

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**RELACIÓN DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA
EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA VIVIENDA
MULTIFAMILIAR EN LA CIUDAD DE JAUJA-JUNÍN**

PRESENTADO POR:

BACH. CASTRO RODRIGUEZ JUAN JOSE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

TECNOLOGÍA Y PROCESOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERU

2022

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS:

**RELACIÓN DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA
EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA VIVIENDA
MULTIFAMILIAR EN LA CIUDAD DE JAUJA-JUNÍN**

PRESENTADO POR:

BACH. CASTRO RODRIGUEZ JUAN JOSE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

TECNOLOGÍA Y PROCESOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERU

2022

ASESOR:
ING. CARLOS ALBERTO GONZALES ROJAS

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis seres queridos que, con su apoyo, fueron los artífices de mi formación personal que me llevaron hasta estos momentos.

Bach. CASTRO RODRIGUEZ JUAN JOSE

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES, y a su excelente plana docente que me inculcaron valores profesionales que servirán en mi vida profesional.

Bach. CASTRO RODRIGUEZ JUAN JOSE

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

**DR. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA
PRESIDENTE**

**Ing.
JURADO**

**Ing.
JURADO**

**Ing.
JURADO**

**Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA
SECRETARIO DE DOCENTE**

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	iv
HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS	vii
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLA	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I:	222
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	¡Error! Marcador no definido.2
1.1. Planteamiento del problema de investigación.....	222
1.2. Formulación y sistematización del problema.....	233
1.2.1. Problema general.....	233
1.2.2. Problemas específicos	233
1.3. Justificación	243
1.3.1. Social.....	243
1.3.2. Científica	244
1.3.3. metodología.....	244
1.4. Delimitaciones	¡Error! Marcador no definido.4
1.4.1. Espacial	¡Error! Marcador no definido.4
1.4.2. Temporal	¡Error! Marcador no definido.4
1.4.3. Económica.....	¡Error! Marcador no definido.4
1.5. Limitaciones.....	255
1.5.1 Limitaciones metodológicas.....	25

1.5.1.1 Falta de estudios previos de investigacion.....	255
1.6. Objetivos	255
1.6.1. Objetivo general.....	255
1.6.2. Objetivos especificos	255
CAPÍTULO II	266
MARCO TEÓRICO	266
2.1.1. Antecedentes	266
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	266
2.1.3. Antecedentes nacionales	288
2.2. Marco conceptual.....	30
2.2.1. Efectos de interacción suelo estructura:.....	30
2.2.1.1. Modelo base rígida:.....	311
2.2.1.2. Modelo base flexible:.....	311
2.2.1.3. Modelo Interacción cinemática:.....	322
2.2.2. Efectos cinemáticos en campo libre:.....	344
2.2.3. Amortiguamiento de la base (cimentación)	377
2.3. Definición de términos.....	477
2.4. Hipótesis.....	499
2.4.1. Hipótesis general:.....	499
2.4.2. Hipótesis específicas:.....	50
2.5. Variables:	50
2.5.1. Definición conceptual de la variable:.....	50
2.5.2. Definicion operacional de la variable:	50
2.5.3. Operacionalizacion de la variable:.....	50
CAPÍTULO III.....	53
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	533
3.1. Método de investigación	533
3.2. Tipo de investigación.....	533
3.3. Nivel de investigación.....	533
3.4. Diseño de Investigación.....	533

3.5.	Población y muestra.....	544
3.5.1.	Población	544
3.5.2.	Muestra	544
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	544
3.7.	Procesamiento de la información:.....	544
3.8.	Procesamiento de la información.....	555
3.9.	Técnicas y análisis de datos:	555
	CAPÍTULO IV	566
	RESULTADOS	566
4.1.	Ubicación de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe:	566
4.2.	Descripción de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe:	577
4.2.1.	Primer nivel:.....	577
4.2.2.	Segundo nivel:.....	577
4.2.3.	Tercer nivel:	588
4.2.4.	Cuarto nivel:.....	588
4.2.5.	Azotea:	588
4.2.5.1.	Reglamento nacional de edificaciones:	588
4.2.5.2.	Estudio de mecánica de suelos:.....	588
4.2.6.	Propiedades de los materiales:	599
4.2.6.1.	Concreto $F'c= 210Kg/cm^2$:.....	599
4.2.6.2.	Refuerzo $Fy= 4200Kg/cm^2$:.....	599
4.2.6.3.	Elementos estructurales de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe:	599
4.2.7.	Cargas verticales:	60
4.2.7.1.	Primer, segundo y tercer nivel – carga muerta:.....	61
4.2.7.2.	Primer, segundo y tercer nivel – carga viva:	61
4.2.7.3.	Cuarto nivel – carga muerta:	61
4.2.7.4.	Cuarto nivel – carga viva:	61
4.2.8.	Factores de diseño sísmico:.....	61
4.2.8.1.	Factor de zona (Z):	61
4.2.8.2.	Factor de uso (U):.....	62
4.2.8.3.	Factor de ampliación sísmica (C):.....	63

4.2.8.4.	Factor de ampliación de suelo (S):	63
4.2.8.5.	Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R):	64
4.2.8.6.	Periodo de plataforma (Tp) y periodo largo (TL):	68
4.3.	Análisis sísmico sin interacción suelo – estructura:	699
4.3.1.	Aceleración espectral (Sa):	699
4.3.2.	Espectro Pseudo – Aceleraciones:	699
4.3.3.	Modelamiento en el software ETABS:	70
4.3.3.1.	Materiales:	70
4.3.3.2.	Estructura:	71
4.3.3.3.	Modelamiento de la estructura:	77
4.3.3.4.	Casos de carga:	78
4.3.3.5.	Estimación de peso:	78
4.3.3.6.	Brazo rígido:	79
4.3.3.7.	Diafragma rígido:	80
4.3.3.8.	Espectro de respuesta sin interacción suelo estructura:	81
4.3.3.9.	Cargas dinámicas sin interacción suelo estructura:	82
4.3.3.10.	Apoyos fijos en la base:	83
4.3.3.11.	Cargas verticales:	84
4.3.3.12.	Modos de vibración:	86
4.3.3.13.	Verificación del modelo:	86
4.3.4.	Resultados sin interacción suelo – estructura:	87
4.3.4.1.	Peso de la vivienda multifamiliar:	87
4.3.4.2.	Periodos fundamentales de vibración:	88
4.3.4.3.	Derivas de piso:	88
4.3.4.4.	Cortante basal:	91
4.4.	Análisis sísmico con interacción suelo – estructura:	92
4.4.1.	Calculo de los resortes equivalentes:	92
4.4.1.1.	Módulo de corte inicial (G0):	93
4.4.1.2.	Aceleración efectiva (Sx):	93
4.4.1.3.	Módulo de corte efectivo (G):	93
4.4.1.4.	Traslación en el sentido X – X (Kx):	94

4.4.1.5.	Traslación en el sentido Y – Y (K_y):	94
4.4.1.6.	Traslación en el sentido Z – Z (K_z):	94
4.4.1.7.	Rotación en el sentido X – X (K_{xx}):	94
4.4.1.8.	Rotación en el sentido Y – Y (K_{yy}):	95
4.4.1.9.	Rotación en el sentido Z – Z (K_{zz}):	95
4.4.1.10.	Corrección de traslación en el sentido X – X (β_x):	95
4.4.1.11.	Corrección de traslación en el sentido Y – Y (β_y):	95
4.4.1.12.	Corrección de traslación en el sentido Z – Z (β_z):	95
4.4.1.13.	Corrección de rotación en el sentido X – X (β_{xx}):	95
4.4.1.14.	Corrección de rotación en el sentido Y – Y (β_{yy}):	96
4.4.1.15.	Corrección de rotación en el sentido Z – Z (β_{zz}):	96
4.4.1.16.	Corrección de los resortes equivalentes:	96
4.4.1.17.	Resortes equivalentes reales:	97
4.4.2.	Cálculo del amortiguamiento con interacción suelo – estructura:	97
4.4.2.1.	Rigidez efectiva (K_{fijo}):	98
4.4.2.2.	Radio equivalente (r_x):	98
4.4.2.3.	Rigidez traslacional (K_x):	98
4.4.2.4.	Rigidez rotacional de la cimentación (K_{θ}):	98
4.4.2.5.	Radio por rotación equivalente (r_{θ}):	98
4.4.2.6.	Relación de periodo – amplificación:	99
4.4.2.7.	Amortiguamiento de la cimentación (C_e):	99
4.4.2.8.	Coefficiente de amortiguamiento de la fundación (a_1):	99
4.4.2.9.	Coefficiente de amortiguamiento de la fundación (a_2):	99
4.4.2.10.	Amortiguamiento de la fundación (β_f):	99
4.4.2.11.	Amortiguamiento de la cimentación (β_0):	99
4.4.2.12.	Factor de escala espectro Pseudo – Aceleraciones (B_e):	100
4.4.2.13.	Proporción espectral de respuesta (RRS_{bsa}):	100
4.4.2.14.	Interacción cinemática en campo libre (S_{afim}):	100
4.4.2.15.	Interacción cinemática/factor de escala ($S_{a\beta_0}$):	100
4.4.2.16.	R para espectro Pseudo – Aceleraciones con ISE:	100
4.4.3.	Modelamiento en el software ETABS:	1033

4.4.4. Resultados con interacción suelo – estructura:	1066
4.4.4.1. Peso de la vivienda multifamiliar:.....	1066
4.4.4.2. Periodos fundamentales de vibración:.....	1066
4.4.4.3. Derivas de piso:.....	1077
4.4.4.4. Cortante basal:.....	1088
CAPÍTULO V	110
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	11010
5.1. Comparación de los periodos de vibración:	110
5.2. COMPARACIÓN DE LAS DERIVAS DE PISO:.....	110
5.2.1. En el sentido X – X:.....	110
5.2.2. En el sentido Y – Y:.....	111
5.3. Comparación de la cortante basal:	111
5.3.1. En el sentido X – X:.....	111
5.3.2. En el sentido Y – Y:.....	112
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	114
BILIOGRAFIA	115
ANEXOS.....	117
Anexos 1: Matriz de Consistencia	118
Anexos 2: Matriz de operacionalización de variables	120
Anexos 3: Panel Fotográfico	121
Anexos 4: Planos	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo base rígida	311
Figura 2 Modelo base flexible	322
Figura 3 Modelo interacción cinemática	333
Figura 4 Ratio de espectros de respuesta para el promedio losa de base, función del periodo y el tamaño de la fundación be	355
Figura 5 Ratio de espectros de respuesta para empotramiento RRSe, para e=30 pies como función de periodo y la velocidad de onda de corte vs	366
Figura 6 Comportamiento Elastoplástico de carga – deformación de suelos	388
Figura 7 Resorte desacoplado equivalente a la rigidez del suelo.....	388
Figura 8 Factor de corrección por empotramiento.....	40
Figura 9 Porcentaje de amortiguación de la fundación vs relación efectiva de alargamiento	45
Figura 10 Modificación de desplazamiento.....	477
Figura 11 Ubicación del proyecto.....	566
Figura 12 Distrito de San Lorenzo.....	566
Figura 13 Jr. Libertad 140 - distrito de San Lorenzo.....	577
Figura 14 Dimensiones de las columnas.....	60
Figura 15 Ecuaciones para el cálculo del factor (C).....	633
Figura 16 Espectro Pseudo – Aceleraciones.....	709
Figura 17 Concreto $F'c=210\text{Kg/cm}^2$ en el software ETABS.....	70
Figura 18 Refuerzo $Fy=210\text{Kg/cm}^2$ en el software ETABS	70
Figura 19 Columna C1 – rectangular en el software ETABS.....	71
Figura 20 Columna C2 – cuadrado en el software ETABS.....	72

Figura 21 Columna C3 – tipo L en el software ETABS	72
Figura 22 Columna C4 – tipo T en el software ETABS	73
Figura 23 Viga V100 – 15x40 en el software ETABS	733
Figura 24 Viga V101 – 15x20 en el software ETABS	744
Figura 25 Viga V102 – 40x20 en el software ETABS	744
Figura 26 Viga V103 – 25x20 en el software ETABS	755
Figura 27 Viga V104 – 40x20 en el software ETABS	755
Figura 28 Viga V105 – 15x20 en el software ETABS	766
Figura 29 Viga VB – 15x20 en el software ETABS.....	766
Figura 30 Estructura del 1° y 2° nivel en el software ETABS	777
Figura 31 Estructura del 3° y 4° nivel en el software ETABS	778
Figura 32 Casos de carga en el software ETABS	788
Figura 33 Estimación de peso en el software ETABS.....	799
Figura 34 Factor de rigidez en el software ETABS.....	799
Figura 35 Diafragma rígido del 1° nivel en el software ETABS.....	80
Figura 36 Diafragma rígido del 2° nivel en el software ETABS.....	80
Figura 37 Diafragma rígido del 3° nivel en el software ETABS.....	81
Figura 38 Diafragma rígido del 4° nivel en el software ETABS.....	81
Figura 39 Espectro de respuesta sin interacción suelo - estructura en el software ETABS .	82
Figura 40 Carga sísmica en el sentido X - X sin interacción suelo - estructura en el software ETABS.....	82
Figura 41 Carga sísmica en el sentido Y - Y sin interacción suelo - estructura en el software ETABS.....	83
Figura 42 Apoyos fijos en la base en el software ETABS.....	83
Figura 43 Carga muerta y viva del 1° nivel en el software ETABS	84
Figura 44 Carga muerta y viva del 2° nivel en el software ETABS	844
Figura 45 Carga muerta y viva del 3° nivel en el software ETABS	855
Figura 46 Carga muerta y viva del 4° nivel en el software ETABS	855
Figura 47 Modos de vibración en el software ETABS	866
Figura 48 Reporte de conformidad en el software ETABS	866

Figura 49 Vivienda multifamiliar Suarez Quispe en el software ETABS con apoyos fijos	877
Figura 50 Cálculo de aceleración espectral con ISE.....	102
Figura 51 Espectro Pseudo – Aceleraciones con ISE	1033
Figura 52 Resortes equivalentes en el software ETABS	1033
Figura 53 Espectro de respuesta con interacción suelo - estructura en el software ETABS	1044
Figura 54 Vivienda multifamiliar Suarez Quispe en el software ETABS con resortes equivalentes	1044
Figura 55 Carga sísmica en el sentido X - X con interacción suelo - estructura en el software ETABS	1055
Figura 56 Carga sísmica en el sentido X - X con interacción suelo - estructura en el software ETABS	1055

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Valores aproximados de reducción de velocidad de ondas de corte, n.....	37
Tabla 2 Ratio de módulo de corte efectivo, (G/G0).....	433
Tabla 3 Operacionalización de la variable independiente.	51
Tabla 4 Estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe	60
Tabla 5 Factores de zona	622
Tabla 6 Categoría de la edificaciones y factor U.....	622
Tabla 7 Clasificación de los perfiles de suelo.....	633
Tabla 8 Factor de suelo (S).....	644
Tabla 9 Coeficiente básico de reducción sísmica	655
Tabla 10 Irregularidad estructural en planta	666
Tabla 11 Irregularidad estructural en altura.....	677
Tabla 12 Periodos “Tp” y TL”	688
Tabla 13 Peso de la vivienda multifamiliar	877
Tabla 14 Masa participativa y periodo fundamental de vibración sin interacción suelo – estructura.....	888
Tabla 15 Deriva de piso en el sentido X – X sin interacción suelo – estructura	899
Tabla 16 Deriva de piso en el sentido Y – Y sin interacción suelo – estructura	90
Tabla 17 Cortante basal dinámica en el sentido X – X sin interacción suelo – estructura ...	91
Tabla 18 Cortante basal dinámica en el sentido Y – Y sin interacción suelo – estructura ...	92
Tabla 19 Parámetros de diseño de los resortes equivalentes	933
Tabla 20 Ratio de módulo de corte efectivo, (G/G0)	944
Tabla 21 Resortes equivalentes corregidos.....	966
Tabla 22 Ejes equivalentes reales	977
Tabla 23 Parámetros de diseño del amortiguamiento con interacción suelo – estructura ..	977

Tabla 24 Masa participativa y periodo fundamental de vibración con interacción suelo-estructura.....	1066
Tabla 25 Deriva de piso en el sentido X – X con interacción suelo – estructura	1077
Tabla 26 Deriva de piso en el sentido Y – Y con interacción suelo – estructura	1088
Tabla 27 Cortante basal dinámica en el sentido X – X con interacción suelo – estructura	1088
Tabla 28 Cortante basal dinámica en el sentido Y – Y con interacción suelo – estructura	1099
Tabla 29 Comparación de los periodos de vibración.....	110
Tabla 30 Comparación de las derivas de piso en el sentido X – X.....	110
Tabla 31 Comparación de las derivas de piso en el sentido Y – Y.....	111
Tabla 32 Comparación de las cortantes basales en el sentido X – X.....	111
Tabla 33 Comparación de las cortantes basales en el sentido Y – Y.....	112

RESUMEN

Esta investigación tuvo como problema general: ¿Qué relación existe entre la interacción suelo – estructura y el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín?, de donde se definió el objetivo general: Determinar la relación de la interacción suelo – estructura en el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín., así mismo se planteó la siguiente hipótesis general: Existe una relación directa y significativa entre la interacción suelo – estructura y el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín, Con respecto a la metodología se utilizó el método científico, tipo de investigación aplicada nivel de investigación es descriptivo correlacional y su diseño de investigación no experimental, en lo concerniente a la población está representada por las viviendas multifamiliares de la ciudad de Jauja, catalogadas como Edificaciones de categoría C en la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones y la muestra es por conveniencia no probabilística, ya que se selecciona la vivienda multifamiliar de la familia Suarez Quispe en la ciudad de Jauja por tener acceso a la información y estar diseñada con la vigente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, con todo esto llegamos a la conclusión general: Se determinó la relación de la interacción suelo – estructura en el análisis sísmico de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe en la ciudad de Jauja, de la cual se concluye que incrementa los periodos fundamentales de vibración prolongando que la estructura retorne a su estado inicial después de haber sufrido una deformación, de igual manera disminuye la rigidez de los elementos estructurales debido a que incrementa las derivas de piso y aumenta el requerimiento de acero y presupuesto debido a que incrementa el porcentaje de las fuerzas cortantes.

palabras clave: interacción suelo-estructura, análisis sísmico.

ABSTRACT

This research had as a general problem: What relationship exists between the soil - structure interaction and the seismic analysis of a multifamily house in the city of Jauja - Junín? From which the general objective was defined: To determine the relationship of the soil - structure in the seismic analysis of a multifamily house in the city of Jauja - Junín., Likewise, the following general hypothesis was raised: There is a direct and significant relationship between the soil - structure interaction and the seismic analysis of a multifamily house in the city of Jauja - Junín, Regarding the methodology, the scientific method was used, type of applied research level of research is descriptive correlational and its non-experimental research design, regarding the population it is represented by the multi-family dwellings of the city of Jauja , cataloged as Category C Buildings in standard E.030 of the National Building Regulations s and the sample is for non-probabilistic convenience, since the Suarez Quispe family multifamily house in the city of Jauja is selected for having access to information and being designed with the current E.030 of the National Building Regulations, with all this We reached the general conclusion: The soil-structure interaction relationship was determined in the seismic analysis of the Suarez Quispe multifamily house in the city of Jauja, from which it is concluded that it increases the fundamental periods of vibration, prolonging the return of the structure to Its initial state after having undergone a deformation, in the same way decreases the rigidity of the structural elements because it increases the floor drifts and increases the requirement of steel and budget because it increases the percentage of shear forces.

keywords: soil-structure interaction, seismic analysis.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú aún no está difundido un método analítico suficientemente contrastado que nos permita efectuar el análisis y diseño de edificaciones considerando los efectos de contacto entre el elemento estructural y el suelo que lo sustenta, teniendo en cuenta los criterios de seguridad y confiabilidad; sin embargo, en las últimas décadas ya se viene desarrollando investigaciones relacionadas al tema otorgando resultados más confiables en las edificaciones”.

Es por ello que la presente investigación se basa en determinar el comportamiento sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja, mediante la determinación de periodos de vibración, frecuencias, desplazamientos laterales y fuerzas internas de los elementos estructurales, a fin de obtener resultados comparativos entre un modelamiento con empotramiento perfecto y otro con interacción suelo-estructura teniendo en cuenta parámetros de cálculo propuesto por la norma peruana E.0.3.0. y modelos dinámicos que considera la flexibilidad de la base de fundación, para una mejor comprensión, esta investigación se divide en cinco capítulos, los mismos que están desarrollados de la siguiente manera:

- **En el Capítulo I:** En este capítulo se desarrollará el planteamiento del problema; donde se plantea el problema general y los problemas específicos, los objetivos tanto el general como los específicos, la justificación práctica y metodológica y, por último, la delimitación espacial y temporal.
- **En el Capítulo II:** en este capítulo se desarrollará el marco teórico donde se mostrará los estudios previos entre los que están los nacionales e internacionales y la teoría básica para el planteamiento del marco teórico, así como unas definiciones puntuales

de los conceptos, para posteriormente llegar a plantearnos las hipótesis, para posterior se mostrarán la operacionalización de las variables a estudiar.

- **En el Capítulo III:** En este capítulo se desarrolla toda la metodología donde se plantea la estructura medular de una investigación con el tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, así como la definición de la población y muestra en la que nos basaremos para el estudio de investigación posteriormente se utilizó las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos, así como la definición de la población y la muestra.
- **En el Capítulo IV:** En este capítulo se desarrolla los procedimientos que nos llevan a la obtención de los resultados desde el modelamiento de la estructura con interacción suelo – estructura , así como sin interacción suelo - estructura , según la norma E030, los mismos que servirán para la investigación.
- **En el Capítulo V:** En este capítulo se pondrá la discusión; en este capítulo se muestra la discusión de resultado con otras investigaciones previas para encontrar la diferencia o la similitud de las conclusiones para enriquecer el método científico.

El Autor (a)

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema de investigación

El análisis de edificios se lleva normalmente a cabo suponiendo que el movimiento que se aplica en su base, o las fuerzas estáticas equivalentes que se ejercen en sus distintos niveles, son independientes de las características de la cimentación. Sin embargo, existen casos en que el movimiento en cualquier punto de la frontera suelo-estructura es sensiblemente diferente del que habría ocurrido en dicho punto si la estructura no estuviese presente; en estos casos se dice que existe interacción suelo-estructura (Bazán E. y Meli R. 2002).

El comportamiento dinámico de cualquier estructura está estrechamente ligado a su nivel de fijación con el suelo de fundación. En un sistema empotrado en su base se espera que los movimientos de la base de la estructura sean iguales a los del suelo de fundación. Cuando esta condición no se cumple, los desplazamientos adicionales que produzcan en la base de la fundación inducen un comportamiento distinto al esperado para la estructura empotrada. (Grases J. 2013).

Al tema de la zona sísmica se le suma la existencia de problemas con el suelo, esto hace que aumente la aceleración sísmica y el daño sea mucho mayor, en muchos lugares hay suelos de resistencia pobre, placas tectónicas cercanas (Placa de Nazca y Placa sudamericana), incluso complejidad en la superficie del suelo. Estas zonas con alto peligro sísmico son habitadas por una enorme cantidad de personas, el cual frente a la ocurrencia de un movimiento telúrico los daños serían irreparables. (Valderrama C. 2014).

El Perú es un país altamente sísmico y según la clasificación mundial le corresponde 9 grados en la escala Mercalli Modificada. Cerca de 18 millones de peruanos viven en zonas sísmicas y están expuestos a las constantes amenazas de ocurrencias de sismos. Cabe indicar, que, en investigaciones sísmicas, aún están lejos de poder resolver el peligro sísmico, el cual se incrementa y al que están expuestos cotidianamente. (Villarreal G. 2006).

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.2.1. Problema general

¿Qué relación existe entre la interacción suelo – estructura y el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué relación existe entre el análisis sísmico y la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín?

- b) Como determinar los resultados del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.

1.3. Justificación

1.3.1. Social

Porqué en el modelo de cálculo normativo la base de fundación se toma como un medio externo absolutamente rígido en la cual la cimentación está empotrada en la base. El efecto de interacción suelo-estructura es muy notorio en el cálculo de edificaciones, porque influye en la determinación de los modos de vibración libre, así como en la distribución de los esfuerzos en el edificio y cimentación, cambiando las fuerzas internas en los diferentes elementos estructurales y variando los desplazamientos. (Villarreal G. 2006).

