



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

## **TESIS**

**PROPUESTA TEÓRICA DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN  
SÍSMICA PARA MUROS PORTANTES DE ACERO  
GALVANIZADO STEEL FRAMING EN LA  
COSTA DEL PERÚ 2023**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER ERICK GIANCARLO ESTRADA LIENDO**

**ASESOR:**

**MGR. FABRIZIO DEL CARPIO DELGADO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA - PERÚ**

**2024**



# Universidad José Carlos Mariátegui

## CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, certifica que el trabajo de investigación (\_\_\_) / Tesis (x) / Trabajo de suficiencia profesional (\_\_\_) / Trabajo académico (\_\_\_), titulado “**PROPUESTA TEÓRICA DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA PARA MUROS PORTANTES DE ACERO GALVANIZADO STEEL FRAMING EN LA COSTA DEL PERÚ 2023**” presentado por el(la) Bachiller **ESTRADA LIENDO, ERICK GIANCARLO** para obtener el grado académico (\_\_\_) o Título profesional (x) o Título de segunda especialidad (\_\_\_) de: **INGENIERO CIVIL**, y asesorado por el(la) **MGR. FABRIZIO DEL CARPIO DELGADO**, designado como asesor con RESOLUCIÓN DE DECANATURA N°117-2023-DFAIA-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN, conforme a lo dispuesto en la normativa interna aplicable en la UJCM.

En tal sentido, se emite el presente certificado de originalidad, de acuerdo al siguiente detalle:

Programa académico	Aspirante(s)	Tesis	Porcentaje de similitud
Ingeniería Civil	Estrada Liendo, Erick Giancarlo	“PROPUESTA TEÓRICA DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA PARA MUROS PORTANTES DE ACERO GALVANIZADO STEEL FRAMING EN LA COSTA DEL PERÚ 2023”	26 % (15 de julio de 2024)

El porcentaje de similitud del Trabajo de investigación es del **26 %**, que está por debajo del límite **PERMITIDO** por la UJCM, por lo que se considera apto para su publicación en el Repositorio Institucional de la UJCM.

Se emite el presente certificado de similitud con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención de grado académico o título profesional o título de segunda especialidad.

Moquegua, 15 de julio de 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Ph.D. EDGAR VIRGILIO BEDOYA JUSTO  
Jefe de la Unidad de Investigación

## CONTENIDO

	Pag
PORTADA	
Página de Jurado .....	i
Certificado de Originalidad.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
CONTENIDO .....	v
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE FIGURAS .....	xiii
INDICE DE ECUACIONES .....	xxvi
RESUMEN.....	xxviii
ABSTRACT .....	xxix
INTRODUCCIÓN .....	xxx

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción De La Realidad Del Problema .....	1
1.2. Definición Del Problema .....	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problemas Específicos .....	3
1.3. Objetivos De La Investigación.....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Jutificación .....	4
1.5. Alcances Y Limitaciones .....	6

1.5.1. Alcances .....	6
1.5.2. Limitaciones .....	6
1.6. Variables .....	7
1.6.1. Operacionalización De Variables.....	8
1.7. Hipótesis De La Investigación .....	9
1.7.1. Hipótesis General .....	9
1.7.2. Hipótesis Específicas .....	9

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes De La Investigación.....	10
2.2. Bases Teóricas.....	16
2.2.1. Sistema Estructural Steel Framing .....	16
2.2.2. Periodo Fundamental De La Estructura .....	19
2.2.3. Espectro De Respuesta Sísmica .....	20
2.2.4. Ductilidad.....	21
2.2.5. Tipos De Espectros .....	23
2.2.6. Análisis Estático No Lineal Pushover.....	24
2.2.7. Método Del Espectro De Capacidad .....	25
2.2.8. Coeficiente De Reducción R.....	33
2.2.9. Determinación Del Coeficiente De Reducción R .....	34
2.3. Definición de terminos.....	41

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1. Tipo De Investigación.....	43
---------------------------------	----

3.2. Diseño De Investigación .....	44
3.3. Población Y Muestra.....	45
3.3.1. Población.....	45
3.3.2. Muestra.....	45
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	46
3.5. Técnicas De Procesamiento Y Análisis De Datos .....	46

## **CAPÍTULO IV**

### **ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Descripción de las estructuras .....	48
4.1.1 Detalle de los modelos bajo análisis .....	48
4.2 Parámetros básicos de estructuración.....	53
4.2.1 Cargas de gravedad y predimensionamiento .....	54
4.2.1.1 Predimensionamiento de vigas.....	54
4.2.1.2 Predimensionamiento De Montantes .....	58
4.3 Propiedades de los Materiales .....	61
4.3.1 Propiedades No lineales del Acero Conformado en Frio.....	61
4.3.2 Propiedades de los elementos estructurales .....	62
4.3.2.1 Perfil PGC (Vigas y Montantes) .....	63
4.3.2.2 Perfil PGU (Soleras) .....	63
4.4 Definición de las características de las secciones de los perfiles.....	65
4.5 Cargas por viento .....	71
4.6 Análisis por sismo .....	74
4.6.1 Zonificación .....	74
4.6.2 Perfil del suelo.....	76

4.6.3	Categoría de la edificación.....	76
4.6.4	Factor de amplificación.....	77
4.6.5	Modos de vibración.....	78
4.6.6	Desplazamientos laterales y derivas admisibles .....	79
4.7	Análisis estático no lineal .....	80
4.7.1	Peligro sísmico.....	80
4.7.2	Definición de rotulas plásticas .....	85
4.7.3	Creación de casos de carga no lineal.....	89
4.8	Análisis estático no lineal de las viviendas en estudio.....	92
4.8.1	Modelo matemático.....	93
4.8.2	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF1 .....	94
4.8.3	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF2.....	106
4.8.4	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF3.....	114
4.8.5	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF4.....	122
4.8.6	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF5.....	130
4.8.7	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF6.....	138
4.8.8	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF7.....	146
4.8.9	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF8.....	154
4.8.10	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF9.....	162
4.8.11	Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF10.....	170
4.9.	Presentación de resultados .....	178
4.10.	Contrastación de Hipótesis.....	181
4.11.	Discusión de Resultados .....	186

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones .....	188
5.2. Recomendaciones.....	189
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	190
APÉNDICES.....	193
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	204
INSTRUMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS .....	205

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de sistemas estructurales y coeficientes de reducción básica $R_o$ .....	6
Tabla 2. Esquema de la matriz de operacionalización de variables.....	8
Tabla 3. Tabla del coeficiente $\phi$ para el cálculo del factor de Redundancia.....	37
Tabla 4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
Tabla 5. Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF1 – Vivienda SF4 .....	12
Tabla 6. Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF5 – Vivienda SF7 .....	49
Tabla 7. Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF7 – Vivienda SF9 .....	51
Tabla 8. Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF9 – Vivienda SF10 .....	52
Tabla 9. Carga Muerta para Entrepiso Seco.....	55
Tabla 10. Resumen de cargas viva y carga muerta para entrepiso seco .....	56
Tabla 11. Propiedades del Acero A653.....	61
Tabla 12. Propiedades del Perfil PGC 2X5X0.85.....	65
Tabla 13. Propiedades del Perfil PGC 2X8X1.6.....	65
Tabla 14. Cargas de Viento por metro cuadrado en superficies verticales de edificios.....	74
Tabla 15. Factor de suelo según la zona sísmica .....	76
Tabla 16. Factor Amplificación sísmica .....	77
Tabla 17. Límites para la distorsión del entrepiso .....	79
Tabla 18. Escenarios de peligro sísmico VISION 2000 .....	80
Tabla 19. Límites de distorsión de entrepiso para los niveles de desempeño.....	83
Tabla 20. Parámetros de diseño sísmico de acuerdo a la norma E.030 para espectro elástico .....	83
Tabla 21. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la vivienda SF1eje X-X..	95

Tabla 22. Cálculo del cortante de diseño para la vivienda SF1eje X-X y Y-Y .....	77
Tabla 23. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF2.....	107
Tabla 24. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF2 eje X-X y Y-Y .	109
Tabla 25. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF3.....	115
Tabla 26. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF3 eje X-X y Y-Y .	117
Tabla 27. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF4 eje X-X .....	123
Tabla 28. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF4 eje X-X y Y-Y .	125
Tabla 29. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF5 eje X-X .....	131
Tabla 30. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF5 eje X-X y Y-Y .	133
Tabla 31. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF6 eje X-X .....	139
Tabla 32. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF6 eje X-X y Y-Y .	141
Tabla 33. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la vivienda SF7 eje X-X .....	147
Tabla 34. Cálculo del cortante de diseño para la vivienda SF7 eje X-X y Y-Y ..	149
Tabla 35. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF8 eje X-X .....	155
Tabla 36. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF8 eje X-X y Y-Y .	157
Tabla 37. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF9 eje X-X .....	163
Tabla 38. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF9eje X-X y Y-Y ..	165

Tabla 39. Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF10 eje X-X .....	171
Tabla 40. Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF10 eje X-X y Y-Y	173
Tabla 41. Resultados del cálculo del coeficiente de Sobrerresistencia.....	178
Tabla 42. Resultados del cálculo del coeficiente de Ductilidad.....	179
Tabla 43. Resultados del factor de reducción sísmica “R” para estructuras Steel Frame.....	180

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista esquemática de una vivienda en Steel Framing .....	17
Figura 2. Panel típico de una vivienda en Steel Framing.....	18
Figura 3. Transmisión de carga vertical en Steel Framing.....	18
Figura 4. Arriostramiento de panel con cruz de San Andrés .....	19
Figura 5. Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento .....	20
Figura 6. Gráfico del método para determinar el espectro de respuesta .....	21
Figura 7. Comparación de la ductilidad entre el metal y el plástico .....	22
Figura 8. Curva de capacidad o pushover, cortante y desplazamiento .....	25
Figura 9. Espectro de respuesta tradicional y en formato ADRS .....	28
Figura 10. Representación bilineal de la curva de capacidad ATC-40.....	29
Figura 11. Demanda reducida por factor $B(\beta_{eff})$ y modificada por factor M .....	33
Figura 12. Ilustración del factor de Reducción Sísmica .....	35
Figura 13. Ilustración de los factores Desempeño Sísmico ( $R$ , $\Omega$ y $C_d$ ).....	38
Figura 14. Ilustración de los factores de Sobre resistencia $\Omega$ y Ductilidad $R_d$ .....	40
Figura 15. Ilustración de los factores de Sobre resistencia $\Omega$ y Ductilidad $R_d$ ( $T_n \times m$ ) .....	40
Figura 16. Muros portantes y estructuración de un entrepiso en Steel frame .....	53
Figura 17. Estructuración típica y orientación de vigas en el sistema Steel frame	53
Figura 18. Vista en Planta Arquitectura Vivienda SF1 .....	54
Figura 19. Detalle de los estratos que conforman el entrepiso seco para Steel frame .....	55
Figura 20. Momento flector máximo para viga simplemente apoyada con carga distribuida.....	56

Figura 21. Propiedades del Metalcon Perfil PGC .....	57
Figura 22. Cargas Axiales Admisibles del Metalcon Perfil PGC .....	58
Figura 23. Factor de longitud efectiva K para miembros a compresión concentricamente cargados .....	59
Figura 24. Detalle de arriostramiento de montantes con cintas metálicas (strapping y blocking) .....	60
Figura 25. Deflexión en montantes sin sujeción lateral y con sujeción lateral continua a ½ altura .....	60
Figura 26. Propiedades no lineales del Acero ASTM A653 .....	62
Figura 27. Perfilería utilizada en el sistema Steel Framing .....	63
Figura 28. Dimensiones de los Perfiles Metalcon para el sistema Steel Framing .	64
Figura 29. Definición de secciones de perfiles PGC, PGU y Tirante .....	66
Figura 30. Modelado de montantes en L en el software mediante le Section Designer .....	67
Figura 31. Modelado de sección doble para montantes en el software mediante la Section Designer .....	67
Figura 32. Detalle de encuentro de montantes en esquina (L).....	68
Figura 33. Modelado de montantes en L en el software mediante le Section Designer .....	68
Figura 34. Detalle de encuentro de montantes en esquina (T).....	68
Figura 35. Modelado de montantes en T en el software mediante le Section Designer .....	69
Figura 36. Detalle de encuentro de montantes en Cruz .....	69

Figura 37. Modelado de montantes en Cruz en el software mediante el Section Designer del software.....	69
Figura 38. Detalle de viga dintel tipo Cajón .....	70
Figura 39. Modelado de Sección viga dintel en el software mediante le Section Designer del software.....	70
Figura 40. Acción de cargas laterales en muros no anclados.....	71
Figura 41. Mapa eólico del Perú .....	72
Figura 42. Cargas de Viento actuantes en las superficies de los edificios.....	74
Figura 43. Zona de subducción en la costa del Perú.....	75
Figura 44. Mapa de zonas sísmicas del Perú.....	75
Figura 45. Uso residencial con sistema estructural Steel framing Perú.....	77
Figura 46. Asignación de porcentaje de masas en SAP2000.....	78
Figura 47. Modos de vibración en SAP2000 .....	79
Figura 48. Niveles de Peligro FEMA 273.....	80
Figura 49. Matriz de objetivos para edificaciones VISION 2000.....	81
Figura 50. Niveles y rangos de desempeño en edificaciones FEMA 273.....	81
Figura 51. Desempeño estructural y criterios de aceptación FEMA 273 .....	82
Figura 52. Espectro elástico de la norma E.030 para suelos S1, y Zona sísmica 4 .....	84
Figura 53. Espectro elástico de la norma E.030 para suelos S1, y Zona sísmica 4 en el SAP2000.....	84
Figura 54. Definición de las propiedades para las rotulas plásticas en SAP2000..	85
Figura 55. Definición de los tipos de rotulas plásticas en SAP2000 .....	85

Figura 56. Parámetros para el modelamiento y criterios de aceptación para Acero Estructural .....	86
Figura 57. Banco de tablas del ASCE 41-13 incorporados en el SAP2000.....	86
Figura 58. Asignación de propiedades a la rótula de las vigas en SAP2000 .....	87
Figura 59. Asignación de propiedades a la rótula de los montantes en SAP2000 ..	88
Figura 60. Propiedades a la rótula de los montantes P-M2-M3 en SAP2000 según Mirzaaghabeik.....	89
Figura 61. Creación del caso de carga horizontal PUSH SF X en el software SAP2000 .....	90
Figura 62. Control de desplazamiento en la dirección X en SAP2000.....	90
Figura 63. Creación del caso de carga horizontal PUSH SFY en el software SAP2000 .....	91
Figura 64. Control de desplazamiento en la dirección Y en SAP2000.....	91
Figura 65. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF1 .....	94
Figura 66. Vista Isométrica de la Vivienda SF1 .....	94
Figura 67. Estructuración de la Vivienda SF1 en el software Sap2000.....	95
Figura 68. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF1 ..	96
Figura 69. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF197	
Figura 70. Componentes y criterios de aceptación de fallas frágiles y fallas dúctiles .....	97
Figura 71. Gráfico del espectro de capacidad FEMA440 en la dirección X-X de la Vivienda SF1.....	98
Figura 72. Parámetros para el método del espectro de capacidad del FEMA440 en el SAP2000 .....	99

Figura 73. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF1eje X-X.....	100
Figura 74. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF1eje X-X..	101
Figura 75. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1eje X-X.	102
Figura 76. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF1 .....	103
Figura 77. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF1eje Y-Y .....	104
Figura 78. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF1eje Y-Y ..	105
Figura 79. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1eje X-X.	105
Figura 80. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF2.....	106
Figura 81. Vista Isométrica de la Vivienda SF2 .....	106
Figura 82. Estructuración de la Vivienda SF2 en el software Sap2000.....	107
Figura 83. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF2	108
Figura 84. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF2 .....	108
Figura 85. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF1eje X-X.....	109
Figura 86. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF2 eje X-X.	110
Figura 87. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF2 eje X-X .....	110
Figura 88. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF2 .....	111

Figura 89. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF2 eje Y-Y.....	112
Figura 90. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF2 eje Y-Y .....	113
Figura 91. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF2 eje Y-Y .....	113
Figura 92. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF3.....	114
Figura 93. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF3.....	114
Figura 94. Estructuración de la Vivienda SF3 en el software Sap2000.....	115
Figura 95. Estructuración de la Vivienda SF3 en el software Sap2000.....	116
Figura 96. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF3 .....	116
Figura 97. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF3 eje X-X.....	117
Figura 98. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF3 eje X-X .....	118
Figura 99. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF3 eje X-X .....	118
Figura 100. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF3 .....	119
Figura 101. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF3 eje Y-Y.....	120
Figura 102. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF3 eje Y-Y .....	121

Figura 103. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF3 eje X-X .....	121
Figura 104. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF4.....	122
Figura 105. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF4.....	122
Figura 106. Estructuración de la Vivienda SF4 en el software Sap2000.....	123
Figura 107. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF4 .....	124
Figura 108. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF4 .....	124
Figura 109. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF4 eje X-X.....	125
Figura 110. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF4 eje X-X .....	126
Figura 111. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF4 eje X-X .....	126
Figura 112. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF4 .....	127
Figura 113. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF4 eje Y-Y.....	128
Figura 114. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF4 eje Y-Y .....	129
Figura 115. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF4 eje X-X .....	129
Figura 116. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF5.....	130

Figura 117. Vista Isométrica de la Vivienda SF5. ....	130
Figura 118. Estructuración de la Vivienda SF5 en el software Sap2000.....	131
Figura 119. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF5 .....	132
Figura 120. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF5 .....	132
Figura 121. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF5 eje X-X.....	133
Figura 122. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF5 eje X-X .....	134
Figura 123. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF5 eje X-X .....	134
Figura 124. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF5 .....	135
Figura 125. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF5 eje Y-Y.....	136
Figura 126. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF5 eje Y-Y .....	137
Figura 127. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF5 eje X-X .....	137
Figura 128. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF6.....	138
Figura 129. Vista Isométrica de la Vivienda SF6 .....	138
Figura 130. Estructuración de la Vivienda SF6 en el software Sap2000.....	139

Figura 131. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF6	140
Figura 132. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF6	140
Figura 133. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF6 eje X-X	141
Figura 134. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF6 eje X-X	142
Figura 135. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF6 eje X-X	142
Figura 136. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF6	143
Figura 137. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF6 eje Y-Y	144
Figura 138. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF6 eje Y-Y	145
Figura 139. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1eje X-X	145
Figura 140. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF7	146
Figura 141. Vista Isométrica de la Vivienda SF7	146
Figura 142. Estructuración de la Vivienda SF7 en el software Sap2000	147
Figura 143. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF7	148

Figura 144. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF7	148
Figura 145. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF7 eje X-X	149
Figura 146. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF7 eje X-X	150
Figura 147. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF7 eje X-X	150
Figura 148. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF7	151
Figura 149. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF7 eje Y-Y	152
Figura 150. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF7 eje Y-Y	153
Figura 151. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF7 eje X-X	153
Figura 152. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF8	154
Figura 153. Vista Isométrica de la Vivienda SF8	154
Figura 154. Estructuración de la Vivienda SF8 en el software Sap2000	155
Figura 155. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF8	156
Figura 156. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF8	156

