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 2.126 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 4.031 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota: Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Pesos de Cada Zapata y Área de cada Zapata

* Zapatas Esquinas

$$P_{zpt1} := a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1} \cdot \gamma_c = 11.059 \text{ ton} \quad \text{Area}_{z1} := a_{z1} \cdot b_{z1} = 10.24 \text{ m}^2$$

* Zapatas Laterales

$$P_{zpt2} := a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2} \cdot \gamma_c = 13.23 \text{ ton} \quad \text{Area}_{z2} := a_{z2} \cdot b_{z2} = 12.25 \text{ m}^2$$

* Zapatas Centrales

$$P_{zpt3} := a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3} \cdot \gamma_c = 16.008 \text{ ton} \quad \text{Area}_{z3} := a_{z3} \cdot b_{z3} = 14.823 \text{ m}^2$$

4).- Calculo de Presión estática en Cada Zapata

$$\rho = \frac{P_{trib}^{edif} + P_{zap}}{A_{zap}}$$

* Zapatas Esquinas

$$p_{z1} := \frac{P_{trib_edf_z1} + P_{zpt1}}{\text{Area}_{z1}} = 4.08 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$p_{z1} := p_{z1} \cdot 1 \cdot \frac{m^2}{ton} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot kg}{10 \cdot cm^2} = 0.408 \frac{kg}{cm^2}$$

* Zapatas Laterales

$$p_{z2} := \frac{P_{trib_edf_z2} + P_{zpt2}}{Area_z2} = 6.655 \frac{ton}{m^2}$$

$$p_{z2} := p_{z2} \cdot 1 \cdot \frac{m^2}{ton} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot kg}{10 \cdot cm^2} = 0.665 \frac{kg}{cm^2}$$

* Zapatas Centrales

$$p_{z3} := \frac{P_{trib_edf_z3} + P_{zpt3}}{Area_z3} = 11.319 \frac{ton}{m^2}$$

$$p_{z3} := p_{z3} \cdot 1 \cdot \frac{m^2}{ton} \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot kg}{10 \cdot cm^2} = 1.132 \frac{kg}{cm^2}$$

5).- Calculamos Do.

$$Do := \frac{1 - \mu s}{1 - (0.5) \cdot (\mu s)} \cdot Co = 1.123 \frac{kg}{cm^3}$$

6).- Coeficientes de Compresión y Desplazamiento.

Coeficientes de compresión y desplazamiento

$$C_x = C_y = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

* Zapatas Esquinas

$$C_{x_z1} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 3.61 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z1} = 3.61 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z1} = 3610 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z1} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 3609914.633 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z1} = 3.61 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{y_z1} = 3610 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + b_z1)}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 4498923.46 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z1} = 4.4989 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{z_z1} = 4498 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z1 + 3 \cdot (b_z1))}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 6998325.382 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} = 6.998 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi x_z1} = 6998 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z1 + 3 \cdot (a_z1))}{1 \cdot a_z1 \cdot b_z1} \right) \right) \cdot \sqrt[2]{\frac{p_z1}{\rho o}} = 6998325.382 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} = 6.998 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi y_z1} = 6998 \frac{ton}{m^3}$$

* Zapatas Laterales

$$C_{x_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4.391 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z2} = 4.391 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z2} = 4391 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z2} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 4391035.091 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z2} = 4.391 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{y_z2} = 4391 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + b_z2)}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 5472409.404 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z2} = 5.472 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{z_z2} = 5472 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z2 + 3 \cdot (b_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 8391027.753 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} = 8.391 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} = 8391 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z2 + 3 \cdot (a_z2))}{1 \cdot a_z2 \cdot b_z2} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z2}{\rho o}} = 8391027.753 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} = 8.391 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} = 8391 \frac{ton}{m^3}$$

* Zapatas Centrales

$$C_{x_z3} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + b_z3)}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho o}} = 5.449 \frac{kg}{cm^3}$$

$$C_{x_z3} = 5.449 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{x_z3} = 5449 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{y_z3} := (1 \cdot (m) (Do)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + b_z3)}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho o}} = 5448885.798 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{y_z3} = 5.449 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{y_z3} = 5449 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{z_z3} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + b_z3)}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho o}} = 6790775.584 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{z_z3} = 6.791 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{z_z3} = 6791 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (a_z3 + 3 \cdot (b_z3))}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho o}} = 10251043.397 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} = 10.251 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{\varphi x_z3} = 10251 \frac{ton}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} := (1 \cdot (m) (Co)) \cdot \left(\left(1 \cdot \frac{1}{m} \right) + \left(\frac{2 \cdot (b_z3 + 3 \cdot (a_z3))}{1 \cdot a_z3 \cdot b_z3} \right) \right) \cdot \sqrt{\frac{p_z3}{\rho o}} = 10251043.397 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} = 10.251 \frac{kg}{cm^3} \quad C_{\varphi y_z3} = 10251 \frac{ton}{m^3}$$

7).- Coeficientes de Rigidez de desplazamiento Y compresión. K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$

$$\begin{aligned} K_x &= K_y = C_x A \\ K_z &= C_z A \\ K_{\varphi x} &= C_{\varphi x} I_x \end{aligned}$$

*** Zapatas Esquinas**

$$K_{x_z1_1} := C_{x_z1} \cdot Area_z1 = 36966.4 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_z1_1} := C_{y_z1} \cdot Area_z1 = 36966.4 \frac{ton}{m}$$

$$K_{z_z1_1} := C_{z_z1} \cdot Area_z1 = 46059.52 \frac{ton}{m}$$

$$K_{\varphi x_z1_1} := C_{\varphi x_z1} \cdot \frac{a_z1 \cdot b_z1^3}{12} = 61149.457 \text{ ton} \cdot m$$

$$K_{\varphi y_z1_1} := C_{\varphi y_z1} \cdot \frac{b_z1 \cdot a_z1^3}{12} = 61149.457 \text{ ton} \cdot m$$

*** Zapatas Laterales**

$$K_{x_z2_1} := C_{x_z2} \cdot Area_z2 = 53789.75 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_z2_1} := C_{y_z2} \cdot Area_z2 = 53789.75 \frac{ton}{m}$$

$$K_{z_z2_1} := C_{z_z2} \cdot Area_z2 = 67032 \frac{ton}{m}$$

$$K_{\varphi x_z2_1} := C_{\varphi x_z2} \cdot \frac{a_z2 \cdot b_z2^3}{12} = 104931.203 \text{ ton} \cdot m$$

$$K_{\varphi y_z2_1} := C_{\varphi y_z2} \cdot \frac{b_z2 \cdot a_z2^3}{12} = 104931.203 \text{ ton} \cdot m$$

*** Zapatas Centrales**

$$K_{x_z3_1} := C_{x_z3} \cdot Area_z3 = 80767.803 \frac{ton}{m}$$

$$K_{y_z3_1} := C_{y_z3} \cdot Area_z3 = 80767.803 \frac{ton}{m}$$

$$Kz_{z3_1} := Cz_{z3} \cdot Area_{z3} = 100659.598 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi x_{z3_1} := C\varphi x_{z3} \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3}^3}{12} = 187684.283 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi y_{z3_1} := C\varphi y_{z3} \cdot \frac{b_{z3} \cdot a_{z3}^3}{12} = 206887.384 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

4.14.5.2.- Modelo A.E SARGSIAN

1).- Calculamos masas Traslacionales.

$$\text{Teorema del Paralepipedo: } M_t = M_x = M_y = M_z: \gamma c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot V_{zapata}}{g} = \frac{\gamma_c \cdot a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma c \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1} \cdot c_{z1}}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.127 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma c \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2} \cdot c_{z2}}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.349 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma c \cdot \frac{a_{z3} \cdot b_{z3} \cdot c_{z3}}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.632 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

$$\left. \begin{aligned} M_{\varphi x'} &= M_t d^2 + I_{mx} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12} \\ M_{\varphi y'} &= M_t d^2 + I_{my} = M_t \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12} \\ M_{\varphi z'} &= I_{mz} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12} \end{aligned} \right\}$$

* Zapatas Esquinas

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 1.038 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 1.038 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 1.924 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Laterales

$$M\psi_{x'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.468 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.468 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 2.753 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

* Zapatas Centrales

$$M\psi_{x'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 2.126 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 2.126 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 4.031 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota : Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Velocidades de Propagación de Ondas Longitudinales y Transversales

3.1). - Calculamos Velocidad de Propagación de las ondas longitudinales en suelo de Fundición.