Cual es el fin para determinar el comportamiento sísmico de una edificación en una zona sísmica 3 con características de suelo flexible y considerando en el modelamiento la Interacción Suelo-Estructura, permitirá conocer el efecto que produce en la estructura en comparación con el modelo normativo de base fija. Y así contribuir con el uso de metodologías para el modelamiento sísmico de estructuras técnicamente aceptable y acorde con la importancia de la misma, promoviendo una mejor respuesta antisísmica de la estructura y ara que es el insuficiente desarrollo de los métodos de cálculo en nuestro país y en nuestra región, la presente investigación puede servir como manual práctico para los ingenieros e investigadores en esta área,

además de ello sirva para mejorar la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente y dé el ímpetu adicional para el desarrollo intensivo de esta nueva área de investigación.

1.3.2. Científica

La información obtenida, así como la procesada servirá para base teórica para futuras investigaciones similares o de punto de inicio para ampliar el conocimiento científico referido al tema a investigar y de esa manera enriquecer el marco teórico y/o cuerpo de conocimientos que existe sobre el tema en mención, así con todo lo consiguiente a la construcción e ingeniería civil.

1.3.3. Metodológica

Los datos compilados y procesados servirán de sustento para esta y otras investigaciones similares, ya que engrandecen el marco teórico y/o cuerpo de conocimientos que existe sobre el tema en mención,

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Delimitación espacial

La delimitación espacial corresponde al departamento de Junín, Provincia de Jauja y en el distrito: San Lorenzo.

1.4.2. Delimitación temporal

La presente investigación se realizará entre el mes de noviembre de 2021 y enero de 2022.

1.4.3. Delimitación económica

La presente investigación se realizó con los gastos propios del investigador, que asciende a s/. 6,700.00 soles.

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitacion metodologica

1.5.1.1. Falta de estudios previos de investigacion

El presente proyecto de tesis , tuvo ciertas limitaciones, esto es debido a que actualmente en el Perú aún no está difundido un método analítico suficientemente contrastado que nos permita efectuar el análisis y diseño de edificaciones considerando los efectos de contacto entre el elemento estructural y el suelo que lo sustenta, teniendo en cuenta los criterios de seguridad y confiabilidad; sin embargo , en las últimas décadas ya se viene desarrollando investigaciones relacionadas al tema otorgando resultados más confiables en las edificaciones

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la relación de la interacción suelo – estructura en el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Realizar el análisis sísmico sin la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.

- b) Comparar los resultados del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes

2.1.2. Antecedentes nacionales

a) Riquelme y Sepúlveda, (2015) realizaron la investigación “INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO FUNDACIÓN ESTRUCTURA EN EL DESEMPEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO” en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. La investigación analiza la influencia de las propiedades del sitio de fundación y sus características en el desempeño de estructuras de hormigón armado con fundaciones aisladas (pág.03). Se construyeron modelos que constan con un sub-dominio de suelo, sub- dominio de estructura, e interfaz, con los cuales se buscó simular el comportamiento de SFSI para poder evaluar el desempeño de las estructuras al considerar este efecto, de los modelos construidos se ejecutaron 27 casos, los cuales resultan de la combinación de los parámetros que modifican la rigidez del suelo, rigidez de la estructura, y tamaño de las fundaciones (pág.04). Se concluye que tanto las características del suelo, así como también de las fundaciones influyen en gran medida en el desempeño sísmico de la estructura y del suelo considerando la misma demanda en los diferentes casos a analizar con suelo no plástico (pág.24). Esta investigación nos ayuda a comprender acerca de la incidencia que tienen las características del suelo de fundación en el análisis sísmico considerando la interacción suelo estructura. Además, este estudio nos brinda una guía previa para poder pronosticar el comportamiento que tendrá nuestro análisis tomando los parámetros de suelo de Trujillo.

b) Gamarra, (2014) realizo la investigación “ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO -ESTRUCTURA EN EDIFICACIÓN DE ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL” en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, con la

finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. La investigación determina la influencia en los modelos de interacción sísmica suelo estructura, considerando la flexibilidad y las propiedades inerciales de los suelos, para el cálculo de edificación de albañilería estructural ante la acción sísmica de la región Junín (pág.25). Se analizó la edificación de albañilería estructural, con un suelo intermedio de tipo arena-limo arcilloso ubicado en Huancayo-Junín-Peru, con modelos de cálculo de los investigadores D. D. Barkan- O.A. Savinov, V.A. Ilichev, A.E. Sargsian, Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, Norma Boliviana de Diseño sísmico NBDS-2006, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, modelo de la Norma Japonesa Para la Construcción y modelo de la E.E.U.U. N.I.S.T. G.C.R. 1.2.-9.1.7.- 2.1. Con empleo de programa de cómputo E.T.A.B.S. V.9.7.4. y S.A.F.E.V.1.2.3.2, a través de las comparaciones con la Norma Peruana (pág. 17). Se llegó a concluir que el suelo incrementa los desplazamientos máximos de entrepiso además de incrementar la carga axial, fuerza cortante y el momento flector. Para la carga axial se produjo una variación con un intervalo de 18.2% a 93.8%. Para la fuerza cortante se produjo una variación con un intervalo de 15.7% a 24.5%. Para el momento flector se produjo una variación con un intervalo de 0.6% a 19.0%. Por lo cual la interacción sísmica suelo - estructura nos permite realizar un análisis de rigidez adecuado de la edificación (pág.192). Esta investigación nos aporta una forma clara de cómo modelar e incluir la interacción suelo estructura en edificaciones con un sistema de construcción en albañilería y representa muy claramente los efectos que se generan en la estructura a través de comparación entre diferentes métodos y la norma peruana.

- c) Villareal, (2017) realizó la investigación “INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES CON PLATEAS DE CIMENTACIÓN” en la UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRAS, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. La investigación elabora una metodología de uso y aplicación de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, considerando la flexibilidad y las propiedades inerciales de los suelos, para el

cálculo de edificaciones con plateas de cimentación ante la acción sísmica. (pág.05). Se analizó el esquema de cálculo de edificaciones, considerando la flexibilidad de la base de fundación y se describió el modelo dinámico suelo-estructura para edificaciones con plateas de cimentación. Se explicó y fundamentó teóricamente los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, donde se consideran los efectos de flexibilidad y propiedades inerciales de los suelos (pág.03). Llega a concluir que hay incremento de los periodos de vibración, desplazamientos y por ende derivas, además las fuerzas internas de la estructura (Fuerza axial, cortante basal y momento flector) se reducen. Este estudio nos brinda modelos de cálculo de interacción suelo estructura que puede ser aplicada a la presente investigación, puesto que tipo de cimentación que se está utilizando (platea de cimentación) es la misma que utiliza Villareal en su investigación. Además, no ayudaría a constatar la veracidad y validez de los resultados.

2.1.3. Antecedentes internacionales

- a) a)García, (2012) realizó la investigación “EVALUACIÓN DE DAÑO EN EDIFICIOS CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA” en la PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, con la finalidad de optar el grado de doctor en ingeniería civil. En la investigación se demostró que el daño se simuló disminuyendo la rigidez para algunos de los niveles del modelo. El método de rigidez en la base identificó en todos los casos los elementos dañados. Así mismo, cuando se analizaron modelos con base rígida, la localización de daño se volvió más precisa, presentando menos elementos falsos. También usando la condición empotrada, la magnitud de daño fue sobre estimada, dejando los resultados del lado de la seguridad. Esta investigación nos ayudará a mejorar los resultados de detección de daño en casos de estudio real, identificando más elementos dañados que concuerdan con el reporte visual.

b) Herrera, (2013) realizó la investigación “EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN DINÁMICA SUELO – ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LADERAS” en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. demostró que el comportamiento de las estructuras ante cargas dinámicas, es un problema bastante complejo, debido a que está controlado por muchos factores. De estos, en este estudio se analizaron cinco: a) Rigidez de las edificaciones, la cual fue definida con base en los dos primeros modos característicos de vibración, b) Rigidez del perfil geotécnico, definido con base la velocidad promedio de onda cortante, c) Inclinación de las laderas, d) contenido frecuencial del sismo y e) la posición de las edificaciones en el desarrollo de las laderas. Esta investigación nos ayudará a conocer la evaluación de la respuesta de las edificaciones en interacción dinámica suelo – estructura mediante modelos bidimensionales de elementos finitos elaborados en P.L.A.X.I.S.

c) c)Aguiar y Ortiz, (2017) realizaron la investigación “ANÁLISIS SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE DOCE PISOS DE LA CIUDAD DE MANTA CONSIDERANDO INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA” en la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil. Se realizó el análisis sísmico de un edificio, ubicado en la ciudad de Manta con un modelo que considera base empotrada aplicando el método espectral (pág.256). Se utilizó la metodología de la A.S.C.E.-1.0. para obtener un modelo simplificado de un grado de libertad equivalente y la guía NEHRP-12 para considerar interacción suelo estructura, además, se detalló el cálculo de los factores que se tomaron en cuenta para el modelamiento de una estructura con vigas de cimentación; y, se comparan los resultados de los distintos modelos propuestos (pág.251). Estos autores concluyen que las derivas de piso no llegan a ser mayores a 0,70 % únicamente en los primeros diez pisos de la edificación, lo que contrasta con el poco daño que sufrió la estructura; para los dos últimos niveles la deriva de piso excedió este valor al punto que en el nivel doce

en componente E-W alcanzo el 1,40 %, además la metodología propuesta para hallar desplazamientos y fuerzas en cualquier pórtico, se obtuvieron resultados similares en desplazamiento y proporcionales en fuerzas (pág.277). Esta investigación nos permitirá tener una idea de cómo evaluar la incidencia de la interacción suelo estructura en las fuerzas internas, periodo de vibración, desplazamientos, deriva de piso entre otros.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Efectos de interacción suelo estructura:

Según la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias 440 (2005), los procedimientos simplificados para la inclusión de los efectos de la interacción entre una estructura y el suelo de apoyo en un modelo estructural para los procedimientos de análisis estático no lineal. Existen tres categorías principales de efectos de interacción suelo estructura .

- Introducción de flexibilidad para el sistema suelo-fundación” (efecto de cimentaciones flexibles).
- Filtración de movimientos del suelo transmitidos a la estructura (efecto cinemático).
- La disipación de energía del sistema suelo – estructura a través de la radiación y el suelo de histéresis de amortiguación (efecto de amortiguaciones de las fundaciones).

Los procedimientos de análisis abordan parcialmente el efecto de base flexible mediante la orientación sobre la inclusión de la rigidez y la resistencia de los componentes geotécnicos de la fundación (suelo) en el modelo de análisis estructural. Sin embargo, estos procedimientos no abordan la reducción de la demanda de agitación sobre la estructura en relación con el movimiento de campo libre causado por la interacción cinemática o el efecto de amortiguación de la fundación (F.E.M.A. 4.4.0., 2.0.0.5.). En esta sesión se proporciona orientación sobre la inclusión de estos efectos en los procedimientos estáticos no lineales, Estos procedimientos se representan por:

2.2.1.1. Modelos bases rígida:

El modelo estructural está montado sobre una base rígida que se excita por el movimiento de campo libre. El movimiento de campo libre es el movimiento teórico de un solo punto de la superficie de la tierra, suponiendo que no hay ninguna estructura cerca de él. La hipótesis de modelamiento de base fija no es apropiada para muchas estructuras; sin embargo. Los sistemas estructurales que incorporan elementos verticales rígidos para la resistencia lateral (muros de corte y marcos rígidos) pueden ser particularmente sensibles a pequeñas rotaciones en la base y traslaciones que si supone una de base fija. Los elementos verticales relativamente flexibles (pórticos) a menudo no se ven afectados de manera significativa por la interacción suelo estructura (F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5).

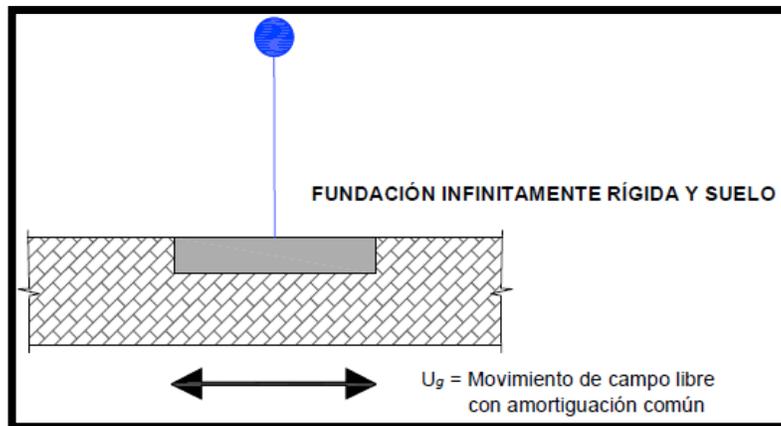


Figura 1 Modelo base rígida
Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

2.2.1.2. Modelo base flexible:

El siguiente modelo incorpora la fundación flexible en el modelo estructural directamente. Según F.E.M.A. 3.5.6. y A.T.C.-4.0. (2000), incluyen los resortes indicados en la figura N° 2.8 para la estimación de la flexibilidad y la fuerza de la fundación, en un modelo estructural para el análisis inelástico. Estas disposiciones normalmente utilizan el movimiento de campo libre como la sísmica con 5% de amortiguación con el valor inicial convencional. Este enfoque es capaz de modelar tanto los componentes estructurales y geotécnicos de la fundación. El resultado es

que la respuesta del sistema estructural general incluye deformaciones elásticas e inelásticas en las partes estructurales y geotécnicas del sistema de fundación. Estas deformaciones se refieren a veces como un efecto inercial de interacción suelo estructura. Estas mejoras en el modelamiento pueden conducir a desviaciones significativas de los resultados de base fija y una representación más exacta de la respuesta estructural probable. En comparación con el enfoque del modelamiento con base fija, el período previsto de la estructura se alarga, la distribución de fuerzas entre los diversos elementos de cambios, la secuencia de falta de elasticidad y los modos de comportamiento inelástico puede cambiar, y los mecanismos de la fundación (oscilaciones, insuficiencia portante del suelo, y el desplazamiento) puede ser evaluado directamente y considerado. Todos estos efectos resultan en una evaluación más realista del comportamiento estructural probable y el rendimiento (F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5).

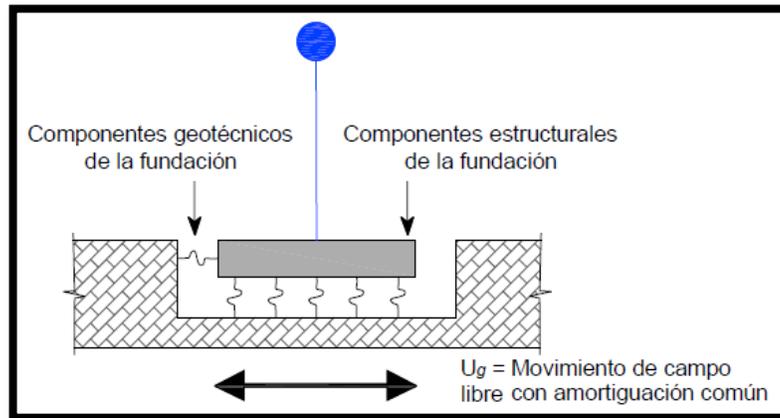


Figura 2 Modelo base flexible
Fuente: FEMA 440, 2005.

2.2.1.3. Modelos Interacciones cinemáticas:

En el modelo estructural los efectos de filtrado de interacción suelo estructura puede tener sobre el carácter y la intensidad de movimiento del suelo que experimenta el modelo estructural. La interacción cinemática resulta de la presencia de elementos de cimentación relativamente rígidas, sobre o dentro del suelo que provocan movimientos de cimentación se desvíen de los movimientos

de campo libre. Dos efectos se identifican comúnmente: promedio base - losa y los efectos de empotramiento. El efecto promedio base - losa puede ser visualizado por reconocer que el movimiento instantáneo que se habría producido en ausencia de la estructura dentro y por debajo de su huella no es la misma en todos los puntos. La colocación de una estructura y fundación a través de estos movimientos espacialmente variables produce un efecto promedio en la que el movimiento global es inferior a los máximos localizados que se habría producido en el campo libre. El efecto de empotramiento se asocia con la reducción de movimiento del suelo que tiende a ocurrir con la profundidad en un depósito de la cimentación. Tanto promedio base - losa y empotramiento afectan al carácter del movimiento a nivel de fundación de una manera que es independiente de la superestructura con una excepción. Los efectos son fuertemente dependientes del período, de ser maximizada en periodos pequeños. Los efectos pueden ser visualizados como un filtro aplicado a los componentes de alta frecuencia (a corto plazo) del movimiento del suelo en campo libre. El impacto de los efectos sobre la respuesta de la superestructura tenderá a ser mayor para los edificios de período corto (F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5).

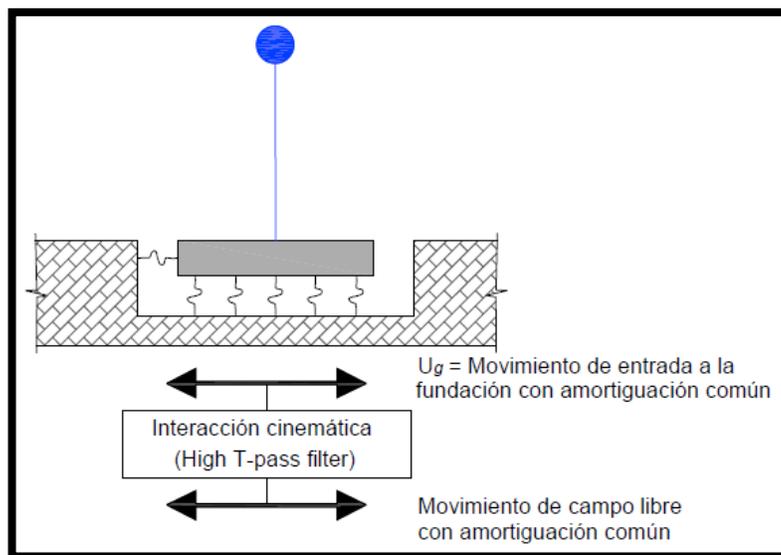


Figura 3 Modelo interacción cinemática
Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

2.2.2. Efectos cinemáticos en campo libre:

Los movimientos de la cimentación impuestas en la base de una estructura pueden diferir en el campo libre debido a un promedio de movimientos variables en el suelo a través del tipo de cimentación, de onda de dispersión y efectos de empotramiento. Estos efectos se denominan como los efectos de interacciones cinemáticas, y tienden a ser importante para los edificios con períodos relativamente cortos fundamentales (períodos $< \sim 0,5$ segundos), con grandes dimensiones en planta, sótanos de 3mts. de profundidad o de acuerdo al tipo de suelo. A continuación, se presenta los procedimientos para tener en cuenta efectos cinemáticos en estructuras de edificios. (F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5).

La proporción de respuesta espectral (R.R.S.), factor que puede ser usado para representar los efectos de interacción cinemática. Es la relación de las ordenadas espectrales de respuesta impuestas sobre la base, es decir el movimiento de entrada a la fundación; para las ordenadas espectrales de campo libre. Para la evaluación de una RRS se deben considerar dos fenómenos: base de la losa y empotramiento de la fundación. El efecto promedio de la losa ocurre a nivel de la base para zapatas interconectadas con vigas de conexión o losas de concreto armado. Incluso si una base rígida lateralmente no está presente en el sistema, el promedio puede ocurrir en el primer nivel de edificios altos con diafragmas rígidos. El único caso en el que los efectos de base promedio de la losa no se deben considerar es en edificios sin un sistema de base conectada lateralmente con el piso y techo de diafragmas flexibles. Los efectos de empotramiento de la fundación deben ser considerados para edificios con sótanos. Tales efectos no deben ser considerados para edificios sin sótanos, incluso si se incrustan las zapatas. Los efectos de empotramiento tienden a ser significativo cuando la profundidad de los sótanos es mayor a 3 metros. (F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5).

Según (Kim y Stewart, 2003), el procedimiento simplificado para el análisis de estos dos efectos de interacción cinemática es como una función del periodo del modelo estructural :

Paso 1°: Evaluar el tamaño de la fundación efectiva $b_e = \sqrt{ab}$, donde a y b son las dimensiones de la huella (en pies) de los cimientos del edificio en planta.

Paso 2°: Estructura sin sótano: evaluar la RRS de la base de la losa de promedio (RRS_{bsa}) como una función del periodo (ver figura n° 04).

$$RRS_{bsa} = 1 - \frac{1}{14,100} \left(\frac{b_e}{T} \right)^{1.2} \geq \text{para el valor}$$

Donde:

T: Periodo fundamental de vibración (0.2s).

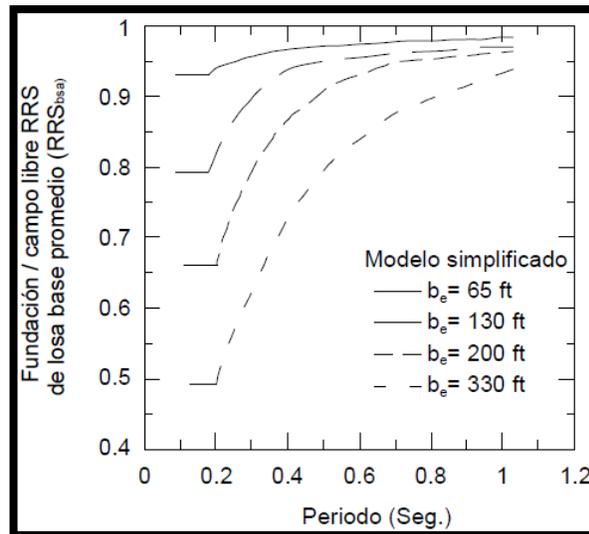


Figura 4 Ratio de espectros de respuesta para el promedio losa de base, función del periodo y el tamaño de la fundación b_e

Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

Estructuras con sótanos: evaluar una R.R.S. adicionales de empotramientos (R.R.S.) como una función del período (véase figura n° 05).

$$RRS_e = \cos\left(\frac{2\pi e}{Tnv_s}\right) \geq 0.453$$

Donde:

T: Periodo fundamental de vibración (0.2s).

e: empotramiento de la fundación (en pies).

Vs: velocidad de la onda de corte para las condiciones del tipo de suelo, tomados como valor promedio de la velocidad a una profundidad de be de la fundación pies/seg.)

n: factor de velocidad de onda cortante esperado PGA según estimación de la tabla n° 01.

Paso 3°: Evaluar el producto de R.R.S.B.S.A. en tiempos R.R.S. para obtener la interacción cinemática de cada periodo. La ordenada espectral del movimiento de entrada a la fundación en cada período es el producto del espectro de campo libre y el total R.R.S.

$$Sa_{FIM} = Sa * RRS_{bsa}$$

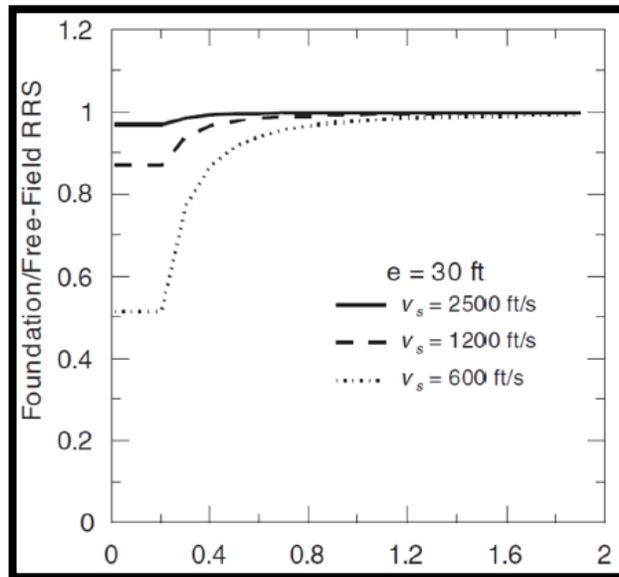


Figura 5 Ratio de espectros de respuesta para empotramiento RRSe, para e=30 pies como función de periodo y la velocidad de onda de corte vs

Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

Tabla 1

Valores aproximados de reducción de velocidad de ondas de corte, n

Pico de aceleración del suelo (PCA)				
	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
n	0.90	0.80	0.70	0.65

Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

Paso 4°: Se repetirán los pasos 1 y 3 para otros períodos, si se desea generar unos espectros completos para las entradas de movimientos de las fundaciones.

