

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS



**“EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA
SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS
APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO”**

TESIS

Presentado por:

Br. EVER RUDY ANCCO HUANACUNI
ORCID: 0000-0003-4602-2240

Asesor:

Mtra. Dina Marlene COTRADO FLORES
ORCID: 0000-0002-4262-5733

Para Obtener el Grado Académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA – PERU

2021

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TESIS

**“EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA
MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE
CONCRETO ARMADO”**

Presentada por:

Br. EVER RUDY ANCCO HUANACUNI

**Tesis sustentada y aprobada el 15 de septiembre de 2021; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: Mag. José Martín VELÁSQUEZ VARGAS

SECRETARIO: Mtro. Edgar Hipólito CHAPARRO QUISPE

VOCAL: Mtro. Wilber Percy MENDOZA RAMIREZ

ASESOR: Mtra. Dina Marlene COTRADO FLORES

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Ever Rudy Ancco Huanacuni, en calidad de: maestrando de la Maestría En Ingeniería Civil Con Mención En Estructuras de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI 75676732. Soy autor de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO"

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de maestro, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

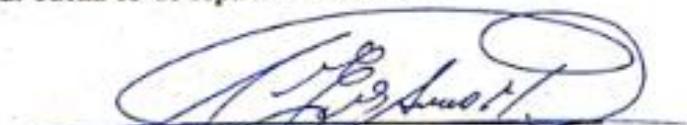
Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 20% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna 15 de septiembre del 2021



Ever Rudy ANCCO HUANACUNI
DNI: 75676732

Agradecimientos:

Al concluir una etapa más de formación académica, quiero extender un profundo agradecimiento:

A Dios, quien en su inmensa gracia ha permitido que pueda vivir y disfrutar de una maravillosa profesión.

A mis padres y hermana por su amor y apoyo incondicional.

A mis maestros, compañeros y a la Escuela de Post Grado de la Universidad Privada de Tacna por todos los conocimientos compartidos.

Gracias a todos ellos.

Dedicatoria:

A Dios.

A mis padres Jimmy y Zenaida

A mi hermana Nashely

Índice de Contenidos

Agradecimientos:	I
Dedicatoria:	II
Índice de Contenidos.....	III
Índice de Tablas	VI
Índice de Figuras	VI
Resumen.....	XI
Abstract	XII
Introducción	XIII

Capítulo I: El Problema

1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Interrogante principal:.....	2
1.2.2. Interrogantes secundarias:.....	2
1.3. Justificación de la investigación	3
1.4. Objetivos de la investigación	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación:	6
2.2. Bases teóricas:	8
2.2.1. Descripción de Estructuras de concreto armado conformado por pórticos:	8
2.2.2. Factor de reducción de fuerzas sísmicas	8
2.2.3. Factor de resistencia por ductilidad.....	11
2.2.4. Factor de sobre resistencia	18
2.2.5. Factor de redundancia	21
2.2.6. Análisis no lineal estático Pushover.....	22

2.2.7.	Factor de reducción según la Norma Técnica Peruana	28
2.3.	Definición de conceptos	29

Capítulo III: Marco Metodológico

3.1.	Hipótesis	30
3.1.1.	Hipótesis general	30
3.1.2.	Hipótesis secundarias	30
3.2.	Variables	30
3.2.1.	Identificación de la variable independiente:	31
3.2.2.	Identificación de la variable dependiente:	31
3.3.	Tipo de investigación	34
3.4.	Nivel de investigación	34
3.5.	Ámbito y tiempo social de la investigación.	34
3.5.1.	Tiempo de la investigación:	34
3.6.	Población y muestra:	35
3.6.1.	Población de estudio	35
3.6.2.	Muestra	35
3.7.	Procedimiento, técnicas e instrumentos	35
3.7.1.	Factor de resistencia por ductilidad	35
3.7.2.	Factor de sobre resistencia:	38
3.7.3.	Factor de redundancia:	41
3.8.	Técnicas de recolección de datos	42
3.9.	Análisis de datos	52

Capítulo IV: Resultados

4.1.	Descripción del trabajo de campo	53
4.2.	Diseño de la presentación de resultados	54
4.2.1.	Factor de resistencia por ductilidad R_{μ}	54
4.2.1.1.	Movimientos sísmicos sintéticos de entrada	54
4.2.1.2.	Espectro de resistencia	59
4.2.1.3.	Resultados estadísticos	62
4.2.1.4.	Normalización del espectro de resistencia	66

4.2.2. Comparación con otros autores	68
4.2.2.1. Cálculo del factor de resistencia por ductilidad	71
4.2.3. Factor de sobre resistencia R_{Ω}	77
4.2.4. Factor de redundancia R_R	83
4.2.5. Factor de reducción de fuerza sísmica R	86
4.3. Comprobación de hipótesis	100

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones	107
5.2. Recomendaciones	110

Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Propuesta de Newmark y Hall (1982).....	12
Tabla 2. 2 Propuesta de Newmark y Hall (1973).....	13
Tabla 2. 3 Coeficientes “a” y “b” para la reducción por ductilidad según Krawinkler-Nassar.....	14
Tabla 2. 4 Coeficientes “a” para la reducción por ductilidad según Aguilar R.	17
Tabla 3. 1 Operación de variables	32
Tabla 3. 2 Tiempo de investigación	34
Tabla 3. 3 Procesamiento de datos para la obtención de ductilidad objetivo.....	46
Tabla 3. 4 Procesamiento de datos para la obtención del factor de resistencia por ductilidad, según el tipo de suelo	47
Tabla 3. 5 Procesamiento de datos para la obtención del factor de sobre resistencia.....	47
Tabla 3. 6 Procesamiento de datos para la obtención del factor de redundancia.....	48
Tabla 3. 7 Procesamiento de datos para la obtención del factor de reducción sísmico	49
Tabla 4. 1 Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S ₀ (Roca dura).	55
Tabla 4. 2 Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S ₁ (Roca o suelos muy rígidos).	56
Tabla 4. 3 Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S ₂ (Suelos intermedios).....	57
Tabla 4. 4 Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S ₃ (Suelos blandos).	59
Tabla 4. 5 Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S ₀ (Roca dura).....	62
Tabla 4. 6 Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S ₁ (Roca o suelos muy rígidos).....	63
Tabla 4. 7 Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S ₂ (Suelos intermedios).....	64
Tabla 4. 8 Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S ₃ (Suelos blandos).	65

Tabla 4. 9 Constantes a, b, c y T* para la ecuación (4.1).....	68
Tabla 4. 10 Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo I - dos vanos).	72
Tabla 4. 11 Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo II - tres vanos).	72
Tabla 4. 12 Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo IIIA – dos vanos).	73
Tabla 4. 13 Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo IIIB - tres vanos).	73
Tabla 4. 14 Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo I - dos vanos).	75
Tabla 4. 15 Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo II - tres vanos).....	75
Tabla 4. 16 Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes niveles de pisos (Modelo IIIA - dos vanos).	75
Tabla 4. 17 Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos (Modelo IIIB - tres vanos).....	75
Tabla 4. 18 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo I - dos vanos).	78
Tabla 4. 19 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).....	78
Tabla 4. 20 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo IIIA - tres vanos).	79
Tabla 4. 21 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo IIIB - dos vanos).....	79
Tabla 4. 22 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).....	80
Tabla 4. 23 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).....	81
Tabla 4. 24 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).....	81
Tabla 4. 25 Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).....	82

Índice de Figuras

Figura 2. 1 Modificación de Respuesta debido a la Ductilidad. (Fuente: Daza-Duarte)	11
Figura 2. 2 Factor de resistencia por ductilidad según Newmark y Veletsos. (Fuente: Elaboración propia)	13
Figura 2. 3 Factor de resistencia por ductilidad según Krawinkler - Nassar. (Fuente: Elaboración propia)	15
Figura 2. 4 Factor de resistencia por ductilidad según Vidic, Fajfar y Fischinger. (Fuente: Elaboración propia)	15
Figura 2. 5 Factor de resistencia por ductilidad según Miranda y Bertero. (Fuente: Elaboración propia)	16
Figura 2. 6 Factor de resistencia por ductilidad según Miranda y Bertero. (Fuente: Elaboración propia)	17
Figura 2. 7 Factor de resistencia por ductilidad según Aguilar R. (Fuente: Elaboración propia)	18
Figura 3. 1 Autoría del software AcelSin ©.	36
Figura 3. 2 Forma espectral de la norma E.030.	36
Figura 3. 3 Interfaz del software Nonlin32.	37
Figura 3. 4 Curva de capacidad incluido el punto de desempeño.	39
Figura 3. 5 Espectro de capacidad y punto de desempeño.	39
Figura 4. 1 Acelerograma sintético en “Roca dura”.	54
Figura 4. 2 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Roca Dura N°10” para perfil tipo S0 (Roca dura).	56
Figura 4. 3 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Roca o suelos muy rígidos N°26” para perfil tipo S1 (Roca o suelos muy rígidos).	57
Figura 4. 4 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Roca Dura N°39” para perfil tipo S2 (Suelos intermedios).	58
Figura 4. 5 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Suelos blandos N°53” para perfil tipo S3 (Suelos blandos).	59
Figura 4. 6 Espectro elástico e inelásticos de resistencia con ductilidad constante.	60

Figura 4. 7 Espectros de factores de reducción de resistencia por ductilidad.....	61
Figura 4. 8 Promedio de los factores de reducción de resistencia para suelos de roca dura y roca o suelos muy rígidos.	61
Figura 4. 9 Promedio de los factores de reducción de resistencia para suelos intermedios y suelos blandos.	62
Figura 4. 10. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S0 (Roca dura).....	63
Figura 4. 11. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S1 (Roca o suelos muy rígidos).....	64
Figura 4. 12. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S2 (Suelos intermedios).....	65
Figura 4. 13. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S3 (Suelos blandos).	66
Figura 4. 14. Resultados suavizados del espectro de ductilidad para los cuatro perfiles de suelo (S0, S1, S2 y S3).	67
Figura 4. 15 Resultados de R_{μ} para el perfil de suelo S0 “Roca dura” con una ductilidad constante $\mu=4$	69
Figura 4. 16 Resultados de R_{μ} para el perfil de suelo S1 “Roca o suelos muy rígidos” con una ductilidad constante $\mu=4$	69
Figura 4. 17 Resultados de R_{μ} para el perfil de suelo S2 “Suelos intermedios” con una ductilidad constante $\mu=4$	70
Figura 4. 18. Resultados de R_{μ} para el perfil de suelo S3 “Suelos intermedios” con una ductilidad constante $\mu=4$	70
Figura 4. 19 Resultados de R_{μ} para los diferentes perfiles de suelos (S0, S1, S2 y S3) con una ductilidad constante $\mu=4$	70
Figura 4. 20 Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos.....	74
Figura 4. 21 Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos. Fuente: Elaboración Propia.....	76
Figura 4. 22 Resultados del factor de sobre resistencia. Método del Espectro de Capacidad.....	80
Figura 4. 23 Resultados del factor de sobre resistencia. Método de la deriva máxima de entrepiso.	82
Figura 4. 24 Resultados del factor de sobre resistencia.	83
Figura 4. 25 Resultados del factor de redundancia RR.....	86

Figura 4. 26 Resultados del factor de reducción sísmico R para el tipo de suelo: “Roca dura”.....	89
Figura 4. 27 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Roca o suelos muy rígidos”.....	92
Figura 4. 28 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “suelos intermedios”.....	96
Figura 4. 29 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Suelos blandos”.....	99
Figura 4. 30 Incidencia de los factores de ductilidad, sobre resistencia y redundancia para la obtención del factor de reducción sísmico R.	100
Figura 4. 31 Coeficiente de reducción sísmico según la norma E.030.	101
Figura 4. 32 Incidencia de los factores de ductilidad, sobre resistencia y redundancia para la obtención del factor de reducción sísmico R.	102
Figura 4. 33 Modelos matemáticos para el análisis no lineal (pushover) en las edificaciones para la obtención del factor de reducción sísmico R.	103
Figura 4. 34 Resultados del factor de reducción sísmico R para el tipo de suelo: “Roca dura”.....	104
Figura 4. 35 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Roca o suelos muy rígidos”.....	105
Figura 4. 36 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “suelos intermedios”.....	105
Figura 4. 37 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Suelos blandos”.....	105

Índice de Anexos

Anexo N° 01	Matriz de consistencia	116
Anexo N° 02	Ficha técnica - 001	118
Anexo N° 03	Ficha técnica - 002	119
Anexo N° 04	Ficha técnica - 003	120
Anexo N° 05	Ficha técnica - 004	121
Anexo N° 06	Ficha técnica - 005	122
Anexo N° 07	Ficha técnica - 006	123
Anexo N° 08	Ficha técnica - 007	124
Anexo N° 09	Ficha técnica - 008	125
Anexo N° 10	Ficha técnica - 009	126
Anexo N° 11	Ficha técnica - 010	127
Anexo N° 12	Ficha técnica - 011	128
Anexo N° 13	Ficha técnica - 012	129
Anexo N° 14	Ficha técnica - 013	130
Anexo N° 15	Ficha técnica - 014	131
Anexo N° 16	Ficha técnica - 015	132
Anexo N° 17	Ficha técnica - 016	133
Anexo N° 18	Ficha técnica - 017	134
Anexo N° 19	Ficha técnica - 018	135
Anexo N° 20	Ficha técnica - 019	136
Anexo N° 21	Ficha técnica - 020	137
Anexo N° 22	Ficha técnica - 021	138
Anexo N° 23	Ficha técnica - 022	139
Anexo N° 24	Ficha técnica - 023	140
Anexo N° 25	Ficha técnica - 024	141
Anexo N° 26	Ficha técnica - 025	142
Anexo N° 27	Ficha técnica - 026	143
Anexo N° 28	Ficha técnica - 027	144
Anexo N° 29	Ficha técnica - 028	145

Resumen

Objetivo: La presente tesis titulada “Evaluación Del Factor De Modificación De Respuesta Sísmica Mediante El Análisis No Lineal De Estructuras Aporticadas De Concreto Armado”, tuvo por finalidad de brindar a la comunidad ingenieril, criterios técnicos que permitan determinar cuantitativamente el factor de reducción sísmico “R”.

Metodología: Se estructuró la metodología mediante la discretización de tres componentes: (a) Factor de resistencia por ductilidad “ R_{μ} ”, (b) Factor de sobre resistencia “ R_{Ω} ” y (c) Factor de redundancia “ R_R ”. Con el objetivo de obtener los parámetros mencionados líneas arriba se han generado sesenta (60) acelerogramas artificiales, para los cuatro (04) perfiles de suelo (S0, S1, S2 y S3) según la E.030. teniendo como resultado final una expresión matemática (ecuación 4.1) que permite obtener el “factor de resistencia por ductilidad” en función de los siguientes componentes: (i) la ductilidad, (ii) El periodo fundamental y (iii) el periodo característico del suelo. Posteriormente se ha realizado un análisis sísmico y un análisis no lineal estático por el método pushover, para 28 edificaciones de concreto armado distribuidos en 98 pórticos laterales. Esto ha permitido determinar los otros dos factores restantes denominados “sobre resistencia” y “redundancia”.

Resultados: Como consecuencia de los resultados, se determina que la incidencia los sub componentes del factor de reducción sísmico es el siguiente: $R_{\mu} = 49\%$ de R, $R_{\Omega} = 22\%$ de R y $R_R = 29\%$ de R. Finalmente se compara los resultados obtenidos con la normativa local vigente, con el propósito de validar los mismos.

Palabras clave: Factor De Reducción Sísmico, Factor De Ductilidad, Factor De Redundancia, Factor De Sobre Resistencia, Espectro, Sismo Leve, Sismo Moderado, Sismo Severo, Sistema De Un Grado De Libertad, Comportamiento Elástico Lineal, Comportamiento No Lineal.

Abstract

Objective: The present thesis entitled "**Evaluation of the Seismic Response Modification Factor by Nonlinear Analysis of Supported Reinforced Concrete Structures**", aimed to provide the engineering community with technical criteria that allow quantitatively determining the seismic reduction factor " R " which is used to decrease the magnitude of the elastic seismic demands at applied inelastic forces.

Methodology: The methodology was structured through the discretization of three components: (a) Ductility resistance factor " R_{μ} ", (b) Over resistance factor " R_{Ω} " and (c) Redundancy factor " R_R ". In order to obtain the parameters mentioned above, sixty (60) artificial accelerograms have been generated for the four (04) soil profiles (S0, S1, S2 and S3) according to E.030. having as a final result a mathematical expression (equation 4.1) that allows obtaining the "resistance factor by ductility" based on the following components: (i) ductility, (ii) the fundamental period and (iii) the characteristic period of the soil . Subsequently, a simian analysis and a static non-linear analysis by the pushover method were carried out for 28 reinforced concrete buildings distributed in 98 lateral frames. This has made it possible to determine the other two remaining factors called "over resistance" and "redundancy".

Results: As a consequence of the results, it is determined that the incidence of the sub-components of the seismic reduction factor is the following: $R_{\mu} = 49\%$ of R , $R_{\Omega} = 22\%$ of R and $R_R = 29\%$ of R . Finally, it is compared the results obtained with current local regulations, in order to validate them.

Keywords: Seismic Reduction Factor, Ductility Factor, Redundancy Factor, Overstress Factor, Spectrum, Slight Earthquake, Moderate Earthquake, Severe Earthquake, One Degree of Freedom System, Linear Elastic Behavior, Nonlinear Behavior.

Introducción

Uno de los componentes más trascendentales en la filosofía de diseño sismorresistente para las edificaciones; es la seguridad, el cual está relacionado con la capacidad de la estructura para soportar las cargas o solicitaciones posibles que puedan acontecer durante toda su vida útil, sin incurrir en estos en daños excesivos o en algún colapso parcial o total de la edificación.

Con el fin de garantizar lo anterior el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, mediante la norma técnica E.030 diseño sismorresistente, contempla la aplicación de los criterios y condiciones mínimas para el análisis y diseño de las edificaciones en forma obligatoria a nivel nacional. Uno de esos criterios es identificar el coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas “ R^1 ”, el cual es dependiente del tipo o sistema estructural.

No obstante, estos valores de R fueron determinados cualitativamente en función a la observación del comportamiento de estructuras similares ante sismos severos, además de procedimientos basados en los desplazamientos y principio de igualdad energética Ventura (2006), sumado a lo anterior también se tuvo en consideración los valores propuestos por diversos conocedores del tema.

Por lo que este trabajo tiene como objetivo determinar el factor de reducción sísmico “ R ” para estructuras de concreto armado conformado por pórticos de forma cuantitativa mediante procedimientos racionales, utilizando herramientas como el análisis no lineal y señales sísmicas. A fin de que puedan ser contrastados por otros investigadores y genere un cambio para la actualización de la normativa vigente si así lo amerita.

Esta investigación se encuentra estructurado en 05 capítulos. En el capítulo I, se determina la problemática que genera la actividad sísmica, la justificación, y los objetivos para determinar el factor de reducción sísmico en estructuras de concreto

¹ Según el Artículo 18 de la NTP E-0.30 “Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (R_0). Aprobado, según Resolución Ministerial N°355-2018-VIVIENDA, el 22 de octubre del 2018.

armado conformado por pórticos. Asimismo, se da a conocer algunos conceptos básicos y antecedentes.

El capítulo II, está referido al fundamento teórico científico, es decir el marco referido al análisis del factor de reducción sísmico y la definición de conceptos básicos.

En el capítulo III, se desarrolla el marco metodológico, las hipótesis, variables, tipo de investigación, nivel de investigación, ámbito, tiempo social de investigación, población, muestra, procedimiento, técnicas e instrumentos, técnicas de recolección de datos y finalmente análisis de datos.

El capítulo IV, presenta los resultados de la investigación a partir de la descripción del trabajo de campo, el diseño, presentación de factor de ductilidad, sobre resistencia y redundancia finalmente se presenta la discusión de la hipótesis.

En el capítulo V, se da a conocer las conclusiones del trabajo y sugerencias.

Finalmente, en referencias bibliográficas se presenta un listado de las referencias consultadas para la ejecución de este trabajo de investigación y en los Anexos se presenta la matriz de consistencia y 28 fichas técnicas con la recopilación de modelos matemáticos en análisis no lineal.

El Autor

Capítulo I: El Problema

1.1. Planteamiento del problema

Según el CISMID-FIC-UNI² el Perú está incluido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, esto debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, región donde la Tierra libera más del 85% de la energía acumulada en su interior. Por lo que solo es cuestión de tiempo para que ocurra un sismo de gran magnitud en cualquier lugar de nuestro territorio peruano. Sin embargo según la Sociedad Geológica del Perú³ los escenarios observados en cada área urbana, después de ocurrido un sismo de gran magnitud, han demostrado que el principal problema no es el sismo, sino el crecimiento desordenado de las ciudades sobre suelos reconocidos como de alto riesgo (suelos no compactos, laderas de cerros, orillas de ríos y quebradas) y con la construcción de viviendas no adecuadas para soportar altos niveles de sacudimiento de suelo (materiales no adecuados y falta de orientación técnica).

Según el estudio realizado por INDECI & DIPRE⁴, de ocurrir un sismo de magnitud 8.8Mw con tsunami en Lima Metropolitana y Callao, donde hoy en día se cuenta con más de 10'200,000 habitantes, se estima un total de 110,313 fallecidos, 2'096,824 heridos, 353,497 viviendas destruidas y 623,882 viviendas inhabitables.

Bajo este contexto, la confiabilidad estructural suministra un campo amplio de estudio para evaluar la importancia de las sollicitaciones (siendo los sismos en potencia, la principal amenaza) que se aplican a las edificaciones para un análisis y posterior diseño estructural. Dichos procedimientos implican la aplicación de

² Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres: PELIGRO SÍSMICO EN EL PERÚ, Ponencia presentada en el VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, 6-10 diciembre 1993 por Jorge L. Castillo Aedo & Jorge E. Alva Hurtado.

³ Artículo: GEONOTICIAS | PERÚ, UN PAÍS ALTAMENTE SÍSMICO por Instituto Geofísico del Perú (IGP)-Hernando Tavera.

⁴ Instituto Nacional de Defensa Civil & Dirección de Preparación: ESCENARIO SÍSMICO PARA LIMA METROPOLITANA Y CALLAO: SISMO 8.8 Mw-2017

diversas simplificaciones o aproximaciones mediante factores de corrección que pueden determinar la equivalencia entre un análisis lineal y no lineal (comportamiento real de las edificaciones cuando son sometidas a la acción de sismos). Una de estas tantas simplificaciones que encontramos en los códigos de diseño, consiste en preparar las edificaciones de manera que estas establezcan una resistencia lateral menor a la resistencia elástica, esto se consigue mediante la aplicación de cargas laterales calculadas a partir de espectros de diseño inelásticos, que no son más que los espectros de diseño elásticos afectados por factores de reducción de respuesta, también conocidos como factores “R”. Todo ello con la finalidad de garantizar la funcionabilidad, seguridad y durabilidad de las edificaciones.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Interrogante principal:

- a) ¿Cómo determinar el factor de modificación de respuesta sísmica mediante el análisis no lineal de estructuras de concreto armado conformado por pórticos?

1.2.2. Interrogantes secundarias:

- b) ¿Existirá alguna relación entre la ductilidad, sobre resistencia y redundancia de las estructuras para determinar el factor de reducción sísmico?
- c) ¿Es posible realizar modelos matemáticos de edificaciones de diferentes niveles incursionando el análisis no lineal pushover de estructuras de concreto armado conformado por pórticos?

- d) ¿Será posible comparar el factor de reducción sísmica (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030⁵ para estructuras de concreto armado conformado por pórticos?

1.3. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica por las siguientes razones:

Desde el aspecto sísmico se justifica el por qué se lleva a cabo esta investigación.

Debido a que el borde occidental de Sudamérica es considerado, a nivel mundial, como una de las zonas sismogénicas con mayor potencial sísmico y el Perú forma parte de esta región, esto último sucede como consecuencia de la convergencia de la placa oceánica de Nazca, que subduce por debajo de la placa continental Sudamericana. Bajo este contexto; según Hernando Tavera (2014) en el Perú, la ocurrencia de sismos es continua en el tiempo y cada año el Instituto Geofísico del Perú reporta en promedio entre 150 a 200 sismos percibidos por la población con intensidades mínimas de II-III (MM⁶) y magnitudes $ML^7 \geq 4,0$.

Desde el aspecto normativo se justifica la importancia de esta investigación.

Según Daza L. (2003) las cargas sísmicas según los códigos de diseño vigentes no atienden con suficiente claridad el verdadero valor del Factor R que debe ser asignado a una estructura en particular, sino que generaliza los valores correspondientes por grupos de sistemas estructurales como los que se muestra en la Tabla N°7 de la norma E.030. Los coeficientes que se sugieren provienen

⁵ Artículo 18 de la NTP E-0.30 “Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (R_0). Aprobado, según Resolución Ministerial N°355-2018-VIVIENDA, el 22 de octubre del 2018.

⁶ Escala de intensidades de Mercalli Modificada

⁷ Magnitud Local, más conocida como “magnitud de Richter”, usada para magnitudes inferiores a 6,4

exclusivamente de la experiencia y poseen muy poco rigor cuantitativo, pudiendo llevar a sobre estimar o reducir excesivamente las cargas sísmicas de diseño.

Desde el aspecto estructural se justifica la utilidad de esta investigación.

Debido a que se aplica una metodología cuantitativa para pasar del espectro elástico al espectro de diseño inelástico o en consecuencia el cálculo del factor de reducción (R), específicamente para estructuras de concreto armado conformado por pórticos, siendo esto último el sistema estructural más difundido en el sector, debido a la gran libertad que permite en la propuesta arquitectónica. Esto ha ocasionado un mayor análisis y entendimiento de su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- a) Determinar el factor de modificación de respuesta sísmica para estructuras de concreto armado conformado por pórticos mediante el análisis no lineal y la utilización de señales sísmicas.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la ductilidad, sobre resistencia y redundancia de estructuras de concreto armado conformado por pórticos.
- b) Realizar modelos matemáticos de estructuras de concreto armado conformado por pórticos, en función a los niveles de piso e incursionando en el análisis no lineal pushover.

- c) Comparar el factor de reducción sísmico (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030.

Capítulo II:

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación:

- a) (Rovello & Andrea, 2014), en el trabajo titulado: “*Verificación Del Factor De Reducción Sísmico R, Para El Análisis Inelástico De Estructuras De Hormigón Armado De Acuerdo Al NEC-11*” en dicho trabajo se verificó el valor del factor de reducción R propuesto por el NEC-11 (Norma Ecuatoriana de Construcción), mediante un Análisis No Lineal Estático (Pushover) en una edificación de 11 pisos ubicado en la ciudad de Salinas por medio del programa de elementos finitos SAP2000. El Factor R se calculó en función de tres variables: (a) El Factor de Ductilidad calculado mediante ecuaciones propuestas por Newmark & Hall (1982), (b) el Factor de Sobre resistencia obtenido mediante el Método del Espectro de Capacidad y (c) el Factor de Redundancia que se obtuvo con la ayuda del SAP 2000. Dentro de las principales conclusiones, Los autores definen lo siguiente: (a) Un adecuado confinamiento, permite que la estructura tenga mayor ductilidad, por lo tanto, admite mayor deformación antes que alcance el esfuerzo máximo y (b) Las deformaciones máximas obtenidas para la estructura adecuadamente confinada, son mayores que la estructura que no cumple con el confinamiento determinado por la NEC-11.

- b) (Vielma, Barbat, & Oller, 2006) en el trabajo titulado “*Factores de Reducción de Respuesta. Estado del Arte y Estudio Comparativo Entre Códigos*” En este trabajo se realiza una revisión exhaustiva del estado del arte de los factores de reducción de respuesta, que comprende desde su propuesta original, pasando por su implementación en los códigos de diseño sismorresistente, hasta llegar a las nuevas propuestas de racionalización de su aplicación. Para poder alcanzar una mejor comprensión sobre el tema, es necesario realizar una comparativa entre la aplicación de los factores de

reducción de respuesta en los diferentes códigos de diseño sismorresistente a nivel mundial.

- c) (Aguilar R. , 2007), en el trabajo titulado “Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte” En este trabajo se presenta el factor de reducción de las fuerzas sísmicas R de las normativas sísmicas de: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Chile, en estructuras de hormigón armado conformadas por vigas y columnas, sin muros de corte. Pero no solo se presenta el factor R sino también las combinaciones de carga que se estipulan en cada normativa, la deriva máxima de piso permitida y la forma como se obtiene la deriva de piso. Porque todas estas variables están relacionadas. Luego se compara el factor R de las cinco normativas sísmicas, pero para ello, en algunos casos se halla R asociados a espectros últimos. De igual manera se compara la deriva de piso máxima, pero todas obtenidas a partir de un análisis elástico, en este caso también se infieren esta deriva. Posteriormente, se presentan los resultados de varias investigaciones a nivel mundial tendientes a cuantificar el factor R el mismo que está compuesto por los siguientes componentes: Factor de resistencia por ductilidad, Factor de sobre resistencia y Factor de redundancia, fundamentalmente. Con el propósito de visualizar la forma como se obtienen fuerzas sísmicas reducidas se presenta un modelo numérico para calcular las dos primeras componentes del factor R .

2.2. Bases teóricas:

Una de las implicaciones más importantes de la ingeniería estructural es el análisis de la respuesta de las estructuras a los movimientos del terreno causados por un sismo. Debido a que los sismos se presentan en forma indeterminada, es muy importante asumir discretizaciones numéricas aceptables y coherentes con el entorno a estudiar. Una de estas discretizaciones es el factor de modificación de respuesta sísmica “R” y para continuar esta línea de investigación es importante evaluar el estado del arte actual que incluye la normativa sísmica peruana E-0.30 estableciendo conceptos básicos que se describen a continuación.

2.2.1. Descripción de Estructuras de concreto armado conformado por pórticos:

La norma E.030, dentro de sus doce (12) sistemas estructurales⁸ de resistencia sísmica para estructuras de concreto armado describe que, para ser considerado como tal, las columnas de los pórticos deben absorber por lo menos el 80% de la fuerza cortante en la base. Sumado a lo anterior es el sistema estructural más difundido en el sector, debido a la gran libertad que permite en la propuesta arquitectónica. Esto ha ocasionado un mayor análisis y entendimiento de su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas.

2.2.2. Factor de reducción de fuerzas sísmicas

El factor de reducción sísmico (con el cual se pasa del espectro elástico al espectro inelástico) tiene como premisa establecer que las edificaciones bien estructuradas, puedan tener la capacidad de obtener grandes deformaciones antes de llegar al punto de colapso y reducir las fuerzas sísmicas hasta llevarlas a un nivel

⁸ Artículo 16 de la NTP E.030 “Sistemas Estructurales”. Aprobado, según Resolución Ministerial N°355-2018-VIVIENDA, el 22 de octubre del 2018.

de fuerzas de diseño. La aplicación de los factores de reducción (mayores a la unidad), genera que los proyectistas acepten las siguientes simplificaciones: a) Las herramientas de cálculo (softwares) trabajen en un rango lineal, obteniendo resultados razonables en comparación a la respuesta real de las estructuras; b) Cuando se acepta el comportamiento no lineal de manera implícita, se espera una disipación de energía en la edificación, con lo que produce un daño global importante en la estructura y c) Los componentes de los sistemas estructurales, tienen una capacidad inherente de ductilidad y sobre resistencia.

Al año 1978, el Gobierno de los Estado Unidos, a través del Applied Technology Council, formuló el informe ATC 3-06 en donde a través de un riguroso consenso del comité basado en el desempeño observado de edificios durante terremotos pasados y en las estimaciones de sistema de sobre resistencia y amortiguación, propucieon por primera vez el concepto de los factores de modificación de la respuesta.

En los documentos del ATC-19 (1995) y ATC-34 (1995), el factor de modificación de respuesta se calculó como el producto de tres factores: a) el de reducción por resistencia R_{Ω} , b) el de reducción por ductilidad R_{μ} y c) denominado factor de redundancia R_R . En estos dos documentos el factor de amortiguamiento queda excluido, llegando a la siguiente conclusión:

$$R = R_{\Omega} \cdot R_{\mu} \cdot R_R \quad (2.1)$$

De estos tres factores, los dos primeros son dependientes del período, mientras que los valores del factor de redundancia suelen presentarse como valores fijos sugeridos para distintos tipos estructurales, sin que exista claridad en cuanto a su determinación ya que suele incluirse dentro del factor de sobre resistencia.

Por otro lado, existen propuestas muy similares a la ecuación (1.1) con sustento teórico y experimental como la planteada por Bertero, y otros (1992).En

esta la formulación se reconoce que el factor R es igual al producto de cuatro factores como se muestra a continuación:

$$R = R_S \cdot R_\mu \cdot R_{VG} \cdot R_R \quad (2.2)$$

De acuerdo con la expresión anterior, el factor de reducción sísmica R queda definido como el producto de: a) el factor de reducción por resistencia R_S definida como la capacidad última de la estructura con respecto a la capacidad de diseño, b) el factor de reducción por ductilidad R_μ que se lo obtiene en un sistema de un grado de libertad, c) el factor de reducción por múltiples grados de libertad R_{VG} que toma en cuenta que el sistema tiene múltiples grados de libertad y d) el factor de reducción por redundancia R_R que indica la eficiencia de los elementos estructurales para transmitir cargas en el rango no lineal.

La propuesta anterior ha sido apoyada posteriormente por Miranda (1997) y Whittaker, Hart, & Rojahn (1999), estos últimos además toman en consideración las investigaciones de realizadas por: a) Freeman 1990; b) Ming Uang (1991) y c) ATC-19 (1995). Concluyendo que el factor de reducción sísmica R se establece mediante el producto de tres factores descritos a continuación:

$$R = R_d \cdot R_\mu \cdot R_\xi \quad (2.3)$$

De acuerdo con la expresión anterior: (a) R_S es el factor de reducción por resistencia, (b) R_μ Factor de reducción por ductilidad y (c) R_ξ es el factor de reducción por amortiguamiento, el cual se obtiene a partir de las características dinámicas de la estructura, representadas por el período fundamental. En los estudios experimentales que realizaron en estructuras de acero encontraron que el factor R varía entre 4.5 y 6.0.

Aguiar, (2007) sigue los lineamientos planteados por el ATC-19, (1995) con los siguientes componentes, a) Factor R de Ductilidad, b) Factor R de Sobre

resistencia y c) Factor R de redundancia. (Ver ecuación 1.1) en donde se describe el análisis de reducción sísmica según las normativas de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Chile, en estructuras de concreto armado conformadas por vigas y columnas. Luego compara el factor R de las cinco normativas sísmicas y posteriormente, presenta los resultados de varias investigaciones a nivel mundial tendientes a cuantificar el factor R.

2.2.3. Factor de resistencia por ductilidad

Existen dos formas para el cálculo de factor de reducción R_μ ; el primero a partir de la relación entre la carga máxima elástica (P_{ue}) que puede resistir una estructura y la carga máxima inelástica (P_u) que puede resistir esa misma estructura si tuviese un comportamiento inelástico, uno de los métodos tradicionales es aplicar la técnica pushover para determinar la curva de capacidad.

Según (Luis G. Daza-Duarte) tradicionalmente se ha representado dicho comportamiento como una curva de comportamiento bilineal suele decirse que $P_u = P_y$. La Figura 5.2 ayuda a ilustrar este concepto.

$$R_\mu = \frac{P_{ue}}{P_y} \quad (2.4)$$

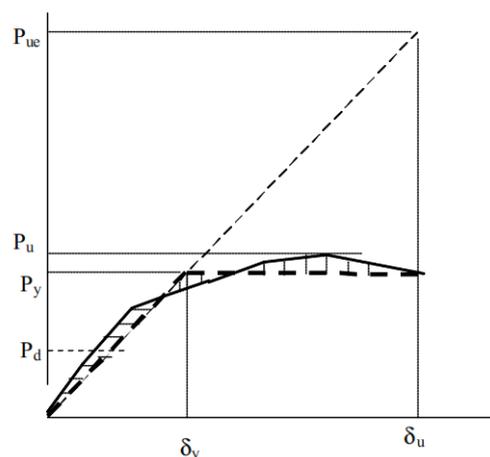


Figura 2. 1 Modificación de Respuesta debido a la Ductilidad.

Fuente: Daza Duarte, Luis G. "Nuevo enfoque para determinar el factor de modificación de respuesta".

El segundo método se obtiene partir de la relación existente entre el desplazamiento máximo inelástico $\Delta_{Inelastico}$ con respecto al desplazamiento máximo elástico S_d , en este caso se obtiene C_μ y luego se halla R_μ , con las siguientes ecuaciones:

$$R_\mu = \frac{\mu}{C_\mu} \quad (2.5)$$

$$C_\mu = \frac{\Delta_{Inelastico}}{S_d} \quad (2.6)$$

Dada la evidente importancia de los factores de reducción basados en ductilidad R_μ en el cálculo de factores de reducción de respuesta, se incluye en este apartado una revisión del estado del arte que contempla trabajos realizados aplicando diferentes enfoques, así como modelos estructurales. Entre los autores principales se pueden nombrar a: Newmark y Veletsos; Newmark y Hall; Krawinkler-Nassar; Vidic, Fajfar y Fischinger; Miranda y Bertero; Miranda y por último Aguilar. A continuación, se muestran cada una de las propuestas indicadas.

a) Newmark y Veletsos (1960)

Estos autores plantean la primera propuesta para la determinación del factor R_μ , en función a un análisis clásico de deformación y energía. Esta propuesta sigue vigente para periodos de $T=0$ segundos y para periodos largos, por lo que el interés de la comunidad ingenieril es el de afinar los valores para periodos intermedios.

Tabla 2. 1
Propuesta de Newmark y Hall (1982).

$R_\mu = 1$	Para el rango de períodos cortos	(2.7)
$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	Para el rango de períodos moderados	
$R_\mu = \mu$	Para el rango de períodos largos	

Donde:

- R_μ = Factor de reducción
- μ = Ductilidad
- T = Periodo de la estructura

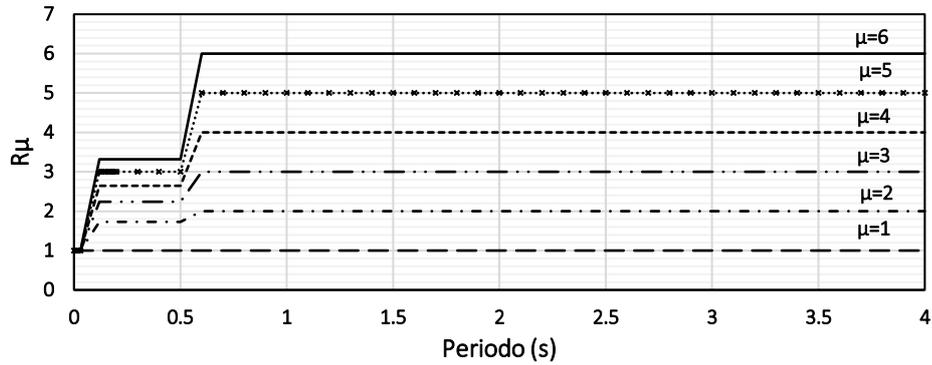


Figura 2. 2 Factor de resistencia por ductilidad según Newmark y Veletsos.
Fuente: Elaboración propia.

b) Newmark y Hall (1973)

Este documento es una extensión del trabajo de Newmark y Veletsos (1960), ahora ya definen los diferentes períodos, que en la Tabla 5.1 estaban como períodos cortos, moderados y largos.

Tabla 2. 2
Propuesta de Newmark y Hall (1973).

$R_{\mu} = 1$	Para: $0 \leq T \leq \frac{T_1}{10}$	
$R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1} \left[\frac{T_1}{4T} \right]^{2.531 \log \left[\frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \right]}$	Para: $\frac{T_1}{10} \leq T \leq \frac{T_1}{4}$	
$R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1}$	Para: $\frac{T_1}{4} \leq T \leq T_1$	(2.8)
$R_{\mu} = \frac{T\mu}{T_1}$	Para: $T_1 \leq T \leq T_2$	
$R_{\mu} = \mu$	Para: $T_1 \leq T \leq T_2$	
$R_{\mu} = \mu$	Para: $T_2 \leq T \leq 10$	

Las regiones espectrales están limitadas por los siguientes períodos.

$$T_1 = 2\pi \frac{\alpha_v V}{\alpha_a A} \quad (2.9)$$

$$T_2 = T_1 \frac{\mu}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad (2.10)$$

$$T_2 = 2\pi \frac{\alpha_d D}{\alpha_v V} \quad (2.11)$$

Donde A, V, D, son los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno; α_a , α_v , α_d son los factores de amplificación, con los cuales se obtienen las ordenadas espectrales en las zonas de aceleración, velocidad y desplazamiento al multiplicar por los movimientos máximos del suelo. Para un 5% de amortiguamiento recomiendan $\alpha_a= 2.6$, $\alpha_v= 1.9$, $\alpha_d= 1.4$ Newmark y Hall (1973).

Para suelos firmes y a una distancia epicentral de 100 Km., Newmark y Hall recomiendan un valor para $V / A = 120$ cm/ s/g. Para registros en roca recomiendan valores entre 80 y 90 cm/ s/g. Por otro lado, la relación $A D / V = 6$ es constante para todos los tipos de suelo.

c) Krawinkler-Nassar (1992)

Establecen la reducción por ductilidad, en función a la respuesta dinámica de 15 sismos registrados en California de un sistema de un grado de libertad.

$$R_\mu = [C(\mu - 1) + 1]^{1/c} \quad (2.12)$$

$$C(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (2.13)$$

Los coeficientes numéricos a y b se encuentran en la Tabla 2.3 y dependen del porcentaje de rigidez post-fluencia “ α ”. El parámetro α relaciona la rigidez post fluencia con respecto a la rigidez elástica.

Tabla 2.3

Coeficientes “a” y “b” para la reducción por ductilidad según Krawinkler-Nassar.

α	a	b
0.00	1.00	0.42

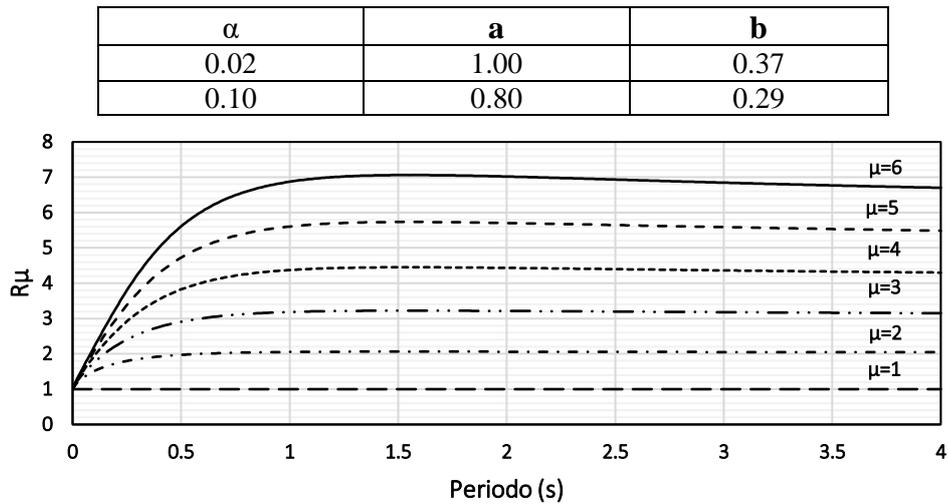


Figura 2. 3 Factor de resistencia por ductilidad según Krawinkler - Nassar.
Fuente: Elaboración propia.

d) Vidic, Fajfar y Fischinger (1994)

Los autores presentan al espectro de resistencia R_μ con dos ramas lineales en función del período, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}
 R_\mu &= 1.35(\mu - 1)^{0.95} \frac{T}{T_o} + 1 & T \leq T_o \\
 R_\mu &= 1.35(\mu - 1)^{0.95} + 1 & T > T_o \\
 T_o &= 0.75\mu^{0.2}T_1 \leq T_1
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

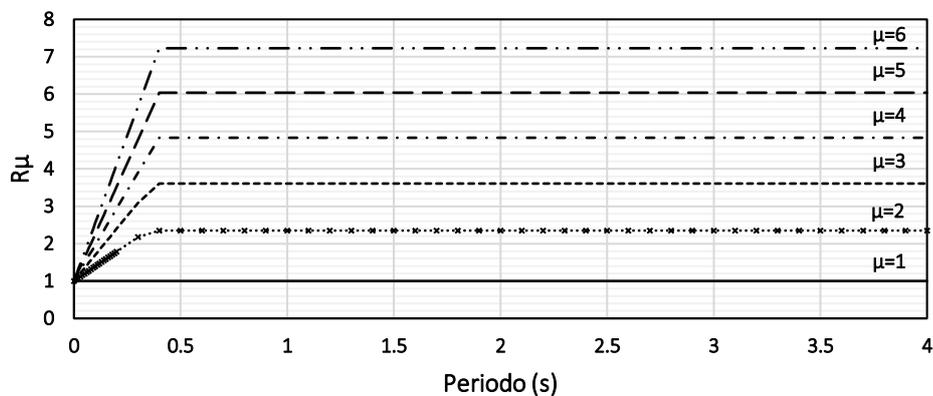


Figura 2. 4 Factor de resistencia por ductilidad según Vidic, Fajfar y Fischinger.
Fuente: Elaboración propia.

e) **Miranda y Bertero (1994)**

En este trabajo el autor utilizó un modelo elasto plástico para el análisis inelástico del suelo, con esto último se determinó la respuesta en la superficie mediante el análisis no lineal, en la que se consideró un sistema de un grado de libertad. Las expresiones finales, son:

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \geq 1.0 \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \phi &= 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \exp \left[-\frac{2}{3} \left(\ln T - \frac{3}{5} \right)^2 \right] && \text{Sitio en roca} \\ \phi &= 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp \left[-2 \left(\ln T - \frac{1}{5} \right)^2 \right] && \text{Depósitos aluviales} \\ \phi &= 1 + \frac{T_g}{3T - \mu T} - \frac{3T_g}{4T} \exp \left[-3 \left(\ln \frac{T}{T_g} - \frac{1}{4} \right)^2 \right] && \text{Suelos blandos} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Donde T_g es el periodo de vibración del suelo y ϕ es un factor que depende del tipo de suelo.

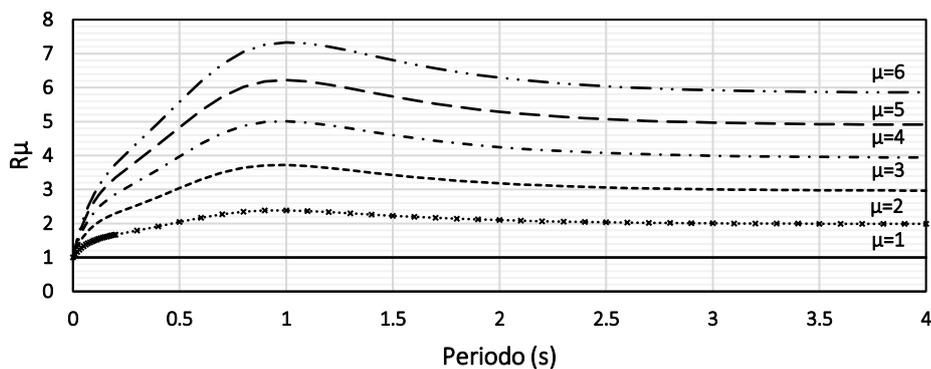


Figura 2. 5 Factor de resistencia por ductilidad según Miranda y Bertero.
Fuente: Elaboración propia.

f) **Miranda (2000)**

Miranda obtiene la ecuación 2.17, en base a resultados obtenidos del comportamiento dinámico no lineal de un sistema de un grado de libertad ante la sollicitud de 264 registros sísmicos de los Estados Unidos, sobre suelo firme.

$$C_{\mu} = \left[1 + \left(-1 + \frac{1}{\mu} \right) \exp(-12T\mu - 0.8) \right]^{-1} \quad (2.17)$$

$$R_{\mu} = \frac{\mu}{C_{\mu}}$$

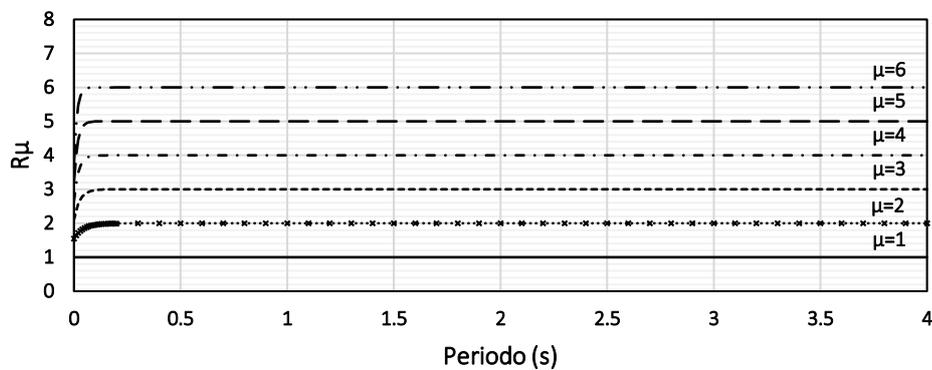


Figura 2. 6 Factor de resistencia por ductilidad según Miranda y Bertero.
Fuente: Elaboración propia.

g) Aguilar R. (2007)

Siguiendo los lineamientos del ATC-19 (1995), el autor mencionado obtuvo como factor de reducción por ductilidad la siguiente expresión:

$$R_{\mu} = 1 + (\mu - 1) \left[\frac{aT(1 - 0.165\mu)}{aT(1 - 0.165\mu) + 4900} \right] \quad (2.18)$$

Donde “a” depende del tipo de suelo y está definido para cuatro perfiles de suelo en la siguiente tabla:

Tabla 2. 4

Coefficientes “a” para la reducción por ductilidad según Aguilar R.