Figura 157. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF8 eje X-X.....	157
Figura 158. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF8 eje X-X .....	158
Figura 159. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF8eje X-X .....	158
Figura 160. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF8 .....	159
Figura 161. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF8 eje Y-Y.....	160
Figura 162. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF8 eje Y-Y .....	161
Figura 163. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF8 eje X-X .....	161
Figura 164. Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF9.....	162
Figura 165. Vista Isométrica de la Vivienda SF9 .....	162
Figura 166. Estructuración de la Vivienda SF9 en el software Sap2000.....	163
Figura 167. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF9 .....	164
Figura 168. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF9 .....	164
Figura 169. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF9 eje X-X.....	165

Figura 170. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF9 eje X-X .....	166
Figura 171. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1eje X-X .....	166
Figura 172. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF9 .....	167
Figura 173. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF9 eje Y-Y.....	168
Figura 174. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF9 eje Y-Y .....	169
Figura 175. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF9 eje X-X .....	169
Figura 176. Plano en planta del 1er y2do nivel de la Vivienda SF10.....	170
Figura 177. Vista Isométrica de la Vivienda SF10 .....	170
Figura 178. Estructuración de la Vivienda SF10 en el software Sap2000.....	171
Figura 179. Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF10 .....	172
Figura 180. Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF10 .....	172
Figura 181. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF10 eje X-X.....	173
Figura 182. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF10 eje X-X. .....	174

Figura 183. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF10 eje X-X .....	174
Figura 184. Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF10 .....	175
Figura 185. Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF10 eje Y-Y.....	176
Figura 186. Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF10 eje Y-Y .....	177
Figura 187. Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF10 eje X-X .....	177
Figura 188. Resultados y propuesta del coeficiente de Reducción “R” para estructuras Steel Frame .....	180
Figura 189. Incidencia de los factores de Ductilidad y Sobre resistencia en viviendas de 1 nivel.....	183
Figura 190. Incidencia de los factores de Ductilidad y Sobre resistencia en viviendas de 2 niveles .....	183
Figura 191. Incidencia promedio de los factores de Ductilidad y Sobre resistencia en el coeficiente R.....	184
Figura 192. Resultados y propuesta del coeficiente de Reducción “R” para estructuras Steel Frame .....	185

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuacion 1. Ductilidad en función del desplazamiento .....	23
Ecuacion 2. Factor de participación modal para el primer modo natural .....	26
Ecuacion 3. Coeficiente de masa modal para el primer modo natural.....	26
Ecuacion 4. Aceleración espectral .....	26
Ecuacion 5. Desplazamiento espectral.....	26
Ecuacion 6. Masa Total.....	27
Ecuacion 7. Desplazamiento espectral en función al Periodo.....	27
Ecuacion 8. Periodo fundamental del espectro ADRS.....	27
Ecuacion 9. Amortiguamiento efectivo Para $1.0 < \mu < 4.0$ .....	29
Ecuacion 10. Amortiguamiento efectivo Para $4.0 \leq \mu \leq 6.5$ .....	30
Ecuacion 11. Amortiguamiento efectivo Para $\mu > 6.5$ .....	30
Ecuacion 12. Periodo efectivo Para $1.0 < \mu < 4.0$ .....	30
Ecuacion 13. Periodo efectivo Para $4.0 \leq \mu \leq 6.5$ .....	30
Ecuacion 14. Periodo efectivo Para $\mu > 6.5$ .....	30
Ecuacion 15. Aceleración espectral efectiva.....	31
Ecuacion 16. Amortiguamiento efectivo.....	31
Ecuacion 17. Factor de modificación M .....	31
Ecuacion 18. Factor de modificación M .....	31
Ecuacion 19. Factor de modificación M .....	32
Ecuacion 20. Rigidez post elástica.....	32
Ecuacion 21. Ductilidad .....	32
Ecuacion 22. Cortante Basal .....	32
Ecuacion 23. Coeficiente De Reducción R .....	34

Ecuacion 24. Factor de reducción por ductilidad.....	36
Ecuacion 25. Factor de reducción por sobre resistencia .....	36
Ecuacion 26. Factor de reducción por redundancia .....	37
Ecuacion 27. Coeficiente De Reducción R FEMA P-2192 V2 .....	39
Ecuacion 28. Factor de reducción por sobre resistencia FEMA P-2192 V2.....	39
Ecuacion 29. Factor de reducción por ductilidad FEMA P-2192 V2 .....	39

## RESUMEN

En esta tesis se formuló una propuesta teórica para determinar el valor de reducción sísmica, denotado como  $R$ , específicamente aplicable a edificaciones con sistema estructural de Steel Framing y con un rango de 1 a 2 niveles. Este estudio se concentró en edificaciones localizadas en la costa del Perú, particularmente en la Zona Sísmica 4, y sobre un suelo clasificado como tipo S1. Para la obtención de dicho valor, se implementó la metodología del análisis estático no lineal, conocido como Pushover, utilizando el software SAP2000 V24. Los resultados de este análisis se tradujeron en la generación de gráficos representativos de las curvas de capacidad y espectros de capacidad para cada una de las estructuras modeladas. La investigación arrojó un valor de  $R$  de 5.782 para las viviendas que incorporan el sistema estructural Steel Framing. Este hallazgo representa una contribución significativa al ámbito del diseño sísmico de edificaciones, proporcionando información valiosa que se integra de manera directa en el análisis estructural de estructuras de este tipo. Estos resultados tienen una conexión directa con nuestra normativa sismorresistente local, la E.030, y contribuyen de manera sustancial a fortalecer y mejorar las prácticas de diseño y construcción sismorresistente en el contexto específico de la zona de estudio.

Palabras clave: Steel Framing, Coeficiente de Reducción sísmica, Análisis Estático No Lineal, Curva de Capacidad.

## **ABSTRACT**

In this thesis, a theoretical proposal was formulated to determine the seismic reduction value, denoted as  $R$ , specifically applicable to buildings with a Steel Framing structural system and with a range of 1 to 2 levels. This study focused on buildings located on the coast of Peru, particularly in Seismic Zone 4, and on soil classified as type S1. To obtain this value, the nonlinear static analysis methodology, known as Pushover, was implemented using the SAP2000 V24 software. The results of this analysis were translated into the generation of representative graphs of the capacity curves and capacity spectra for each of the modeled structures. The research yielded an  $R$  value of 5.782 for homes that incorporate the Steel Framing structural system. This finding represents a significant contribution to the field of seismic design of buildings, providing valuable information that is directly integrated into the structural analysis of structures of this type. These results have a direct connection with our local earthquake-resistant regulations, E.030, and contribute substantially to strengthening and improving earthquake-resistant design and construction practices in the specific context of the study area..

Key words: Steel Framing, Seismic Reduction Coefficient, Nonlinear Static Analysis, Capacity Curve.

## INTRODUCCIÓN

Cuando un ingeniero civil diseña una estructura sismo resistente, se acoge a la normativa vigente de su país, teniendo en cuenta las cargas que actúan sobre la estructura, para el caso de determinar la carga por sismo, nos basamos en seguir una serie de pasos y utilizamos datos del reglamento nacional de edificaciones, como son los factores de diseño sismo resistente: Factor de Zona (Z), Factor de Suelo (S), Factor de Uso (U), Factor de Reducción Sísmica (R) y Factor de Amplificación Sísmica (C).

Pero si no se especificara un factor de diseño en nuestro reglamento para un determinado sistema estructural, tal sea el caso del factor de reducción sísmica para el sistema de muros portantes de acero galvanizado denominado internacionalmente como Steel framing, siendo un factor de diseño importante para el cálculo de la carga sísmica, sería necesario realizar un cálculo de ese factor mediante métodos de análisis estático no lineal, y así conseguir tener un diseño estructural confiable y seguro, acorde a nuestra normativa.

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la Realidad del Problema**

En el Perú existen diferentes sistemas constructivos no convencionales en uso, uno de ellos es el sistema de perfiles de acero galvanizado denominado Steel Framing o Sistema Drywall como se conoce en este país, por lo que en el año 2017 el gobierno aprobó según Resolución Ministerial N°400–2017-VIVIENDA, el “Sistema de construcción en seco ETERNIT”, por una vigencia de 10 años. La memoria descriptiva general del Sistema De Construcción En Seco Eternit, nos describe en el inciso A. Generalidades, indica que dicho sistema se compone de una armazón de acero galvanizado que actúa como estructura principal. Esta estructura se reviste con placas de fibrocemento Superboard, las cuales son fabricadas de acuerdo con las normativas técnicas establecidas, tales como la Norma Técnica Peruana NTP 8336-199, NORMAS ISO 12001, ISO 9001:2008 y OHSAS 18001:2007, según las exigencias técnicas del proyecto; Para fijar las placas a los perfiles de acero galvanizado se emplean tornillos autorroscantes, estas placas forman diafragmas rígidos que procuran soportar importantes cargas sísmicas. En cuanto al uso del sistema, manifiesta que puede emplearse en la

construcción de viviendas unifamiliares o plurifamiliares, instalaciones sanitarias o médicas, centros educativos, edificios comerciales, equipamientos comunitarios y, en general, cualquier tipo de edificio (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017a).

El reglamento técnico E.030 relativo al diseño sismorresistente, descrito en el artículo 1 - Objetivos, precisa que su principal objetivo es definir los criterios esenciales para formular expedientes para edificios que toleren fuerzas sísmicas. Referente a los sistemas estructurales, el Artículo 17.- Categoría y Sistemas estructurales, la norma nos detalla en la tabla N°6, las categorías, zonas y sistemas estructurales, en tal sentido, el reglamento, en el artículo 16.2 Estructuras de Acero omite a los sistemas estructurales no convencionales, y posteriormente en la tabla N°7 de Coeficientes de Reducción  $R_o$ , se detalla para las estructuras de Acero, solo sistemas Aporticados SMF, IMF, OMF, SCBF, OCBF y EBF (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento , 2017b).

Como recomiendan los Ingenieros Suarez y Campos en su tesis de determinación del coeficiente de Reducción ( $R$ ), para estructuras mixtas de pórticos y albañilería, el cálculo del  $R$  puede ser reproducido para otros tipos de estructuras y así de esta forma, tener un valor de  $R$  estadístico con el que se puedan tomar mejores decisiones (Suarez y Campos, 2023).

## **1.2. Definición del Problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Qué coeficiente básico de reducción sísmica  $R$ , se podría proponer para el diseño de una vivienda con el sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado denominado Steel Framing de 1 a 2 niveles en la zona costera del Perú?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo se puede estudiar el comportamiento no lineal de un sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado (Steel Framing) de 1 a 2 pisos, por el método de espectro de capacidad?
- ¿Se puede evaluar la ductilidad de una estructura de sistema estructural Steel framing, y su dependencia con el factor de reducción sísmica?
- ¿Puede calcularse el coeficiente de Reducción sísmica de cada una de las estructuras de dicho sistema estructural Steel framing?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer un coeficiente básico de reducción sísmica  $R$ , realizando un análisis estático no lineal a estructuras con arquetipo similar para un sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado, variando el número de pisos entre 1 y 2 niveles.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Estudiar el comportamiento no lineal de un sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado (Steel Framing) de 1 a 2 pisos, por el método de espectro de capacidad.
- b) Evaluar la ductilidad de cada estructura, investigando la dependencia del factor de reducción con las variables que definen la respuesta de la estructura Steel framing.
- c) Calcular el coeficiente de Reducción sísmica de cada una de las estructuras del sistema Steel framing.

### **1.4. Justificación**

Suarez y Campos (2023) nos dicen que una de las debilidades de la actual normativa de “Diseño sísmo resistente” E030 es que no indica cómo se debe evaluar el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R$ ), y que si bien la normativa peruana presenta valores del coeficiente  $R$  para las diferentes tipologías estructurales, no se comenta mucho sobre el tema, esto ocasiona que en el momento del diseño se subestime o caso contrario se sobreestime la acción sísmica por un inadecuada elección del coeficiente  $R$ . Esto suscita preocupaciones en cuanto a la ejecución diaria, ya que se espera alcanzar un valor específico de  $R$  cuando la configuración empiece a entrar en su zona inelástica mediante una definición meticulosa de los componentes y el cumplimiento de numerosas normas organizativas (p. 19).

Ancco (2021) nos menciona que las cargas para el diseño sísmico en los códigos vigentes no atienden con la suficiente claridad el valor verdadero del

Factor R, que debe asignarse a una estructura particular, sino que más bien generaliza los valores correspondientes por los grupos de sistemas estructurales que se muestran en la Tabla N°7 de la norma E.030. Los coeficientes que se sugieren en esta tabla, provienen exclusivamente de la experiencia y poseen muy poco rigor, cuantitativamente hablando, pudiendo esto conllevar a sobre estimar o a reducir excesivamente las cargas sísmicas de diseño (p. 9).

Del Carpio y Soto (2022) mencionan que se requieren más estudios sobre la respuesta sísmica y las propiedades físico-mecánicas del suelo, que permitan utilizar diseños estructurales muy similares a la realidad, con fin de reducir los efectos de las fuerzas externas sobre los edificios y disminuir el rango de precisión de los resultados (p. 145).

**Desde el aspecto Normativo Peruano se justifica la importancia de esta investigación.**

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019) muestra una tabla donde se clasifican los sistemas estructurales usados para la estructuración del análisis sismorresistente en cada dirección, la norma nos dice que cuando la edificación presente más de un sistema estructural en una dirección, se tomara el menor coeficiente  $R_o$  que corresponda, pero como se puede observar en lo que respecta al tipo de material, para estructuras de Acero, solo indica coeficientes de reducción para sistemas aporticados, el sistema estructural Steel Framing no es un sistema aporticado, por lo cual no se puede tomar algún dato de esta tabla (p.16).

**Tabla 1**

*Tabla de sistemas estructurales y coeficientes de reducción básica  $R_o$*

<b>Tabla N°07 del E.0.30</b>	
<b>SISTEMAS ESTRUCTURALES</b>	
<b>Sistema Estructural</b>	<b>Coeficiente Básico de Reducción <math>R_o</math></b>
<b>Acero:</b>	
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
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	<b>3</b>
<b>Madera</b>	<b>7</b>

*Nota:* Reglamento Nacional de Edificaciones E.030. Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2021).

## **1.5. Alcances y Limitaciones**

### **1.5.1 Alcances**

La presente investigación tiene por finalidad proponer un valor teórico del Coeficiente de Reducción Sísmica para viviendas que tengan como sistema estructural a muros portantes de Acero galvanizado denominado Steel Framing.

### **1.5.2 Limitaciones**

La limitación principal para el diseño de este tipo de estructura es que el reglamento peruano no recomienda un coeficiente de reducción sísmica en la tabla N°07 de la Norma E 0.30.

La presente investigación está limitada a todas las viviendas de la Costa del Perú construidas con el sistema Steel Framing.

## **1.6. Variables**

Ancco (2021) define que las variables, constituyen a los elementos que intervienen en la investigación con el fin de indicar valores específicos, para identificar las cualidades que se describen teóricamente los elementos que forman parte de la investigación, en resumen, la variable es una característica, que puede ser medida en diferentes individuos y adoptar diferentes valores (p. 31).

### **Identificación de la variable independiente cuantitativa (VI)**

La presente investigación tiene la siguiente variable independiente:

- Sistema Estructural de Muros Portantes de Acero Galvanizado Steel Frame.

### **Identificación de la variable dependiente cuantitativa (VP)**

La variable dependiente de esta investigación corresponde al Coeficiente de Reducción Sísmica, siendo este producto de las dimensiones de la variable independiente.

## 1.6.1 Operacionalización de variables

**Tabla 2**

*Esquema de la matriz de operacionalización de variables*

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos de medida	Unidad de medida
Variable Independiente : Sistema Estructural de Muros Portantes de Acero Galvanizado Steel Frame	Sarmanho & Moraes, (2007), El sistema se apoya en un armazón metálico con un núcleo compuesto de materiales aislantes y un número importante de partes verticales revestidas por ambas caras. Esto sugiere que los tejados, las entreplantas y los cerramientos verticales cumplen al mismo tiempo una función estructural.	Ductilidad de la estructura	Relación de ductilidad	Análisis No Lineal	Sin dimensión
			Cortante de comportamiento elástico	Software de Análisis Estructural	Tn (toneladas)
			Cortante máximo de comportamiento inelástico	Software de Análisis Estructural	Tn (toneladas)
			Desplazamiento Lateral	Software de Análisis Estructural	m (metros)
			Relación de sobre resistencia	Análisis No Lineal	Sin dimensión
Variable Dependiente: Coeficiente de Reducción Sísmica	Suarez & Campos (2023), Para convertir la amplitud de las fuerzas sísmicas elásticas producidas por un espectro elástico en fuerzas inelásticas, se utiliza el factor de reducción de la fuerza sísmica (R).	Relación de Sobre resistencia	Cortante de modelo bilineal (fluencia)	Software de Análisis Estructural	Tn (toneladas)
			Cortante de Diseño	Software de Análisis Estructural	Tn (toneladas)
			Cortante máximo de comportamiento inelástico	Software de Análisis Estructural	Tn (toneladas)
			Relación de Ductilidad	Software de Análisis Estructural	Tn (toneladas)
Variable Dependiente: Coeficiente de Reducción Sísmica	Suarez & Campos (2023), Para convertir la amplitud de las fuerzas sísmicas elásticas producidas por un espectro elástico en fuerzas inelásticas, se utiliza el factor de reducción de la fuerza sísmica (R).	Relación de Sobre resistencia	Coeficiente de Reducción por sobre resistencia	Análisis No Lineal	Sin dimensión
			Coeficiente de Reducción por ductilidad	Análisis No Lineal	Sin dimensión

## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1 Hipótesis general**

La determinación del coeficiente básico de reducción sísmica  $R$ , que se obtendrá mediante el análisis estático no lineal Pushover siguiendo los códigos ATC 40/FEMA 440, permitirá proponer un valor teórico de este coeficiente, para estructuras con un sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado ubicadas en la costa del Perú.

### **1.7.2 Hipótesis específicas**

- a) El análisis no lineal de estructuras por el método de espectro de capacidad ATC40/FEMA440, permitirá estudiar el comportamiento no lineal del sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado (Steel Framing).
- b) La obtención de la curva de capacidad de las estructuras modeladas permitirá evaluar la ductilidad y sobre resistencia de las mismas, y de estos resultados también se podrá estudiar la dependencia del factor de reducción con las variables que definen la respuesta de la estructura Steel framing.
- c) La realización del análisis no lineal a cada uno de los modelos permitirá estandarizar el valor del coeficiente de reducción sísmica para el mismo sistema estructural.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes De La Investigación**

Suarez y Campos (2023) redactaron la tesis titulada "Determinación del coeficiente de reducción (R) empleando análisis estático no lineal en una estructura mixta de pórticos y albañilería confinada". En dicho estudio, calcularon el coeficiente de reducción sísmica para estructuras que integran pórticos y albañilería confinada, enfocándose en aspectos como la ductilidad y la sobre resistencia. Los resultados revelaron un valor de R de 11 para los pórticos y de 14.175 para la albañilería confinada. Para llevar a cabo este análisis, procedieron a determinar el Coeficiente de Reducción Sísmica (R) en una estructura de dos niveles mediante la aplicación de un análisis estático no lineal.