2.2.3. Amortiguamientos de las bases (cimentaciones)

La amortiguación relacionada con la interacción fundación-suelo se puede complementar significativamente de la amortiguación que se produce en una estructura debido a la acción inelástica de los componentes estructurales. La amortiguación de la interacción fundación-suelo está asociada con el comportamiento de histéresis de suelo, así como la radiación de energía en el suelo de la base. Estos efectos de amortiguación de la fundación tienden a ser importante para los sistemas rígidos estructurales especialmente cuando el suelo de cimentación es relativamente blando (suelos tipo S3 y S4).

Los efectos de amortiguación de la fundación están representados por una relación de amortiguación de sistema modificado. El coeficiente de amortiguamiento inicial para la estructura de amortiguación de la fundación se conoce como β_i generalmente se toma como 5%. La amortiguación que debe atribuirse a la interacción fundación-suelo se conoce como β_0 . Finalmente, el coeficiente de amortiguamiento del sistema estructural completa, lo que representa para la interacción fundación-suelo, así como amortiguamiento estructural, se conoce como β_0 . El cambio en el coeficiente de amortiguamiento de β_i a β_0 modifica el espectro de respuesta elástica. Las ordenadas espectrales se reducen si $\beta_0 > \beta_i$.

Varios factores influyen en la fundación como el factor de amortiguamiento β_f . Sujeto a las limitaciones indicadas a continuación, el siguiente procedimiento simplificado puede ser usado para estimar β_f y el cambio de ordenada espectral

posterior debido a la relación de amortiguamiento modificada del sistema estructural completo, β_0 .

Paso 1°: Se debe evaluar los períodos lineales para el modelo estructural asumiendo una base fija (T) y una base flexible, utilizando modelamientos de cimientos apropiados (FEMA 440, 2005). Las directrices para evaluar la rigidez son en forma de resortes del suelo, para estos cálculos, el módulo de corte será degradado para representar la rigidez del suelo.

Para (F.E.M.A. 3.5.6, 2.0.0.5), las zapatas que no son muy profundas las cuales son rígidas con respecto al suelo de apoyo, se modela como un resorte desacoplado el cual representa la rigidez de la fundación (ver figura n° 07).

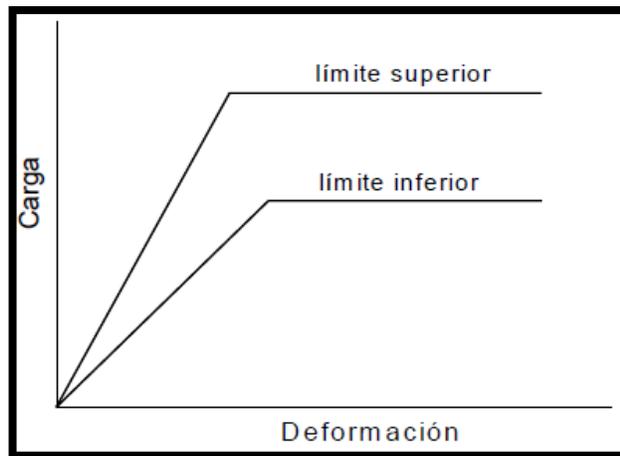


Figura 6 Comportamiento Elastoplástico de carga – deformación de suelos
Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5

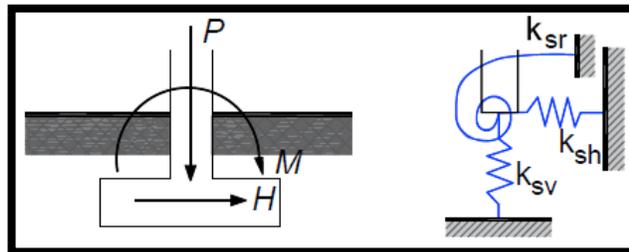


Figura 7 Resorte desacoplado equivalente a la rigidez del suelo
Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

Paso 2°: Se calcula la rigidez del suelo en la superficie ($K_{\text{superficial}}$) con las siguientes fórmulas:

Paso 2°.1: Se calculará la traslación a lo largo del eje x.

$$K_x = \frac{GB}{2-v} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$$

Paso 2°.2: Se calculará la traslación a lo largo del eje y.

$$K_y = \frac{GB}{2-v} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$$

Paso 2°.3: Se calculará la traslación a lo largo del eje z.

$$K_z = \frac{GB}{1-v} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$$

Paso 2°.4: Se calculará la rotación sobre el eje x.

$$K_{xx} = \frac{GB^3}{1-v} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$$

Paso 2°.5: Se calculará la rotación sobre el eje y.

$$K_{yy} = \frac{GB^3}{1-v} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$$

Paso 2°.6: Se calculará la rotación sobre el eje z.

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

Notas: Las unidades de L y B deberán estar en pies.

Luego de haber calculado la rigidez del suelo en la superficie se tendrá que realizar la corrección por empotramiento según datos de la figura n° 08, la cual consiste en multiplicar la rigidez y rotación con los factores siguientes:

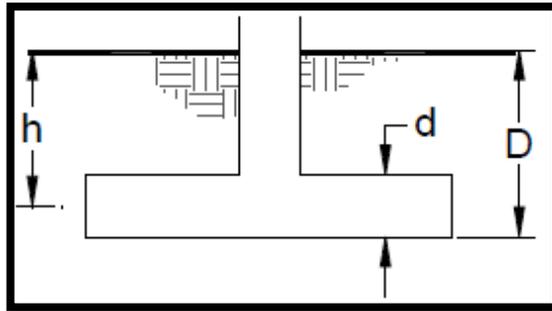


Figura 8 Factor de corrección por empotramiento
Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

Donde:

D: profundidades de losas de cimentaciones o zapatas (en pies).

h: distancias a los centroides de losas de cimentaciones o zapata (en pies).

d: espesor de losa de cimentación o zapata (en pies)

Paso 2°.7: La traslación en Kx y Ky se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento β_x , β_y respectivamente .

$$\beta_x, \beta_y = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)^{0.4}}{BL^2} \right) \right]$$

Paso 2°.8: La traslación en Kz se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento β_z .

$$\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL} \right)^{2/3} \right) \right]$$

Paso 2°.9: La rotación en Kxx se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento β_{xx} .

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

Paso 2°.10: La rotación en Kyy se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento β_{yy} .

$$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$$

Paso 2°.11: La rotación en Kzz se multiplicará por el factor de corrección por empotramiento β_{zz} .

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

Paso 3°, Luego según (FEMA 440, 2005). Se calcula la rigidez estructural efectiva del oscilador SDOF para las condiciones de base fija.

$$K_{fijo}^* = M * \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

Donde:

M: Masa efectiva para el primer modo calculado como el total de veces de la masa por el coeficiente de masa efectiva.

Paso 4°, Se determinan el radio de fundaciones equivalentes para las translaciones como:

$$r_x = \sqrt{\frac{A_{base}}{\pi}}$$

Donde:

Abase: área de la base cuando los elementos están interconectados lateralmente .

Paso 5°, Luego se calcula la rigidez de traslación de la fundación K_x . Para muchas aplicaciones, la rigidez de traslación se puede estimar como:

$$K_x = \frac{8}{2 - \nu} Gr_x$$

Donde:

G: módulo efectivo de deformación degradada cizalladura del suelo (ver tabla n° 02).

V: coeficiente de Poisson .

Parámetros de Rigidez:

El módulo de corte inicial, G_0 :

$$G_0 = \frac{\gamma v_s^2}{g}$$

Donde:

V_s : velocidad de onda cortante en cepas bajas”.

γ : peso específico del suelo .

g : aceleración debido a la gravedad .

G_0 se expresa en libras por pie cuadrado, como es $\sigma'0$.

$$G_0 \cong 20,000(\bar{N}_{60})^{1/3} \sqrt{\sigma'_0}$$

Donde:

N60: “promedio ponderado del ensayo estándar de penetración”.

σ'_0 : tensión vertical efectiva (Lbs/pie²).

yt: peso total unitario del suelo .

d: profundidad de la muestra .

dw:: profundidad al nivel de agua subterránea .

El módulo de corte efectivo (G) se calculará de acuerdo con la tabla n° 02:

Tabla 2

Ratio de módulo de corte efectivo, (G/G0)

Aceleración efectiva pico $S_{xs}/2.5$				
Tipo de suelo	$S_{xs}/2.5=0$	$S_{xs}/2.5=0.1$	$S_{xs}/2.5=0.4$	$S_{xs}/2.5=0.8$
Perfil Tipo S_0	1.00	1.00	1.00	1.00
Perfil Tipo S_1	1.00	1.00	0.95	0.90
Perfil Tipo S_2	1.00	0.95	0.75	0.60
Perfil Tipo S_3	1.00	0.90	0.50	0.10
Perfil Tipo S_4	1.00	0.60	0.05	*

Fuente: F.E.M.A. 4.4.0, 2.0.0.5.

Nota: Se utilizará interpolación lineal para los valores intermedios de $S_{x.s.}/2.5$. para (*) se realizarán investigación geotécnica específica de suelo y los análisis dinámicos de respuesta del suelo .

Paso 6°, Se calcula el radio de la base equivalente para la rotación R_θ , por primera evaluación de la rigidez rotacional efectiva de la fundación K_θ .

$$K_{\theta} = \frac{K_{fijo}^* (h^*)^2}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^2 - 1 - \frac{K_{fijo}^*}{K_x}}$$

Donde:

h: altura de la estructura efectiva .

Se toma h como la altura total del edificio para las estructuras de un solo piso, y como la distancia vertical desde la fundación hasta el baricentro de la primera forma del modo para las estructuras de varios pisos. En este último caso, h* se puede aproximar como el 70% de la altura total de la estructura . La cantidad K.x. es a menudo mucho mayor que K*fijo, en cuyo caso una evaluación precisa de K.x. es innecesario y la relación, K*fijo/Kx se puede aproximar como cero .

Paso 7°, El radio equivalente de rotación para la fundación se calcula como :

$$r_{\theta} = \left(\frac{3(1 - \nu)K_{\theta}}{8G} \right)^{\frac{1}{3}}$$

El módulo de corte efectivo del suelo G y el coeficiente de Poisson V debe ser coherente con los datos utilizados en la evaluación de la rigidez del resorte de fundación.

Paso 8°, Se estima la relación efectiva periodo-amplificación T_{eff}/T_{eff} utilizando el modelo estructural de suelo específico desarrollado para el análisis no lineal. Esta relación período de amplificación se calcula para la estructura en su estado de rotura, es decir, que representan la ductilidad estructural y la ductilidad del suelo. Una expresión para la relación es:

$$\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} = \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \left[\left(\frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{0.5}$$

Donde:

u: demandas de ductilidades esperados para los sistemas (considerandos la estructuras del suelos y efecto).

Por lo tanto, la ductilidad debe ser estimada antes de la solución actual y posteriormente verificada.

Paso 9°, Se evalúa el coeficiente de amortiguamiento de base fija inicial para la estructura (β_i), que se toma a menudo como 5%.

Paso 10°, Se determina el amortiguamiento de la fundación debido a la radiación de amortiguación β_f basada en: e/r_x y h/r_0 , usando los gráficos en las figuras n° 09 y 10. Una aproximación a esas curvas viene dado por la siguiente expresiones:

$$\beta_f = a_1 \left(\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right) + a_2 \left(\frac{\tilde{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right)^2$$

Donde:

β_f : está dado en porcentaje.

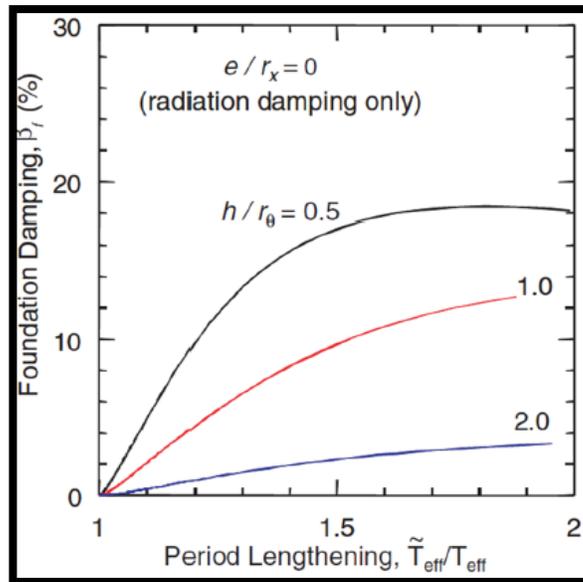


Figura 9 Porcentaje de amortiguación de la fundación vs relación efectiva de alargamiento

Fuente: FEMA 4.4.6. 2.0.0.0.

La figura n° 09 es un ejemplo de amortiguación de la fundación β_f como una función de la relación efectiva período de alargamiento T_{eff}/T_{eff} , por empotramiento constante $E./R.X. = 0$, y diversos valores de rigidez de fundación de rotación rigidez $H./R.\Theta$.

$$a_1 = c_e \exp(4.7 - 1.6 h/r_\theta)$$

$$a_2 = c_e [25(h/r_\theta) - 16]$$

$$C_e = 1.5(e/r_x) + 1$$

Nota: Las ecuaciones anteriores son más aplicables para $T_{eff}/T_{eff} < 1.5$, y generalmente proporcionan estimaciones conservadoras (bajas) de amortiguación para un mayor T_{eff}/T_{eff} .

Paso 11°, Se evalúa la flexibilidad de la base, coeficiente de amortiguamiento β_0 de β_i , β_f y T_{eff}/T_{eff} de la siguiente manera:

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{\beta_i}{(\bar{T}_{eff}/T_{eff})^3}$$

Paso 12°, Se evalúa el efecto sobre las ordenadas espectrales del cambio en el coeficiente de amortiguamiento de β_i con β_0 luego se modifica el espectro del movimiento de entrada de la fundación.

Desde este punto, el desplazamiento máximo esperado del modelo oscilador S.D.O.F. no lineal se puede estimar utilizando la modificación de desplazamiento.

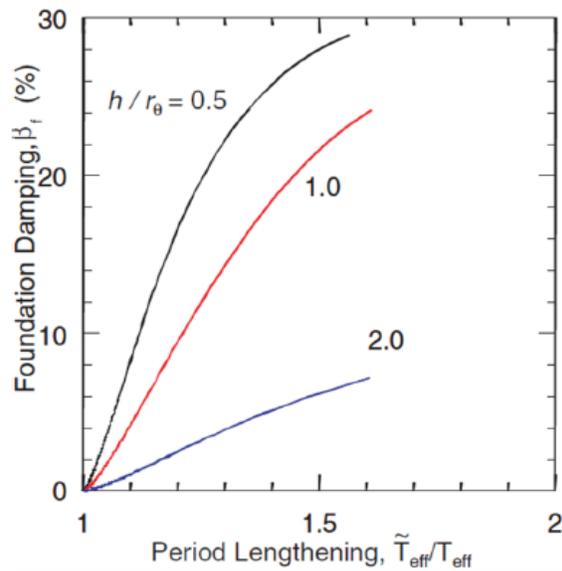


Figura 10 Modificación de desplazamiento.
Fuente: FEMA 446 2000.

Ejemplo de fundación de amortiguación β_f como una función de la relación efectiva período de alargamiento T_{eff}/T_{eff} , por empotramiento constante $e/rx=0.5$, y diversos valores de rigidez de fundación de rotación h/r_θ .

2.3. Definición de términos

- Análisis modal:** es el proceso de determinación de las características dinámicas inherentes a un sistema mecánico y necesario para la posterior formulación de un modelo matemático del comportamiento dinámico de dicho sistema. Esta modelización dinámica se lleva a cabo en base a los parámetros modales (frecuencias naturales, modos naturales de vibración y relaciones de amortiguamiento) propios del sistema, y que dependen de la distribución de sus características de masa, rigidez y amortiguamiento (Departamento de Ingeniería mecánica, 2015).
- Análisis sísmico:** El análisis sísmico de la edificación tiene como objetivo encontrar las fuerzas y momentos internos debidos a la carga sísmica, en cada uno de los elementos del sistema estructural para luego proceder al diseño.

- **Deriva de entrepiso:** Cociente entre la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos y la altura libre o separación de los mismos . (M.V.C.S., 2.0.0.7.).
- **Desplazamiento de diseño:** Desplazamiento lateral frente al sismo de diseño sin considerar el desplazamiento por torsión. Usado para el diseño del sistema de aislamiento. (A.S.C.E .7.-.1.0., 2.0.1.0.).
- **Energía Sísmica:** Energía que se libera cuando ocurre un sismo, esta energía es liberada en forma de calor una parte y el resto es irradiado en forma de ondas sísmicas. (K.U.R.O.I.W.A., 2.0.0.5.).
- **Estratigrafía:** Estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.
- **Frecuencia:** Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de un fenómeno o suceso periódico.
- **Grados de libertad:** Es el número mínimo de parámetros necesarios para describir de manera única la figura deformada de la estructura. Estos parámetros corresponden a las rotaciones y traslaciones libres en cada uno de los nudos de la estructura.
- **Periodo de vibración:** es el intervalo mínimo de tiempo para el cual la vibración se repite a sí misma. (F.A.D.U., 2.0.1.4.).
- **Propagación de ondas:** Puede interpretarse haciendo uso del modelo de cadena

lineal. Esta cadena está compuesta de una serie de partículas de igual masa separadas de resortes también iguales. Este modelo permite explicar el comportamiento de los cuerpos elásticos y por lo tanto la propagación de ondas mecánicas.

- **Rigidez:** Capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.
- **Sismo:** Se denomina sismo o terremoto a movimientos bruscos producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto.
- **Tectónica:** Parte de la geología que estudia los plegamientos, deformaciones y fallas de la corteza terrestre y las fuerzas internas que los originan.
- **Vulnerabilidad:** Es el nivel de daño que pueden sufrir las edificaciones durante un sismo y depende de las características del diseño de la edificación, de la calidad de los materiales y de la técnica de construcción, (Kuriwa J. y col; 2010.:64).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general:

Existe una relación directa y significativa entre la interacción suelo – estructura y el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín..

2.4.2. Hipótesis específicas:

- a) Existe una relación y significativa entre el análisis sísmico y la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.
- b) Los resultados permitirán una mejor comprensión del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.

2.5. Variables:

2.5.1. Definición conceptual de la variable:

- **Variable dependiente**

Interacción suelo estructura:

considera la respuesta de la edificación a través de su comportamiento cinemático e inercial ante sollicitaciones dinámicas en el terreno, en relación con las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio, como elemento importante en la seguridad de las estructuras, un análisis estructural del edificio que consiste en modelar resortes equivalentes a los distintos tipos de suelo de fundación: muy rígido, intermedio y blando

- **Variable independiente**

Comportamiento Estructural: es la forma como responde toda una estructura en términos de desplazamientos y deformaciones, ante la aplicación de fuerzas externas; las relaciones matemáticas existentes entre las fuerzas generalizadas y los desplazamientos generalizados son conocidas usualmente como relaciones a las respuesta de la estructura frente a un evento sísmico.

2.5.2. Definición operacional de la variable:

Carrasco (2009) Es un proceso metodológico que consiste en descomponer deductivamente las variables que componen el problema de investigación,

partiendo desde lo más general a lo más específico; es decir que estas variables se dividen (si son complejas) en dimensiones, áreas, aspectos, indicadores, índices, subíndices, ítems; mientras si son concretas solamente en indicadores, índices e ítems.

2.5.3. Operacionalización de la variable:

Tabla 3
Operacionalización de la variable independiente.

TIPO	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
VARIABLE DEPENDIENTE	Interacción suelo estructura:	Interaccion cinematica	La interaccion cinematica consiste esencialmente en determinar la excitacion efectiva de la cimentacion provocada por el movimiento sismico	Amplitud y angulos
		Funciones de impedancia	Las tambien llamadas funciones de rigidez del suelo se definen como la relacion en estado estacionario entre la fuerza (momento) Excitadora y el desplazamiento (rotacion)	E/R 2π
VARIABLE INDEPENDIENTE	Comportamiento Estructural	Periodo de vibración	Para construcciones existentes es un valor que puede ayudar a determinar las condiciones actuales de seguridad estructural.	segundos
		Centro de masa y rigidez	Punto central de los elementos verticales de un sistema que resiste a las fuerzas laterales.	metros
		Fuerza en la base	Los cimientos pues, son las bases donde apoya un	toneladas

			edificio y son los que transmiten y distribuyen las cargas del edificio al terreno	
		Desplazamientos	En física, el desplazamiento es el cambio de posición de un cuerpo entre dos instantes o tiempos bien definidos.	centímetros
		Derivas de entrepiso	Valores a comparar entre el edificio con base rígida y resortes establecidos en la norma E.030. sus dimensiones están en función a la relación	desplazamiento de entrepiso (m/m).
		Amortiguamiento		Adimensional

Fuente propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de investigación

La presente investigación consideró el método científico, debido a que este proporciona una serie de pasos ordenados y sistematizados para generar conocimiento confiable, el cual inicia en la observación, continua con el planteamiento del problema, el planteamiento de las hipótesis, realiza la experimentación y termina en las conclusiones para el tema estudiado” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

De la misma manera como sud metodo utilizaremos el método general empleado es Deductivo, ya que desde la teoría deduciremos las características del comportamiento sísmico con diferentes porcentajes de amortiguamientos en el sistema estructural de la vivienda en estudio.

3.2. Tipo de investigación

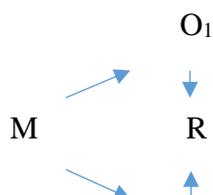
La investigación es de tipo aplicada, porque se basó en investigaciones, estudios previos, normas internacionales y el reglamento nacional de edificaciones.

3.3. Nivel de investigación

Es descriptivo correlacional, porque determinaremos las derivas y cortantes de diseño del sistema estructural con la rigidez efectiva que establece la norma E.030 (diseño sismorresistente), del Reglamento Nacional de Edificaciones.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de investigación que fue considerada con la presente investigación fue la no experimental, debido a que no se manipulo intencionalmente una variable para ver sus efectos o influencia en la otra, pero si establecer una relacion entre ellas.



O₂

Donde:

O₁= variable 1

O₂= variable 1

R= relacion entre las dos variables

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está representada por las viviendas multifamiliares de la ciudad de Jauja, catalogadas como Edificaciones de categoría C en la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

3.5.2. Muestra

La muestra es por conveniencia no probabilística, ya que se selecciona la vivienda multifamiliar de la familia Suarez Quispe en la ciudad de Jauja por tener acceso a la información y estar diseñada con la vigente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como primer paso se procederá a recolectar los planos arquitectónicos y estructurales de la vivienda en la zona de Jauja, los cuales serán obtenidos directamente de la Municipalidad provincial de Jauja, posteriormente se revisará la norma E.030 del Reglamento Nacional de edificaciones para obtener la información necesaria y por último realizaremos un estudio de mecánica de suelos para determinar la capacidad portante del terreno.

3.7. Procesamiento de la información:

Toda la información que se recolecto será procesada en el software ETABS V.9.7.4 realizando un análisis sísmico considerando y sin considerar la interacción suelo –

estructura en la vivienda multifamiliar de la familia Suarez Quispe en la ciudad de Jauja.

3.8. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información se realizó desde un enfoque del tipo cuantitativo, por lo que para la organización de los datos recolectados se utilizaron matrices de tabulación, junto a esquemas gráficos que facilitaron la interpretación de datos.