Variable	Suelo S1	Suelo S2	Suelo S3	Suelo S4
a	100500	91000	73600	38900

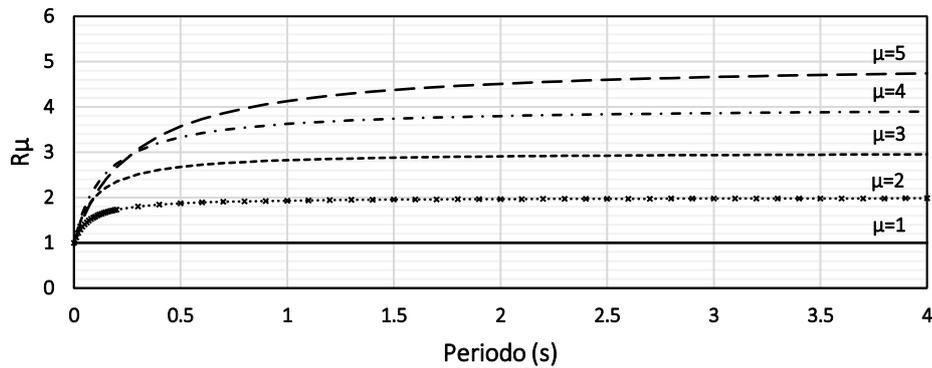


Figura 2.7 Factor de resistencia por ductilidad según Aguilar R.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.4. Factor de sobre resistencia

Según Aguilar, 2007. En una estructura se identifica dos tipos de sobre resistencia, el uno a nivel local de elementos ($R_{\Omega L}$) y el otro a nivel de estructura (R_{Ω}). Tanto ($R_{\Omega L}$) como (R_{Ω}) son factores de seguridad que tiene la estructura debido a varios factores que se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Sobre resistencia en el Diseño.
- Sobre resistencia en el Análisis.
- Sobre resistencia en el modelado y construcción.

El factor (R_{Ω}) de interés en la estructura, se define como la relación existente entre la demanda del cortante último en la base (V_U) y la demanda de cortante de diseño (V_D) bajo un incremento progresivo de un patrón de fuerzas que son distribuidos a lo largo de la altura de la edificación. En consecuencia, (R_{Ω}) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R_{\Omega} = \frac{V_U}{V_D} \quad (2.19)$$

Donde:

V_U = Cortante último (se obtiene de la curva Pushover)

$V_D =$ Cortante de diseño

Para calcular el valor de V_D se pueden emplear dos metodologías:

- a) **Método del Espectro de Capacidad**, el cual relaciona el espectro de capacidad con el espectro de demanda. El punto donde se intersectan las curvas, es conocido como punto de demanda con su respectivo cortante, que corresponde al cortante de diseño. Y con la ecuación 2.19 se determina la sobre resistencia de interés.

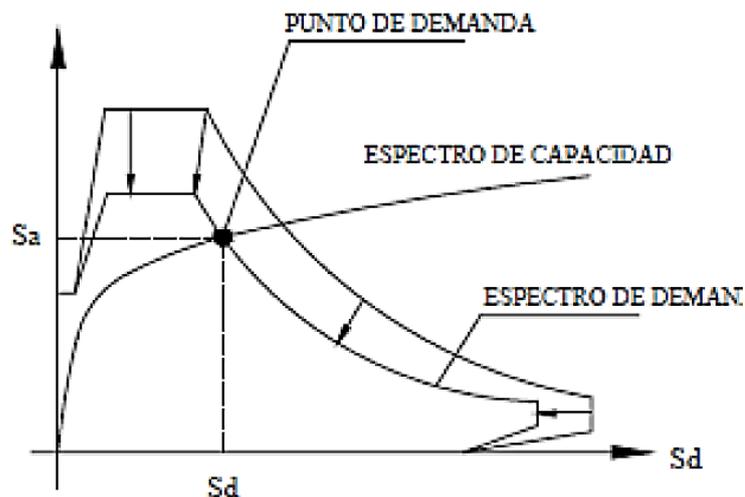


Figura 2. 8 Descripción del Método del Espectro de Capacidad para determinar el punto de demanda.

Fuente: Viera, L. (2004) *Diseño Sísmico Basado En Desempeño De Edificios De Hormigón*.

- b) **Método del propuesto por Aguiar, 2007⁹**. Esta metodología está en función de la deriva máxima de piso. Si una estructura es diseñada para un valor de γ pequeño, tendrá desplazamientos laterales bajos ya que la estructura será bastante rígida, tendrá un cortante basal bajo por lo que $R\Omega$ será alto.

⁹ Para desarrollar esta metodología, el autor ha realizado un análisis no lineal en 120 estructuras de concreto armado. De 1 a 10 pisos, conformado por vigas y columnas (pórticos), ante la acción de 32 acelerogramas de sismos registrados en Colombia, Ecuador, Perú, Argentina y Chile, con aceleraciones máximas del suelo mayores a 0.10 g.

El procedimiento se describe a continuación:

- Se determina la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura, mediante análisis no lineal estático, empleando la técnica del pushover.
- Con la curva de capacidad obtenido, se calcula la curva de deriva global vs cortante basal. Para ello se divide al desplazamiento entre la altura total del edificio.
- Se halla la curva de capacidad en el formato de deriva máxima de piso (γ) vs cortante basa. Donde (γ), se obtiene con la siguiente expresión:

$$\gamma = (\beta_2)\gamma_g \quad (2.20)$$

$$\beta_2 = -0.0231N^2 + 0.3018N + 0.6759$$

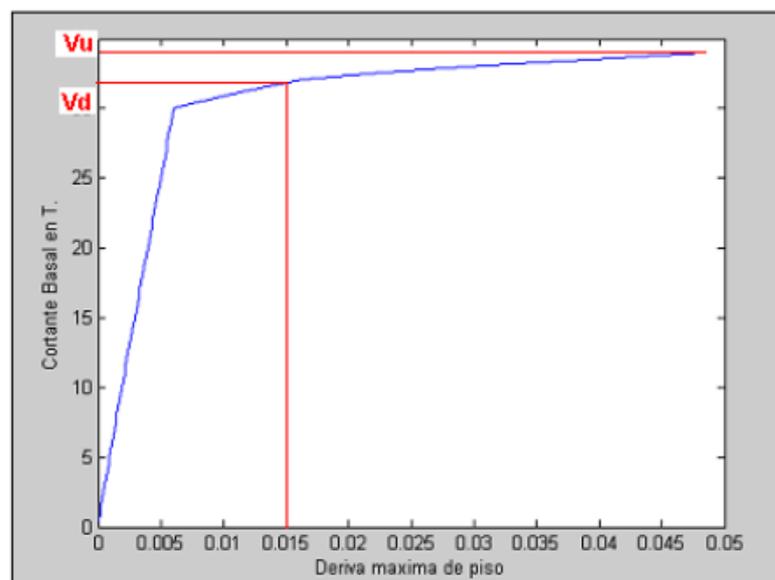


Figura 2. 9 Relación entre la deriva máxima de piso y el cortante basal.

Fuente: Aguiar R., (2007). Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte.

- Con la ecuación 2.20 se determina la sobre resistencia de interés.

2.2.5. Factor de redundancia

El factor de reducción por redundancia mide la capacidad que tiene una estructura de incursionar en el rango inelástico y relaciona el cortante basal máximo con respecto al cortante basal alcanzado en el momento que se forma la primera articulación plástica. (ATC-19)

$$R_R = \frac{V_U}{V_1} \quad (2.21)$$

Donde:

V_U = Cortante último (se obtiene de la curva Pushover)

V_1 = Cortante cuando se forma la primera rótula

Como definición de la ecuación 2.21, el factor de redundancia será generalmente mayor que la unidad. Por consiguiente, es lógico pensar que una estructura que no tenga redundancia colapsara inmediatamente cuando se forme la primera rótula plástica. Entonces se obtendrá que $V_U = V_1$.

El factor de redundancia es dependiente también de la cantidad de elementos que tenga una edificación, así mismo del número de pórticos que tenga dicha estructura. Es sabido que a mayor cantidad de elementos estructurales se tendrá una mayor cantidad de rotulas plásticas. Pero no es función únicamente de la cantidad de rotulas plásticas sino también de que tanto puede cada una de esas rotulas pueda incursionar en el rango no lineal. En consecuencia, el factor R_R se calcula mediante: (i) la cantidad de rotulas plásticas y (ii) la capacidad de incursionar en el rango inelástico.

Tsopelas y Husain (2004) propone e los tantos modelos para el cálculo del factor R_R , el autor concluye que dicho parámetro es dependiente de: (i) el índice de redundancia por resistencia r_s y (ii) el índice de redundancia por la formulación de rotulas plásticas r_v ; mediante la siguiente ecuación:

$$R_R = r_s \left(\frac{1 - 0.12r_v}{0.88} \right) \quad (2.22)$$

Donde los valores de 0.12 y 0.88 son obtenidos mediante estudios estadísticos. El índice de redundancia por resistencia r_s se ha determinado con la ecuación 2.23, donde V_y es el cortante a nivel de fluencia, el mismo que es obtenido mediante un modelo bilineal de la curva de capacidad. Se debe emplear el criterio de áreas iguales para determinar el punto de fluencia Y .

$$r_s = \frac{V_u}{V_y} \quad (2.23)$$

Para el cálculo del índice de redundancia por la formulación de rotulas plásticas r_v . Tsopelas y Husain (2004) deduce la siguiente ecuación

$$r_v = \sqrt{\frac{1}{m} \frac{1}{m-1}} \quad (2.24)$$

Donde “m” es el número de pórticos que existen en la dirección de análisis y “n” es el número de rotulas plásticas que se forman en un pórtico.

2.2.6. Análisis no lineal estático Pushover

Según Gutiérrez A. la capacidad de una estructura depende de la resistencia y la capacidad de deformación de cada uno de sus componentes individuales. Para determinar las capacidades después del límite elástico. El análisis estático lineal pushover (nonlinear static pushover analysis), además de proporcionar estimados de las demandas de deformación, proporciona alguna información útil en los patrones de deformación inelástica que puede ocurrir.

Un análisis pushover consiste en la aplicación de cargas estáticas laterales en la dirección de análisis en los entrepisos. El criterio para la aplicación de cargas al modelo inelástico de análisis se muestra en la siguiente figura:

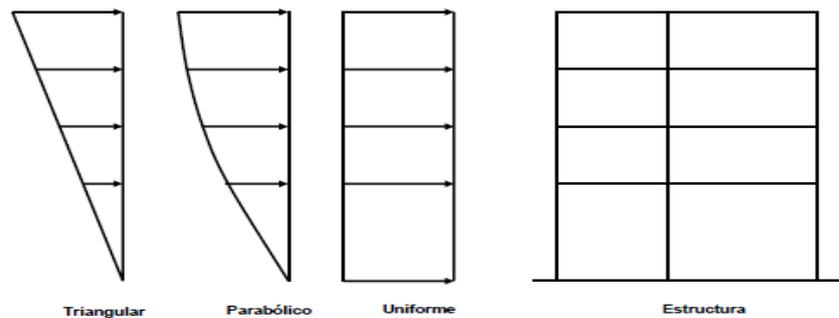


Figura 2. 10 Tipos de carga lateral incremental.

Fuente: Moreno González R. Metodología para la evaluación del riesgo sísmico.

Las cargas se aplican de forma incremental generando un empuje lateral hasta el colapso registrando la historia de avance representada por la curva de capacidad, que se define como la relación entre las fuerzas laterales y los desplazamientos demandados por las mismas. Este modelo de cargas incrementales es distribuido a lo largo de la altura del edificio, de acuerdo a un patrón de cargas pre definido como se muestra en la figura siguiente:

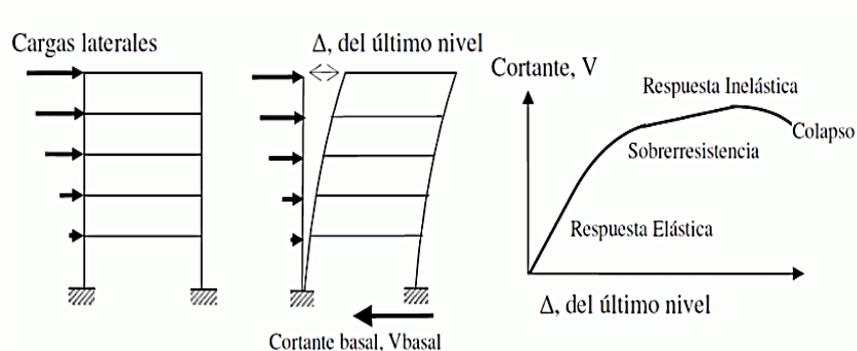


Figura 2. 11 Esquema general del procedimiento utilizado para el análisis Pushover

Fuente: Arango Moreno, Duque, & Paz, (2009). Propuesta Metodológica Para La Evaluación Del Desempeño Estructural De Una Estantería Metálica.

Es muy importante destacar que las cargas se aplican al centro de gravedad del modelo. Sumado a lo anterior se debe incluir la carga gravitacional tomando los efectos más desfavorables para el análisis.

Curva de capacidad: La curva de capacidad pushover es una aproximación del comportamiento de las estructuras luego de exceder su límite elástico. Esto se logra registrando la fuerza cortante en la base y el desplazamiento en el techo producto de la aplicación secuencial de un determinado patrón de cargas laterales.

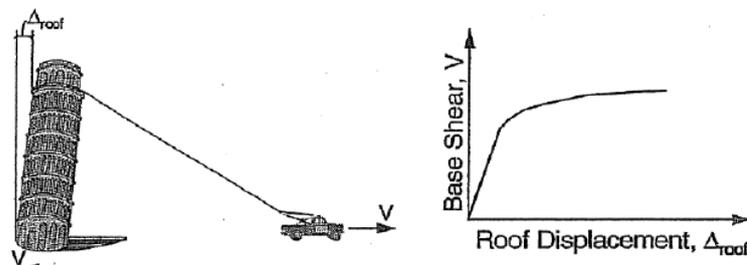


Figura 2. 12 Curva de capacidad.

Fuente: Mora Martínez, E. Programa curva de capacidad Pushover Elemental.

Esta curva es construida generalmente para representar la respuesta del primer modo de vibración en la estructura, basándose que el modo fundamental de vibración corresponde al modo predominante en la respuesta de la estructura (para periodos hasta 1.0 segundos)

Espectro de capacidad: Para continuar con el análisis, es necesario convertir la curva de capacidad que se encuentra en términos de cortante basal versus desplazamiento en el techo, a lo que se denomina espectro de capacidad, el cual es una representación de la curva ya mencionada en términos de espectro de respuesta de aceleración versus desplazamiento (S_a vs S_d). Usaremos las siguientes expresiones:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (2.25)$$

$$S_d = \frac{\Delta}{PF_1 \phi_1} \quad (2.26)$$

Donde:

α_1 es la masa participativa en el modo “n”.

$$PF_1 = \left[\frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i) / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \right] \quad (2.27)$$

PF_1 es el factor de participación sísmica del modo “n”.

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (2.28)$$

Se debe realizar la conversión paso a paso a coordenadas espectrales del primer modo de vibración. Cualquier par de puntos en la curva de capacidad, se convierten en puntos correspondientes para el espectro de capacidad (ver la figura 2.12) para esto utilizaremos las ecuaciones 2.27 y 2.28.

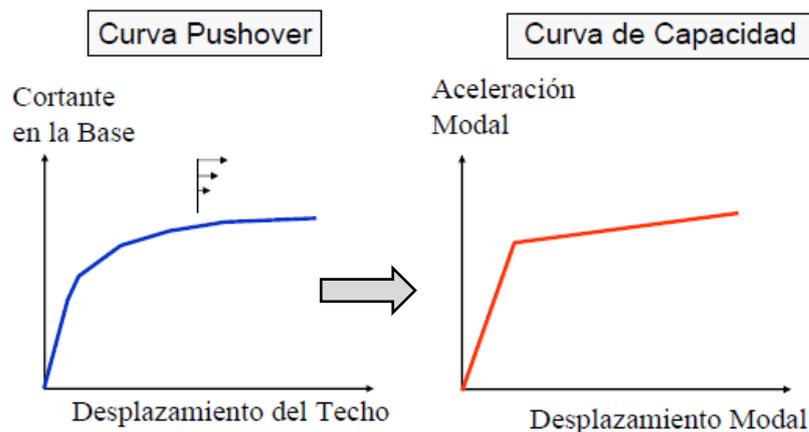


Figura 2. 13 Comparación de la curva pushover vs la curva de capacidad.
Fuente: Comunidad para la Ingeniería Civil, Diplomado La Ingeniería Sísmica – Edificios. Análisis Estático No Lineal Pushover.

Conversión del espectro de respuesta: El espectro de respuesta que representa la demanda sísmica, también debe ser graficado en coordenadas de (S_a vs S_d). Entonces para transformar un espectro de respuesta convencional de valores S_{ai} , T_i a un formato equivalente de S_{ai} , S_{di} . Se tiene que determinar cada desplazamiento espectral S_{di} para cada T_i con la ecuación 2.29.

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}(g) \quad (2.29)$$

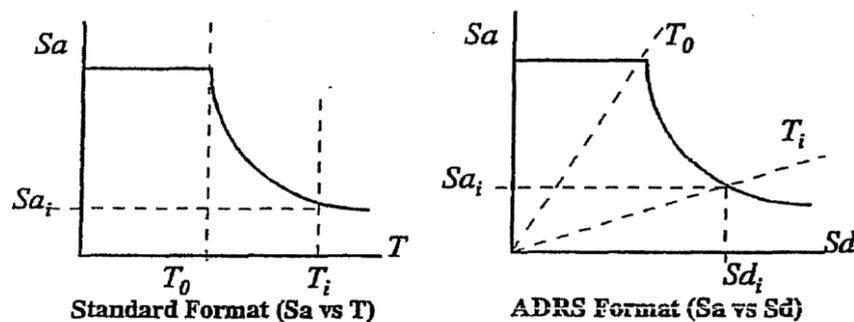


Figura 2. 14 conversión del espectro de respuesta.

Fuente: Hernández Eliud y Villamizar Laura. Diseño por desempeño sísmico de edificaciones (pág. 62).

Donde S_{di} , es el desplazamiento espectral i para cada valor del periodo T_i y aceleración espectral S_{ai} .

A continuación, se mostrará una figura en la que existe una correspondencia entre las gráficas del espectro de respuesta estándar en coordenadas de S_{ai} , S_{di} . Es importante mencionar que, en este último espectro, las líneas rectas que parte desde el origen de coordenadas tienen los valores de periodo constantes.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (2.30)$$

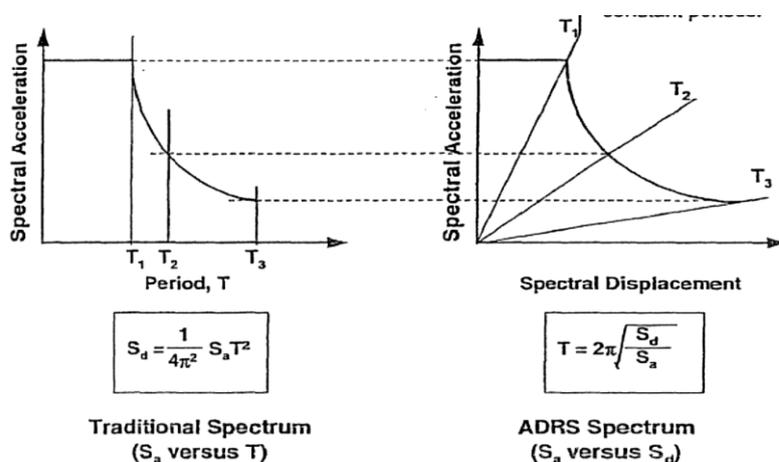


Figura 2. 15 Espectro de respuesta tradicional al formato de S_a , S_d .
Fuente: Hernández Eliud y Villamizar Laura. Diseño por desempeño sísmico de edificaciones (pág. 62).

Desempeño: Es importante destacar la capacidad de una edificación así mismo como la demanda impuesta por un sismo, no son independientes. Cuando se incrementa la demanda la estructura eventualmente entra en cedencia, la rigidez disminuye y los periodos de vibración se alargan. La determinación del desplazamiento donde la capacidad y la demanda se igualan, exige un proceso iterativo. A esta intersección se le denomina punto de desempeño que representa el máximo desplazamiento estructural esperado para el movimiento del terreno definido como demanda, como se muestra en la siguiente figura:

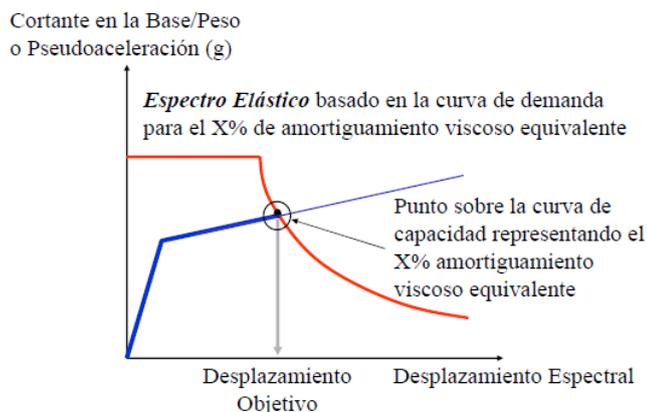


Figura 2. 16 Espectro Elástico Basado en el Desplazamiento Objetivo.
Fuente: Comunidad para la Ingeniería Civil, Diplomado La Ingeniería Sísmica – Edificios. Análisis Estático No Lineal Pushover.

La curva de la demanda es usada en conjunto con la curva de capacidad para predecir el desplazamiento objetivo. Un procedimiento prueba y error es típicamente usado para calcular el desplazamiento objetivo.

2.2.7. Factor de reducción según la Norma Técnica Peruana¹⁰

Los valores propuestos por el Norma Técnica Peruana se muestran en la siguiente Figura:

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción R_d (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
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(**)

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

Figura 5.1 Factor de reducción según la NTP-0.30.

Fuente: Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, (2018).

La NTP E-0.30, divide a los sistemas estructurales en función al tipo de material a emplear en cuatro grupos. Para estructuras de concreto armado conformado por pórticos, la norma indica que es permitido reducir las fuerzas sísmicas de diseño usando el factor $R=8$.

¹⁰ Artículo 18 de la NTP E.0.30 "Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (R_0). Aprobado, según Resolución Ministerial N°355-2018-VIVIENDA, el 22 de octubre del 2018.

2.3. Definición de conceptos

- a) **Espectro:** Son los valores máximos o picos de la respuesta estructural, fuerza restitutiva, el desplazamiento o la aceleración para todo un grupo de estructuras de igual periodo y amortiguamiento (Muñoz, 2004).
- b) **Sismo leve:** Es un sismo con la aceleración máxima del terreno de 0,15g con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años (Mosqueira & Tarque, 2005).
- c) **Sismo moderado:** Es un sismo con la aceleración máxima del terreno de 0,3g con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años (Mosqueira & Tarque, 2005).
- d) **Sismo severo:** Es un sismo con la aceleración máxima del terreno de 0,4g con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años (Mosqueira & Tarque, 2005).
- e) **Sistema de un grado de libertad:** Es el sistema más sencillo y fundamental es el de un oscilador simple, el generalmente es representado por una masa soportada por un elemento estructural vertical (columna).
- f) **Sistemas de varios grados de libertad:** Es un sistema de representación para estructuras más complejas, constituidos por una serie de masas concentradas y unidas a resortes con una determinada rigidez y amortiguamiento.
- g) **Comportamiento elástico lineal:** Es cuando el material recupera su forma inicial con la aplicación de las cargas externas, se dice que el material tiene un comportamiento elástico. Si, además, la relación entre tensiones y deformaciones es lineal, se dice que el material tiene un comportamiento elástico y lineal.
- h) **Comportamiento no lineal:** Se describe precisamente cuando el material se deforma más allá de sus proporciones elásticas, comenzando el límite plástico, que es cuando con poca carga se tienen grandes deformaciones, hasta llegar a una resistencia última y terminar en la falla del material.

Capítulo III:

Marco Metodológico

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Como hipótesis general se ha definido lo siguiente:

- La determinación del factor de reducción sísmico permitirá estudiar la equivalencia entre el análisis lineal y no lineal que se proyecta las estructuras sometidas a demandas con características sísmicas.

3.1.2. Hipótesis específicas

- El factor de reducción R se obtendrá al activar tres recursos esenciales, la ductilidad (R_{μ}), la sobre-resistencia (R_{Ω}) y la redundancia (R_R).
- La realización de modelos matemáticos para edificaciones incursionando el análisis no lineal pushover permitirá estandarizar el factor de reducción sísmico.
- Comparar el factor de reducción sísmico (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030 para estructuras de concreto armado conformado por pórticos. Permitirá proponer un procedimiento para estimar racionalmente el valor de dicho parámetro.

3.2. Variables

Las variables, constituyen los elementos que intervienen en la investigación para indicar los valores específicos, que identifiquen las cualidades que describen los elementos teóricos que conforman la investigación.

Una variable, es una característica que, al ser medida en diferentes individuos, es susceptible de adoptar diferentes valores.

Para la ejecución de la presente tesis, se ha identificado 01 (una) variable dependiente y 03 (tres) variables independientes

3.2.1. Identificación de la variable independiente (VI):

Dentro de la presente investigación se espera tener las siguientes variables independientes:

- 1) Factor de resistencia por ductilidad
- 2) Sobre resistencia
- 3) Redundancia.

3.2.2. Identificación de la variable dependiente (VD):

La variable dependiente corresponde al factor de reducción sísmica, siendo este último el producto de las variables independientes, por lo que se espera que sea el efecto final.

Tabla 3. 1*Operación de variables.*

Título: “EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO”							
Variabl e	Tipo de variable	Operacionalización	Categorización	Definición	Indicador	Nivel de aplicación	Unidad
Factor de reducción sísmico.	Dependiente y cuantitativa	Calcular el factor de reducción sísmico mediante un análisis no lineal de estructuras de concreto armado conformado por pórticos	1- Analítico Mediante el producto de las tres variables independientes	Relación entre el espectro elástico e inelástico	1- Factor de resistencia por ductilidad. 2- Factor de sobre resistencia 3- Factor de redundancia.	Estructuras de concreto armado conformado por pórticos	1- Adimensional 2- Adimensional 3- Adimensional
Factor de resistencia por ductilidad	Independiente y cuantitativa	Cálculo de la ductilidad de estructuras en función a la demanda sísmica	1- De acuerdo al periodo, ductilidad y tipo de suelo de la edificación.	Deformaciones más allá del límite elástico	1- Relación de ductilidad 2- Carga máxima elástica. 3- Carga máxima inelástica. 4- Periodo de la estructura. 5- Demanda sísmica (mediante sismos sintéticos)	Estructuras de concreto armado conformado por pórticos	1- Adimensional 2- Tn (Tonelada) 3- Tn (Tonelada) 4- S (segundo) 5- m/s (aceleración)
Factor de	Independiente y	Cálculo de la sobre resistencia, mediante	De acuerdo a:	Relación entre el cortante ultimo	1- Relación de sobre resistencia	Estructuras de concreto	1- Adimensional. 2- Tn (Tonelada)

Título: “EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO”							
Variabl e	Tipo de variable	Operacionalización	Categorización	Definición	Indicador	Nivel de aplicación	Unidad
Sobre resistencia	cuantitativa	el análisis no lineal de estructuras de concreto armado conformado por pórticos.	1-Capacidad estructural. 2-Número de pisos 3- Demanda sísmica.	(obtenido de la curva pushover) y el cortante de diseño.	2- Cortante ultimo. 3- Cortante de diseño. 4- Desplazamiento lateral. 5- Deriva máxima.	armado conformado por pórticos.	3- Tn (Tonelada) 4- m (metros) 5- %
Factor de Redundancia	Independiente y cuantitativa	Cálculo de la sobre resistencia, mediante el análisis no lineal de estructuras de concreto armado conformado por pórticos	De acuerdo a: 1-Capacidad estructural. 2-Número de pisos 3- Demanda sísmica.	Relación entre el cortante ultimo y la cortante en el momento en que se forma la primera articulación plástica.	1- Relación de redundancia por resistencia 2- Índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas. 3- Índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas	Estructuras de concreto armado conformado por pórticos.	1- Adimensional. 2- Adimensional. 3- Adimensional.

3.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación según el manual para la presentación de planes e informes de investigación (Universidad Privada de Tacna, 2017), es “Correlacional”. consiste en medir el grado de asociación entre variables dependientes (Y1 y Y2). Ninguna de estas variables es fijada o manipulada por el investigador. Requiere hipótesis y aplicación de prueba estadística.

3.4. Nivel de investigación

El nivel a desarrollar en esta investigación según el manual para la presentación de planes e informes de investigación (Universidad Privada de Tacna, 2017), es “Integrativo”. De acuerdo a la naturaleza del estudio en este nivel de investigación se desarrollan objetivos que implican modificar, confirmar o evaluar diferentes variables.

3.5. Ámbito y tiempo social de la investigación.

3.5.1. Tiempo de la investigación:

El tiempo de esta investigación fue de 6 (seis) meses, que comprende los meses de marzo a junio del 2020.

Tabla 3. 2
Tiempo de investigación.

N°	Nombre de Actividades Principales	mes			
		1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}
1	Recopilación de información	x			
2	Estudios teóricos y definición de conceptos		x		
3	Trabajo analítico y aplicación de conceptos		x	x	
4	Trabajo investigativo	x	x	x	
5	Evaluación de resultados			x	x
7	Revisión, crítica y redacción final			x	x

3.6. Población y muestra:

3.6.1. Población de estudio

Para la presente investigación, la población de estudio se encuentra establecido por todas las edificaciones cuyo material predominante es de concreto armado conformado por pórticos que se encuentren ubicados en el territorio nacional y se encuentren sometidos a solicitaciones sísmicas según la norma E.030.

3.6.2. Muestra

El tipo de muestra que se utilizará en la presente investigación, corresponde a una muestra directa de las 28 (veintiocho) edificaciones cuyo sistema estructural pertenece a porticos¹¹ de concreto armado distribuidos entre 1 (uno) a 7 (siete) niveles. Haciendo una totalidad de 98 (noventa y ocho) pórticos a analizar.

3.7. Procedimiento, técnicas e instrumentos

El procedimiento a seguir para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación, se encuentra dividido en tres (tres) aspectos principales: (1) la determinación del factor de resistencia por ductilidad, (2) la obtención del factor de sobre resistencia y (3) el cálculo del factor de redundancia. Cabe mencionar que estos tres factores se encuentran en correlación con la operatividad de las variables independientes, como se ha establecido líneas arriba. Dicho procedimiento se desarrolla a continuación:

3.7.1. Factor de resistencia por ductilidad

A. Generación de movimientos sísmicos de entrada

¹¹ Según la NTP E.030 Por lo menos el 80% de la fuerza cortante en la base debe actuar sobre las columnas de los pórticos.

Como primer paso, se ha fijado generar sismos sintéticos compatibles con la norma E.030 en la zona con mayor peligro sísmico del Perú (Zona 4¹²). A su vez estos últimos han sido separados para los cuatro perfiles de suelo: (1) Roca dura, (2) Roca o suelos muy rígidos, (3) Suelos intermedios y (4) Suelos blandos. Dichos sismos sintéticos fueron generados utilizando el software denominado AcelSin¹³.



Figura 3. 1 Autoría del software AcelSin ©.
Fuente: Agudelo Zapata, J. Software AcelSin.

Por otro lado, la forma espectral elástica establecida por la NTP E.030 ha sido la base para la generación de los acelerogramas sintéticos mencionados líneas arriba, el mismo que es obtenido por medio del factor de amplificación sísmica “C” como se muestra a continuación.

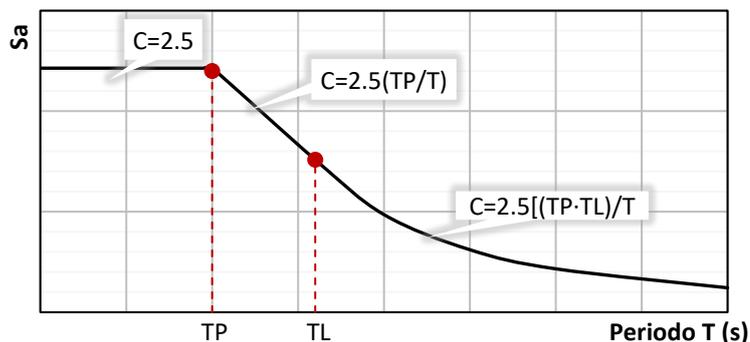


Figura 3. 2 Forma espectral de la norma E.030.
Fuente: Elaboración Propia.

¹² Según la Tabla N°1 de la NTP E.030, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

¹³ Se puede ubicar el software generador de acelerogramas sintéticos en: <http://estructurando.net/descargas/software/>

Dónde: S_a se obtiene según la siguiente ecuación.

$$S_a = ZUCSg \quad (3.1)$$

Además: (1) Z = Factor que depende de la localización en una determinada zona sísmica, (2) U = Factor que depende del uso o importancia, (3) C = Factor de amplificación sísmica, (4) S = Factor que depende del tipo de perfil del suelo y (5) g = Gravedad.

B. Determinación del espectro de resistencia

Una vez generado los acelerogramas sintéticos, continuamos con el procesamiento de información generando espectros de resistencia para cada perfil de terreno, realizando lo siguiente. (a) Determinación de la ductilidad objetivo ($\mu=1,2,3,4,5$ y 6), (b) realizar el análisis dinámico no lineal para un grado de libertad para un rango de periodo natural de 0.01 a 4.0 segundos.

Debido a la gran cantidad de registros, ductilidades y periodos de vibración ha sido necesario realizar un esfuerzo combinado con un software computacional de código libre denominado Nonlin32.

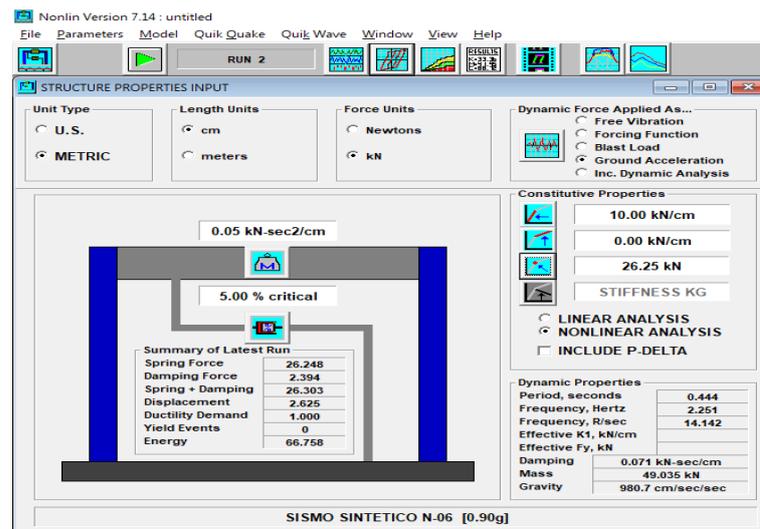


Figura 3.3 Interfaz del software Nonlin32.
Fuente: Advance Structural Concepts, Inc.

Este estudio se limitó a sistemas no lineales de un grado de libertad, teniendo las siguientes consideraciones: (1) ductilidad constante, (2) comportamiento histórico bilineal elasto plástico perfecto (con rigidez constante pos elástica) y (3) relación de amortiguamiento igual al 5%.

Para finalizar este análisis se ha calculado el espectro de factores de reducción de resistencia por ductilidad diferenciada. Esto se obtuvo dividiendo el espectro de resistencia elástico entre el factor de resistencia inelástico (obtenidos por software Nonlin32) para una relación de ductilidad especificada bajo la misma excitación del suelo, en consecuencia, R_{μ} ha sido calculado mediante la siguiente ecuación.

$$R_{\mu} = \frac{F_y(\mu = 1)}{F_y(\mu = \mu_t)} \quad (3.2)$$

3.7.2. Factor de sobre resistencia:

Se han utilizado dos metodologías para encontrar el factor de sobre resistencia R_Q : (1) Método del Espectro de Capacidad, (2) Método del propuesto por Aguiar, 2007¹⁴. Si una edificación se diseña con una deriva de entrepiso δ menor al límite establecido en la NTP E.030, se entiende que tendrá desplazamientos laterales bajos, debido a la rigidez de la estructura, además tendrá una cortante basal bajo por lo que se espera que factor de sobre resistencia R_Q sea alto.

Se han evaluado 28 (veintiocho) edificaciones cuyo sistema estructural pertenece a pórticos de concreto armado distribuidos entre 1 (uno) a 7 (siete) niveles. Haciendo una totalidad de 98 (noventa y ocho) pórticos a analizar. Bajo esta premisa se desarrolla el siguiente procedimiento:

Método N°01: Método del Espectro de Capacidad

¹⁴ Para desarrollar esta metodología, el autor ha realizado un análisis no lineal en 120 estructuras de concreto armado. De 1 a 10 pisos, conformado por vigas y columnas (pórticos), ante la acción de 32 acelerogramas de sismos registrados en Colombia, Ecuador, Perú, Argentina y Chile, con aceleraciones máximas del suelo mayores a 0.10 g.

- A. Se calcula la curva de capacidad que relaciona el desplazamiento lateral máximo del ultimo nivel con la fuerza cortante en la base, mediante análisis no lineal estático pushover. En la figura siguiente se presenta esta curva para una edificación de 2 niveles:

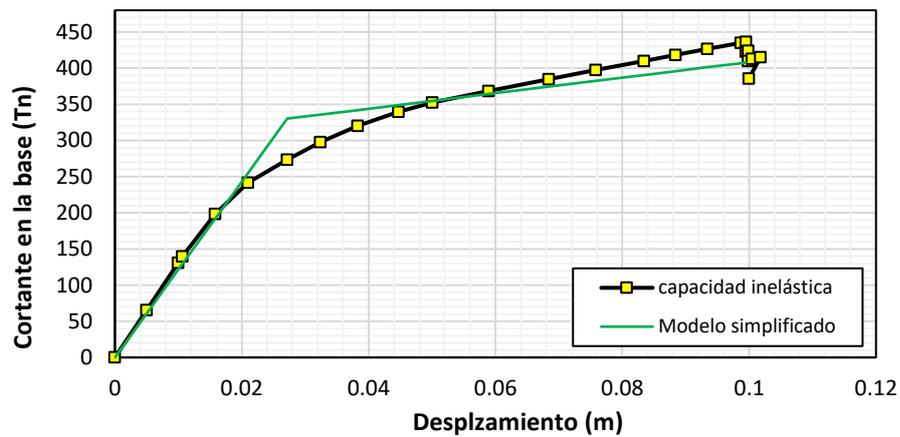


Figura 3.4 Curva de capacidad incluido el punto de desempeño.
Fuente: Elaboración Propia.

- B. Se transforma la curva de capacidad en espectro de capacidad para posteriormente determinar el punto de desempeño como lo establece el código Fema 440. Ver la siguiente figura.

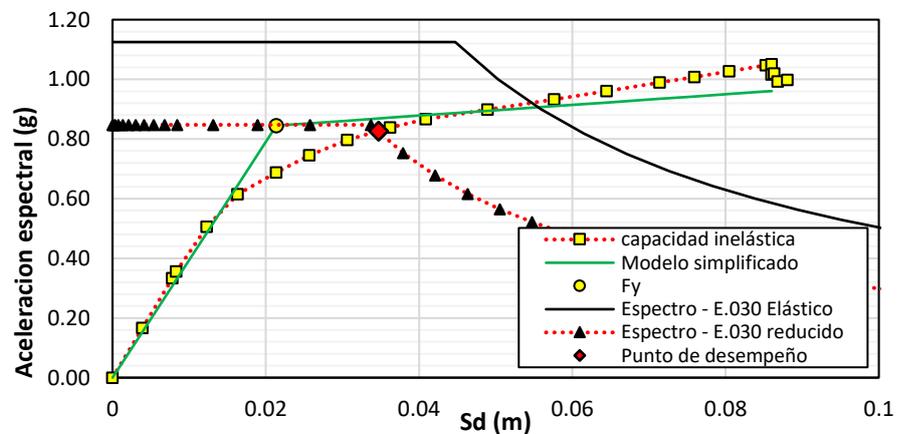


Figura 3.5 Espectro de capacidad y punto de desempeño.
Fuente: Elaboración Propia.

- C. Con la curva anterior y su transformada se puede hallar el valor R_{Ω} con la aplicación de la ecuación siguiente:

$$R_{\Omega} = \frac{V_U}{V_D} \quad (3.3)$$

Donde:

V_U = Cortante último (se obtiene de la curva Pushover)

V_D = Cortante de diseño (se obtiene con el paso “C”)

Método N°02: Método de la deriva máxima de entrepiso.

- A. Se calculó la curva de capacidad de al igual que el paso “A” del método anterior.
- B. A partir de la curva de capacidad (relación de desplazamiento vs cortante en la base), se encuentra la relación de deriva global vs cortante en la base. Para ello, la deriva global se calcula mediante la partición del desplazamiento de la capacidad sísmica resistente entre la altura total de la edificación. Como se muestra en la siguiente figura:

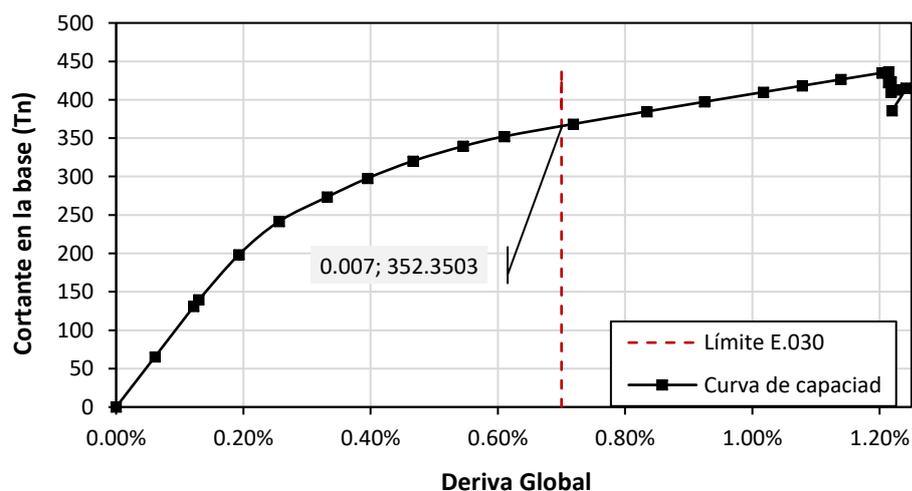


Figura 3.6 Límite de deriva máxima según la norma E.030.
Fuente: Elaboración Propia.

- C. A partir de la relación anterior se determina la curva de capacidad en el formato de deriva máxima de entrepiso vs cortante en la base. Para ello usamos la ecuación 3.4. De esta forma se encuentra el punto de desempeño.

$$\gamma = (\beta_2)\gamma_g \quad (3.4)$$

$$\beta_2 = -0.0231N^2 + 0.3018N + 0.6759$$

Donde “N” es el número de pisos.

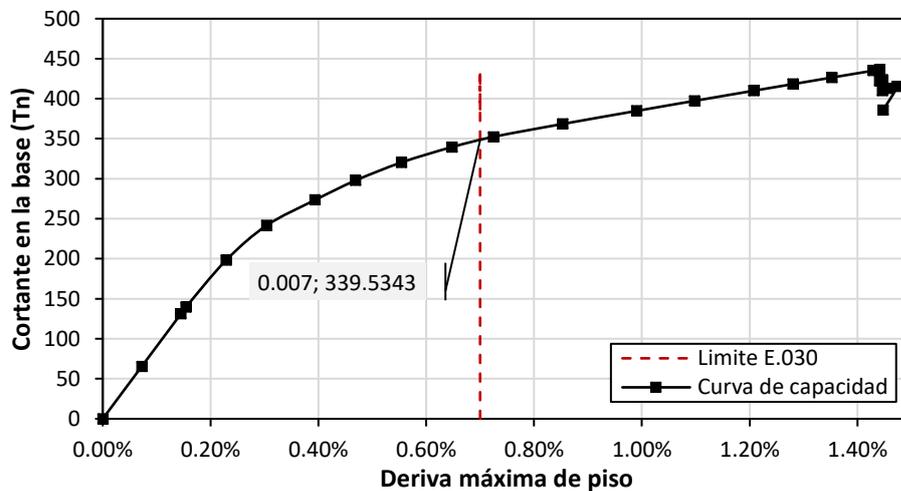


Figura 3. 7 Deriva máxima de piso vs cortante en la base.

Fuente: Elaboración Propia.

- D. Con la curva anterior se puede hallar el valor R_{Ω} con la aplicación de la ecuación del paso “C” del método anterior.

3.7.3. Factor de redundancia:

Se han utilizado la metodología propuesta por Tsopelas y Husain (2004), para determinar el factor de redundancia R_R . Este método consiste en obtener dos factores: (1) el índice de redundancia por resistencia r_{ζ} y (2) índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas r_{γ} que se incluyen en la siguiente ecuación:

$$R_R = r_S \left(\frac{1 - 0.12r_V}{0.88} \right) \quad (3.5)$$

- A. Se determina el índice de redundancia por resistencia, el mismo que se calcula con la relación de la resistencia última V_U con respecto a la resistencia de fluencia V_Y . Además, se empleó el criterio de áreas igual para la determinación del punto de fluencia. Luego utilizamos:

$$r_S = \frac{V_U}{V_Y} \quad (3.6)$$

- B. A continuación, se determina el índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas r_V , el mismo que se obtuvo con la curva de capacidad sísmica y se logró la determinación del factor de sobre resistencia. La ecuación a utilizada es la siguiente:

$$r_V = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\frac{1}{m-1} \right)} \quad (3.7)$$

Donde “m” es el número de pórticos que existen en la dirección de análisis y “n” es el número de rotulas plásticas que conforman en un pórtico

- C. Para finalizar se determina el factor de redundancia con la aplicación de la ecuación 3.5.

3.7.4. Análisis estático no lineal:

Se realizó un análisis “pushover” en 3D para 28 edificaciones de concreto armado. Los procedimientos utilizados se resumen en los siguientes pasos:

1. Realizar un modelo matemático en 3D de la estructura.

2. Se debe seleccionar un nodo representativo en el modelo de análisis para hacer su respectivo seguimiento. Al de denominaremos “nodo de control”

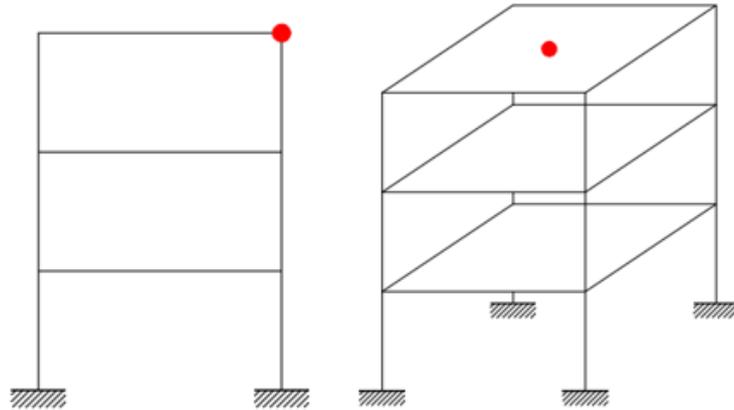


Figura 3. 8 Modelo representativo del nodo de control.