Suárez y Campos (2023) calcularon el coeficiente utilizando el método sugerido por Aguiar (2003). La sobrerresistencia y la ductilidad tomada de la curva de capacidad se multiplican directamente para obtener este valor. Este análisis se realiza de acuerdo con los requisitos de ASCE/SEI 41-17 en un pabellón de una institución de enseñanza superior de dos niveles. El modelo estructural se creó con el programa ETABS V 18.1.1.

Ávila (2018), autora de la tesis de investigación titulada “Evaluación del coeficiente de reducción (R) de una estructura aporticada con el análisis estático no lineal, San Martín de Porres, Lima - 2018”, investigación en la cual calcula el coeficiente de Reducción Sísmica para una vivienda aporticada multifamiliar de 4 niveles, en función de la ductilidad y sobre resistencia, citando a Aguiar (2003) para el procedimiento del cálculo del R, del comportamiento inelástico de la estructura y la curva de capacidad se pueden obtener la sobre resistencia y ductilidad. Como resultados del Análisis Estático No Lineal a la estructura aporticada y mediante la fórmula de la multiplicación directa de la sobre resistencia y ductilidad, obtuvo valores para el coeficiente R, en la dirección XX de 10.55, y para la dirección YY obtuvo un valor para R de 13.23. Ávila menciona que el análisis estático no lineal – Pushover va más allá del rango elástico, puesto que es un análisis por desempeño y esto que la estructura se evalué de manera más real, como elemento de recolección de datos para esta tesis, la autora utilizó el software de modelado estructural ETABS 2016 para realizar el cálculo del Análisis Estático No Lineal.

Espinoza (2021), en su investigación titulada “Evaluación del valor normativo y el valor cuantificado del factor de reducción de fuerza sísmica en sistemas pórticos, empleando análisis estático no lineal”, en esta investigación, Espinoza evalúa el valor normativo y cuantificado del factor R en pórticos, tomando como muestras 4 pórticos de 3,6,9 y 12 niveles respectivamente, utilizando para el análisis el software ETABS, bajo la metodología del análisis estático no lineal (Pushover) en base a la norma ATC-19 (1995).

De acuerdo a Aguiar (2007),utilizo el modelo bilineal para idealizar la curva de capacidad en un rango no lineal con el objetivo de obtener los parámetros de fluencia y últimos para calcular el Factor R de reducción de la fuerza sísmica, con los criterios de la ATC-19, siendo este, producto del factor de ductilidad, factor de sobre resistencia y factor de redundancia, obteniendo valores de R para 3 niveles de 7.70, valores de R para 6 niveles de 6.85, valores de R para 9 niveles de 14.36 y valores para 12 niveles de 15.35, denotándose que los modelos de 3 y 6 niveles el valor de R estaba por debajo de lo establecido en la tabla de la norma E 0.30, pero con los modelos de mayor altura, este valor se incrementó, Espinoza menciona también que el factor de sobre resistencia evaluada en su investigación para pórticos de concreto, tiene una importancia significativa y predominante con respecto a los otros factores, tanto de ductilidad y redundancia, guardando de esta manera, una relación estrecha con el Factor de Reducción de la Fuerza Sísmica.

Guayanlema y Duchi (2021), en su tesis de investigación titulada “Deducción del factor de reducción sísmica (R) para diferentes tipos de edificaciones”, en su investigación se determinó el valor del Coeficiente de Reducción R, para tres estructuras aporticadas de Concreto Armado y tres estructuras aporticadas de Acero, analizadas y modeladas en el software ETABS, mediante un análisis estático No lineal o Pushover, del cual se obtuvieron las curvas de Capacidad de cada estructura y con ello encontraron la máxima carga de falla y la ductilidad para la posterior determinación del Coeficiente de Reducción (R) de cada edificación. Guayanlema y Duchi calcularon el coeficiente de

Reducción R con los métodos de Mwafy, ATC-40 y Aguiar, para luego sacar un promedio de los tres métodos y así determinar una media global de la muestra, teniendo como resultados que la ductilidad promedio para estructuras de concreto es de 4.55, mientras que la ductilidad para estructuras de acero es de 1.32, en lo que respecta al cálculo del coeficiente R, sus resultados arrojaron un coeficiente R de 8.53 para estructuras de concreto y un R de 7.75 para estructuras de Acero, también nos dicen que al verificar el verdadero desempeño de las estructuras, una de las características del Análisis Estático No lineal es que el Coeficiente de Reducción R y la curva de capacidad, son propios de la edificación.

Diaz (2019), en su investigación titulada “ Nivel de peligro sísmico para la obtención del factor d reducción sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado”, el investigación analizo 16 estructuras aporticadas regulares de concreto armado de 3 y 10 niveles, para las 4 zonas de peligro sísmico en nuestro país, y cada una para suelos S1 y suelos S3, en esta investigación Diaz utilizo el código ATC-19 (1995), considerando la fórmula para hallar el coeficiente de Reducción, definida por la multiplicación del factor de ductilidad, el factor de sobre resistencia y el factor de redundancia, sin embargo, Diaz no considera el valor del factor de redundancia al tener estructuras de igual configuración estructural, por lo que al factor le asigna un valor igual a uno (1), para la determinación de los factores de ductilidad y sobre resistencia, utiliza las fórmulas planteadas por Mwafy y Elnashai (2002), los resultados que arrojó el análisis no lineal, para suelos S1 (Muy Rígidos), unos valores del coeficiente de reducción entre el rango de 9.12 y 9.30, para estructuras aporticadas de tres niveles, por otro lado, del

análisis a los edificios de 10 niveles, el coeficiente de reducción se encuentra en el rango de 9.96 a 10.02 para suelos tipo S3 (Blando), sobrepasando al coeficiente establecido en la norma. Diaz concluye que el nivel de peligro sísmico influye en la obtención del factor de reducción sísmica, y que este factor varía de acuerdo al peligro sísmico y al periodo de la estructura.

Bustamante (2015), en su tesis titulada “Análisis del factor de reducción sísmica, efectos en el desempeño sísmico y propuesta de valores refinados para edificios duales de 5 a 8 niveles en la ciudad de Arequipa”, analizo detalladamente modelos de edificios duales, mediante un análisis no lineal, utilizando el software de modelado estructural ETABS 2013, limitando su estudio a estructuras duales de concreto armado para suelos tipo S2 (Suelos Intermedios). Bustamante considera que la ductilidad y la redundancia son factores importantes en el desempeño de las estructuras, mientras más ductilidad posea un edificios, será menor la probabilidad de su colapso, para su investigación utilizo la propuesta del ATC-19 (1995), para determinar los sub factores, el factor de reducción por ductilidad, el cual es dependiente de la fuerza cortante máxima que resiste la estructura hasta el colapso y la resistencia al cortante si la estructura tendría un comportamiento elástico. El factor de reducción por sobre resistencia, el cual es la relación de la fuerza cortante que define un cambio en la rigidez (fluencia), entre el cortante de diseño de la estructura, y por último, el factor de reducción por redundancia, dependiente de la cantidad de líneas de resistencia que tenga la estructura, multiplicado por el cortante ultimo de colapso sobre el cortante de fluencia.

Bustamante (2015) modelo 40 edificios duales de entre 5 a 8 niveles, de los cuales 10 edificios de 5 niveles, 10 edificios de 6 niveles, 10 edificios de 7 niveles y 10 edificios de 8 niveles, a los cuales les realizo el análisis Pushover tanto para la dirección X como para la dirección Y, obteniendo como resultados, valores para el coeficiente R que oscilan entre 5.75 y 12.71, en su mayoría encontrándose en el rango de 6.0 y 7.0, cercanos al valor de la norma E 0.30, para finalmente proponer un valor de 10 para el coeficiente de Reducción sísmica en estructuras duales de concreto armado de 5 a 8 niveles.

Ancco (2021), desarrollo la tesis titulada "Análisis No Lineal de Estructuras Aporticadas de Concreto Armado para la Evaluación del Factor de Modificación de Respuesta Sísmica". La meta principal fue cuantificar el factor de reducción sísmica "R", estableciendo una metodología que desglosa tres factores: el factor de resistencia por ductilidad  $R_{\mu}$ , el factor de sobre resistencia  $R_{\Omega}$  y el factor de redundancia  $R_R$ . Ancco creó sesenta (60) acelerogramas artificiales para suelos tipo S0, S1, S2 y S3 según la norma peruana E.030. Posteriormente, formuló una expresión matemática que utilizó para derivar el factor de resistencia por ductilidad en relación con la ductilidad, el periodo fundamental de la estructura y el periodo característico del suelo. Se destacó que la ductilidad está fuertemente ligada a la relación entre la ductilidad y el periodo fundamental del sistema. A continuación, llevó a cabo un análisis estático no lineal Pushover, examinando 28 edificaciones aporticadas de concreto armado de 1 a 7 niveles en la zona Z 4. Para cada edificación, determinó los factores de sobre resistencia

mediante el procedimiento del ATC-19 (1995) y la redundancia utilizando el método de Tsopelas y Husain (2004).

Ancco (2021), explicó que el propósito del factor de reducción sísmica es conferir a las estructuras la capacidad de experimentar grandes deformaciones antes de llegar al colapso. Finalmente, multiplicó los tres componentes del factor de reducción, obteniendo valores para suelos de roca dura ( $R = 10.6$ ), suelos tipo roca o muy rígidos ( $R=9.7$ ), suelos intermedios ( $R=9.4$ ) y suelos blandos ( $R=7.8$ ). También determinó que la contribución de los subcomponentes del factor de reducción sísmica "R" era la siguiente:  $R_{\mu} = 49\%$  de R,  $R_{\Omega} = 22\%$  de R y  $R_R = 29\%$  de R. Posteriormente, comparó los resultados con la normativa local vigente.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1 Sistema Estructural Steel Framing**

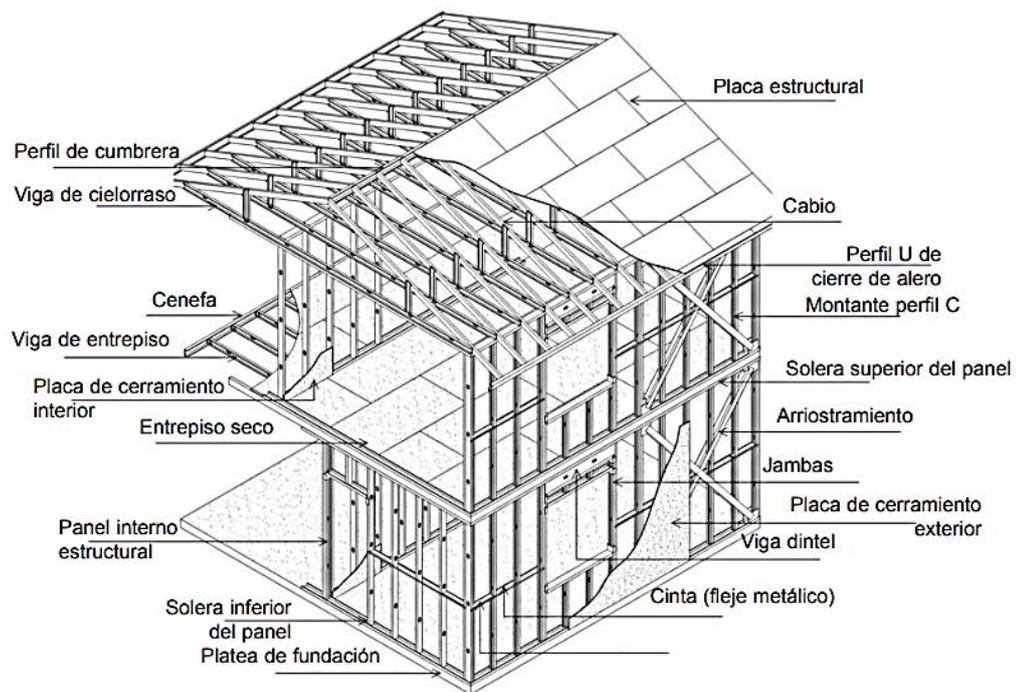
Dannemann (2007), Nos indica que el sistema Steel Framing utiliza perfiles de acero galvanizado con dimensiones delgadas para construir los muros, pisos y cubiertas. Además, los paneles no solo desempeñan la función de tabiques en el edificio, sino que también actúan como parte integral del sistema estructural (p. 27).

Sarmanho y Moraes (2007), en el libro "Steel Framing: Arquitectura", mencionan que los paneles estructurales son aquellos que enfrentan cargas

verticales provenientes de entrepisos, fuerzas de viento y sismos. Estas cargas verticales se generan debido al peso propio de la estructura y las cargas adicionales correspondientes. La función principal de los paneles es resistir estas cargas y transferirlas a la base. Estos paneles están compuestos por una cantidad específica de perfiles C de acero galvanizado, que actúan como elementos verticales conocidos como montantes, y perfiles U de acero galvanizado, que funcionan como elementos horizontales llamados soleras (p. 30).

**Figura 1**

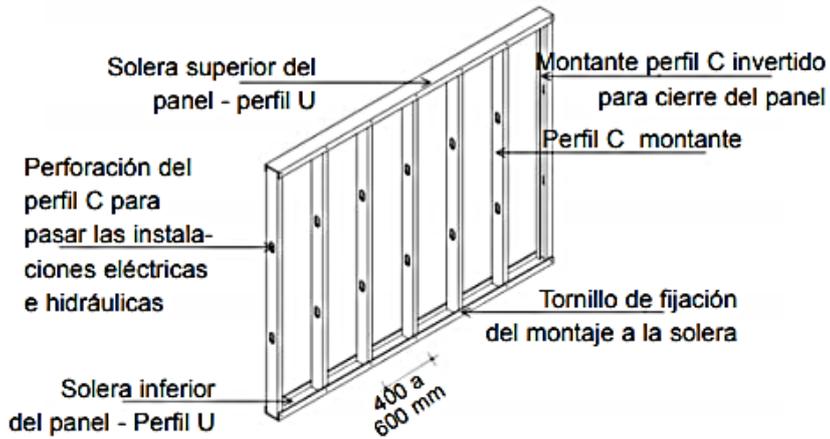
*Vista esquemática de una vivienda en Steel Framing*



*Nota:* Manual Alacero para arquitectura. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).

**Figura 2**

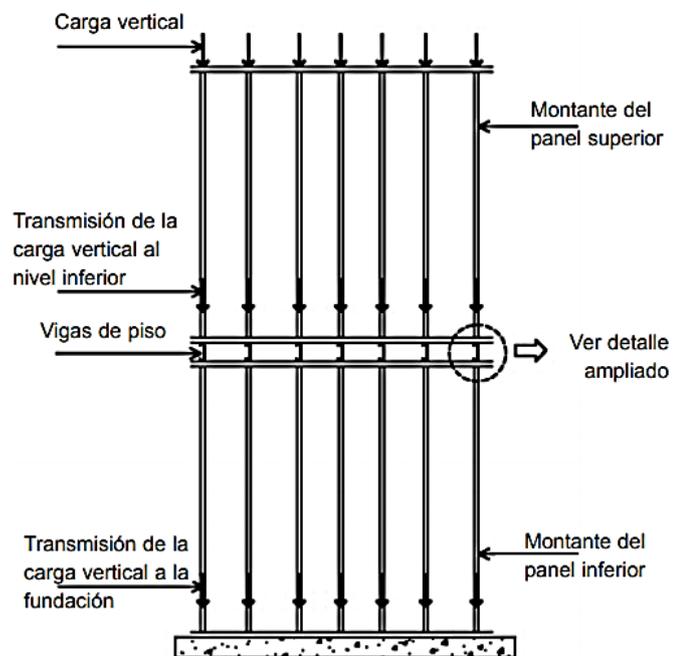
*Panel típico de una vivienda en Steel Framing*



*Nota:* Manual Alacero para arquitectura. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).

**Figura 3**

*Transmisión de carga vertical en Steel Framing*

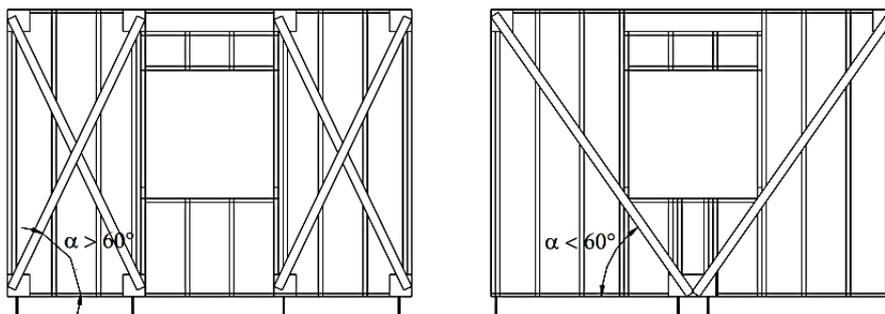


*Nota:* Manual Alacero para arquitectura. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).

Sarmanho y Moraes (2007), mencionan que el método para estabilizar la estructura es el arrostramiento en “X”, utilizando las denominadas cruz de san Andrés, que consisten en utilizar cintas de acero galvanizado fijados en el exterior del panel sobre su superficie, pero cuando debido al proyecto arquitectónico se encuentran muchas aberturas en la fachada, otra alternativa es arriostrando en “K”, utilizando perfiles C (p.37).

**Figura 4**

*Arriostramiento de panel con cruz de San Andrés*



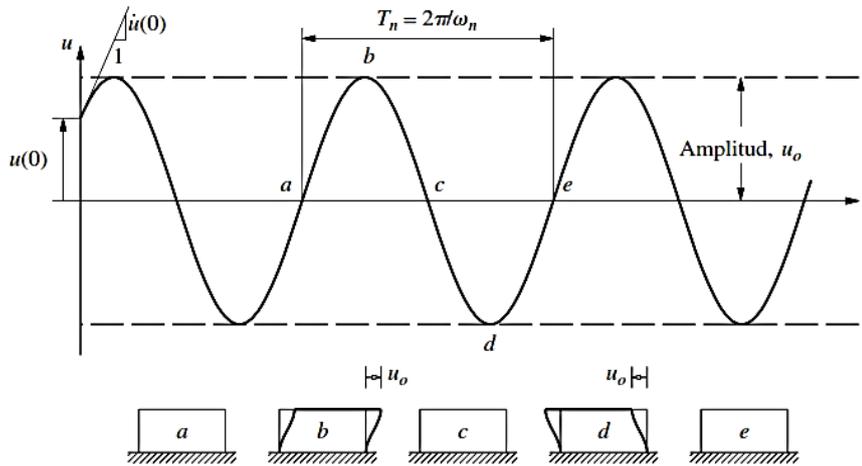
*Nota:* Consult Steel (2015).