3.9. Técnicas y análisis de datos:

El análisis de datos se realizará en el software Microsoft Excel en el cual se realizaremos cuadros comparativos del análisis sísmico considerando y sin considerar la interacción suelo – estructura en la vivienda multifamiliar de la familia Suarez Quispe con la finalidad de determinar cual es el que mejores beneficios brinda a la estructura.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Ubicación de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe:

La vivienda multifamiliar Suarez Quispe se encuentra ubicado en el Jr. Libertad 140 en el distrito de San Lorenzo, provincia de Jauja, departamento de Junín:

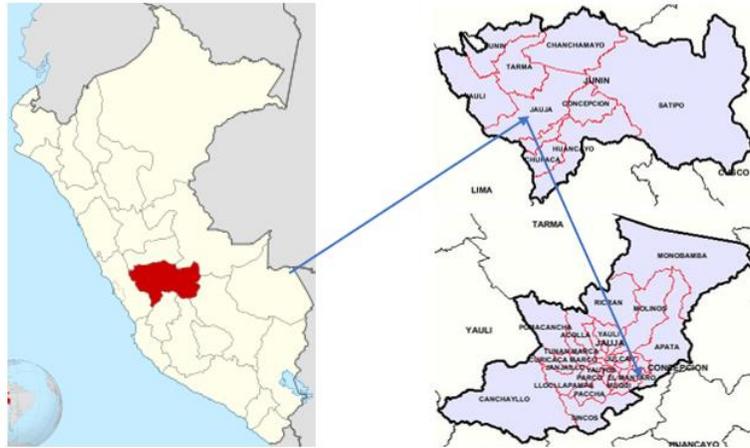


Figura 11 Ubicación del proyecto
Fuente: Imágenes Google.

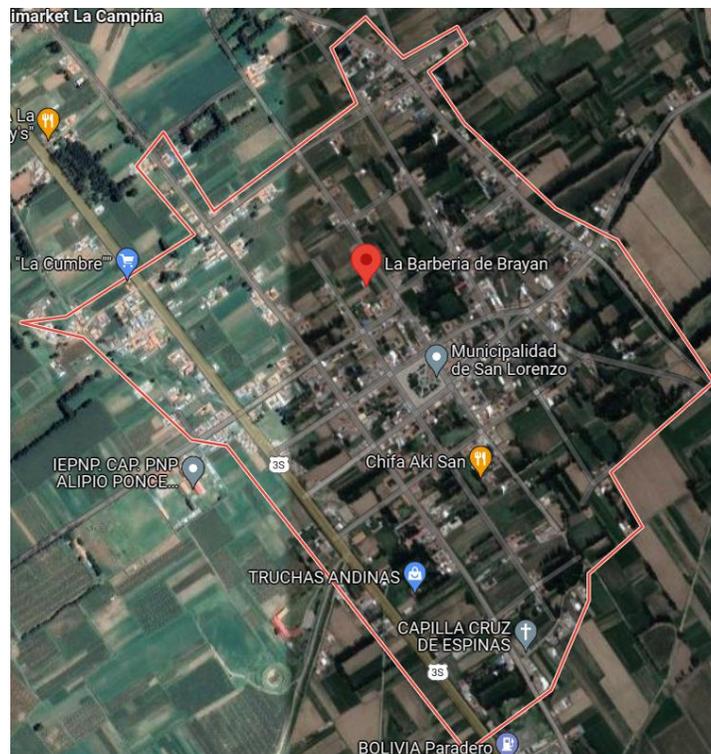


Figura 12 Distrito de San Lorenzo
Fuente: Imágenes Google.



Figura 13 Jr. Libertad 140 - distrito de San Lorenzo
Fuente: Imágenes Google.

4.2. Descripción de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe:

La vivienda multifamiliar Suarez Quispe se encuentra actualmente en ejecución al momento en que realiza esta investigación, por este motivo, los planos de arquitectura y estructura se encuentran diseñados y elaborados, los cuales vienen adjuntos en los anexos.

4.2.1. Primer nivel:

En la arquitectura del primer nivel podemos observar dos áreas de comercio, un corredor, dos terrazas, dos salas, dos comedores, dos cocinas, dos patios, tres servicios higiénicos completos, dos dormitorios y una escalera que conecta al segundo nivel. El área total construido es de 200m² y la altura es de 2.90m.

4.2.2. Segundo nivel:

El segundo nivel cuenta con una arquitectura en donde se puede observar dos áreas para oficinas, una recepción, un corredor, cuatro servicios higiénicos completos, dos

salas, dos comedores, dos cocinas, dos dormitorios y una escalera que conecta al segundo nivel. El área total construido es de 200m² y la altura es de 2.90m.

4.2.3. **Tercer nivel:**

En el tercer nivel podemos observar cuatro salas, cuatro comedores, cuatro cocinas, cuatro dormitorios, cuatro servicios higiénicos completos, un corredor y una escalera que conecta al cuarto nivel. El área total construido es de 200m² y la altura es de 2.90m.

4.2.4. **Cuarto nivel:**

En el cuarto nivel podemos observar dos salas, dos comedores, dos cocinas, seis dormitorios, cinco servicios higiénicos completos, un servicio higiénico simple, un corredor y una escalera que conecta a la azotea. El área total construido es de 200m² y la altura es de 2.90m.

4.2.5. **Azotea:**

La azotea es simple donde se puede observar un área para tendal y también puede ser utilizado como sala de reunión al aire libre.

4.2.5.1. **Reglamento nacional de edificaciones:**

Las normas que se aplicaran para realizar el análisis sísmico de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe son las siguientes:

- Norma Técnica de Edificaciones E.020 “Cargas”.
- Norma Técnica de Edificaciones E.030 “Diseño Sismorresistente”.
- Norma Técnica de Edificaciones E.050 “Suelos y Cimentaciones”.
- Norma Técnica de Edificaciones E.060 “Concreto Armado”.

4.2.5.2. **Estudio de mecánica de suelos:**

El estudio de mecánica de suelos realizado en el terreno donde se construirá la vivienda multifamiliar Suarez Quispe determino los siguientes resultados:

- La capacidad portante suelo (σ) es igual a 0.94Kg/cm² a una profundidad de desplante (Df) igual a 1.50m.
- La velocidad de onda de corte (Vs) es igual a 230.00m/s.
- El peso específico del suelo (γ_s) es igual a 1030.00Kg/m³.

4.2.6. Propiedades de los materiales:

Los materiales que se utilizaran en el análisis sísmico de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe son el concreto de $F'c= 210\text{Kg/cm}^2$ y el refuerzo $F_y= 4200\text{Kg/cm}^2$.

4.2.6.1. Concreto $F'c= 210\text{Kg/cm}^2$:

- Resistencia a la compresión ($F'c$): 210Kg/cm²
- Módulo de elasticidad (E): 217370.65Kg/cm²
- Peso específico (γ_c): 2400Kg/cm²
- Módulo de poisson: 0.15

4.2.6.2. Refuerzo $F_y= 4200\text{Kg/cm}^2$:

- Límite de fluencia (F_y): 4200Kg/cm²
- Módulo de elasticidad (E): 2100000Kg/cm²
- Peso específico (γ_c): 78450Kg/cm²
- Módulo de poisson: 0.30

4.2.6.3. Elementos estructurales de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe:

Como se mencionó anteriormente, la estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe fue diseñada y elaborada por el personal responsable de su ejecución, en esta investigación se realizará el análisis sísmico con la interacción suelo – estructura respetando el diseño de los elementos estructurales actuales los cuales se puede observar de forma resumida en la siguiente tabla:

Tabla 4
Estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe

DESCRIPCION	DIMENSIONES (cm)
Columna C.1.	Rectangular
Columna C.2.	Cuadrado
Columna C.3.	Tipo L
Columna C.4.	Tipo T
V100 – 15x40	15x40
V101 – 15x20	15x20
V102 – 40x20	40x20
V103 – 25x20	25x20
V104 – 40x20	40x20
V105 – 15x20	15x20
VB – 15x20	15x20
Losa aligerada	20.00

Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones de las columnas descritas en la tabla anterior se pueden observar en la siguiente figura:

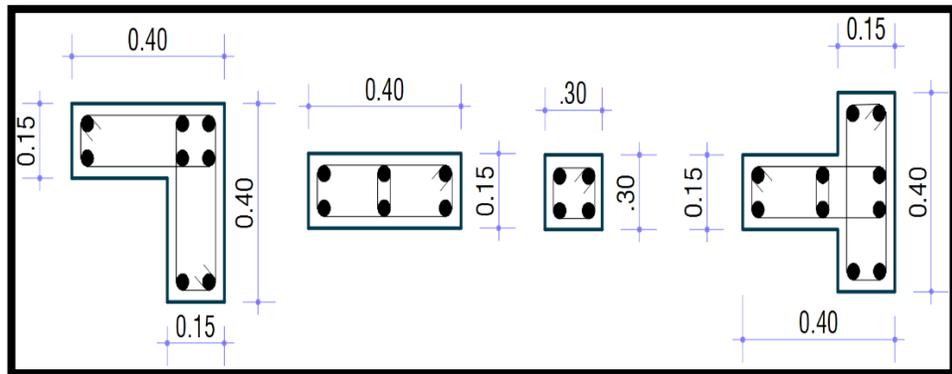


Figura 14 Dimensiones de las columnas
Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Cargas verticales:

Las cargas verticales de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe se describe a continuación:

4.2.7.1. **Primer, segundo y tercer nivel – carga muerta:**

- Losa aligerada: 300Kg/m²
- Acabados: 100Kg/m²
- Tabiquería: 100Kg/m²

4.2.7.2. **Primer, segundo y tercer nivel – carga viva:**

- Vivienda: 200Kg/m²
- Escaleras: 200Kg/m²

4.2.7.3. **Cuarto nivel – carga muerta:**

- Losa aligerada: 300Kg/m²
- Acabados: 50Kg/m²

4.2.7.4. **Cuarto nivel – carga viva:**

- Vivienda: 100Kg/m²
- Escaleras: 200Kg/m²

4.2.8. **Factores de diseño sísmico:**

La norma E.0.3.0. del R.N.E. especifica siete factores de diseño para determinar el espectro Pseudo – Aceleraciones las cuales son el factor de zona (Z), el factor de uso (U), el factor de ampliación sísmica (C), el factor de suelo (S), el factor de reducción sísmica (R), el periodo de plataforma (Tp) y el periodo largo (TL), los cuales se describen a continuación:

4.2.8.1. **Factor de zona (Z):**

La vivienda multifamiliar Suarez Quispe se encuentra ubicada en el distrito de San Lorenzo, provincia de Jauja y departamento de Junín, según la norma E.0.3.0. del RNE pertenece a la zona 3 del territorio nacional, por lo tanto, el factor de zona (Z) es igual a 0.35.

Tabla 5
Factores de zona

ZONA	FACTOR “Z”
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E.030 del RNE.

4.2.8.2. **Factor de uso (U):**

Según la norma E.030 del RNE, las viviendas multifamiliares pertenecen a la categoría C, por lo tanto, el factor de uso (U) de esta investigación es igual a 1.00.

Tabla 6
Categoría de la edificaciones y factor U

Categoría	Descripción	Factor U
A	Establecimientos de salud (públicos y privados). Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicación, estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía”. “Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios de plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.	1.5
B	Edificios donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos o bibliotecas.	1.3
C	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.0

D	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	A criterio del proyectista
---	---	----------------------------

Fuente: Norma E.030 del RNE.

4.2.8.3. Factor de ampliación sísmica (C):

Para determinar el factor de ampliación sísmica (C), tantearemos el periodo fundamental de vibración (T) desde 0.02s hasta 10.00s aplicando las siguientes ecuaciones:

$$T < T_p \quad C = 2,5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$$

Figura 15 Ecuaciones para el cálculo del factor (C)

Fuente: Norma E.030 del RNE.

4.2.8.4. Factor de ampliación de suelo (S):

Como se mencionó anteriormente, la capacidad portante del suelo es igual a 0.94Kg/cm², según la siguiente tabla, corresponde a un perfil (S1):

Tabla 7
Clasificación de los perfiles de suelo

Perfil	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)	Capacidad portante (kPa)
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: Norma E.030 del RNE.

Como se mencionó anteriormente, la vivienda multifamiliar Suarez Quispe se encuentra ubicada en la zona 3 del territorio nacional y cuenta con un perfil de suelo S1, aplicando las especificaciones de la siguiente tabla, el factor de ampliación de suelo (S) es igual a 1.00.

Tabla 8
Factor de suelo (S)

Zona \ Suelo	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E.030 del RNE.

4.2.8.5. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R):

Para determinar el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R), debemos calcular el coeficiente básico de reducción sísmica (R₀), el factor de irregularidad en planta (I_p) y el factor de irregularidad en altura (I_a), posteriormente se aplica la siguiente ecuación:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p \dots \dots (1)$$

Donde:

R.: Coeficientes de reduccion de las fuerzas sismicas.

R.0.: Coeficientes basico de reduccion sismica.

I.a: Factores de irregularidad en altura.

I.p: Factores de irregularidad en planta.

El Coeficiente básico de reducción sísmica (R_0) es igual a 8.00 debido a que el tipo de material es concreto armado y la estructura está conformada por pórticos en ambas direcciones.

Tabla 9
Coeficiente básico de reducción sísmica

Sistemas Estructurales	Coeficiente reducción R_0
Acero:	
Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)	8
Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	7
Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	6
Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	8
Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	6
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8
Concreto armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera	7

Fuente: Norma E.030 del RNE.

La planta de la estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe no cuenta con irregularidades, por lo tanto, el factor de irregularidad en planta (I_p) es igual a 1.00.

Tabla 10
Irregularidad estructural en planta

Irregularidades Estructurales en Planta	Factor de Irregularidad I_p
<p>Irregularidades Torsionales Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x}$), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{CM}).</p>	0.75
<p>Irregularidad Torsional Extrema Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{CM}), es mayor que 1,5 “veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga” (Δ_{CM}).</p>	0.60
<p>Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta.</p>	0.90
<p>Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.</p>	0.85
<p>Sistemas no Paralelos Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso.</p>	0.90

Fuente: Norma E.030 del RNE.

La elevación de la estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe no cuenta con irregularidades, por lo tanto, el factor de irregularidad en altura (Ia) es igual a 1.00.

Tabla 11
Irregularidad estructural en altura

Irregularidades Estructurales en Altura	Factor de Irregularidad I_a
<p>Irregularidad de Rigidez – Piso Blando Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.</p> <p>Irregularidades de Resistencia – Piso Débil Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	0.75
<p>Irregularidad Extrema de Rigidez Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.</p> <p>Irregularidad Extrema de Resistencia Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	0.50
<p>Irregularidad de Masa o Peso Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso, determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	0.90

<p>Irregularidad Geométrica Vertical La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.</p>	0.90
<p>Discontinuidad en los Sistemas Resistentes Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25% de la correspondiente dimensión del elemento.</p>	0.80
<p>Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25% de la fuerza cortante total.</p>	0.60

Fuente: Norma E.030 del RNE.

Reemplazando datos en la ecuación n° 01 determinamos un coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R) igual a 8.00.

4.2.8.6. **Periodo de plataforma (Tp) y periodo largo (TL):**

El periodo de plataforma (Tp) y periodo largo (TL) dependen del perfil de suelo S1 los cuales son igual a 0.40 y 2.50 respectivamente como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 12
Periodos “Tp” y TL”

	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp (S)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL (S)	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: Norma E.030 del RNE.

4.3. Análisis sísmico sin interacción suelo – estructura:

4.3.1. Aceleración espectral (Sa):

La aceleración espectral se determina reemplazando los factores de diseño sísmico en la siguiente ecuación:

$$Sa = \frac{Z*U*C*S}{R} * g \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Sa: Aceleración espectral.

g: Aceleración de la gravedad.

4.3.2. Espectro Pseudo – Aceleraciones:

El espectro Pseudo – Aceleraciones fue graficado en una hoja de cálculo en el Software Microsoft Excel en cual vienen adjunto en los anexos de esta investigación, para lo cual se tanteo el periodo fundamental de vibración (T) desde 0.02s hasta 10.00s.

La vivienda multifamiliar Suarez Quispe cuenta con un espectro Pseudo – Aceleraciones debido a que el sistema estructural consta de pórticos en ambos sentidos, el cual se puede observar en la siguiente figura:

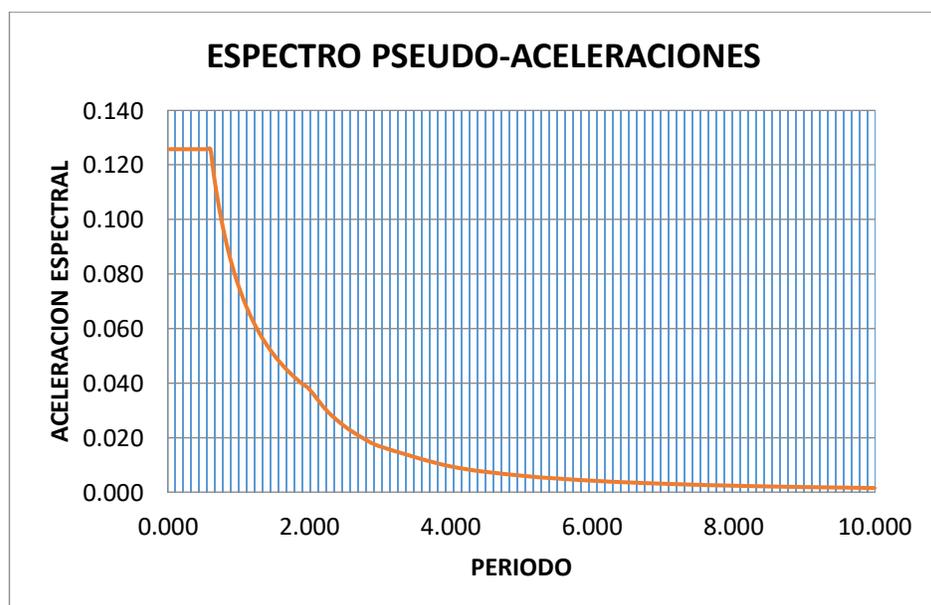
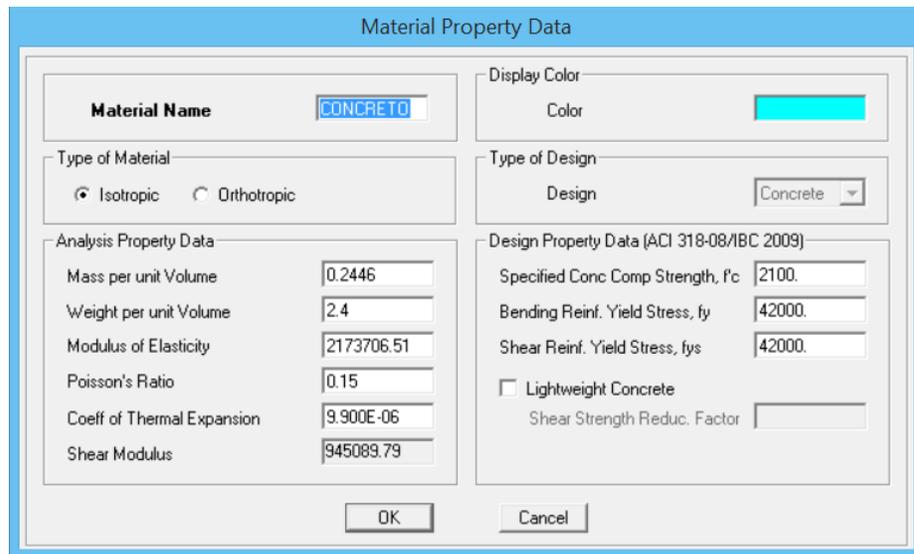


Figura 16 Espectro Pseudo – Aceleraciones
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Modelamiento en el software ETABS:

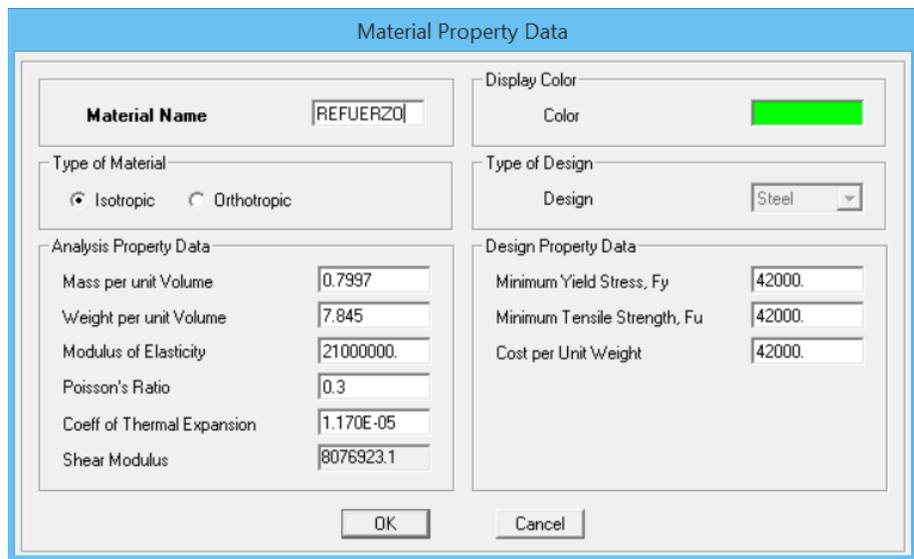
La vivienda multifamiliar Suarez Quispe fue modelada en el software E.T.A.B.S. en las unidades Tn.m.

4.3.3.1. Materiales:



Property	Value
Material Name	CONCRETO
Display Color	[Cyan]
Type of Material	Isotropic
Type of Design	Concrete
Design Property Data (ACI 318-08/IBC 2009)	
Specified Conc Comp Strength, f'c	2100.
Bending Reinf. Yield Stress, fy	42000.
Shear Reinf. Yield Stress, fys	42000.
Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>
Shear Strength Reduc. Factor	
Analysis Property Data	
Mass per unit Volume	0.2446
Weight per unit Volume	2.4
Modulus of Elasticity	2173706.51
Poisson's Ratio	0.15
Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06
Shear Modulus	945089.79

Figura 17 Concreto $F'c=210\text{Kg/cm}^2$ en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.