Fuente: Elaboración Propia.

3. Definición de las cargas laterales. Deben ser aplicados en función a la distribución vertical de cargas proporcional a los valores de C_{vx} .

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3. 8)$$

Donde:

C_{vx} = Factor de distribución vertical de carga.

k = 1.0, para T menor o igual a 0.5 segundos. Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75+0.5T) < 2.0$.

W_x = Porción del peso total de la estructura en el nivel x .

h_x = Altura, desde la base hasta el nivel x .

W_i = Porción del peso total de la estructura en el nivel i .

h_i = Altura, desde la base hasta el nivel i .

4. Realizar el pushover clásico aplicando las cargas, en la dirección de análisis. En donde se mide el cortante en la base vs el desplazamiento en el techo en el punto de control.

5. Determinar la curva idealizada fuerza-desplazamiento. La curva que representa la relación no lineal de fuerza-deformación entre la cortante en la base y el desplazamiento en el nodo de control, se debe reemplazar con una curva idealizada para estimar el cálculo de la rigidez efectiva K_e y la resistencia cedente efectiva V_y de la estructura.

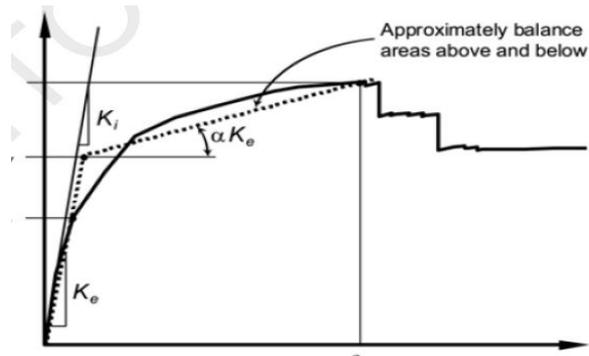


Figura 3. 9 Aproximación del modelo bilineal con una pendiente positiva en la pos fluencia.

Fuente: Hernández Eliud y Villamizar Laura. Diseño por desempeño sísmico de edificaciones.

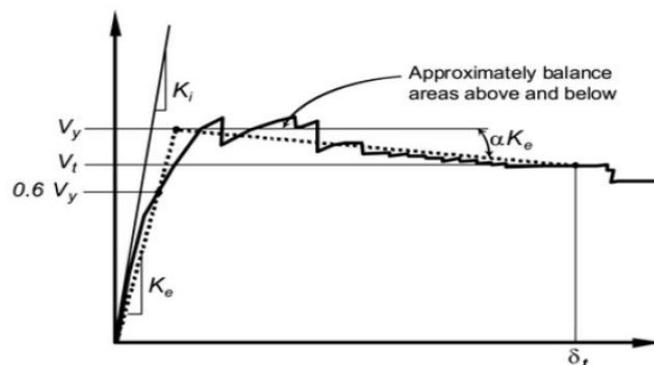


Figura 3. 10 Aproximación del modelo bilineal con una pendiente negativa en la pos fluencia.

Fuente: Hernández Eliud y Villamizar Laura. Diseño por desempeño sísmico de edificaciones (pág. 62).

6. Transformar la curva de capacidad a la curva en función del espectro de capacidad
7. Calcular el desplazamiento objetivo en ambas curvas de capacidad (fuerza y/o S_a)
8. Repetir los pasos del 1 al 7 para cada análisis pushover.

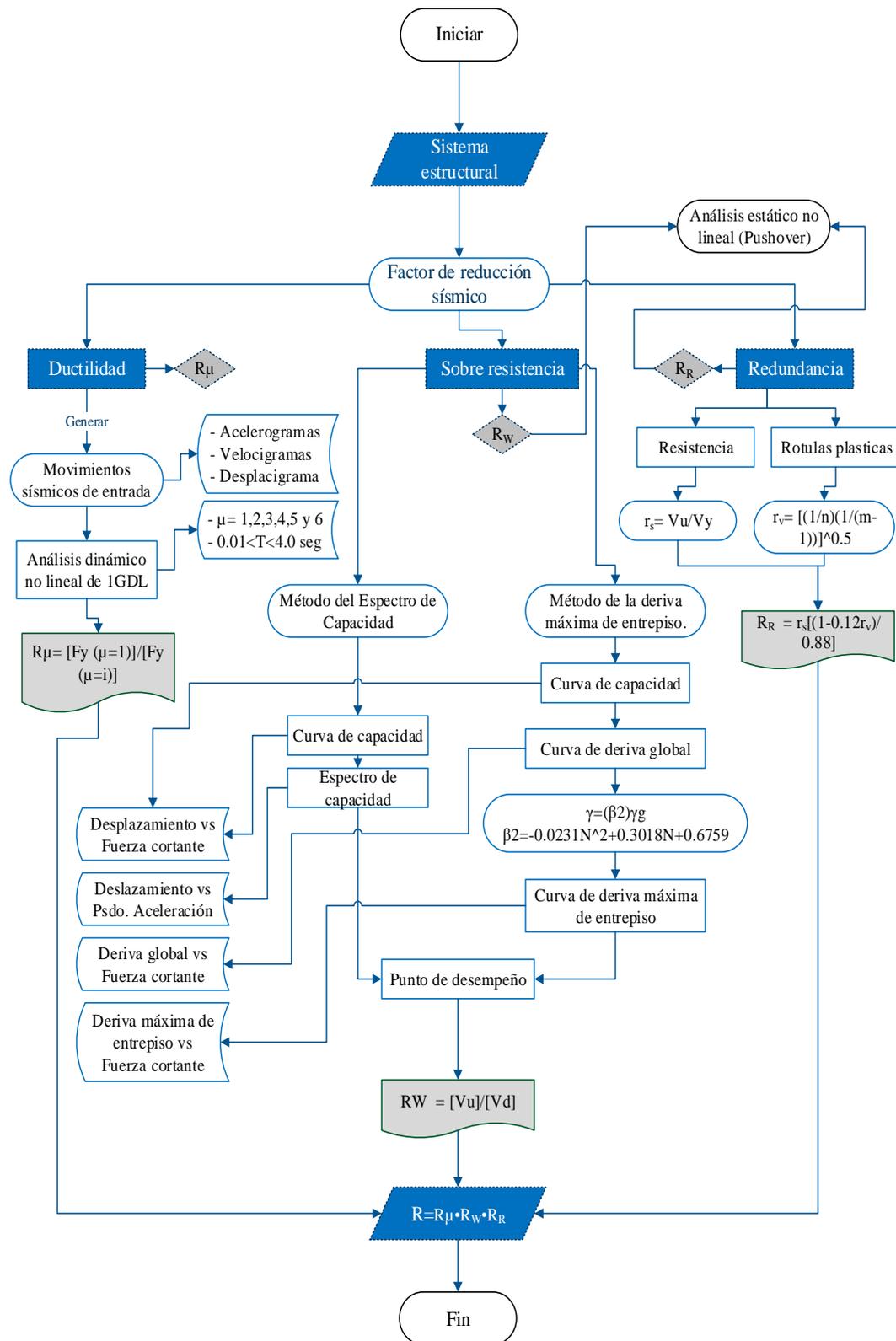


Figura 3. 11 Flujograma del procedimiento.
Fuente: Elaboración Propia.

3.8. Técnicas de recolección de datos

Con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos las principales técnicas para la recolección de datos fueron:

- Investigación bibliográfica.
- Recolección de datos (según los instrumentos de procesamiento de datos)
- Generación de información mediante softwares de cómputo.

3.8.1. Instrumentos de procesamiento de datos

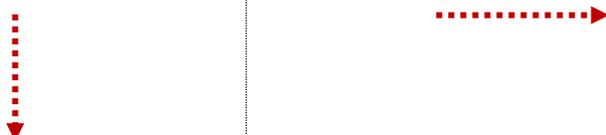
En esta investigación los instrumentos usados corresponden al registro de información mediante tablas de contenido.

Instrumento N°01

Tabla 3.3

Procesamiento de datos para la obtención de ductilidad objetivo.

N° pisos	a		
	Δu (m)	Δy (m)	μ
B	c	d	e



La Tabla 3.3 es un formato para el procesamiento de datos para representar los resultados de la ductilidad objetivo, mediante una distribución ordenada entre el número de pisos y los ejes principales de los pórticos laterales de interés. Para la obtención de estos parámetros ha sido necesario el desarrollo del análisis no lineal (método Pushover).

Donde:

- Representa el modelo y el eje de análisis.

- b. Número de pisos (de 01 a 07 niveles)
- c. Desplazamiento lateral último.
- d. Desplazamiento lateral con la formación de la primera rotula plástica.
- e. Ductilidad (c / d)

Instrumento N°02

Tabla 3. 4

Procesamiento de datos para la obtención del factor de resistencia por ductilidad, según el tipo de suelo.

N° pisos	μ (Promedio)	T (s)	$R\mu$			
			S0	S1	S2	S3
a	b	c	d	e	f	g
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

La Tabla 3.4 es un formato para el procesamiento de datos para representar en función al número de pisos lo siguiente: 1) ductilidad promedio, 2) periodo estructural y 3) factor de resistencia por ductilidad (según el tipo de suelo de la E.030). Esta disgregación es realizada para poder usarlo posteriormente en el cálculo del factor de reducción sísmico.

Donde:

- a. Número de pisos (de 01 a 07 niveles).
- b. Ductilidad promedio (tabla anterior)
- c. Periodo estructural (s)
- d. e, f y g Factor de resistencia por ductilidad en función al tipo de suelo según la norma técnica peruana E.030 (según la ecuación 4.1)

Instrumento N°03

Tabla 3. 5

Procesamiento de datos para la obtención del factor de sobre resistencia.

N° pisos	a		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ
b	c	d	e

La Tabla 3.5 es un formato para el procesamiento de datos para representar los resultados del factor de redundancia mediante una distribución ordenada entre el número de pisos, la fuerza cortante última (Vu) y la fuerza cortante en el punto de desempeño de los pórticos laterales de interés. Para la obtención de estos parámetros ha sido necesario: 1) la elaboración de la curva Pushover, 2) determinación de la curva de capacidad, 3) obtener el espectro de capacidad y 4) derivas máximas de entrepiso.

Donde:

- Representa el modelo y el eje de análisis.
- Número de pisos (de 01 a 07 niveles)
- Fuerza cortante último.
- Fuerza cortante con la formación de la primera rotula plástica.
- Factor de redundancia (c / d)

Instrumento N°04

Tabla 3. 6

Procesamiento de datos para la obtención del factor de redundancia.

Modelo en planta	Niveles	Pórtico	r_s	n	m	r_v	R_R
a	b	c	d	e	f	g	h

La tabla 3.6 es un formato para el procesamiento de datos y representa el resumen de los indicadores de relación de redundancia por resistencia e índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas según la metodología propuesta por Tsopelas y Husain (2004).

Donde:

- a. Representa el modelo en planta.
- b. Número de pisos (de 01 a 07 niveles)
- c. Eje de análisis.
- d. Índice de redundancia por resistencia. (ecuación 2.23)
- e. Numero de rotulas plásticas que se forman en el eje de análisis.
- f. Numero de pórticos que se extienden en la dirección de análisis.
- g. Índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas. (ecuación 2.24)
- h. Factor de redundancia (ecuación 2.22)

Instrumento N°05

Tabla 3. 7

Procesamiento de datos para la obtención del factor de reducción sísmico.

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
a	b	c	d	e	f	g	h
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

La tabla 3.7 es un formato para el procesamiento de datos y representa el resumen de las variables independientes que componen el factor de reducción sísmico.

Donde:

- a. Representa el pórtico a analizar.

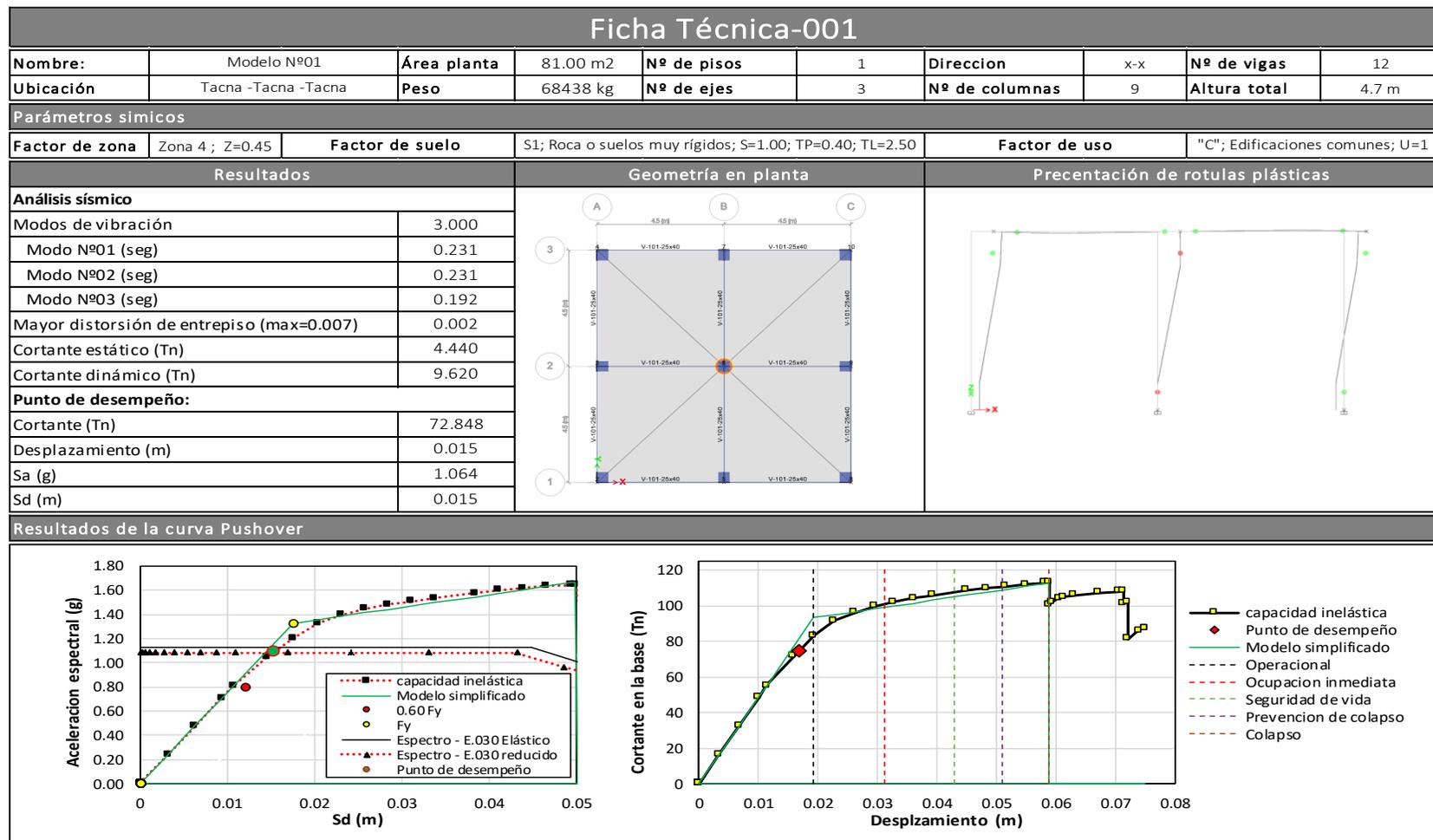
- b. Representa el modelo en planta.
- c. Número de pisos (de 01 a 07 niveles)
- d. Eje de análisis.
- e. Factor de resistencia por ductilidad (de la tabla 3.4).
- f. Factor de sobre resistencia (de la tabla 3.5).
- g. Factor de redundancia (de la tabla 3.6).
- h. Factor de reducción sísmico ($e \cdot f \cdot g$)

Instrumento N°06 (Fichas técnicas)

Dicho instrumento permite recoger información relevante para la determinación de las variables dependientes e independientes.

Contenido de la ficha técnica:

- a. Distribución geométrica en planta y en altura.
- b. Parámetros sísmicos según la norma técnica peruana E.030.
- c. Análisis sísmico
 - Modos de vibración
 - Mayor distorsión de entrepiso
 - Fuerza cortante estático.
 - Fuerza cortante dinámico.
- d. Determinación del punto de desempeño
 - Fuerza cortante vs Desplazamiento lateral.
 - Pseudo aceleración vs Pseudo desplazamiento.
- e. Diagrama de la geometría en planta
- f. Diagrama de la presentación de rotulas plásticas.
- g. Diagrama de la curva de capacidad.
- h. Diagrama del espectro de capacidad.



*Figura 3. 12 Instrumento N°06 (fichas técnicas) para el procesamiento de datos.
Fuente: Elaboración propia*

3.9. Análisis de datos

Para el procesamiento de datos se hará uso de técnicas y medidas de la comparación entre análisis convencionales, entre ellos:

- Representaciones gráficas de las aceleraciones sintéticas del terreno.
- Representaciones gráficas de la curva y espectro de capacidad para estructuras de concreto armado.
- Representaciones gráficas de los espectros elásticos.
- Representaciones gráficas de los espectros inelásticos.

Con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos se utilizarán los siguientes softwares: (a) Etabs, (b) Excel y (c) Mathcad y como herramientas para el análisis de datos.

Capítulo IV:

Resultados

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo consiste en cuantificar los componentes del factor de reducción sísmico, (a) Factor de resistencia por ductilidad, (b) Factor de sobre resistencia y (c) Factor de redundancia.

Para la determinación del factor de resistencia por ductilidad, se han generado sesenta (60) acelerogramas artificiales, los mismos que son una aproximación en la forma espectral elástico que ha sido representado en el código de diseño E.030 para los cuatro (04) perfiles de suelo (S_0 , S_1 , S_2 y S_3). Posteriormente se realiza la determinación del factor de resistencia por ductilidad con la metodología sugerida en el apartado 3.7.1.

Para la determinación del factor de sobre resistencia y el factor de redundancia, ha sido necesario realizar un análisis sísmico de 28 edificaciones de concreto armando los mismos que han sido distribuidos en 98 pórticos laterales, utilizando como solicitud el espectro inelástico de la norma E.030 y con un modelo de suelo S_1 denominado “Roca o suelos muy rígidos”. Sumado a lo anterior se ha realizado un análisis tradicional no lineal estático (método pushover), el cual ha permitido obtener paso a paso las fallas estructurales de los elementos estructurales, así como la determinación de puntos notables como: (a) cortante basal de fluencia, (b) cortante basal último y (c) punto de desempeño. Teniendo como parámetros de control el punto de demanda en función de la curva de capacidad y espectro de capacidad.

Finalmente se obtiene resultados del factor de reducción sísmico en función de los siguientes parámetros objetivos (1) el tipo de terreno y (2) el número de pisos.

4.2. Diseño de la presentación de resultados

Al igual que en el apartado anterior, el diseño en la presentación de resultados consiste en determinar los siguientes parámetros: (a) Factor de resistencia por ductilidad, (b) Factor de sobre resistencia, (c) Factor de redundancia y finalmente (d) factor de reducción sísmico.

4.2.1. Factor de resistencia por ductilidad R_{μ}

4.2.1.1. Movimientos sísmicos sintéticos de entrada

Se han compilado un total de sesenta (60) acelerogramas sintéticos compatibles con la forma espectral de la norma E.030 en la zona con mayor peligro sísmico del Perú (Zona 4¹⁵), al mismo que le corresponde un PGA de 0.45g.

A su vez estos últimos han sido separados para los cuatro perfiles de suelo: (1) Roca dura, (2) Roca o suelos muy rígidos, (3) Suelos intermedios y (4) Suelos blandos; teniendo la discretización de 15 (quince) sismos sintéticos para cada perfil de suelo. Como consecuencia de lo anterior, se ha permitido iniciar el estudio diferenciado de la demanda sísmica en el Perú por cada tipo de suelo. Además, es importante mencionar que los espectros de respuesta artificiales se construyeron utilizando el software de cómputo denominado AcelSin©¹⁶ como se especifica en el procedimiento del capítulo 3.

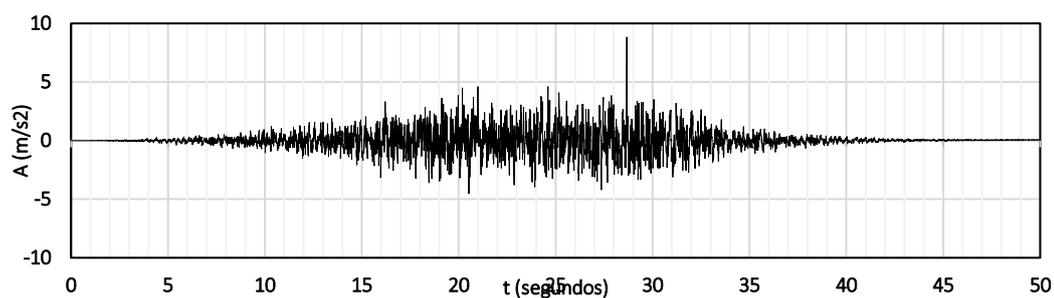


Figura 4. 1 Acelerograma sintético en “Roca dura”¹⁷.

Fuente: Elaboración Propia.

¹⁵ Según la Tabla N°1 de la NTP E.030, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

¹⁶ Se puede ubicar el software generador de acelerogramas sintéticos en: <http://estructurando.net/descargas/software/>

¹⁷ Correspondiente al sismo sintético N°12, con una función de intensidad tipo trapezoidal-exponencial, para edificaciones comunes en roca dura ($S=0.8$, $T_p=0.3$ y $T_I=3.0$). La señal sísmica posee las siguientes características: a) $PGA=882.9$ cm/s²; $PGV=43.351$ cm/s y $PGD=109.41$ cm

La figura anterior muestra uno de los (60) sesenta sismos sintéticos de entrada, el cual ha sido generado con las características y recursos ya mencionados.

En complemento a lo anterior la descripción numérica de las características en los sismos de entrada generados artificialmente son proporcionados en: la Tabla 4. 1, Tabla 4. 2, Tabla 4. 3 y Tabla 4. 4. Donde se muestra, el error medio obtenido, los valores máximos de aceleración del suelo, velocidad y desplazamiento respectivamente además de la duración significativa del evento sísmico. Con este procedimiento no ha sido necesario escalar los parámetros en términos de la amplitud, pues los valores coinciden con los espectros de diseño elástico.

Tabla 4. 1

Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S_0 (Roca dura).

Nombre	Error medio obtenido (%)	P.G.A. (cm/s ²)	P.G.V. (cm/s)	P.G.D. (cm)	Duración Significativa (s)
Roca Dura N°1	8.97	882.90	27.20	12.88	6.43
Roca Dura N°2	7.78	882.90	32.90	26.21	6.58
Roca Dura N°3	9.32	882.90	28.44	70.93	11.95
Roca Dura N°4	8.41	882.90	56.88	769.12	41.13
Roca Dura N°5	11.87	882.90	33.36	13.26	5.69
Roca Dura N°6	5.26	882.90	39.89	60.57	7.78
Roca Dura N°7	9.87	882.90	26.22	28.09	6.54
Roca Dura N°8	4.35	882.90	26.84	69.51	24.18
Roca Dura N°9	4.75	882.90	28.18	66.73	17.07
Roca Dura N°10	5.41	882.90	41.94	122.55	3.84
Roca Dura N°11	4.99	882.90	26.73	91.20	26.68
Roca Dura N°12	4.86	882.90	43.35	109.41	17.71
Roca Dura N°13	3.85	882.90	31.74	111.75	16.13
Roca Dura N°14	4.54	882.90	23.23	50.29	13.44
Roca Dura N°15	4.35	882.90	32.14	105.59	14.86

Según la Tabla 4. 1 se determina los sismos de entrada (sismos sintéticos) para el tipo de suelo “Roca” con los siguientes promedios: (1) el error medio de 6.57%, (2) un P.G.A. de 882.90 cm/s², (3) P.G.V. igual a 33.27 cm/s, (4) P.G.D. propio de 113.87cm y d) una duración significativa de 14.67 segundos.

Sumado a lo anterior las curvas representantes en la Figura 4. 2, Figura 4. 3, Figura 4. 4 y Figura 4. 5 son los espectros de respuesta elástica lineal individual de la norma E.030 para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, en comparativa con el sismo sintético denominado “Roca Dura N°10”, “Roca o suelos muy rígidos N°26”, “Suelos intermedios N°39” y “Suelos blandos N°53” respectivamente para cada perfil de suelo

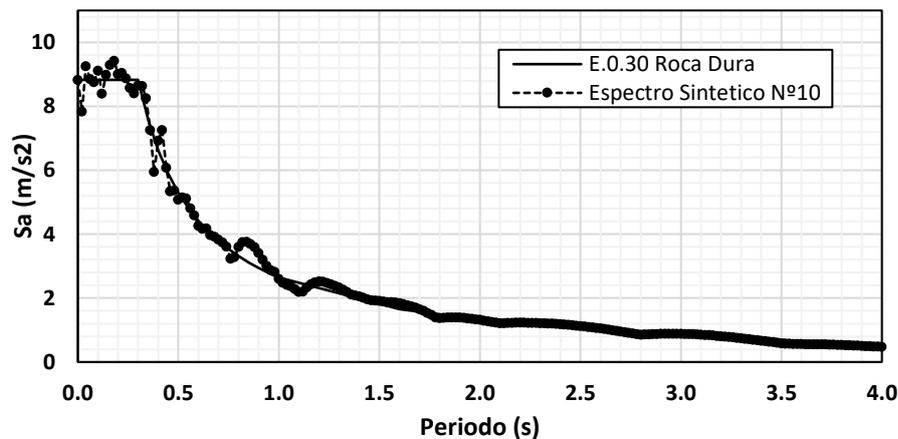


Figura 4. 2 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Roca Dura N°10” para perfil tipo S_0 (Roca dura).

Fuente: Elaboración Propia.

Para la evaluación de la demanda sísmica (sismos sintéticos) en el perfil de suelo denominado: “Roca o suelos muy rígidos” para los 15 sismos sintéticos, se ha generado un error medio de 6.44% además de los siguientes parámetros: (1) P.G.A. igual 1103.63 cm/s^2 , (2) P.G.V. correspondiente a 47.22 cm/s , (3) P.G.D. propio de 150.73 cm y (4) una duración promedio significativa de 15.45 segundos.

Tabla 4. 2

Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S_1 (Roca o suelos muy rígidos).

Nombre	Error medio obtenido (%)	P.G.A. (cm/s^2)	P.G.V. (cm/s)	P.G.D. (cm)	Duración Significativa (s)
Roca o suelos muy rígidos N°16	5.75	1103.63	42.91	26.86	6.38
Roca o suelos muy rígidos N°17	9.18	1103.63	58.11	44.01	5.98
Roca o suelos muy rígidos N°18	9.88	1103.63	50.25	56.77	17.57

Nombre	Error medio obtenido (%)	P.G.A. (cm/s ²)	P.G.V. (cm/s)	P.G.D. (cm)	Duración Significativa (s)
Roca o suelos muy rígidos N°19	9.27	1103.63	50.17	870.29	38.21
Roca o suelos muy rígidos N°20	9.44	1103.63	37.50	20.20	6.16
Roca o suelos muy rígidos N°21	5.26	1103.63	41.00	19.16	8.30
Roca o suelos muy rígidos N°22	9.50	1103.63	46.91	32.45	7.05
Roca o suelos muy rígidos N°23	4.44	1103.63	38.62	114.57	22.85
Roca o suelos muy rígidos N°24	5.30	1103.63	42.62	106.55	17.30
Roca o suelos muy rígidos N°25	4.85	1103.63	67.70	252.41	6.36
Roca o suelos muy rígidos N°26	4.99	1103.63	50.27	106.30	28.30
Roca o suelos muy rígidos N°27	5.00	1103.63	48.02	139.21	17.88
Roca o suelos muy rígidos N°28	4.48	1103.63	41.44	153.23	18.38
Roca o suelos muy rígidos N°29	4.49	1103.63	47.01	81.41	13.41
Roca o suelos muy rígidos N°30	4.83	1103.63	45.86	237.47	17.60

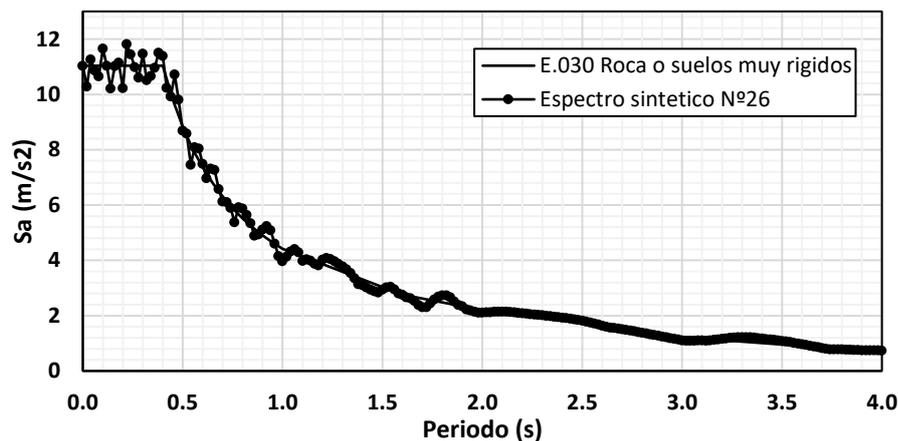


Figura 4. 3 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Roca o suelos muy rígidos N°26” para perfil tipo S_1 (Roca o suelos muy rígidos).

Fuente: Elaboración Propia.

Para los “Suelos intermedios”, se establece: (1) un error promedio de 6.70% (2) un PGA promedio de 1158.81 cm/s², (3) un PGV promedio de 65.65 cm/s, (4) un PGD promedio de 185.35 cm y (5) una duración promedio significativa de 15.36 segundos.

Tabla 4. 3

Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S_2 (Suelos intermedios).

Nombre	Error medio obtenido (%)	P.G.A. (cm/s ²)	P.G.V. (cm/s)	P.G.D. (cm)	Duración Significativa (s)
Suelos intermedios N°31	9.50	1158.81	54.01	37.89	8.50
Suelos intermedios N°32	7.56	1158.81	45.96	44.47	6.14
Suelos intermedios N°33	9.49	1158.81	64.83	112.54	17.23
Suelos intermedios N°34	6.84	1158.81	103.56	1082.34	39.05
Suelos intermedios N°35	9.25	1158.81	55.11	16.98	5.97
Suelos intermedios N°36	9.84	1158.81	61.72	35.27	6.96
Suelos intermedios N°37	8.44	1158.81	51.90	38.27	5.93
Suelos intermedios N°38	3.73	1158.81	68.01	180.99	22.93
Suelos intermedios N°39	4.53	1158.81	66.88	145.83	17.56
Suelos intermedios N°40	5.76	1158.81	87.85	262.84	7.11
Suelos intermedios N°41	4.60	1158.81	70.41	138.63	28.79
Suelos intermedios N°42	4.91	1158.81	55.27	83.61	17.84
Suelos intermedios N°43	6.39	1158.81	63.01	251.00	15.61
Suelos intermedios N°44	4.81	1158.81	62.01	82.53	12.67
Suelos intermedios N°45	4.84	1158.81	74.22	267.04	18.17

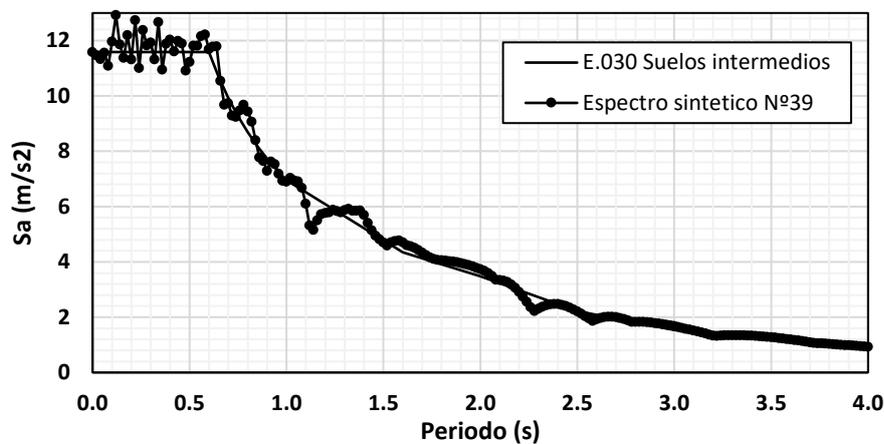


Figura 4. 4 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Roca Dura N°39” para perfil tipo S_2 (Suelos intermedios).

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, para Suelos blandos, se establece: (1) un error promedio de 6.26% (2) un PGA promedio de 1213.99 cm/s², (3) un PGV promedio de 83.61 cm/s, (4) un PGD promedio de 164.31 cm y (5) una duración promedio significativa de 15.70 segundos.

Tabla 4. 4

Lista de los registros sísmicos artificiales para perfil de suelo tipo S_3 (Suelos blandos).

Nombre	Error medio obtenido (%)	P.G.A. (cm/s ²)	P.G.V. (cm/s)	P.G.D. (cm)	Duración Significativa (s)
Suelos blandos N°46	7.59	1213.99	94.40	33.10	6.77
Suelos blandos N°47	8.16	1213.99	74.78	26.45	5.79
Suelos blandos N°48	6.56	1213.99	102.94	202.51	17.71
Suelos blandos N°49	7.82	1213.99	99.80	844.97	38.70
Suelos blandos N°50	8.44	1213.99	74.23	37.81	6.40
Suelos blandos N°51	8.88	1213.99	74.82	36.68	6.60
Suelos blandos N°52	9.12	1213.99	71.05	36.09	6.58
Suelos blandos N°53	4.54	1213.99	78.40	107.13	23.50
Suelos blandos N°54	4.87	1213.99	78.52	147.08	17.56
Suelos blandos N°55	4.72	1213.99	90.99	133.88	6.04
Suelos blandos N°56	4.73	1213.99	88.39	298.57	29.26
Suelos blandos N°57	4.27	1213.99	92.47	158.22	18.57
Suelos blandos N°58	4.89	1213.99	80.98	195.19	19.93
Suelos blandos N°59	4.56	1213.99	79.86	88.44	12.30
Suelos blandos N°60	4.68	1213.99	72.46	118.58	19.78

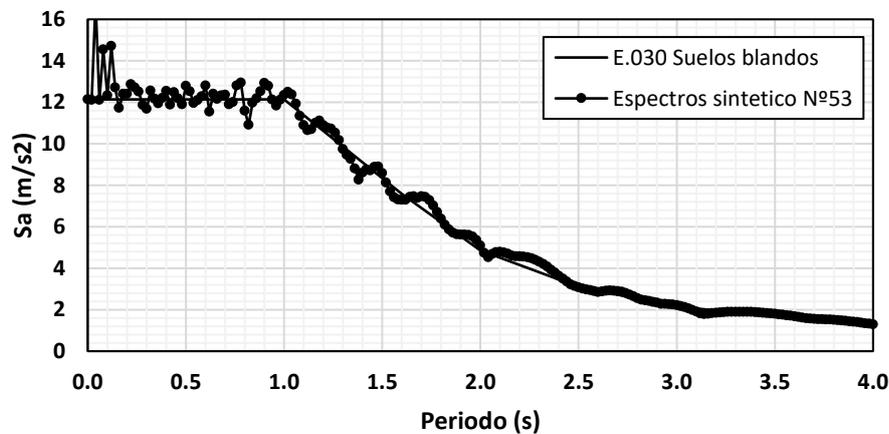


Figura 4. 5 Comparación de los espectros de aceleración de la norma E.030 y el sismo sintético “Suelos blandos N°53” para perfil tipo S_3 (Suelos blandos).

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.2. Espectro de resistencia

Para la obtención de los espectros de resistencia se han seleccionado seis (6) ductilidades objetivo para esta investigación ($\mu= 1,2,3,4,5$ y 6). Asimismo, para cada acelerograma sintético se calculó un conjunto de 60 periodos de análisis en un

rango de 0.01 a 4.0 segundos. Debido a la gran cantidad de registros, ductilidades y periodos de vibración ha sido necesario realizar un esfuerzo combinado con un software computacional de código libre denominado Nonlin32.

Como se muestra en la Figura 4. 6 los espectros inelásticos de resistencia tienen, por definición, ordenadas espectrales menores a los espectros elásticos (de ductilidad igual a uno).

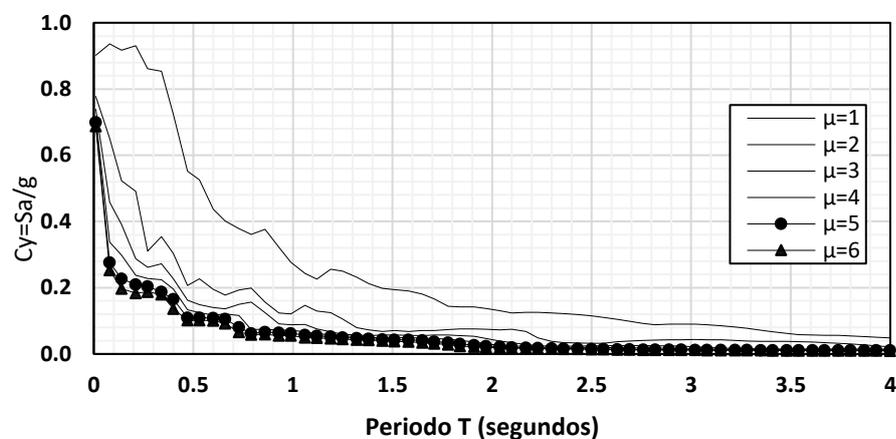


Figura 4. 6 Espectro elástico e inelásticos de resistencia¹⁸ con ductilidad constante.

Fuente: Elaboración Propia.

Como resultado de lo anterior se determinó una correlación grafica que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico en función de las ductilidades constantes. La Figura 4. 7 muestra un ejemplo de espectro de factores de reducción por ductilidad, para el registro sintético individual denominado “Roca dura N°11”.

¹⁸ Correspondiente al sismo sintético N°11, con una función de intensidad tipo exponencial, para edificaciones comunes en roca dura ($S=0.8$, $T_p=0.3$ y $T_I=3.0$). La señal sísmica posee las siguientes características: a) $PGA=882.9$ cm/s²; $PGV=41.941$ cm/s y $PGD=122.547$ cm

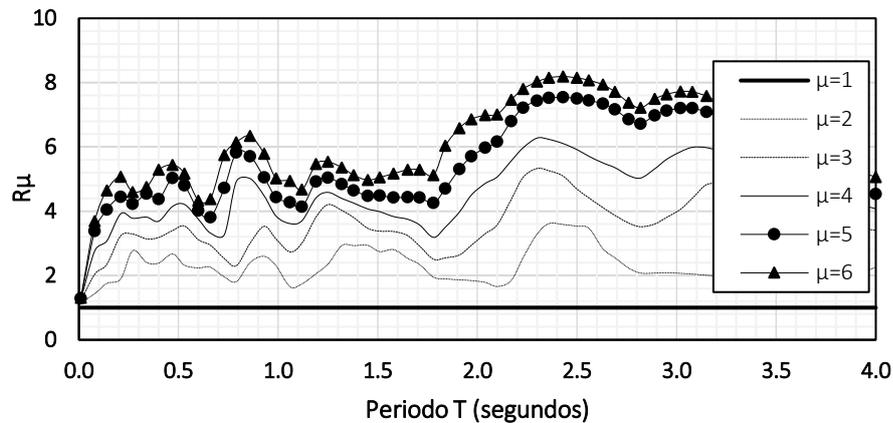


Figura 4. 7 Espectros de factores de reducción de resistencia por ductilidad.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4. 7 además, muestra claramente la influencia de la ductilidad y de las características del movimiento sísmico (es decir la intensidad y propagación de la frecuencia) en variación del periodo y el R_{μ} . Asimismo, se puede determinar que para un solo movimiento sísmico el factor R_{μ} varía de manera singular. Aunque no se observa una tendencia regular del espectro de resistencia (periodo vs R_{μ}) para registros individuales, las curvas se estabilizan incrementando los escenarios. Razón por el cual se analizó el promedio de quince (15) sismos sintéticos ya mencionados con anterioridad y se aprecian en la siguiente figura:

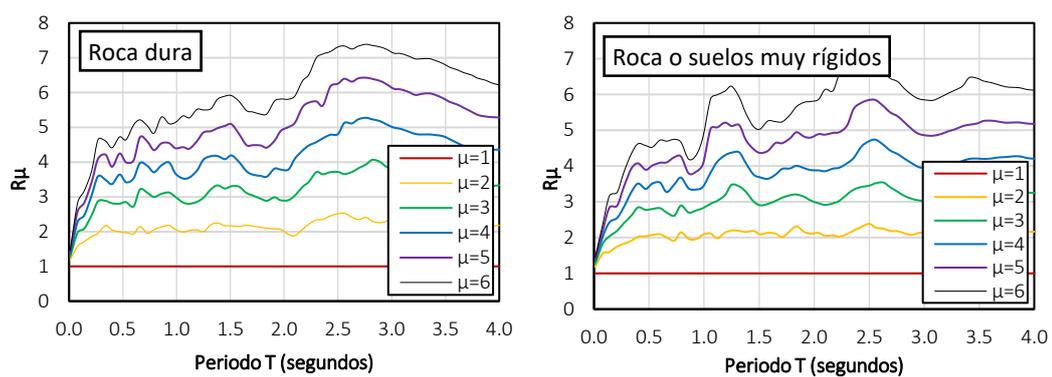


Figura 4. 8 Promedio de los factores de reducción de resistencia para suelos de roca dura y roca o suelos muy rígidos.
Fuente: Elaboración Propia.

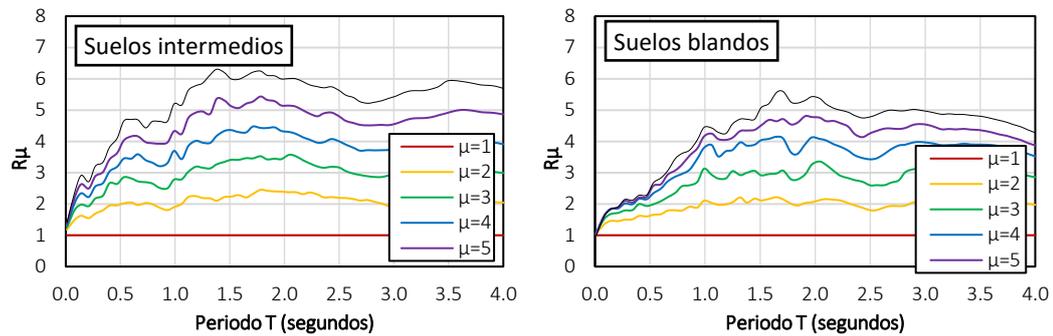


Figura 4. 9 Promedio de los factores de reducción de resistencia para suelos intermedios y suelos blandos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.3. Resultados estadísticos

Los resultados estadísticos de la relación existente entre la resistencia lateral y la demanda de ductilidad se muestran en la Figura 4. 10, Figura 4. 11, Figura 4. 12 y Figura 4. 13 diferenciados para cada categoría de suelo. Dichas imágenes muestran que: (1) la demanda de ductilidad crece aproximadamente en forma lineal, (2) la dispersión y desviación estándar aumentan en función a los incrementos de ductilidad, (3) la distribución de probabilidad R_{μ} es simétrica y (4) la desviación estándar crece en función al incremento de periodo y ductilidad como se muestra en la Tabla 4. 5, Tabla 4. 6, Tabla 4. 7 y Tabla 4. 8.

Tabla 4. 5

Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S_0 (Roca dura).

	T=0.10 s	T=0.50 s	T=1.0 s	T=1.5 s	T=2.0 s	T=2.5 s	T=3.0 s	T=3.5 s	T=4.0 s
$\mu=1$	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\mu=2$	0.34	0.32	0.37	0.45	0.36	0.66	0.75	0.49	0.48
$\mu=3$	0.39	0.59	0.78	1.21	0.70	1.21	1.19	0.81	0.96
$\mu=4$	0.45	0.78	0.91	1.54	1.10	1.67	1.51	1.60	1.20
$\mu=5$	0.55	0.90	1.00	2.04	1.57	2.05	2.00	2.06	1.65
$\mu=6$	0.61	1.02	1.26	2.28	2.01	2.37	2.42	2.36	1.92

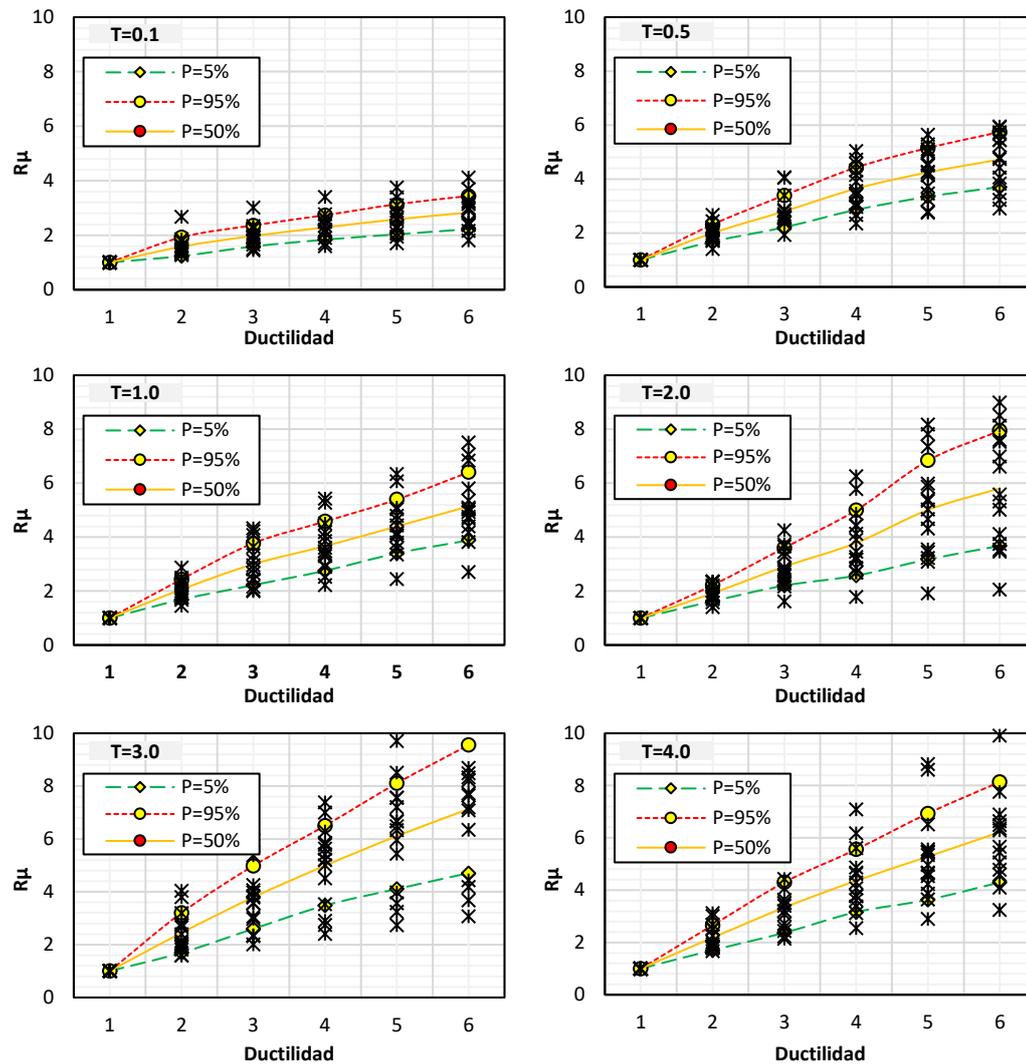


Figura 4. 10. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S_0 (Roca dura).
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4. 6

Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S_1 (Roca o suelos muy rígidos).