### **2.2.2 Periodo Fundamental De La Estructura**

Chopra (2014) describe el periodo de la estructura (T) como el intervalo de tiempo necesario para que el sistema lleve a cabo un ciclo completo de vibración libre. Estas unidades se expresan en segundos, y las características de la vibración están influenciadas por las propiedades de masa y rigidez de la estructura. Asimismo, el periodo natural (T) puede ser calculado mediante la observación del registro de vibración libre, donde se mide el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio (p. 54).

**Figura 5**

*Vibración libre de un sistema sin amortiguamiento*



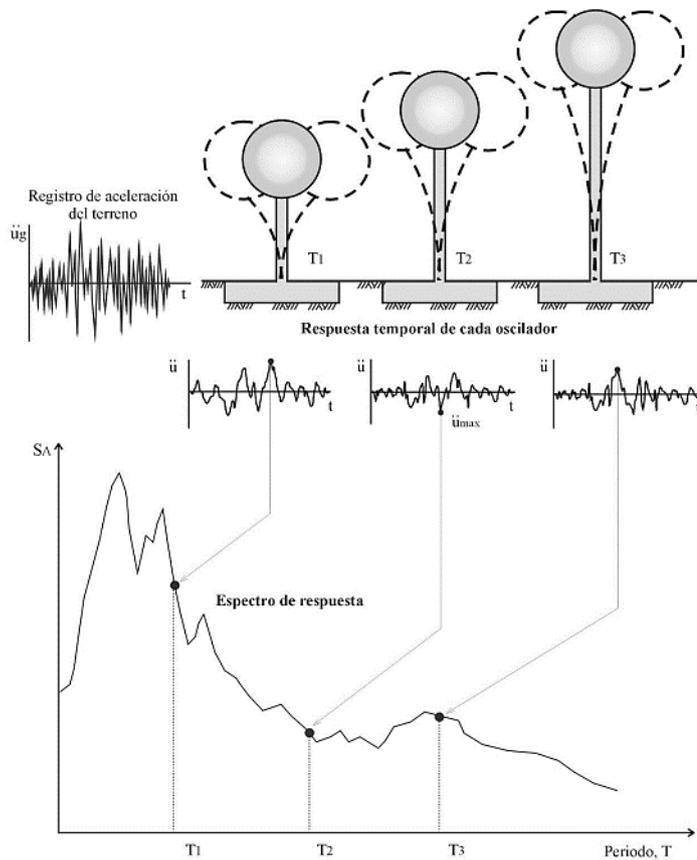
Nota: Chopra (2014).

### 2.2.3 Espectro De Respuesta Sísmica

Crisafulli & Villafañe (2018), nos indican que el espectro de respuesta sísmica constituye la representación visual de los valores máximos de la respuesta en diversos periodos de vibración natural. Estos principios tienen sus raíces en la década de 1920 con Kyoji Suyehiro, director del instituto de investigaciones de la Universidad de Tokio, quien ideó un dispositivo compuesto por 6 péndulos con distintos periodos (modificando alturas y masas) para registrar cómo respondían ante un terremoto. Posteriormente, Maurice Biot del Instituto Tecnológico de California introdujo los espectros de respuesta elástica, que hoy en día son fundamentales en el diseño estructural. El espectro propuesto por Biot representa la máxima respuesta, generándose a partir de valores determinados por los ingenieros estructurales (p. 1).

**Figura 6**

*Gráfico del método para determinar el espectro de respuesta*



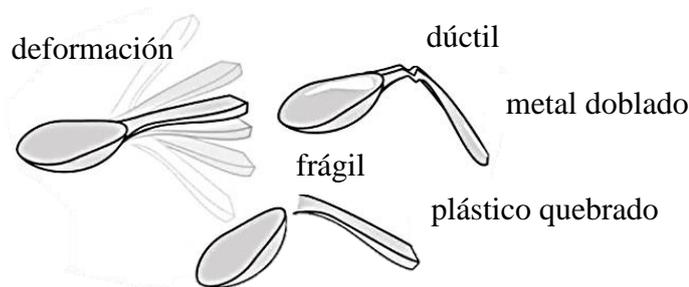
*Nota:* Crisafulli (2018).

## 2.2.4 Ductilidad

Federal Emergency Management Agency (2006), nos describe en el NEHRP FEMA 454 que la brecha entre la capacidad de diseño de un edificio con el que fue calculado y las posibles fuerzas reales, está relacionada en gran medida con la propiedad material de ductilidad. Siendo esta, la propiedad de ciertos materiales, en particular el acero, de fallar solo después de que se haya producido una deformación inelástica considerable, esto significa que el material no retorna a su configuración original tras la deformación y esta distorsión o deformación disipa la energía del terremoto (p. 124).

### Figura 7

Comparación de la ductilidad entre el metal y el plástico



Nota: NEHRP FEMA 454. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2006).

Crisafulli & Villafañe (2018), definen a la ductilidad como la propiedad del material, elemento estructural o del sistema, esta propiedad mide la capacidad de deformación en el rango inelástico sin disminuir su resistencia. Calculándose como la relación entre el desplazamiento máximo, entre el desplazamiento de fluencia.

Arnold & Reitherman (1988), nos dicen que, aunque se evite la resonancia, y aunque el edificio tenga una buena amortiguación, los análisis muestran sin embargo que la estructura esta siempre sometida a cargas mucho más altas de las que se proponen en las normas, y la razón por la que estas estructuras son seguras, está en la propiedad de cada estructura llamada ductilidad ( $\mu$ ). La cual es la propiedad de los materiales, para fallar cuando haya una deformación inelástica considerable, como en el caso del acero, que al llegar a este punto no puede volver a su estado inicial. Con las estructuras sucede lo mismo, pero estas absorben más la energía ocasionada por las fuerzas actuantes. El valor de la ductilidad se puede calcular a partir de la relación que se tiene entre el desplazamiento último y el desplazamiento de fluencia (p. 48).

$$\mu = \Delta u / \Delta y \dots \dots \dots [Ecuación 1]$$

### 2.2.5 Tipos De Espectros

Crisafulli (2018), menciona que Existen varios tipos de espectros, cada uno presentando diferentes características y utilizados para distintos objetivos, de los cuales los más comunes son:

#### **Espectros de respuesta elástica:**

Este espectro ilustra la respuesta máxima ante un terremoto específico e incorpora diversas curvas que tienen en cuenta varios niveles de amortiguamiento. Su uso principal radica en analizar los impactos de un terremoto en una estructura determinada. Las curvas en estos espectros muestran fluctuaciones pronunciadas, con picos y valles, que son el resultado de la complejidad inherente al registro sísmico.

#### **Espectros de respuesta inelástica:**

Estos son similares a los espectros de respuesta elástica, pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad tiene un comportamiento no lineal, quiere decir que la estructura analizada puede experimentar deformaciones en el rango plástico. Estos espectros son utilizados para el diseño sismo resistente debido a que la mayoría de construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionan en el campo plástico. Es así como se puede mencionar en este caso a los espectros de ductilidad, que representan la ductilidad de una estructura ocasionada por un terremoto en función del periodo de vibración de la estructura y niveles de resistencia.

### **Espectros de diseño:**

Las estructuras no deben ser diseñadas para un terremoto en particular en alguna zona específica, debido a que el posible terremoto puede presentar características muy distintas, es por lo que el diseño o verificación de estructuras sísmo resistentes se realiza con espectros suavizados en el que se considera el efecto de varios sismos, representando una envolvente de espectros de respuesta de terremotos típicos de la zona (p. 3).

#### **2.2.6 Análisis Estático No Lineal Pushover**

Guevara et al. (2006), nos explican que el análisis estático no lineal representa una opción práctica para determinar la respuesta sísmica de una estructura, en contraste con un análisis dinámico no lineal, que sería más complejo y demorado en ciertos aspectos. El análisis estático no lineal (AENL) supone un considerable avance en relación con el método de análisis convencional, que sigue la teoría lineal. Esto se debe a que la teoría convencional presenta algunas inconsistencias al anticipar daños en los elementos de las estructuras dentro del rango elástico (p. 78).

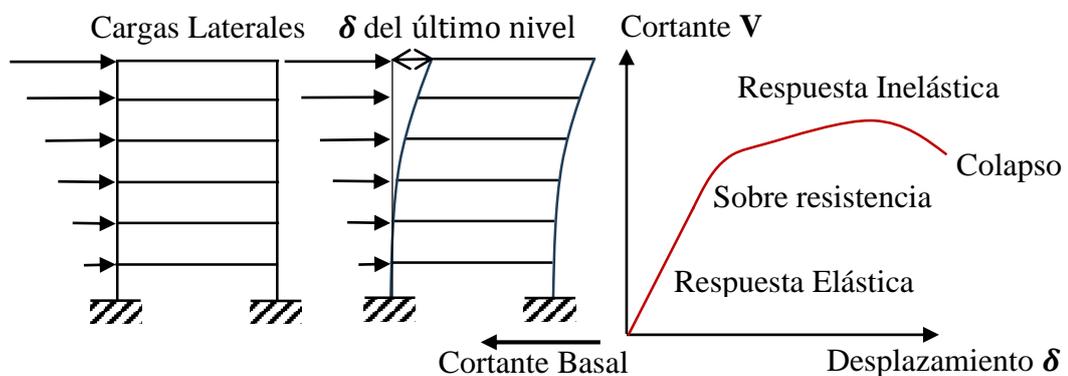
Guevara et al. (2006), también nos informan que la técnica del análisis estático no lineal (AENL), también conocida como Pushover, implica llevar la estructura previamente diseñada hasta el punto de colapso. Este procedimiento se realiza mediante la aplicación de cargas laterales incrementales, simultáneamente con cargas gravitacionales constantes, ambas aplicadas en la misma dirección. Este proceso continúa hasta que la estructura alcance el colapso o hasta que se alcance un valor predeterminado de carga. Gracias a esta técnica, es posible evaluar el rendimiento de la estructura al estimar las fuerzas presentes en el diseño

sísmico. Además, esta técnica de análisis puede aplicarse para los siguientes propósitos:

- Para verificar y/o revisar la proporción de sobre resistencia que posee la estructura.
- Para poder estimar mecanismos de plasticidad esperada y también estimar una distribución de daño.
- Para verificar que las conexiones críticas permanezcan con capacidad de transmitir cargas entre los elementos.
- También se puede aplicar esta técnica de análisis como una alternativa de rediseño (p. 79).

**Figura 8**

*Curva de capacidad o pushover, cortante y desplazamiento*



### 2.2.7 Método Del Espectro De Capacidad

Zabala (2017), menciona que, en 1975 Freeman introdujo la técnica del espectro de capacidad, también denominada método de capacidad espectral, como un medio para llevar a cabo una evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica. Este enfoque se fundamentó en los análisis de Blume realizados en 1961. El

propósito fundamental de este método era cotejar la capacidad estructural representada por la curva pushover con el espectro de diseño. Este último se ajustaba mediante factores de reducción sísmica derivados de las investigaciones de Newmark realizadas en 1982 (p. 30).

Según Applied Technology Council (1996), en su norma ATC-40, se instruye que la aplicación del método del espectro de capacidad requiere la conversión de la curva de capacidad inicial, expresada en términos de cortante en la base y desplazamiento del techo, a una curva de capacidad en forma de espectros de respuesta de aceleración y desplazamiento (ADRS - Acceleration-Displacement Response Spectra). Este proceso implica la utilización de las ecuaciones siguientes:

$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1}^2 \right]} \dots\dots\dots [Ecuación 2]$$

$$\alpha_1 = \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1}^2} \right] \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

$$Sa = \frac{V_b}{\alpha_1 M_t} \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

$$Sd = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \Phi_{roof,1}} \dots\dots\dots [Ecuación 5]$$

$$M_i = \sum_{l=1}^N m_l \dots\dots\dots [Ecuación 6]$$

Donde:

**PF<sub>1</sub>** es el Factor de participación modal para el primer modo natural.

**α<sub>1</sub>** es el Coeficiente de masa modal para el primer modo natural.

**m<sub>i</sub>** es la Masa asignada al nivel i.

**Φ<sub>i1</sub>** es la amplitud del modo 1 en el nivel i.

**N** es el nivel que es el más alto en la parte principal de la estructura.

**V<sub>b</sub>** es el Cortante en la base.

**Δ<sub>roof</sub>** es el Desplazamiento en el techo.

**S<sub>a</sub>** es la Aceleración espectral.

**S<sub>d</sub>** es el Desplazamiento espectral.

Luego se debe transformar el espectro de diseño elástico o el espectro de demanda a un formato ADRS (p. 164).

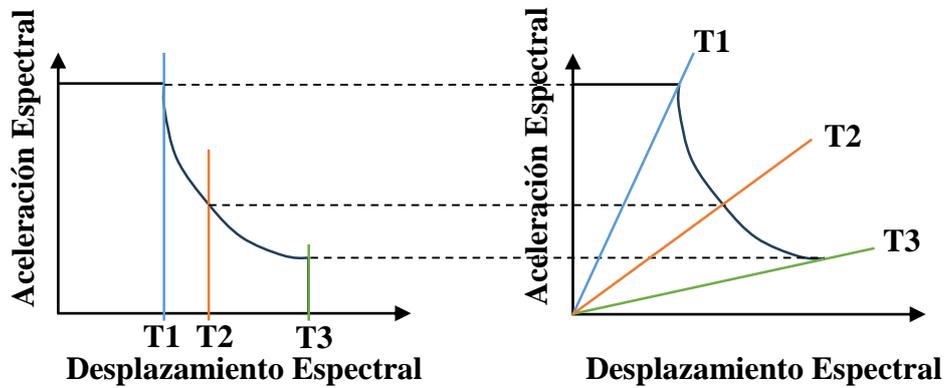
Para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \dots\dots\dots [Ecuación 7]$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \dots\dots\dots [Ecuación 8]$$

**Figura 9**

*Espectro de respuesta tradicional y en formato ADRS*



*Nota:* ATC-40. Fuente: Applied Technology Council (1996).

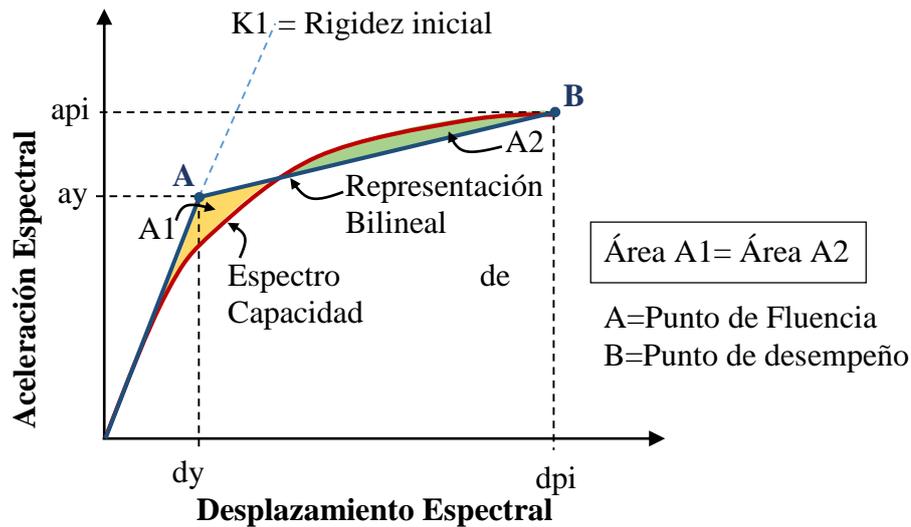
Medina y Music (2018), El proceso de espectro de capacidad es un método ampliamente utilizado para determinar los puntos críticos de rendimiento estructural. Este enfoque es de naturaleza pictórica y compara la capacidad de la estructura para soportar presiones laterales con la demanda sísmica, que se representa de forma sucinta en un espectro elástico reducido. Applied Technology Council (1996), en su norma ATC-40, proporciona orientación para la ejecución de una técnica que sigue meticulosamente los procesos para obtener el punto de rendimiento. Este método ofrece un enfoque exhaustivo y eficaz para la evaluación sísmica de edificios.

Tras la conversión de la curva de capacidad al formato ADRS, se procede a transformarla en una curva de capacidad bilineal. Esta adaptación posibilita obtener una representación idealizada que incluye la definición de un punto de fluencia y un punto de supuesto desempeño. Con el objetivo de validar la curva resultante, se establece un criterio de precisión: el error entre el área bajo la curva original y la curva bilineal debe ser inferior al 5%. Este requisito garantiza una

correspondencia cercana y confiable entre la curva transformada y la original, asegurando la calidad y precisión del proceso de transformación (p. 70).

**Figura 10**

*Representación bilineal de la curva de capacidad ATC-40*



Federal Emergency Management Agency (2005), en el NEHRP FEMA 440 llevo a cabo una evaluación del ATC 40, presentando un método mejorado de linealización equivalente, El propósito es estimar la respuesta máxima de desplazamiento para un sistema no lineal utilizando un sistema lineal equivalente. Esto se logra mediante la utilización de un periodo efectivo  $T_{eff}$ , y de un amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ , optimizados para cualquier curva de capacidad, independientemente de su ciclo histórico y su rigidez post-elástica (p. 74).

Para  $1.0 < \mu < 4.0$ :

$$\beta_{eff} = 4.9(\mu - 1)^2 - 1.1(\mu - 1)^3 + \beta_0 \dots \dots \dots [Ecuación 9]$$

Para  $4.0 \leq \mu \leq 6.5$ :

$$\beta_{\text{eff}} = 14.0 + 0.32(\mu - 1) + \beta_0 \dots \dots \dots [Ecuación 10]$$

Para  $\mu > 6.5$ :

$$\beta_{\text{eff}} = 19 \left[ \frac{0.64(\mu-1)-1}{[0.64(\mu-1)]^2} \right] \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \dots \dots \dots [Ecuación 11]$$

Donde:

$\beta_0$  es el Amortiguamiento inicial.

$T_0$  es el Periodo inicial.

$\mu$  es la Ductilidad =  $d_p/d_y$

Mientras que las expresiones para encontrar el Periodo Efectivo son las siguientes:

Para  $1.0 < \mu < 4.0$ :

$$T_{\text{eff}} = \{0.20(\mu - 1)^2 - 0.038(\mu - 1)^3 + 1\}T_0 \dots \dots \dots [Ecuación 12]$$

Para  $4.0 \leq \mu \leq 6.5$ :

$$T_{\text{eff}} = [0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1]T_0 \dots \dots \dots [Ecuación 13]$$

Para  $\mu > 6.5$ :

$$T_{\text{eff}} = \left\{ 0.89 \left[ \sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.05(\mu-2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0 \dots \dots \dots [Ecuación 14]$$

Federal Emergency Management Agency (2005), luego establece que se debe determinar  $B(\beta_{\text{eff}})$  de la curva de demanda **ADRS** ( $\beta_0$ ), este factor reduce las coordenadas de la aceleración espectral, reduciendo la aceleración espectral inicial  $(S_a)_0$  para que sea una aceleración espectral efectiva  $(S_a)_\beta$ , que está en función del amortiguamiento efectivo ( $\beta_{\text{eff}}$ ), obteniendo de esta manera la curva de demanda reducida **ADRS** ( $\beta_{\text{eff}}$ ).