Property	Value
Material Name	REFUERZO
Display Color	[Green]
Type of Material	Isotropic
Type of Design	Steel
Design Property Data	
Minimum Yield Stress, Fy	42000.
Minimum Tensile Strength, Fu	42000.
Cost per Unit Weight	42000.
Analysis Property Data	
Mass per unit Volume	0.7997
Weight per unit Volume	7.845
Modulus of Elasticity	21000000.
Poisson's Ratio	0.3
Coeff of Thermal Expansion	1.170E-05
Shear Modulus	8076923.1

Figura 18 Refuerzo $Fy=210\text{Kg/cm}^2$ en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2. Estructura:

La estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe fue definida como se muestra en las siguientes figuras:

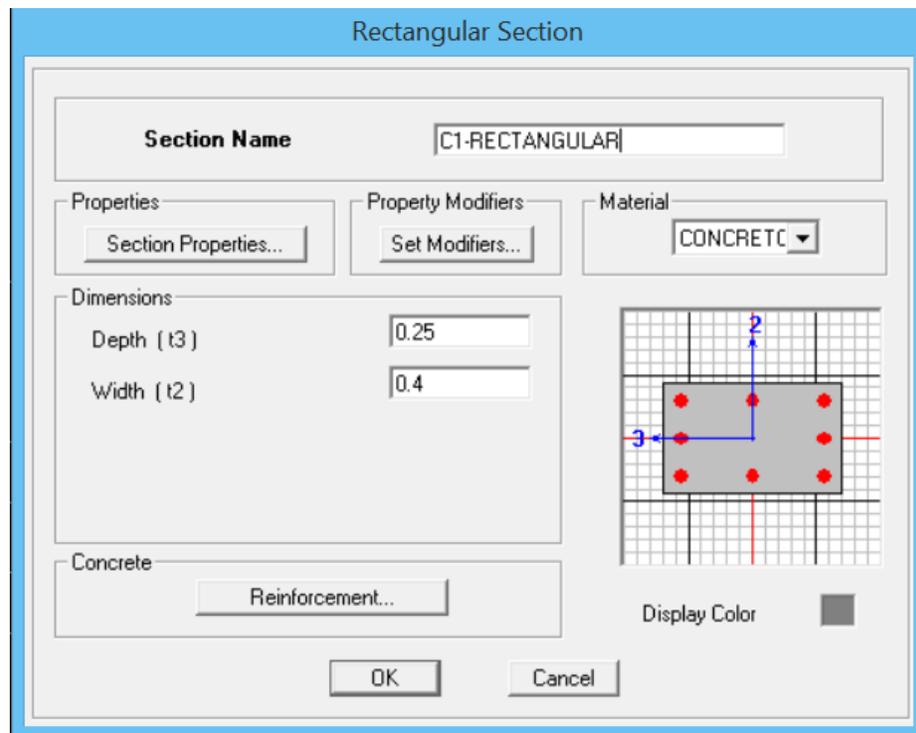


Figura 19 Columna C1 – rectangular en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

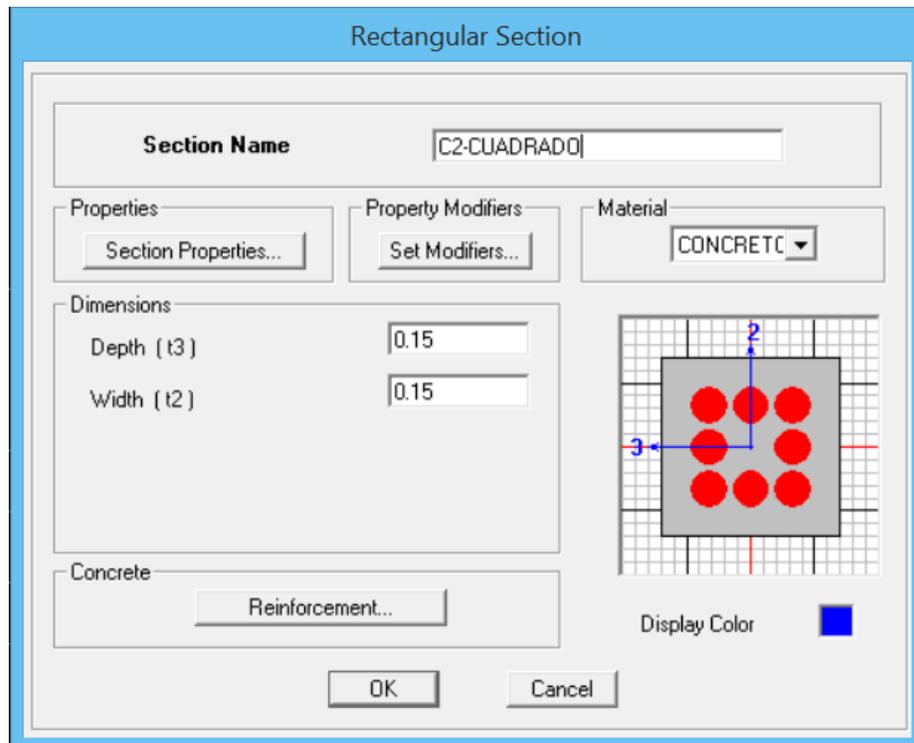


Figura 20 Columna C2 – cuadrado en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

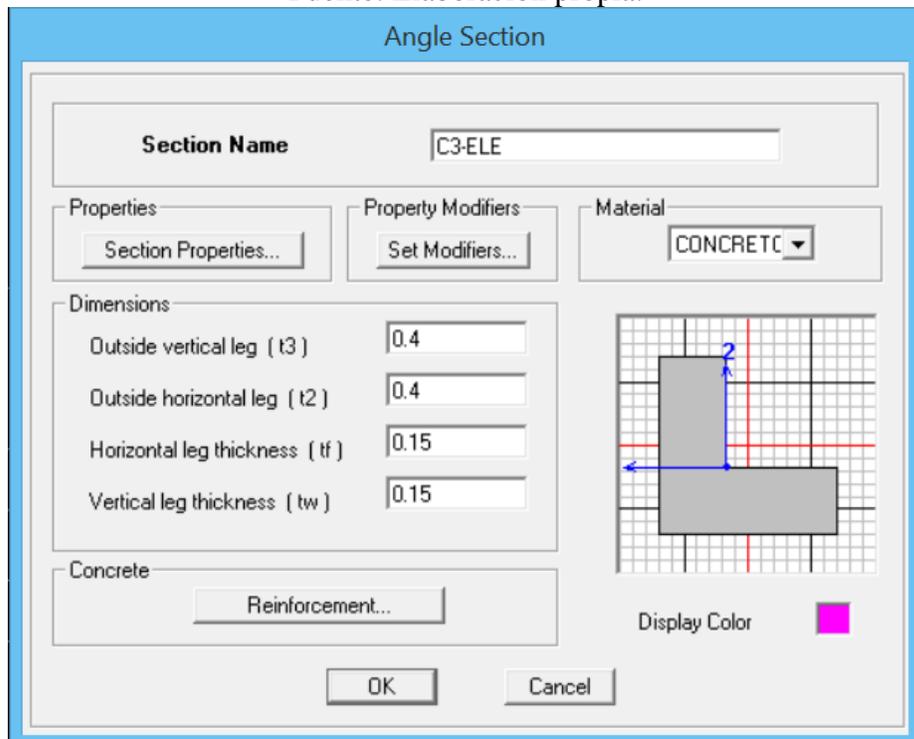


Figura 21 Columna C3 – tipo L en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

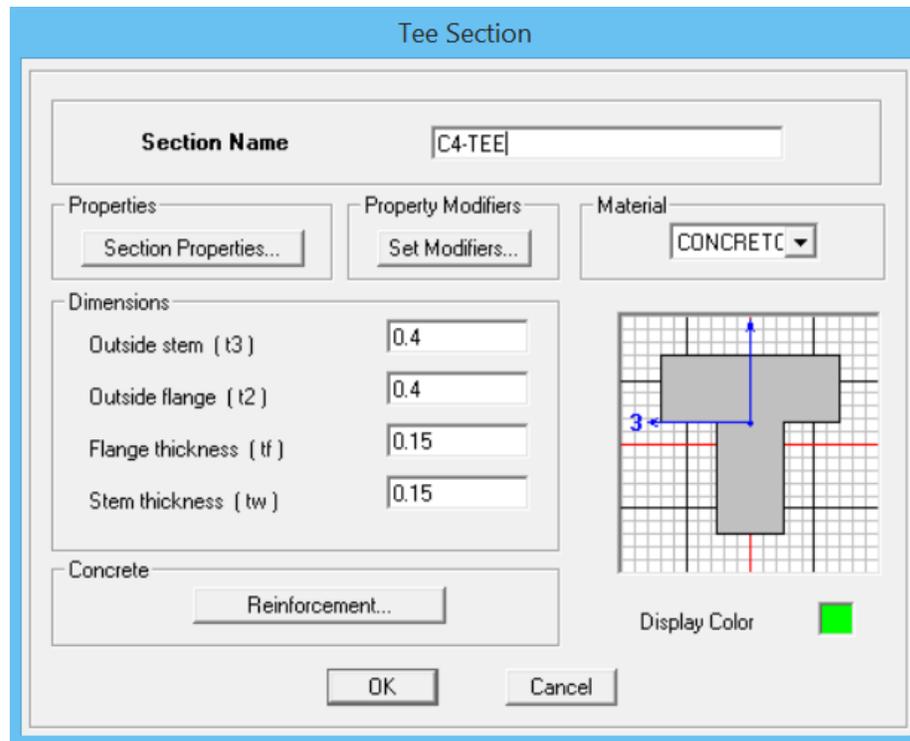


Figura 22 Columna C4 – tipo T en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

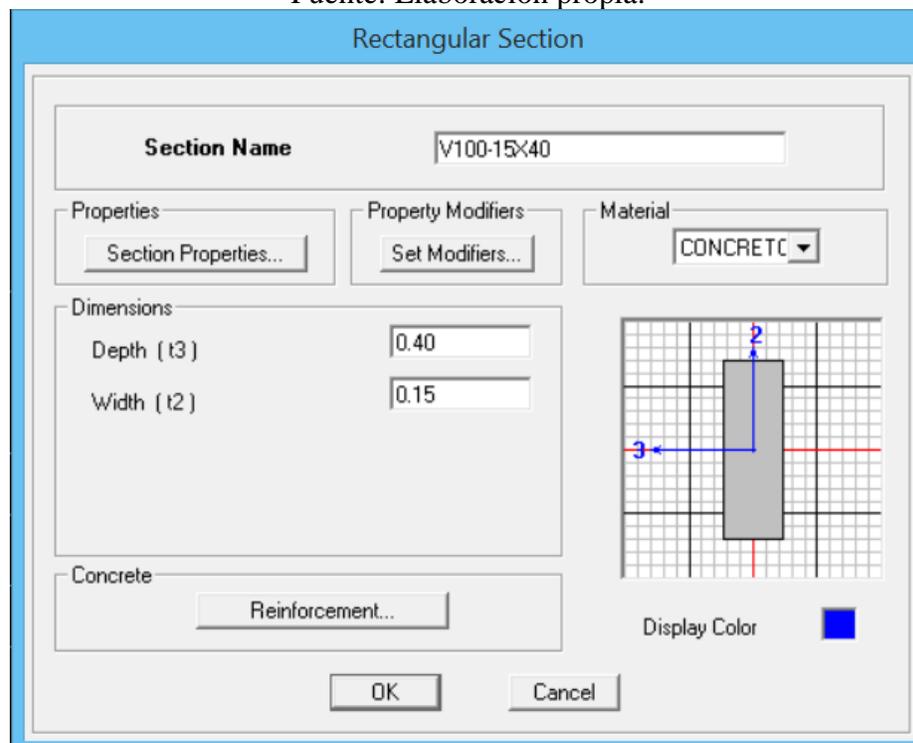


Figura 23 Viga V100 – 15x40 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

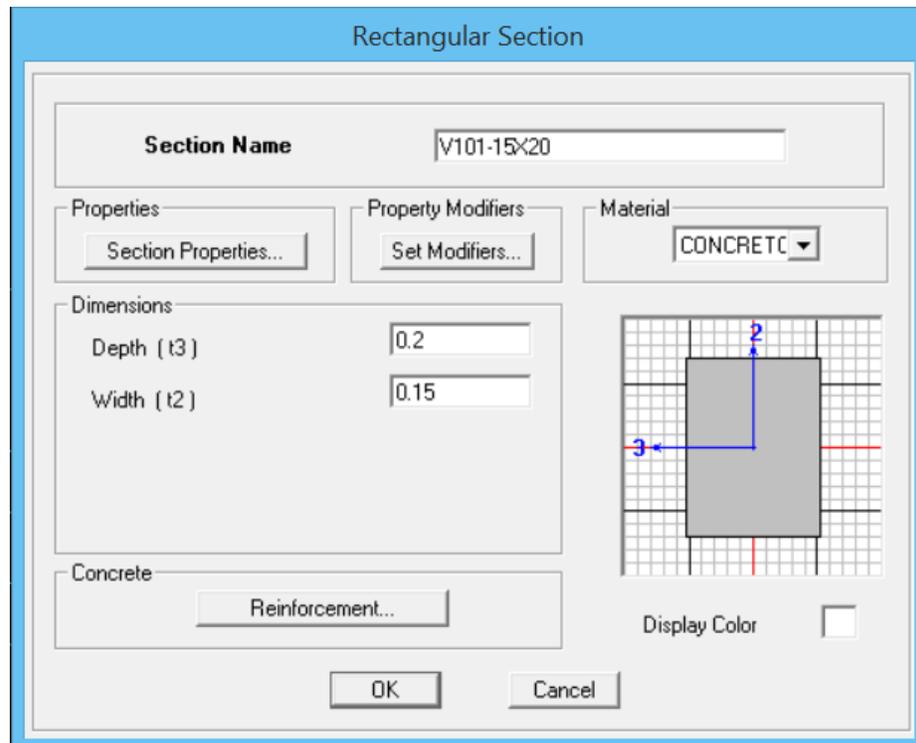


Figura 24 Viga V101 – 15x20 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

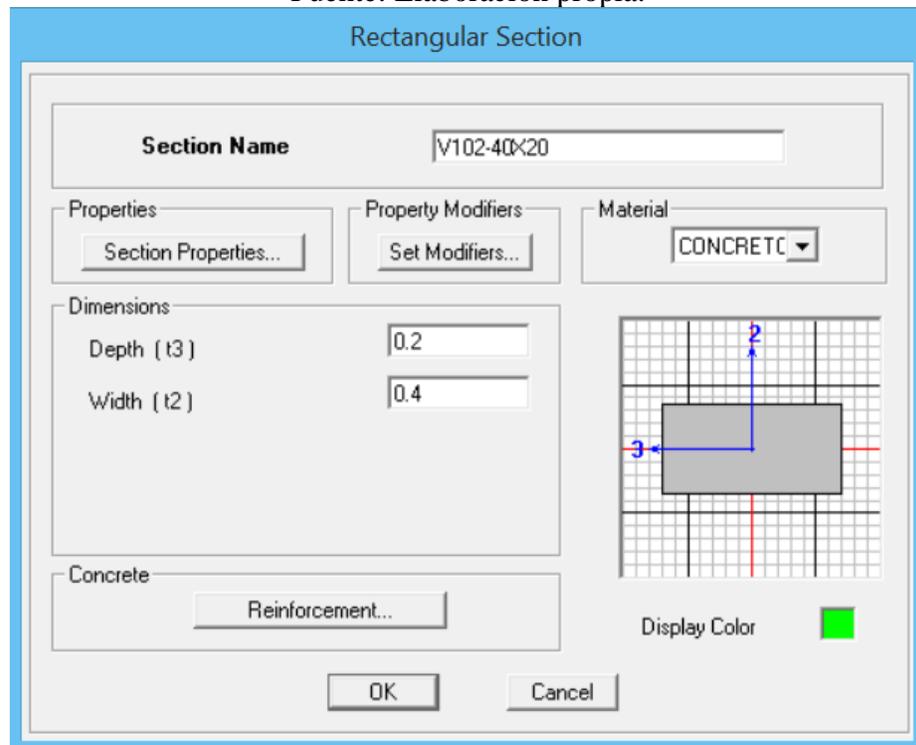


Figura 25 Viga V102 – 40x20 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

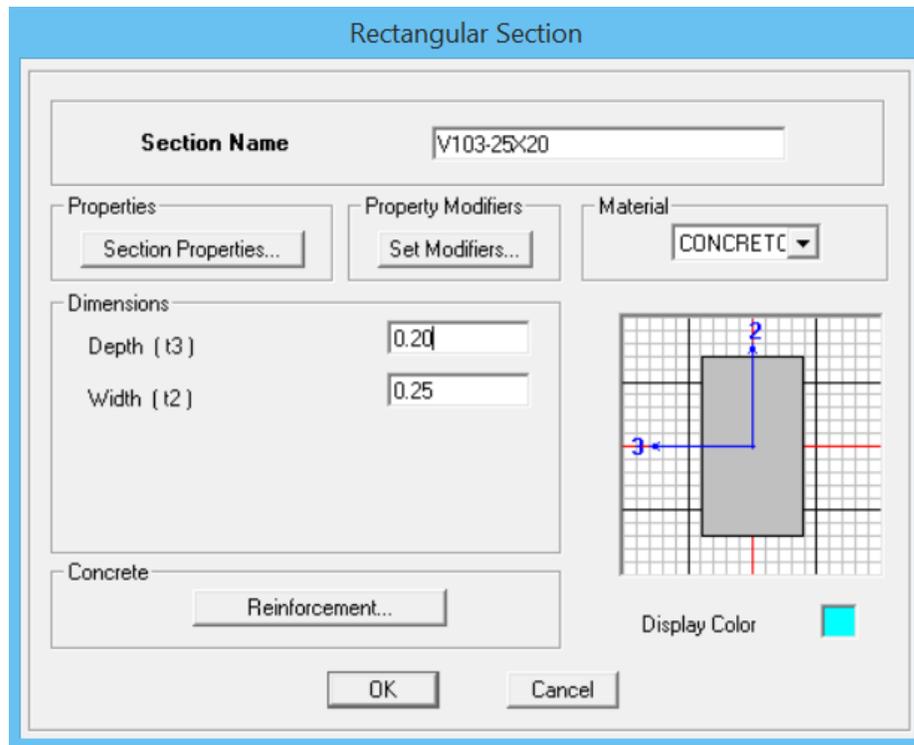


Figura 26 Viga V103 – 25x20 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

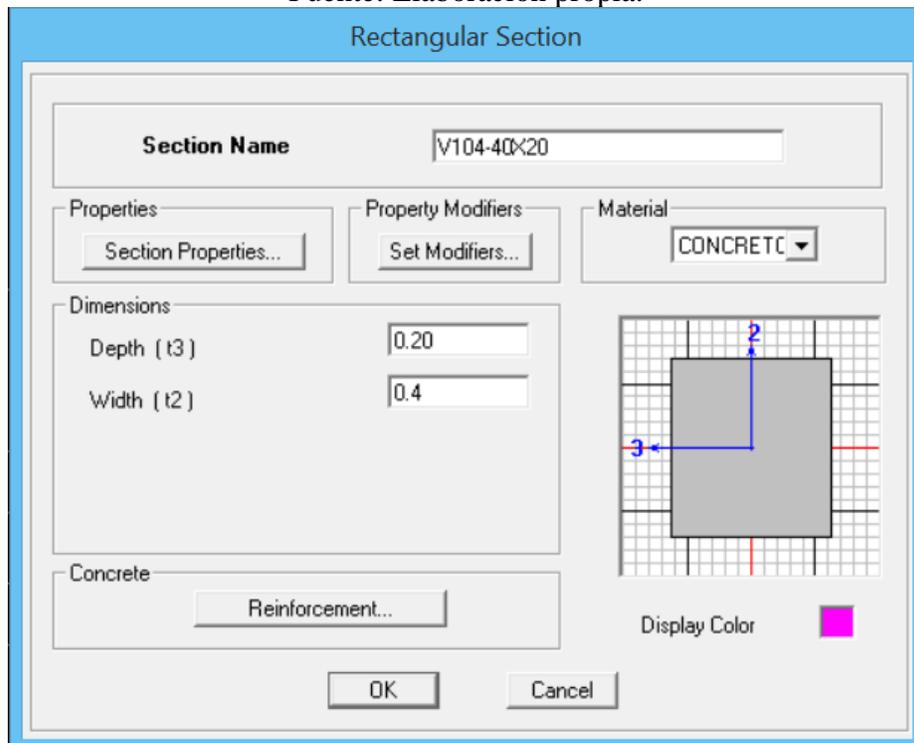


Figura 27 Viga V104 – 40x20 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

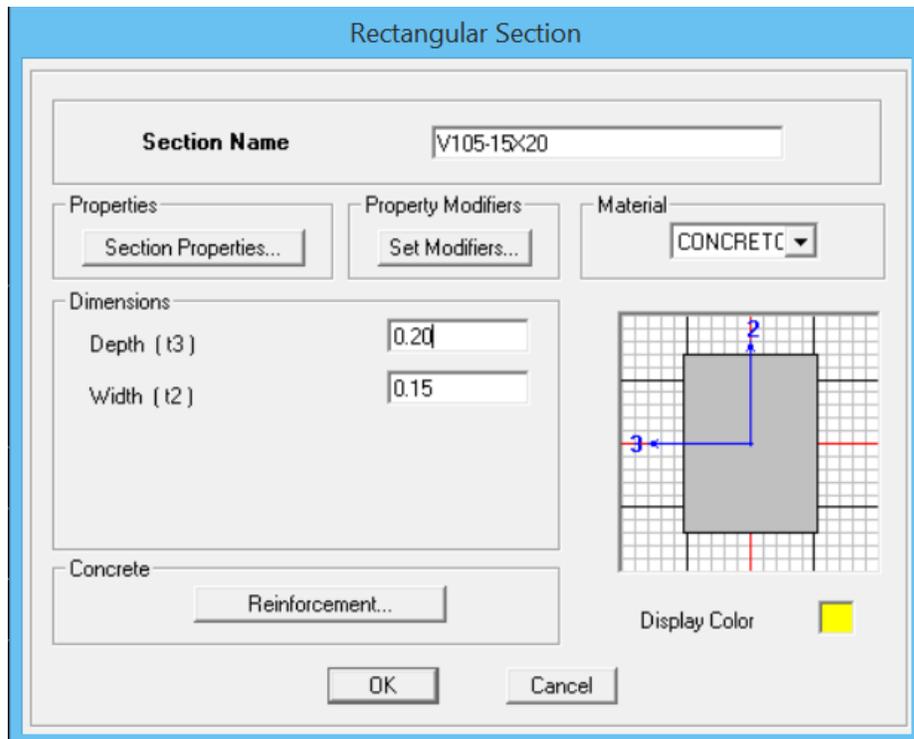


Figura 28 Viga V105 – 15x20 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

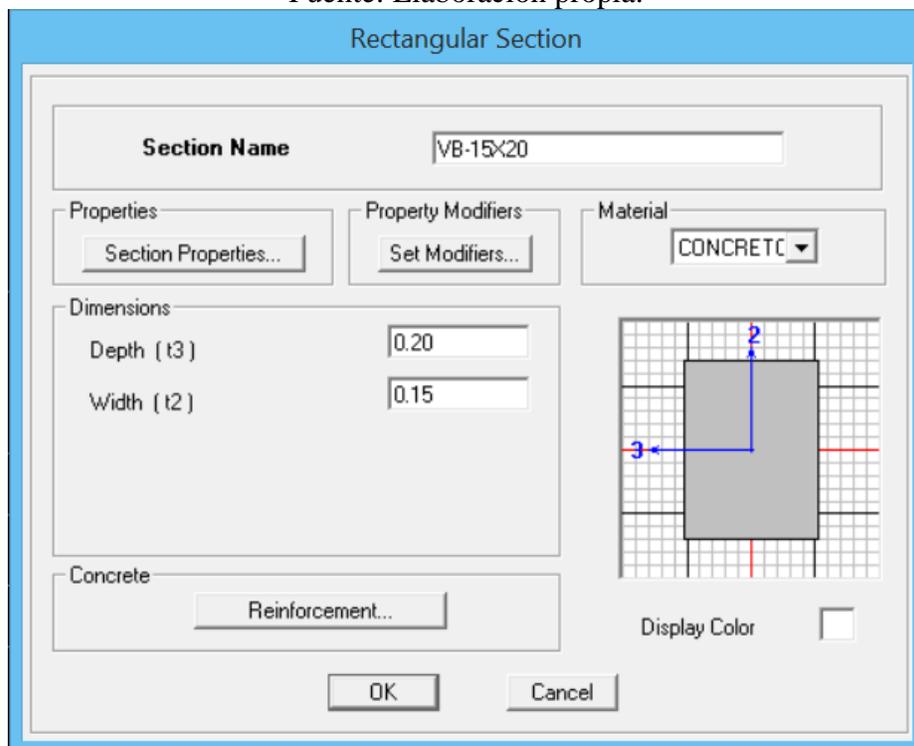


Figura 29 Viga VB – 15x20 en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.3. Modelamiento de la estructura:

En las siguientes figuras se puede observar la estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe modelada en el software ETABS.