$$C1 := \sqrt[2]{\frac{(1 - \mu s) \cdot \epsilon s}{(1 + \mu s) \cdot (1 - 2 \cdot \mu s) \cdot \rho s^2}} = 152.896 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.2). - Calculamos Velocidad de Propagación de las ondas Transversales en suelo de Fundición.

$$C2 := \sqrt[2]{\frac{\epsilon s}{2 \cdot (1 + \mu s) \cdot \rho s^2}} = 77.016 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4).- Coeficientes de Rigidez de desplazamiento Y compresión. K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$

*** Zapatas Esquinas**

$$K_{x_{z1_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6401.316 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z1_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 6401.316 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z1_2}} := \frac{\rho s1 \cdot C^2 \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 18140.16 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z1_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}} = 20916.8 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_{z1_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z1} \cdot b_{z1}}} = 20916.8 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Laterales**

$$K_{x_{z2_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 7001.439 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_{z2_2}} := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 7001.439 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_{z2_2}} := \frac{\rho s1 \cdot C^2 \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 19840.8 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_{z2_2}} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C^2 \cdot \frac{a_{z2} \cdot b_{z2}^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt{a_{z2} \cdot b_{z2}}} = 27368.402 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z2_2} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{b_z2 \cdot a_z2^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z2 \cdot b_z2}} = 27368.402 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

* Zapatas Centrales

$$Kx_z3_2 := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 7701.583 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_z3_2 := \frac{28.8 \cdot (1 - \mu s^2) \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}}{\pi \cdot (7 - (8 \cdot \mu s))} = 7701.583 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_z3_2 := \frac{\rho s1 \cdot C1^2 \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}}{\Phi s \cdot (1 - \mu s^2)} = 21824.88 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z3_2} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{a_z3 \cdot b_z3^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}} = 36427.344 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z3_2} := \frac{8.52 \cdot \rho s1 \cdot C2^2 \cdot \frac{b_z3 \cdot a_z3^3}{12}}{\sqrt[2]{\pi} \cdot (1 - \mu s) \cdot \sqrt[2]{a_z3 \cdot b_z3}} = 36427.344 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

4.14.5.3 Modelo NORMA RUSA

1).- Calculamos masas Traslacionales.

$$\text{Teorema del Paralepipedo: } Mt = Mx = My = Mz: \gamma c \cdot \frac{a \cdot b \cdot c}{g}$$

$$Mt1 := \gamma c \cdot \frac{a_z1 \cdot b_z1 \cdot c_z1}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.127 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \quad * \text{ Zapatas Esquinas}$$

$$Mt2 := \gamma c \cdot \frac{a_z2 \cdot b_z2 \cdot c_z2}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.349 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Mt3 := \gamma c \cdot \frac{a_z3 \cdot b_z3 \cdot c_z3}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.632 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

2).- Calculamos masas Rotacionales.

*** Zapatas Esquinas**

$$M\psi_{x'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (b_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 1.038 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_1} := Mt1 \cdot \left(\frac{c_{z1}}{2}\right)^2 + \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + c_{z1}^2)}{12} = 1.038 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_1} := \frac{Mt1 \cdot (a_{z1}^2 + b_{z1}^2)}{12} = 1.924 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

*** Zapatas Laterales**

$$M\psi_{x'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (b_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.468 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_2} := Mt2 \cdot \left(\frac{c_{z2}}{2}\right)^2 + \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + c_{z2}^2)}{12} = 1.468 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_2} := \frac{Mt2 \cdot (a_{z2}^2 + b_{z2}^2)}{12} = 2.753 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

*** Zapatas Centrales**

$$M\psi_{x'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (b_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 2.126 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{y'_3} := Mt3 \cdot \left(\frac{c_{z3}}{2}\right)^2 + \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + c_{z3}^2)}{12} = 2.126 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

$$M\psi_{z'_3} := \frac{Mt3 \cdot (a_{z3}^2 + b_{z3}^2)}{12} = 4.031 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Nota : Las masas traslacionales y rotacionales deben asignarse en el centroide de cada zapata.

3).- Calculamos Coeficientes de Compresión Elástica Uniforme

Calculamos el coeficiente de compresión elástica uniforme por la fórmula 2.17 de la pag. 37 del libro "Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas" del Ph.D. Genner Villarreal Castro

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

Donde:

b_0 : coeficiente (m^{-2}) asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1.2; para arcillas, cascajas, gravas, cantos rodados, arenas densas igual a 1.5.

E_s : módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación, kPa (T/m^2), determinadas por las tablas 3 y 4 del anexo de la investigación [144] o en forma experimental.

$A_{10} = 10m^2$

A : área de la base de la cimentación (m^2).

$A = ab$

$$Cz_{z1} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z1} \cdot b_{z1}}} \right) = 8636.792 \frac{\text{ton}}{m^3} \quad * \text{ Zapatas Esquineras}$$

$$Cz_{z2} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z2} \cdot b_{z2}}} \right) = 8268.838 \frac{\text{ton}}{m^3} \quad * \text{ Zapatas Laterales}$$

$$Cz_{z3} := b_0 \cdot Ms \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{a_{z3} \cdot b_{z3}}} \right) = 7912.035 \frac{\text{ton}}{m^3} \quad * \text{ Zapatas Centrales}$$

4).- Calculo de Coeficientes de desplazamiento elástico Uniforme, compresión elástica no uniforme, desplazamiento elástico no uniforme.

*** Zapatas EZQUINERAS**

$$Cx_{z1} := 0.7 \cdot Cz_{z1} = 6045.754 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

$$C\varphi x_{z1} := 2 \cdot Cz_{z1} = 17273.584 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

$$C\varphi y_{z1} := 2 \cdot Cz_{z1} = 17273.584 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

$$C\psi z_{z1} := Cz_{z1} = 8636.792 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

$$Cy_{z1} := 0.7 \cdot Cz_{z1} = 6045.754 \frac{\text{ton}}{m^3}$$

* Zapatas Laterales

$$C_{x_z2} := 0.7 \cdot C_{z_z2} = 5788.187 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z2} := 2 \cdot C_{z_z2} = 16537.677 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z2} := 2 \cdot C_{z_z2} = 16537.677 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z2} := C_{z_z2} = 8268.838 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z2} := 0.7 \cdot C_{z_z2} = 5788.187 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

* Zapatas Centrales

$$C_{x_z3} := 0.7 \cdot C_{z_z3} = 5538.424 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi x_z3} := 2 \cdot C_{z_z3} = 15824.07 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y_z3} := 2 \cdot C_{z_z3} = 15824.07 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\psi z_z3} := C_{z_z3} = 7912.035 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{y_z3} := 0.7 \cdot C_{z_z3} = 5538.424 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

5).- Ahora calculamos coeficientes de Rigidez K_x, K_y, K_z y también los valores $K_{\varphi x}, K_{\varphi y}, K_{\psi z}$

* Zapatas EZQUINERAS

$$K_{x_z1_3} := C_{x_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 61908.525 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{y_z1_3} := C_{y_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 61908.525 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{z_z1_3} := C_{z_z1} \cdot a_{z1} \cdot b_{z1} = 88440.749 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K_{\varphi x_z1_3} := C_{\varphi x_z1} \cdot \frac{a_{z1} \cdot b_{z1}^3}{12} = 150938.879 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y_z1_3} := C_{\varphi y_z1} \cdot \frac{b_{z1} \cdot a_{z1}^3}{12} = 150938.879 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\psi_{z_z1_3} := C\psi_{z_z1} \cdot \left(\frac{a_z1 \cdot b_z1^3}{12} + \frac{b_z1 \cdot a_z1^3}{12} \right) = 150938.879 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Laterales**

$$Kx_z2_3 := Cx_z2 \cdot a_z2 \cdot b_z2 = 70905.289 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_z2_3 := Cy_z2 \cdot a_z2 \cdot b_z2 = 70905.289 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_z2_3 := Cz_z2 \cdot a_z2 \cdot b_z2 = 101293.27 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z2_3} := C\varphi_{x_z2} \cdot \frac{a_z2 \cdot b_z2^3}{12} = 206807.092 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z2_3} := C\varphi_{y_z2} \cdot \frac{b_z2 \cdot a_z2^3}{12} = 206807.092 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\psi_{z_z2_3} := C\psi_{z_z2} \cdot \left(\frac{a_z2 \cdot b_z2^3}{12} + \frac{b_z2 \cdot a_z2^3}{12} \right) = 206807.092 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

*** Zapatas Centrales**

$$Kx_z3_3 := Cx_z3 \cdot a_z3 \cdot b_z3 = 82093.296 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Ky_z3_3 := Cy_z3 \cdot a_z3 \cdot b_z3 = 82093.296 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$Kz_z3_3 := Cz_z3 \cdot a_z3 \cdot b_z3 = 117276.136 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$K\varphi_{x_z3_3} := C\varphi_{x_z3} \cdot \frac{a_z3 \cdot b_z3^3}{12} = 289720.922 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K\varphi_{y_z3_3} := C\varphi_{y_z3} \cdot \frac{b_z3 \cdot a_z3^3}{12} = 289720.922 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$K_{\psi z_z3_3} := C_{\psi z_z3} \cdot \left(\frac{a_z3 \cdot b_z3^3}{12} + \frac{b_z3 \cdot a_z3^3}{12} \right) = 289720.922 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Se asignaron las propiedades de los resortes traslaciones y ro

Se asignaron las propiedades de los resortes traslacionales y rotacionales a través del elemento SPRING. Para el modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 se liberó la rotación alrededor del eje vertical, debido a la existencia del coeficiente de rigidez $K_{\psi z}$.