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{\text{eff}})} \dots\dots\dots [Ecuación 15]$$

$$B(\beta_{\text{eff}}) = \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{\text{eff}})} \dots\dots\dots [Ecuación 16]$$

Después, se establece el factor de modificación **M**, el cual vincula el período secante  $T_{\text{sec}}$  y el periodo efectivo  $T_{\text{eff}}$ . Este factor modifica la curva de demanda reducida **ADRS** ( $\beta_{\text{eff}}$ ), transformando las coordenadas de la aceleración espectral  $a_{\text{eff}}$ , en aceleración máxima  $a_{\text{max}}$ . De esta manera, se obtiene la curva de demanda modificada **MADRS**( $\beta_{\text{eff}}$ , **M**).

$$M = \frac{a_{\text{max}}}{a_{\text{eff}}} \rightarrow a_{\text{max}} = a_{\text{eff}} M \dots\dots\dots [Ecuación 17]$$

$$M = \left[ \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{sec}}} \right] = \left[ \frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right]^2 \left[ \frac{T_0}{T_{\text{sec}}} \right]^2 \dots\dots\dots [Ecuación 18]$$

$$\left[\frac{T_{\text{eff}}}{T_0}\right]^2 = \frac{1 + \alpha(\mu - 1)}{\mu} \dots\dots\dots [Ecuación 19]$$

$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} \dots\dots\dots [Ecuación 20]$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \dots\dots\dots [Ecuación 21]$$

Luego se debe obtener el punto de desempeño mediante la intersección de la curva de capacidad bilineal y la curva de demanda modificada **MADRS( $\beta_{\text{eff}}$ , **M**)**.

Finalmente, transformar el punto de desempeño (**S<sub>a</sub>**; **S<sub>d</sub>**) de valores espectrales, a cortante/desplazamiento, utilizando los factores dinámicos del ATC-40 (p. 74).

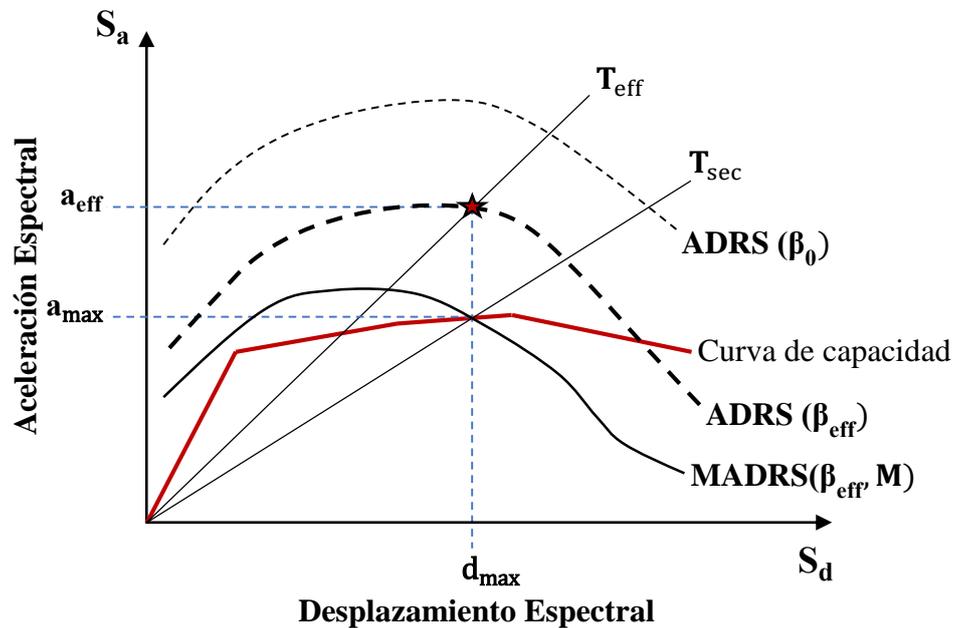
Donde “V” es el Cortante Basal:

$$V = S_a \alpha_1 M_t \dots\dots\dots [Ecuación 22]$$

En la figura subsiguiente, se evidencia la intersección de las líneas que representan los espectros, brindando la oportunidad de determinar el punto de rendimiento según la metodología sugerida por el ATC 40. Este método proporciona un enfoque estructurado para evaluar el desempeño ante situaciones sísmicas, utilizando el cruce de las curvas espectrales como indicador clave para la identificación de dichos puntos de interés.

**Figura 11**

*Demanda reducida por factor  $B(\beta_{eff})$  y modificada por factor  $M$*



*Nota:* FEMA 440. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2005).

### 2.2.8 Coeficiente De Reducción R

Ardila (2016), nos dice que el coeficiente de reducción sísmica  $R$ , es un factor de diseño que reduce el espectro elástico de diseño y clasifica la capacidad de una estructura para disipar la energía en el rango inelástico. La norma sismo resistente peruana E030 nos determina un coeficiente de reducción sísmica en función al sistema estructural usado en cada dirección de análisis, al grado de irregularidad de la estructura y al tipo de material predominante (p. 17).

Huapaya (2017), nos dice que el valor del coeficiente  $R$  conlleva a un comportamiento no lineal del edificio donde podría tolerar cargas mayores, en la norma sismo resistente este valor se presenta constante para cada tipo de estructura predominante ya sea para edificios de 1 piso como para 15 o 20 pisos

que tenga el mismo sistema estructural, pero en varias investigaciones se concluye que el valor del coeficiente R tiene una relación directa con el periodo de cada estructura (p. 4).

### 2.2.9 Determinación Del Coeficiente De Reducción R.

Applied Technology Council (1995), señala en el ATC-19 que los factores R fueron diseñados para incorporar reducciones en los valores de fuerza de diseño, basándose en evaluaciones de riesgo, comportamiento económico y no lineal. En este documento, se propone que el coeficiente de reducción sísmica esté vinculado a otros tres factores cruciales que afectan el rendimiento sísmico de una estructura. Esto resalta la importancia de considerar diversos elementos, como el análisis de riesgos, la viabilidad económica y el comportamiento no lineal, al establecer estos coeficientes de reducción sísmica.

$$R = R_{\Omega} \times R_{\mu} \times R_R \quad \dots\dots\dots [Ecuación 23]$$

Dónde:

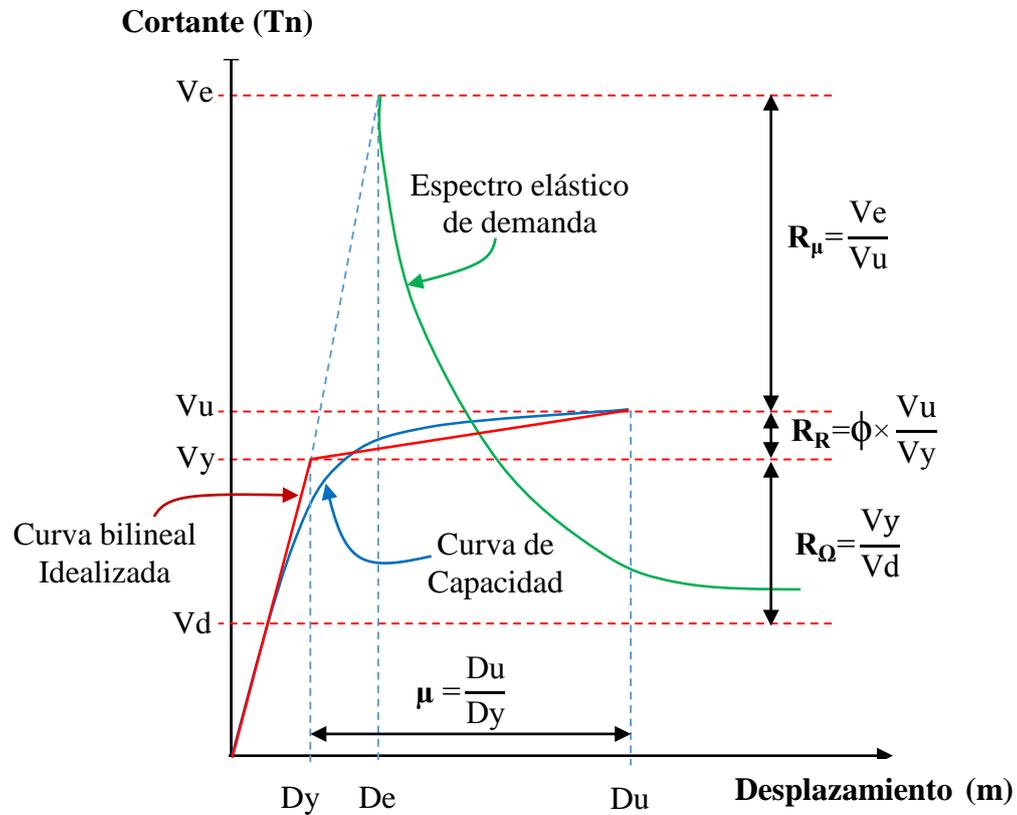
$R_{\Omega}$  = Es el Factor de reducción asociado a la sobre resistencia.

$R_{\mu}$  = Es el Factor de reducción asociado a la ductilidad.

$R_R$  = Es el Factor de reducción asociado a la redundancia.

**Figura 12**

*Ilustración del factor de Reducción Sísmica*



Y de manera ilustrativa se puede apreciar la magnitud del valor de **R** donde:

- **Ve** es la resistencia al cortante que tendría la estructura si tuviera un comportamiento elástico.
- **Vu** es la fuerza cortante máxima que resiste la estructura antes de colapsar
- **Vy** es el cortante derivado del modelo bilineal derivado del cambio de rigidez de la estructura.
- **Vd** vendría a ser el cortante de diseño de la estructura.

Applied Technology Council (1995), nos dice en el ATC-19 que la intención era desarrollar un factor R que pudiera usarse para reducir los

movimientos esperados del suelo presentados en forma de espectros de respuesta elástica a niveles de diseño más bajos incorporando dinámica estructural moderna al proceso de diseño. El análisis estático no lineal (también denominado análisis pushover) se puede utilizar para estimar la resistencia de un edificio o sistema de estructura. Para la determinación del factor de reducción por ductilidad se utiliza la siguiente expresión:

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_u} \dots\dots\dots [Ecuación 24]$$

Donde  $V_e$  es la resistencia al cortante que tendría la estructura si tuviera un comportamiento elástico y  $V_u$  es la fuerza cortante máxima que resiste la estructura antes de colapsar.

Para la determinación del factor de reducción por sobre resistencia se utiliza la siguiente expresión, según la norma ATC:

$$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d} \dots\dots\dots [Ecuación 25]$$

Donde  $V_y$  es el cortante derivado del modelo bilineal derivado del cambio de rigidez de la estructura y  $V_d$  vendría a ser el cortante de diseño de la estructura.

Bustamante (2015), Nos dice que para la determinación del factor de redundancia, cabe indicar que la redundancia es la capacidad de las estructuras de soportar las fuerzas actuantes sobre ella en el rango inelástico, distribuyendo estas fuerzas a todos los elementos resistentes para prevenir el colapso, la norma ATC nos dice que se requieren como mínimo 4 líneas de resistencia para cada dirección

y que de este modo la estructura sea considerada redundante, puesto que si colapsara alguna de las líneas resistentes las otras redistribuirían la carga de tal manera que resista la estructura sin colapsar totalmente.

Utilizando la siguiente expresión para determinar el factor de reducción por redundancia:

$$R_R = \phi \times \frac{V_u}{V_y} \dots\dots\dots [Ecuación 26]$$

**Tabla 3**

*Tabla del coeficiente  $\phi$  para el cálculo del factor de Redundancia*

Líneas de Resistencia	$\phi$
2	0.71
3	0.86
4	1.00

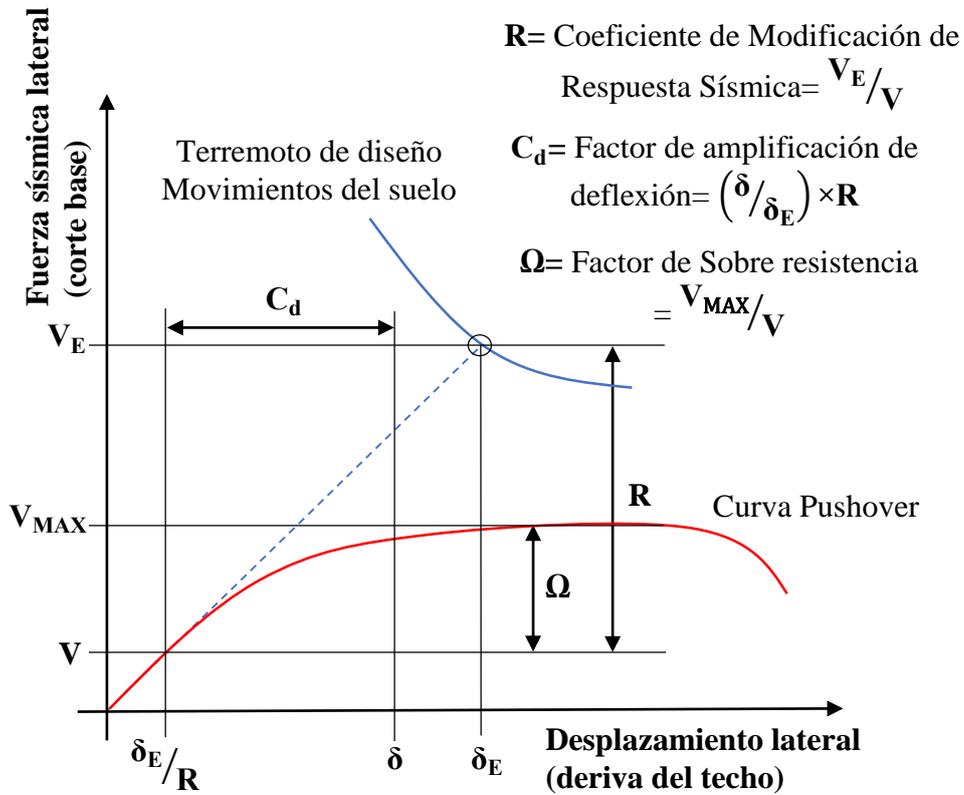
*Nota:* ATC-19. Fuente: Applied Technology Council (1995).

Dónde  $V_u$  es la fuerza cortante máxima que resiste la estructura antes de colapsar y  $V_y$  es el cortante derivado del modelo bilineal derivado del cambio de rigidez de la estructura (p. 68).

Federal Emergency Management Agency (2009), tuvo como objetivo desarrollar un procedimiento para establecer parámetros de respuesta y rendimiento del sistema de construcción ( $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega$ ), en el NEHRP FEMA P695 para los métodos de diseño lineal tradicionalmente utilizados en los códigos de construcción actuales. La aplicación principal del procedimiento es la evaluación de sistemas estructurales para nuevas construcciones con desempeño sísmico equivalente (p. 5).

**Figura 13**

*Ilustración de los factores Desempeño Sísmico ( $R$ ,  $\Omega$  y  $C_d$ )*



Federal Emergency Management Agency (2009), utiliza la ilustración del NEHRP FEMA P695 para explicar los factores de desempeño sísmico y cómo se utilizan en la Metodología. Los parámetros se definen en ecuaciones, que son relaciones adimensionales de fuerza, aceleración o desplazamiento en todos los casos.

Sin embargo, al intentar utilizar las figuras para aclarar e ilustrar los significados de estas proporciones, se debería entender la gráfica de dos maneras. En primer lugar, los factores de desempeño sísmico se representan en las figuras como diferencias incrementales entre dos parámetros relacionados, en lugar de como proporciones de los parámetros. Como segundo punto, a consecuencia de ser retratado como diferencias incrementales, es oportuno aclarar que los factores

de comportamiento sísmico se muestran en parcelas con unidades, cuando, en realidad, no tienen dimensiones (p. 40).

Federal Emergency Management Agency (2021), en el NEHRP FEMA P-2192 V2 define al coeficiente de reducción R, como el producto del factor de ductilidad y el factor de sobre resistencia estructural, utilizando la siguiente expresión para hallar el R:

$$R = \frac{\text{Resistencia de Demanda Elástica (Ve)}}{\text{Resistencia de Diseño (V)}} = R_d \times \Omega \quad \dots\dots\dots[\text{Ecuación 27}]$$

$$\text{Factor de Sobre resistencia } \Omega = \frac{\text{Resistencia Aparente (Vmax)}}{\text{Resistencia de Diseño (V)}} \quad \dots\dots[\text{Ecuación 28}]$$

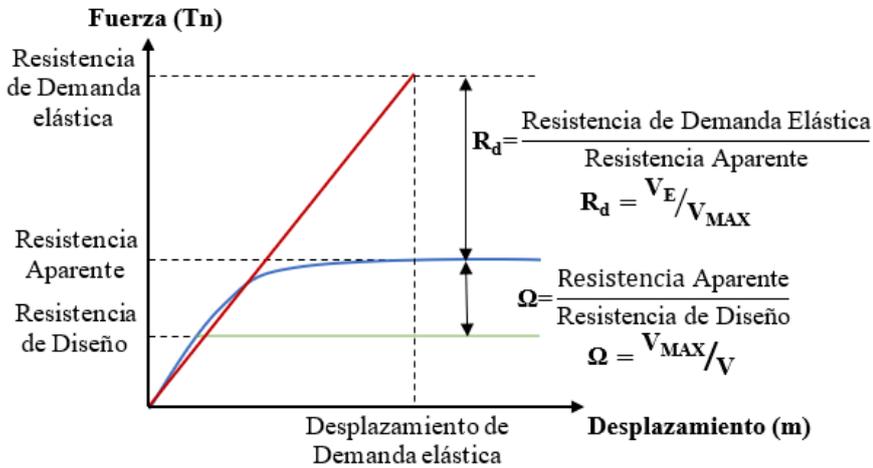
$$\text{Factor de Ductilidad } R_d = \frac{\text{Resistencia de Demanda Elástica (Ve)}}{\text{Resistencia Aparente (Vmax)}} \quad \dots[\text{Ecuación 29}]$$

Donde la Resistencia aparente es la Resistencia máxima de una estructura totalmente cedida y el factor de sobre resistencia se obtendría de la división de esta resistencia entre la Resistencia de Diseño.

Mientras que el factor de ductilidad se calcula dividiendo la Resistencia de demanda Elástica entre la Resistencia máxima de la estructura, el coeficiente de redundancia no es relevante puesto que este aumento de resistencia en la estructura se encuentra dentro de la sobre resistencia de la misma, por lo que, en los códigos más recientes, el cálculo del factor de Reducción solo se determina con la sobre resistencia y ductilidad (p. 194).