	T=0.10 s	T=0.50 s	T=1.0 s	T=1.5 s	T=2.0 s	T=2.5 s	T=3.0 s	T=3.5 s	T=4.0 s
$\mu=1$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\mu=2$	0.21	0.27	0.49	0.39	0.44	0.46	0.39	0.41	0.32
$\mu=3$	0.27	0.56	0.71	0.56	0.83	1.11	0.47	0.54	1.09
$\mu=4$	0.30	0.74	1.08	0.74	1.18	1.68	0.67	0.92	1.25
$\mu=5$	0.33	0.80	1.55	0.78	2.51	2.05	1.07	1.16	1.55
$\mu=6$	0.35	1.22	1.74	0.82	2.87	2.50	1.75	1.94	1.94

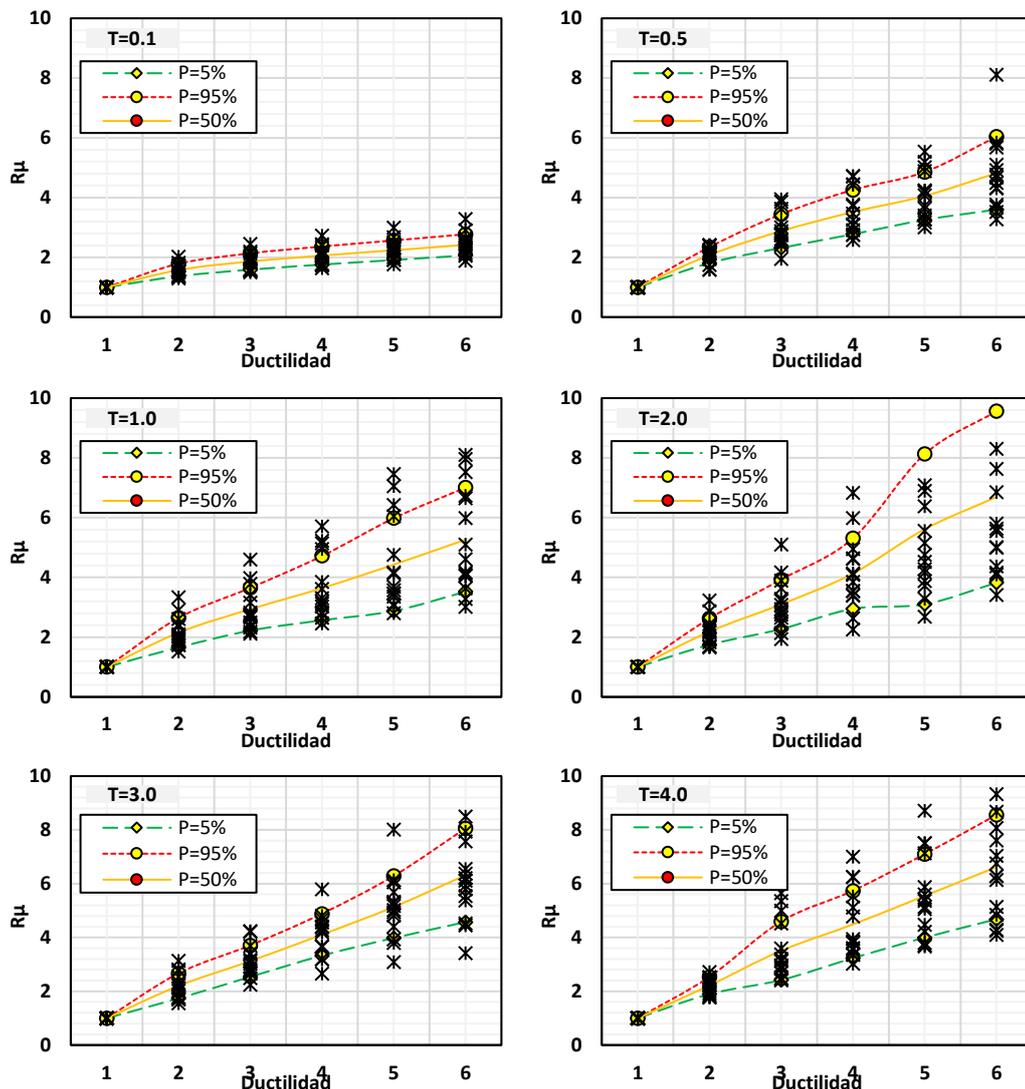


Figura 4. 11. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S_1 (Roca o suelos muy rígidos).
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4. 7

Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S_2 (Suelos intermedios).

	T=0.10 s	T=0.50 s	T=1.0 s	T=1.5 s	T=2.0 s	T=2.5 s	T=3.0 s	T=3.5 s	T=4.0 s
$\mu=1$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\mu=2$	0.18	0.31	0.32	0.39	0.64	0.39	0.37	0.45	0.36
$\mu=3$	0.29	0.61	0.68	0.70	0.82	0.66	0.92	0.72	0.69
$\mu=4$	0.35	0.78	0.86	0.84	0.89	0.90	1.24	1.03	1.05
$\mu=5$	0.35	0.72	1.00	1.08	1.08	1.39	1.64	1.51	1.69
$\mu=6$	0.39	0.81	1.38	1.33	1.43	2.03	2.30	2.18	2.43

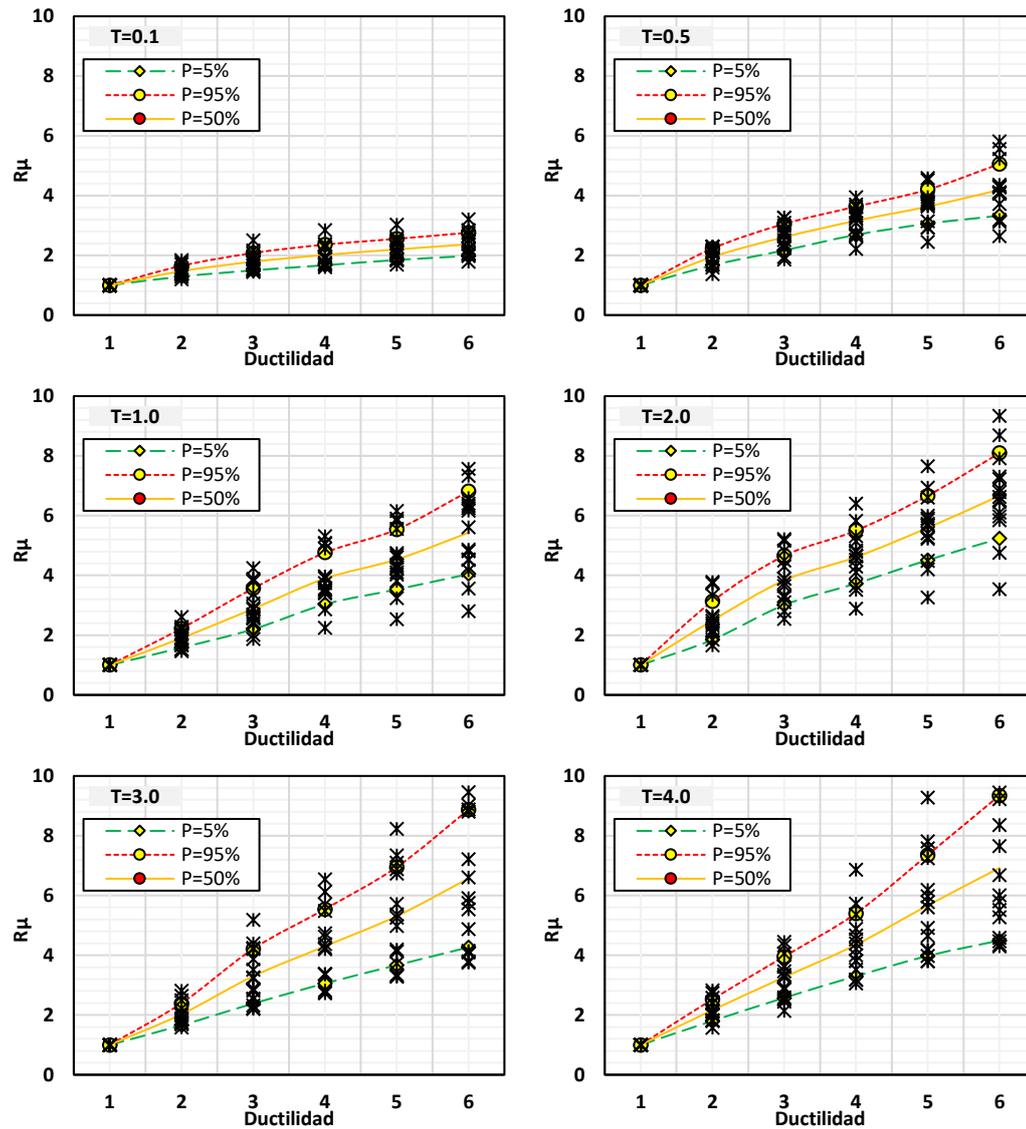


Figura 4. 12. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S_2 (Suelos intermedios).

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4. 8

Desviación estándar de 15 sismos sintéticos para el perfil de suelo tipo S_3 (Suelos blandos).

	T=0.10 s	T=0.50 s	T=1.0 s	T=1.5 s	T=2.0 s	T=2.5 s	T=3.0 s	T=3.5 s	T=4.0 s
$\mu=1$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\mu=2$	0.15	0.28	0.48	0.32	0.35	0.34	0.55	0.55	0.63
$\mu=3$	0.24	0.52	0.96	0.63	1.00	0.71	0.84	0.85	0.86
$\mu=4$	0.29	0.68	1.27	1.73	1.26	1.32	1.01	1.01	1.14
$\mu=5$	0.30	0.81	1.64	2.51	1.73	1.86	1.45	1.23	1.41
$\mu=6$	0.33	0.96	1.81	2.99	1.66	2.13	2.02	1.73	1.94

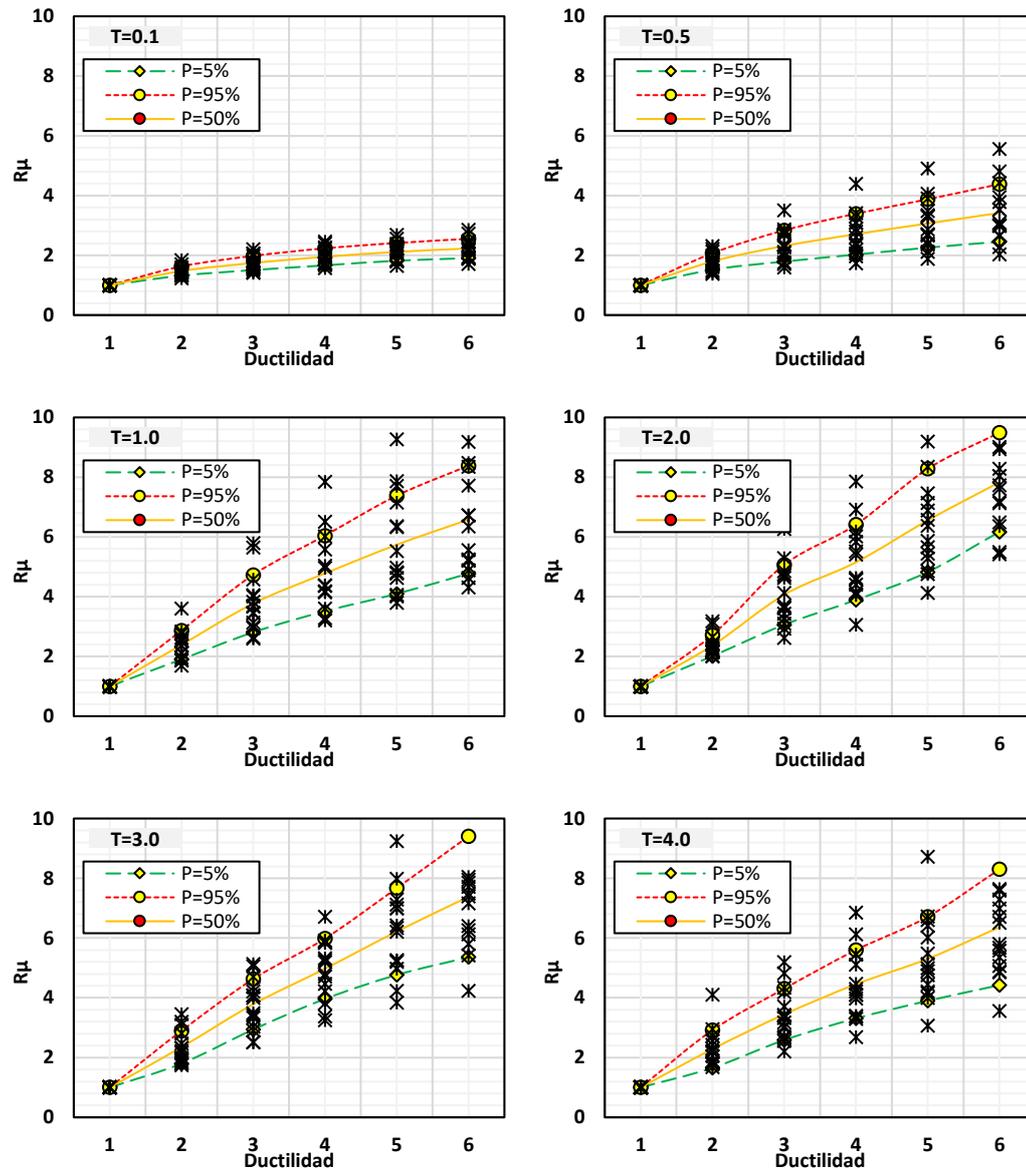


Figura 4. 13. Resultados estadísticos entre la resistencia y la demanda de ductilidad para perfil tipo S_3 (Suelos blandos).

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.4. Normalización del espectro de resistencia

Para ilustrar el proceso de cálculo de la variación irregular mostrada en la Figura 4. 7. Se presenta la normalización del espectro de resistencia, realizando un ajuste determinístico con la variación promedio de los resultados estadísticos mostrados líneas arriba. En consecuencia, los resultados promedio para diferentes

relaciones de ductilidad objetivo y diferentes perfiles de suelo (S_0 , S_1 , S_2 y S_3) compatibles con la norma E.030 se aprecian en la figura a continuación.

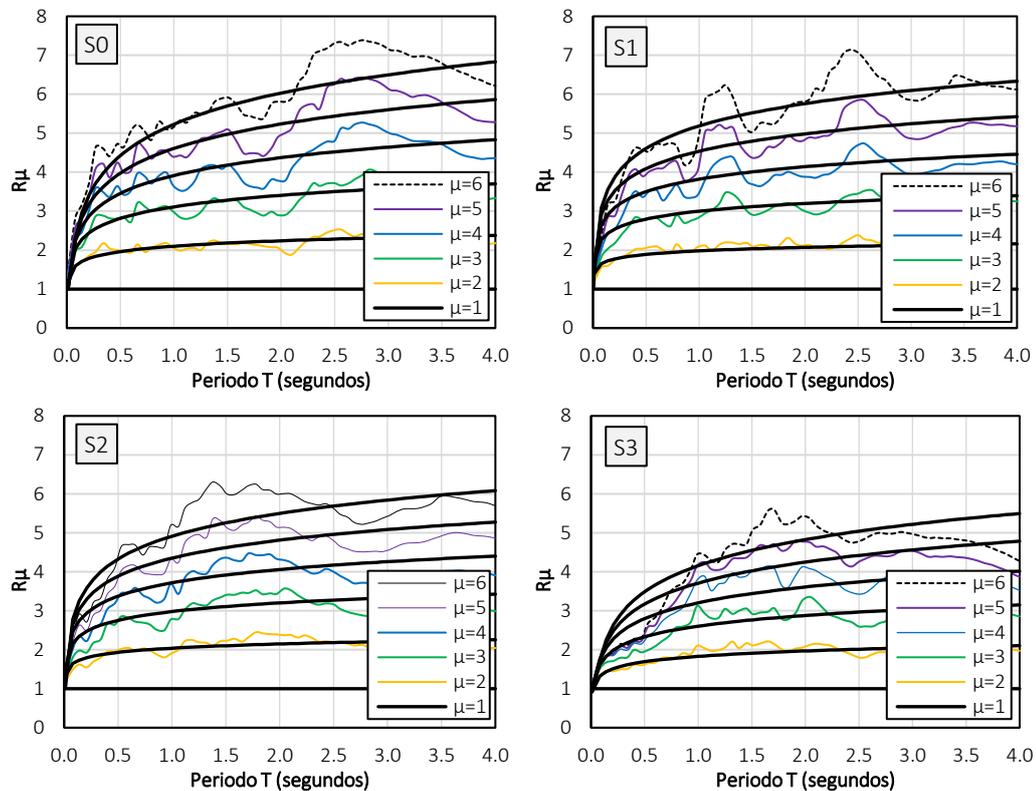


Figura 4. 14. Resultados suavizados del espectro de ductilidad para los cuatro perfiles de suelo (S_0 , S_1 , S_2 y S_3).

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la figura anterior, los factores R_μ dependen en gran medida en la relación existente entre la ductilidad y el periodo fundamental del sistema. Es decir que para un periodo específico, R_μ se incrementa mientras la demanda de ductilidad también crece. Sumado a lo anterior, en la Figura 4. 14 se aprecia que los valores más altos de R_μ , son obtenidos para el perfil de suelo “Roca dura” “ S_0 ”, y en consecuencia vienen los perfiles S_1 , S_2 y S_3 , en este orden. Como efecto se tiene que, a medida que la capacidad resistente del terreno empobrece también lo hace el valor de R_μ . Esta afirmación es muy importante, debido a que no es lógico pensar que se pueden tener el mismo valor de “Factor de reducción por ductilidad” (R_μ) para dos estructuras con las mismas características geométricas y

mecánicas; si esta misma está situada en un perfil de suelo S0 y la otra sobre un perfil S3; la primera estructura tendrá un mayor valor de $R\mu$ y en consecuencia una menor demanda sísmica.

Como resultado final se ha obtenido la ecuación (4.1), donde los valores a, b y c son constantes indicados en la

Tabla 4. 9, los cuales perteneces a este estudio. Además, T_p representa el periodo característico del suelo donde la aceleración deja de ser constante y empieza la rama descendente, este valor también es identificado como el parámetro límite para periodos cortos según el tipo de suelo S₀, S₁, S₂ y S₃; el cual es compatible con la norma E.030.

$$R\mu = (\mu - 1)^{0.52b} (T_p) \left[\frac{\ln(T)(\mu - 1)^{0.48b}}{a} + c \right] \quad (4.1)$$

$$R\mu \geq 1$$

Tabla 4. 9

Constantes a, b, c y T_p para la ecuación (4.1)

	a	b	c	T_p¹⁹
S₀	2.20	1.20	7.00	0.30
S₁	3.07	1.15	4.95	0.40
S₂	3.85	1.05	3.40	0.60
S₃	5.10	0.98	1.83	1.00

4.2.2. Comparación con otros autores

A continuación, se muestra la comparativa de las propuestas indicadas en el marco teórico junto a los resultados obtenidos en esta investigación (ecuación 4.1).

En las figuras 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17 se muestran los resultados del factor de reducción sísmico para una ductilidad constante $\mu=4$, de diferentes autores, junto a los resultados obtenidos del promedio suavizado para los cuatro perfiles de suelo (S₀, S₁, S₂ y S₃) de esta investigación. Es importante mencionar que todos los

¹⁹ Según la Tabla N°4 de la NTP E.030, en el artículo 13 "Parámetros de sitio".

autores (con la excepción de Aguilar) descritos en el marco teórico del apartado 2.2.3, describen un factor de ductilidad no dependiente del tipo de suelo. Razón por el cual no existe variación en los resultados de las propuestas siguientes.

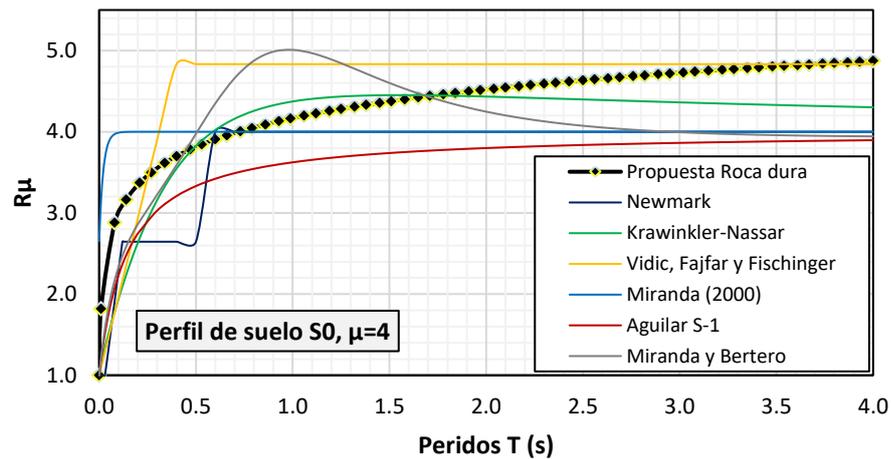


Figura 4. 15 Resultados de $R\mu$ para el perfil de suelo S_0 “Roca dura” con una ductilidad constante $\mu=4$.

Fuente: Elaboración Propia.

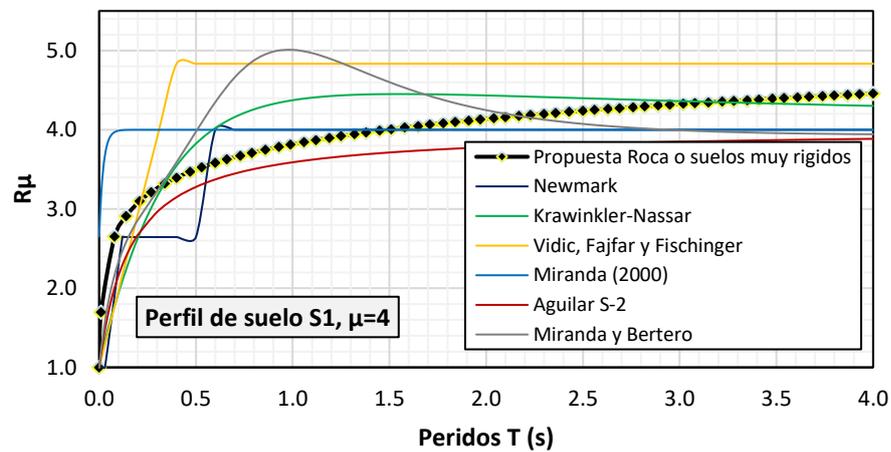


Figura 4. 16 Resultados de $R\mu$ para el perfil de suelo S_1 “Roca o suelos muy rígidos” con una ductilidad constante $\mu=4$.

Fuente: Elaboración Propia.

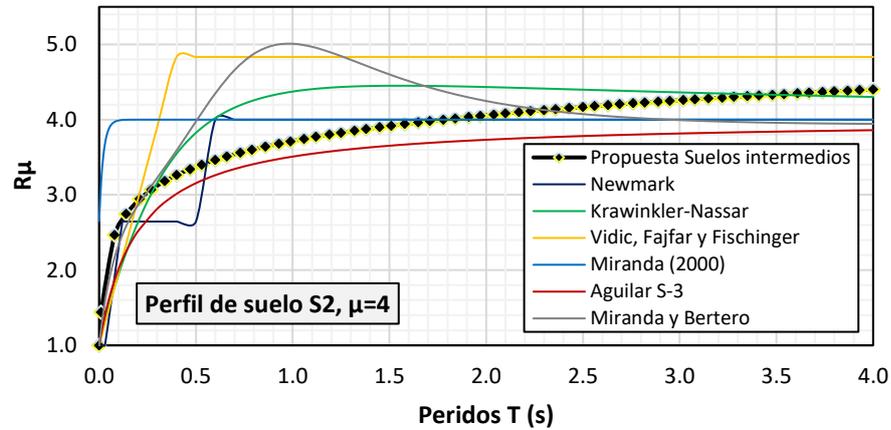


Figura 4.17 Resultados de $R\mu$ para el perfil de suelo S_2 "Suelos intermedios" con una ductilidad constante $\mu=4$.

Fuente: Elaboración Propia.

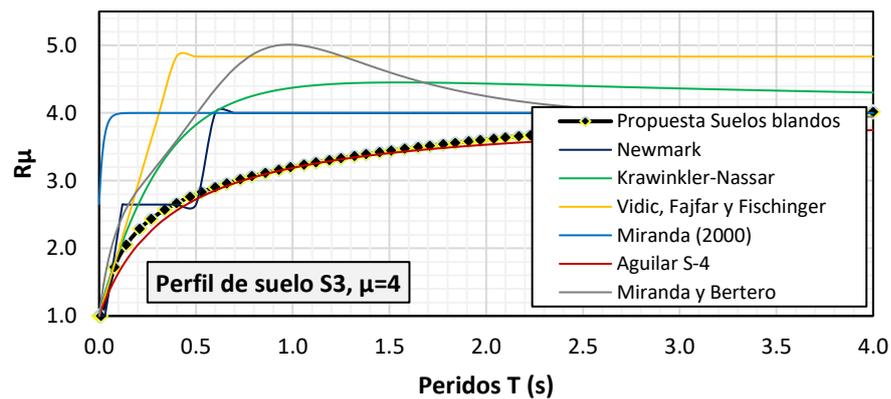


Figura 4.18. Resultados de $R\mu$ para el perfil de suelo S_3 "Suelos intermedios" con una ductilidad constante $\mu=4$.

Fuente: Elaboración Propia.

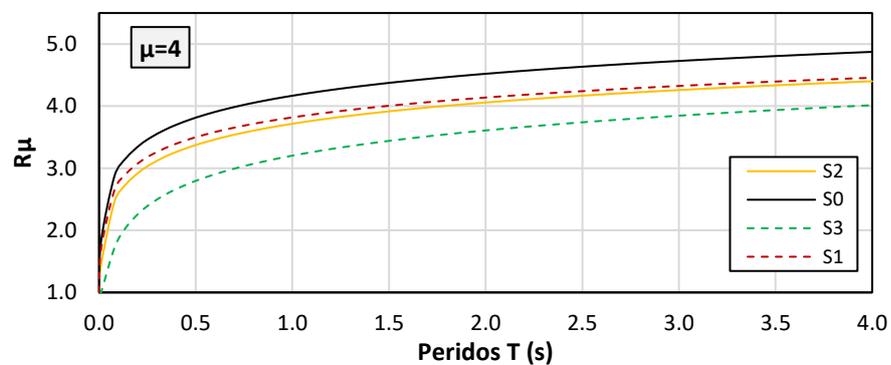


Figura 4.19 Resultados de $R\mu$ para los diferentes perfiles de suelos (S_0 , S_1 , S_2 y S_3) con una ductilidad constante $\mu=4$.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en las figuras anteriores. Los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los límites establecido por otros autores. Además, la ecuación 4.1 responsable de las curvas generadas por este estudio. Inicia con un $R\mu=1.0$ y para periodos altos se tiene un $R\mu= \mu$, por el cual se considera que es una representación válida para el Perú.

4.2.3. Cálculo del factor de resistencia por ductilidad

Como aplicación de la metodología presentada en el capítulo 3.7, se halló la en primer lugar la ductilidad y luego el factor de reducción por ductilidad para 28 edificios distribuidos en 98 pórticos laterales de concreto armado, de 1 a 7 pisos que se encuentran ubicados en la zona con mayor peligrosidad sísmica del Perú $Z=0.45g$. Son estructuras compuestas por columnas y vigas (sin muros de corte). Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4. 10*Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo I - dos vanos).*

N° pisos	Eje 1-I			Eje 2-I			Eje 3-I		
	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ
1	0.050	0.016	3.055	0.045	0.018	2.461	0.059	0.019	3.050
2	0.058	0.020	2.963	0.076	0.021	3.576	0.088	0.023	3.855
3	0.082	0.025	3.258	0.078	0.024	3.281	0.108	0.037	2.925
4	0.106	0.034	3.092	0.119	0.037	3.237	0.135	0.042	3.217
5	0.144	0.052	2.747	0.147	0.054	2.709	0.154	0.056	2.745
6	0.175	0.058	3.037	0.139	0.052	2.684	0.179	0.063	2.833
7	0.189	0.060	3.143	0.189	0.067	2.812	0.201	0.070	2.877

Tabla 4. 11*Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo II - tres vanos).*

N° pisos	Eje 1-II			Eje 2-II			Eje 3-II			Eje 4-II		
	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ
1	0.084	0.015	5.738	0.086	0.016	5.434	0.088	0.016	5.452	0.090	0.015	6.160
2	0.094	0.024	3.980	0.097	0.026	3.664	0.100	0.027	3.659	0.103	0.029	3.547
3	0.123	0.030	4.157	0.127	0.030	4.308	0.133	0.038	3.513	0.138	0.038	3.592
4	0.143	0.038	3.737	0.159	0.040	3.988	0.158	0.040	3.934	0.171	0.040	4.298
5	0.195	0.045	4.275	0.204	0.047	4.302	0.212	0.068	3.105	0.221	0.060	3.698
6	0.174	0.049	3.548	0.235	0.059	3.943	0.231	0.060	3.870	0.245	0.062	3.928
7	0.184	0.059	3.106	0.243	0.060	4.035	0.236	0.067	3.502	0.250	0.072	3.499

Tabla 4. 12

Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo IIIA – dos vanos).

N° pisos	Eje 1-IIIA			Eje 2-IIIA			Eje 3-IIIA		
	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ
1	0.029	0.012	2.431	0.029	0.012	2.483	0.031	0.012	2.579
2	0.072	0.020	3.526	0.091	0.021	4.348	0.094	0.022	4.360
3	0.097	0.029	3.368	0.128	0.029	4.425	0.132	0.030	4.429
4	0.121	0.042	2.893	0.176	0.043	4.088	0.181	0.053	3.413
5	0.222	0.049	4.503	0.226	0.051	4.430	0.233	0.055	4.226
6	0.269	0.063	4.283	0.277	0.072	3.869	0.285	0.066	4.350
7	0.320	0.071	4.505	0.324	0.072	4.483	0.335	0.075	4.474

Tabla 4. 13

Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo IIIB - tres vanos).

N° pisos	Eje 1-IIIB			Eje 2-IIIB			Eje 3-IIIB			Eje 4-IIIB		
	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ	Δu (m)	Δy (m)	μ
1	0.041	0.008	4.833	0.052	0.011	4.803	0.058	0.011	5.136	0.068	0.012	5.595
2	0.075	0.017	4.523	0.088	0.017	5.172	0.102	0.024	4.302	0.115	0.023	5.042
3	0.102	0.023	4.427	0.122	0.024	5.054	0.139	0.031	4.433	0.156	0.032	4.833
4	0.135	0.034	4.037	0.165	0.040	4.082	0.185	0.041	4.481	0.185	0.041	4.481
5	0.183	0.041	4.450	0.207	0.051	4.052	0.231	0.056	4.126	0.255	0.064	3.969
6	0.212	0.056	3.781	0.240	0.056	4.262	0.266	0.059	4.488	0.292	0.062	4.726
7	0.248	0.054	4.591	0.273	0.055	4.969	0.298	0.058	5.159	0.324	0.072	4.516

En la Tabla 4. 10, Tabla 4. 11, Tabla 4. 12 y Tabla 4. 13 se indican los resultados obtenidos para la ductilidad objetivo. Dichas tablas presentan una distribución ordenada mediante el N° de pisos y los ejes principales de los pórticos laterales de interés. Para la obtención de estos parámetros ha sido necesario la elaboración de la curva Pushover²⁰.

En la Figura 4. 20 se muestran los valores de ductilidad μ presentados en las tablas anteriores. Con estos valores, se halló lo siguiente; (1) el percentil 5, (2) el percentil 50 (equivalente al promedio), (3) el percentil 95 y (4) el arreglo de la tendencia lineal. Con estos parámetros, se ha podido determinar que la variación estándar es mayor para edificaciones de un solo nivel $\sigma=1.447$, que para las demás edificaciones que varían entre $0.525 < \sigma < 0.80$. También, se aprecia que las dispersiones de valores del percentil 50 coinciden con una tendencia constante cuyo valor de ductilidad es igual a: $\mu = 3.95$, teniendo un error del 3% con respecto a dicho percentil.

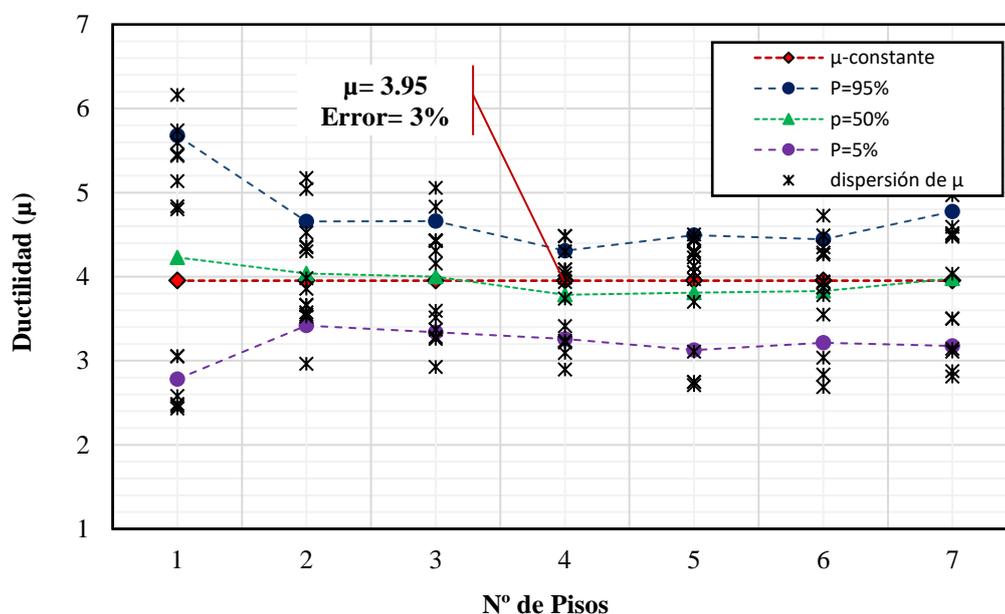


Figura 4. 20 Resultados de ductilidad para diferentes N° pisos.
Fuente: Elaboración Propia.

²⁰ Los parámetros a considerar en la curva Pushover, se muestran en los anexos.....

Tabla 4. 14

Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo I - dos vanos).

N° pisos	μ (Promedio)	T (s)	$R\mu$			
			S0	S1	S2	S3
1	2.855	0.231	2.669	2.477	2.422	1.972
2	3.465	0.343	3.256	3.002	2.908	2.381
3	3.154	0.482	3.140	2.903	2.847	2.397
4	3.182	0.529	3.196	2.954	2.898	2.451
5	2.734	0.653	2.848	2.647	2.637	2.277
6	2.851	0.728	2.993	2.778	2.761	2.389
7	2.944	0.835	3.125	2.896	2.876	2.499

Tabla 4. 15

Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos. (Modelo II - tres vanos).

N° pisos	μ (Promedio)	T (s)	$R\mu$			
			S0	S1	S2	S3
1	5.777	0.235	4.282	3.905	3.625	2.722
2	3.730	0.308	3.256	3.123	3.003	2.424
3	4.019	0.446	3.140	3.459	3.328	2.738
4	4.007	0.561	3.196	3.558	3.435	2.868
5	4.092	0.656	2.848	3.687	3.563	2.998
6	3.806	0.728	2.993	3.534	3.437	2.922
7	3.547	0.874	3.125	3.412	3.343	2.880

Tabla 4. 16

Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes niveles de pisos (Modelo IIIA - dos vanos).

N° pisos	μ (Promedio)	T (s)	$R\mu$			
			S0	S1	S2	S3
1	2.498	0.170	2.310	2.154	2.121	1.723
2	4.078	0.273	3.553	3.262	3.110	2.466
3	4.074	0.388	3.735	3.427	3.287	2.675
4	3.464	0.509	3.415	3.147	3.067	2.572
5	4.386	0.634	4.227	3.865	3.715	3.107
6	4.167	0.763	4.165	3.813	3.687	3.126
7	4.487	0.835	4.468	4.080	3.930	3.336

Tabla 4. 17

Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos (Modelo IIIB - tres vanos).

N° pisos	μ (Promedio)	T (s)	$R\mu$			
			S0	S1	S2	S3
1	5.077	0.170	3.743	3.426	3.186	2.343
2	4.912	0.273	3.553	3.664	3.449	2.681
3	4.771	0.388	3.735	3.812	3.616	2.905
4	4.200	0.509	3.415	3.634	3.493	2.889
5	4.157	0.634	4.227	3.715	3.584	3.007
6	4.256	0.763	4.165	3.874	3.741	3.168
7	4.692	0.835	4.468	4.219	4.052	3.431

En la Tabla 4. 14, Tabla 4. 15, Tabla 4. 16 y Tabla 4. 17 se indican los resultados obtenidos para el factor de resistencia por ductilidad. Dichas tablas presentan una distribución ordenada mediante el N° de pisos, ductilidad promedio, periodo estructural y resistencia por ductilidad (para cada tipo de suelo).

Sumado a lo anterior, en la Figura 4. 20 se muestran los resultados del factor de resistencia por ductilidad R_{μ} que se muestran en las tablas anteriores. Con estos valores, se halló lo siguiente; (1) el percentil 5, (2) el percentil 50 (equivalente al promedio), (3) el percentil 95 y (4) el arreglo de la tendencia lineal. Con estos parámetros, se ha podido determinar que la variación estándar es mayor para edificaciones de un solo nivel $\sigma=0.729$, que para las demás edificaciones que varían entre $0.303 < \sigma < 0.595$. También, se aprecia que las dispersiones de valores del percentil 50 tiene una tendencia lineal, con una pendiente positiva de 0.0887 y una correlación de $R^2=0.9365$. Es decir que el factor de reducción R_{μ} crece en forma proporcional con el aumento del N° de pisos. También ha sido necesario generar una tendencia constante de factor de resistencia por ductilidad donde $R_{\mu}=3.40$, teniendo un error del 4.0% con respecto al percentil 50.

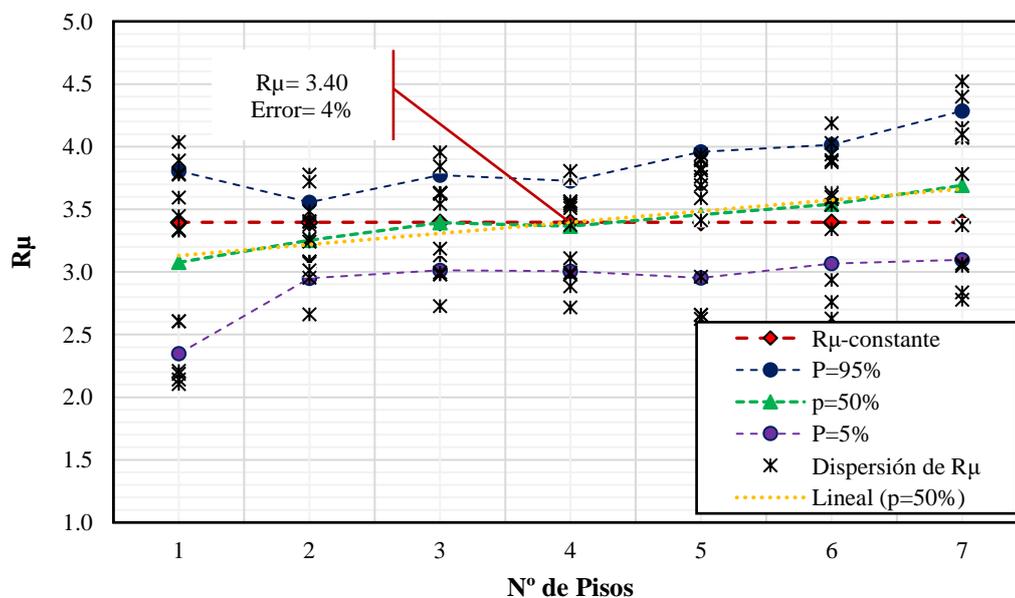


Figura 4. 21 Resultados del factor de resistencia por ductilidad para diferentes N° pisos. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. Factor de sobre resistencia R_{Ω}

Según la metodología propuesta en el apartado 3.7.2, los resultados siguientes pertenecen dos propuestas diferentes para la obtención del factor de sobre resistencia. En ambos procesos se ha utilizado un modelo tradicional para el análisis estático no lineal (método pushover), discutido anteriormente. esto último permitió obtener paso a paso las fallas estructurales de los elementos. Teniendo como parámetros de control el punto de demanda en función de la curva de capacidad y la deriva máxima de entrepiso. En las tablas Tabla 4. 18, Tabla 4. 19, Tabla 4. 20, Tabla 4. 21, Tabla 4. 22, Tabla 4. 23, Tabla 4. 24 y Tabla 4. 25; se indican los resultados obtenidos para el cortante basal máximo alcanzado por las edificaciones y la cortante de la demanda de diseño, con el coeficiente de los parámetros mencionados se calcula el factor R_{Ω} . Sumado a lo anterior también se aprecia lo siguiente:

- **Método N°01:** Método del Espectro de Capacidad

En la Figura 4. 12 se muestra el comportamiento del factor de sobre resistencia R_{Ω} en función a los niveles de piso (del 1^{er} al 7^{mo} piso). se halló lo siguiente; (1) el percentil 5 donde R_{Ω} varía de 1.134 a 1.222, (2) el percentil 50 con una desviación estándar de 0.473 (equivalente al promedio) donde además se aprecia una mayor dispersión en los primeros tres pisos, (3) el percentil 95 donde R_{Ω} varía de 1.437 a 2.739 y (4) el arreglo de la tendencia lineal equivalente a 1.46.

- **Método N°02:** Método de la deriva máxima de entrepiso.

En la Figura 4. 23 también se muestra el comportamiento del factor de sobre resistencia R_{Ω} en función a los niveles de piso. Determinando lo siguiente; (1) el percentil 5 donde R_{Ω} varía de 1.066 a 1.428, (2) el percentil 50 con una desviación estándar de 0.236 (equivalente al promedio) donde además se aprecia una mayor dispersión en los tres últimos niveles, (3) el percentil 95 donde R_{Ω} varía de 1.267 a 2.170 y (4) el arreglo de la tendencia lineal equivalente a 1.50.

Método N°01: Método del Espectro de Capacidad

Tabla 4. 18

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo I - dos vanos).

N° pisos	Eje 1-I			Eje 2-I			Eje 3-I		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ
1	122.356	75.072	1.630	109.155	72.848	1.498	112.622	74.462	1.512
2	126.452	110.455	1.145	128.842	110.362	1.167	127.558	110.395	1.155
3	135.939	119.442	1.138	125.173	119.303	1.049	123.997	119.416	1.038
4	186.052	158.155	1.176	184.132	158.430	1.162	175.698	158.097	1.111
5	183.402	165.687	1.107	185.019	165.719	1.116	188.396	165.675	1.137
6	252.567	205.228	1.231	235.701	203.928	1.156	244.948	205.068	1.194
7	273.562	215.084	1.272	260.080	214.993	1.210	263.066	215.063	1.223

Tabla 4. 19

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).

N° pisos	Eje 1-II			Eje 2-II			Eje 3-II			Eje 4-II		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ									
1	240.321	164.390	1.462	236.145	164.156	1.439	242.845	164.189	1.479	246.146	164.079	1.500
2	409.746	335.239	1.222	404.629	334.287	1.210	407.842	334.348	1.220	407.046	334.611	1.216
3	442.144	357.907	1.235	429.351	357.583	1.201	453.562	357.506	1.269	470.430	357.261	1.317
4	486.023	389.620	1.247	491.495	389.519	1.262	483.478	389.265	1.242	508.224	389.263	1.306
5	665.757	494.774	1.346	669.300	494.713	1.353	602.122	493.935	1.219	645.915	493.140	1.310
6	587.715	512.016	1.148	690.231	518.505	1.331	677.360	517.856	1.308	683.784	518.154	1.320
7	598.474	541.649	1.105	707.495	552.962	1.279	660.108	552.936	1.194	697.808	552.939	1.262

Tabla 4. 20

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo IIIA - tres vanos).

N° pisos	Eje 1-IIIA			Eje 2-IIIA			Eje 3-IIIA		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ
1	280.239	185.007	1.515	279.658	184.405	1.517	278.954	184.306	1.514
2	465.730	304.056	1.532	531.087	304.436	1.744	530.222	303.045	1.750
3	498.250	397.664	1.253	592.119	398.993	1.484	591.059	398.406	1.484
4	499.923	438.861	1.139	612.986	440.748	1.391	631.324	447.895	1.410
5	665.367	466.678	1.426	659.085	467.615	1.409	647.929	468.473	1.383
6	701.806	496.578	1.413	705.164	480.810	1.467	696.054	487.022	1.429
7	838.859	523.591	1.602	831.407	523.989	1.587	833.117	522.886	1.593

Tabla 4. 21

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo IIIB - dos vanos).

N° pisos	Eje 1-IIIB			Eje 2-IIIB			Eje 3-IIIB			Eje 4-IIIB		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ									
1	581.882	187.398	3.105	584.833	186.092	3.143	577.437	183.405	3.148	578.817	183.219	3.159
2	761.374	340.097	2.239	780.437	336.974	2.316	722.101	340.522	2.121	768.601	337.144	2.280
3	762.525	555.901	1.372	775.747	539.804	1.437	813.221	540.531	1.504	827.953	542.974	1.525
4	783.012	525.839	1.489	787.514	542.547	1.452	801.102	535.821	1.495	801.102	535.821	1.495
5	837.654	532.915	1.572	804.863	728.346	1.105	799.552	532.987	1.500	778.323	546.766	1.424
6	801.702	582.591	1.376	821.914	583.857	1.408	824.336	584.686	1.410	829.238	583.100	1.422
7	887.212	585.729	1.515	889.273	588.522	1.511	886.796	586.996	1.511	861.371	585.018	1.472

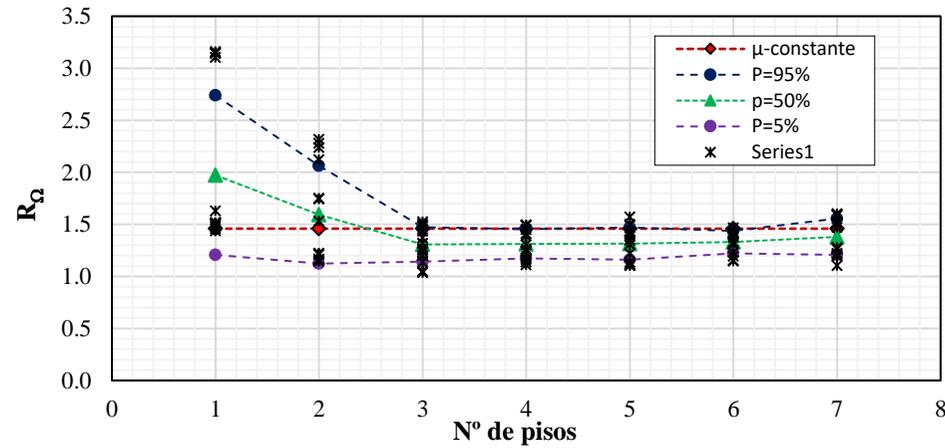


Figura 4. 22 Resultados del factor de sobre resistencia. Método del Espectro de Capacidad.
Fuente: Elaboración Propia.

Método N°02: Método de la deriva máxima de entrepiso.

Tabla 4. 22

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).

Nº pisos	Eje 1-I			Eje 2-I			Eje 3-I		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R_{Ω}	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R_{Ω}	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R_{Ω}
1	122.356	109.032	1.122	109.155	104.961	1.040	112.622	101.922	1.105
2	126.452	114.949	1.100	128.842	113.589	1.134	127.558	110.255	1.157
3	135.939	123.004	1.105	125.173	118.460	1.057	123.997	116.091	1.068
4	186.052	160.572	1.159	184.132	157.379	1.170	175.698	150.868	1.165
5	183.402	162.702	1.127	185.019	158.481	1.167	188.396	157.869	1.193

N° pisos	Eje 1-I			Eje 2-I			Eje 3-I		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ
6	252.567	190.582	1.325	235.701	194.380	1.213	244.948	190.578	1.285
7	273.562	204.090	1.340	260.080	201.095	1.293	263.066	194.304	1.354

Tabla 4. 23

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).

N° pisos	Eje 1-II			Eje 2-II			Eje 3-II			Eje 4-II		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ									
1	240.321	202.674	1.186	236.145	202.676	1.165	242.845	192.933	1.259	246.146	193.405	1.273
2	409.746	350.364	1.169	404.629	343.116	1.179	407.842	339.534	1.201	407.046	335.614	1.213
3	442.144	355.764	1.243	429.351	352.186	1.219	453.562	340.033	1.334	470.430	323.806	1.453
4	486.023	375.472	1.294	491.495	366.720	1.340	483.478	339.153	1.426	508.224	333.466	1.524
5	665.757	409.753	1.625	669.300	409.776	1.633	602.122	385.964	1.560	645.915	377.181	1.712
6	587.715	418.282	1.405	690.231	418.306	1.650	677.360	386.754	1.751	683.784	386.763	1.768
7	598.474	443.870	1.348	707.495	427.213	1.656	660.108	415.169	1.590	697.808	415.187	1.681

Tabla 4. 24

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).