6).- Calculamos el Parámetro de Amortiguamiento β_z

$$\beta_z := 6 \cdot \sqrt{\frac{M_B}{C_z \cdot P_m}}$$

$$P_m := 30 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Valor Experimental según tipo de suelo

$$C_{z_z1} = (8.637 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z2} = (8.269 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$C_{z_z3} = (7.912 \cdot 10^3) \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$\beta_{z_z1} := 0.634$$

$$\beta_{z_z2} := 0.648$$

$$\beta_{z_z3} := 0.6627$$

7).- Calculo de los Parámetros de Amortiguamiento $\beta_x, \beta_y, \beta_{\Phi x}, \beta_{\Phi y}, \beta_{\Phi z} \dots$

* Zapatas Esquinas

$$\beta_{x_z1} := 0.6 \cdot \beta_{z_z1} = 0.38$$

$$\beta_{\Phi y_z1} := 0.5 \cdot \beta_{z_z1} = 0.317$$

$$\beta_{y_z1} := 0.6 \cdot \beta_{z_z1} = 0.38$$

$$\beta_{\Phi z_z1} := 0.3 \cdot \beta_{z_z1} = 0.19$$

$$\beta_{\Phi x_z1} := 0.5 \cdot \beta_{z_z1} = 0.317$$

* Zapatas Laterales

$$\beta_{x_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.389$$

$$\beta_{\Phi y_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.324$$

$$\beta_{y_z2} := 0.6 \cdot \beta_{z_z2} = 0.389$$

$$\beta_{\Phi z_z2} := 0.3 \cdot \beta_{z_z2} = 0.194$$

$$\beta_{\Phi x_z2} := 0.5 \cdot \beta_{z_z2} = 0.324$$

* Zapatas Centrales

$$\beta_{x_z3} := 0.6 \cdot \beta_{z_z3} = 0.398$$

$$\beta_{\Phi y_z3} := 0.5 \cdot \beta_{z_z3} = 0.331$$

$$\beta_{y_z3} := 0.6 \cdot \beta_{z_z3} = 0.398$$

$$\beta_{\Phi z_z3} := 0.3 \cdot \beta_{z_z3} = 0.199$$

$$\beta_{\Phi x_z3} := 0.5 \cdot \beta_{z_z3} = 0.331$$

8).- Calculo de las Características de Amortiguamiento $B_x, B_y, B_{\varphi x}, B_{\varphi y}, B_{\Phi z}..$

* Zapatas Esquinas

$$B_{x_z1} := 2 \cdot \beta_{x_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{x_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 200.989 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{y_z1} := 2 \cdot \beta_{y_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{y_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 200.989 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{z_z1} := 2 \cdot \beta_{z_z1} \cdot (Mt1 \cdot K_{z_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 400.38 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{\varphi x_z1} := 2 \cdot \beta_{\Phi x_z1} \cdot (M\psi_{x'_1} \cdot K_{\varphi x_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 250.962 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B_{\varphi y_z1} := 2 \cdot \beta_{\Phi y_z1} \cdot (M\psi_{y'_1} \cdot K_{\varphi y_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 250.962 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B_{\Phi z_z1} := 2 \cdot \beta_{\Phi z_z1} \cdot (M\psi_{z'_1} \cdot K_{\Phi z_z1_3})^{\frac{1}{2}} = 204.995 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

* Zapatas Laterales

$$B_{x_z2} := 2 \cdot \beta_{x_z2} \cdot (Mt2 \cdot K_{x_z2_3})^{\frac{1}{2}} = 240.459 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B_{y_z2} := 2 \cdot \beta_{y_z2} \cdot (Mt2 \cdot K_{y_z2_3})^{\frac{1}{2}} = 240.459 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z2} := 2 \cdot \beta_{z_{z2}} \cdot (Mt2 \cdot Kz_{z2_3})^{\frac{1}{2}} = 479.006 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z2}} := 2 \cdot \beta\Phi_{x_{z2}} \cdot (M\psi_{x'_{z2}} \cdot K\varphi_{x_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 357.013 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z2}} := 2 \cdot \beta\Phi_{y_{z2}} \cdot (M\psi_{y'_{z2}} \cdot K\varphi_{y_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 357.013 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z2}} := 2 \cdot \beta\Phi_{z_{z2}} \cdot (M\psi_{z'_{z2}} \cdot K\psi_{z_{z2_3}})^{\frac{1}{2}} = 293.391 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

* Zapatas Centrales

$$Bx_{z3} := 2 \cdot \beta_{x_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Kx_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 291.065 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$By_{z3} := 2 \cdot \beta_{y_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Ky_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 291.065 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$Bz_{z3} := 2 \cdot \beta_{z_{z3}} \cdot (Mt3 \cdot Kz_{z3_3})^{\frac{1}{2}} = 579.816 \frac{\text{ton} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

$$B\varphi_{x_{z3}} := 2 \cdot \beta\Phi_{x_{z3}} \cdot (M\psi_{x'_{z3}} \cdot K\varphi_{x_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 520.078 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\varphi_{y_{z3}} := 2 \cdot \beta\Phi_{y_{z3}} \cdot (M\psi_{y'_{z3}} \cdot K\varphi_{y_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 520.078 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

$$B\Phi_{z_{z3}} := 2 \cdot \beta\Phi_{z_{z3}} \cdot (M\psi_{z'_{z3}} \cdot K\psi_{z_{z3_3}})^{\frac{1}{2}} = 429.716 \text{ m} \cdot \text{ton} \cdot \text{s}$$

4.15 Coeficientes de rigidez y amortiguamiento.

A continuación, se procede a poner en forma resumida, los valores de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para cada modelo estudio obtenidos por los cálculos:

4.15.1 D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV (1987)

Los coeficientes de desplazamiento y rotación en este modelo son:

Tabla 11

Coeficientes de desplazamiento y rotación

| Rigidez | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|--------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| C_x, C_y (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 3514 | 4717 | 5261 |
| | | 4 Niveles | 3475 | 4093 | 5031 |
| | | 5 Niveles | 3610 | 4391 | 5449 |
| C_z (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 4379.6 | 5878 | 6556 |
| | | 4 Niveles | 4331 | 5101 | 6269 |
| | | 5 Niveles | 4498 | 5472 | 6791 |
| C_{φ_x} (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 6994 | 9361 | 10174 |
| | | 4 Niveles | 6806 | 7878 | 9526 |
| | | 5 Niveles | 6998 | 8391 | 10251 |
| C_{φ_y} (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 6994 | 9361 | 10174 |
| | | 4 Niveles | 6806 | 7878 | 9526 |
| | | 5 Niveles | 6998 | 8391 | 10251 |

Elaborado por: Ceballos y [Suntaxi \(2024\)](#)

Los coeficientes de rigidez de la cimentación de este modelo son:

Tabla 12

Coeficientes de rigidez modelo dinámico D.D. Barkan, O.A Savinov

| Rigidez | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|-------------------------|---------------|--------------------|-----------------|------------|------------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| K_x, K_y (Ton/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 25617.06 | 35672.313 | 55569.313 |
| | | 4 Niveles | 31275 | 45933.693 | 68874.39 |
| | | 5 Niveles | 36966.4 | 53789.75 | 80767.803 |
| K_z (Ton/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 31927.284 | 44452.375 | 69247.75 |
| | | 4 Niveles | 38979 | 57245.973 | 85822.61 |
| | | 5 Niveles | 46059.52 | 67032 | 100659.598 |
| $K_{\phi x}$ (Ton.m) | Arena Densa | 3 Niveles | 30974.153 | 44614.063 | 94589.718 |
| | | 4 Niveles | 45940.5 | 82682.568 | 148777.147 |
| | | 5 Niveles | 61149.457 | 104931.203 | 187684.283 |
| $K_{\phi y}$ (Ton.m) | Arena Densa | 3 Niveles | 30974.153 | 44614.063 | 104263.172 |
| | | 4 Niveles | 45940.5 | 82682.568 | 164001.843 |
| | | 5 Niveles | 61149.457 | 104931.203 | 206887.384 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Los coeficientes de desplazamiento y compresión elástica uniforme y no uniforme son los siguientes:

Tabla 13

Coeficientes de compresión Cz

| Tipo de Estructura | Arena Densa | | |
|--------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| | E (Ton/m ²) | A (m ²) | Cz (Ton / m ²) |
| 3 Niveles | 2896 | 7.29 | 9432 |
| | | 7.56 | 9339 |
| | | 10.56 | 8571 |
| 4 Niveles | 2896 | 9 | 8922.97 |
| | | 11,223 | 8444.57 |
| | | 13.69 | 8056.68 |
| 5 Niveles | 2896 | 10.24 | 8636.72 |
| | | 12.25 | 8268.83 |
| | | 14.82 | 7912.03 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Tabla 14

Coefficientes de desplazamiento y rotación para Arena Densa

| Rigidez | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| C_x, C_y (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 6602.22 | 6537.474 | 5999.524 |
| | | 4 Niveles | 6246.085 | 5911.204 | 5639.679 |
| | | 5 Niveles | 6045.754 | 5788.187 | 5538.424 |
| $C_{\phi x}$ (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 18863.57 | 18678.498 | 17141.498 |
| | | 4 Niveles | 17845.956 | 16889.155 | 16113.37 |
| | | 5 Niveles | 17273.584 | 16537.677 | 15824.07 |
| $C_{\phi y}$ (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 18863.57 | 18678.498 | 17141.498 |
| | | 4 Niveles | 17845.956 | 16889.155 | 16113.37 |
| | | 5 Niveles | 17273.584 | 16537.677 | 15824.07 |
| $C_{\psi z}$ (Ton/m ³) | Arena Densa | 3 Niveles | 9431.75 | 9339.249 | 8570.749 |
| | | 4 Niveles | 8922.978 | 8444.577 | 8056.685 |
| | | 5 Niveles | 8636.792 | 8268.838 | 7912.035 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Los coeficientes de rigidez de la cimentación en este modelo son:

Tabla 15

Coefficientes de Rigidez modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

| Rigidez | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|-------------------------|---------------|--------------------|-----------------|------------|------------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| K_x, K_y (Ton/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 48130.238 | 49439.648 | 63369.975 |
| | | 4 Niveles | 56214.762 | 66338.489 | 77207.211 |
| | | 5 Niveles | 61908.525 | 70905.289 | 82093.296 |
| K_z (Ton/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 68757.482 | 70628.069 | 90528.536 |
| | | 4 Niveles | 80306.802 | 94769.269 | 110296.016 |
| | | 5 Niveles | 88440.749 | 101293.27 | 117276.136 |
| $K_{\phi x}$ (Ton.m) | Arena Densa | 3 Niveles | 83540.341 | 89020.795 | 159367.944 |
| | | 4 Niveles | 120460.204 | 177258.021 | 251658.744 |
| | | 5 Niveles | 150938.879 | 206807.092 | 289720.922 |
| $k_{\phi y}$ (Ton.m) | Arena Densa | 3 Niveles | 83540.341 | 89020.795 | 159367.944 |
| | | 4 Niveles | 120460.204 | 177258.021 | 251658.744 |
| | | 5 Niveles | 150938.879 | 206807.092 | 289720.922 |
| $K_{\psi z}$ (Ton.m) | Arena Densa | 3 Niveles | 83540.341 | 89020.795 | 159367.944 |
| | | 4 Niveles | 120460.204 | 177258.021 | 251658.744 |
| | | 5 Niveles | 150938.879 | 206807.092 | 289720.922 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales y rotacionales son las siguientes:

Tabla 16**Amortiguación Relativa en Arena Densa**

| Coeficiente | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|----------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| β_z | Arena Densa | 3 Niveles | 0.606 | 0.61 | 0.636 |
| | | 4 Niveles | 0.624 | 0.641 | 0.656 |
| | | 5 Niveles | 0.634 | 0.648 | 0.66 |
| β_x, β_y | Arena Densa | 3 Niveles | 0.364 | 0.366 | 0.382 |
| | | 4 Niveles | 0.374 | 0.385 | 0.394 |
| | | 5 Niveles | 0.38 | 0.389 | 0.398 |
| $\beta_{\phi_x}, \beta_{\phi_y}$ | Arena Densa | 3 Niveles | 0.303 | 0.305 | 0.318 |
| | | 4 Niveles | 0.312 | 0.321 | 0.328 |
| | | 5 Niveles | 0.317 | 0.324 | 0.331 |
| β_{ψ_z} | Arena Densa | 3 Niveles | 0.182 | 0.183 | 0.191 |
| | | 4 Niveles | 0.187 | 0.192 | 0.197 |
| | | 5 Niveles | 0.19 | 0.194 | 0.199 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Finalmente, las características de amortiguamiento del sistema suelo fundación son las siguientes:

Tabla 17**Amortiguamiento del sistema suelo fundación en Arena Densa**

| Coeficiente | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| B_x, B_y Ton.s/m | Arena Densa | 3 Niveles | 126,04 | 130,974 | 182,713 |
| | | 4 Niveles | 166,615 | 207,619 | 253,173 |
| | | 5 Niveles | 200,989 | 240,459 | 291,065 |
| B_z Ton.s/m | Arena Densa | 3 Niveles | 251,09 | 260,907 | 363,972 |
| | | 4 Niveles | 331,904 | 413,588 | 504,332 |
| | | 5 Niveles | 400,38 | 479,006 | 579,816 |
| B_{ϕ_x}, B_{ϕ_y} Ton.s.m | Arena Densa | 3 Niveles | 111,427 | 119,974 | 231,732 |
| | | 4 Niveles | 182,17 | 281,193 | 416,241 |
| | | 5 Niveles | 250,962 | 357,013 | 520,078 |
| B_{ψ_z} Ton.s.m | Arena Densa | 3 Niveles | 91,523 | 98,656 | 192,223 |
| | | 4 Niveles | 149,357 | 232,074 | 345,215 |
| | | 5 Niveles | 204,995 | 293,391 | 429,716 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.17 MODELO DINÁMICO NORMA ASCE 41-17

Las rigideces de fundación en la superficie del terreno de para todos los casos de estudio son:

Tabla 18

Rigideces de fundación en superficie para Arena Densa

| Rigidez | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Rigidez |
|-----------------------------|---------------|--------------------|---------------|
| K_x, K_y, Sur (KN/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 2997787.366 |
| | | 4 Niveles | |
| | | 5 Niveles | |
| K_z, Sur (KN/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 3817266.878 |
| | | 4 Niveles | |
| | | 5 Niveles | |
| K_{xx}, Sur (KN.m/rad) | Arena Densa | 3 Niveles | 293198583.628 |
| | | 4 Niveles | |
| | | 5 Niveles | |
| K_{yy}, Sur (KN.m/rad) | Arena Densa | 3 Niveles | 295544172.297 |
| | | 4 Niveles | |
| | | 5 Niveles | |
| K_{zz}, Sur (KN.m/rad) | Arena Densa | 3 Niveles | 408601546.144 |
| | | 4 Niveles | |
| | | 5 Niveles | |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Se realiza la corrección por factores de empotramiento del terreno quedando los siguientes valores:

Tabla 19

Factores de Corrección por Empotramiento

| Rigidez | Arena Densa | | |
|--------------|-------------|-----------|-----------|
| | 3 Niveles | 4 Niveles | 5 Niveles |
| β_x | 1.3 | 1.34 | 1.41 |
| β_y | 1.3 | 1.34 | 1.41 |
| β_z | 1.09 | 1.11 | 1.12 |
| β_{xx} | 1.22 | 1.27 | 1.34 |
| β_{yy} | 1.47 | 1.52 | 1.60 |
| β_{zz} | 1.52 | 1.62 | 1.76 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Las rigideces de fundación confinada del terreno de acuerdo a las siguientes ecuaciones para todos los casos de estudio son:

Tabla 20*Rigideces de fundación confinada para Arena Densa*

| Rigidez | Tipo de Suelo | Tipo de Estructura | Zona de Zapatas | | |
|--------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|--------------|--------------|
| | | | Ezquineras | Laterales | Centrales |
| Kx,Ky,Comb (KN/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 54632.863 | 117359.483 | 252105.555 |
| | | 4 Niveles | 56563.364 | 121506.485 | 261013.932 |
| | | 5 Niveles | 59320.893 | 127430.066 | 273738.661 |
| Kz,Comb (KN/m) | Arena Densa | 3 Niveles | 58772.061 | 126251.095 | 271206.055 |
| | | 4 Niveles | 59455.551 | 127719.333 | 274360.048 |
| | | 5 Niveles | 60400.776 | 129749.815 | 278721.824 |
| Kxx,Comb (KN.m/rad) | Arena Densa | 3 Niveles | 5018977.079 | 10781506.317 | 23160272.829 |
| | | 4 Niveles | 5222082.912 | 11217807.737 | 24097512.917 |
| | | 5 Niveles | 5537913.901 | 11896259.491 | 25554927.797 |
| Kyy,Comb (KN.m/rad) | Arena Densa | 3 Niveles | 6093182.058 | 13089057.755 | 28117235.177 |
| | | 4 Niveles | 6331695.728 | 13601420.452 | 29217866.157 |
| | | 5 Niveles | 6665599.262 | 14318694.711 | 30758677.528 |
| Kzz,Comb (KN.m/rad) | Arena Densa | 3 Niveles | 8762292.955 | 18822703.385 | 40433955.419 |
| | | 4 Niveles | 9303002.813 | 19984228.265 | 42929082.939 |
| | | 5 Niveles | 10097686.223 | 21691325.96 | 46596181.692 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

4.18 RESULTADOS

Una vez realizado los diferentes modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, sobre la base de los casos de estudio propuestos, se exponen los resultados donde se aprecia variaciones en las características dinámicas de las estructuras tipo.

Tabla 21

Periodo Fundamental de Vibracion T (s)

| Metodo | Arena Densa | | |
|----------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | 3 Niveles | 4 Niveles | 5 Niveles |
| Empotrado | 0.451 | 0.562 | 0.629 |
| Barkan | 0.477 | 0.585 | 0.658 |
| Norma Rusa | 0.466 | 0.576 | 0.649 |
| A.E. Sargsian | 0.542 | 0.646 | 0.736 |
| ASCE 41-17 | 0.478 | 0.601 | 0.686 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Tabla 22

Porcentaje de variación del periodo respecto al modelo de base empotrada

| Metodo | Arena Densa | | |
|----------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | 3 Niveles | 4 Niveles | 5 Niveles |
| Barkan | 5.765 | 4.093 | 4.610 |
| Norma Rusa | 3.326 | 2.491 | 3.180 |
| A.E. Sargsian | 20.177 | 14.947 | 17.011 |
| ASCE 41-17 | 5.987 | 6.940 | 9.062 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

CORTANTE BASAL

Tabla 23

Cortante en la base debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena Densa

| <i>Cortante en la Base (Sismo X / Sismo Y) - Arena Densa (Vx-Vy) (Ton)</i> | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| Metodo | Arena Densa | | | | | |
| | 3 Niveles | Dif(%*) | 4 Niveles | Dif(%*) | 5 Niveles | Dif(%*) |
| Empotrado | 156.17 | | 212.07 | | 285.29 | |
| Barkan | 159.26 | 1.98 | 215.45 | 1.59 | 290.55 | 1.84 |
| Norma Rusa | 157.41 | 0.79 | 213.28 | 0.57 | 287.53 | 0.79 |
| A.E. Sargsian | 165.53 | 5.99 | 224.15 | 5.70 | 304.73 | 6.81 |
| ASCE 41-17 | 158.03 | 1.19 | 214.31 | 1.06 | 288.52 | 1.13 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

DESPLAZAMIENTO TOTAL DE TECHO

Tabla 24

Desplazamiento de Techo debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena Densa

| <i>esplazamiento de Techo (Sismo X / Sismo Y) - Arena Densa (dx-dy) (m)(10-3)</i> | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| Metodo | Arena Densa | | | | | |
| | 3 Niveles | Dif(%*) | 4 Niveles | Dif(%*) | 5 Niveles | Dif(%*) |
| Empotrado | 10.41 | | 17.02 | | 22.27 | |
| Barkan | 11.57 | 11.14 | 18.41 | 8.17 | 24.29 | 9.07 |
| Norma Rusa | 11.09 | 6.53 | 17.84 | 4.82 | 23.61 | 6.02 |
| A.E. Sargsian | 14.61 | 40.35 | 22.22 | 30.55 | 30.22 | 35.70 |
| ASCE 41-17 | 11.77 | 13.06 | 19.62 | 15.28 | 26.73 | 20.03 |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

DERIVAS DE PISO

Tabla 25

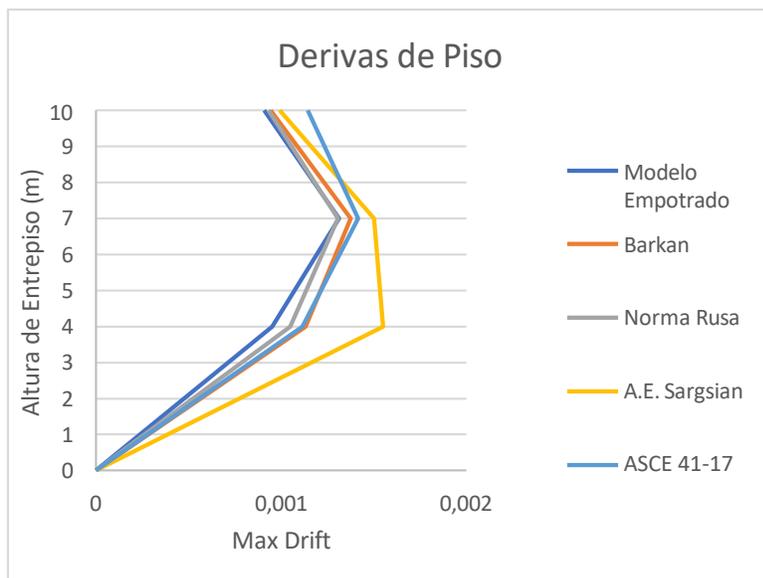
Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa

| <i>Derivas de Piso (Sismo X / Sismo Y) -Edificio 3 Niveles- Arena Densa</i> | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| Modelo | 3 piso | Verificaciòn | 2 Piso | Verificaciòn | 1 Piso | Verificaciòn |
| Empotrado | 0.000908 | Cumple | 0.001312 | Cumple | 0.000951 | Cumple |
| Barkan | 0.000943 | Cumple | 0.001376 | Cumple | 0.001131 | Cumple |
| Norma Rusa | 0.000932 | Cumple | 0.001305 | Cumple | 0.001048 | Cumple |
| A.E. Sargsian | 0.00099 | Cumple | 0.001501 | Cumple | 0.00155 | Cumple |
| ASCE 41-17 | 0.001142 | Cumple | 0.001416 | Cumple | 0.001115 | Cumple |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Figura 23

Max drift en arena densa para 3 niveles



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Tabla 26

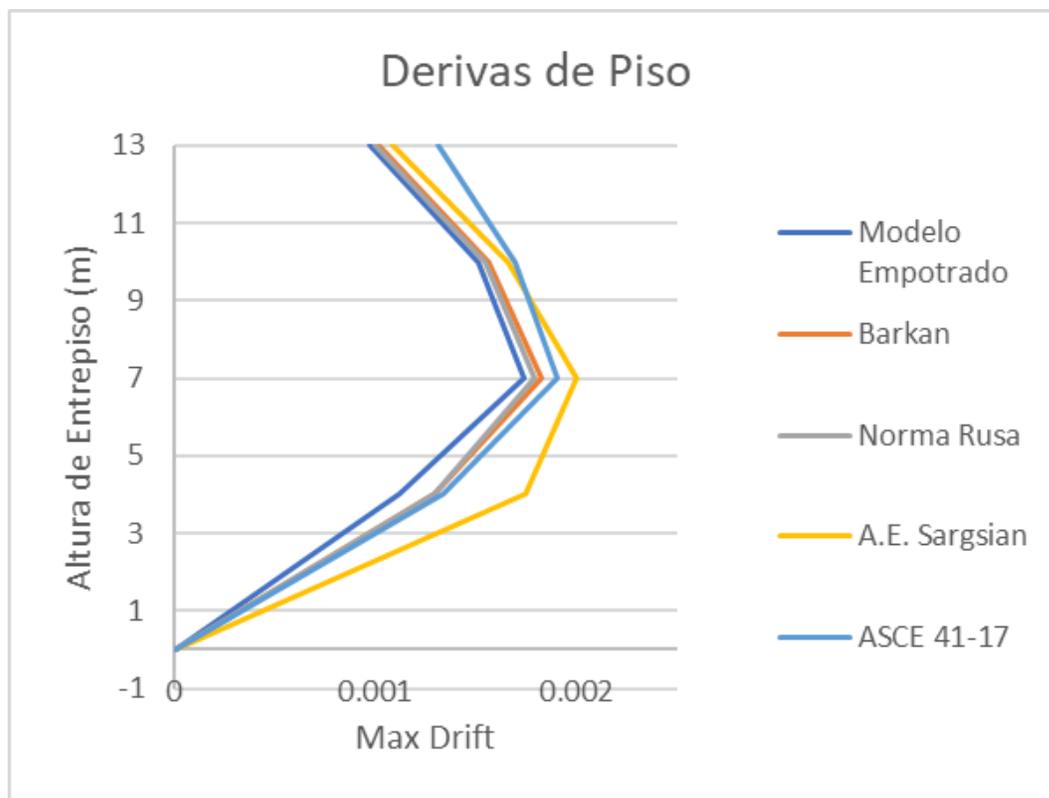
Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa

| Derivas de Piso (Sismo X / Sismo Y) -Edificio 4 Niveles- Arena Densa | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Metodo | 4 piso | | 3 Piso | | 2 Piso | | 1 Piso | |
| | Verificaciòn | | Verificaciòn | | Verificaciòn | | Verificaciòn | |
| Empotrado | 0.000971 | Cumple | 0.001513 | Cumple | 0.001742 | Cumple | 0.001116 | Cumple |
| Barkan | 0.001014 | Cumple | 0.001564 | Cumple | 0.001822 | Cumple | 0.001292 | Cumple |
| Norma Rusa | 0.001001 | Cumple | 0.001545 | Cumple | 0.001788 | Cumple | 0.00129 | Cumple |
| A.E. Sargsian | 0.001087 | Cumple | 0.001663 | Cumple | 0.002001 | Cumple | 0.001748 | Cumple |
| ASCE 41-17 | 0.00131 | Cumple | 0.001693 | Cumple | 0.001907 | Cumple | 0.00134 | Cumple |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Figura 24

Max drift en arena densa para 4 niveles



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Tabla 27

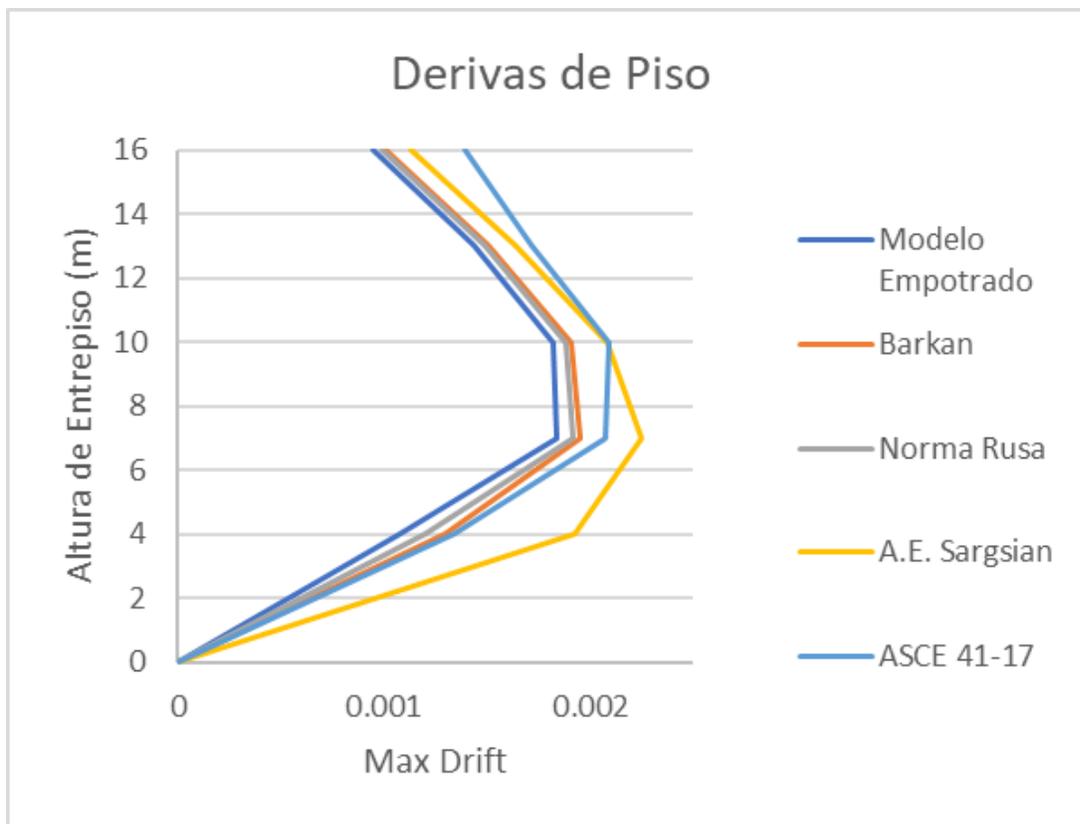
Derivas de Piso debido al sismo (X-Y) , para el caso de Arena densa

| Derivas de Piso (Sismo X / Sismo Y) -Edificio 5 Niveles- Arena Densa | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| Metodo | Arena Densa | | | | | | | | | |
| | 5 piso | Verificaciòn | 4 Piso | Verificaciòn | 3 Piso | Verificaciòn | 2 Piso | Verificaciòn | 1 Piso | Verificaciòn |
| Empotrado | 0.000947 | Cumple | 0.001436 | Cumple | 0.001819 | Cumple | 0.001836 | Cumple | 0.001075 | Cumple |
| Barkan | 0.001007 | Cumple | 0.001503 | Cumple | 0.001902 | Cumple | 0.001954 | Cumple | 0.001291 | Cumple |
| Norma Rusa | 0.000993 | Cumple | 0.001486 | Cumple | 0.001877 | Cumple | 0.001912 | Cumple | 0.001201 | Cumple |
| A.E. Sargsian | 0.001126 | Cumple | 0.001639 | Cumple | 0.002084 | Cumple | 0.002244 | Cumple | 0.001922 | Cumple |
| ASCE 41-17 | 0.001389 | Cumple | 0.001711 | Cumple | 0.002087 | Cumple | 0.002072 | Cumple | 0.00134 | Cumple |

Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

Figura 25

Max drift en arena densa para 5 niveles



Elaborado por: Ceballos y Suntaxi (2024)

5 CONCLUSIONES

La comparación de los resultados de los cuatro modelos dinámicos empleados en este estudio revela que la influencia de la interacción suelo-estructura en las características dinámicas de las estructuras es más significativa cuando se utiliza el modelo establecido por la normativa americana ASCE 41-17. Por otro lado, se observa una menor influencia en los modelos experimentales de Barkan y la norma rusa. Es importante tener en cuenta la relevancia de este análisis según lo establecido en la normativa de construcción ecuatoriana. El período de vibración calculado con el modelo ASCE 41-17 para edificaciones de cuatro niveles se encuentra cercano al período de vibración del suelo de arena densa, que es de 0.601 segundos, lo que indica la vulnerabilidad de estas estructuras y el riesgo de entrar en resonancia.

6 RECOMENDACIONES

Emplear zapatas aisladas como cimentación en la zona de riesgo estudiada no resulta económicamente factible, a pesar de que algunas características dinámicas de las estructuras puedan cumplir con los requisitos. En términos de la superficie total de cimentación necesaria para edificios de 5,4 y 3 niveles, esta asciende a 361 m². Sin embargo, al considerar zapatas aisladas, la superficie ocupada representa un porcentaje del 60% para 3 pisos, 82% para 4 pisos y 89% para 5 pisos, en relación con el área total de cimentación. Por lo tanto, se sugiere explorar otras opciones de cimentación, como plateas o pilotes, en futuras investigaciones, para garantizar un comportamiento adecuado de las estructuras frente a las demandas sísmicas.