**Figura 14**

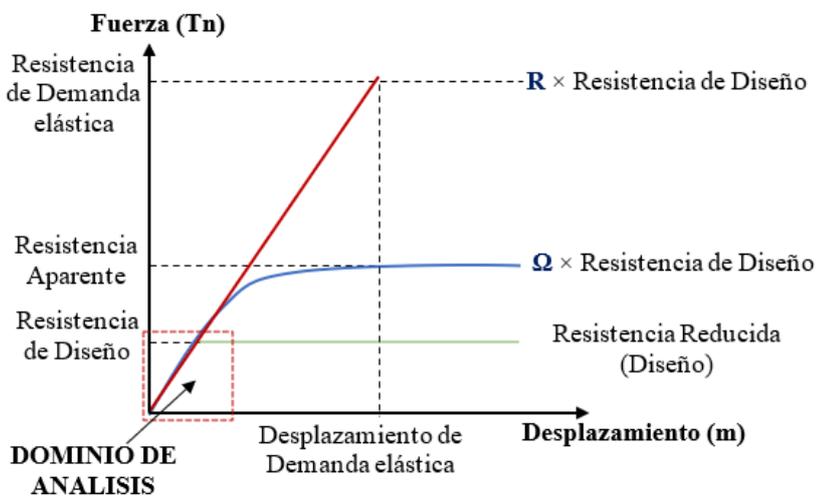
*Ilustración de los factores de Sobre resistencia  $\Omega$  y Ductilidad  $R_d$*



Federal Emergency Management Agency (2021), menciona en el NEHRP FEMA P-2192 V2 que el factor de modificación de respuesta R, se utiliza para reducir la resistencia elástica esperada al nivel de demanda de diseño, el siguiente gráfico define el coeficiente de modificación de respuesta R en formato gráfico de desplazamiento/ fuerza.

**Figura 15**

*Ilustración de los factores de Sobre resistencia  $\Omega$  y Ductilidad  $R_d$  (Tn x m)*



*Nota:* NEHRP FEMA P-2192 V2. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2021).

El dominio de análisis representa la respuesta del sistema elástico lineal analizado con las fuerzas reducidas. Es evidente que el desplazamiento previsto por este análisis es demasiado bajo. Las Provisiones del ASCE 7 compensan esta reducción mediante el uso del factor Cd (p. 195).

### **2.3. Definición de Términos**

#### **Análisis Lineal:**

Es análisis no lineal es el análisis basado en un comportamiento elástico de todos los materiales que constituyen la estructura y teniendo en consideración el equilibrio de la estructura sin deformación (Díaz, 2019).

#### **Análisis No Lineal:**

El análisis no lineal se realiza con el objetivo de obtener respuestas estructurales más cercana a la realidad tomando en cuenta el comportamiento de los materiales y de la estructura lo más real posible en general (Díaz, 2019).

#### **Análisis Estático No Lineal:**

El (AENL) Análisis estático no lineal, también conocido como análisis Pushover, es un método que consiste básicamente en aplicar a la estructura cargas laterales en un sentido, obteniendo como resultado la curva de capacidad generada por la formación de las rotulas plástica, al llevar la estructura al colapso (Paredes,2016).

### **Punto De Desempeño:**

Es el punto donde se da el máximo desplazamiento de una estructura, por la acción de una determinada demanda, mediante la superposición de la curva de capacidad y la curva del espectro de demanda, es que a esta intersección que se le denomina como punto de desempeño (Ancco, 2021).

### **Curva De Capacidad:**

La curva de capacidad se configura como la visualización gráfica de la estructura tras alcanzar el colapso y concluir el análisis. Esto implica trazar tanto los cortantes basales como los desplazamientos obtenidos, generando así una curva que caracteriza la respuesta esperada por la estructura (Bustamante ,2015).

## CAPÍTULO III

### MÉTODO

#### 3.1. Tipo De Investigación

- a) **Investigación aplicada**, respecto al fin que la investigación persigue, porque esta busca conocer y plantear soluciones a una problemática. El cual es proporcionar una sugerencia de un coeficiente de atenuación sísmica  $R$  para un sistema estructural tipo Steel Framing.
- b) **Investigación cuantitativa**, respecto a los tipos de datos que se analizan, porque para reconocer la realidad se realiza una recolección de datos que luego son analizados, para así poder probar las hipótesis y responder las preguntas que hay en la investigación.
- c) **Investigación experimental**, respecto al método que se sigue para demostrar las hipótesis, porque se verifican las hipótesis mediante la manipulación de las variables, lo cual determinara una causa y un efecto, manipulando intencionalmente las variables independientes para producir modificaciones en la variable dependiente por intensidad.

### 3.2. Diseño De Investigación

a) **Diseño experimental**, porque se requiere la manipulación intencional de los valores de las variables independientes (causas – antecedentes) mediante métodos, para analizar los posibles resultados (efectos-consecuencias), de manera controlada por el investigador.

El experimento se lleva a cabo para obtener evidencia de la relación causal, asignando diferentes valores a las variables independientes.

b) **Diseño factorial**, porque se manipulan más de dos variables independientes y se incluyen de dos a más niveles de presencia en cada variable independiente que se tenga. Cada estrato o variante para el caso de cada variable independiente se entrelaza con todos los niveles de las demás variables independientes.

c) **Diseño experimental puro**, porque se reúnen requisitos para el control de los datos y su validez interna, mediante grupos de comparación, manipulación intencional de variables independientes y medición de variables dependientes.

### **3.3. Población Y Muestra**

#### **3.3.1 Población:**

Según Hernández et al. (2010), una población es el conjunto de personas, cosas o situaciones que tienen rasgos particulares en común o cumplen determinados requisitos. En la investigación, la población se refiere a todo el grupo objeto de estudio y a la fuente de cualquier conclusión o hipótesis.

La presente tesis tiene como población a todos los edificios que tienen como sistema estructural Steel Framing de categoría C - viviendas, ubicadas en la costa del Perú en la zona 4, apoyadas en un suelo Rocoso o muy rígido S1 según norma sismo resistente E0.30.

#### **3.3.2 Muestra:**

De acuerdo con Hernández et al. (2010), se denomina muestra a un subconjunto representativo de toda la población elegido con la intención de recabar información y extraer conclusiones sobre el conjunto de la población. Para garantizar que la muestra representa correctamente la variedad y los rasgos que se encuentran en la población más amplia, debe estar repartida uniformemente por toda la población. Para poder extraer inferencias y conclusiones fiables sobre la población a partir de los datos recogidos en la muestra, se pretende que ésta refleje con exactitud la variedad de la población.

Como muestra la presente investigación tendrá cinco (05) edificios de un piso, cinco (05) edificios de dos pisos. Todas estas estructuras funcionan como vivienda, apoyadas en un suelo Rocoso o muy rígido S1, ubicados en la zona sísmica 4 según norma sismo resistente E0.30.

### 3.4. Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos

**Revisión de información documental:** Consiste en recolectar todos los datos del sistema estructural Steel Framing, para investigar las cualidades y atributos de los materiales usados en este sistema, así también la distribución de los esfuerzos en los componentes de la estructura del edificio resistente a las cargas sísmicas, se deberá leer normas y manuales que contengan información correspondiente al tema, las esenciales normas mundiales que se aplicarán para llevar a cabo el presente proyecto de investigación son las siguientes: FEMA 440, ATC-19, ATC-40, RNE, FEMA P2182 V2, FEMA P695.

**Experimento:** Al manipular las variables independientes y procesarlas en un software de análisis estructural, este instrumento nos proporcionara datos que posteriormente se analizaran y mediante el uso de fórmulas, expresiones y gráficos se determinara el valor de cada componente en análisis.

**Tabla 4**

*Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Tipo De Investigación</b>
Experimento	Software De Análisis Estructural	Cuantitativa Y Experimental
Revisión Documental	Códigos y normativas para establecer parámetros en el análisis y diseño. Fichas técnicas de los materiales.	Cuantitativa

### 3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El análisis estático no lineal de la estructura se realizará tras la obtención de los comportamientos inelásticos de los materiales y las partes estructurales. El espectro de capacidad y la curva de capacidad se obtendrán en esta tesis utilizando

la aplicación SAP2000 V24. Estos resultados proporcionarán la información necesaria para determinar las características de ductilidad y sobrerresistencia de las estructuras investigadas.

Los resultados se analizarán mediante gráficos de dispersión, y de manera estadística se determinará una media geométrica de los valores del coeficiente R de cada estructura obtenidos de los análisis.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Descripción de las estructuras**

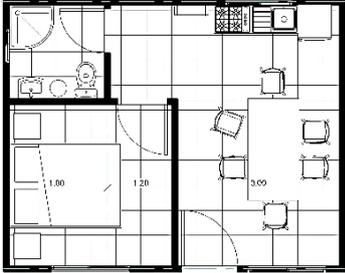
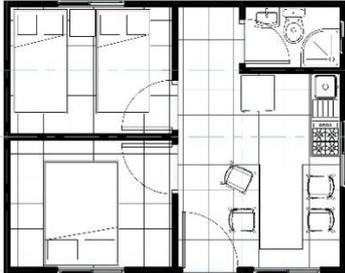
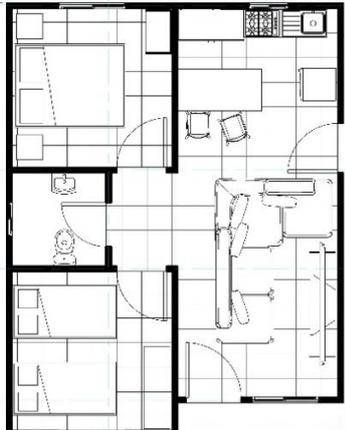
En este apartado, se exponen las consideraciones adoptadas para los modelos arquitectónicos, tanto lineales como no lineales. La generación de los modelos estructurales se ejecutó utilizando el programa informático SAP2000. Los montantes y las vigas fueron representados mediante elementos tipo Frame.

##### **4.1.1 Detalle de los modelos bajo análisis**

La investigación abarca un conjunto de diez construcciones, divididas en cinco edificaciones de un solo piso y otras cinco de dos pisos. Estos edificios tienen como finalidad principal el uso residencial y se encuentran establecidos sobre un terreno categorizado como Rocoso o muy rígido, específicamente con la clasificación S1. Es relevante destacar que todas estas estructuras están situadas en la zona sísmica 4, conforme a lo establecido por la normativa de resistencia sísmica E0.30.

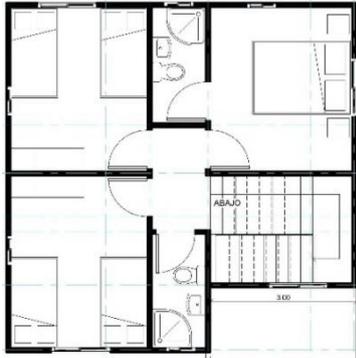
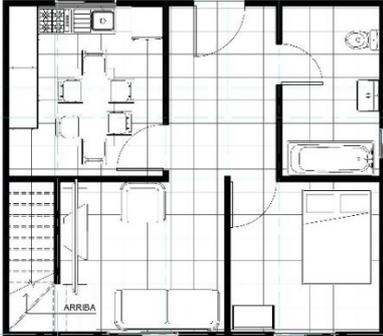
**Tabla 5**

*Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF1 – Vivienda SF4*

Planta	Usuarios	Descripción
	 2-4	<p>La vivienda Tipo <b>SF1</b> cuenta con un área de 30m<sup>2</sup>, en donde se distribuyen una habitación, sala, cocina y un baño compartido, la distribución permite la separación entre la privacidad del dormitorio a la sala, considerándose a los muros portantes en dirección Y.</p>
	 2-4	<p>La vivienda Tipo <b>SF2</b> cuenta con un área de 28m<sup>2</sup>, en donde se distribuyen dos habitaciones, sala, cocina y un baño compartido, la distribución permite la separación entre la privacidad de los dormitorios con la sala, considerándose a los muros portantes en dirección Y.</p>
	 2-4	<p>La vivienda Tipo <b>SF3</b> cuenta con un área de 46m<sup>2</sup>, en donde se distribuyen dos habitaciones, sala, cocina/comedor y un baño compartido, la distribución permite la separación entre la privacidad del dormitorio a la sala, considerándose a los muros portantes en dirección Y.</p>
	 3-6	<p>La vivienda Tipo <b>SF4</b> cuenta con un área de 70m<sup>2</sup>, en donde se distribuyen tres habitaciones, sala, cocina, comedor, un baño compartido, un baño privado para la habitación más grande, la distribución permite privacidad de los dormitorios con la sala, considerándose a los muros portantes en dirección Y.</p>

**Tabla 6**

*Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF5 – Vivienda SF7*

Planta	Usuarios	Descripción
	 3-6	<p>La vivienda Tipo <b>SF5</b> cuenta con un área de 60m<sup>2</sup>, en donde se distribuyen tres habitaciones, sala, cocina, comedor, y un baño compartido, la distribución permite privacidad de los dormitorios con la sala, considerándose a los muros portantes en dirección Y.</p>
	 4-7	<p>La vivienda Tipo <b>SF6</b> cuenta con dos niveles y un área de 56m<sup>2</sup> en el primer nivel y, que cuenta como distribución arquitectónica a una oficina, baño compartido, cocina, y sala/comedor, teniendo acceso al segundo nivel por medio de una escalera ubicada entre la sala y la oficina de ingreso, considerándose a los muros portantes en dirección Y X para la zona de la cocina/comedor.</p>
		<p>El segundo nivel tiene un área de 48m<sup>2</sup>, cuenta con dos habitaciones compartidas y una habitación matrimonial con baño independiente, también posee un baño compartido para los otros dormitorios, tiene comunicación con el primer nivel por medio de la escalera en U.</p>
	 3-6	<p>La vivienda Tipo <b>SF7</b> cuenta con dos niveles y un área de 48.85m<sup>2</sup> en el primer nivel, cuenta con una cocina/comedor, un baño independiente para el primer nivel amplio, un dormitorio y una sala de estar, para la configuración estructural se considerará a los muros portantes en dirección Y.</p>

**Tabla 7**

*Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF7 – Vivienda SF9*

Planta	Usuarios	Descripción
		<p>El segundo nivel de la vivienda Tipo <b>SF7</b> tiene un área de 43.75m<sup>2</sup>, cuenta con dos habitaciones y una pequeña sala, también posee un baño compartido para los dormitorios, y una terraza, tiene comunicación con el primer nivel por medio de la escalera en L.</p>
<p>Segundo nivel vivienda Tipo <b>SF7</b></p>		
	<p>3-6</p>	<p>La vivienda Tipo <b>SF8</b> cuenta con dos niveles y un área de 34.78m<sup>2</sup> el primer nivel, cuenta con una cocina/comedor, un baño independiente, un almacén colindante a la cocina, y una sala de estar, para la configuración estructural se considerará a los muros portantes en dirección Y.</p> <p>El segundo nivel de la vivienda Tipo <b>SF8</b> tiene un área de 43.75m<sup>2</sup>, cuenta con dos habitaciones y un baño independiente que da a un pasillo, tiene comunicación con el primer nivel por medio de la escalera en U.</p>
<p>Primer y Segundo nivel vivienda Tipo <b>SF8</b></p>		
	<p>2-6</p>	<p>La vivienda Tipo <b>SF9</b> cuenta con dos niveles y un área de 25m<sup>2</sup> el primer nivel, cuenta con una cocina/comedor, un baño compartido, y una habitación matrimonial para la configuración estructural se considerará a los muros portantes en dirección Y.</p>
<p>Primer nivel vivienda Tipo <b>SF9</b></p>		

**Tabla 8**

*Tipología de viviendas a analizar Vivienda SF9 – Vivienda SF10*

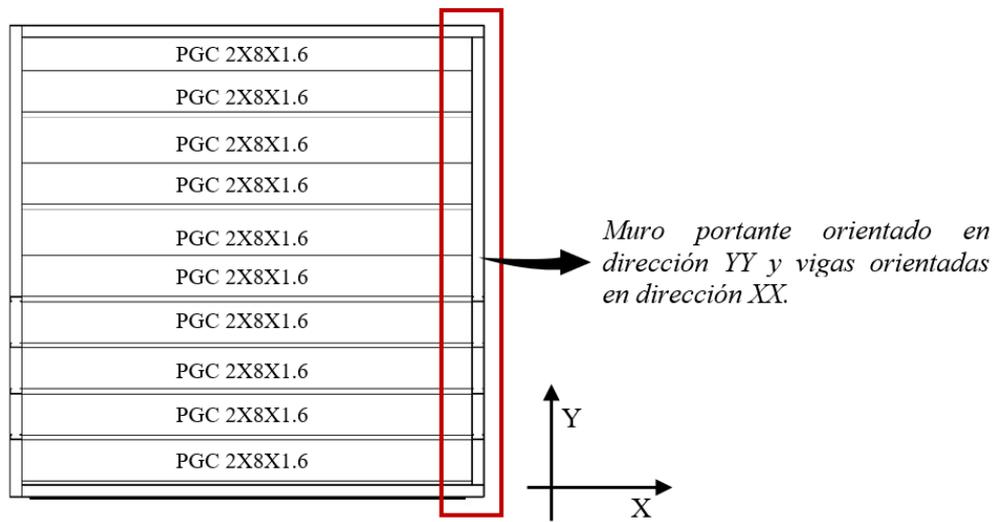
Planta	Usuarios	Descripción
		<p>El segundo nivel de la vivienda Tipo <b>SF9</b> tiene un área de 14m<sup>2</sup>, cuenta con una habitación y un baño independiente, tiene comunicación con el primer nivel por medio de la escalera en L.</p>
<p>Segundo nivel vivienda Tipo <b>SF9</b></p>		
	<p>5-7</p>	<p>La vivienda Tipo <b>SF10</b> cuenta con dos niveles y un área de 42.66 m<sup>2</sup> el primer nivel, cuenta con una cocina/comedor, un baño compartido, una sala de estar, y una habitación matrimonial, para la configuración estructural se considerará a los muros portantes en dirección Y.</p>
<p>Primer nivel vivienda Tipo <b>SF10</b></p>		
		<p>El segundo nivel de la vivienda Tipo <b>SF10</b> tiene un área de 26.13 m<sup>2</sup>, cuenta con dos habitaciones simples y un baño compartido tiene comunicación con el primer nivel por medio de la escalera en U.</p>
<p>Segundo nivel vivienda Tipo <b>SF10</b></p>		

## 4.2 Parámetros básicos de estructuración

El diseño estructural de las viviendas se compone de muros portantes de acero galvanizado orientados en dirección perpendicular a la orientación de las vigas de entrepiso. En la figura subsiguiente, se ilustra la disposición típica de este esquema estructural.