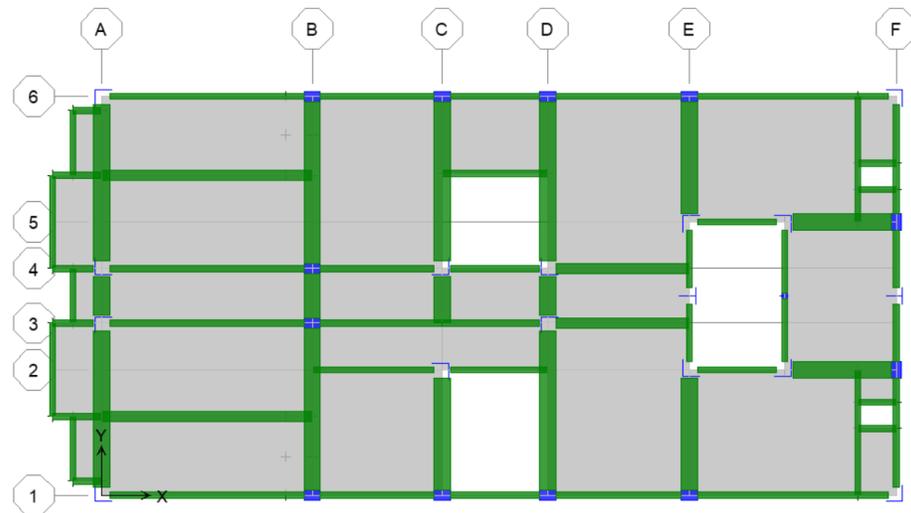


Figura 30 Estructura del 1° y 2° nivel en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

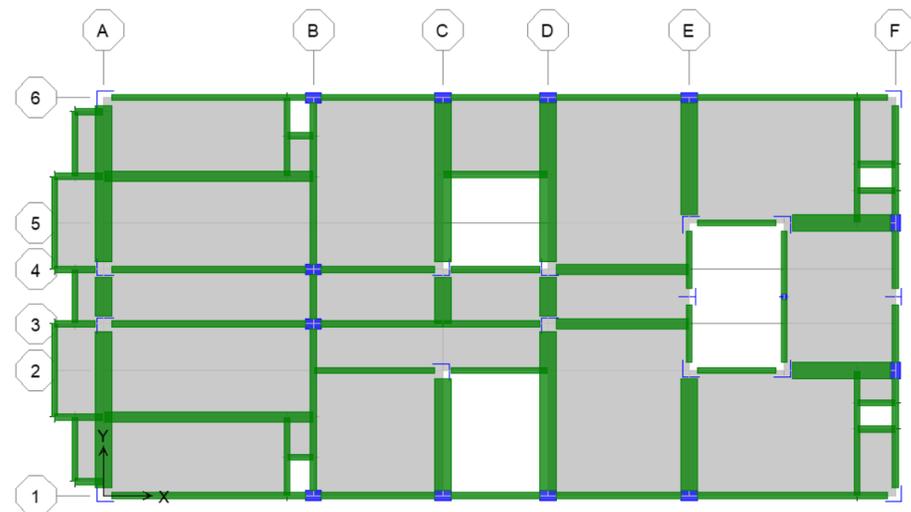


Figura 31 Estructura del 3° y 4° nivel en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.4. Casos de carga:

Se definió cuatro tipos de carga estática los cuales son:

- **Dead:** Representa la carga muerta de la estructura que se define de forma automática.
- **Live:** Representa a la carga viva del 1º, 2º y 3º nivel la cual es igual a 200Kg/m².
- **CM:** Representa a la carga muerta de los elementos no estructurales como parapetos y cargas verticales.
- **LiveT:** Representa la carga viva del 4º nivel la cual es igual a 100Kg/m².

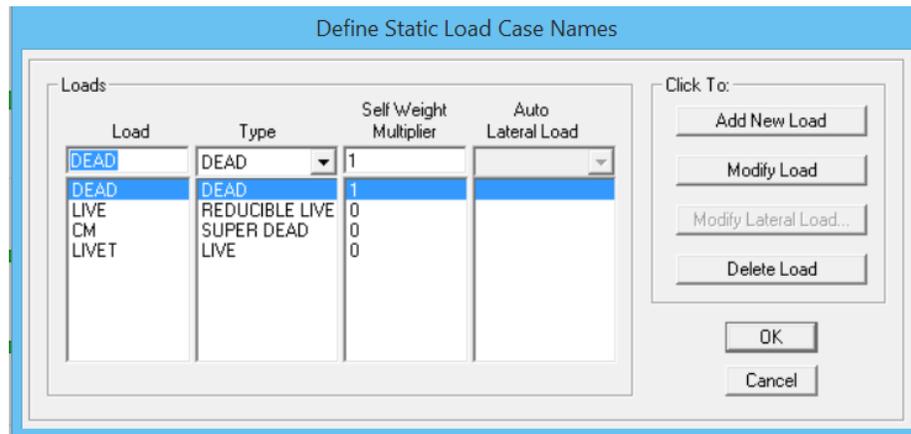


Figura 32 Casos de carga en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.5. Estimación de peso:

La norma E.030 del RNE especifica que para las edificaciones de la categoría C, se deberá tener en cuenta el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva.

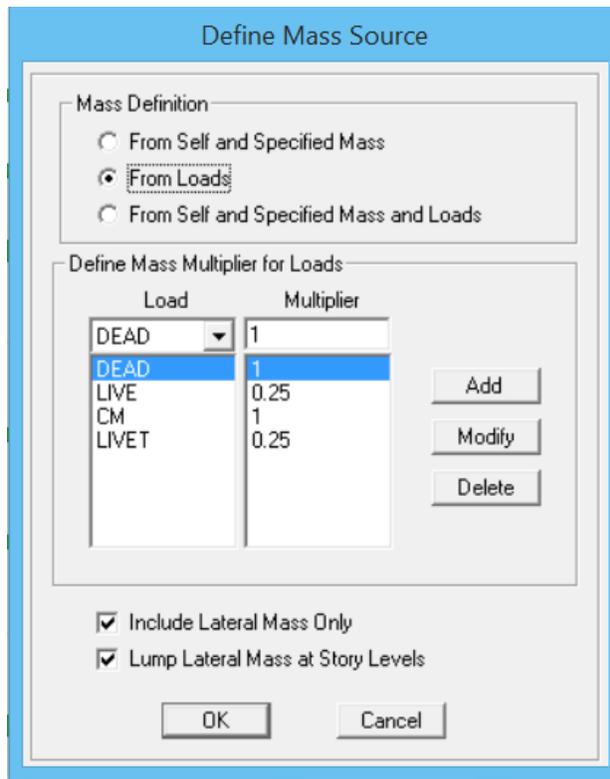


Figura 33 Estimación de peso en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.6. Brazo rígido:

La vivienda multifamiliar Suarez Quispe se encuentra en la zona 3 del territorio nacional la cual está considerada como zona de alta sismicidad, por lo tanto, el factor de rigidez será igual al 100%.

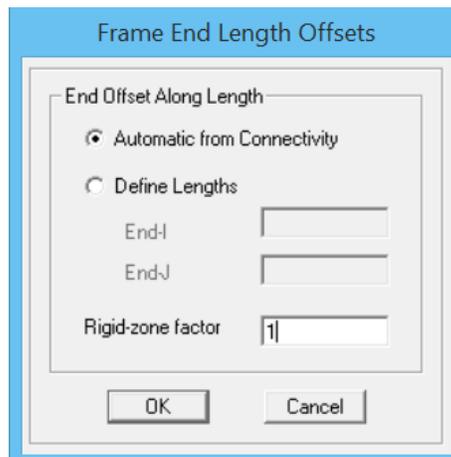


Figura 34 Factor de rigidez en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.7. Diafragma rígido:

Se definió cuatro diafragmas rígidos, uno para cada nivel como se puede observar en las siguientes figuras:

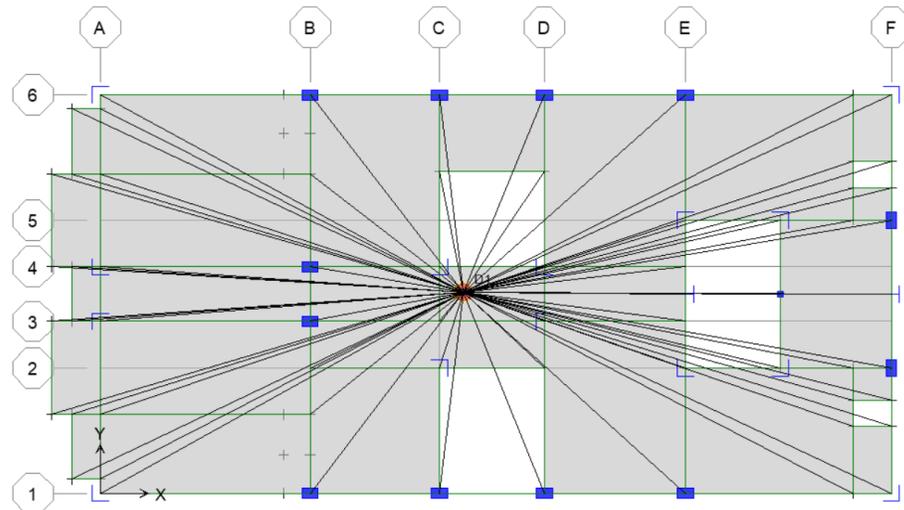


Figura 35 Diafragma rígido del 1° nivel en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

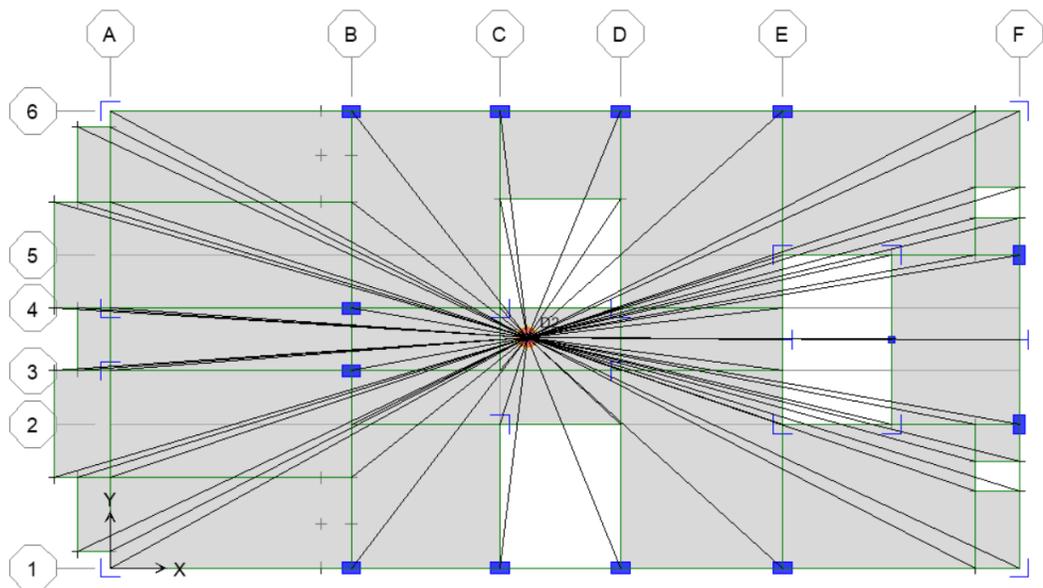


Figura 36 Diafragma rígido del 2° nivel en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

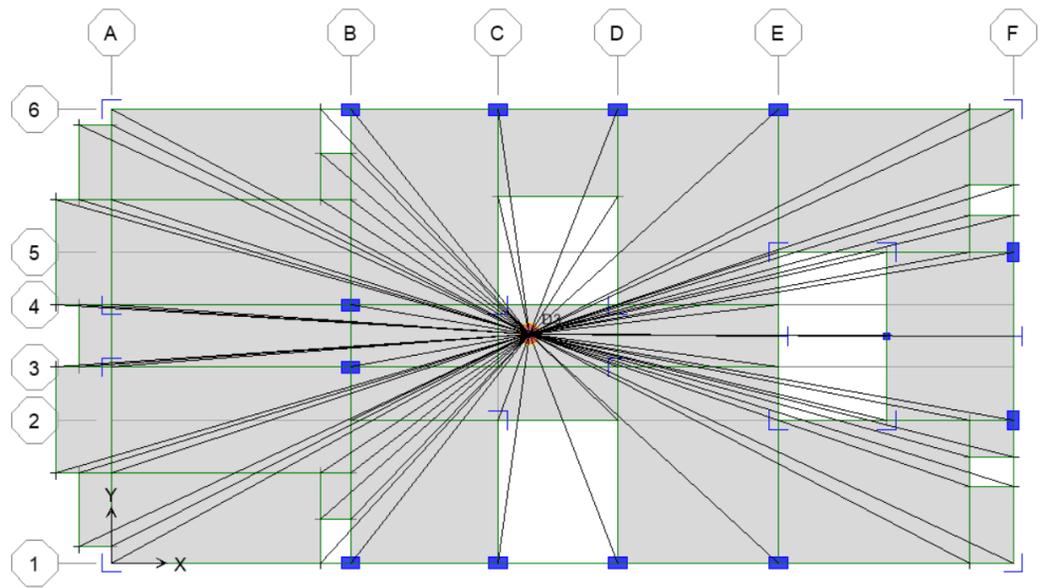


Figura 37 Diafragma rígido del 3º nivel en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

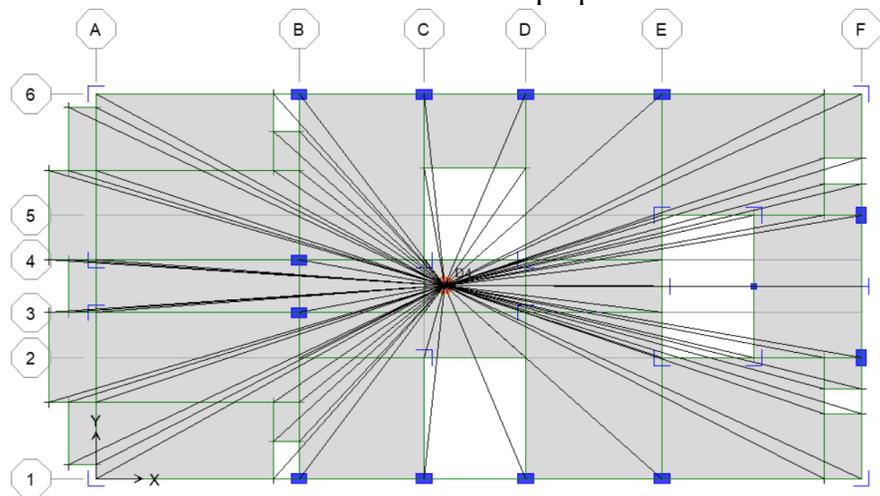


Figura 38 Diafragma rígido del 4º nivel en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.8. Espectro de respuesta sin interacción suelo estructura:

El espectro de respuesta graficado en la hoja de cálculo en el software Microsoft Excel fue importado al software ETABS, teniendo en consideración un amortiguamiento de 5% como se especifica en la norma E.030 del RNE.

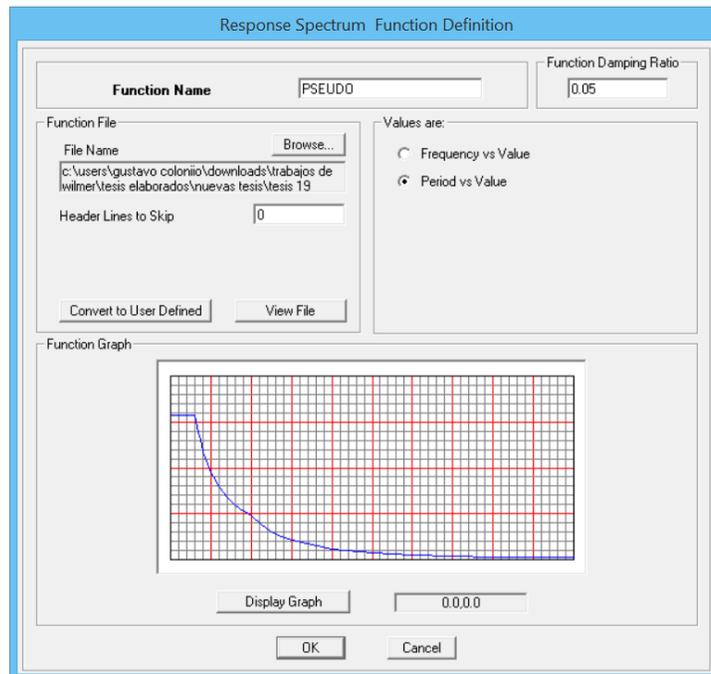


Figura 39 Espectro de respuesta sin interacción suelo - estructura en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.9. Cargas dinámicas sin interacción suelo estructura:

Se definió dos tipos de cargas dinámicas a las cuales se les asigno el factor de 9.81 debido a que el espectro Pseudo – Aceleraciones graficado en el software Microsoft Excel no considera la aceleración de la gravedad.

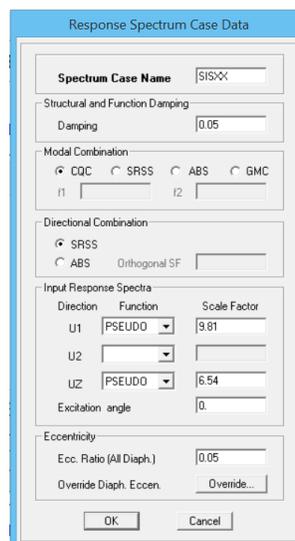


Figura 40 Carga sísmica en el sentido X - X sin interacción suelo - estructura en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

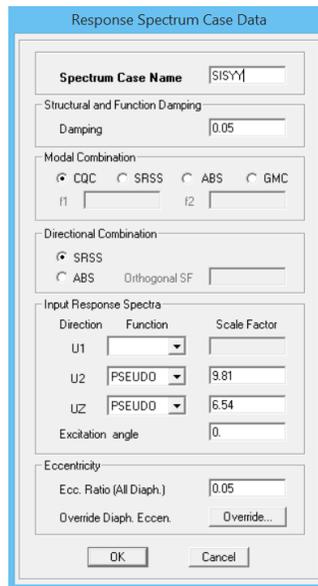


Figura 41 Carga sísmica en el sentido Y - Y sin interacción suelo - estructura en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.10. Apoyos fijos en la base:

Los apoyos fijos en la base restringen la traslación y rotación de las columnas.



Figura 42 Apoyos fijos en la base en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.11. Cargas verticales:

La carga muerta y viva en el 1°, 2° y 3° nivel es igual a 500Kg/m² y 200Kg/m² respectivamente, la carga muerta y viva del 4° es igual a 350Kg/m² y 100Kg/m².

Area Information

Location | Assignments | **Loads**

Identification

Label: F6 Area Type: Floor

Story: STORY1

Static Load Case	DEAD
Uniform FG grav	0.5
Static Load Case	LIVE
Uniform FG grav	0.2

Units: Ton-m

OK

Figura 43 Carga muerta y viva del 1° nivel en el software E.T.A.B.S.
fuente: elaboración propia.

Area Information

Location | Assignments | **Loads**

Identification

Label: F6 Area Type: Floor

Story: STORY2

Static Load Case	DEAD
Uniform FG grav	0.5
Static Load Case	LIVE
Uniform FG grav	0.2

Units: Ton-m

OK

Figura 44 Carga muerta y viva del 2° nivel en el software E.T.A.B.S.

Fuente: Elaboración propia.

Area Information

Location | Assignments | Loads

Identification

Label: F27 Area Type: Floor

Story: STORY3

Static Load Case	DEAD
Uniform FGrav	0.5
Static Load Case	LIVE
Uniform FGrav	0.2

Units: Ton-m

OK

Figura 45 Carga muerta y viva del 3° nivel en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

Area Information

Location | Assignments | Loads

Identification

Label: F27 Area Type: Floor

Story: STORY4

Static Load Case	DEAD
Uniform FGrav	0.35
Static Load Case	LIVET
Uniform FGrav	0.1

Units: Ton-m

OK

Figura 46 Carga muerta y viva del 4° nivel en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.12. Modos de vibración:

La norma E.030 del RNE especifica que se debe aplicar 3 modos de vibración por cada nivel, la vivienda multifamiliar Suarez Quispe contara con un total de 12 modos de vibración.

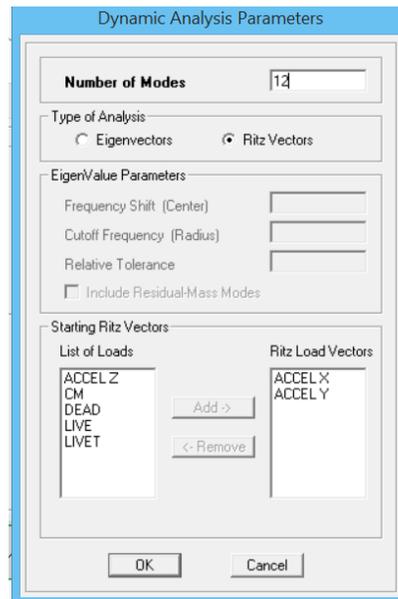


Figura 47 Modos de vibración en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.13. Verificación del modelo:

El software ETABS nos brinda la facilidad de poder verificar algún tipo de error cometido al momento de modelar la edificación, a continuación, se muestra el reporte de conformidad obtenido:



Figura 48 Reporte de conformidad en el software E.T.A.B.S.
Fuente: Elaboración propia.

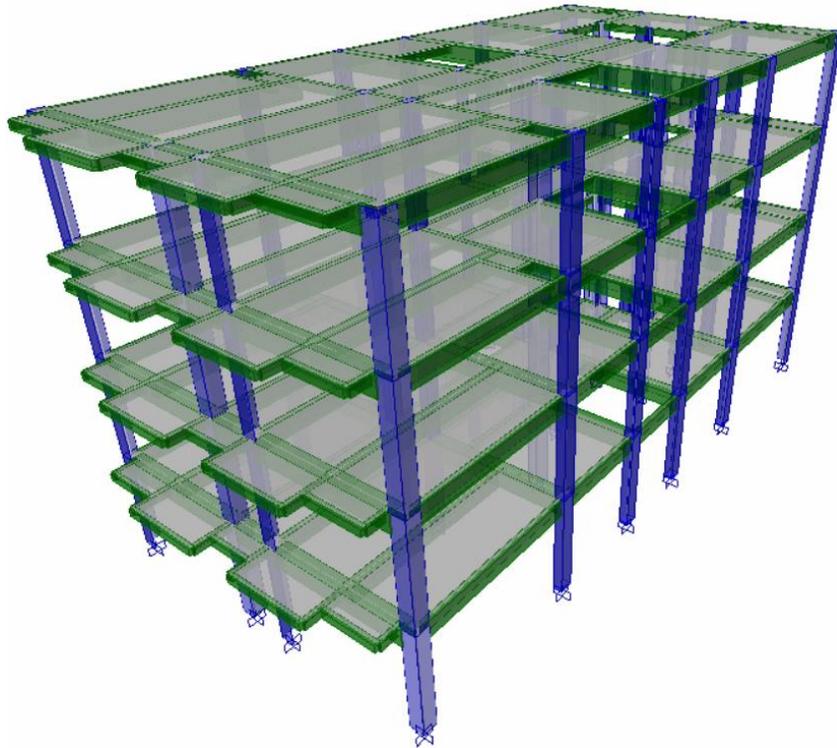


Figura 49 Vivienda multifamiliar Suarez Quispe en el software E.T.A.B.S.con apoyos fijos

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Resultados sin interacción suelo – estructura:

4.3.4.1. Peso de la vivienda multifamiliar:

El software ETABS nos brinda las masas de los cuatros niveles de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe, los cuales al ser multiplicados por la aceleración de la gravedad nos resulta el peso del edificio, en la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 13
Peso de la vivienda multifamiliar

N° DE NIVEL	DIAFRAGMA	MASA EN "X"	MASA EN "Y"
4 ° NIVEL	DIAFRAGMA 4	13.06	13.06
3 ° NIVEL	DIAFRAGMA 3	15.31	15.31
2 ° NIVEL	DIAFRAGMA 2	15.67	15.67
1 ° NIVEL	DIAFRAGMA 1	15.67	15.67
PESO DEL EDIFICIO (Tn)		585.77	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior podemos observar que el peso de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe es igual a 585.77Tn.

4.3.4.2. **Periodos fundamentales de vibración:**

En la siguiente tabla podemos observar que la mayor masa participativa pertenece al sentido X – X con un periodo igual a 0.53s, la segunda mayor masa participativa pertenece al sentido Y – Y con un periodo igual a 0.51s.

Tabla 14
Masa participativa y periodo fundamental de vibración sin interacción suelo – estructura

CASO	MODO	PERIODO (seg)	UX	UY
MODAL	1	0.53	83.48	0.30
MODAL	2	0.51	0.59	45.73
MODAL	3	0.49	0.00	38.37
MODAL	4	0.17	0.95	9.49
MODAL	5	0.17	9.85	0.86
MODAL	6	0.16	0.00	0.99
MODAL	7	0.10	0.00	2.57
MODAL	8	0.09	3.93	0.00
MODAL	9	0.09	0.01	0.74
MODAL	10	0.07	0.00	0.65
MODAL	11	0.06	1.17	0.00
MODAL	12	0.06	0.01	0.29

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.3. **Derivas de piso:**

Según la norma E.030 del RNE, para estructuras de concreto armado, la deriva no debe ser mayor a 0.007 para que la estructura de la edificación sea rígida y tenga un comportamiento acorde durante un evento sísmico.