REFERENCIAS

- Aguiar, R., & Mieles Bravo, Y. (2016). *Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016*. 21(3), 257-282.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15108.12161>
- Aguiar, R., & Ortiz, D. (2017). Analisis sismico de un edificio de 12 pisos de la ciudad de manta considerando interacción suelo estructura. *Revista Internacional de Ingeniería De Estructuras*, 22(3), 251-279. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24133/riie.v22i3.646>
- Aguiar, R., Pando, M. A., Briceño, C., Zavala, G., Castañeda, B., Perucchio, R., & Uceda, S. (2018). Structural and geotechnical engineering assessment of Huaca de la Luna – A massive earthen Moche culture pyramid in Northern Peru. *Journal of Cultural Heritage*, 34, 83-94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.006>
- Araujo, S., Valette, B., Potin, B., & Ruiz, M. (2021). A preliminary seismic travel time tomography beneath Ecuador from data of the national network. *Journal of South American Earth Sciences*, 111, 103486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103486>
- Dindaroglu, T., Vermez, Y., Gundogan, R., Yakupoglu, T., Gunal, H., & Akay, A. E. (2023). Importance of geotechnical soil properties for precision Forest activities in a karst area. *Acta Ecologica Sinica*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.08.001>
- Feizi, S., Arnesen, K., Aaslid, A., Bergan-Haavik, J., Hassel, J. H., Kulleseid, S., & Ghadak, A. (2023). Validation of earthquake analysis methodology of a suction-caisson foundation-structure through model testing. *Marine Structures*, 88, 103368.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2023.103368>
- Forcellini, D. (2021). Analytical fragility curves of shallow-founded structures subjected to Soil-Structure Interaction (SSI) effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141, 10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106487>
- Garg, A., Gadi, V. K., Zhu, H.-H., Sarmah, A. K., Sreeja, P., & Sekharan, S. (2023). A geotechnical perspective on soil-termite interaction: Role of termites in unsaturated soil properties. *Science of The Total Environment*, 895, 164864.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164864>
- Genç, A. F., Ertürk Atmaca, E., Günaydin, M., Altunişik, A. C., & Sevim, B. (2023). Evaluation of

soil structure interaction effects on structural performance of historical masonry buildings considering earthquake input models. *Structures*, 54, 869-889.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.082>

González Acosta, J. L., Vardon, P. J., & Hicks, M. A. (2021). Study of landslides and soil-structure interaction problems using the implicit material point method. *Engineering Geology*, 285. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106043>

Goya Montoya, B. S., & Campaña Carrillo, S. S. (2020). *Evaluación del coeficiente zonal sísmico para la microzonificación del sector 4 en el cantón Palestina* [Guayaquil. ULVR].
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3745/1/T-ULVR-3172.pdf>

Guan, Z., Wang, Y., & Zhao, T. (2022). Adaptive sampling strategy for characterizing spatial distribution of soil liquefaction potential using cone penetration test. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(4), 1221-1231.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.01.011>

Liu, L., Wang, X., Zhang, X., Zhong, X., Wei, Z., Geng, Y., Cheng, X., Zhao, K., & Bai, M. (2023). Determination and verification of parameters for the discrete element modelling of single disc covering of flexible straw with soil. *Biosystems Engineering*, 233, 151-167.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.08.001>

Maquera, P. (2018). Isovalores de capacidad admisible del suelo para cimentaciones superficiales en el Sector Siete del Distrito Alto de la Alianza. *REVISTA VERITAS ET SCIENTIA - UPT*, 7(1), 848-858. <https://doi.org/https://doi.org/10.47796/ves.v7i1.14>

Minuchin, L. (2021). Prefigurative urbanization: Politics through infrastructural repertoires in Guayaquil. *Political Geography*, 85, 102316.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2020.102316>

NEC-15, & Camicon. (2015). *Peligro Sísmico* (p. 345). Ministerio de Desarrollo y Vivienda.

Park, H., & Kang, Y. J. (2023). Analysis of three-dimensional dynamic behavior in rigid frame structures. *Journal of Sound and Vibration*, 551, 117601.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117601>

Pérez, N., Benítez, D., Grijalva, F., Lara-Cueva, R., Ruiz, M., & Aguilar, J. (2020). ESeismic: Towards an Ecuadorian volcano seismic repository. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 396, 106855. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106855>

Rodrik, D. (1990). How should structural adjustment programs be designed? *World Development*,

18(7), 933-947. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0305-750X\(90\)90077-B](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0305-750X(90)90077-B)

- Saadatkah, A., Reza Chenaghlou, M., & Poursha, M. (2023). A simplified formula for the determination of the fundamental period of mixed structures with vertical combination of different seismic resisting systems. *Structures*, *47*, 681-693. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.091>
- Sawamura, Y., Shibata, T., & Kimura, M. (2019). Mechanical role of reinforcement in seismic behavior of steel-strip reinforced earth wall. *Soils and Foundations*, *59*(3), 710-725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.02.010>
- Siddiquee, K. N., Billah, A. H. M. M., & Issa, A. (2021). Seismic collapse safety and response modification factor of concrete frame buildings reinforced with superelastic shape memory alloy (SMA) rebar. *Journal of Building Engineering*, *42*, 102468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102468>
- Testori, G., Janoschka, M., Mena, A. B., & Iuorio, O. (2021). Ecuadorian housing resettlements five years after the 2016 earthquake: A critical analysis. *Habitat International*, *117*, 102433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102433>
- Toapanta Orbea, A. E., & Troya Miranda, E. G. (2022). *Diseño estructural para una edificación de 4 niveles de hormigón armado aplicando metodología*. Guayaquil. ULVR.
- Vicencio, F., & Alexander, N. A. (2019). Dynamic Structure-Soil-Structure Interaction in unsymmetrical plan buildings due to seismic excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *127*, 105817. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105817>
- Vicencio, F., & Alexander, N. A. (2021). Method to evaluate the dynamic structure-soil-structure interaction of 3-D buildings arrangement due to seismic excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *141*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106494>
- Vicencio, F., Alexander, N. A., & Saavedra Flores, E. I. (2023). A State-of-the-Art review on Structure-Soil-Structure interaction (SSSI) and Site-City interactions (SCI). *Structures*, *56*, 105002. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105002>
- Villareal, G. (2020). Interacción suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas. *Revista Internacional de Ingeniería De Estructuras.*, *25*(3), 311-332.
- Wang, P., & Milani, G. (2023). Seismic vulnerability prediction of masonry aggregates: Iterative Finite element Upper Bound limit analysis approximating no tensile resistance. *Engineering Structures*, *293*, 116595. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116595>

Xu, F., Bao, C., Ma, X., Zhang, Y., Sing Lim, K., Zhang, Y., Wang, H., & Hu, J. (2022). Shaking table test on seismic response of a planar irregular structure with differential settlements of foundation. *Structures*, *46*, 988-999.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.090>

Yépez, F., & Yépez, O. (2017). Role of construction materials in the collapse of R/C buildings after Mw 7.8 Pedernales – Ecuador earthquake, April 2016. *Case Studies in Structural Engineering*, *7*, 24-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csse.2016.12.001>

ANEXOS

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
|  <p>ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO SHIRIPUNGO</p> | Área: | GEOTECNIA |
| | Código No.: | V&C-2022-GEO-DOC-088 |
| | Revisión No.: | C |
| | | |

PROYECTO: PUENTE SOBRE EL RÍO SHIRIPUNGO
 OBRA: CIMENTACIÓN
 UBICACIÓN: CARRETERA LA ANDINA - BATBORO
 LOCALIDAD: PROVINCIA DE ORELLANA
 ABSCISA: 5+290
 FECHA: 22/01/2015

PERFORACIÓN N°: Psh1 (margen derecha)
 MUESTRA: Psh1-1
 PROFUNDIDAD: 1.00 - 1.50 m

ENSAYO DE CLASIFICACION

1.- HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)

| N° TARRO | N° GOLPES | PESO HUMEDO | PESO SECO | PESO CAPSULA | % HUMEDAD | % PROMEDIO |
|----------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | 57.35 | 32.24 | 5.59 | 94.22 | |
| | | 83.20 | 38.88 | 5.61 | 73.10 | 83.66 |

2.- LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)

| | | | | | |
|----|-------|-------|------|-------|--------------|
| 13 | 27.07 | 21.94 | 5.57 | 31.34 | |
| 17 | 25.62 | 20.91 | 5.52 | 30.60 | |
| 27 | 25.78 | 21.13 | 5.43 | 29.62 | |
| 33 | 26.60 | 21.90 | 5.62 | 28.87 | |
| | | | | | 29.65 |

3.- LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)

| | | | | | |
|--|-------|-------|------|-------|--------------|
| | 18.40 | 16.15 | 5.49 | 21.11 | |
| | 18.80 | 16.46 | 5.47 | 21.29 | |
| | 18.80 | 16.46 | 5.47 | 21.29 | 21.23 |

4.- GRANULOMETRIA (ASTM D422)