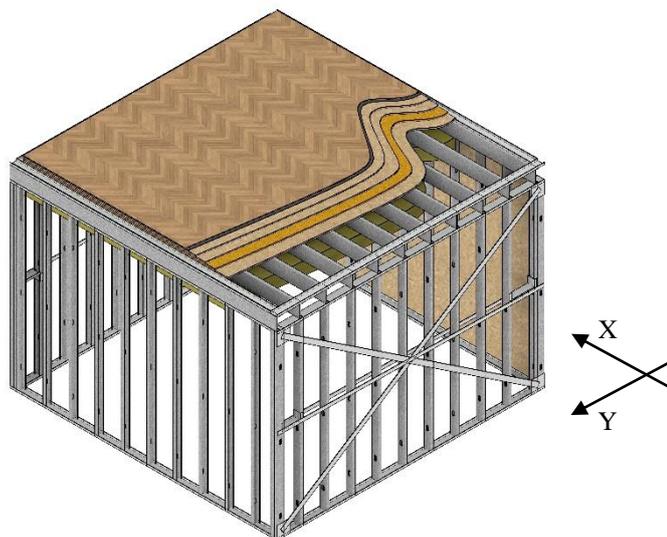
**Figura 16**

*Muros portantes y estructuración de un entrepiso en Steel frame*



**Figura 17**

*Estructuración típica y orientación de vigas en el sistema Steel frame*



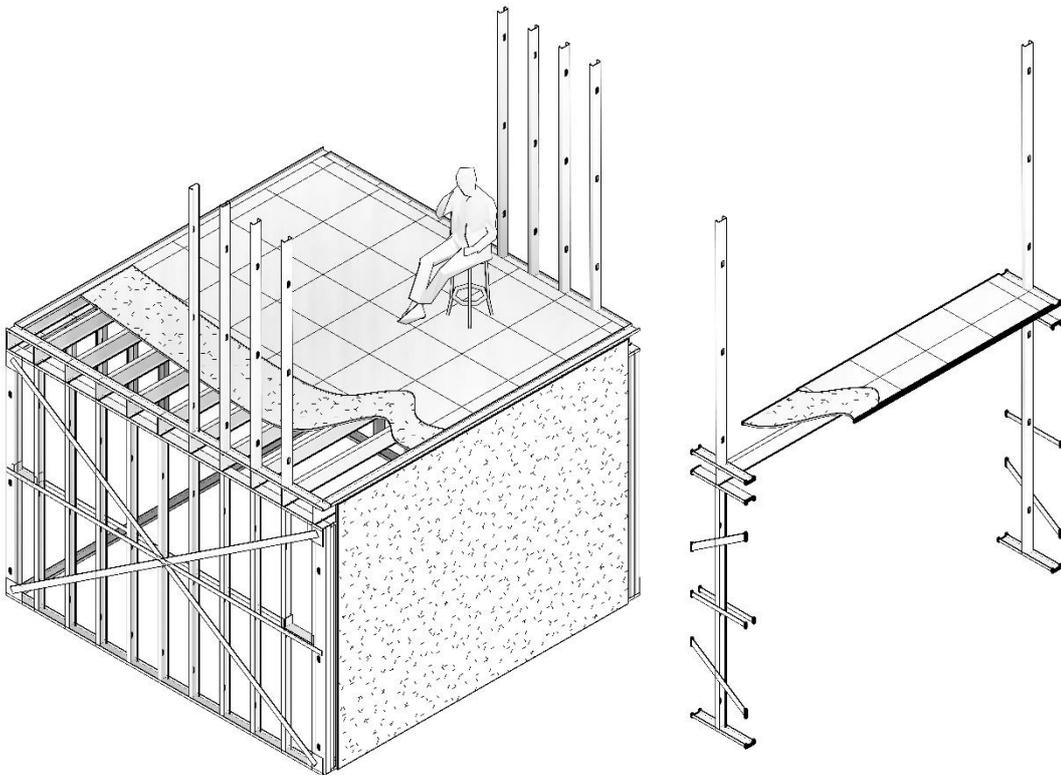
## 4.2.1 Cargas de gravedad y predimensionamiento

### 4.2.1.1 Predimensionamiento de vigas

Dado que las viguetas son elementos articulados, las vigas funcionan como simplemente apoyadas y no hay transmisión de momentos entre la viga y el montante. Por lo tanto, las viguetas deben orientarse en la dirección con menor luz para minimizar el momento flector.

#### Figura 18

*Vista en Planta Arquitectura Vivienda SF1*

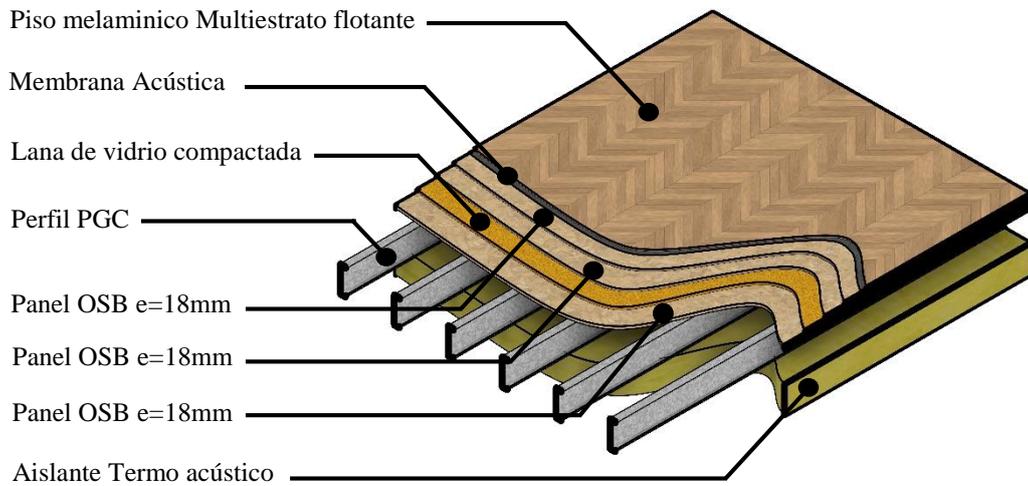


Para el predimensionamiento se aplicarán cargas muertas y cargas vivas asignada al área tributaria de la viga de entrepiso, según lo estipulado en la norma E.0.20 del reglamento, que indica las cargas a asignarse en la estructura para un ancho tributario de 60cm.

Para lo que son viviendas, la sobrecarga para él entre piso será de 200kg/m<sup>2</sup>, mientras que la carga muerta se calculará para un entrepiso seco, que consta de 3 capas de placa OSB de 18mm de espesor con piso melánico multiestrato flotante, y un aislante termoacústico.

**Figura 19**

*Detalle de los estratos que conforman el entrepiso seco para Steel frame*



De tal manera que teniendo los espesores y los pesos por metro cuadrado de cada uno de los estratos que conforman el entrepiso seco, se puede realizar el cálculo de la carga muerta.

**Tabla 9**

*Carga Muerta para Entrepiso Seco*

Detalle	Peso Propio de los materiales	Carga por metro lineal
Piso melaminico Multiestrato flotante e=12mm	10 kg/m <sup>2</sup>	6.000 kg/m
Membrana Acústica bajo piso flotante e=3mm	-	-
Panel OSB e=18mm	13.068 kg/m <sup>2</sup>	7.841 kg/m
Panel OSB e=18mm	13.068 kg/m <sup>2</sup>	7.841 kg/m
Lana de vidrio compactada e=20mm 100kg/m <sup>3</sup>	2 kg/m <sup>2</sup>	1.200 kg/m
Panel OSB e=18mm	13.068 kg/m <sup>2</sup>	7.841 kg/m
Perfil PGC 2x8x1.6 (Propuesto)	6.117 kg/m <sup>2</sup>	3.670 kg/m
Aislante Termo acústico e=200mm	4 kg/m <sup>2</sup>	2.400 kg/m
Drywall para cielo raso con placa de yeso e=12.5mm	12.237 kg/m <sup>2</sup>	7.342 kg/m
<b>Total</b>	<b>73.557 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>44.134 kg/m</b>

**Tabla 10**

*Resumen de cargas viva y carga muerta para entrepiso seco.*

Aplicación de cargas en viguetas de entrepiso norma técnica E.0.20		
	Carga Asignada	Carga por metro lineal
Carga Muerta de entrepiso	73.557 kg/m <sup>2</sup>	44.134 kg/m
Carga viva de entre piso	200 kg/m <sup>2</sup>	120 kg/m
Carga viva para cubierta	100 kg/m <sup>2</sup>	60 kg/m

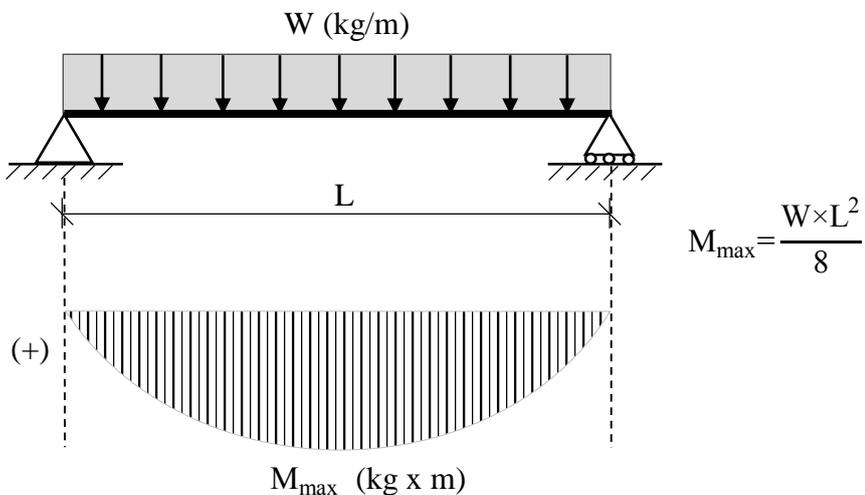
Se utilizará la expresión obtenida del apartado 1.4.1 del reglamento nacional para el diseño de estructuras metálicas E.090 para el predimensionamiento de las viguetas diseñadas a flexión que soportarán las cargas del entrepiso seco en el sistema de entramado metálico. Se utilizarán así las cargas incrementadas por el aumento de 20% a la carga muerta (D) y 60% a la carga viva (L), despreciando las cargas de granizo (R) y nieve (S) por encontrarse en la costa del Perú.

$$W=1.2D+1.6L+0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

El máximo momento flector para vigas simplemente apoyadas este dado por la siguiente expresión:

**Figura 20**

*Momento flector máximo para viga simplemente apoyada con carga distribuida*



Utilizaremos la ecuación que halla el módulo de sección  $S_x$  para confirmar que la sección transversal elegida puede soportar el momento máximo actuante causado por el aumento de carga de la combinación de cargas muertas y vivas:

$$M_n = \frac{S_x \times F_y \times \Phi f}{100} \dots\dots\dots \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$M_n$  es el Momento nominal (Kg×m).

$S_x$  es el Módulo de sección (cm<sup>3</sup>).

$F_y$  es el Esfuerzo de Fluencia (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\Phi f$  es el Factor de reducción de resistencia  $\Phi f = 0.90$ .

**Figura 21**

*Propiedades del Metalcon Perfil PGC*

METALCON® ESTRUCTURAL C SIN PERFORACION													
PERFIL NOMBRE	PESO [kgf/m]	AREA A [cm <sup>2</sup> ]	EJE X-X			EJE Y-Y				PANDEO FLEXO-TORSIONAL			
			lx [cm <sup>4</sup> ]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	rx [cm]	x [cm]	ly [cm <sup>4</sup> ]	Wy [cm <sup>3</sup> ]	ry [cm]	xo [cm]	j [cm]	Cw [cm <sup>6</sup> ]	1000j [cm <sup>4</sup> ]
C 2x2x0,85	0,83	1,07	3,10	1,55	1,69	1,55	2,12	0,94	1,40	-3,47	3,92	8,39	2,58
C 2x3x0,85	0,96	1,21	7,51	2,5	2,49	1,27	2,24	0,890	1,36	-2,98	4,11	15,5	2,92
C 2x4x0,85	1,23	1,57	20,2	4,48	3,59	1,24	3,26	1,27	1,44	-3,02	5,01	57,1	3,78
C 2x4x1,0	1,44	1,83	23,5	5,22	3,58	1,23	3,78	1,47	1,43	-3,0	5,0	65,7	6,11
C 2x5x0,85	1,32	1,69	26,6	5,32	3,97	1,25	3,81	1,39	1,50	-3,08	5,47	79,8	4,06
C 2x6x0,85	1,64	2,11	68,8	9,17	5,71	1,01	4,31	1,44	1,43	-2,61	8,11	191	5,09
C 2x6x1,0	1,94	2,47	80,3	10,7	5,70	1,01	4,99	1,67	1,42	-2,59	8,12	220	8,25
C 2x6x1,6	3,06	3,90	124	16,6	5,65	1,01	7,50	2,50	1,39	-2,52	8,14	326	33,2
C 2x8x1,6	3,67	4,70	250	25,0	7,30	0,849	8,07	2,56	1,31	-2,19	12,3	623	40,1
C 2x10x1,6	4,64	5,91	495	39,6	9,16	1,06	16,3	4,14	1,66	-2,78	15,3	1976	50,4

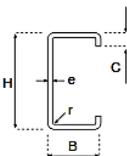
Nota: Cintac S.A. (2023).

#### 4.2.1.2 Predimensionamiento De Montantes

Para calcular las dimensiones iniciales de los perfiles destinados a los montantes, es esencial tener información sobre la capacidad permisible para resistir fuerzas axiales que cada perfil puede soportar. Por esta razón, se recurre a diversos manuales de diseño específicos para estructuras de Steel Framing. Al consultar las fichas técnicas correspondientes a los perfiles que planeamos emplear, elegimos el perfil más apropiado en función de los parámetros establecidos.

**Figura 22**

*Cargas Axiales Admisibles del Metalcon Perfil PGC*

METALCON® ESTRUCTURAL C		$F_y = 2812 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$									
		<b>CARGAS AXIALES</b> $P_x^T, P_y^T$									
NOMBRE		C 2x2x0,85		C 2x3x0,85		C 2x4x0,85		C 2x4x1,0		C 2x5x0,85	
H	[mm]	40		60		90		90		100	
B	[mm]	38		38		38		38		40	
C	[mm]	8		6		12		12		12	
e	[mm]	0,85		0,85		0,85		1,0		0,85	
PESO	[kgf/m]	0,83		0,96		1,23		1,44		1,32	
Pmáx	[kgf/m]	1220		1270		1586		1953		1614	
Cargas	[kgf]	$P_x^T$	$P_y^T$	$P_x^T$	$P_y^T$	$P_x^T$	$P_y^T$	$P_x^T$	$P_y^T$	$P_x^T$	$P_y^T$
LONGITUD, KL [m], SEGÚN Ejes X-X E Y-Y	0,50	1050	1190	1180	1240	1520	1540	1920	1930	1560	1570
	0,75	826	1140	1060	1190	1440	1490	1840	1890	1490	1520
	1,00	515	1080	900	1120	1320	1400	1660	1780	1380	1440
	1,25	347	984	674	1030	1150	1280	1420	1600	1230	1340
	1,50	255	868	503	923	914	1130	1140	1380	1040	1200
	1,75	200	715	386	780	714	917	893	1120	817	1010
	2,00	164	557	309	626	578	729	728	889	660	809
	2,25	139	440	256	507	482	596	611	727	549	662
	2,50	120	356	218	412	412	498	524	607	468	554
	2,75	107	295	182	341	358	423	458	514	405	471
	3,00	95,9		168		315		403		356	407
	3,25	87,4		151		282		357		318	
	3,50			137		253		320		286	
	3,75			126		228		291		260	
	4,00			117		207		266		238	
	4,25			109		190		246		218	
4,50			103		175		229		200		
4,75			96,9		163		215		185		
					152		202		173		
					143		191		162		
					135		182		152		
5,00					128		174		143		
					122		166		136		
					117		160		129		
					112		154		124		
					107		148		118		
					103		143		114		

Nota: Cintac S.A. (2023).

La tabla anterior muestra la carga axial admisible para cada tipo de perfil dependiendo de la longitud  $KL$  en metros, cabe resaltar que el método constructivo del sistema Steel Frame, requiere que tanto las vigas de entrespiso como los montantes que componen los muros portantes, estén arriostrados mediante cintas de acero y bloqueadores de giro.

**Figura 23**

*Factor de longitud efectiva  $K$  para miembros a compresión concentricamente cargados*

**Table C-E2-1**  
**Effective Length Factors  $K$  for Concentrically Loaded Compression Members**

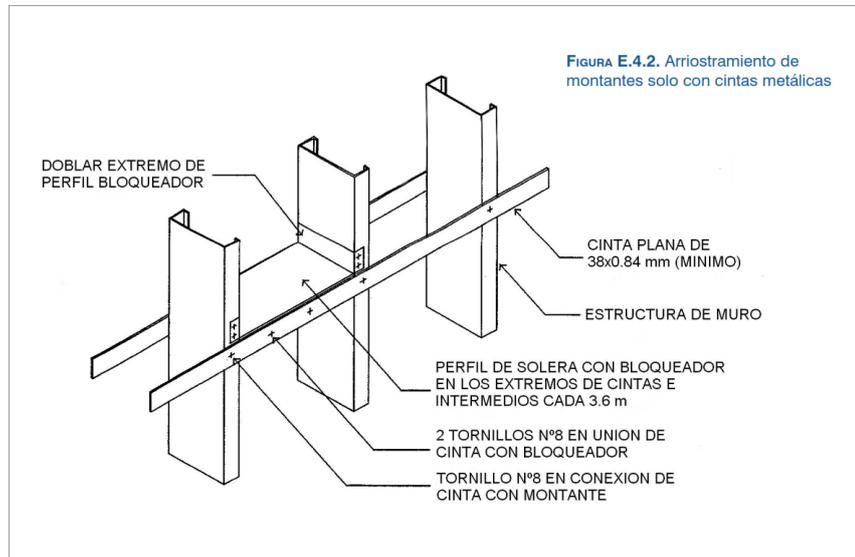
Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical $K$ value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended $K$ value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						
		Rotation fixed, Translation fixed				
		Rotation free, Translation fixed				
		Rotation fixed, Translation free				
		Rotation free, Translation free				

*Nota:* AISI S100-16. Fuente: American Iron Steel Institute (2016).

La sujeción lateral en la mitad de la altura de los montantes que conforman el muro portante, mediante la fijación de los strapping, que son tiras planas de acero atornilladas a cada montante para reducir el pandeo por flexo compresión debido a la carga axial del perfil, y a su vez en los montantes ubicados a los extremos de los muros portantes, se fijan los bloqueadores de giro que son perfiles C, que impiden la flexión de los montantes en el medio de su longitud.

## Figura 24

Detalle de arriostramiento de montantes con cintas metálicas (*strapping y blocking*)

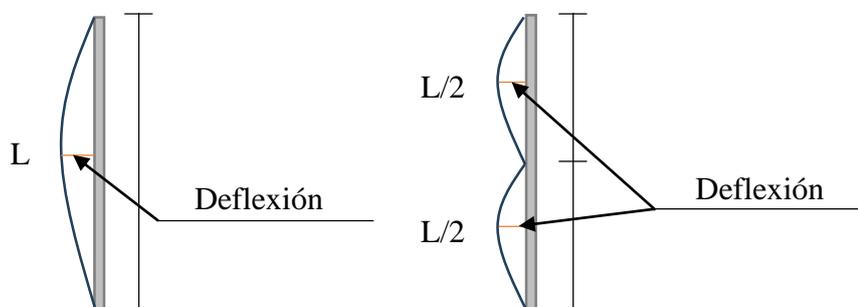


Nota: Manual de Ingeniería de Steel framing. Fuente: Dannemann (2007).