El software etabs nos brinda una deriva real (Ux) los cuales deben ser transformados a derivas elásticas aplicando la siguiente ecuación:

$$De = Ux * 0.75 * R \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

De: Deriva elástica.

Ux: Deriva real.

R: Coeficiente de reducción sísmica.

Posteriormente, las derivas elásticas deben ser transformados a derivas inelásticas aplicando la siguiente ecuación:

$$Di = \frac{De1 - De2}{h} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Di: Deriva inelástica.

De1: Deriva elástica del piso a calcular.

De2: Deriva elástica del piso anterior.

h: Altura de piso.

a. En el sentido X – X:

Como podemos observar en la siguiente tabla, las derivas inelásticas son menores a la máxima admisible de 0.007, por lo tanto, la estructura es rígida en el sentido X – X, el cual tendrá un comportamiento acorde durante un evento sísmico.

Tabla 15
Deriva de piso en el sentido X – X sin interacción suelo – estructura

--	--	--	--	--

Nº DE NIVEL	UX (Cm)	DERIVAS ELÁSTICOS	ALTURA DE NIVEL	DERIVAS INELASTICOS
4º NIVEL	1.13	6.78	290	0.0058
3º NIVEL	0.85	5.10	290	0.0062
2º NIVEL	0.55	3.30	290	0.0056
1º NIVEL	0.28	1.67	290	0.0058

Fuente: Elaboración propia.

b. En el sentido Y – Y:

Como podemos observar en la siguiente tabla, las derivas inelásticas son menores a la máxima admisible de 0.007, por lo tanto, la estructura es rígida en el sentido Y – Y, el cual tendrá un comportamiento acorde durante un evento sísmico.

Tabla 16
Deriva de piso en el sentido Y – Y sin interacción suelo – estructura

Nº DE NIVEL	UX (Cm)	DERIVAS ELÁSTICOS	ALTURA DE NIVEL	DERIVAS INELASTICOS
4º NIVEL	0.99	5.95	290	0.0034
3º NIVEL	0.83	4.97	290	0.0054
2º NIVEL	0.57	3.39	290	0.0064
1º NIVEL	0.25	1.53	290	0.0053

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.4. Cortante basal:

Según la norma E.030 del RNE, para edificaciones regulares se aplica el 80% del cortante estático, el cual debe ser menor que el cortante dinámico del primer nivel, caso contrario, se deberá escalar el factor de la carga dinámica.

La cortante basal estática se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$VS = \frac{Z*U*C*S}{R} * P \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

Vs: Cortante basal estático.

P: Peso de la vivienda multifamiliar.

Reemplazando los datos a conocidos en la ecuación n° 05 determinamos la cortante basal estático para ambos sentidos el cual es igual a 73.68Tn.

a. Cortante basal en el sentido X – X:

La cortante basal dinámica en el sentido X – X fue determinado en el software etabs la cual es igual a 62.64Tn, este valor es mayor al 80% de la cortante basal estática, por lo tanto, no es necesario escalar el factor de carga dinámica.

Tabla 17
Cortante basal dinámica en el sentido X – X sin interacción suelo – estructura

N° DE NIVEL	CARGA	LOCACION	CORTANTE EN "X"
4° NIVEL	S.I.S.X.X.	B.O.T.T.O.M.	21.98
3° NIVEL	S.I.S.X.X.	B.O.T.T.O.M.	41.82
2° NIVEL	S.I.S.X.X.	B.O.T.T.O.M.	55.97
1° NIVEL	S.I.S.X.X.	B.O.T.T.O.M.	62.64

Fuente: Elaboración propia.

b. Cortante basal en el sentido Y – Y:

La cortante basal dinámica en el sentido Y – Y fue determinado en el software etabs la cual es igual a 60.84Tn, este valor es mayor al 80% de la cortante basal estática, por lo tanto, no es necesario escalar el factor de carga dinámica.

Tabla 18
Cortante basal dinámica en el sentido Y – Y sin interacción suelo – estructura

N° DE NIVEL	CARGA	LOCACION	CORTANTE EN "Y"
4° NIVEL	S.I.S.Y.Y.	B.O.T.T.O.M.	21.43
3° NIVEL	S.I.S.Y.Y.	B.O.T.T.O.M.	40.52
2° NIVEL	S.I.S.Y.Y.	B.O.T.T.O.M.	54.02
1° NIVEL	S.I.S.Y.Y.	B.O.T.T.O.M.	60.84

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Análisis sísmico con interacción suelo – estructura:

Para realizar un análisis sísmico suelo – estructura es necesario calcular los resortes equivalentes o factores de rigidez y el amortiguamiento, posteriormente estos datos deben ser introducidos al software etabs.

4.4.1. Calculo de los resortes equivalentes:

Para calcular los resortes equivalentes es necesario aplicar los datos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19
Parámetros de diseño de los resortes equivalentes

DESCRIPCIÓN	VALOR
Peso específico del suelo (?):	1030.00Kg/m ³
Velocidad de onda de corte (Vs):	230.00m/s
Aceleración de la gravedad (g):	9.81m/s ²
Módulo de poisson (?):	0.15
Largo de la cimentación (L):	20.00m
Ancho de la cimentación (B):	10.00m
Profundidad de desplante (Df):	1.50m
Distancia al centroide (dc):	1.25m
Altura de cimentación (h):	0.50m
Factor de zona (Z):	0.35
Factor de uso (U):	1.00
Factor de ampliación (C):	2.50
Factor de suelo (S):	1.15
Cantidad de apoyos (t):	29.00

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.1. **Módulo de corte inicial (G.0):**

se determina aplicando la ecuación n° 06, la cual es igual a 5554230.48Kg/m²

$$G0 = \frac{\gamma \cdot V_s^2}{g} \dots\dots\dots (6)$$

4.4.1.2. **Aceleración efectiva (Sx):**

Se determina aplicando la ecuación n° 07, la cual es igual a 0.40.

$$Sx = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{2.50} \dots\dots\dots (7)$$

4.4.1.3. **Módulo de corte efectivo (G):**

Se determina interpolando la aceleración efectiva y el perfil de suelo S1 en la siguiente tabla:

Tabla 20

Ratio de módulo de corte efectivo, (G./G.0.)

Aceleración efectiva pico $S_{xs}/2.5$				
Tipo de suelo	$S_{xs}/2.5=0$	$S_{xs}/2.5=0.1$	$S_{xs}/2.5=0.4$	$S_{xs}/2.5=0.8$
Perfil Tipo S_0	1.00	1.00	1.00	1.00
Perfil Tipo S_1	1.00	1.00	0.95	0.90
Perfil Tipo S_2	1.00	0.95	0.75	0.60
Perfil Tipo S_3	1.00	0.90	0.50	0.10
Perfil Tipo S_4	1.00	0.60	0.05	*

Fuente: FEMA 356, 2000.

El módulo de corte efectivo es igual a 4165672.78Kg/m²

4.4.1.4. **Traslación en el sentido X – X (Kx):**

Se determina aplicando la ecuación n° 08, el cual es igual a 147153446.34Kg/m.

$$Kx = \frac{GB}{2-\nu} * (3.40 * \left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 1.20) \dots\dots\dots (8)$$

4.4.1.5. **Traslación en el sentido Y – Y (Ky):**

Se determina aplicando la ecuación n° 09, la cual es igual a 156160306.41Kg/m.

$$Ky = \frac{GB}{2-\nu} * (3.40 * \left(\frac{L}{B}\right)^{0.65} + 0.40 * \left(\frac{L}{B}\right) + 0.80) \dots\dots\dots (9)$$

4.4.1.6. **Traslación en el sentido Z – Z (Kz):**

Se determina aplicando la ecuación n° 10, la cual es igual a 166959130.45Kg/m.

$$Kz = \frac{GB}{1-\nu} * (1.55 * \left(\frac{L}{B}\right)^{0.75} + 0.80) \dots\dots\dots (10)$$

4.4.1.7. **Rotación en el sentido X – X (Kxx):**

Se determina aplicando la ecuación n° 11, la cual es igual a 4.4107*10⁹Kg.m.

$$K_{xx} = \frac{GB^3}{1-\nu} * (0.40 * \left(\frac{L}{B}\right) + 0.10) \dots\dots\dots (11)$$

4.4.1.8. **Rotación en el sentido Y – Y (K_{yy}):**

Se determina aplicando la ecuación n° 12, la cual es igual a 1.2324*10¹⁰Kg.m.

$$K_{yy} = \frac{GB^3}{1-\nu} * (0.47 * \left(\frac{L}{B}\right)^{2.40} + 0.034) \dots\dots\dots (12)$$

4.4.1.9. **Rotación en el sentido Z – Z (K_{zz}):**

Se determina aplicando la ecuación n° 13, la cual es igual a 1.4188*10¹⁰Kg.m.

$$K_{zz} = GB^3 * (0.53 * \left(\frac{L}{B}\right)^{2.45} + 0.51) \dots\dots\dots (13)$$

4.4.1.10. **Corrección de traslación en el sentido X – X (β_x):**

Se determina aplicando la ecuación n° 14, la cual es igual a 1.082.

$$\beta_x, \beta_y = \left(1 + 0.21 * \sqrt{\frac{D}{B}} * \left(1 + 1.60 * \left(\frac{h*dc*(B+L)^{0.40}}{B*L^2}\right)\right)\right) \dots\dots\dots (14)$$

4.4.1.11. **Corrección de traslación en el sentido Y – Y (β_y):**

Se determina aplicando la ecuación n° 14, la cual es igual a 1.082.

4.4.1.12. **Corrección de traslación en el sentido Z – Z (β_z):**

Se determina aplicando la ecuación n° 15, la cual es igual a 1.370.

$$\beta_x, \beta_y = \left(1 + \frac{1}{21} * \frac{D}{B} * \left(2 + 2.6 * \frac{B}{L}\right)\right) * \left(1 + 0.32 * \left(1 + 0.32 * \left(\frac{d(B+L)^{\frac{2}{3}}}{B*L}\right)\right)\right) \dots\dots\dots (15)$$

4.4.1.13. **Corrección de rotación en el sentido X – X (β_{xx}):**

Se determina aplicando la ecuación n° 16, la cual es igual a 1.136.

$$\beta_{xx} = 1 + 0.25 * \frac{d}{B} * (1 + 2 * \frac{d}{B} * (\frac{d}{D})^{-0.2} * \sqrt{\frac{B}{L}}) \dots\dots\dots (16)$$

4.4.1.14. **Corrección de rotación en el sentido Y – Y (β_{yy}):**

Se determina aplicando la ecuación n° 17, la cual es igual a 1.231.

$$\beta_{yy} = 1 + 1.4 * (\frac{d}{L})^{0.6} * (1.5 + 3.7 * (\frac{d}{L})^{1.9} * (\frac{d}{B})^{-0.6} \dots\dots\dots (17)$$

4.4.1.15. **Corrección de rotación en el sentido Z – Z (β_{zz}):**

Se determina aplicando la ecuación n° 18, la cual es igual a 1.263.

$$\beta_{zz} = 1 + 2.6 * (1 + \frac{B}{L}) * (\frac{d}{B})^{0.9} \dots\dots\dots (18)$$

4.4.1.16. **Corrección de los resortes equivalentes:**

Las traslaciones y rotaciones se corrigen al ser multiplicados por sus factores de corrección correspondientes, en la siguiente tabla se muestra el resumen de los cálculos realizados:

Tabla 21
Resortes equivalentes corregidos

DESCRIPCIÓN	VALOR
Traslación en el eje X - X (K_x):	1.59277E+08Kg/m
Traslación en el eje Y - Y (K_y):	1.69026E+08Kg/m
Traslación en el eje Z - Z (K_z):	2.28693E+08Kg/m
Rotación en el eje X - X (K_{xx}):	5.0106E+09Kg/m
Rotación en el eje Y - Y (K_{yy}):	1.5166E+10Kg/m
Rotación en el eje Z - Z (K_{zz}):	1.7921E+10Kg/m

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.17. Resortes equivalentes reales:

Los resortes equivalentes reales es el resultado de la relación entre los resortes equivalentes corregidos y la cantidad de apoyos, en la siguiente tabla se muestra los resultados en forma resumida:

Tabla 22
Ejes equivalentes reales

DESCRIPCIÓN	VALOR
Traslación en el eje X - X (K_x):	5492.31Tn/m
Traslación en el eje Y - Y (K_y):	5828.48Tn/m
Traslación en el eje Z - Z (K_z):	7885.97Tn/m
Rotación en el eje X - X (K_{xx}):	172779.89Tn.m
Rotación en el eje Y - Y (K_{yy}):	522956.34Tn.m
Rotación en el eje Z - Z (K_{zz}):	617978.99Tn.m

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Cálculo del amortiguamiento con interacción suelo – estructura:

Los datos para calcular el amortiguamiento con interacción suelo – estructura se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23
Parámetros de diseño del amortiguamiento con interacción suelo – estructura

DESCRIPCIÓN	VALOR
Peso de la estructura (P):	585.77Tn
Aceleración de la gravedad (g):	9.81m/s ²
Masa efectiva (M):	59.71Tn.s ² /m
Periodo de vibración (T):	0.529s
Periodo de vibración resorte (T_e):	0.576s
Amortiguamiento (β_1):	5.00%
Módulo de corte efectivo (G):	4165.67Tn/m ²
Módulo de poisson (ν):	0.15
Demanda de ductilidad (μ):	3.00
Largo de la estructura (L):	20.00m
Ancho de la estructura (B):	10.00m
Altura efectiva (h^*):	8.12m

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.1. **Rigidez efectiva (Kfijo):**

Se determina aplicando la ecuación n° 19 y es igual a 7105.17Tn/m.

$$Kfijo = M * \left(\frac{2*\pi}{T}\right)^2 \dots\dots (19)$$

4.4.2.2. **Radio equivalente (rx):**

Se determina aplicando la ecuación n° 20 y es igual a 7.98m.

$$rx = \sqrt{\frac{Abase}{\pi}} \dots\dots (20)$$

4.4.2.3. **Rigidez traslacional (Kx):**

Se determina aplicando la ecuación n° 21 y es igual a 142738.43Tn/m.

$$Kx = \frac{8}{2-\nu} * G * rx \dots\dots (21)$$

4.4.2.4. **Rigidez rotacional de la cimentación (Kθ):**

Se determina aplicando la ecuación n° 22 y es igual a 3440807. 92Tn.m/rad.

$$K\theta = \frac{Kjijo*(h*)^2}{\left(\frac{T}{T}-1-\frac{Kfijo}{Kx}\right)} \dots\dots (22)$$

4.4.2.5. **Radio por rotación equivalente (rθ):**

Se determina aplicando la ecuación n° 23 y es igual a 6.41m.

$$r\theta = \left(\frac{3*(1-\nu)*K\theta}{8*G}\right)^{1/3} \dots\dots (23)$$

4.4.2.6. **Relación de periodo – amplificación:**

Se determina aplicando la ecuación n° 24 y es igual a 1.03.

$$\frac{\check{T}_{eff}}{T_{eff}} = \left(1 + \frac{1}{\mu} * \left(\left(\frac{\check{T}}{T} \right)^2 - 1 \right) \right)^{0.5} \dots\dots\dots (24)$$

4.4.2.7. **Amortiguamiento de la cimentación (Ce):**

Se determina aplicando la ecuación n° 25 y es igual a 1.00.

$$Ce = 1.50 * \left(\frac{e}{rx} \right) + 1 \dots\dots\dots (25)$$

4.4.2.8. **Coefficiente de amortiguamiento de la fundación (a1):**

Se determina aplicando la ecuación n° 26 y es igual a 14.48.

$$a1 = CeExp * \left(4.7 - 1.6 * \frac{h}{r\theta} \right) \dots\dots\dots (26)$$

4.4.2.9. **Coefficiente de amortiguamiento de la fundación (a2):**

Se determina aplicando la ecuación n° 27 y es igual a 10.09.

$$a2 = Ce * \left(25 * \left(\frac{h}{r\theta} \right) - 16 \right) \dots\dots\dots (27)$$

4.4.2.10. **Amortiguamiento de la fundación (βf):**

Se determina aplicando la ecuación n° 28 y es igual a 0.43.

$$\beta f = a1 * \left(\frac{\check{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right) + a2 * \left(\frac{\check{T}_{eff}}{T_{eff}} - 1 \right)^2 \dots\dots\dots (28)$$

4.4.2.11. **Amortiguamiento de la cimentación (β0):**

Se determina aplicando la ecuación n° 29 y es igual a 5.00%.

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{\beta_i}{\left(\frac{T_{eff}}{T}\right)^3} \dots\dots\dots (29)$$

4.4.2.12. **Factor de escala espectro Pseudo – Aceleraciones (Be):**

Se determina aplicando la ecuación n° 30 y es igual a 1.00.

$$\beta_e = \frac{4}{5.6 - LN(\beta_0)} \dots\dots\dots (30)$$

4.4.2.13. **Proporción espectral de respuesta (RRSbsa):**

Se determina aplicando la ecuación n° 31 y es igual a 0.951.

$$RRbsa = 1 - \frac{1}{14100} * \left(\frac{be}{T}\right)^{1.2} \dots\dots\dots (31)$$

Nota: Se considera un periodo fundamental de vibración (T) mínimo de 0.20s

4.4.2.14. **Interacción cinemática en campo libre (Safim):**

Se determina aplicando la ecuación n° 32 y es igual a 0.957.

$$Safim = Sa * RRSbsa \dots\dots\dots (32)$$

4.4.2.15. **Interacción cinemática/factor de escala (Saβ0):**

Se determina aplicando la ecuación n° 33 y es igual a 0.955.

$$Sa\beta_0 = \frac{Safim}{Be} \dots\dots\dots (33)$$

4.4.2.16. **R para espectro Pseudo – Aceleraciones con ISE:**

Se determina aplicando la ecuación n° 34 y es igual a 0.119.

$$Rise = \frac{R}{Sa\beta_0} \dots\dots\dots (34)$$

Siguiendo los pasos anteriores se determinan el espectro de respuesta incluyendo el amortiguamiento (β_0) y (R) con interacción suelo – estructura, el cual se realizó en una hoja de cálculo en el software Microsoft Excel el cual viene adjunto en los anexos de esta investigación.

PERIODO (T)	RRSbsa	Safim	Sa β 0	R
0.020	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.040	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.060	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.080	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.100	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.120	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.140	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.160	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.180	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.200	0.9511	0.9570	0.9547	0.1193
0.250	0.9626	0.9686	0.9663	0.1208
0.300	0.9699	0.9760	0.9736	0.1217
0.350	0.9750	0.9811	0.9787	0.1223
0.400	0.9787	0.9848	0.9824	0.1228
0.450	0.9815	0.9877	0.9853	0.1232
0.500	0.9837	0.9899	0.9875	0.1234
0.550	0.9855	0.9916	0.9892	0.1237
0.600	0.9869	0.9931	0.9907	0.1238
0.650	0.9881	0.9178	0.9156	0.1144
0.700	0.9891	0.8531	0.8510	0.1064
0.750	0.9900	0.7969	0.7950	0.0994
0.800	0.9907	0.7477	0.7459	0.0932
0.850	0.9914	0.7042	0.7025	0.0878
0.900	0.9920	0.6654	0.6638	0.0830
0.950	0.9925	0.6307	0.6292	0.0787
1.000	0.9929	0.5995	0.5980	0.0748
1.100	0.9937	0.5454	0.5441	0.0680
1.200	0.9943	0.5003	0.4990	0.0624
1.300	0.9948	0.4620	0.4609	0.0576
1.400	0.9953	0.4292	0.4282	0.0535
1.500	0.9956	0.4007	0.3998	0.0500
1.600	0.9960	0.3758	0.3749	0.0469
1.700	0.9963	0.3538	0.3530	0.0441
1.800	0.9965	0.3342	0.3334	0.0417
1.900	0.9967	0.3167	0.3160	0.0395
2.000	0.9969	0.3009	0.3002	0.0375
2.250	0.9973	0.2379	0.2373	0.0297
2.500	0.9976	0.1927	0.1923	0.0240
2.750	0.9979	0.1593	0.1589	0.0199
3.000	0.9981	0.1339	0.1336	0.0167
4.000	0.9987	0.0754	0.0752	0.0094
5.000	0.9990	0.0483	0.0481	0.0060
6.000	0.9992	0.0335	0.0334	0.0042
7.000	0.9993	0.0246	0.0246	0.0031
8.000	0.9994	0.0189	0.0188	0.0024
9.000	0.9995	0.0149	0.0149	0.0019
10.000	0.9996	0.0121	0.0120	0.0015

Figura 50 Cálculo de aceleración espectral con ISE

Fuente: Elaboración propia.

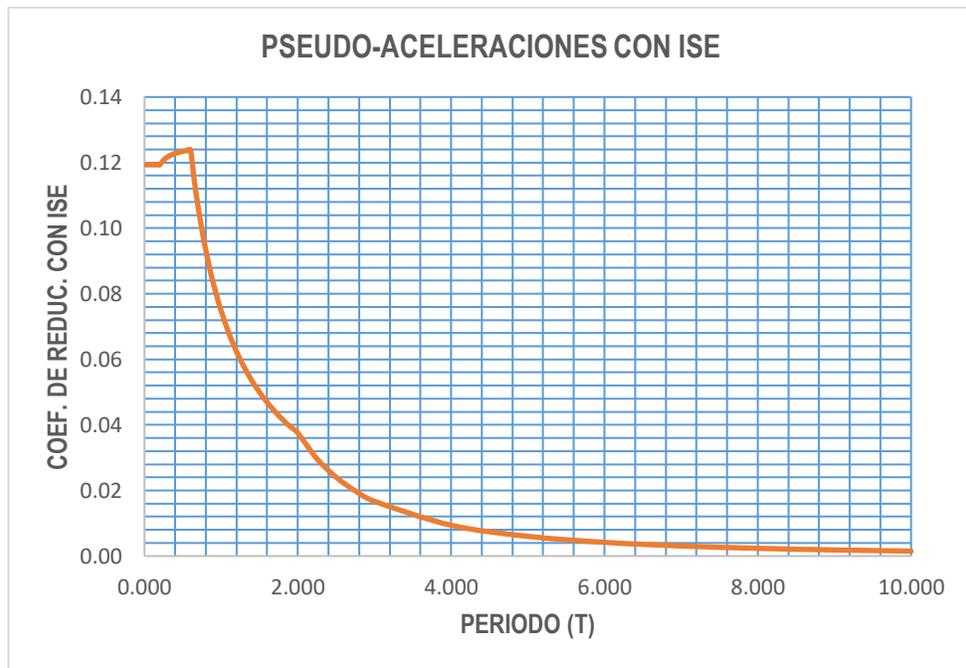


Figura 51 Espectro Pseudo – Aceleraciones con ISE
Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Modelamiento en el software ETABS:

La estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe fue modelada en el software ETABS incluyendo los resortes equivalentes y el espectro Pseudo – Aceleración con la interacción suelo – estructura.

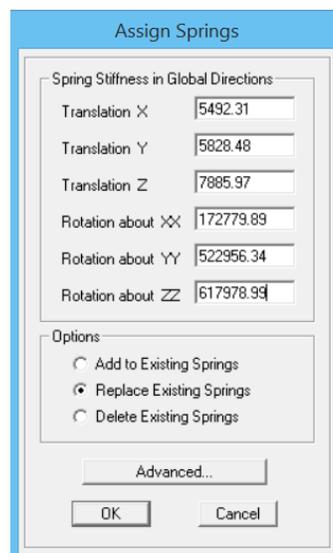


Figura 52 Resortes equivalentes en el software ETABS
Fuente: Elaboración propia.