N° pisos	Eje 1-I			Eje 2-I			Eje 3-I		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ	Vu (Tn)	Vd (Tn)	RΩ
1	280.239	257.864	1.087	279.658	262.377	1.066	278.954	247.884	1.125
2	465.730	389.910	1.194	531.087	387.820	1.369	530.222	363.119	1.460
3	498.250	386.273	1.290	592.119	377.527	1.568	591.059	374.700	1.577
4	499.923	374.509	1.335	612.986	357.986	1.712	631.324	345.566	1.827
5	665.367	355.119	1.874	659.085	354.105	1.861	647.929	357.260	1.814
6	701.806	341.043	2.058	705.164	339.691	2.076	696.054	340.935	2.042
7	838.859	392.129	2.139	831.407	392.111	2.120	833.117	381.207	2.185

Tabla 4. 25

Resultados del factor de sobre resistencia para diferentes niveles de pisos (Modelo II - tres vanos).

N° pisos	Eje 1-II			Eje 2-II			Eje 3-II			Eje 4-II		
	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R Ω	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R Ω	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R Ω	Vu (Tn)	Vd (Tn)	R Ω
1	581.882	543.281	1.071	584.833	498.936	1.172	577.437	457.170	1.263	578.817	413.882	1.399
2	761.374	595.616	1.278	780.437	571.760	1.365	722.101	501.894	1.439	768.601	488.209	1.574
3	762.525	555.743	1.372	775.747	531.033	1.461	813.221	486.375	1.672	827.953	445.222	1.860
4	783.012	517.808	1.512	787.514	457.585	1.721	801.102	453.981	1.765	801.102	453.981	1.765
5	837.654	461.236	1.816	804.863	425.508	1.892	799.552	397.873	2.010	778.323	376.833	2.065
6	801.702	484.475	1.655	821.914	418.471	1.964	824.336	398.706	2.068	829.238	374.046	2.217
7	887.212	453.347	1.957	889.273	436.440	2.038	886.796	404.768	2.191	861.371	375.982	2.291

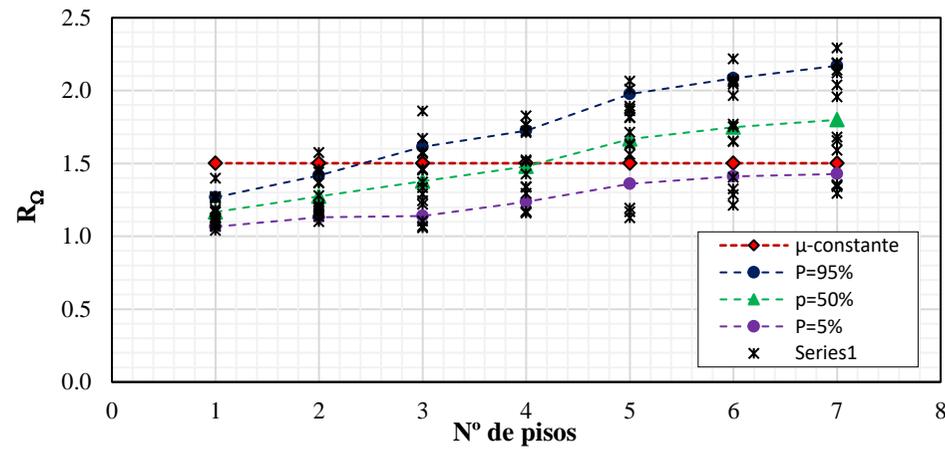


Figura 4. 23 Resultados del factor de sobre resistencia. Método de la deriva máxima de entrepiso.
Fuente: Elaboración Propia.

En cuando al comportamiento final del factor de sobre resistencia, se ha optado por promediar los resultados anteriores. A continuación, se muestra este proceso:

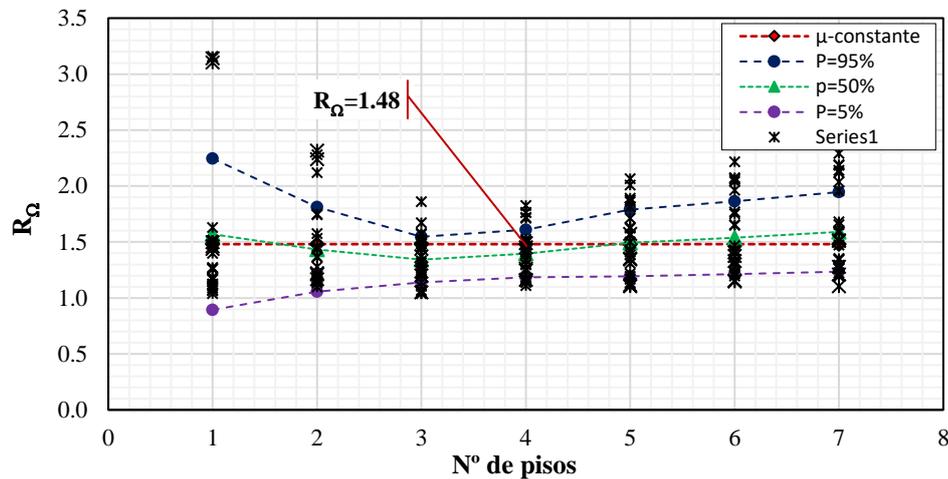


Figura 4. 24 Resultados del factor de sobre resistencia.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4. 24 se presentan los valores medios de R_{Ω} encontrados en este estudio donde el percentil 50 (equivalente al promedio) tiene una tendencia constante que varía de 1.342 a 1.590, con una desviación estándar promedio de 0.35.

4.2.5. Factor de redundancia R_R

De igual forma que en los factores de ductilidad y sobre resistencia, se obtuvo el factor de redundancia analizando los 98 pórticos laterales de 28 edificios de concreto armado compuestas por vigas y columnas. Se ha utilizado el método numérico de Tsopeles y Husain (2004). Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 4. 26.

En la columna cuatro y siete de la Tabla 4.26 se presentan los índices de redundancia por resistencia y los de redundancia por la deformación de las rotulas plásticas, respectivamente. Para finalizar en la última columna de la Tabla 4.26 se

presenta el factor de redundancia que se obtiene con la ecuación 3.5. se aprecia que los valores de R_R varían de 1.192 a 3.491.

Tabla 4. 26

Resumen del cálculo del factor de redundancia R.

Modelo en planta	Niveles	Pórtico	r_s	n	m	r_v	R_R
Modelo 01	1	Eje 1-I	1.476	10.0	3.0	0.224	1.633
Modelo 01	1	Eje 2-I	1.163	10.0	3.0	0.224	1.286
Modelo 01	1	Eje 3-I	1.208	10.0	3.0	0.224	1.335
Modelo 01	2	Eje 1-I	1.305	11.0	3.0	0.213	1.445
Modelo 01	2	Eje 2-I	1.338	11.0	3.0	0.213	1.482
Modelo 01	2	Eje 3-I	1.313	12.0	3.0	0.204	1.456
Modelo 01	3	Eje 1-I	1.304	15.0	3.0	0.183	1.450
Modelo 01	3	Eje 2-I	1.112	15.0	3.0	0.183	1.236
Modelo 01	3	Eje 3-I	1.073	15.0	3.0	0.183	1.192
Modelo 01	4	Eje 1-I	1.354	23.0	3.0	0.147	1.511
Modelo 01	4	Eje 2-I	1.344	23.0	3.0	0.147	1.500
Modelo 01	4	Eje 3-I	1.199	24.0	3.0	0.144	1.339
Modelo 01	5	Eje 1-I	1.125	28.0	3.0	0.134	1.257
Modelo 01	5	Eje 2-I	1.176	28.0	3.0	0.134	1.314
Modelo 01	5	Eje 3-I	1.233	28.0	3.0	0.134	1.378
Modelo 01	6	Eje 1-I	1.556	31.0	3.0	0.127	1.741
Modelo 01	6	Eje 2-I	1.508	34.0	3.0	0.121	1.688
Modelo 01	6	Eje 3-I	1.472	34.0	3.0	0.121	1.648
Modelo 01	7	Eje 1-I	1.727	36.0	3.0	0.118	1.935
Modelo 01	7	Eje 2-I	1.561	39.0	3.0	0.113	1.750
Modelo 01	7	Eje 3-I	1.619	40.0	3.0	0.112	1.815
Modelo 02	1	Eje 1-II	1.199	14.0	4.0	0.154	1.337
Modelo 02	1	Eje 2-II	1.160	14.0	4.0	0.154	1.294
Modelo 02	1	Eje 3-II	1.246	14.0	4.0	0.154	1.390
Modelo 02	1	Eje 4-II	1.294	14.0	4.0	0.154	1.443
Modelo 02	2	Eje 1-II	1.237	21.0	4.0	0.126	1.385
Modelo 02	2	Eje 2-II	1.196	24.0	4.0	0.118	1.340
Modelo 02	2	Eje 3-II	1.235	24.0	4.0	0.118	1.384
Modelo 02	2	Eje 4-II	1.232	24.0	4.0	0.118	1.381
Modelo 02	3	Eje 1-II	1.431	31.0	4.0	0.104	1.606
Modelo 02	3	Eje 2-II	1.304	31.0	4.0	0.104	1.463
Modelo 02	3	Eje 3-II	1.453	31.0	4.0	0.104	1.631
Modelo 02	3	Eje 4-II	1.602	31.0	4.0	0.104	1.797
Modelo 02	4	Eje 1-II	1.528	37.0	4.0	0.095	1.717
Modelo 02	4	Eje 2-II	1.531	42.0	4.0	0.089	1.722
Modelo 02	4	Eje 3-II	1.557	42.0	4.0	0.089	1.751
Modelo 02	4	Eje 4-II	1.610	36.0	4.0	0.096	1.809
Modelo 02	5	Eje 1-II	1.904	63.0	4.0	0.073	2.145
Modelo 02	5	Eje 2-II	1.954	67.0	4.0	0.071	2.202
Modelo 02	5	Eje 3-II	1.360	69.0	4.0	0.070	1.533
Modelo 02	5	Eje 4-II	1.719	66.0	4.0	0.071	1.936
Modelo 02	6	Eje 1-II	1.708	48.0	4.0	0.083	1.921
Modelo 02	6	Eje 2-II	1.883	54.0	4.0	0.079	2.119

Modelo en planta	Niveles	Pórtico	r_s	n	m	r_v	R_R
Modelo 02	6	Eje 3-II	1.947	56.0	4.0	0.077	2.192
Modelo 02	6	Eje 4-II	1.992	54.0	4.0	0.079	2.243
Modelo 02	7	Eje 1-II	1.597	49.0	4.0	0.082	1.796
Modelo 02	7	Eje 2-II	1.975	54.0	4.0	0.079	2.223
Modelo 02	7	Eje 3-II	1.739	58.0	4.0	0.076	1.958
Modelo 02	7	Eje 4-II	1.956	53.0	4.0	0.079	2.202
Modelo 03	1	Eje 1-III	1.097	9.0	3.0	0.236	1.211
Modelo 03	1	Eje 2-III	1.112	11.0	3.0	0.213	1.231
Modelo 03	1	Eje 3-III	1.103	10.0	3.0	0.224	1.220
Modelo 03	2	Eje 1-III	1.540	19.0	3.0	0.162	1.716
Modelo 03	2	Eje 2-III	1.754	21.0	3.0	0.154	1.956
Modelo 03	2	Eje 3-III	1.749	19.0	3.0	0.162	1.949
Modelo 03	3	Eje 1-III	1.597	27.0	3.0	0.136	1.786
Modelo 03	3	Eje 2-III	1.952	30.0	3.0	0.129	2.183
Modelo 03	3	Eje 3-III	1.947	28.0	3.0	0.134	2.177
Modelo 03	4	Eje 1-III	1.500	34.0	3.0	0.121	1.679
Modelo 03	4	Eje 2-III	1.757	38.0	3.0	0.115	1.969
Modelo 03	4	Eje 3-III	1.746	34.0	3.0	0.121	1.955
Modelo 03	5	Eje 1-III	1.977	50.0	3.0	0.100	2.220
Modelo 03	5	Eje 2-III	1.959	52.0	3.0	0.098	2.200
Modelo 03	5	Eje 3-III	1.845	49.0	3.0	0.101	2.071
Modelo 03	6	Eje 1-III	2.027	58.0	3.0	0.093	2.277
Modelo 03	6	Eje 2-III	1.957	64.0	3.0	0.088	2.200
Modelo 03	6	Eje 3-III	2.017	58.0	3.0	0.093	2.267
Modelo 03	7	Eje 1-III	2.343	61.0	3.0	0.091	2.633
Modelo 03	7	Eje 2-III	2.369	64.0	3.0	0.088	2.663
Modelo 03	7	Eje 3-III	2.378	63.0	3.0	0.089	2.673
Modelo 03	1	Eje A-III	1.605	9.0	4.0	0.192	1.782
Modelo 03	1	Eje B-III	1.595	10.0	4.0	0.183	1.773
Modelo 03	1	Eje C-III	1.657	10.0	4.0	0.183	1.842
Modelo 03	1	Eje D-III	1.713	10.0	4.0	0.183	1.904
Modelo 03	2	Eje A-III	1.788	14.0	4.0	0.154	1.994
Modelo 03	2	Eje B-III	1.982	16.0	4.0	0.144	2.213
Modelo 03	2	Eje C-III	1.527	16.0	4.0	0.144	1.705
Modelo 03	2	Eje D-III	1.874	16.0	4.0	0.144	2.093
Modelo 03	3	Eje A-III	1.776	20.0	4.0	0.129	1.987
Modelo 03	3	Eje B-III	1.846	24.0	4.0	0.118	2.068
Modelo 03	3	Eje C-III	1.956	24.0	4.0	0.118	2.192
Modelo 03	3	Eje D-III	2.129	23.0	4.0	0.120	2.385
Modelo 03	4	Eje A-III	1.970	23.0	4.0	0.120	2.206
Modelo 03	4	Eje B-III	1.808	29.0	4.0	0.107	2.028
Modelo 03	4	Eje C-III	1.973	29.0	4.0	0.107	2.214
Modelo 03	4	Eje D-III	1.973	28.0	4.0	0.109	2.213
Modelo 03	5	Eje A-III	2.386	31.0	4.0	0.104	2.678
Modelo 03	5	Eje B-III	2.021	36.0	4.0	0.096	2.270
Modelo 03	5	Eje C-III	1.994	36.0	4.0	0.096	2.240
Modelo 03	5	Eje D-III	1.833	37.0	4.0	0.095	2.059
Modelo 03	6	Eje A-III	1.969	35.0	4.0	0.098	2.212
Modelo 03	6	Eje B-III	2.209	40.0	4.0	0.091	2.482
Modelo 03	6	Eje C-III	2.285	42.0	4.0	0.089	2.569

Modelo en planta	Niveles	Pórtico	r_s	n	m	r_v	R_R
Modelo 03	6	Eje D-III	2.379	39.0	4.0	0.092	2.674
Modelo 03	7	Eje A-III	2.808	34.0	4.0	0.099	3.153
Modelo 03	7	Eje B-III	3.021	37.0	4.0	0.095	3.394
Modelo 03	7	Eje C-III	3.105	44.0	4.0	0.087	3.491
Modelo 03	7	Eje D-III	2.611	40.0	4.0	0.091	2.935

En la Figura 4. 25 se muestran los valores de redundancia presentado en la tabla anterior. Con estos valores, se halló lo siguiente; (1) el percentil 5, (2) el percentil 50 (equivalente al promedio), (3) el percentil 95 y (4) el arreglo de la tendencia lineal con un crecimiento en función al aumento de niveles de pisos. Con estos parámetros, se ha podido determinar que las variaciones estándar varían entre $0.0.254 < \sigma < 0.606$.

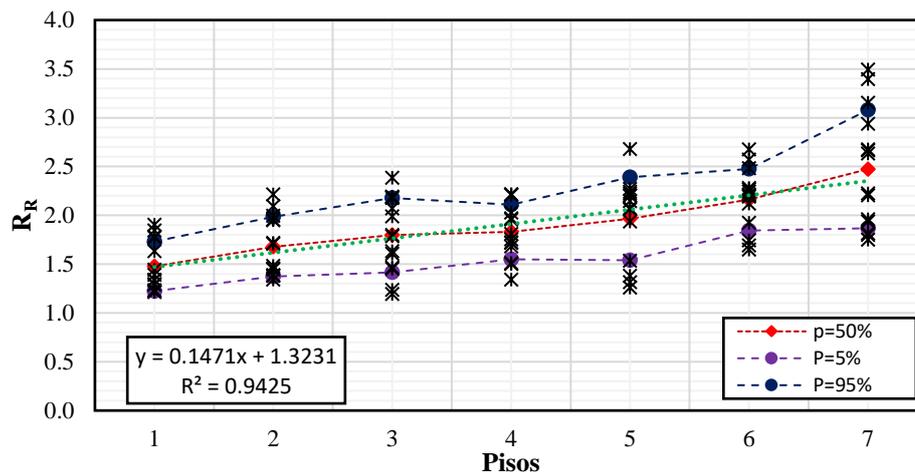


Figura 4. 25 Resultados del factor de redundancia R_R .
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.6. Factor de reducción de fuerza sísmica R

En base a los resultados correspondientes a los factores de: (a) resistencia por ductilidad “ R_μ ”, (b) sobre resistencia “ R_Ω ” y (c) redundancia “ R_R ”, se determina el producto de los ya mencionados y se obtiene el factor de reducción de fuerzas sísmicas “R”. Con este factor se logra parte del objetivo propuesto el cual consistía en pasar del espectro de respuesta sísmica elástico al espectro inelástico, tal como se especifica en el capítulo II.

Finalmente, se presenta a continuación el producto de los mismos, dando como resultado una propuesta técnica y cuantitativa del factor de reducción de las fuerzas sísmicas para el Perú en estructuras de concreto armado conformado por pórticos (vigas y columnas).

Tabla 4. 27

Resultados del factor de reducción sísmico R para el tipo de suelo: "Roca dura".

Nº	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
1	Modelo 01	1	Eje 1-I	2.82	1.38	1.63	6.33
2	Modelo 01	1	Eje 2-I	2.35	1.27	1.29	3.83
3	Modelo 01	1	Eje 3-I	2.81	1.31	1.34	4.92
4	Modelo 01	2	Eje 1-I	2.87	1.12	1.45	4.66
5	Modelo 01	2	Eje 2-I	3.34	1.15	1.48	5.69
6	Modelo 01	2	Eje 3-I	3.53	1.16	1.46	5.94
7	Modelo 01	3	Eje 1-I	3.23	1.12	1.45	5.25
8	Modelo 01	3	Eje 2-I	3.25	1.05	1.24	4.22
9	Modelo 01	3	Eje 3-I	2.94	1.05	1.19	3.69
10	Modelo 01	4	Eje 1-I	3.12	1.17	1.51	5.50
11	Modelo 01	4	Eje 2-I	3.24	1.17	1.50	5.67
12	Modelo 01	4	Eje 3-I	3.23	1.14	1.34	4.91
13	Modelo 01	5	Eje 1-I	2.86	1.12	1.26	4.02
14	Modelo 01	5	Eje 2-I	2.82	1.14	1.31	4.24
15	Modelo 01	5	Eje 3-I	2.86	1.17	1.38	4.59
16	Modelo 01	6	Eje 1-I	3.17	1.28	1.74	7.06
17	Modelo 01	6	Eje 2-I	2.83	1.18	1.69	5.65
18	Modelo 01	6	Eje 3-I	2.98	1.24	1.65	6.08
19	Modelo 01	7	Eje 1-I	3.32	1.31	1.93	8.38
20	Modelo 01	7	Eje 2-I	2.99	1.25	1.75	6.55
21	Modelo 01	7	Eje 3-I	3.06	1.29	1.81	7.15
22	Modelo 02	1	Eje 1-II	4.27	1.32	1.34	7.55
23	Modelo 02	1	Eje 2-II	4.14	1.30	1.29	6.97
24	Modelo 02	1	Eje 3-II	4.15	1.37	1.39	7.89
25	Modelo 02	1	Eje 4-II	4.43	1.39	1.44	8.87
26	Modelo 02	2	Eje 1-II	3.56	1.20	1.38	5.89
27	Modelo 02	2	Eje 2-II	3.35	1.19	1.34	5.36
28	Modelo 02	2	Eje 3-II	3.35	1.21	1.38	5.61
29	Modelo 02	2	Eje 4-II	3.27	1.21	1.38	5.48
30	Modelo 02	3	Eje 1-II	3.87	1.24	1.61	7.69
31	Modelo 02	3	Eje 2-II	3.97	1.21	1.46	7.03
32	Modelo 02	3	Eje 3-II	3.40	1.30	1.63	7.21
33	Modelo 02	3	Eje 4-II	3.46	1.38	1.80	8.61
34	Modelo 02	4	Eje 1-II	3.67	1.27	1.72	8.01
35	Modelo 02	4	Eje 2-II	3.86	1.30	1.72	8.66
36	Modelo 02	4	Eje 3-II	3.82	1.33	1.75	8.93
37	Modelo 02	4	Eje 4-II	4.09	1.41	1.81	10.47
38	Modelo 02	5	Eje 1-II	4.16	1.49	2.14	13.27
39	Modelo 02	5	Eje 2-II	4.18	1.49	2.20	13.76
40	Modelo 02	5	Eje 3-II	3.20	1.39	1.53	6.82
41	Modelo 02	5	Eje 4-II	3.71	1.51	1.94	10.86

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_μ	R_Ω	R_R	R
42	Modelo 02	6	Eje 1-II	3.63	1.28	1.92	8.91
43	Modelo 02	6	Eje 2-II	3.96	1.49	2.12	12.51
44	Modelo 02	6	Eje 3-II	3.90	1.53	2.19	13.08
45	Modelo 02	6	Eje 4-II	3.95	1.54	2.24	13.67
46	Modelo 02	7	Eje 1-II	3.30	1.23	1.80	7.27
47	Modelo 02	7	Eje 2-II	4.13	1.47	2.22	13.47
48	Modelo 02	7	Eje 3-II	3.67	1.39	1.96	9.99
49	Modelo 02	7	Eje 4-II	3.66	1.47	2.20	11.87
50	Modelo 03	1	Eje 1-III	2.26	1.30	1.21	3.55
51	Modelo 03	1	Eje 2-III	2.30	1.29	1.23	3.65
52	Modelo 03	1	Eje 3-III	2.37	1.32	1.22	3.82
53	Modelo 03	2	Eje 1-III	3.21	1.36	1.72	7.50
54	Modelo 03	2	Eje 2-III	3.71	1.56	1.96	11.30
55	Modelo 03	2	Eje 3-III	3.72	1.60	1.95	11.62
56	Modelo 03	3	Eje 1-III	3.23	1.27	1.79	7.34
57	Modelo 03	3	Eje 2-III	3.96	1.53	2.18	13.20
58	Modelo 03	3	Eje 3-III	3.96	1.53	2.18	13.21
59	Modelo 03	4	Eje 1-III	2.93	1.24	1.68	6.08
60	Modelo 03	4	Eje 2-III	3.89	1.55	1.97	11.88
61	Modelo 03	4	Eje 3-III	3.37	1.62	1.96	10.67
62	Modelo 03	5	Eje 1-III	4.31	1.65	2.22	15.79
63	Modelo 03	5	Eje 2-III	4.26	1.64	2.20	15.32
64	Modelo 03	5	Eje 3-III	4.11	1.60	2.07	13.60
65	Modelo 03	6	Eje 1-III	4.26	1.74	2.28	16.82
66	Modelo 03	6	Eje 2-III	3.92	1.77	2.20	15.29
67	Modelo 03	6	Eje 3-III	4.31	1.74	2.27	16.95
68	Modelo 03	7	Eje 1-III	4.48	1.87	2.63	22.08
69	Modelo 03	7	Eje 2-III	4.46	1.85	2.66	22.04
70	Modelo 03	7	Eje 3-III	4.46	1.89	2.67	22.52
71	Modelo 03	1	Eje A-III	3.65	2.09	1.78	13.57
72	Modelo 03	1	Eje B-III	3.63	2.16	1.77	13.89
73	Modelo 03	1	Eje C-III	3.77	2.21	1.84	15.30
74	Modelo 03	1	Eje D-III	3.93	2.28	1.90	17.06
75	Modelo 03	2	Eje A-III	3.81	1.76	1.99	13.34
76	Modelo 03	2	Eje B-III	4.14	1.84	2.21	16.86
77	Modelo 03	2	Eje C-III	3.68	1.78	1.70	11.17
78	Modelo 03	2	Eje D-III	4.07	1.93	2.09	16.43
79	Modelo 03	3	Eje A-III	3.96	1.37	1.99	10.80
80	Modelo 03	3	Eje B-III	4.34	1.45	2.07	13.00
81	Modelo 03	3	Eje C-III	3.97	1.59	2.19	13.81
82	Modelo 03	3	Eje D-III	4.21	1.69	2.38	16.99
83	Modelo 03	4	Eje A-III	3.85	1.50	2.21	12.75
84	Modelo 03	4	Eje B-III	3.88	1.59	2.03	12.50
85	Modelo 03	4	Eje C-III	4.16	1.63	2.21	15.02
86	Modelo 03	4	Eje D-III	4.16	1.63	2.21	15.01
87	Modelo 03	5	Eje A-III	4.27	1.69	2.68	19.39
88	Modelo 03	5	Eje B-III	3.98	1.50	2.27	13.53
89	Modelo 03	5	Eje C-III	4.03	1.75	2.24	15.85
90	Modelo 03	5	Eje D-III	3.91	1.74	2.06	14.05
91	Modelo 03	6	Eje A-III	3.85	1.52	2.21	12.90
92	Modelo 03	6	Eje B-III	4.24	1.69	2.48	17.74
93	Modelo 03	6	Eje C-III	4.41	1.74	2.57	19.72

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
94	Modelo 03	6	Eje D-III	4.59	1.82	2.67	22.34
95	Modelo 03	7	Eje A-III	4.55	1.74	3.15	24.89
96	Modelo 03	7	Eje B-III	4.84	1.77	3.39	29.12
97	Modelo 03	7	Eje C-III	4.97	1.85	3.49	32.14
98	Modelo 03	7	Eje D-III	4.49	1.88	2.93	24.80

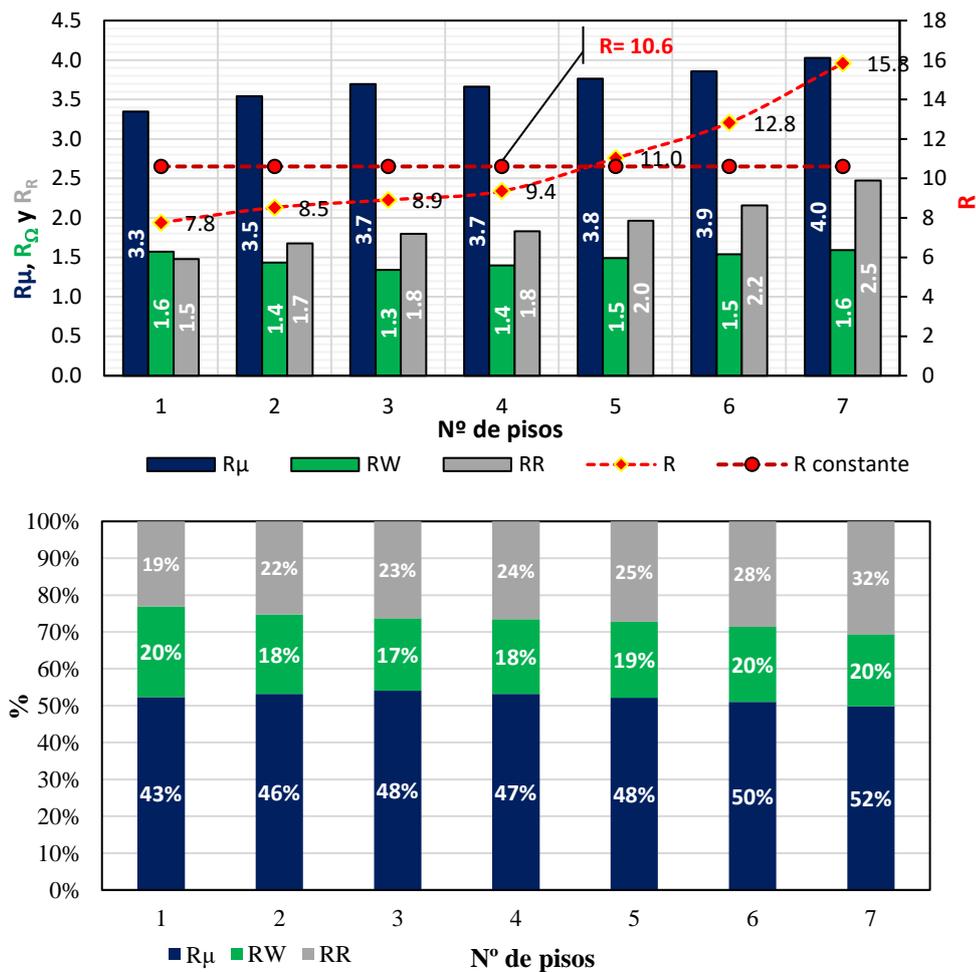


Figura 4. 26 Resultados del factor de reducción sísmico R para el tipo de suelo: “Roca dura”.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4. 27 y Figura 4. 25 se presentan la variación del factor de resistencia “R” en función a los niveles de piso, en la que se asume el tipo de suelo S_0 denominado “Roca dura” para las condiciones en la base.

Se aprecia lo siguiente, a medida que aumenta los niveles de piso las ordenadas en el factor de reducción sísmico también crecen; experimentando un crecimiento global de 2.04 (del primer al séptimo piso) y un crecimiento promedio 1.13. Sin embargo, si se considera un factor de reducción “R” constante, este es establecido por un $R=10.6^{21}$. Sumado a lo anterior, se ha determinado que el porcentaje de incidencia con respecto al factor de reducción “R”, de los tres componentes mencionados en la metodología es el siguiente: el factor de reducción por ductilidad es del 48% al factor de sobre resistencia le corresponde un 19% y al factor de redundancia un 25%.

Tabla 4. 28

Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Roca o suelos muy rígidos”.

Nº	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
1	Modelo 01	1	Eje 1-I	2.61	1.38	1.63	5.86
2	Modelo 01	1	Eje 2-I	2.19	1.27	1.29	3.57
3	Modelo 01	1	Eje 3-I	2.61	1.31	1.34	4.55
4	Modelo 01	2	Eje 1-I	2.66	1.12	1.45	4.32
5	Modelo 01	2	Eje 2-I	3.07	1.15	1.48	5.24
6	Modelo 01	2	Eje 3-I	3.24	1.16	1.46	5.46
7	Modelo 01	3	Eje 1-I	2.98	1.12	1.45	4.85
8	Modelo 01	3	Eje 2-I	3.00	1.05	1.24	3.90
9	Modelo 01	3	Eje 3-I	2.73	1.05	1.19	3.43
10	Modelo 01	4	Eje 1-I	2.89	1.17	1.51	5.09
11	Modelo 01	4	Eje 2-I	3.00	1.17	1.50	5.24
12	Modelo 01	4	Eje 3-I	2.98	1.14	1.34	4.54
13	Modelo 01	5	Eje 1-I	2.66	1.12	1.26	3.74
14	Modelo 01	5	Eje 2-I	2.63	1.14	1.31	3.94
15	Modelo 01	5	Eje 3-I	2.66	1.17	1.38	4.27
16	Modelo 01	6	Eje 1-I	2.94	1.28	1.74	6.53
17	Modelo 01	6	Eje 2-I	2.63	1.18	1.69	5.26
18	Modelo 01	6	Eje 3-I	2.76	1.24	1.65	5.64
19	Modelo 01	7	Eje 1-I	3.07	1.31	1.93	7.75
20	Modelo 01	7	Eje 2-I	2.78	1.25	1.75	6.08
21	Modelo 01	7	Eje 3-I	2.84	1.29	1.81	6.63
22	Modelo 02	1	Eje 1-II	3.89	1.32	1.34	6.89
23	Modelo 02	1	Eje 2-II	3.78	1.30	1.29	6.36
24	Modelo 02	1	Eje 3-II	3.79	1.37	1.39	7.20
25	Modelo 02	1	Eje 4-II	4.04	1.39	1.44	8.08
26	Modelo 02	2	Eje 1-II	3.27	1.20	1.38	5.41
27	Modelo 02	2	Eje 2-II	3.08	1.19	1.34	4.94
28	Modelo 02	2	Eje 3-II	3.08	1.21	1.38	5.16
29	Modelo 02	2	Eje 4-II	3.01	1.21	1.38	5.05
30	Modelo 02	3	Eje 1-II	3.54	1.24	1.61	7.05

²¹ El factor de reducción sísmico para el sistema estructural de pórticos de concreto armado, establecido por la E.030 es de 8. Por lo que este valor es 1.33 veces por encima del reglamento.

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_μ	R_Ω	R_R	R
31	Modelo 02	3	Eje 2-II	3.63	1.21	1.46	6.43
32	Modelo 02	3	Eje 3-II	3.13	1.30	1.63	6.65
33	Modelo 02	3	Eje 4-II	3.19	1.38	1.80	7.93
34	Modelo 02	4	Eje 1-II	3.38	1.27	1.72	7.36
35	Modelo 02	4	Eje 2-II	3.54	1.30	1.72	7.94
36	Modelo 02	4	Eje 3-II	3.51	1.33	1.75	8.19
37	Modelo 02	4	Eje 4-II	3.74	1.41	1.81	9.58
38	Modelo 02	5	Eje 1-II	3.81	1.49	2.14	12.14
39	Modelo 02	5	Eje 2-II	3.83	1.49	2.20	12.58
40	Modelo 02	5	Eje 3-II	2.96	1.39	1.53	6.31
41	Modelo 02	5	Eje 4-II	3.41	1.51	1.94	9.99
42	Modelo 02	6	Eje 1-II	3.34	1.28	1.92	8.20
43	Modelo 02	6	Eje 2-II	3.63	1.49	2.12	11.48
44	Modelo 02	6	Eje 3-II	3.58	1.53	2.19	12.01
45	Modelo 02	6	Eje 4-II	3.62	1.54	2.24	12.54
46	Modelo 02	7	Eje 1-II	3.05	1.23	1.80	6.72
47	Modelo 02	7	Eje 2-II	3.78	1.47	2.22	12.34
48	Modelo 02	7	Eje 3-II	3.38	1.39	1.96	9.20
49	Modelo 02	7	Eje 4-II	3.37	1.47	2.20	10.93
50	Modelo 03	1	Eje 1-III	2.10	1.30	1.21	3.32
51	Modelo 03	1	Eje 2-III	2.14	1.29	1.23	3.41
52	Modelo 03	1	Eje 3-III	2.21	1.32	1.22	3.56
53	Modelo 03	2	Eje 1-III	2.96	1.36	1.72	6.91
54	Modelo 03	2	Eje 2-III	3.40	1.56	1.96	10.36
55	Modelo 03	2	Eje 3-III	3.41	1.60	1.95	10.65
56	Modelo 03	3	Eje 1-III	2.98	1.27	1.79	6.77
57	Modelo 03	3	Eje 2-III	3.63	1.53	2.18	12.08
58	Modelo 03	3	Eje 3-III	3.63	1.53	2.18	12.09
59	Modelo 03	4	Eje 1-III	2.72	1.24	1.68	5.64
60	Modelo 03	4	Eje 2-III	3.56	1.55	1.97	10.89
61	Modelo 03	4	Eje 3-III	3.11	1.62	1.96	9.84
62	Modelo 03	5	Eje 1-III	3.94	1.65	2.22	14.43
63	Modelo 03	5	Eje 2-III	3.89	1.64	2.20	14.00
64	Modelo 03	5	Eje 3-III	3.76	1.60	2.07	12.45
65	Modelo 03	6	Eje 1-III	3.89	1.74	2.28	15.39
66	Modelo 03	6	Eje 2-III	3.60	1.77	2.20	14.03
67	Modelo 03	6	Eje 3-III	3.94	1.74	2.27	15.49
68	Modelo 03	7	Eje 1-III	4.09	1.87	2.63	20.16
69	Modelo 03	7	Eje 2-III	4.08	1.85	2.66	20.13
70	Modelo 03	7	Eje 3-III	4.07	1.89	2.67	20.56
71	Modelo 03	1	Eje A-III	3.34	2.09	1.78	12.43
72	Modelo 03	1	Eje B-III	3.33	2.16	1.77	12.73
73	Modelo 03	1	Eje C-III	3.45	2.21	1.84	14.00
74	Modelo 03	1	Eje D-III	3.59	2.28	1.90	15.60
75	Modelo 03	2	Eje A-III	3.48	1.76	1.99	12.22
76	Modelo 03	2	Eje B-III	3.78	1.84	2.21	15.39
77	Modelo 03	2	Eje C-III	3.38	1.78	1.70	10.24
78	Modelo 03	2	Eje D-III	3.72	1.93	2.09	15.01
79	Modelo 03	3	Eje A-III	3.63	1.37	1.99	9.89
80	Modelo 03	3	Eje B-III	3.96	1.45	2.07	11.86
81	Modelo 03	3	Eje C-III	3.63	1.59	2.19	12.64
82	Modelo 03	3	Eje D-III	3.84	1.69	2.38	15.51

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
83	Modelo 03	4	Eje A-III	3.53	1.50	2.21	11.69
84	Modelo 03	4	Eje B-III	3.56	1.59	2.03	11.46
85	Modelo 03	4	Eje C-III	3.81	1.63	2.21	13.73
86	Modelo 03	4	Eje D-III	3.81	1.63	2.21	13.72
87	Modelo 03	5	Eje A-III	3.91	1.69	2.68	17.72
88	Modelo 03	5	Eje B-III	3.64	1.50	2.27	12.40
89	Modelo 03	5	Eje C-III	3.69	1.75	2.24	14.52
90	Modelo 03	5	Eje D-III	3.59	1.74	2.06	12.89
91	Modelo 03	6	Eje A-III	3.54	1.52	2.21	11.85
92	Modelo 03	6	Eje B-III	3.88	1.69	2.48	16.23
93	Modelo 03	6	Eje C-III	4.03	1.74	2.57	18.01
94	Modelo 03	6	Eje D-III	4.19	1.82	2.67	20.37
95	Modelo 03	7	Eje A-III	4.15	1.74	3.15	22.71
96	Modelo 03	7	Eje B-III	4.40	1.77	3.39	26.50
97	Modelo 03	7	Eje C-III	4.52	1.85	3.49	29.22
98	Modelo 03	7	Eje D-III	4.10	1.88	2.93	22.64

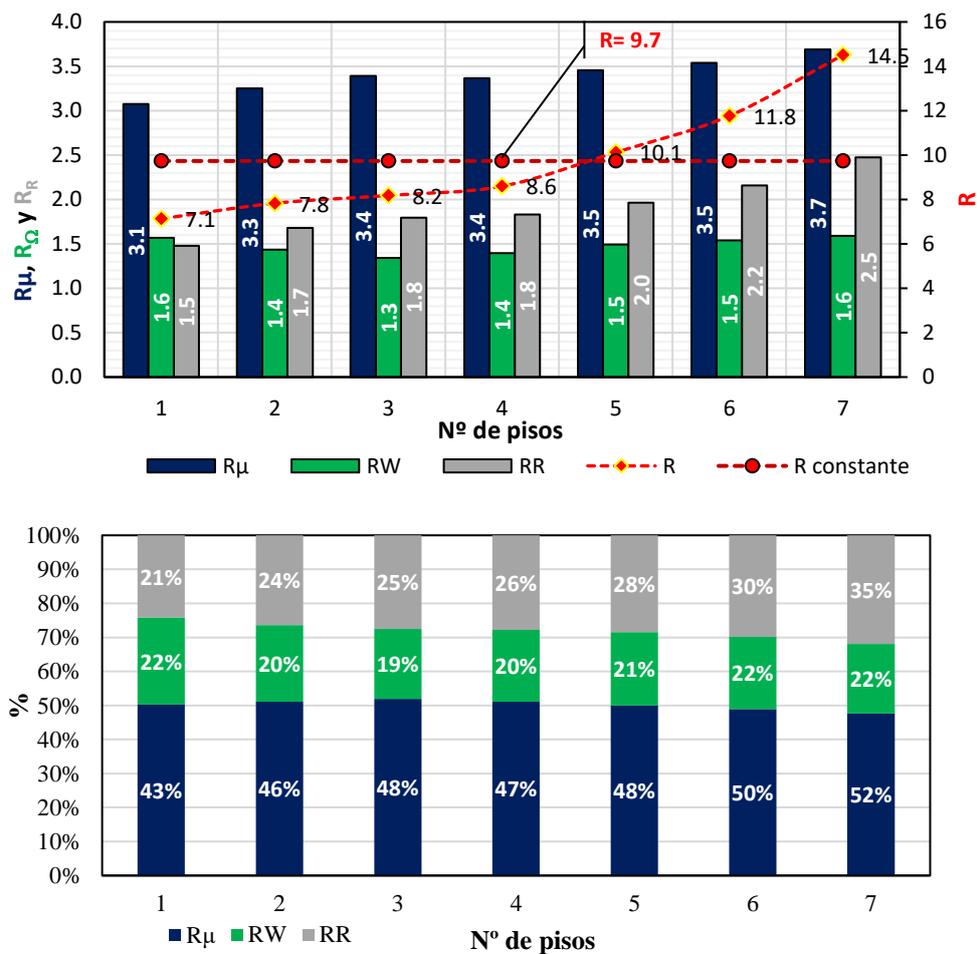


Figura 4. 27 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Roca o suelos muy rígidos”.

Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto a la Tabla 4. 28 y Figura 4. 27, también se presentan la variación del factor de resistencia “R” en función a los niveles de piso, con la diferencia que para este modelo se asume el tipo de suelo es S1 denominado “Roca o suelos muy rígidos” para las condiciones en la base.

Se tiene el mismo patrón de crecimiento que en la Figura 4. 25, con la diferencia en que este último experimenta un crecimiento global de 2.03 (del primer al séptimo piso) y un crecimiento promedio 1.13. Sin embargo, si se considera un factor de reducción “R” constante entonces R equivale a 9.7^{22} . Sumado a lo anterior, se ha determinado que el porcentaje de incidencia con respecto al factor de reducción “R”, de los tres componentes mencionados en la metodología es el siguiente: el factor de reducción por ductilidad es del 48% al factor de sobre resistencia le corresponde un 21% y al factor de redundancia un 27%.

Tabla 4. 29

Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “suelos intermedios”.

Nº	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
1	Modelo 01	1	Eje 1-I	2.54	1.38	1.63	5.70
2	Modelo 01	1	Eje 2-I	2.17	1.27	1.29	3.54
3	Modelo 01	1	Eje 3-I	2.53	1.31	1.34	4.43
4	Modelo 01	2	Eje 1-I	2.61	1.12	1.45	4.23
5	Modelo 01	2	Eje 2-I	2.97	1.15	1.48	5.06
6	Modelo 01	2	Eje 3-I	3.12	1.16	1.46	5.24
7	Modelo 01	3	Eje 1-I	2.91	1.12	1.45	4.74
8	Modelo 01	3	Eje 2-I	2.93	1.05	1.24	3.81
9	Modelo 01	3	Eje 3-I	2.69	1.05	1.19	3.38
10	Modelo 01	4	Eje 1-I	2.84	1.17	1.51	5.01
11	Modelo 01	4	Eje 2-I	2.94	1.17	1.50	5.13
12	Modelo 01	4	Eje 3-I	2.92	1.14	1.34	4.45
13	Modelo 01	5	Eje 1-I	2.65	1.12	1.26	3.72
14	Modelo 01	5	Eje 2-I	2.62	1.14	1.31	3.93
15	Modelo 01	5	Eje 3-I	2.65	1.17	1.38	4.25
16	Modelo 01	6	Eje 1-I	2.90	1.28	1.74	6.46
17	Modelo 01	6	Eje 2-I	2.63	1.18	1.69	5.25
18	Modelo 01	6	Eje 3-I	2.75	1.24	1.65	5.61
19	Modelo 01	7	Eje 1-I	3.03	1.31	1.93	7.66
20	Modelo 01	7	Eje 2-I	2.77	1.25	1.75	6.06
21	Modelo 01	7	Eje 3-I	2.82	1.29	1.81	6.60
22	Modelo 02	1	Eje 1-II	3.61	1.32	1.34	6.40
23	Modelo 02	1	Eje 2-II	3.52	1.30	1.29	5.93
24	Modelo 02	1	Eje 3-II	3.53	1.37	1.39	6.71

²² El factor de reducción sísmico para el sistema estructural de pórticos de concreto armado, establecido por la E.030 es de 8. Por lo que este valor es 1.21 veces por encima del reglamento.