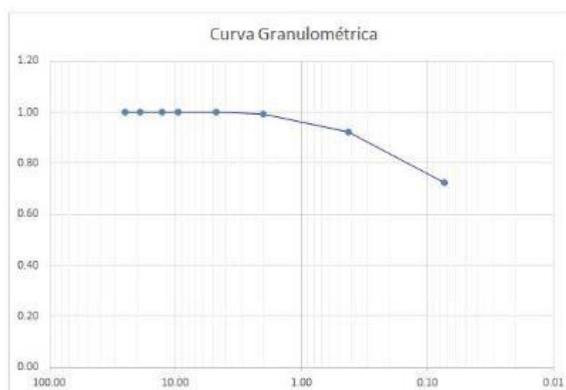
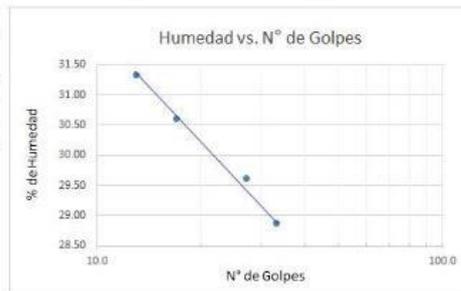
| TAMIZ N° | RETENIDO Parcial | W RET. Total | % RETENIDO % | PASA % |
|-------------|------------------|--------------|--------------|---------|
| 3" | | | | |
| 2" | | | | |
| 1 1/2" | | | | |
| 1" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/4" | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1/2" | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 10 | 0.60 | 0.72 | 0.72% | 99.28% |
| No. 40 | 5.99 | 7.16 | 7.87% | 92.13% |
| No. 200 | 16.56 | 19.78 | 27.65% | 72.35% |
| Pasa N° 200 | | | | |

| | |
|--------------|--------|
| Total Húmedo | 153.74 |
| Total Seco | 83.71 |

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACION

| | |
|---------------------|-----|
| PORCENTAJE DE GRAVA | 0% |
| PORCENTAJE DE ARENA | 28% |
| PORCENTAJE DE FINOS | 72% |

| RESUMEN | |
|-----------------------|-----|
| Humedad Natural | 84% |
| Límite Líquido | 30% |
| Límite Plástico | 21% |
| Índice de Plasticidad | 8 |
| Índice de Grupo | 7 |
| CLASIFICACIÓN | |
| SUCS | CL |
| AASHTO | A-4 |



| | |
|----------------------|----------------------|
| Área: | GEOTECNIA |
| Código No.: | V&C-2022-GEO-DOC-088 |
| Revisión No.: | C |
| | |

PROYECTO: PUENTE SOBRE EL RÍO SHIRIPUNGO
 OBRA: CIMENTACIÓN
 UBICACIÓN: CARRETERA LA ANDINA - BATABORO
 LOCALIDAD: PROVINCIA DE ORELLANA
 ABCISIA: 5+290
 FECHA: 22/01/2015

PERFORACIÓN N°: Psh1 (margen derecha)
 MUESTRA: Psh1-2
 PROFUNDIDAD: 1.50 - 2.00 m

ENSAYO DE CLASIFICACION

1.- HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)

| N° TARRO | N° GOLPES | PESO HUMEDO | PESO SECO | PESO CAPSULA | % HUMEDAD | % PROMEDIO |
|----------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | 45.08 | 30.96 | 8.24 | 62.15 | |
| | | 58.39 | 35.58 | 8.27 | 83.52 | 72.84 |

2.- LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)

| N° | 15 | 24.50 | 20.09 | 7.85 | 36.03 |
|----|----|-------|-------|------|--------------|
| | 22 | 27.77 | 22.60 | 7.84 | 35.03 |
| | 28 | 26.69 | 21.97 | 8.31 | 34.55 |
| | 36 | 24.99 | 20.70 | 8.16 | 34.21 |
| | | | | | 34.76 |

3.- LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)

| N° | 15.44 | 14.40 | 8.49 | 17.60 |
|----|-------|-------|------|--------------|
| | 17.79 | 16.35 | 8.46 | 18.25 |
| | 17.79 | 16.35 | 8.46 | 18.25 |
| | | | | 18.03 |

4.- GRANULOMETRIA (ASTM D422)

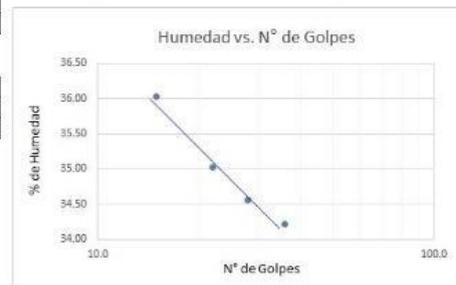
| TAMIZ N° | RETENIDO Parcial | W RET. Total | % RETENIDO % | PASA % |
|-------------|------------------|--------------|--------------|---------|
| 3" | | | | |
| 2" | | | | |
| 1 1/2" | | | | |
| 1" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/4" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1/2" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 40 | 8.10 | 9.95 | 9.95% | 90.05% |
| No. 200 | 33.11 | 40.67 | 50.61% | 49.39% |
| Pasa N° 200 | | | | |

| | |
|--------------|--------|
| Total Húmedo | 140.73 |
| Total Seco | 81.42 |

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACION

| | |
|---------------------|-----|
| PORCENTAJE DE GRAVA | 0% |
| PORCENTAJE DE ARENA | 51% |
| PORCENTAJE DE FINOS | 49% |

| RESUMEN | |
|-----------------------|-----|
| Humedad Natural | 73% |
| Limite Líquido | 35% |
| Limite Plástico | 18% |
| Indice de Plasticidad | 17 |
| Indice de Grupo | 5 |
| CLASIFICACIÓN | |
| SUCS | CL |
| AASHTO | A-6 |





**ESTUDIO GEOLÓGICO Y
GEOTÉCNICO DEL PUENTE
SOBRE EL RÍO SHIRIPUNGO**

| | |
|----------------------|----------------------|
| Área: | GEOTECNIA |
| Código No.: | V&C-2022-GEO-DOC-088 |
| Revisión No.: | C |
| | |

PROYECTO: PUENTE SOBRE EL RÍO SHIRIPUNGO
 OBRA: CIMENTACIÓN
 UBICACIÓN: CARRETERA LA ANDINA - BATABORO
 LOCALIDAD: PROVINCIA DE ORELLANA
 ABCISA: 5+290
 FECHA: 22/01/2015

PERFORACIÓN N°: Psh1 (margen derecha)
 MUESTRA: Psh1-3
 PROFUNDIDAD: 4.50 - 6.00 m

ENSAYO DE CLASIFICACION

1.- HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)

| N° TARRO | N° GOLPES | PESO HUMEDO | PESO SECO | PESO CAPSULA | % HUMEDAD | % PROMEDIO |
|----------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | 36.76 | 27.79 | 8.15 | 45.67 | |
| | | 40.20 | 25.98 | 8.17 | 79.84 | 62.76 |

2.- LIMITE LIQUIDO (ASTM D4318)

| N° | GOLPES | PESO HUMEDO | PESO SECO | PESO CAPSULA | % HUMEDAD | % PROMEDIO |
|----|--------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 12 | | 24.67 | 20.52 | 8.44 | 34.35 | |
| 20 | | 24.98 | 20.79 | 8.46 | 33.98 | |
| 26 | | 29.52 | 24.24 | 8.45 | 33.44 | |
| 36 | | 24.06 | 20.21 | 8.45 | 32.74 | |
| | | | | | | 33.63 |

3.- LIMITE PLASTICO (ASTM D4318)

| N° | GOLPES | PESO HUMEDO | PESO SECO | PESO CAPSULA | % HUMEDAD | % PROMEDIO |
|----|--------|-------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | 15.75 | 14.52 | 8.47 | 20.33 | |
| | | 18.13 | 16.57 | 8.98 | 20.55 | |
| | | 18.13 | 16.57 | 8.98 | 20.55 | 20.48 |

4.- GRANULOMETRIA (ASTM D422)

| TAMIZ N° | RETENIDO Parcial | W RET. Total | % RETENIDO % | PASA % |
|-------------|------------------|--------------|--------------|---------|
| 3" | | | | |
| 2" | | | | |
| 1 1/2" | | | | |
| 1" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/4" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 1/2" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| 3/8" | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| No. 10 | 2.40 | 3.04 | 3.04% | 96.96% |
| No. 40 | 8.82 | 11.17 | 14.22% | 85.78% |
| No. 200 | 28.78 | 36.46 | 50.68% | 49.32% |
| Pasa N° 200 | | | | |

| | |
|--------------|--------|
| Total Húmedo | 128.46 |
| Total Seco | 78.93 |

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACION

| | |
|---------------------|------|
| PORCENTAJE DE GRAVA | 0% |
| PORCENTAJE DE ARENA | 5.1% |
| PORCENTAJE DE FINOS | 49% |

| RESUMEN | |
|-----------------------|-----|
| Humedad Natural | 63% |
| Límite Líquido | 34% |
| Límite Plástico | 20% |
| Índice de Plasticidad | 13 |
| Índice de Grupo | 4 |
| CLASIFICACIÓN | |
| SUCS | CL |
| AASHTO | A-6 |