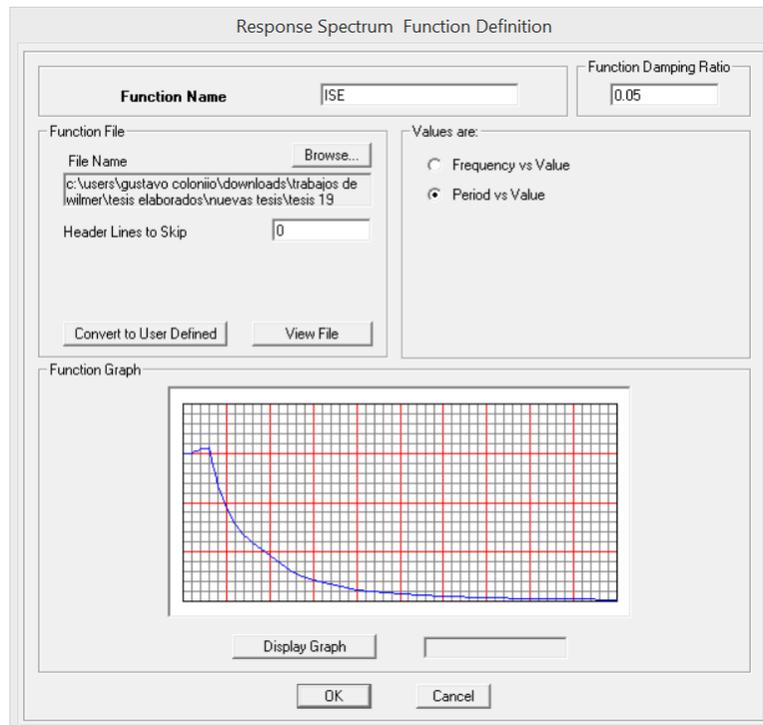


Figura 53 Espectro de respuesta con interacción suelo - estructura en el software ETABS

Fuente: Elaboración propia.

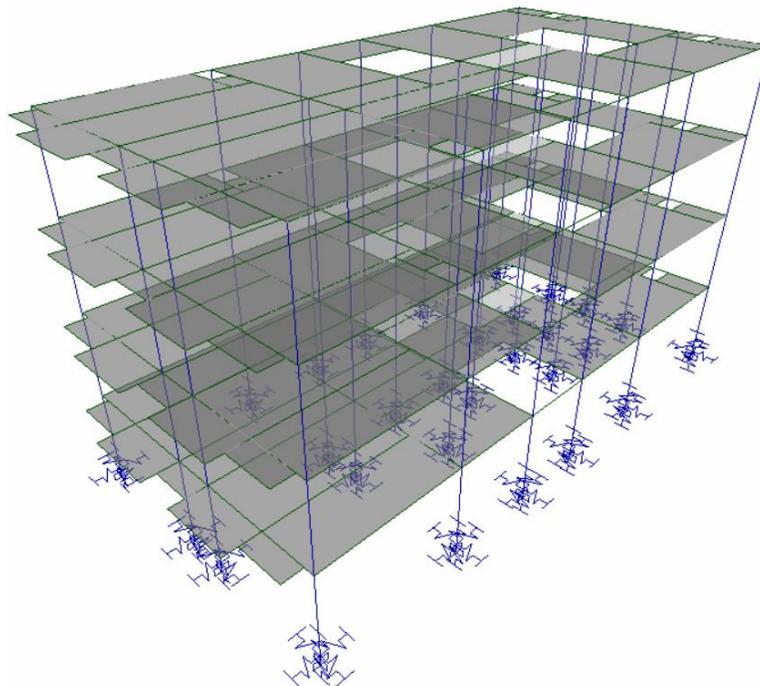


Figura 54 Vivienda multifamiliar Suarez Quispe en el software ETABS con resortes equivalentes

Fuente: Elaboración propia.

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name | ISEXX |

Structural and Function Damping
Damping | 0.05 |

Modal Combination
 CQC SRSS ABS GMC
 f1 | | f2 | |

Directional Combination
 SRSS
 ABS Orthogonal SF | |

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	ISE	9.81
U2		
UZ	ISE	6.54
Excitation angle		0.

Eccentricity
 Ecc. Ratio (All Diaph.) | 0.05 |
 Override Diaph. Eccen. | Override... |

OK Cancel

Figura 55 Carga sísmica en el sentido X - X con interacción suelo - estructura en el software ETABS
 Fuente: Elaboración propia.

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name | ISEYY |

Structural and Function Damping
Damping | 0.05 |

Modal Combination
 CQC SRSS ABS GMC
 f1 | | f2 | |

Directional Combination
 SRSS
 ABS Orthogonal SF | |

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1		
U2	ISE	9.81
UZ	ISE	6.54
Excitation angle		0.

Eccentricity
 Ecc. Ratio (All Diaph.) | 0.05 |
 Override Diaph. Eccen. | Override... |

OK Cancel

Figura 56 Carga sísmica en el sentido X - X con interacción suelo - estructura en el software ETABS
 Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Resultados con interacción suelo – estructura:

4.4.4.1. Peso de la vivienda multifamiliar:

El peso de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe con interacción suelo – estructura sigue siendo el mismo determinado anteriormente la cual es igual a 585.77Tn.

4.4.4.2. Periodos fundamentales de vibración:

En la siguiente tabla se puede observar que la mayor masa participativa pertenece al sentido Y – Y con un periodo igual a 0.58s y la segunda masa participativa pertenece al sentido X – X con un periodo igual a 0.56s

Tabla 24
Masa participativa y periodo fundamental de vibración con interacción suelo-estructura

CASO	MODO	PERIODO (seg)	UX	UY
MODAL	1	0.58	0.49	81.63
MODAL	2	0.56	83.35	0.55
MODAL	3	0.53	0.17	0.96
MODAL	4	0.18	0.04	10.92
MODAL	5	0.17	10.78	0.03
MODAL	6	0.16	0.00	1.43
MODAL	7	0.10	0.00	2.28
MODAL	8	0.09	3.28	0.00
MODAL	9	0.08	0.00	0.92
MODAL	10	0.06	0.80	0.00
MODAL	11	0.03	0.01	0.50
MODAL	12	0.01	1.07	0.01

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.3. Derivas de piso:

Como se mencionó anteriormente, el software etabs nos brindó la deriva normal (U_x) la cual fue transformada a derivas inelásticas aplicando las ecuaciones n° 03 y 04, para ambos sentidos.

a. En el sentido X – X:

Como podemos observar en la siguiente tabla, las derivas inelásticas son menores a la máxima admisible de 0.007, por lo tanto, la estructura es rígida en el sentido X – X, el cual tendrá un comportamiento acorde durante un evento sísmico.

Tabla 25
Deriva de piso en el sentido X – X con interacción suelo – estructura

Nº DE NIVEL	UX (Cm)	DERIVAS ELÁSTICOS	ALTURA DE NIVEL	DERIVAS INELASTICOS
4º NIVEL	1.24	7.44	290	0.0062
3º NIVEL	0.94	5.64	290	0.0066
2º NIVEL	0.62	3.72	290	0.0060
1º NIVEL	0.33	1.98	290	0.0068

Fuente: Elaboración propia.

b. En el sentido Y – Y:

Como podemos observar en la siguiente tabla, las derivas inelásticas del 3º, 2º y 1º nivel son mayores a la máxima admisible de 0.007, por lo tanto, la estructura es flexible en el sentido Y – Y, el cual corre el riesgo de colapsar durante un evento sísmico.

Tabla 26

Deriva de piso en el sentido Y – Y con interacción suelo – estructura

N° DE NIVEL	UY (Cm)	DERIVAS ELÁSTICOS	ALTURA DE NIVEL	DERIVAS INELÁSTICOS
4° NIVEL	1.34	8.07	290	0.0051
3° NIVEL	1.10	6.59	290	0.0073
2° NIVEL	0.75	4.48	290	0.0082
1° NIVEL	0.35	2.11	290	0.0073

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.4. **Cortante basal:**

La cortante estática en ambos sentidos sigue siendo igual a 73.68Tn.

a. Cortante basal en el sentido X – X:

La cortante basal dinámica en el sentido X – X fue determinado en el software etabs la cual es igual a 81.45.64Tn, este valor es mayor al 80% de la cortante basal estática, por lo tanto, no es necesario escalar el factor de carga dinámica.

Tabla 27

Cortante basal dinámica en el sentido X – X con interacción suelo – estructura

N° DE NIVEL	CARGA	LOCACION	CORTANTE EN "X"
4° NIVEL	ISEXX	B.O.T.T.O.M.	28.45
3° NIVEL	ISEXX	B.O.T.T.O.M.	54.30
2° NIVEL	ISEXX	B.O.T.T.O.M.	72.70
1° NIVEL	ISEXX	B.O.T.T.O.M.	81.45

Fuente: Elaboración propia.

b. Cortante basal en el sentido Y – Y:

La cortante basal dinámica en el sentido Y – Y fue determinado en el software etabs la cual es igual a 101.34Tn, este valor es mayor al 80% de la cortante basal estática, por lo tanto, no es necesario escalar el factor de carga dinámica.

Tabla 28
Cortante basal dinámica en el sentido Y – Y con interacción suelo – estructura

N° DE NIVEL	CARGA	LOCACION	CORTANTE EN "Y"
4° NIVEL	ISEYY	BOTTOM	61.93
3° NIVEL	ISEYY	BOTTOM	81.02
2° NIVEL	ISEYY	BOTTOM	94.52
1° NIVEL	ISEYY	BOTTOM	101.34

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Comparación de los periodos de vibración:

En la siguiente tabla podemos observar que los periodos fundamentales de vibración con la interacción suelo – estructura se incrementaron en un porcentaje de 5.32% y 13.15% en los sentidos X – X e Y – Y respectivamente, el cual prolonga que la estructura retorne a su estado inicial después de haber sufrido una deformación.

Tabla 29
Comparación de los periodos de vibración

DESCRIPCION	SIN ISE	CON ISE	% DE INCREMENTO
Periodo en X - X	0.529s	0.557s	5.32%
Periodo en Y - Y	0.509s	0.576s	13.15%

Fuente: Elaboración propia.

5.2. COMPARACIÓN DE LAS DERIVAS DE PISO:

5.2.1. En el sentido X – X:

En la siguiente tabla se puede observar que el 1° nivel obtuvo un porcentaje de incremento igual a 18.45% en el sentido X – X, por lo tanto, la interacción suelo – estructura disminuye la rigidez de los elementos estructurales, pero no supera el máximo admisible de 0.007 establecido en la norma E.030 del RNE.

Tabla 30
Comparación de las derivas de piso en el sentido X – X

N° DE NIVEL	SIN ISE	CON ISE	% DE INCREMENTO
4° Nivel	0.0058	0.0062	7.14
3° Nivel	0.0062	0.0066	6.67
2° Nivel	0.0056	0.0060	6.85
1° Nivel	0.0058	0.0068	18.45

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. En el sentido Y – Y:

En la siguiente tabla se puede observar que el 3°, 2° y 1° nivel obtuvo incrementos de 33.40%, 26.84% y 38.25% respectivamente en el sentido Y – Y, por lo tanto, la interacción suelo - estructura provoco que la rigidez de los elementos estructurales disminuya considerablemente hasta superar el máximo admisible de 0.007 establecido en la norma e.030 del RNE.

Tabla 31
Comparación de las derivas de piso en el sentido Y – Y

N° DE NIVEL	SIN ISE	CON ISE	% DE INCREMENTO
4° Nivel	0.0034	0.0051	51.29
3° Nivel	0.0054	0.0073	33.40
2° Nivel	0.0064	0.0082	26.84
1° Nivel	0.0053	0.0073	38.25

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Comparación de la cortante basal:

5.3.1. En el sentido X – X:

En la siguiente tabla se puede observar que la cortante basal se incrementó en 30.03% en el 1° nivel en el sentido X – X, por lo tanto, la interacción suelo – estructura aumenta las fuerzas cortantes provocando un aumento en el refuerzo de acero y el presupuesto de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe.

Tabla 32
Comparación de las cortantes basales en el sentido X – X

N° DE NIVEL	SIN ISE	CON ISE	% DE INCREMENTO
4° Nivel	21.98	28.45	29.44
3° Nivel	41.82	54.30	29.84
2° Nivel	55.97	72.70	29.89
1° Nivel	62.64	81.45	30.03

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. **En el sentido Y – Y:**

En la siguiente tabla se puede observar que la cortante basal se incrementó en 30.01% en el 1° nivel en el sentido Y – Y, por lo tanto, la interacción suelo – estructura aumenta las fuerzas cortantes provocando un aumento en el refuerzo de acero y el presupuesto de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe.

Tabla 33
Comparación de las cortantes basales en el sentido Y – Y

N° DE NIVEL	SIN ISE	CON ISE	% DE INCREMENTO
4° Nivel	21.43	27.80	29.72
3° Nivel	40.52	52.65	29.94
2° Nivel	54.02	70.20	29.95
1° Nivel	60.84	79.10	30.01

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se determino la relación de la interacción suelo – estructura en el análisis sísmico de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe en la ciudad de Jauja, de la cual se concluye que incrementa los periodos fundamentales de vibración prolongando que la estructura retorne a su estado inicial después de haber sufrido una deformación, de igual manera disminuye la rigidez de los elementos estructurales debido a que incrementa las derivas de piso y aumenta el requerimiento de acero y presupuesto debido a que incrementa el porcentaje de las fuerzas cortantes.
2. Se realizo el análisis sísmico sin la interacción suelo – estructura de la vivienda multifamiliar Suarez Quispe en la ciudad de Jauja, de la cual se concluye que la estructura es rígida y tendrá un comportamiento acorde durante un evento sísmico debido a que las derivas de piso de los cuatro niveles en ambos sentidos son menores a la máxima admisible de 0.007, de igual manera las fuerzas cortantes se encuentran equilibradas debido a que la cortante basal dinámica es mayor al 80% de la cortante basal estática.
3. Se comparo los resultados del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura en la vivienda multifamiliar Suarez Quispe en la ciudad de Jauja, de la cual se concluye que los periodos fundamentales de vibración se incrementaron en un porcentaje de 5.32% y 13.15% en los sentidos X – X e Y – Y respectivamente, la deriva de piso del 1° nivel obtuvo un porcentaje de incremento igual a 18.45% en el sentido X – X y el 3°, 2° y 1° nivel obtuvo incrementos de 33.40%, 26.84% y 38.25% respectivamente en el sentido Y – Y, la cortante basal se incrementó en 30.03% en el 1° nivel en el sentido X – X y la cortante basal del sentido Y – Y se incrementó en 30.01% en el 1° nivel.

RECOMENDACIONES

1. Divulgar la información de esta investigación a los ingenieros civiles especializados en el área de estructuras para que tengan en consideración los efectos de la interacción suelo – estructura con la finalidad de obtener un comportamiento estructural mas real de las edificaciones y brindar diseños que tengan un buen comportamiento durante un evento sísmico.
2. Realizar estudios donde se pueda apreciar el incremento económico al construir una edificación teniendo en consideración la interacción suelo – estructura en las ciudades del departamento de Junín.
3. Se recomienda verificar las variaciones de las cuantías de acero de refuerzo y comparar el incremento económico de las edificaciones en las futuras investigaciones de diseño estructural donde se considere la interacción suelo – estructura.

BILIOGRAFIA

- Vicente Pérez Alama, (2009) Materiales y Procedimientos de Construcción, Lima.
- Instituto de la Construcción y Gerencia (2014) Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima.
- Antonio Blanco Blasco, (2012) Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado, Lima.
- Norma Técnica de Edificación E.020, Cargas – NORMA VIGENTE.
- Norma Técnica de Edificación E.030, Diseño sismo resistente – NORMA VIGENTE.
- Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto armado – NORMA VIGENTE.
- Jaime Bonet Morón, (2016) Informalidad laboral y en la vivienda, Lima.
- Pérez, Luis Alberto, (2012) Estadística Básica, San Marcos, Lima.
- Ronald Santana Tapua, (2011) Análisis de estructuras con el programa Lira 9.0, Lima.
- Robert Aguiar Falconi, (2012) Análisis sísmico de edificios, Lima.
- Robert Aguiar Falconi, (2011) Análisis matricial de estructuras, Lima.
- Instituto del Cemento del Hormigón de Chile (2013). Metodología de Diseño Sísmico de Muros en Edificios.

- Jaramillo, D. (2009). Análisis comparativo entre sistema aporticado y sistema de paredes portantes de hormigón. Tesis de Grado. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Music, J. (2014). Diseño de Muros de Hormigón Armado según la normativa vigente en Chile. Antofagasta, Chile.
- Nilson A. (1997). Diseño de Estructuras de Concreto. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Panuigua, A. (1981). Diagramas de interacción para porcentajes altos de acero en columnas a flexo compresión. Tesis de Licenciatura Puebla.
- Pontificia Universidad Católica de Chile, Ingeniería Civil UC, Departamento de Estructuras y Geotécnica. La Ingeniería Sismorresistente. Chile
- Rivas, J. (2006). Análisis de relación de aspectos de muros. Tesis de Grado. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

ANEXOS

Anexos 1: Matriz de Consistencia

TÍTULO: “RELACIÓN DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR EN LA CIUDAD DE JAUJA-JUNÍN”

BACH. CASTRO RODRIGUEZ JUAN JOSE

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN OBJETIVOS	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Qué relación existe entre la interacción suelo – estructura y el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la relación de la interacción suelo – estructura en el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Existe una relación directa y significativa entre la interacción suelo – estructura y el análisis sísmico de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.</p>	<p>VARIABLE</p> <p>Interacción suelo estructura:</p>	<p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Método Científico</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>a) ¿Que relación existe entre el análisis sísmico y la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Realizar el análisis sísmico de la edificación para evaluar la relación que existe sin la interacción suelo – estructura de una</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) Existe una relación directa y significativa entre el análisis sísmico de la edificación y la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar</p>	<p>DIMENSIONES</p> <p>Interacción cinemática Funciones de impedancia</p> <p>INDICE</p> <p>Amplitud y ángulos E/R 2π</p> <p>Comportamiento Estructural</p> <p>DIMENSIONES</p> <p>Periodo de vibración Centro de masa y rigidez Fuerza en la base Desplazamientos Derivas de entrepiso Amortiguamiento</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Descriptivo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>No Experimental</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA:</p> <p>POBLACIÓN:</p> <p>La población está representada por las viviendas</p>

<p>ciudad de Jauja – Junín?</p> <p>b) Como determinar los resultados del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín</p>	<p>vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.</p> <p>b) Comparar los resultados del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.</p>	<p>en la ciudad de Jauja – Junín.</p> <p>b) Los resultados permitirán una mejor comprensión del análisis sísmico sin y con la interacción suelo – estructura de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Jauja – Junín.</p>	<p>INDICE segundos metros toneladas centímetros desplazamiento de entrepiso (m/m). Adimensional</p>	<p>multifamiliares de la ciudad de Jauja, catalogadas como Edificaciones de categoría C en la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones</p> <p>La muestra es por conveniencia no probabilística, ya que se selecciona la vivienda multifamiliar de la familia Suarez Quispe en la ciudad de Jauja por tener acceso a la información y estar diseñada con la vigente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones</p>
---	--	---	---	---

Anexos 2: Matriz de operacionalización de variables

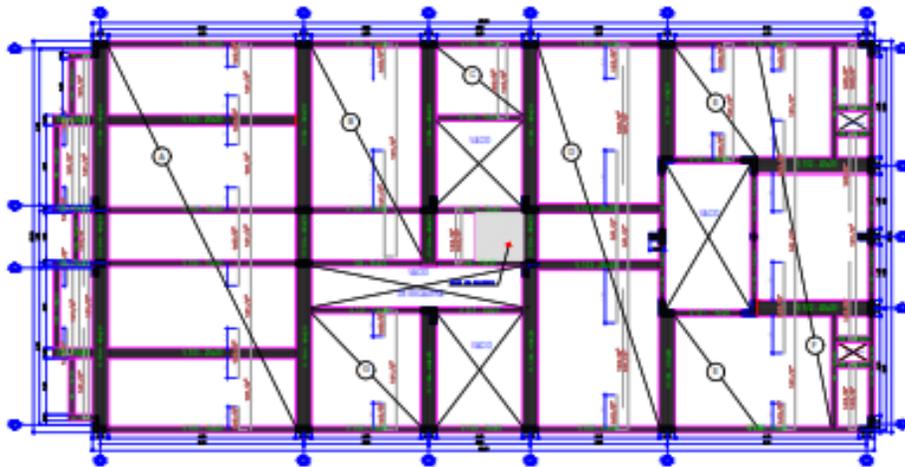
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
VARIABLE DEPENDIENTE	Interacción cinemática	La interacción cinemática consiste esencialmente en determinar la excitación efectiva de la cimentación provocada por el movimiento sísmico	Amplitud y ángulos
	Interacción suelo estructura:	Las también llamadas funciones de rigidez del suelo se definen como la relación en estado estacionario entre la fuerza (momento) excitadora y el desplazamiento (rotación)	E/R 2π
VARIABLE INDEPENDIENTE	Periodo de vibración	Para construcciones existentes es un valor que puede ayudar a determinar las condiciones actuales de seguridad estructural.	segundos
	Centro de masa y rigidez	Punto central de los elementos verticales de un sistema que resiste a las fuerzas laterales	metros
	Fuerza en la base	Los cimientos pues, son las bases donde apoya un edificio y son los que transmiten y distribuyen las cargas del edificio al terreno	toneladas
	Desplazamientos	En física, el desplazamiento es el cambio de posición de un cuerpo entre dos instantes o tiempos bien definidos	centímetros
	Derivas de entrepiso	Valores a comparar entre el edificio con base rígida y resortes establecidos en la norma E.030.	desplazamiento

Anexos 3: Panel Fotográfico

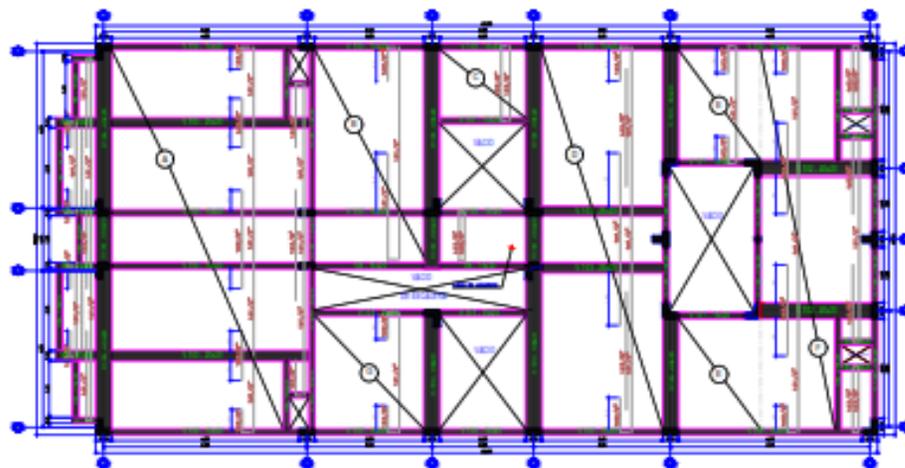




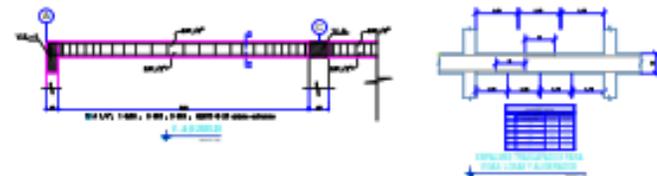
Anexos 4: Planos



ESTRUCTURA DEL 1° Y 2° PISO



ESTRUCTURA DEL 3° Y 5° PISO

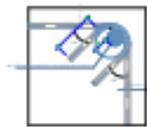


CUADRO DE COLUMNAS

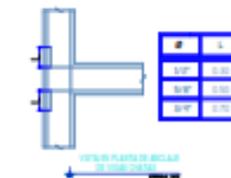
PISO	COLUMNA C1	COLUMNA C2	COLUMNA C3	COLUMNA C4
1°				
2°	800 500	800 500	800 500	800 500

DETALLES DE VIGAS

VIGA	1	2	3	4	5	6	7
1°/2°							
2°/3°	200 200	200 200	200 200	200 200	200 200	200 200	200 200



Ø	LONG.	ESPES.
10	1.5	10
12	1.5	12
14	1.5	14



NOTA

1	2
3	4
5	6

PROYECTO: "SECTOR 001 A. PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL ANEXO DE LA ESCUELA TÉCNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA EN EL DISTRITO DE SAN LORENZO"

PLANTA: ESTRUCTURAS	PROYECTADO: SAN LORENZO	FECHA: 10/05/2017	PROYECTO: ES-01
ELABORADO POR: JAVIER	REVISADO: JAVIER	FECHA: 10/05/2017	