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_μ	R_Ω	R_R	R
25	Modelo 02	1	Eje 4-II	3.73	1.39	1.44	7.47
26	Modelo 02	2	Eje 1-II	3.13	1.20	1.38	5.18
27	Modelo 02	2	Eje 2-II	2.97	1.19	1.34	4.75
28	Modelo 02	2	Eje 3-II	2.97	1.21	1.38	4.97
29	Modelo 02	2	Eje 4-II	2.91	1.21	1.38	4.88
30	Modelo 02	3	Eje 1-II	3.40	1.24	1.61	6.77
31	Modelo 02	3	Eje 2-II	3.48	1.21	1.46	6.16
32	Modelo 02	3	Eje 3-II	3.04	1.30	1.63	6.46
33	Modelo 02	3	Eje 4-II	3.09	1.38	1.80	7.69
34	Modelo 02	4	Eje 1-II	3.28	1.27	1.72	7.15
35	Modelo 02	4	Eje 2-II	3.42	1.30	1.72	7.67
36	Modelo 02	4	Eje 3-II	3.39	1.33	1.75	7.92
37	Modelo 02	4	Eje 4-II	3.60	1.41	1.81	9.21
38	Modelo 02	5	Eje 1-II	3.67	1.49	2.14	11.69
39	Modelo 02	5	Eje 2-II	3.69	1.49	2.20	12.12
40	Modelo 02	5	Eje 3-II	2.92	1.39	1.53	6.22
41	Modelo 02	5	Eje 4-II	3.32	1.51	1.94	9.72
42	Modelo 02	6	Eje 1-II	3.27	1.28	1.92	8.01
43	Modelo 02	6	Eje 2-II	3.52	1.49	2.12	11.13
44	Modelo 02	6	Eje 3-II	3.48	1.53	2.19	11.66
45	Modelo 02	6	Eje 4-II	3.51	1.54	2.24	12.17
46	Modelo 02	7	Eje 1-II	3.02	1.23	1.80	6.65
47	Modelo 02	7	Eje 2-II	3.67	1.47	2.22	11.98
48	Modelo 02	7	Eje 3-II	3.31	1.39	1.96	9.02
49	Modelo 02	7	Eje 4-II	3.31	1.47	2.20	10.72
50	Modelo 03	1	Eje 1-III	2.08	1.30	1.21	3.27
51	Modelo 03	1	Eje 2-III	2.11	1.29	1.23	3.36
52	Modelo 03	1	Eje 3-III	2.17	1.32	1.22	3.50
53	Modelo 03	2	Eje 1-III	2.85	1.36	1.72	6.66
54	Modelo 03	2	Eje 2-III	3.23	1.56	1.96	9.83
55	Modelo 03	2	Eje 3-III	3.23	1.60	1.95	10.11
56	Modelo 03	3	Eje 1-III	2.90	1.27	1.79	6.59
57	Modelo 03	3	Eje 2-III	3.46	1.53	2.18	11.52
58	Modelo 03	3	Eje 3-III	3.46	1.53	2.18	11.53
59	Modelo 03	4	Eje 1-III	2.68	1.24	1.68	5.58
60	Modelo 03	4	Eje 2-III	3.43	1.55	1.97	10.49
61	Modelo 03	4	Eje 3-III	3.03	1.62	1.96	9.60
62	Modelo 03	5	Eje 1-III	3.78	1.65	2.22	13.84
63	Modelo 03	5	Eje 2-III	3.74	1.64	2.20	13.45
64	Modelo 03	5	Eje 3-III	3.62	1.60	2.07	12.00
65	Modelo 03	6	Eje 1-III	3.76	1.74	2.28	14.85
66	Modelo 03	6	Eje 2-III	3.50	1.77	2.20	13.64
67	Modelo 03	6	Eje 3-III	3.80	1.74	2.27	14.94
68	Modelo 03	7	Eje 1-III	3.94	1.87	2.63	19.41
69	Modelo 03	7	Eje 2-III	3.93	1.85	2.66	19.39
70	Modelo 03	7	Eje 3-III	3.92	1.89	2.67	19.81
71	Modelo 03	1	Eje A-III	3.12	2.09	1.78	11.60
72	Modelo 03	1	Eje B-III	3.11	2.16	1.77	11.89
73	Modelo 03	1	Eje C-III	3.20	2.21	1.84	13.01
74	Modelo 03	1	Eje D-III	3.32	2.28	1.90	14.41
75	Modelo 03	2	Eje A-III	3.30	1.76	1.99	11.56
76	Modelo 03	2	Eje B-III	3.54	1.84	2.21	14.43

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
77	Modelo 03	2	Eje C-III	3.21	1.78	1.70	9.73
78	Modelo 03	2	Eje D-III	3.50	1.93	2.09	14.10
79	Modelo 03	3	Eje A-III	3.46	1.37	1.99	9.43
80	Modelo 03	3	Eje B-III	3.74	1.45	2.07	11.21
81	Modelo 03	3	Eje C-III	3.46	1.59	2.19	12.05
82	Modelo 03	3	Eje D-III	3.64	1.69	2.38	14.70
83	Modelo 03	4	Eje A-III	3.40	1.50	2.21	11.27
84	Modelo 03	4	Eje B-III	3.43	1.59	2.03	11.03
85	Modelo 03	4	Eje C-III	3.64	1.63	2.21	13.14
86	Modelo 03	4	Eje D-III	3.64	1.63	2.21	13.13
87	Modelo 03	5	Eje A-III	3.75	1.69	2.68	17.01
88	Modelo 03	5	Eje B-III	3.52	1.50	2.27	11.98
89	Modelo 03	5	Eje C-III	3.57	1.75	2.24	14.02
90	Modelo 03	5	Eje D-III	3.47	1.74	2.06	12.47
91	Modelo 03	6	Eje A-III	3.44	1.52	2.21	11.54
92	Modelo 03	6	Eje B-III	3.74	1.69	2.48	15.67
93	Modelo 03	6	Eje C-III	3.88	1.74	2.57	17.33
94	Modelo 03	6	Eje D-III	4.02	1.82	2.67	19.54
95	Modelo 03	7	Eje A-III	3.99	1.74	3.15	21.85
96	Modelo 03	7	Eje B-III	4.21	1.77	3.39	25.36
97	Modelo 03	7	Eje C-III	4.32	1.85	3.49	27.89
98	Modelo 03	7	Eje D-III	3.95	1.88	2.93	21.80

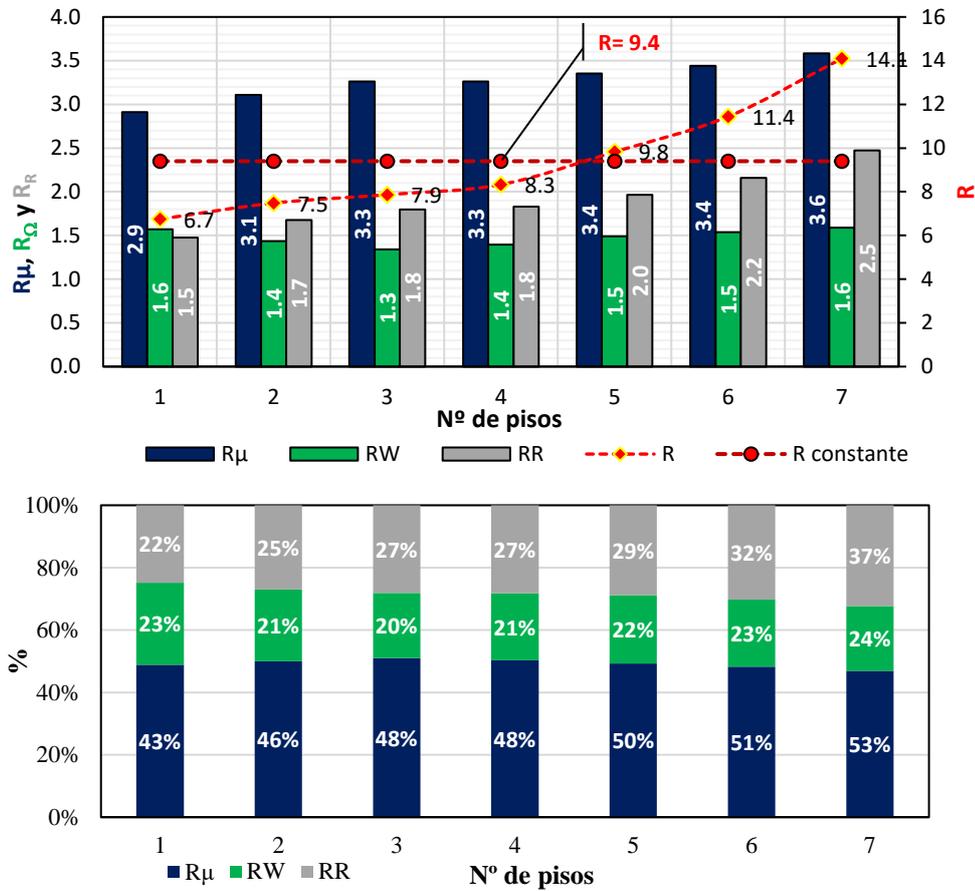


Figura 4. 28 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “suelos intermedios”.

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 4. 29 y Figura 4. 28, presentan la misma variación del factor de resistencia “R” que, en los modelos anteriores, con la diferencia que para este modelo se asume el tipo de suelo es S2 denominado “Suelos intermedios” para las condiciones en la base.

Se tiene el mismo patrón de crecimiento que en las figuras 4.25 y 4.26, con la diferencia en que este modelo experimenta un crecimiento global de 2.09 (del primer al séptimo piso) y un crecimiento promedio 1.13. Sin embargo, si se considera un factor de reducción “R” constante entonces $R=9.4^{23}$. Sumado a lo anterior, se ha determinado que el porcentaje de incidencia con respecto al factor

²³ El factor de reducción sísmico para el sistema estructural de pórticos de concreto armado, establecido por la E.030 es de 8. Por lo que este valor es 1.17 veces por encima del reglamento.

de reducción “R”, de los tres componentes mencionados en la metodología, es el siguiente: el factor de reducción por ductilidad es del 49% al factor de sobre resistencia le corresponde un 22% y al factor de redundancia un 28%.

Tabla 4. 30

Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Suelos blandos”.

Nº	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
1	Modelo 01	1	Eje 1-I	2.05	1.38	1.63	4.60
2	Modelo 01	1	Eje 2-I	1.80	1.27	1.29	2.93
3	Modelo 01	1	Eje 3-I	2.05	1.31	1.34	3.58
4	Modelo 01	2	Eje 1-I	2.17	1.12	1.45	3.52
5	Modelo 01	2	Eje 2-I	2.42	1.15	1.48	4.13
6	Modelo 01	2	Eje 3-I	2.53	1.16	1.46	4.25
7	Modelo 01	3	Eje 1-I	2.45	1.12	1.45	3.98
8	Modelo 01	3	Eje 2-I	2.46	1.05	1.24	3.20
9	Modelo 01	3	Eje 3-I	2.28	1.05	1.19	2.86
10	Modelo 01	4	Eje 1-I	2.40	1.17	1.51	4.24
11	Modelo 01	4	Eje 2-I	2.48	1.17	1.50	4.34
12	Modelo 01	4	Eje 3-I	2.47	1.14	1.34	3.76
13	Modelo 01	5	Eje 1-I	2.29	1.12	1.26	3.21
14	Modelo 01	5	Eje 2-I	2.26	1.14	1.31	3.39
15	Modelo 01	5	Eje 3-I	2.28	1.17	1.38	3.67
16	Modelo 01	6	Eje 1-I	2.50	1.28	1.74	5.57
17	Modelo 01	6	Eje 2-I	2.28	1.18	1.69	4.56
18	Modelo 01	6	Eje 3-I	2.38	1.24	1.65	4.86
19	Modelo 01	7	Eje 1-I	2.62	1.31	1.93	6.63
20	Modelo 01	7	Eje 2-I	2.41	1.25	1.75	5.28
21	Modelo 01	7	Eje 3-I	2.46	1.29	1.81	5.74
22	Modelo 02	1	Eje 1-II	2.72	1.32	1.34	4.81
23	Modelo 02	1	Eje 2-II	2.66	1.30	1.29	4.49
24	Modelo 02	1	Eje 3-II	2.67	1.37	1.39	5.08
25	Modelo 02	1	Eje 4-II	2.78	1.39	1.44	5.56
26	Modelo 02	2	Eje 1-II	2.51	1.20	1.38	4.15
27	Modelo 02	2	Eje 2-II	2.40	1.19	1.34	3.84
28	Modelo 02	2	Eje 3-II	2.40	1.21	1.38	4.02
29	Modelo 02	2	Eje 4-II	2.36	1.21	1.38	3.96
30	Modelo 02	3	Eje 1-II	2.79	1.24	1.61	5.55
31	Modelo 02	3	Eje 2-II	2.85	1.21	1.46	5.04
32	Modelo 02	3	Eje 3-II	2.53	1.30	1.63	5.37
33	Modelo 02	3	Eje 4-II	2.56	1.38	1.80	6.38
34	Modelo 02	4	Eje 1-II	2.75	1.27	1.72	5.99
35	Modelo 02	4	Eje 2-II	2.86	1.30	1.72	6.40
36	Modelo 02	4	Eje 3-II	2.84	1.33	1.75	6.62
37	Modelo 02	4	Eje 4-II	2.99	1.41	1.81	7.65
38	Modelo 02	5	Eje 1-II	3.08	1.49	2.14	9.81
39	Modelo 02	5	Eje 2-II	3.09	1.49	2.20	10.17
40	Modelo 02	5	Eje 3-II	2.50	1.39	1.53	5.32
41	Modelo 02	5	Eje 4-II	2.81	1.51	1.94	8.23
42	Modelo 02	6	Eje 1-II	2.79	1.28	1.92	6.84
43	Modelo 02	6	Eje 2-II	2.99	1.49	2.12	9.44

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_μ	R_Ω	R_R	R
44	Modelo 02	6	Eje 3-II	2.95	1.53	2.19	9.90
45	Modelo 02	6	Eje 4-II	2.98	1.54	2.24	10.33
46	Modelo 02	7	Eje 1-II	2.62	1.23	1.80	5.77
47	Modelo 02	7	Eje 2-II	3.14	1.47	2.22	10.25
48	Modelo 02	7	Eje 3-II	2.85	1.39	1.96	7.78
49	Modelo 02	7	Eje 4-II	2.85	1.47	2.20	9.24
50	Modelo 03	1	Eje 1-III	1.69	1.30	1.21	2.67
51	Modelo 03	1	Eje 2-III	1.72	1.29	1.23	2.73
52	Modelo 03	1	Eje 3-III	1.76	1.32	1.22	2.83
53	Modelo 03	2	Eje 1-III	2.29	1.36	1.72	5.36
54	Modelo 03	2	Eje 2-III	2.54	1.56	1.96	7.74
55	Modelo 03	2	Eje 3-III	2.54	1.60	1.95	7.96
56	Modelo 03	3	Eje 1-III	2.40	1.27	1.79	5.45
57	Modelo 03	3	Eje 2-III	2.80	1.53	2.18	9.32
58	Modelo 03	3	Eje 3-III	2.80	1.53	2.18	9.32
59	Modelo 03	4	Eje 1-III	2.28	1.24	1.68	4.74
60	Modelo 03	4	Eje 2-III	2.84	1.55	1.97	8.69
61	Modelo 03	4	Eje 3-III	2.55	1.62	1.96	8.06
62	Modelo 03	5	Eje 1-III	3.16	1.65	2.22	11.56
63	Modelo 03	5	Eje 2-III	3.13	1.64	2.20	11.24
64	Modelo 03	5	Eje 3-III	3.04	1.60	2.07	10.06
65	Modelo 03	6	Eje 1-III	3.18	1.74	2.28	12.57
66	Modelo 03	6	Eje 2-III	2.98	1.77	2.20	11.61
67	Modelo 03	6	Eje 3-III	3.21	1.74	2.27	12.64
68	Modelo 03	7	Eje 1-III	3.34	1.87	2.63	16.47
69	Modelo 03	7	Eje 2-III	3.33	1.85	2.66	16.46
70	Modelo 03	7	Eje 3-III	3.33	1.89	2.67	16.82
71	Modelo 03	1	Eje A-III	2.31	2.09	1.78	8.60
72	Modelo 03	1	Eje B-III	2.31	2.16	1.77	8.82
73	Modelo 03	1	Eje C-III	2.35	2.21	1.84	9.55
74	Modelo 03	1	Eje D-III	2.40	2.28	1.90	10.43
75	Modelo 03	2	Eje A-III	2.59	1.76	1.99	9.07
76	Modelo 03	2	Eje B-III	2.74	1.84	2.21	11.16
77	Modelo 03	2	Eje C-III	2.53	1.78	1.70	7.67
78	Modelo 03	2	Eje D-III	2.71	1.93	2.09	10.93
79	Modelo 03	3	Eje A-III	2.80	1.37	1.99	7.62
80	Modelo 03	3	Eje B-III	2.99	1.45	2.07	8.96
81	Modelo 03	3	Eje C-III	2.80	1.59	2.19	9.74
82	Modelo 03	3	Eje D-III	2.92	1.69	2.38	11.80
83	Modelo 03	4	Eje A-III	2.82	1.50	2.21	9.34
84	Modelo 03	4	Eje B-III	2.84	1.59	2.03	9.14
85	Modelo 03	4	Eje C-III	3.00	1.63	2.21	10.82
86	Modelo 03	4	Eje D-III	3.00	1.63	2.21	10.81
87	Modelo 03	5	Eje A-III	3.13	1.69	2.68	14.22
88	Modelo 03	5	Eje B-III	2.96	1.50	2.27	10.07
89	Modelo 03	5	Eje C-III	2.99	1.75	2.24	11.77
90	Modelo 03	5	Eje D-III	2.92	1.74	2.06	10.50
91	Modelo 03	6	Eje A-III	2.93	1.52	2.21	9.84
92	Modelo 03	6	Eje B-III	3.17	1.69	2.48	13.27
93	Modelo 03	6	Eje C-III	3.28	1.74	2.57	14.63
94	Modelo 03	6	Eje D-III	3.38	1.82	2.67	16.45
95	Modelo 03	7	Eje A-III	3.38	1.74	3.15	18.52

N°	Modelo en planta	Niveles	Pórtico	R_{μ}	R_{Ω}	R_R	R
96	Modelo 03	7	Eje B-III	3.56	1.77	3.39	21.41
97	Modelo 03	7	Eje C-III	3.64	1.85	3.49	23.51
98	Modelo 03	7	Eje D-III	3.35	1.88	2.93	18.50

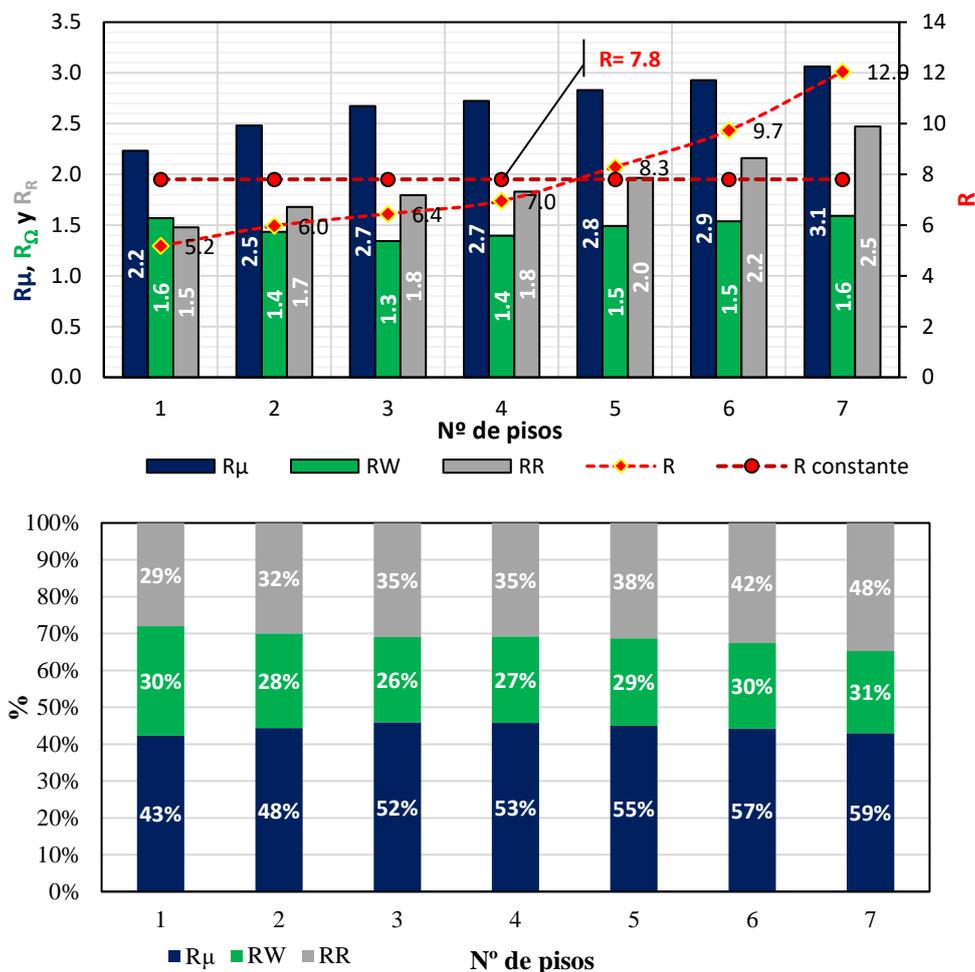


Figura 4. 29 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Suelos blandos”. Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 4. 30 y la Figura 4. 28, presentan un modelo para determinar el factor de resistencia “R” para el tipo de suelo es S3 denominado “Suelos blandos” para las condiciones en la base.

Se tiene el mismo patrón de crecimiento que en las figuras 4.25, 4.26 y 4.27, con la diferencia en que este modelo experimenta un crecimiento global de 2.33 (del primer al séptimo piso) y un crecimiento promedio 1.15. Sin embargo, si se

considera un factor de reducción “R” constante, este es establecido por un $R=7.8^{24}$. Sumado a lo anterior, se ha determinado que el porcentaje de incidencia con respecto al factor de reducción “R”, de los tres componentes mencionados en la metodología, es el siguiente: el factor de reducción por ductilidad es del 52% al factor de sobre resistencia le corresponde un 29% y al factor de redundancia un 37%.

Para finalizar se determina la incidencia de los factores de ductilidad, sobre resistencia y redundancia para la obtención del factor de reducción sísmico. La figura siguiente muestra los resultados promedio, en donde se observa que la condición de ductilidad en el desempeño sismorresistente es la más importante:

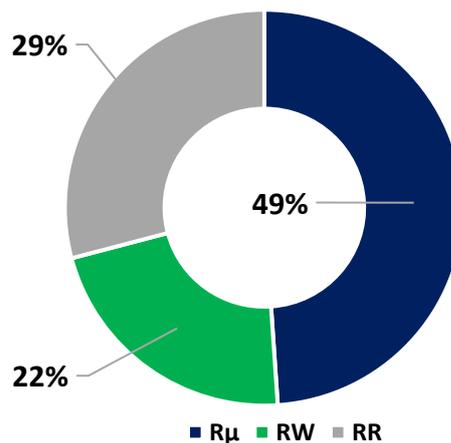


Figura 4. 30 Incidencia de los factores de ductilidad, sobre resistencia y redundancia para la obtención del factor de reducción sísmico R.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Comprobación de hipótesis

En cuanto a las hipótesis específicas:

Como hipótesis específica 01, se había planteado:

²⁴ El factor de reducción sísmico para el sistema estructural de pórticos de concreto armado, establecido por la E.030 es de 8. Por lo que este valor es 2.46% por debajo del reglamento.

“El factor de reducción R se obtendrá al activar tres recursos esenciales, la ductilidad (R_{μ}), la sobre-resistencia (R_{Ω}) y la redundancia (R_R)”.

Al respecto debemos mencionar lo siguiente:

- Según el estudio de ATC – 19 (1995) el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) establecido en las normativas es igual al producto del factor de reducción de resistencia por ductilidad R_{μ} , por el factor de sobre resistencia R_{Ω} y por el factor de Redundancia RR . Sumado a lo anterior en el estudio “Factor de reducción de las fuerzas sísmicas en edificios de hormigón armado sin muros de corte” elaborado por R. Aguilar (2007) el autor también llega a la misma conclusión. Por otra parte, la norma E.030 no describe la metodología para el cálculo de dicho factor en análisis.
- Actualmente la norma E.030, presenta el cambio para el análisis de un espectro elástico a otro de diseño inelástico mediante la tipología estructural y según los materiales usados en cada dirección de análisis de forma muy general, descrito en la siguiente imagen:

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción R_s (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
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(**)

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

(**) Para diseño por esfuerzos admisibles.

Figura 4. 31 Coeficiente de reducción sísmico según la norma E.030.
Fuente: Norma Técnica Peruana E.030-2018.

- El factor de reducción R en esta investigación se obtuvo mediante el producto de tres recursos esenciales, la ductilidad (R_{μ}), la sobre resistencia (R_{Ω}) y la redundancia (R_R). De los cuales se ha determinado que el porcentaje de participación es de 49%, 22% y 29%, en promedio respectivamente.

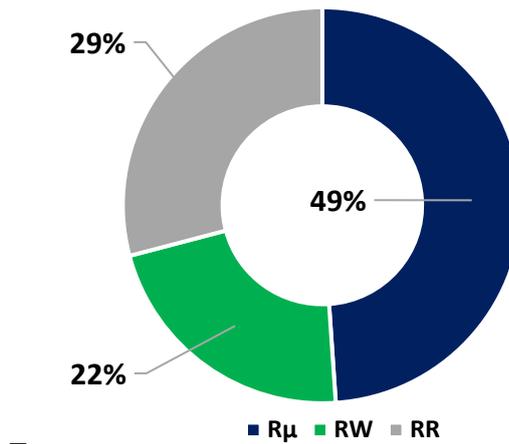


Figura 4. 32 Incidencia de los factores de ductilidad, sobre resistencia y redundancia para la obtención del factor de reducción sísmico R .
Fuente: Elaboración Propia.

Como hipótesis específica 02, se había planteado:

“La realización de modelos matemáticos para edificaciones incursionando el análisis no lineal pushover permitirá estandarizar el factor de reducción sísmico.”

- Hoy en día existen diversos procedimientos para el análisis no lineal de edificaciones ante la respuesta sísmica, uno de ellos es el método pushover, el cual proporciona información útil en los patrones de deformación inelástica que puede ocurrir mediante la relación entre las fuerzas laterales y los desplazamientos demandados por las mismas, como se ve en la siguiente Figura:

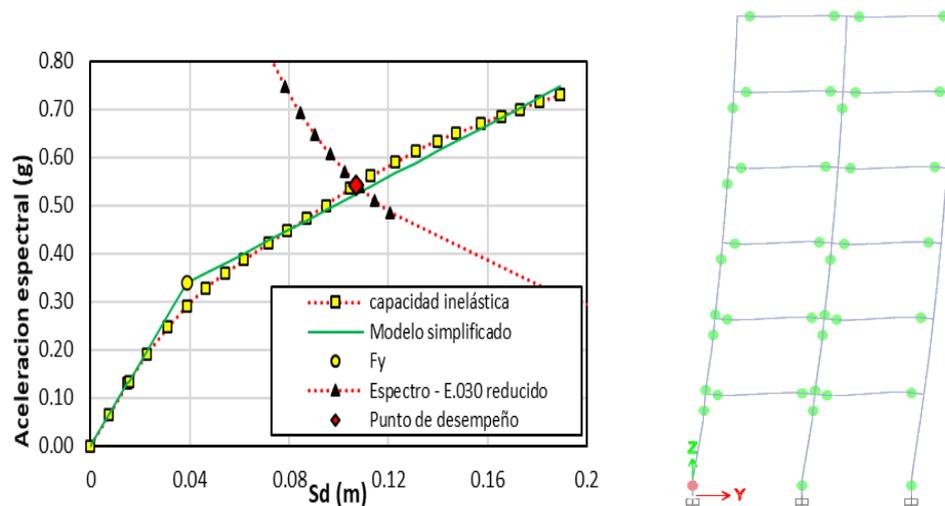


Figura 4. 33 Modelos matemáticos para el análisis no lineal (pushover) en las edificaciones para la obtención del factor de reducción sísmico R .
Fuente: Elaboración Propia.

- La realización de modelos matemáticos de 28 edificaciones incurriendo en el análisis no lineal pushover para 98 pórticos laterales de diferentes niveles, permitió obtener paso a paso las fallas estructurales de los elementos estructurales y de este modo estandarizar el factor de reducción sísmico de acuerdo al número de pisos y tipo de terreno. En consecuencia, de lo anterior se pudo determinar los factores de reducción por redundancia y sobre resistencia.

Como hipótesis específica 03, se había planteado:

“Comparar el factor de reducción sísmico (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030 para estructuras de concreto armado conformado por pórticos. Permitirá proponer un procedimiento para estimar racionalmente el valor de dicho parámetro.”

- La norma técnica peruana E.030 establece en el Artículo 18: “Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas (R_0)”
Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el

sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como lo indica en la Figura 4.31.

- Esta investigación propone un procedimiento para estimar racionalmente el valor del factor de reducción sísmico “R” en función de los parámetros de ductilidad, sobre resistencia y redundancia, teniendo los siguientes resultados para cada tipo de suelo.

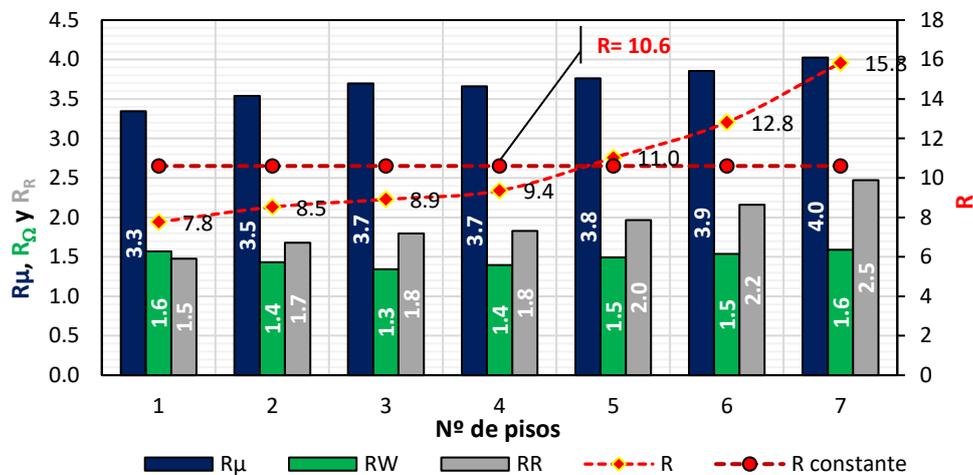


Figura 4. 34 Resultados del factor de reducción sísmico R para el tipo de suelo: “Roca dura”.

Fuente: Elaboración Propia.

- El factor de reducción sísmico para el tipo de suelo “Roca dura” calculado en esta investigación es un 33% superior al normativo.

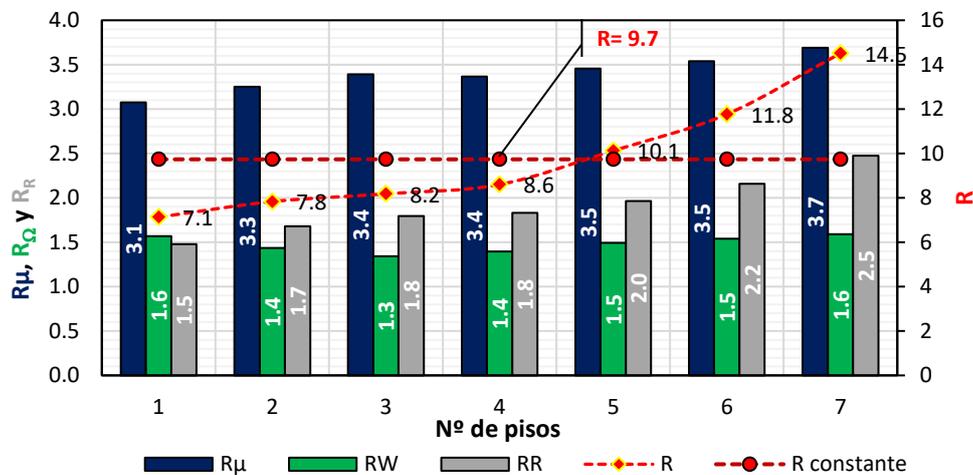


Figura 4. 35 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Roca o suelos muy rígidos”.

Fuente: Elaboración Propia.

- El factor de reducción sísmico para el tipo de suelo “Roca o suelos muy rígidos” calculado en esta investigación es un 20% superior al normativo.

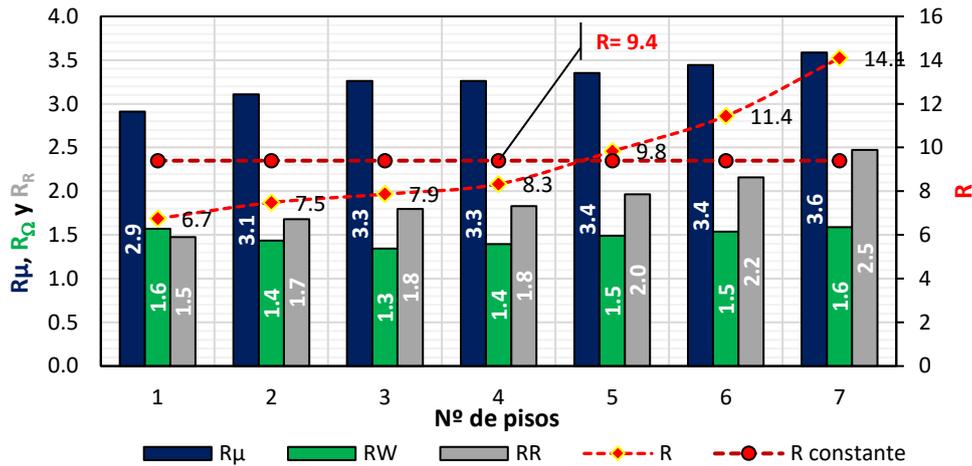


Figura 4. 36 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “suelos intermedios”.

Fuente: Elaboración Propia.

- El factor de reducción sísmico para el tipo de suelo “Suelos intermedios” calculado en esta investigación es un 18% superior al normativo.

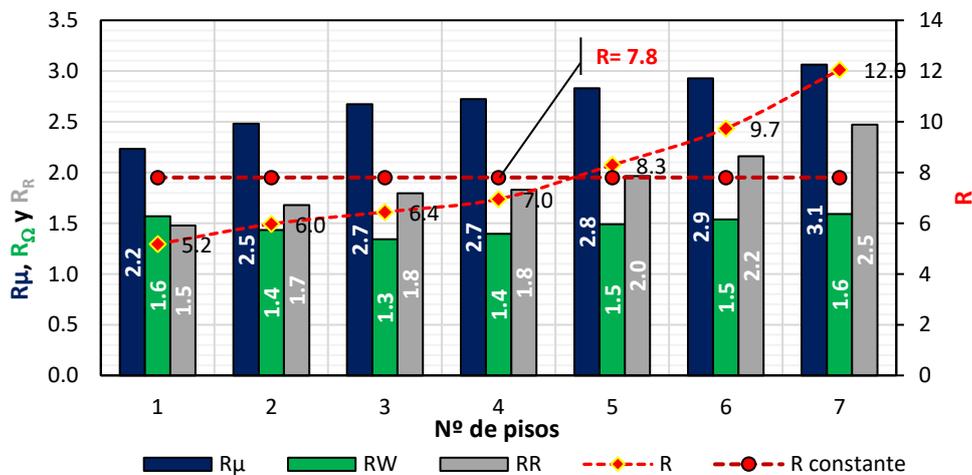


Figura 4. 37 Resultados del factor de reducción R para el tipo de suelo: “Suelos blandos”.

Fuente: Elaboración Propia.

- El factor de reducción sísmico para el tipo de suelo “Suelos blandos” calculado en esta investigación es un 2% inferior al normativo.

Finalmente, como hipótesis general se había planteado:

“La determinación del factor de reducción sísmico permitirá estudiar la equivalencia entre el análisis lineal y no lineal que se proyecta las estructuras sometidas a demandas con características sísmicas.”

- El Factor de Reducción de Respuesta Sísmica, “R”, es teóricamente desarrollado como un medio para tomar en cuenta dos aspectos de la respuesta estructural ante demandas sísmicas: En primer lugar, su capacidad para disipar energía, al incursionar en el rango inelástico y en segundo lugar la sobre resistencia inherente de los sistemas estructurales y sus materiales constitutivos.
- El mencionado Factor ha sido determinado en función a tres fuentes: i) factor de ductilidad, ii) factor de sobre resistencia y iii) factor de redundancia.
- En consecuencia de lo anterior, la determinación del factor de reducción sísmico ha permitido estudiar la equivalencia entre el análisis lineal y no lineal de edificaciones de concreto armado constituido por vigas y columnas (pórticos) los mismos que han sido sometidas a demandas con características sísmicas. Los resultados que se presentan en esta investigación se clasifican de acuerdo al tipo del terreno según la norma E.030 (roca dura, Roca o suelos muy rígidos, suelos intermedios, Suelos blandos) y al número de pisos de la edificación (1,2,3,4,5,6 y 7).

Capítulo V:

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Las conclusiones en base a los objetivos específicos y general son:

De la Primera Conclusión:

“Determinar la ductilidad, sobre resistencia y redundancia de estructuras de concreto armado conformado por pórticos.”

- La participación del “factor de resistencia por ductilidad” (R_{μ}) en el factor de reducción sísmico (R) es en promedio del 49% y se encuentra muy relacionado con la ductilidad y el periodo fundamental del modelo matemático. Es decir que para un periodo específico a medida que aumenta el R_{μ} , las ordenadas en la demanda de ductilidad también crecen. Sumado a lo anterior se ha generado la ecuación (4.1) el cual define el factor de resistencia por ductilidad en función a los perfiles de suelo según la norma E.030. En donde se establece que los valores más altos de R_{μ} son obtenidos para el perfil de suelo “Roca dura” S_0 , y en consecuencia vienen los perfiles S_1 , S_2 y S_3 en este orden, con un decaimiento en promedio del 9%, 12% y 28% con respecto a S_0 . Como efecto inmediato se tiene que, a medida que la capacidad resistente del terreno empobrece, también lo hace el valor de R_{μ} . Esta afirmación es muy importante, debido a que no es lógico pensar que se puede obtener el mismo valor de R_{μ} para dos estructuras con las mismas características geométricas (distribución en planta y altura) y mecánicas (propiedades físicas de los materiales). Si una edificación está situada en un perfil de suelo S_0 y otra sobre un perfil S_3 ; es lógico pensar

que la primera estructura tendrá un mayor valor de R_{μ} y en consecuencia una menor demanda sísmica.

- La participación del “factor de sobre resistencia” (R_{Ω}) en el factor de reducción sísmico (R) es en promedio del 22%. Si bien es cierto que este factor varía entre 1.34 y 1.59. Esta investigación evidencia que existe una tendencia constante del factor R_{Ω} en función al número de pisos de una edificación (como se muestra en la Figura 4. 24). En consecuencia, a R_{Ω} le corresponde un valor promedio de 1.48, al que se le asigna un error global del 5%.
- La participación del “factor de redundancia” (R_R) en el factor de reducción sísmico (R) es en promedio del 29%. El estudio evidencia que existe una alta incidencia en un crecimiento lineal del factor R_R con una pendiente positiva de 14.71% en función a los niveles de pisos, en donde se observa que, para las edificaciones de un piso en promedio R_R es equivalente a 1.47 y para las de siete es igual a 2.35. En consecuencia, para este rango de pisos existe un crecimiento global del 60% y un crecimiento promedio individual del 8%.

De la Segunda Conclusión

“Realizar modelos matemáticos de estructuras de concreto armado conformado por pórticos, en función a los niveles de piso e incursionando en el análisis no lineal pushover.”

El análisis no lineal pushover mediante modelos matemáticos ha permitido lo siguiente:

- La obtención del factor de Sobre resistencia, Se han evaluado 28 (veintiocho) edificaciones cuyo sistema estructural pertenece a pórticos de

concreto armado distribuidos entre 1 (uno) a 7 (siete) niveles. Haciendo una totalidad de 98 (noventa y ocho) pórticos a analizar. Bajo esta premisa se ha podido determinar i) el espectro de capacidad lo que ha permitido obtener un promedio constante del factor de sobre resistencia equivalente a 1.46 y ii) deriva máxima de entrepiso lo que ha permitido obtener un promedio constante del factor de sobre resistencia equivalente a 1.50, así como se establece en la metodología.

- La obtención del factor de redundancia, Se ha utilizado la metodología propuesta por Tsopelas y Husain (2004), para determinar el factor de redundancia R_R . Este método consiste en obtener dos factores: (1) el índice de redundancia por resistencia r_s teniendo un promedio de 1.0706 y (2) índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas r_v con un resultado promedio de 0.126, lo que ha permitido tener un factor de reducción por redundancia promedio de 1.911.

De la Tercera Conclusión

“Comparar el factor de reducción sísmico (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030.”

- Se determina lo siguiente: (i) Para edificaciones cuyas condiciones geotécnicas pertenecen a un perfil de suelo denominado “Roca Dura” el factor de reducción sísmico constante, es equivalente a $R=10.6$, donde este último valor se encuentra 1.33 veces por encima del reglamento. (ii) Para edificaciones en un perfil de suelo denominado “Roca o suelos rígidos” el factor de reducción sísmico constante es equivalente a $R=9.7$, donde este valor se encuentra 1.22 veces por encima del reglamento. (iii) Para edificaciones en un perfil de suelo denominado “Suelos intermedios” el factor de reducción sísmico constante es igual a $R=9.4$, donde este último valor se encuentra 1.17 veces por encima del reglamento. y (iv) Para edificaciones en un perfil de suelo denominado “Suelos blandos” el factor

de reducción sísmico constante es equivalente a $R=7.8$, donde este último valor se encuentra 2.46% por debajo del reglamento E.030.

De la Cuarta Conclusión

“Determinar el factor de reducción sísmico para estructuras de concreto armado conformado por pórticos mediante el análisis no lineal y la utilización de señales sísmicas.”

- Se han obtenido valores de: (i) factor de ductilidad R_{μ} , (ii) de resistencia R_{Ω} y (iii) redundancia R_R ; mediante el análisis no lineal y la utilización de señales sísmicas. Los cuales han permitido calcular el factor de reducción sísmico R . Con este elemento se logró parte del objetivo propuesto el cual consistía en generar un factor para pasar del espectro elástico al espectro inelástico.

5.2. Recomendaciones

Primera recomendación

- Luego de generar de forma cuantitativa el factor básico de reducción sísmico R para el sistema estructural de pórticos de concreto armado. Se recomienda que el estado u otras entidades en el Perú realicen más investigaciones experimentales de los diferentes componentes del factor de reducción sísmico para los demás sistemas estructurales existentes en la norma E.030. Los cuales se subdividen según el tipo de material ya sea en acero, concreto armado albañilería y/o madera.

Segunda recomendación

- A futuros tesis se exhorta mejorar la metodología. Si bien es cierto que el análisis pushover es una buena herramienta para estimar el

comportamiento no lineal de las estructuras. Existen otras metodologías que tienen el mismo objetivo pero que mejoran la precisión de los resultados. Uno de ellos es el análisis dinámico no lineal (IDA) que permite determinar las fallas en los elementos estructurales frente a eventos cíclicos. Por lo que se recomienda a tomar en consideración esto último ante futuras investigaciones.

Tercera recomendación

- A los encargados de elaborar nuestras normativas, se recomienda elaborar los procedimientos de cálculo para la obtención de los diferentes coeficientes sísmicos que la misma normativa recomienda para su uso.

Cuarta recomendación

- A las autoridades se recomienda formular de una manera más completa los criterios técnicos de futuros proyectos en edificaciones en función al número de pisos y el tipo de terreno.

Bibliografía

- Aguiar, R. (2007). *Factor De Reducción De Las Fuerzas Sísmicas En Edificios De Hormigón Armado Sin Muros De Corte*. Barcelona: Monografías De Ingeniería Sísmica.
- Aguiar, R. (2016). Propuestas Sobre El Factor De Reducción De Resistencia Por Ductilidad Y Aplicación Para El Ecuador. *Revista De La Facultad De Ingeniería U.C.V.*
- Alvarado Funes, R., & Cruz Lazo, W. A. (2006). Determinación Del Factor De Modificación De Respuesta Para Edificios Diseñados Con La Norma Técnica De Diseño Por Sismo Con Sistema De Marcos De Concreto Reforzado.
- Ancco Huanacuni, E. R. (2018). *Influencia De Espectros Determinísticos Y Probabilísticos Para La Evaluación Del Peligro Sísmico En Estructuras De La Región De Tacna*.
- Arango Moreno, S., Duque, P., & Paz, A. (2009). *Propuesta Metodológica Para La Evaluación Del Desempeño Estructural De Una Estantería Metálica*. Colombia: Revista Eia, Issn 1794-1237.
- Atc-19. (1995). Structural Response Modification Factors. *Applied Technology Council*, 5-32.
- Atc-3-06. (1978). Tentative Provisions For The Development Of Seismic Regulations. *Applied Technology Council*, 45–53.
- Atc-34. (1995). A Critical Review Of Current Approaches To Earthquake-Resistant Design. *Applied Technology Council*, 6-31.
- Bertero, V., Hart, G., Anderson, J., Krawinkler, H., Moehle, J., Miranda , E., . . . Qi, X. (1992). Design Guidelines For Ductility And Drift Limits. *California Universities For Research In Earthquake Engineering (Curee)*.
- Daza Duarte, L. G. (S.F.). Nuevo Enfoque Para Determinar El Factor De Modificación De Respuesta. *Desastres Naturales, Accidentes E Infraestructura Civil*, 1-16.
- Dazio, A. (2013). Fundamentals Of Structural Dynamics. *Cours, An-Najah National University, Naplouse, Palestine*.
- Figuroa, L., Durán, M., & Campbell, J. (2005). Obtención De Espectros Inelásticos De Sismos Chilenos Para Su Utilización En El Método Nsp. *Anales De Ix Jornadas Chilenas De Sismología E Ingeniería Antisísmica (Achisina 2005)*.

- Ming Uang, C. (1991). Establishing R (Or R_w) And Cd Factors For Building Seismic Provisions. *Journal Of Structural Engineering* .
- Ministerio De Vivienda Construcción Y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030. "Diseño Sismoresistente"*. Lima.
- Miranda, E. (1993). Evaluation Of Site-Dependent Inelastic Seismic Design Spectra. *Journal Of Structural Engineering*, 1319-1338.
- Miranda, E. (2017). Curso De Diseño De Estructuras Sismorresistente. *Department Of Civil & Environmental Engineering*.
- Moreno Gonzáles, R. (S.F.). *Metodología Para La Evaluación Del Riesgo Sísmico*.
- Muñoz, A., San Bartolomé, A., & Rodríguez, C. (2002). Demandas De Resistencia Para Edificios De Albañilería En El Perú. *Viii Jornadas Chilenas De Sismología E Ingeniería Antisísmica Universidad Federico Santa María*.
- Rovello, P., & Andrea, V. (2014). Verificación Del Factor De Reducción Sísmico R, Para El Análisis Inelástico De Estructuras De Hormigón Armado De Acuerdo Al Nec-11.
- Universidad Privada De Tacna. (2017). *Manual Para La Presentación De Planes E Informes De Investigación*. Tacna.
- Vielma, J. C., Barbat, A., & Oller, S. (2006). Factores De Reducción De Respuesta. Estado Del Arte Y Estudio Comparativo Entre Códigos. *Revista Internacional De Ingeniería De Estructuras*.
- Viera, L. (2004). *Diseño Sísmico Basado En Desempeño De Edificios De Hormigón*. Ecuador.
- Whittaker, A., Hart, G., & Rojahn, C. (1999). Seismic Response Modification Factors. *Journal Of Structural Engineering*.

Anexos:

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
Título:	“EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACION DE RESPUESTA SISMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO”			
Autor:	Ing. Ever Rudy Ancco Huanacuni			
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
Problema Principal	Objetivo General	Hipótesis General		
¿Cómo determinar el factor de modificación de respuesta sísmica mediante el análisis no lineal de estructuras de concreto armado conformado por pórticos?	Determinar el factor de modificación de respuesta sísmica para estructuras de concreto armado conformado por pórticos mediante el análisis no lineal y la utilización de señales sísmicas.	La determinación del factor de reducción sísmico permitirá estudiar la equivalencia entre el análisis lineal y no lineal que se proyecta las estructuras sometidas a demandas con características sísmicas.	Factor de reducción sísmico. <ul style="list-style-type: none"> Factor de resistencia por ductilidad. Factor de sobre resistencia Factor de redundancia. Factor de resistencia por ductilidad	<ol style="list-style-type: none"> Tipo de Investigación: <ul style="list-style-type: none"> Correlacional Nivel de la Investigación: <ul style="list-style-type: none"> Integrativo Población: <ul style="list-style-type: none"> Edificaciones cuyo material predominante es de concreto armado y que se encuentren ubicados en el territorio nacional Muestra:
Problemas Secundarios	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
1 ¿Existirá alguna relación entre la ductilidad, sobre resistencia y redundancia de las estructuras para determinar el factor de reducción sísmico?	1 Determinar la ductilidad, sobre resistencia y redundancia de estructuras de concreto armado conformado por pórticos.	1 El factor de reducción R se obtendrá al activar tres recursos esenciales, la ductilidad (R_{μ}), la sobre-resistencia (R_{Ω}) y la redundancia (R_R).	<ul style="list-style-type: none"> Relación de ductilidad Carga máxima elástica. Carga máxima inelástica. Periodo de la estructura. 	

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
Título:		“EVALUACIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACION DE RESPUESTA SISMICA MEDIANTE EL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO”					
Autor:		Ing. Ever Rudy Ancco Huanacuni					
Problemas		Objetivos		Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología	
2	¿Es posible realizar modelos matemáticos de edificaciones de diferentes niveles incursionando el análisis no lineal pushover de estructuras de concreto armado conformado por pórticos?	2	Realizar modelos matemáticos de estructuras de concreto armado conformado por pórticos, en función a los niveles de piso e incursionando en el análisis no lineal pushover	2	La realización de modelos matemáticos para edificaciones incursionando el análisis no lineal pushover permitirá estandarizar el factor de reducción sísmico.	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda sísmica (mediante sismos sintéticos) Factor de Sobre resistencia <ul style="list-style-type: none"> • Relación de sobre resistencia • Cortante ultimo. • Cortante de diseño. • Desplazamiento lateral. • Deriva máxima. Factor de Redundancia <ul style="list-style-type: none"> • Relación de redundancia por resistencia • Índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas. • Índice de redundancia por la formación de rotulas plásticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones cuyo sistema estructural pertenece a pórticos de concreto armado. 5. Técnicas de recolección de datos: <ul style="list-style-type: none"> • La documentación 6. Instrumentos: <ul style="list-style-type: none"> • Etabs • Excel • Mathcad • Matlab
3	¿Será posible comparar el factor de reducción sísmica (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030 para estructuras de concreto armado conformado por pórticos?	3	Comparar el factor de reducción sísmico (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030.	3	Comparar el factor de reducción sísmico (R) obtenido en esta investigación, con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030 para estructuras de concreto armado conformado por pórticos Permitirá proponer un procedimiento para estimar racionalmente el valor de dicho parámetro.		

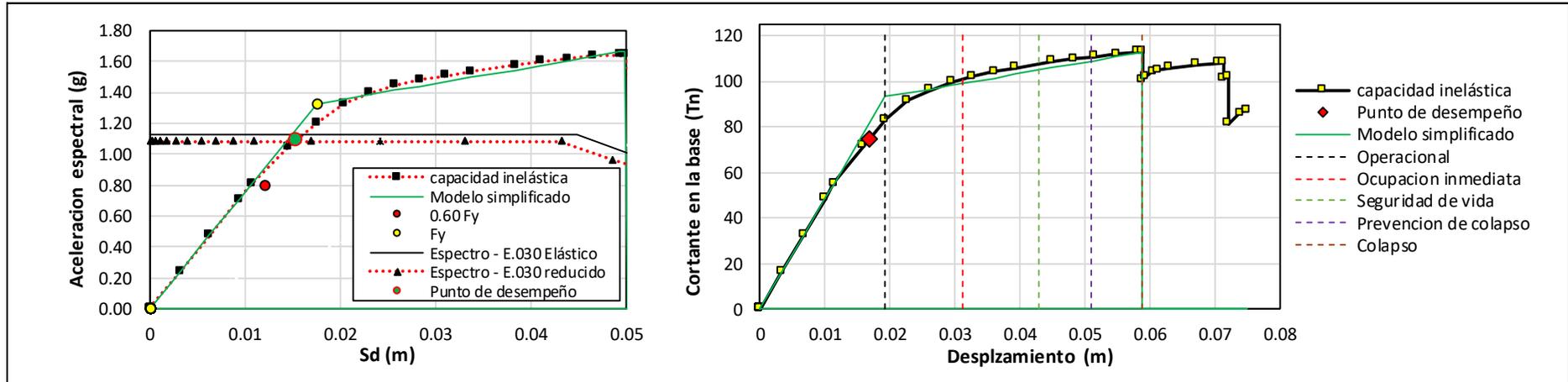
Ficha Técnica-001

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	1	Dirección	x-x	N° de vigas	12
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	68438 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	4.7 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																								
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">3.000</td> </tr> <tr> <td> Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.231</td> </tr> <tr> <td> Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.231</td> </tr> <tr> <td> Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.192</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.002</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">4.440</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">9.620</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Punto de desempeño:</td> </tr> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">72.848</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.015</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">1.064</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.015</td> </tr> </table>	Modos de vibración	3.000	Modo N°01 (seg)	0.231	Modo N°02 (seg)	0.231	Modo N°03 (seg)	0.192	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.002	Cortante estático (Tn)	4.440	Cortante dinámico (Tn)	9.620	Punto de desempeño:		Cortante (Tn)	72.848	Desplazamiento (m)	0.015	Sa (g)	1.064	Sd (m)	0.015		
Modos de vibración	3.000																									
Modo N°01 (seg)	0.231																									
Modo N°02 (seg)	0.231																									
Modo N°03 (seg)	0.192																									
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.002																									
Cortante estático (Tn)	4.440																									
Cortante dinámico (Tn)	9.620																									
Punto de desempeño:																										
Cortante (Tn)	72.848																									
Desplazamiento (m)	0.015																									
Sa (g)	1.064																									
Sd (m)	0.015																									

Resultados de la curva Pushover



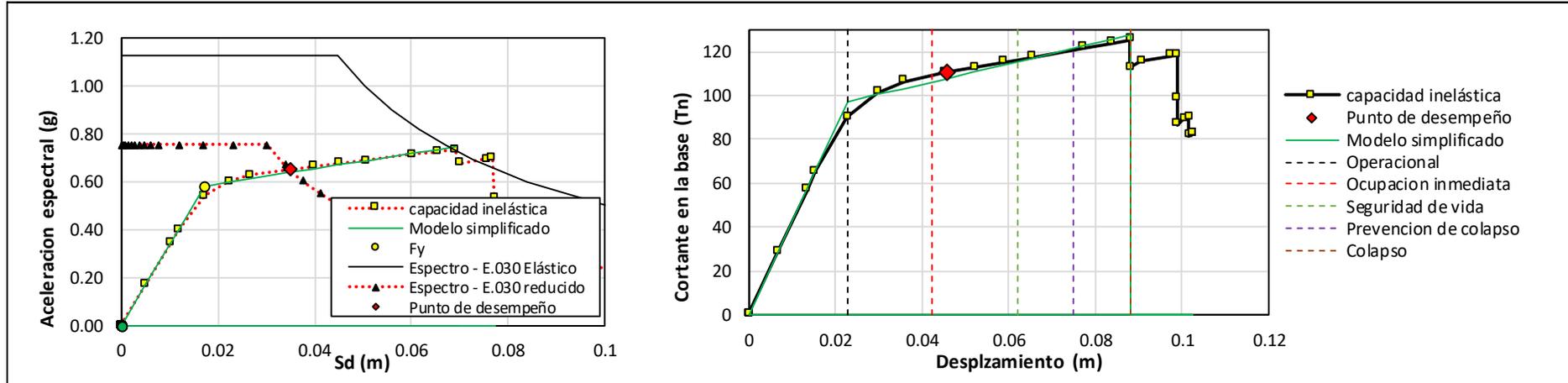
Ficha Técnica-002

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	2	Dirección	x-x	N° de vigas	24
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	171368 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	8.2 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">6.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.343</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.343</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.292</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.004</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">11.140</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">23.173</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">110.395</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.046</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.652</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.035</td> </tr> </table>	Modos de vibración	6.000	Modo N°01 (seg)	0.343	Modo N°02 (seg)	0.343	Modo N°03 (seg)	0.292	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004	Cortante estático (Tn)	11.140	Cortante dinámico (Tn)	23.173	Cortante (Tn)	110.395	Desplazamiento (m)	0.046	Sa (g)	0.652	Sd (m)	0.035		
Modos de vibración	6.000																							
Modo N°01 (seg)	0.343																							
Modo N°02 (seg)	0.343																							
Modo N°03 (seg)	0.292																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004																							
Cortante estático (Tn)	11.140																							
Cortante dinámico (Tn)	23.173																							
Cortante (Tn)	110.395																							
Desplazamiento (m)	0.046																							
Sa (g)	0.652																							
Sd (m)	0.035																							

Resultados de la curva Pushover



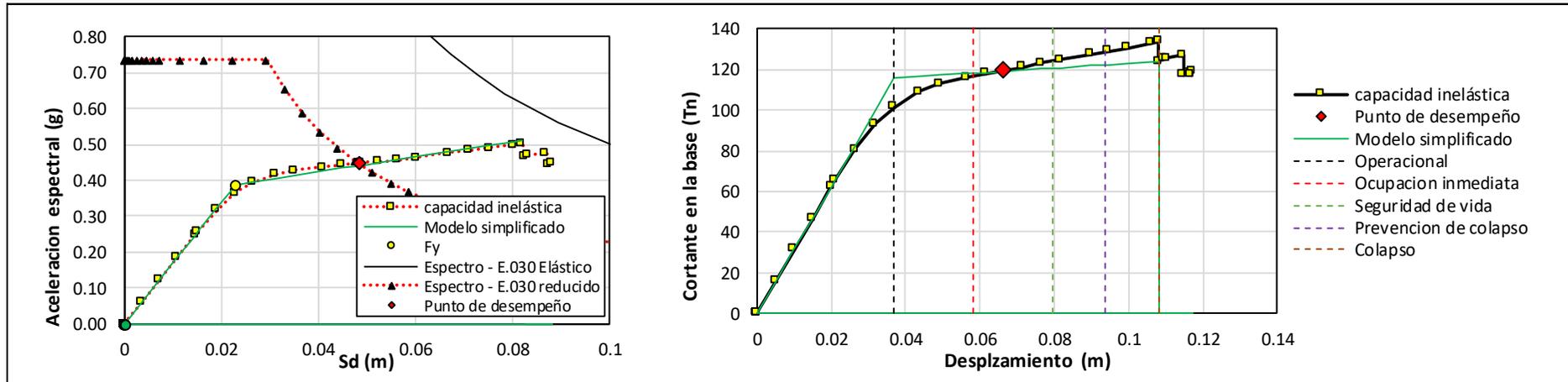
Ficha Técnica-003

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	3	Dirección	x-x	N° de vigas	36
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	270924 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	11.7 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">9.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.482</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.482</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.412</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.006</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">17.612</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">29.807</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">119.416</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.066</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.449</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.049</td> </tr> </table>	Modos de vibración	9.000	Modo N°01 (seg)	0.482	Modo N°02 (seg)	0.482	Modo N°03 (seg)	0.412	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.006	Cortante estático (Tn)	17.612	Cortante dinámico (Tn)	29.807	Cortante (Tn)	119.416	Desplazamiento (m)	0.066	Sa (g)	0.449	Sd (m)	0.049		
Modos de vibración	9.000																							
Modo N°01 (seg)	0.482																							
Modo N°02 (seg)	0.482																							
Modo N°03 (seg)	0.412																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.006																							
Cortante estático (Tn)	17.612																							
Cortante dinámico (Tn)	29.807																							
Cortante (Tn)	119.416																							
Desplazamiento (m)	0.066																							
Sa (g)	0.449																							
Sd (m)	0.049																							

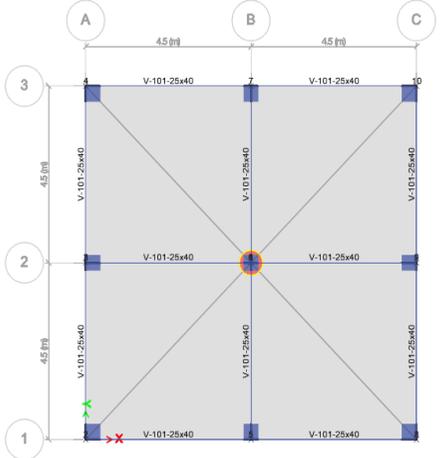
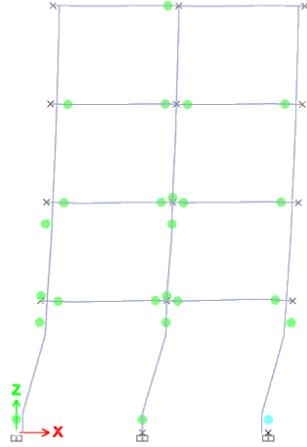
Resultados de la curva Pushover



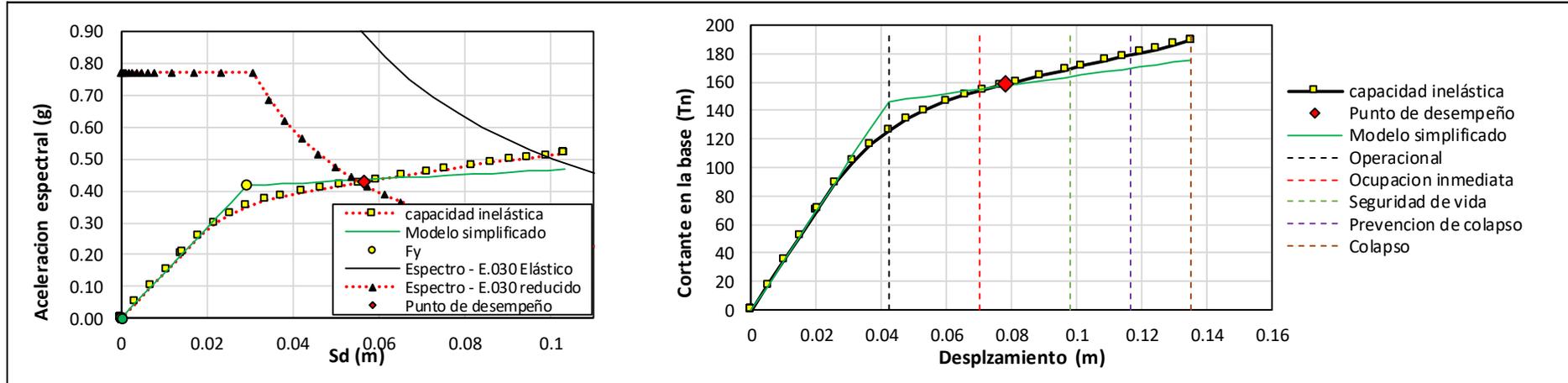
Ficha Técnica-004

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	4	Dirección	x-x	N° de vigas	48
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	384348 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	15.2 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">12.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.529</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.529</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.451</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">24.985</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">37.641</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">158.097</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.078</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.426</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.056</td> </tr> </table>	Modos de vibración	12.000	Modo N°01 (seg)	0.529	Modo N°02 (seg)	0.529	Modo N°03 (seg)	0.451	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	24.985	Cortante dinámico (Tn)	37.641	Cortante (Tn)	158.097	Desplazamiento (m)	0.078	Sa (g)	0.426	Sd (m)	0.056		
Modos de vibración	12.000																							
Modo N°01 (seg)	0.529																							
Modo N°02 (seg)	0.529																							
Modo N°03 (seg)	0.451																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	24.985																							
Cortante dinámico (Tn)	37.641																							
Cortante (Tn)	158.097																							
Desplazamiento (m)	0.078																							
Sa (g)	0.426																							
Sd (m)	0.056																							

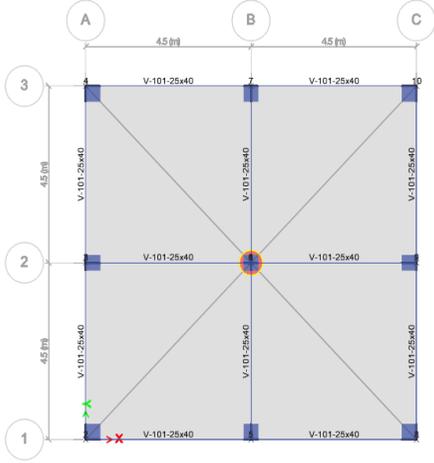
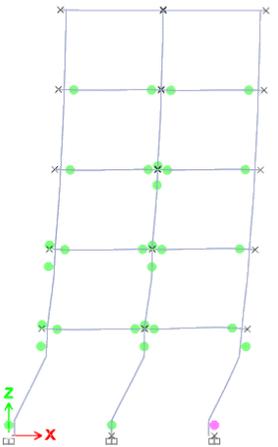
Resultados de la curva Pushover



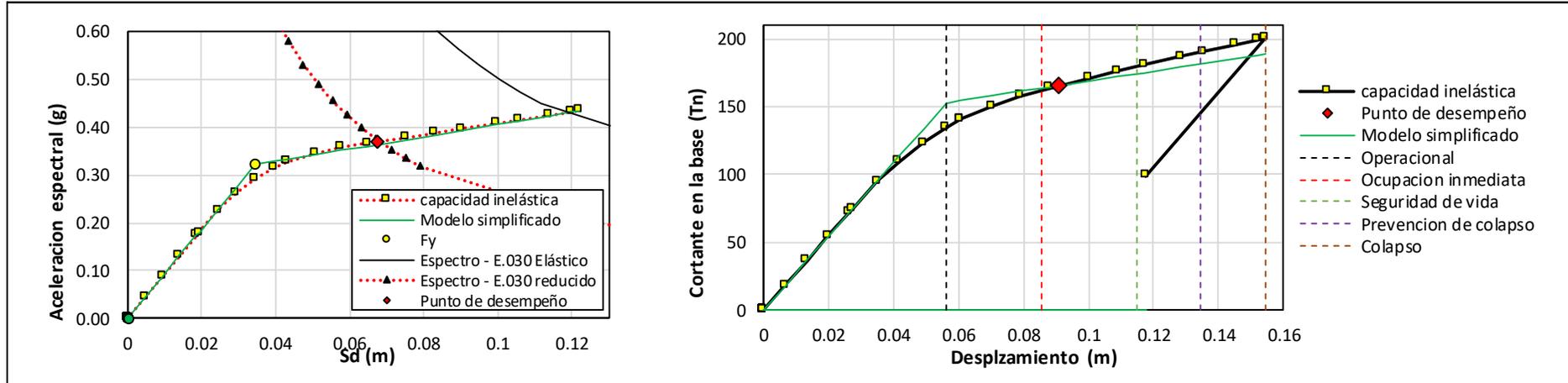
Ficha Técnica-005

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	5	Dirección	x-x	N° de vigas	60
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	497897 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	18.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td>15.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td>0.653</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td>0.653</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td>0.553</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td>31.187</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td>36.167</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td>165.675</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td>0.091</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td>0.370</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td>0.068</td> </tr> </table>	Modos de vibración	15.000	Modo N°01 (seg)	0.653	Modo N°02 (seg)	0.653	Modo N°03 (seg)	0.553	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	31.187	Cortante dinámico (Tn)	36.167	Cortante (Tn)	165.675	Desplazamiento (m)	0.091	Sa (g)	0.370	Sd (m)	0.068		
Modos de vibración	15.000																							
Modo N°01 (seg)	0.653																							
Modo N°02 (seg)	0.653																							
Modo N°03 (seg)	0.553																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	31.187																							
Cortante dinámico (Tn)	36.167																							
Cortante (Tn)	165.675																							
Desplazamiento (m)	0.091																							
Sa (g)	0.370																							
Sd (m)	0.068																							

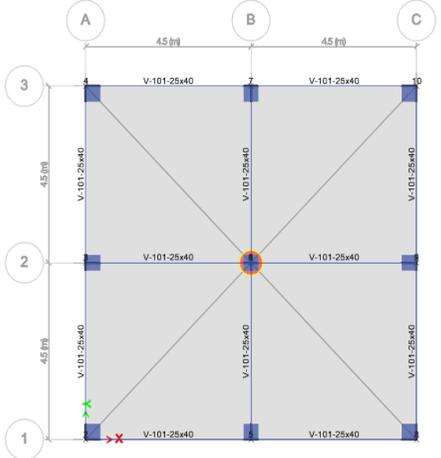
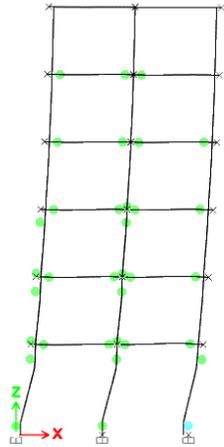
Resultados de la curva Pushover



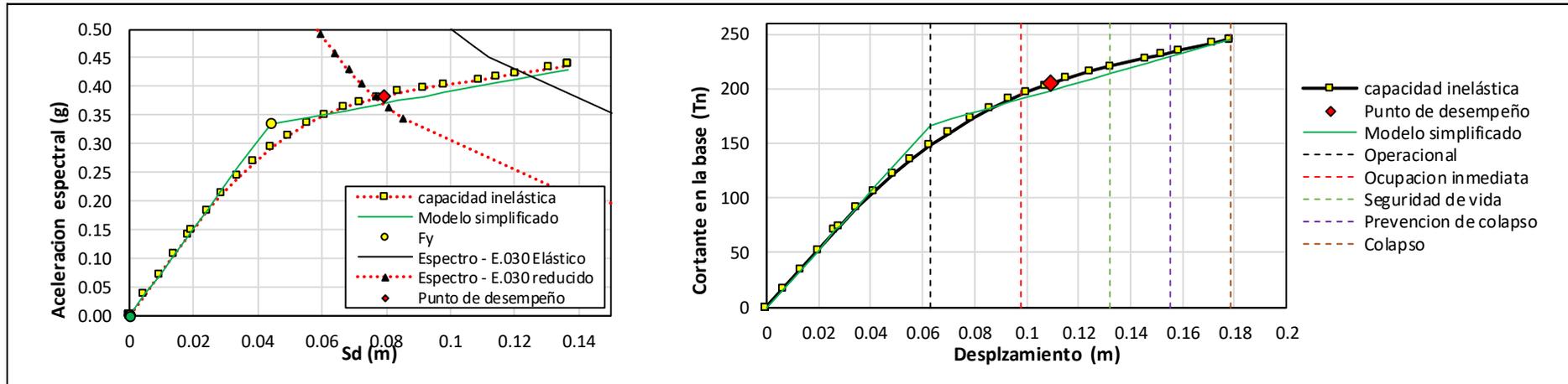
Ficha Técnica-006

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	6	Dirección	x-x	N° de vigas	72
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	599562 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	22.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																								
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">18.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.728</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.728</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.611</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">38.796</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">40.591</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Punto de desempeño:</td> </tr> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">205.068</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.110</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.383</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.079</td> </tr> </table>	Modos de vibración	18.000	Modo N°01 (seg)	0.728	Modo N°02 (seg)	0.728	Modo N°03 (seg)	0.611	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	38.796	Cortante dinámico (Tn)	40.591	Punto de desempeño:		Cortante (Tn)	205.068	Desplazamiento (m)	0.110	Sa (g)	0.383	Sd (m)	0.079		
Modos de vibración	18.000																									
Modo N°01 (seg)	0.728																									
Modo N°02 (seg)	0.728																									
Modo N°03 (seg)	0.611																									
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																									
Cortante estático (Tn)	38.796																									
Cortante dinámico (Tn)	40.591																									
Punto de desempeño:																										
Cortante (Tn)	205.068																									
Desplazamiento (m)	0.110																									
Sa (g)	0.383																									
Sd (m)	0.079																									

Resultados de la curva Pushover



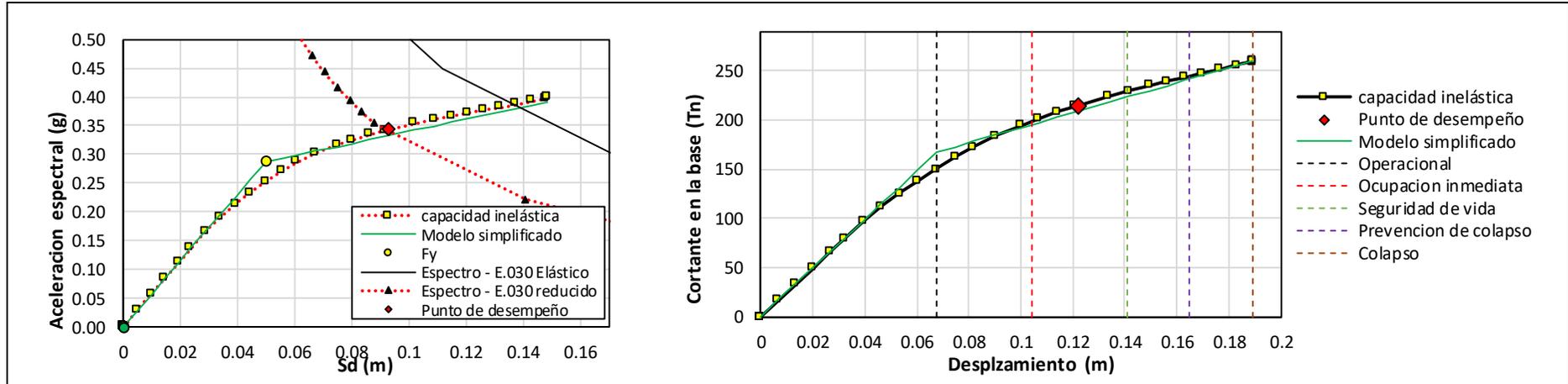
Ficha Técnica-007

Nombre:	Modelo N°01	Área planta	81.00 m ²	N° de pisos	7	Dirección	x-x	N° de vigas	84
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	708527 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	9	Altura total	25.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td>21.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td>0.835</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td>0.835</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td>0.693</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td>0.004</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td>46.059</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td>42.048</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td>214.993</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td>0.122</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td>0.342</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td>0.093</td> </tr> </table>	Modos de vibración	21.000	Modo N°01 (seg)	0.835	Modo N°02 (seg)	0.835	Modo N°03 (seg)	0.693	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004	Cortante estático (Tn)	46.059	Cortante dinámico (Tn)	42.048	Cortante (Tn)	214.993	Desplazamiento (m)	0.122	Sa (g)	0.342	Sd (m)	0.093		
Modos de vibración	21.000																							
Modo N°01 (seg)	0.835																							
Modo N°02 (seg)	0.835																							
Modo N°03 (seg)	0.693																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004																							
Cortante estático (Tn)	46.059																							
Cortante dinámico (Tn)	42.048																							
Cortante (Tn)	214.993																							
Desplazamiento (m)	0.122																							
Sa (g)	0.342																							
Sd (m)	0.093																							

Resultados de la curva Pushover



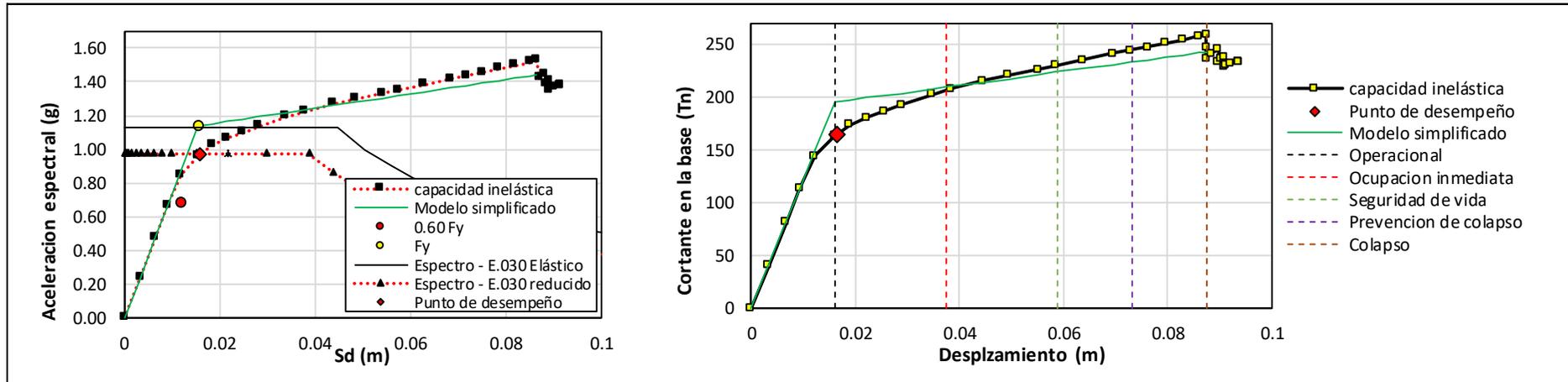
Ficha Técnica-008

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	1	Dirección	x-x	N° de vigas	24
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	170009.46 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	4.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">3.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.235</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.234</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.204</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">11.052</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">23.907</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">164.189</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.016</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.966</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.016</td> </tr> </table>	Modos de vibración	3.000	Modo N°01 (seg)	0.235	Modo N°02 (seg)	0.234	Modo N°03 (seg)	0.204	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)		Cortante estático (Tn)	11.052	Cortante dinámico (Tn)	23.907	Cortante (Tn)	164.189	Desplazamiento (m)	0.016	Sa (g)	0.966	Sd (m)	0.016		
Modos de vibración	3.000																							
Modo N°01 (seg)	0.235																							
Modo N°02 (seg)	0.234																							
Modo N°03 (seg)	0.204																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)																								
Cortante estático (Tn)	11.052																							
Cortante dinámico (Tn)	23.907																							
Cortante (Tn)	164.189																							
Desplazamiento (m)	0.016																							
Sa (g)	0.966																							
Sd (m)	0.016																							

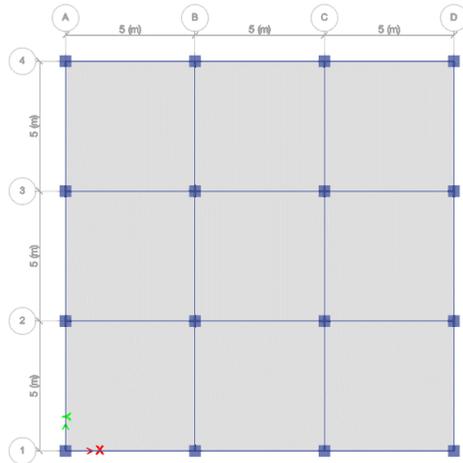
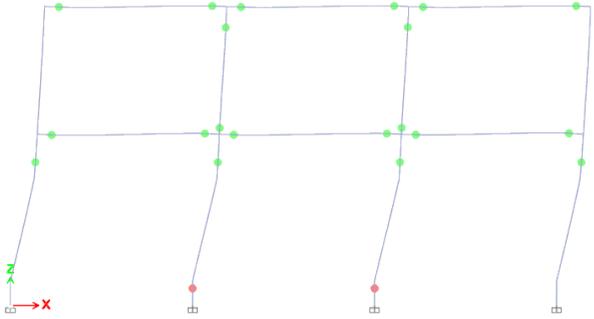
Resultados de la curva Pushover



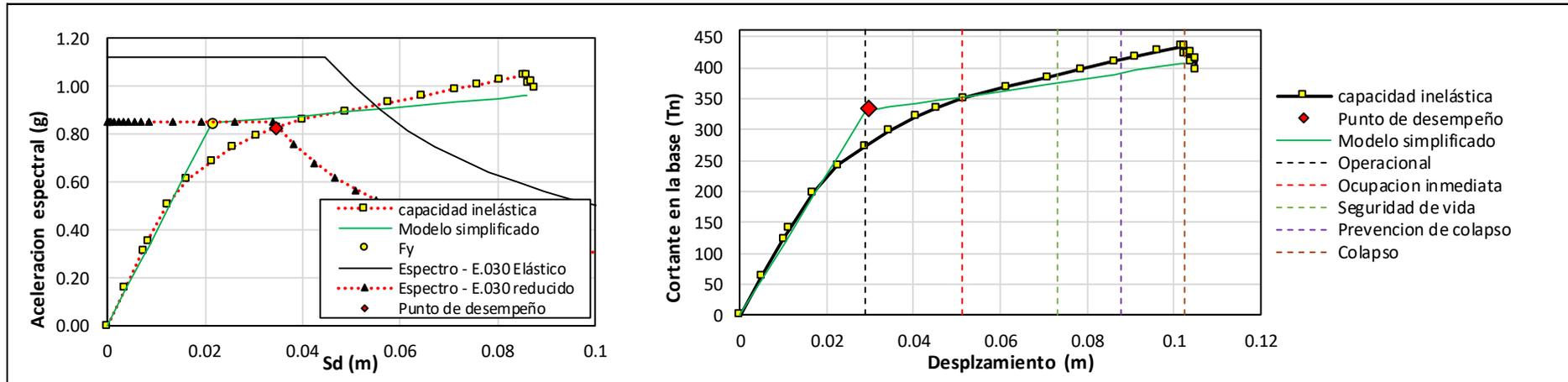
Ficha Técnica-009

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	2	Dirección	x-x	N° de vigas	48
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	422323 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	8.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Modos de vibración</td><td>6.000</td></tr> <tr><td>Modo N°01 (seg)</td><td>0.308</td></tr> <tr><td>Modo N°02 (seg)</td><td>0.307</td></tr> <tr><td>Modo N°03 (seg)</td><td>0.270</td></tr> <tr><td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td><td>0.003</td></tr> <tr><td>Cortante estático (Tn)</td><td>16.517</td></tr> <tr><td>Cortante dinámico (Tn)</td><td>55.387</td></tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Cortante (Tn)</td><td>334.611</td></tr> <tr><td>Desplazamiento (m)</td><td>0.030</td></tr> <tr><td>Sa (g)</td><td>0.828</td></tr> <tr><td>Sd (m)</td><td>0.035</td></tr> </table>	Modos de vibración	6.000	Modo N°01 (seg)	0.308	Modo N°02 (seg)	0.307	Modo N°03 (seg)	0.270	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.003	Cortante estático (Tn)	16.517	Cortante dinámico (Tn)	55.387	Cortante (Tn)	334.611	Desplazamiento (m)	0.030	Sa (g)	0.828	Sd (m)	0.035		
Modos de vibración	6.000																							
Modo N°01 (seg)	0.308																							
Modo N°02 (seg)	0.307																							
Modo N°03 (seg)	0.270																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.003																							
Cortante estático (Tn)	16.517																							
Cortante dinámico (Tn)	55.387																							
Cortante (Tn)	334.611																							
Desplazamiento (m)	0.030																							
Sa (g)	0.828																							
Sd (m)	0.035																							

Resultados de la curva Pushover



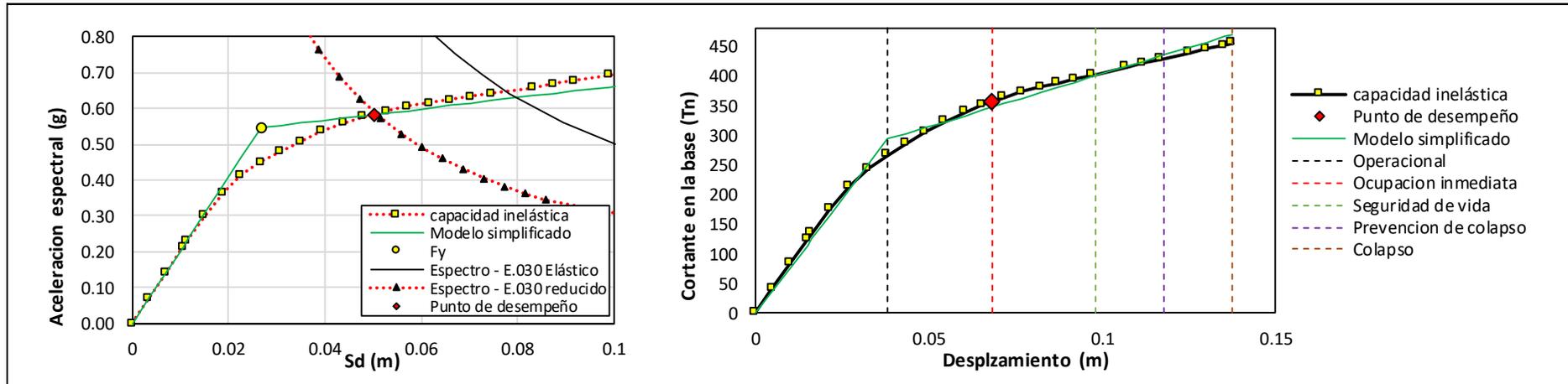
Ficha Técnica-010

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	3	Dirección	x-x	N° de vigas	72
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	656355 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	11.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas														
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">9.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.446</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.446</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.394</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">42.680</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">75.589</td> </tr> </table>	Modos de vibración	9.000	Modo N°01 (seg)	0.446	Modo N°02 (seg)	0.446	Modo N°03 (seg)	0.394	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	42.680	Cortante dinámico (Tn)	75.589		
Modos de vibración	9.000															
Modo N°01 (seg)	0.446															
Modo N°02 (seg)	0.446															
Modo N°03 (seg)	0.394															
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005															
Cortante estático (Tn)	42.680															
Cortante dinámico (Tn)	75.589															
Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">357.261</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.068</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.583</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.050</td> </tr> </table>	Cortante (Tn)	357.261	Desplazamiento (m)	0.068	Sa (g)	0.583	Sd (m)	0.050								
Cortante (Tn)	357.261															
Desplazamiento (m)	0.068															
Sa (g)	0.583															
Sd (m)	0.050															

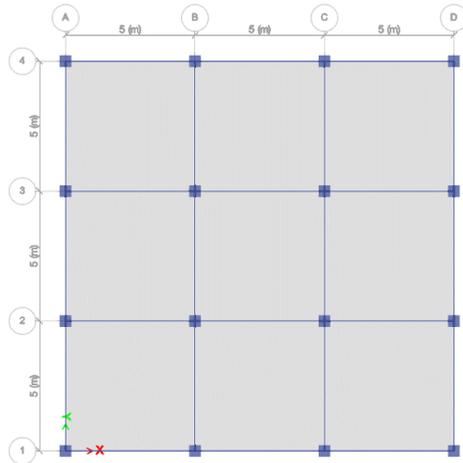
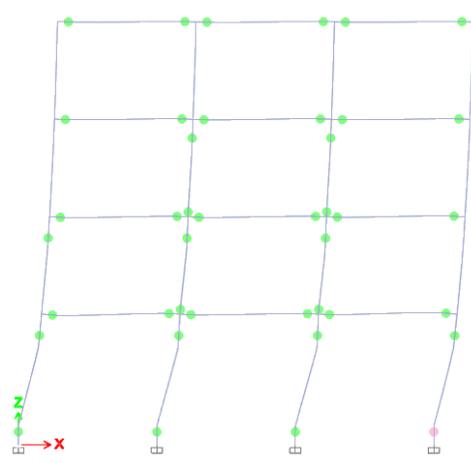
Resultados de la curva Pushover



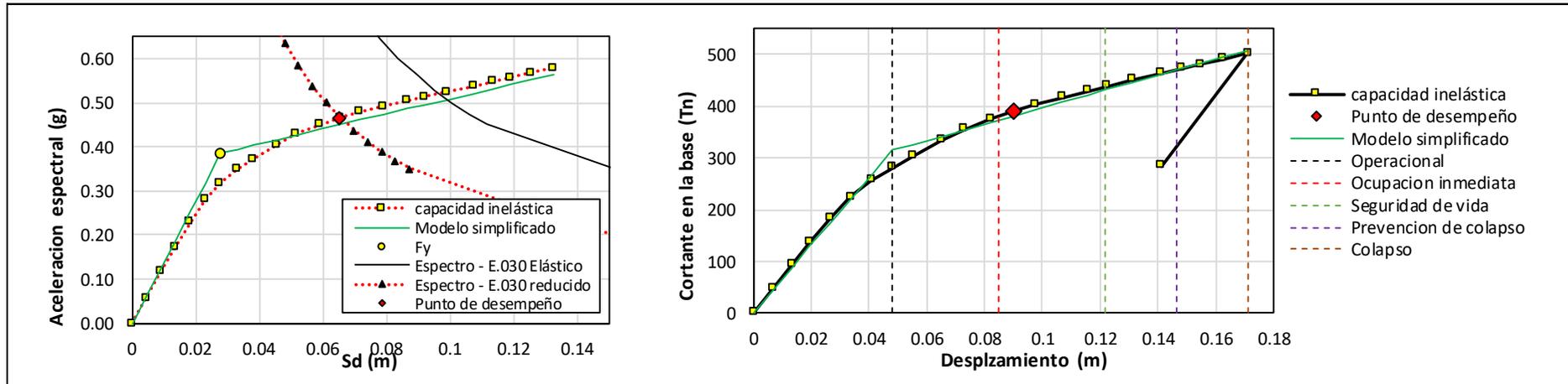
Ficha Técnica-011

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	4	Dirección	x-x	N° de vigas	96
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	904665 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	15.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td>12.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td>0.561</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td>0.560</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td>0.497</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td>58.830</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td>82.140</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td>389.263</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td>0.090</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td>0.465</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td>0.065</td> </tr> </table>	Modos de vibración	12.000	Modo N°01 (seg)	0.561	Modo N°02 (seg)	0.560	Modo N°03 (seg)	0.497	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	58.830	Cortante dinámico (Tn)	82.140	Cortante (Tn)	389.263	Desplazamiento (m)	0.090	Sa (g)	0.465	Sd (m)	0.065		
Modos de vibración	12.000																							
Modo N°01 (seg)	0.561																							
Modo N°02 (seg)	0.560																							
Modo N°03 (seg)	0.497																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	58.830																							
Cortante dinámico (Tn)	82.140																							
Cortante (Tn)	389.263																							
Desplazamiento (m)	0.090																							
Sa (g)	0.465																							
Sd (m)	0.065																							

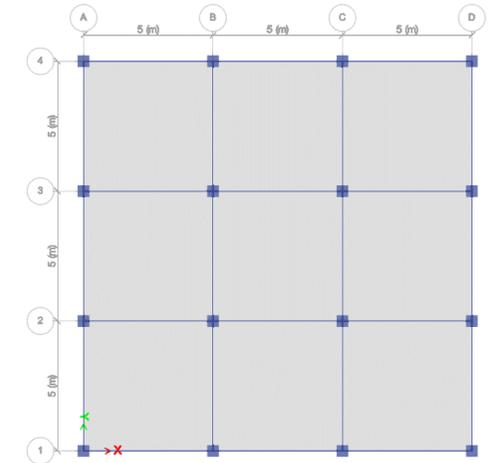
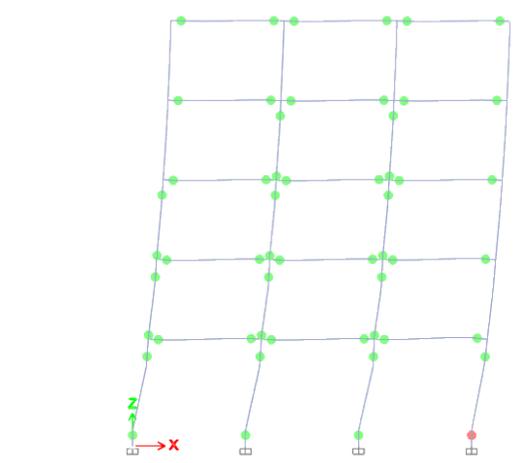
Resultados de la curva Pushover



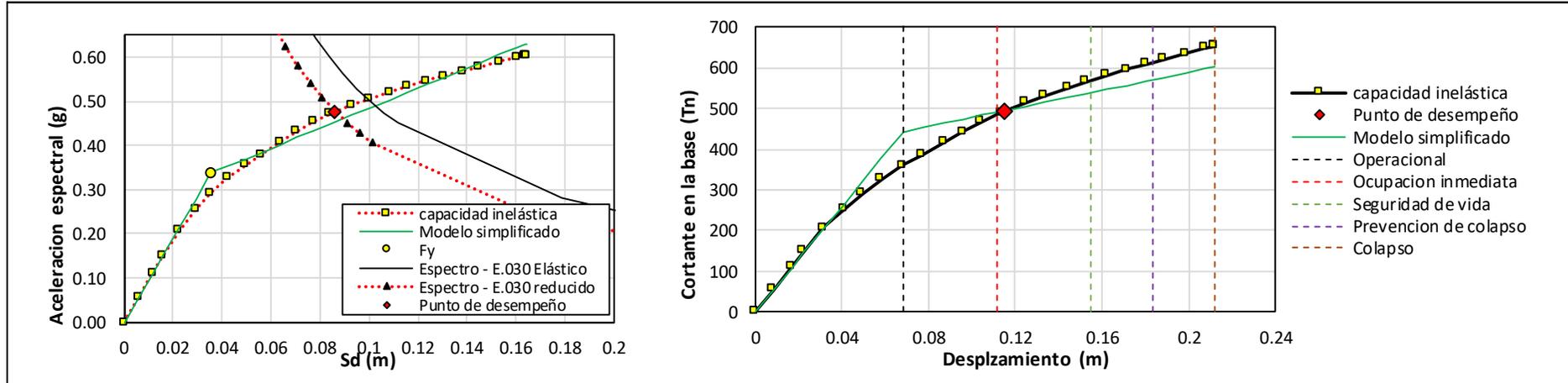
Ficha Técnica-012

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	5	Dirección	x-x	N° de vigas	120
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1169660 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	18.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">15.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.656</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.652</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.582</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">76.060</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">87.920</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">493.935</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.115</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.476</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.086</td> </tr> </table>	Modos de vibración	15.000	Modo N°01 (seg)	0.656	Modo N°02 (seg)	0.652	Modo N°03 (seg)	0.582	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	76.060	Cortante dinámico (Tn)	87.920	Cortante (Tn)	493.935	Desplazamiento (m)	0.115	Sa (g)	0.476	Sd (m)	0.086		
Modos de vibración	15.000																							
Modo N°01 (seg)	0.656																							
Modo N°02 (seg)	0.652																							
Modo N°03 (seg)	0.582																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	76.060																							
Cortante dinámico (Tn)	87.920																							
Cortante (Tn)	493.935																							
Desplazamiento (m)	0.115																							
Sa (g)	0.476																							
Sd (m)	0.086																							

Resultados de la curva Pushover



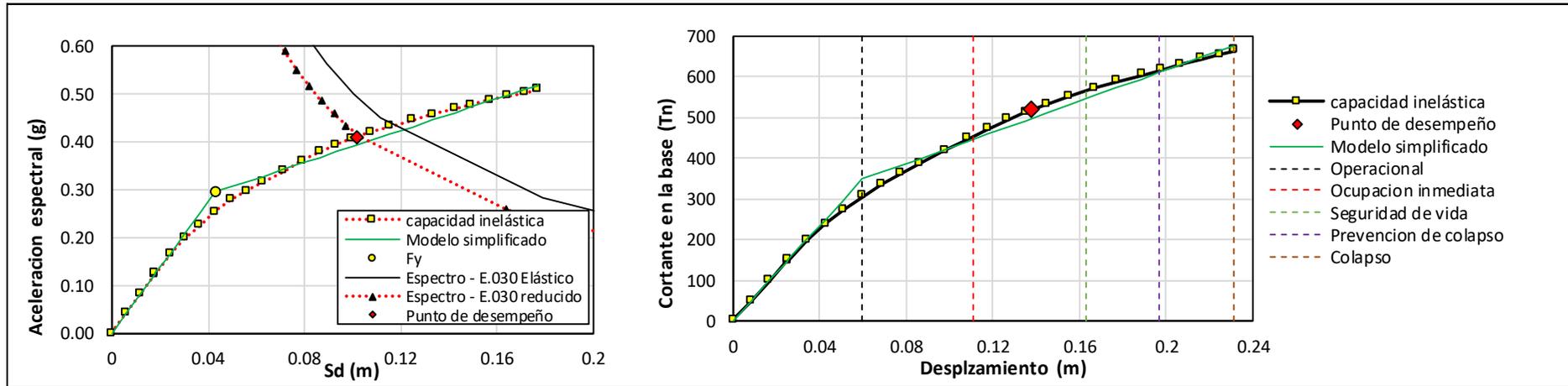
Ficha Técnica-013

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	6	Dirección	x-x	N° de vigas	144
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1424516 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	22.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">18.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.767</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.764</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.680</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">92.630</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">91.870</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">517.856</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.138</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.411</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.102</td> </tr> </table>	Modos de vibración	18.000	Modo N°01 (seg)	0.767	Modo N°02 (seg)	0.764	Modo N°03 (seg)	0.680	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	92.630	Cortante dinámico (Tn)	91.870	Cortante (Tn)	517.856	Desplazamiento (m)	0.138	Sa (g)	0.411	Sd (m)	0.102		
Modos de vibración	18.000																							
Modo N°01 (seg)	0.767																							
Modo N°02 (seg)	0.764																							
Modo N°03 (seg)	0.680																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	92.630																							
Cortante dinámico (Tn)	91.870																							
Cortante (Tn)	517.856																							
Desplazamiento (m)	0.138																							
Sa (g)	0.411																							
Sd (m)	0.102																							

Resultados de la curva Pushover



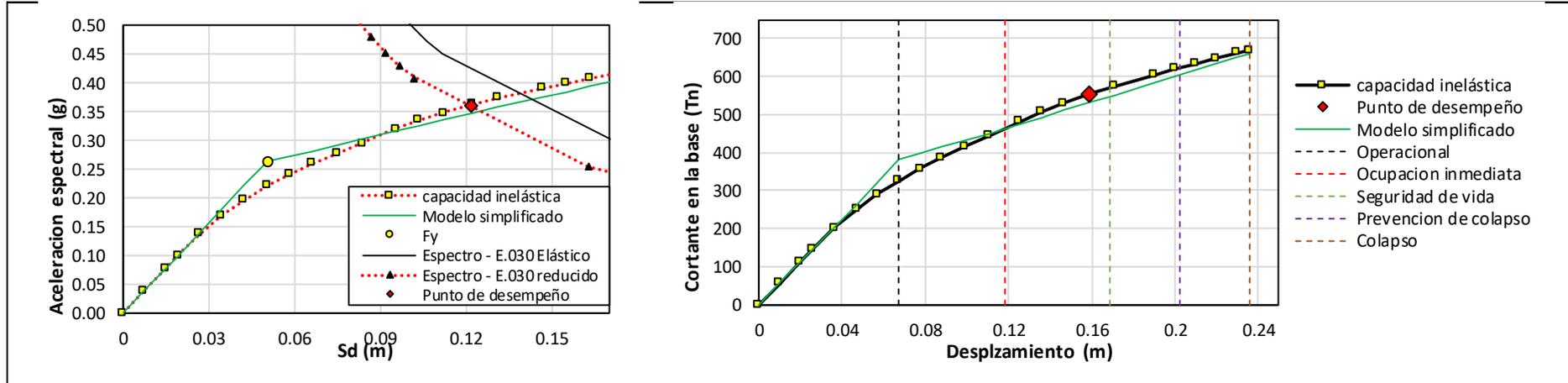
Ficha Técnica-014

Nombre:	Modelo N°02	Área planta	225.00 m ²	N° de pisos	7	Dirección	x-x	N° de vigas	168
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	243944.36 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	16	Altura total	25.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																								
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">18.000</td> </tr> <tr> <td> Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.874</td> </tr> <tr> <td> Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.870</td> </tr> <tr> <td> Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.772</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">111.040</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">98.300</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Punto de desempeño:</td> </tr> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">552.936</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.159</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.362</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.122</td> </tr> </table>	Modos de vibración	18.000	Modo N°01 (seg)	0.874	Modo N°02 (seg)	0.870	Modo N°03 (seg)	0.772	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	111.040	Cortante dinámico (Tn)	98.300	Punto de desempeño:		Cortante (Tn)	552.936	Desplazamiento (m)	0.159	Sa (g)	0.362	Sd (m)	0.122		
Modos de vibración	18.000																									
Modo N°01 (seg)	0.874																									
Modo N°02 (seg)	0.870																									
Modo N°03 (seg)	0.772																									
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																									
Cortante estático (Tn)	111.040																									
Cortante dinámico (Tn)	98.300																									
Punto de desempeño:																										
Cortante (Tn)	552.936																									
Desplazamiento (m)	0.159																									
Sa (g)	0.362																									
Sd (m)	0.122																									

Resultados de la curva Pushover



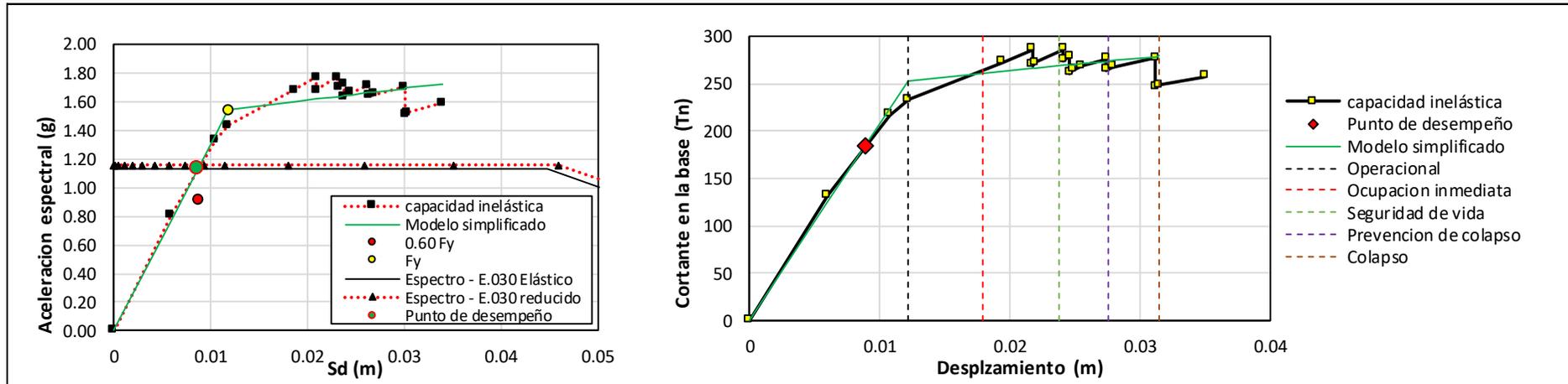
Ficha Técnica-015

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	1	Dirección	x-x	N° de vigas	17
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	162552.29 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	4.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas	
Análisis sísmico			
Modos de vibración			3.000
Modo N°01 (seg)			0.170
Modo N°02 (seg)			0.134
Modo N°03 (seg)			0.122
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)			0.001
Cortante estático (Tn)			10.570
Cortante dinámico (Tn)			22.860
Punto de desempeño:			
Cortante (Tn)			184.306
Desplazamiento (m)	0.009		
Sa (g)	1.134		
Sd (m)	0.009		

Resultados de la curva Pushover



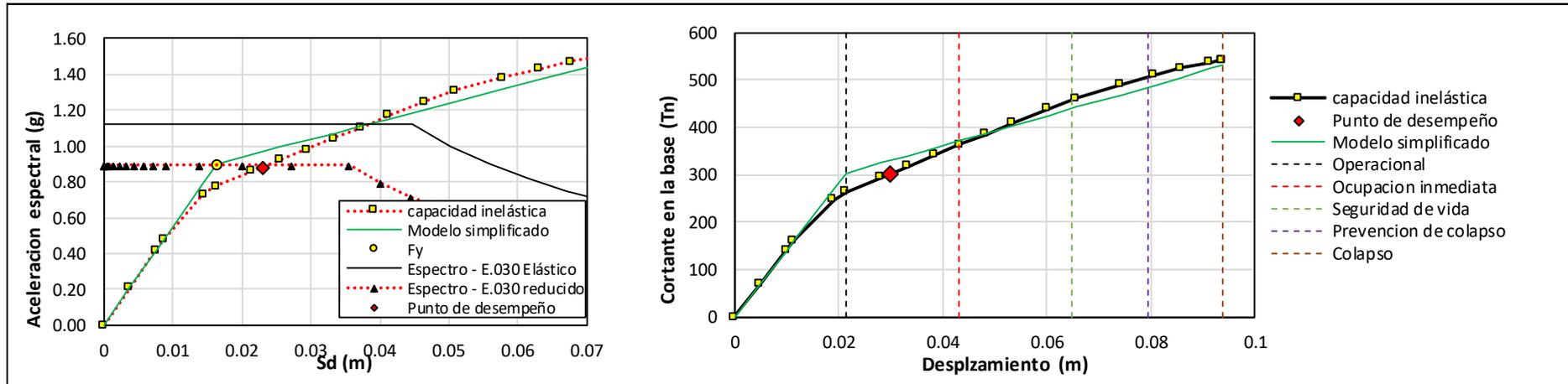
Ficha Técnica-016

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	2	Dirección	x-x	N° de vigas	34
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	378881.13 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	8.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas
Análisis sísmico Modos de vibración: 6.000 Modo N°01 (seg): 0.273 Modo N°02 (seg): 0.217 Modo N°03 (seg): 0.198 Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007): 0.003 Cortante estático (Tn): 24.630 Cortante dinámico (Tn): 47.510 Punto de desempeño: Cortante (Tn): 303.045 Desplazamiento (m): 0.030 Sa (g): 0.885 Sd (m): 0.023		

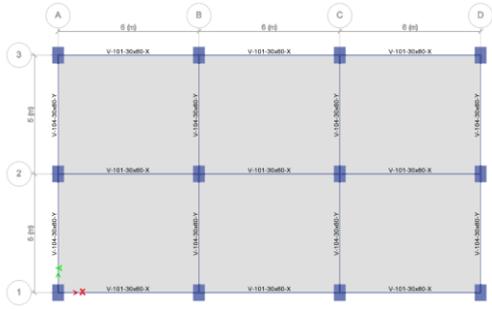
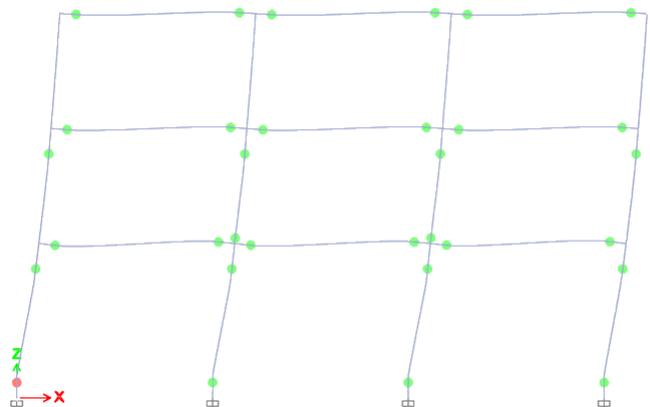
Resultados de la curva Pushover



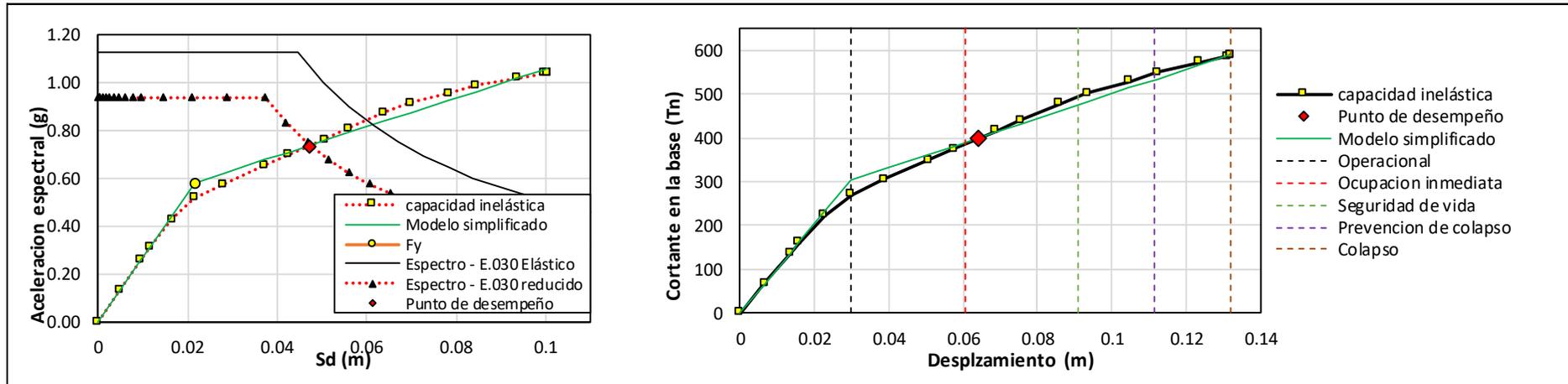
Ficha Técnica-017

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	3	Dirección	x-x	N° de vigas	51
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	600920.97 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	11.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">9.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.388</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.319</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.004</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">39.064</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">73.938</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">398.406</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.064</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.735</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.047</td> </tr> </table>	Modos de vibración	9.000	Modo N°01 (seg)	0.388	Modo N°02 (seg)	0.319	Modo N°03 (seg)	0.291	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004	Cortante estático (Tn)	39.064	Cortante dinámico (Tn)	73.938	Cortante (Tn)	398.406	Desplazamiento (m)	0.064	Sa (g)	0.735	Sd (m)	0.047		
Modos de vibración	9.000																							
Modo N°01 (seg)	0.388																							
Modo N°02 (seg)	0.319																							
Modo N°03 (seg)	0.291																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004																							
Cortante estático (Tn)	39.064																							
Cortante dinámico (Tn)	73.938																							
Cortante (Tn)	398.406																							
Desplazamiento (m)	0.064																							
Sa (g)	0.735																							
Sd (m)	0.047																							

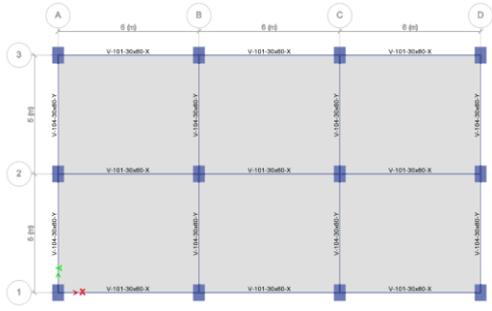
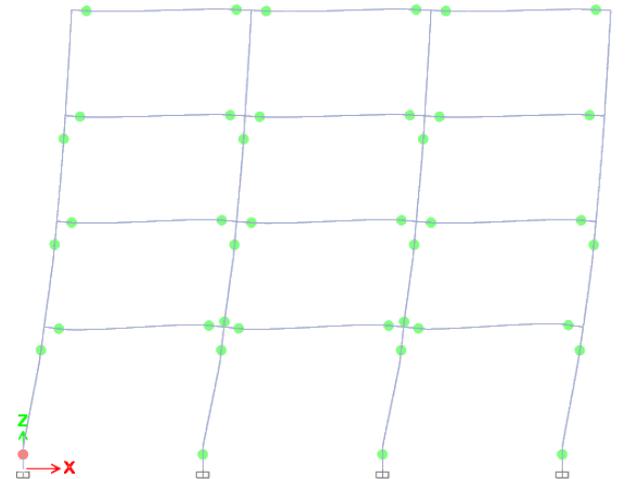
Resultados de la curva Pushover



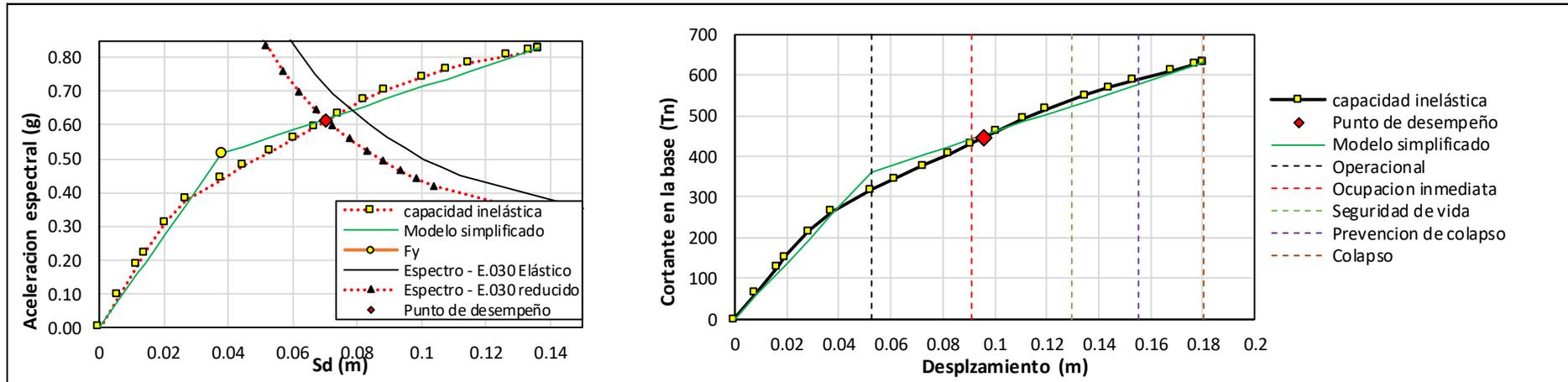
Ficha Técnica-018

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	4	Dirección	x-x	N° de vigas	68
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	818518.93 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	15.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td>12.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td>0.509</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td>0.444</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td>0.400</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td>53.210</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td>78.930</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td>447.895</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td>0.096</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td>0.612</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td>0.071</td> </tr> </table>	Modos de vibración	12.000	Modo N°01 (seg)	0.509	Modo N°02 (seg)	0.444	Modo N°03 (seg)	0.400	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	53.210	Cortante dinámico (Tn)	78.930	Cortante (Tn)	447.895	Desplazamiento (m)	0.096	Sa (g)	0.612	Sd (m)	0.071		
Modos de vibración	12.000																							
Modo N°01 (seg)	0.509																							
Modo N°02 (seg)	0.444																							
Modo N°03 (seg)	0.400																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	53.210																							
Cortante dinámico (Tn)	78.930																							
Cortante (Tn)	447.895																							
Desplazamiento (m)	0.096																							
Sa (g)	0.612																							
Sd (m)	0.071																							

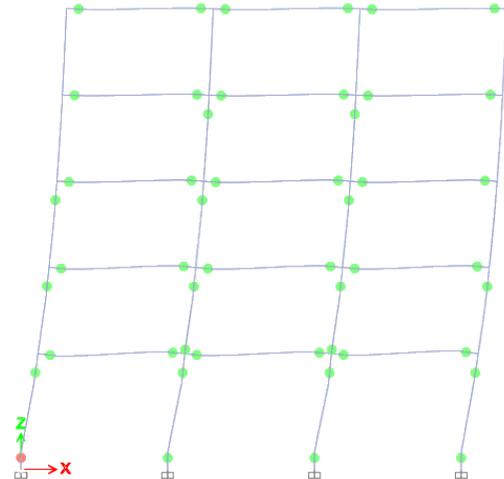
Resultados de la curva Pushover



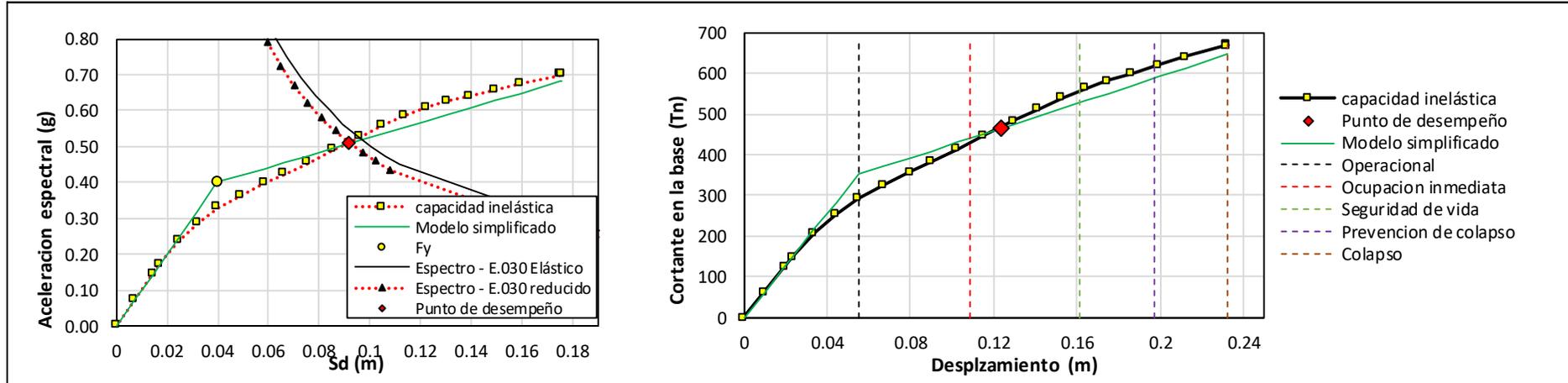
Ficha Técnica-019

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	5	Dirección	x-x	N° de vigas	85
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1036117 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	18.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																								
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">15.000</td> </tr> <tr> <td> Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.634</td> </tr> <tr> <td> Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.579</td> </tr> <tr> <td> Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.514</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">67.350</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">80.210</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Punto de desempeño:</td> </tr> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">468.473</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.124</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.510</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.091</td> </tr> </table>	Modos de vibración	15.000	Modo N°01 (seg)	0.634	Modo N°02 (seg)	0.579	Modo N°03 (seg)	0.514	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	67.350	Cortante dinámico (Tn)	80.210	Punto de desempeño:		Cortante (Tn)	468.473	Desplazamiento (m)	0.124	Sa (g)	0.510	Sd (m)	0.091		
Modos de vibración	15.000																									
Modo N°01 (seg)	0.634																									
Modo N°02 (seg)	0.579																									
Modo N°03 (seg)	0.514																									
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																									
Cortante estático (Tn)	67.350																									
Cortante dinámico (Tn)	80.210																									
Punto de desempeño:																										
Cortante (Tn)	468.473																									
Desplazamiento (m)	0.124																									
Sa (g)	0.510																									
Sd (m)	0.091																									

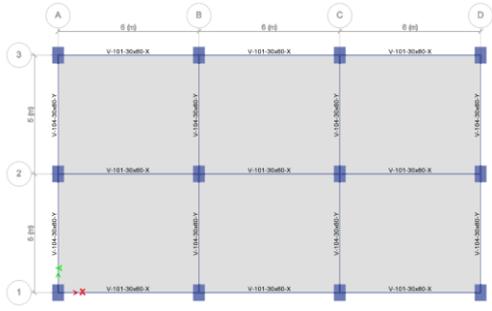
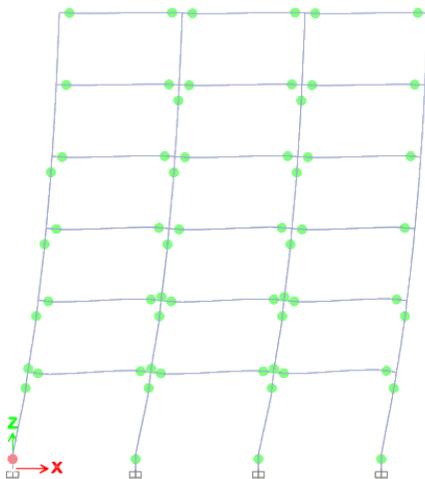
Resultados de la curva Pushover



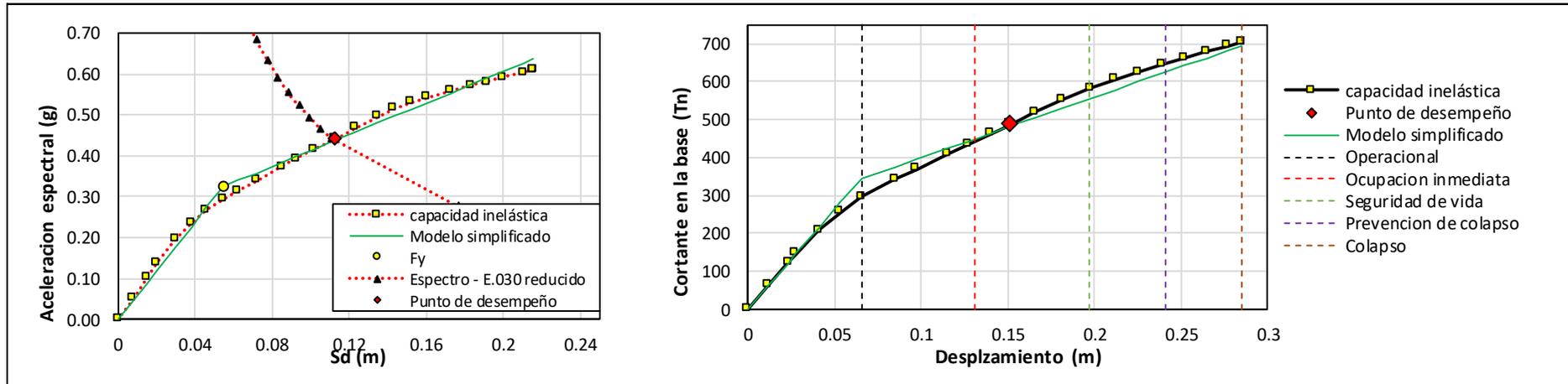
Ficha Técnica-020

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	6	Dirección	x-x	N° de vigas	102
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1258157 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	22.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																								
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">18.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.763</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.687</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.611</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">81.790</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">81.020</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Punto de desempeño:</td> </tr> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">487.022</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.151</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.441</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.112</td> </tr> </table>	Modos de vibración	18.000	Modo N°01 (seg)	0.763	Modo N°02 (seg)	0.687	Modo N°03 (seg)	0.611	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	81.790	Cortante dinámico (Tn)	81.020	Punto de desempeño:		Cortante (Tn)	487.022	Desplazamiento (m)	0.151	Sa (g)	0.441	Sd (m)	0.112		
Modos de vibración	18.000																									
Modo N°01 (seg)	0.763																									
Modo N°02 (seg)	0.687																									
Modo N°03 (seg)	0.611																									
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																									
Cortante estático (Tn)	81.790																									
Cortante dinámico (Tn)	81.020																									
Punto de desempeño:																										
Cortante (Tn)	487.022																									
Desplazamiento (m)	0.151																									
Sa (g)	0.441																									
Sd (m)	0.112																									

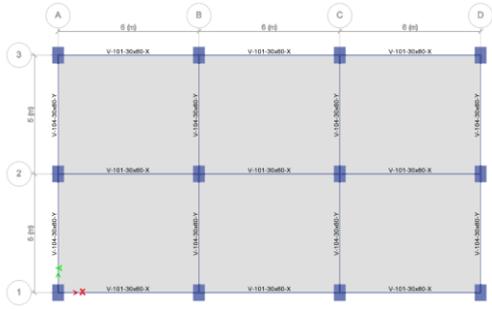
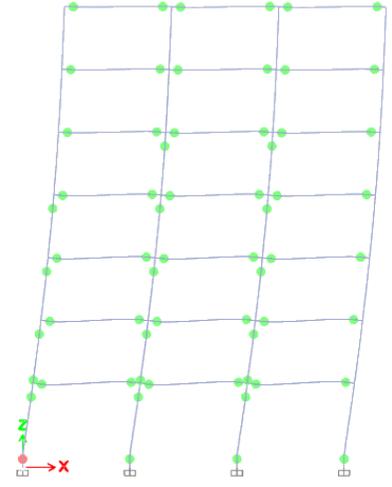
Resultados de la curva Pushover



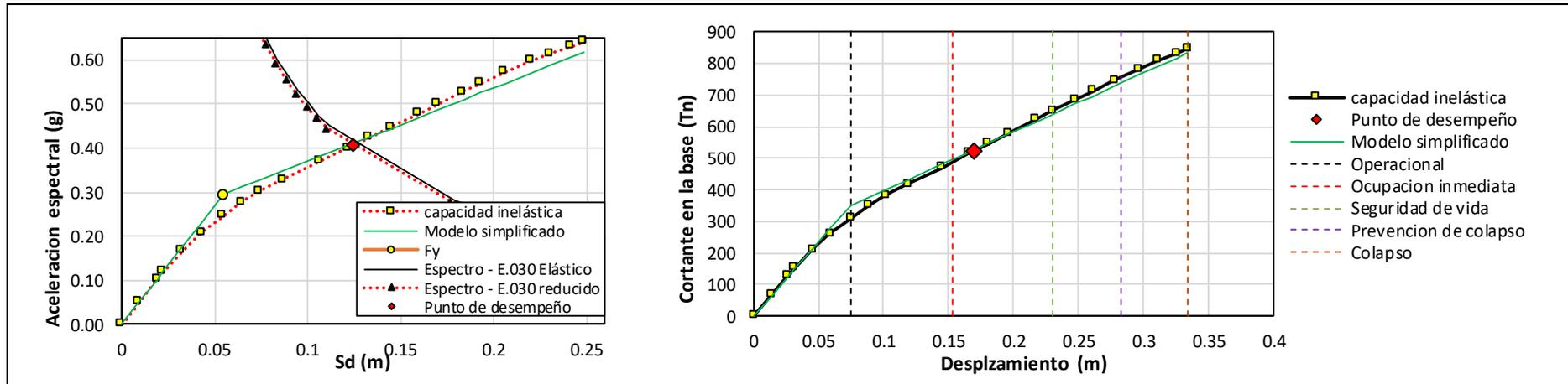
Ficha Técnica-021

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	7	Dirección	x-x	N° de vigas	119
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1501418 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	25.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td>21.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td>0.865</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td>0.827</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td>0.720</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td>97.600</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td>84.960</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td>522.886</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td>0.169</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td>0.407</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td>0.125</td> </tr> </table>	Modos de vibración	21.000	Modo N°01 (seg)	0.865	Modo N°02 (seg)	0.827	Modo N°03 (seg)	0.720	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	97.600	Cortante dinámico (Tn)	84.960	Cortante (Tn)	522.886	Desplazamiento (m)	0.169	Sa (g)	0.407	Sd (m)	0.125		
Modos de vibración	21.000																							
Modo N°01 (seg)	0.865																							
Modo N°02 (seg)	0.827																							
Modo N°03 (seg)	0.720																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	97.600																							
Cortante dinámico (Tn)	84.960																							
Cortante (Tn)	522.886																							
Desplazamiento (m)	0.169																							
Sa (g)	0.407																							
Sd (m)	0.125																							

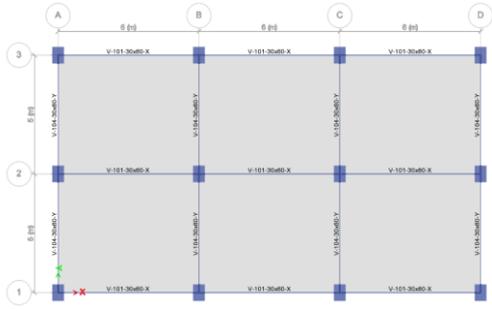
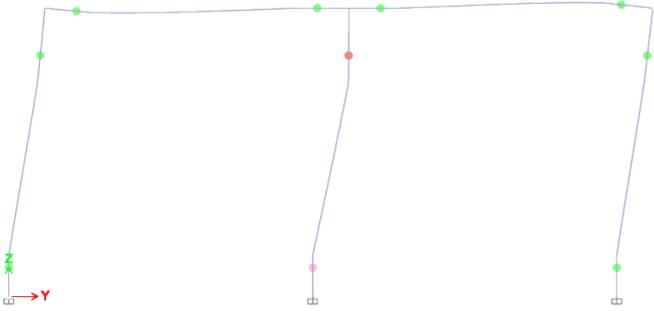
Resultados de la curva Pushover



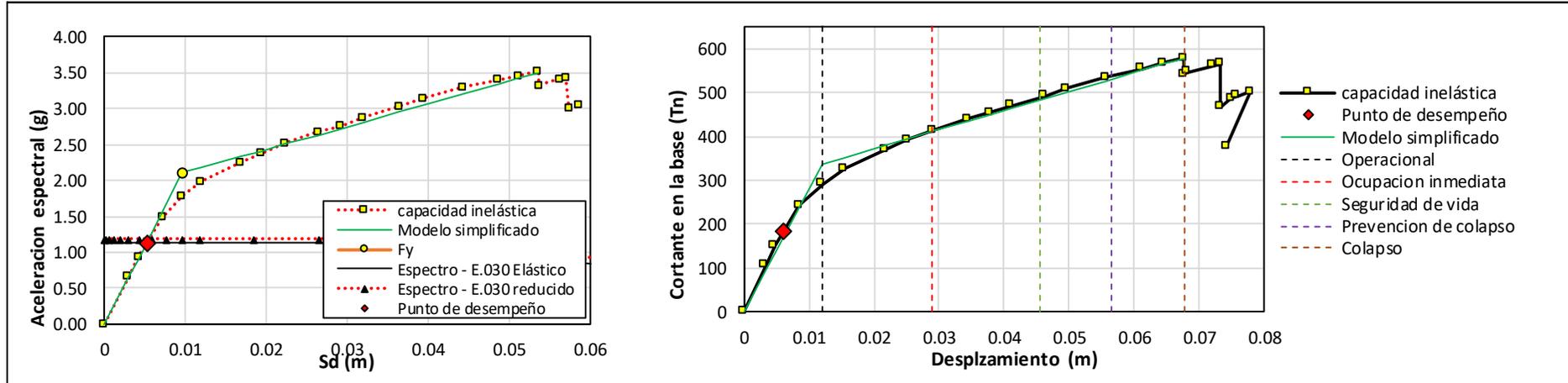
Ficha Técnica-022

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	1	Dirección	y-y	N° de vigas	17
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	162552.29 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	12	Altura total	4.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">3.000</td> </tr> <tr> <td>Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.170</td> </tr> <tr> <td>Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.134</td> </tr> <tr> <td>Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.122</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.001</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">10.570</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">22.860</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">183.219</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.006</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">1.124</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> </table>	Modos de vibración	3.000	Modo N°01 (seg)	0.170	Modo N°02 (seg)	0.134	Modo N°03 (seg)	0.122	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.001	Cortante estático (Tn)	10.570	Cortante dinámico (Tn)	22.860	Cortante (Tn)	183.219	Desplazamiento (m)	0.006	Sa (g)	1.124	Sd (m)	0.005		
Modos de vibración	3.000																							
Modo N°01 (seg)	0.170																							
Modo N°02 (seg)	0.134																							
Modo N°03 (seg)	0.122																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.001																							
Cortante estático (Tn)	10.570																							
Cortante dinámico (Tn)	22.860																							
Cortante (Tn)	183.219																							
Desplazamiento (m)	0.006																							
Sa (g)	1.124																							
Sd (m)	0.005																							

Resultados de la curva Pushover



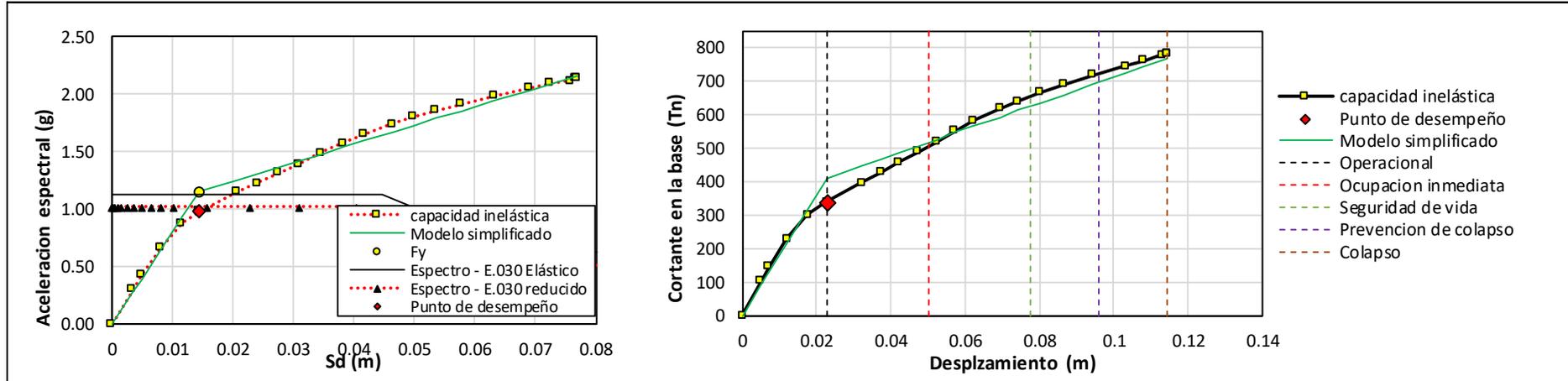
Ficha Técnica-023

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	2	Dirección	y-y	N° de vigas	34
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	378881.13 kg	N° de ejes	4	N° de columnas	12	Altura total	8.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas
Análisis sísmico Modos de vibración: 6.000 Modo N°01 (seg): 0.273 Modo N°02 (seg): 0.217 Modo N°03 (seg): 0.198 Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007): 0.003 Cortante estático (Tn): 24.630 Cortante dinámico (Tn): 47.510 Punto de desempeño: Cortante (Tn): 337.144 Desplazamiento (m): 0.023 Sa (g): 0.983 Sd (m): 0.014		

Resultados de la curva Pushover



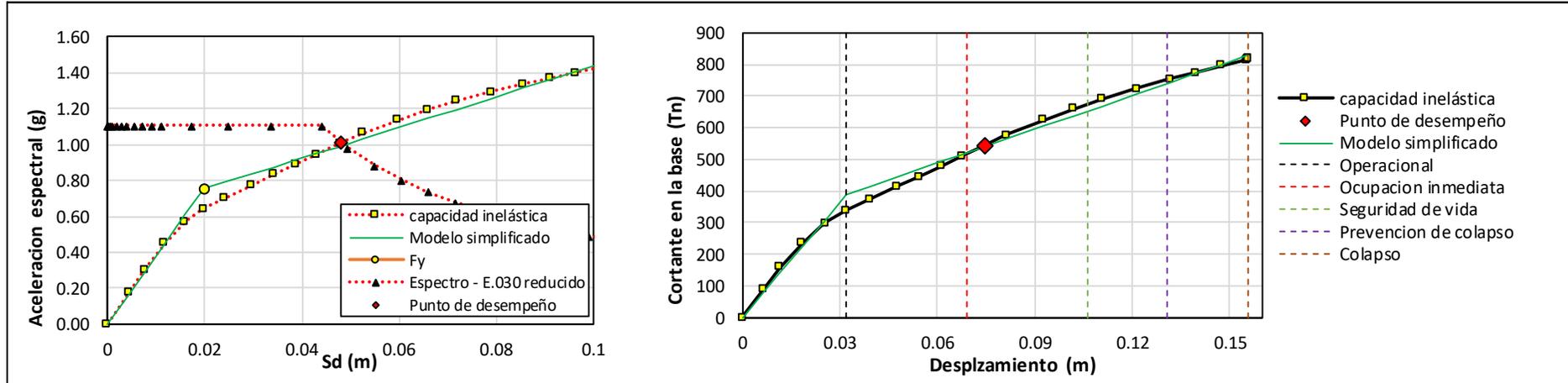
Ficha Técnica-024

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	3	Dirección	x-x	N° de vigas	51
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	600920.97 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	11.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas
Análisis sísmico		
Modos de vibración	9.000	
Modo N°01 (seg)	0.388	
Modo N°02 (seg)	0.319	
Modo N°03 (seg)	0.291	
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.004	
Cortante estático (Tn)	39.064	
Cortante dinámico (Tn)	73.938	
Punto de desempeño:		
Cortante (Tn)	542.974	
Desplazamiento (m)	0.075	
Sa (g)	1.011	
Sd (m)	0.048	

Resultados de la curva Pushover



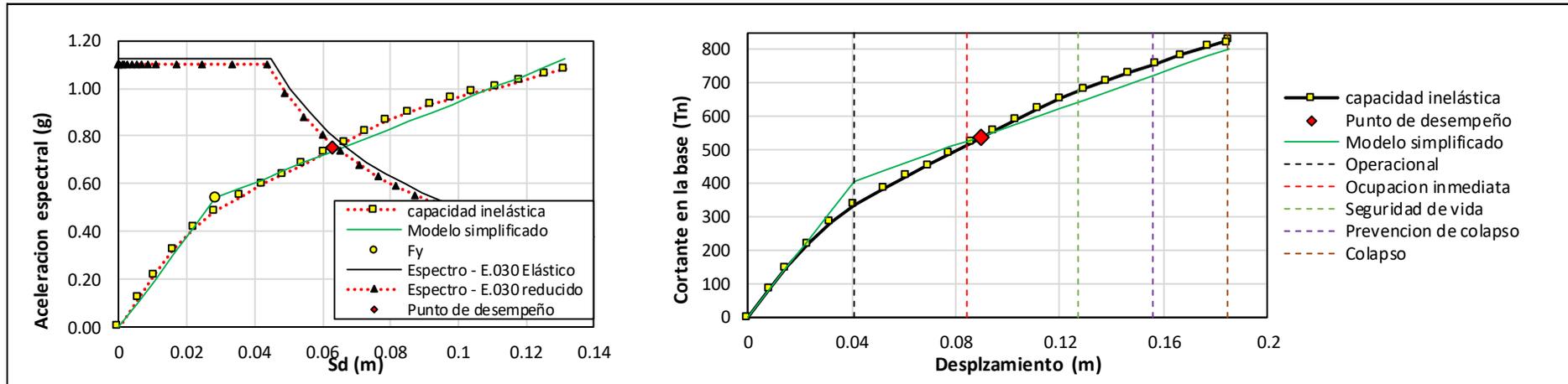
Ficha Técnica-025

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	4	Dirección	y-y	N° de vigas	68
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	818518.93 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	15.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas
Análisis sísmico		
Modos de vibración	12.000	
Modo N°01 (seg)	0.509	
Modo N°02 (seg)	0.444	
Modo N°03 (seg)	0.400	
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	
Cortante estático (Tn)	53.210	
Cortante dinámico (Tn)	78.930	
Punto de desempeño:		
Cortante (Tn)	535.821	
Desplazamiento (m)	0.090	
Sa (g)	0.748	
Sd (m)	0.063	

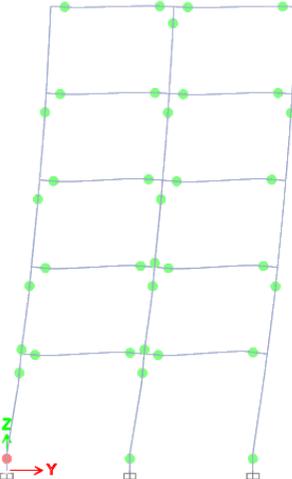
Resultados de la curva Pushover



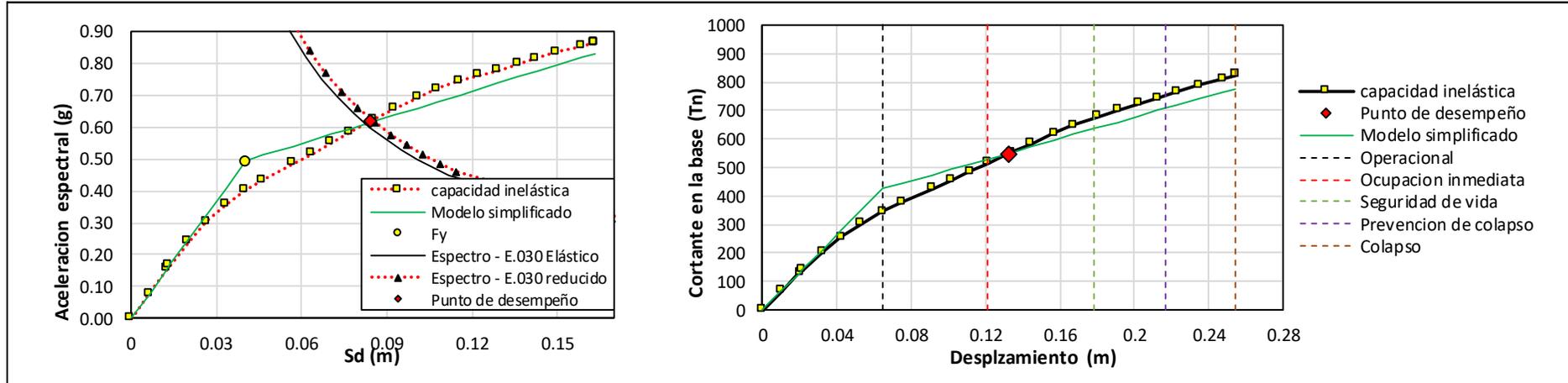
Ficha Técnica-026

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	Nº de pisos	5	Dirección	y-y	Nº de vigas	85
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1036117 kg	Nº de ejes	4	Nº de columnas	12	Altura total	18.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">15.000</td> </tr> <tr> <td> Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.634</td> </tr> <tr> <td> Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.579</td> </tr> <tr> <td> Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.514</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">67.350</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">80.210</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">546.766</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.132</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.619</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.085</td> </tr> </table>	Modos de vibración	15.000	Modo N°01 (seg)	0.634	Modo N°02 (seg)	0.579	Modo N°03 (seg)	0.514	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	67.350	Cortante dinámico (Tn)	80.210	Cortante (Tn)	546.766	Desplazamiento (m)	0.132	Sa (g)	0.619	Sd (m)	0.085		
Modos de vibración	15.000																							
Modo N°01 (seg)	0.634																							
Modo N°02 (seg)	0.579																							
Modo N°03 (seg)	0.514																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	67.350																							
Cortante dinámico (Tn)	80.210																							
Cortante (Tn)	546.766																							
Desplazamiento (m)	0.132																							
Sa (g)	0.619																							
Sd (m)	0.085																							

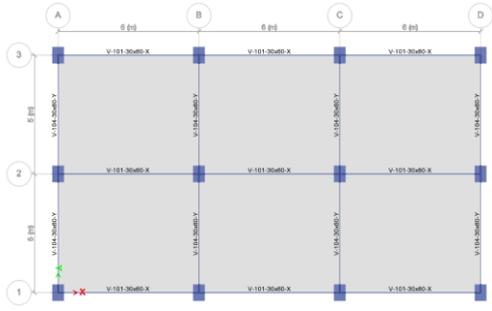
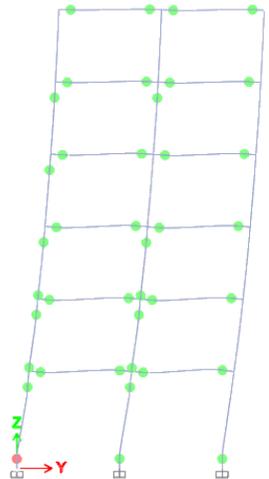
Resultados de la curva Pushover



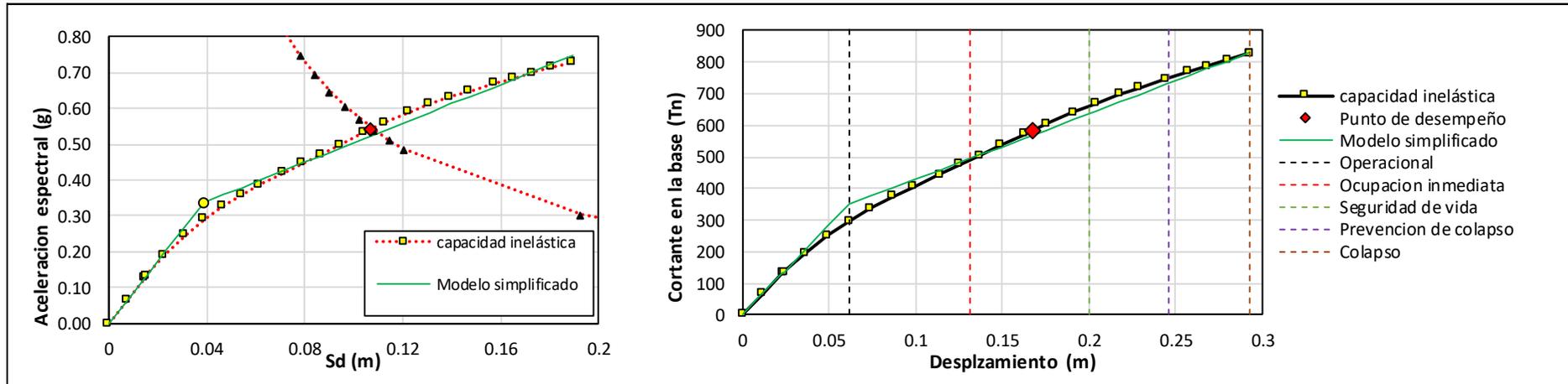
Ficha Técnica-027

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	6	Dirección	y-y	N° de vigas	102
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1258157 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	22.20 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas																						
Análisis sísmico <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Modos de vibración</td> <td style="text-align: center;">18.000</td> </tr> <tr> <td> Modo N°01 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.763</td> </tr> <tr> <td> Modo N°02 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.687</td> </tr> <tr> <td> Modo N°03 (seg)</td> <td style="text-align: center;">0.611</td> </tr> <tr> <td>Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)</td> <td style="text-align: center;">0.005</td> </tr> <tr> <td>Cortante estático (Tn)</td> <td style="text-align: center;">81.790</td> </tr> <tr> <td>Cortante dinámico (Tn)</td> <td style="text-align: center;">81.020</td> </tr> </table> Punto de desempeño: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Cortante (Tn)</td> <td style="text-align: center;">583.100</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento (m)</td> <td style="text-align: center;">0.167</td> </tr> <tr> <td>Sa (g)</td> <td style="text-align: center;">0.543</td> </tr> <tr> <td>Sd (m)</td> <td style="text-align: center;">0.107</td> </tr> </table>	Modos de vibración	18.000	Modo N°01 (seg)	0.763	Modo N°02 (seg)	0.687	Modo N°03 (seg)	0.611	Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005	Cortante estático (Tn)	81.790	Cortante dinámico (Tn)	81.020	Cortante (Tn)	583.100	Desplazamiento (m)	0.167	Sa (g)	0.543	Sd (m)	0.107		
Modos de vibración	18.000																							
Modo N°01 (seg)	0.763																							
Modo N°02 (seg)	0.687																							
Modo N°03 (seg)	0.611																							
Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007)	0.005																							
Cortante estático (Tn)	81.790																							
Cortante dinámico (Tn)	81.020																							
Cortante (Tn)	583.100																							
Desplazamiento (m)	0.167																							
Sa (g)	0.543																							
Sd (m)	0.107																							

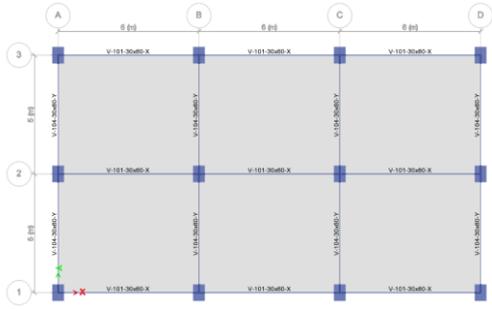
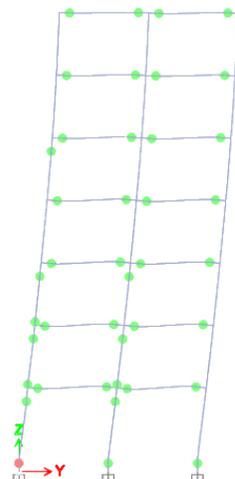
Resultados de la curva Pushover



Ficha Técnica-028

Nombre:	Modelo N°03	Área planta	180.00 m ²	N° de pisos	7	Dirección	y-y	N° de vigas	119
Ubicación	Tacna -Tacna -Tacna	Peso	1501418 kg	N° de ejes	3	N° de columnas	12	Altura total	25.70 m

Parámetros sísmicos					
Factor de zona	Zona 4 ; Z=0.45	Factor de suelo	S1; Roca o suelos muy rígidos; S=1.00; TP=0.40; TL=2.50	Factor de uso	"C"; Edificaciones comunes; U=1

Resultados	Geometría en planta	Presentación de rotulas plásticas
Análisis sísmico Modos de vibración: 21.000 Modo N°01 (seg): 0.865 Modo N°02 (seg): 0.827 Modo N°03 (seg): 0.720 Mayor distorsión de entrepiso (max=0.007): 0.005 Cortante estático (Tn): 97.600 Cortante dinámico (Tn): 84.960 Punto de desempeño: Cortante (Tn): 585.018 Desplazamiento (m): 0.190 Sa (g): 0.471 Sd (m): 0.122		

Resultados de la curva Pushover