Teniendo en cuenta las consideraciones previas sobre el arriostramiento necesario para los montantes, se destaca la relevancia del factor "kl" en el proceso de predimensionamiento. Es crucial subrayar que, al buscar este factor en las tablas específicas destinadas a tal fin, se recomienda utilizar un valor calculado mediante la multiplicación de 0.5 por la longitud del montante.

## Figura 25

Deflexión en montantes sin sujeción lateral y con sujeción lateral continua a 1/2 altura



La carga axial que recibirán los montantes de los muros portantes será la equivalente a la multiplicación de la carga muerta más la carga viva transmitidas de manera equitativa hacia los dos montantes extremos en cada ancho tributario.

### 4.3 Propiedades de los Materiales

Las propiedades características que se tomaron para el acero galvanizado de los elementos estructurales están acordes a la ficha técnica de fabricación de los perfiles. Los componentes del acero formado en frío para las estructuras del sistema Steel Frame son de Acero ASTM A653 Grado 40, modelados como isotrópicos, el módulo de elasticidad  $E=2070000 \text{ kg/cm}^2$  y el módulo de poisson es  $\nu=0.3$ , peso por unidad de volumen de  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

**Tabla 11**

*Propiedades del Acero A653*

<b>Propiedades no lineales del Acero A653</b>		
Uso	:	Elemento estructural (muros, envigados, cerchas, vigas, columnas, techumbres, etc).
Espesores	:	0.85-1.0-1.6 (mm)
Materia Prima	:	ASTM A 653 SQ Gr40
Resistencia a la tracción Fu	:	3867 kg/cm <sup>2</sup> (40 ksi)
Límite de fluencia mínima Fy	:	2812 kg/cm <sup>2</sup> (55 ksi)
Alargamiento mínimo	:	16%

*Nota:* Cintac S.A. (2004).

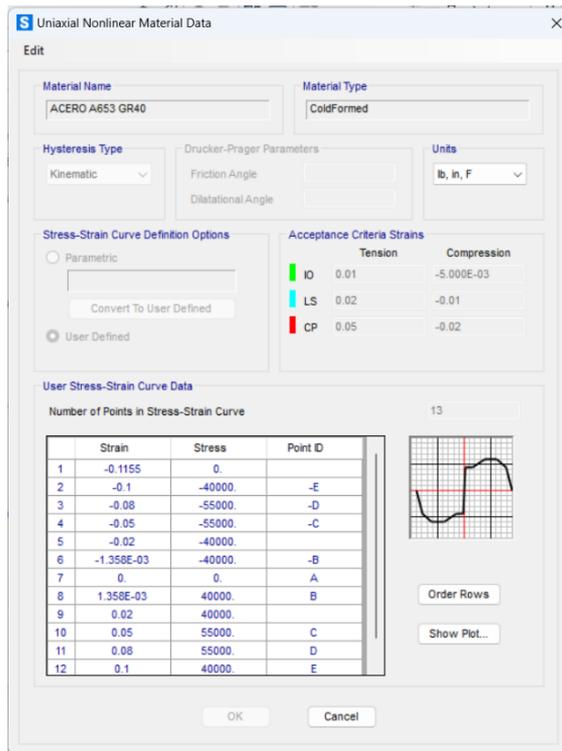
#### 4.3.1 Propiedades No lineales del Acero Conformado en Frío

Se empleó la versión 24 del software SAP2000, el cual cuenta con una extensa base de datos que incluye materiales y códigos internacionales, destacando el código AISI 16. Esta elección fue clave para llevar a cabo el diseño y verificar el análisis de los elementos diseñados de Steel Frame. Cabe señalar que los valores de la curva de deformación del acero ASTM A653 se ajustan a los

límites de resistencia a la tracción y fluencia del material, como se especifica en las normativas pertinentes. Este enfoque garantiza la integridad estructural y el cumplimiento de los estándares internacionales en el proceso de diseño y análisis.

**Figura 26**

*Propiedades no lineales del Acero ASTM A653*



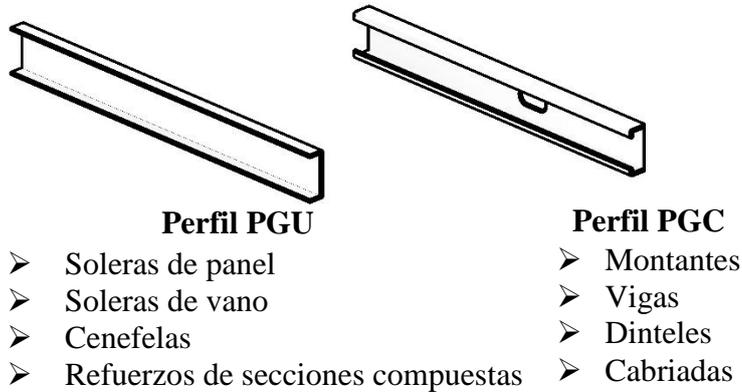
*Nota:* SAP2000 V24. Fuente: Computers and Structures, Inc. (2023).

### 4.3.2 Propiedades de los elementos estructurales

Familiarizarse con los perfiles que se utilizan para disponer las piezas estructurales es el primer paso para comprender los numerosos componentes que integran la estructura de un edificio.

**Figura 27**

*Perfilería utilizada en el sistema Steel Framing*



#### **4.3.2.1 Perfil PGC (Vigas y Montantes):**

Estos perfiles desempeñan un papel fundamental, ya que, de acuerdo con la planificación arquitectónica, los montantes, representados por perfiles PGC, cumplen la función crucial de actuar como pilares esenciales tanto para los muros como para los tabiques que se integran en el sistema. El mismo tipo de perfil PGC se emplea para las vigas, si bien se introducen variaciones, a menudo de mayor magnitud, en términos de altura y espesor. Esto les confiere la capacidad de resistir esfuerzos de flexión más considerables cuando se utilizan como viguetas para entrepisos. Asimismo, tienen la versatilidad de desempeñar el rol de columnas, proporcionando soporte para cargas más sustanciales.

#### **4.3.2.2 Perfil PGU (Soleras):**

La meta fundamental que persigue el perfil de umbral tipo PGU consiste en lograr el adecuado encuadramiento de la estructura del sistema SF y de los paneles asociados. Con el propósito de abarcar la totalidad de la sección de los

montantes, se diseñó el ancho ligeramente superior a la del propio montante (PGC).

Después de realizar el predimensionamiento de los elementos estructurales, teniendo en consideración que la separación entre montantes adoptada para estructuración de las viviendas será de 60cm, y considerando la exigencia del diseño LRFD, el momento Nominal multiplicado con un factor de reducción de resistencia ( $M_n$ ), de la sección adoptada para las vigas debe ser mayor que el momento máximo actuante debido a las cargas ( $M_u$ ).

**Figura 28**

*Dimensiones de los Perfiles Metalcon para el sistema Steel Framing*

	Nomenclatura	Dimensiones				Peso P Kg/m	Largos (m)	Código Cintac
		A mm	B mm	C mm	e mm			
Metalcon C								
METALCON C 2x2x0,85	40CA085	40	38	8	0,85	0,83	6,00	36000011
METALCON C 2x3x0,85	60CA085	60	38	8	0,85	0,96	2,40	36000022
METALCON C 2x3x0,85	60CA085	60	38	8	0,85	0,96	4,00	36000023
METALCON C 2x3x0,85	60CA085	60	38	8	0,85	0,96	6,00	36000007
METALCON C 2x4x0,85 Perforado	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	2,50	36000024
METALCON C 2x4x0,85 Perforado	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	3,00	36000025
METALCON C 2x4x0,85 Perforado	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	6,00	36000008
METALCON C 2x4x0,85	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	4,00	36000026
METALCON C 2x4x0,85	90CA085	90	38	12	0,85	1,23	6,00	36000012
METALCON C 2x4x1,0 Perforado	90CA10	90	38	12	1,00	1,44	6,00	36000009
METALCON C 2x5x0,85 Perforado	100CA085	100	40	12	0,85	1,32	6,00	36000010
METALCON C 2x6x0,85	150CA085	150	40	12	0,85	1,64	6,00	36000013
METALCON C 2x6x1,0	150CA10	150	40	12	1,00	1,94	4,00	36000027
METALCON C 2x6x1,0	150CA10	150	40	12	1,00	1,94	6,00	36000014
METALCON C 2x6x1,6	150CA16	150	40	12	1,60	3,06	6,00	36000015
METALCON C 2x8x1,6	200CA16	200	40	12	1,60	3,67	6,00	36000109
Metalcon U								
METALCON U 2x2x0,85	42C085	42	25	-	0,85	0,58	6,00	36000016
METALCON U 2x3x0,85	62C085	62	25	-	0,85	0,72	3,00	36000028
METALCON U 2x3x0,85	62C085	62	25	-	0,85	0,72	6,00	36000017
METALCON U 2x4x0,85	92C085	92	30	-	0,85	1,00	3,00	36000029
METALCON U 2x4x0,85	92C085	92	30	-	0,85	1,00	3,00	36000018
METALCON U 2x4x1,0	92C10	92	30	-	1,00	1,17	6,00	36000110
METALCON U 2x5x0,85	103C085	103	30	-	0,85	1,06	6,00	36000111
METALCON U 2x5x1,0	103C10	103	30	-	1,00	1,25	6,00	36000112
METALCON U 2x6x1,0	153C10	153	30	-	1,00	1,65	6,00	36000019
METALCON U 2x6x1,0	203C10	203	30	-	1,00	2,04	6,00	36000113

*Nota:* Cintac S.A. (2004).

Para el predimensionamiento de las estructuras se han seleccionado los siguientes perfiles de acero: para los montantes se utilizarán perfiles PGC 2X5X0.85, mientras que para las vigas se utilizarán perfiles PGC 2X8X1.6, y para las soleras perfil PGU 2X5X0.85.

**Tabla 12**

*Propiedades del Perfil PGC 2X5X0.85*

<b>Propiedades del Perfil a Usar</b>			
<b>C 2X5X0.85</b>			
Área	A	1.69	cm <sup>2</sup>
Momento de Inercia	I <sub>x</sub>	26.6	cm <sup>4</sup>
Módulo de sección	S <sub>x</sub>	5.32	cm <sup>3</sup>
Esfuerzo de fluencia	F <sub>y</sub>	2812	kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	E	2070000	kg/cm <sup>2</sup>
Factor de reducción de resistencia		0.9	

*Nota:* Cintac S.A. (2004).

**Tabla 13**

*Propiedades del Perfil PGC 2X8X1.6*

<b>Propiedades del Perfil a Usar</b>			
<b>C 2X8X1.6</b>			
Área	A	4.7	cm <sup>2</sup>
Momento de Inercia	I <sub>x</sub>	250	cm <sup>4</sup>
Módulo de sección	S <sub>x</sub>	25	cm <sup>3</sup>
Esfuerzo de fluencia	F <sub>y</sub>	2812	kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	E	2070000	kg/cm <sup>2</sup>
Factor de reducción de resistencia		0.9	

*Nota:* Cintac S.A. (2004).

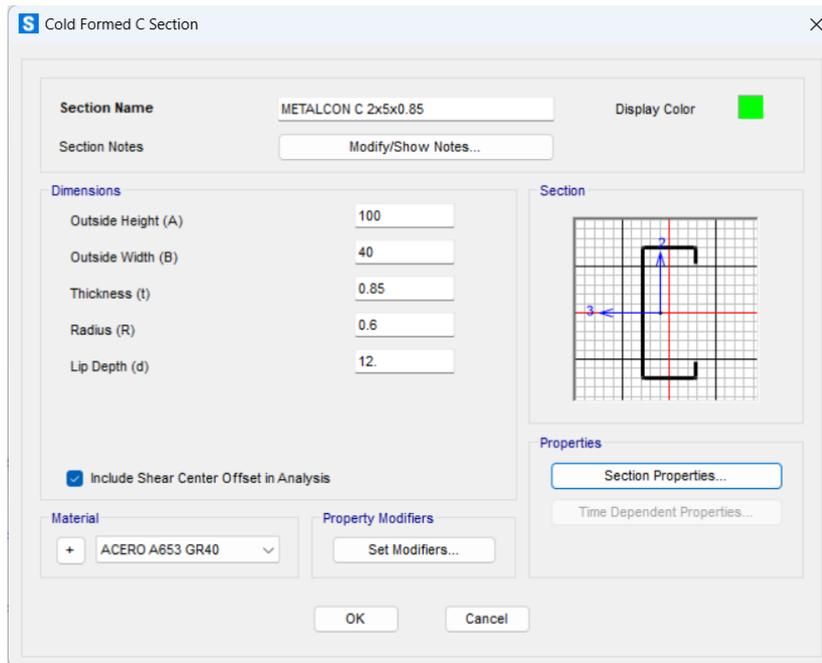
#### **4.4 Definición de las características de las secciones de los perfiles**

En el software SAP2000, se incorporaron los datos correspondientes a los perfiles para montantes y vigas desde el catálogo, los cuales fueron extraídos de los manuales de diseño y construcción proporcionados por la empresa Metalcon.

Esta compañía es reconocida por ser una de las más ampliamente utilizadas y contar con información completa en el mercado tanto a nivel nacional como internacional.

**Figura 29**

*Definición de secciones de perfiles PGC, PGU y Tirante*

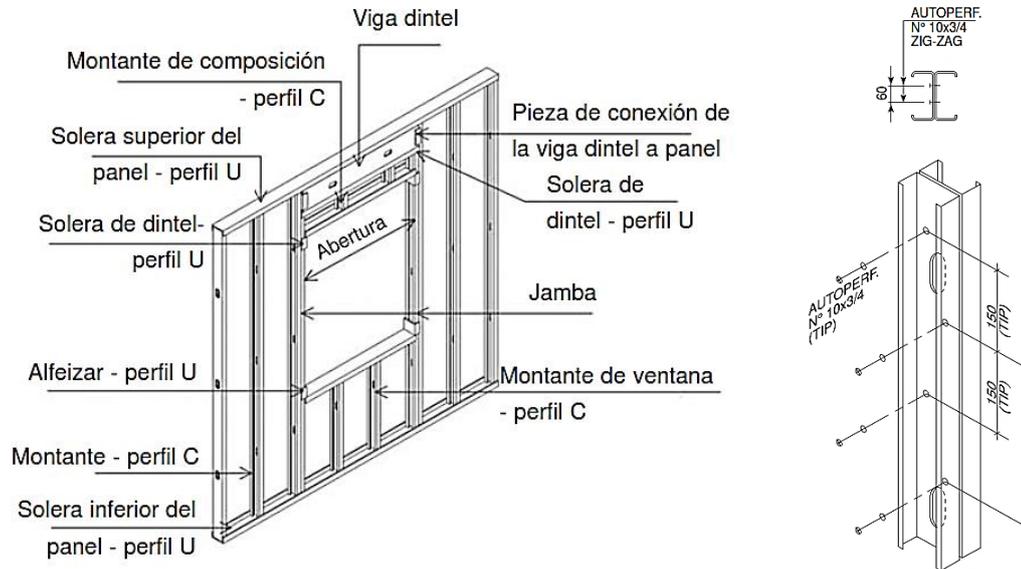


*Nota:* SAP2000 V24. Fuente: Computers and Structures, Inc. (2023).

Particularmente a definición de las secciones de los perfiles que se utilizaran para el modelado de cada vivienda, es preciso realizar la definición de las secciones compuestas por más de 2 perfiles, que son usadas en los encuentros entre paneles, refuerzo de vanos y vigas dinteles.

**Figura 30**

*Modelado de montantes en L en el software mediante le Section Designer*



*Nota:* Manual de Arquitectura de Steel framing. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).

Con ayuda del software Autocad se realizó el dibujo de las secciones compuestas y luego se importó la sección desde el software SAP2000 en su apartado de Sección Designer.

**Figura 31**

*Modelado de sección doble para montantes en el software mediante la Section Designer*



**Figura 32**

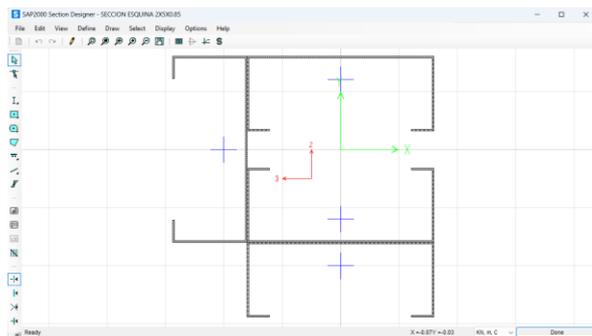
*Detalle de encuentro de montantes en esquina (L)*



*Nota:* Manual de Arquitectura de Steel framing. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).

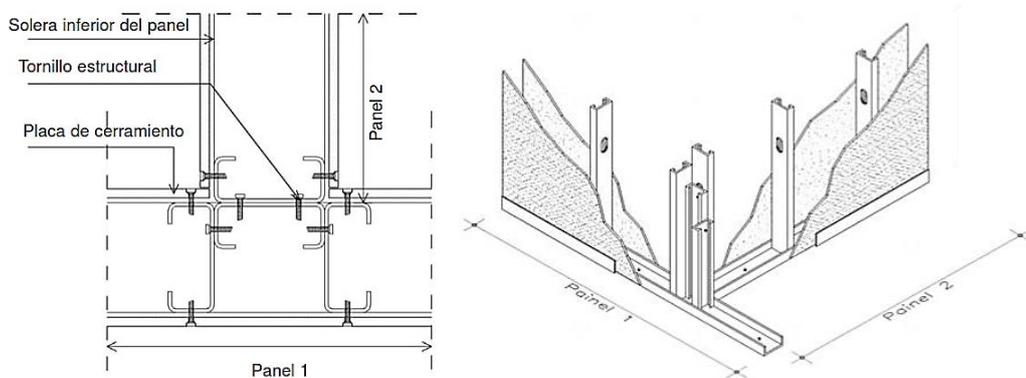
**Figura 33**

*Modelado de montantes en L en el software mediante le Section Designer*



**Figura 34**

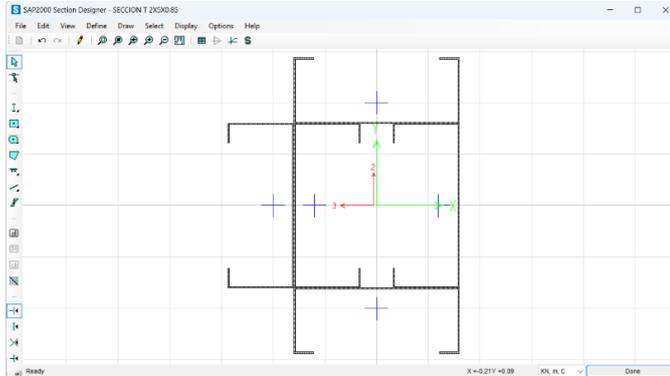
*Detalle de encuentro de montantes en esquina (T)*



*Nota:* Manual de Arquitectura de Steel framing. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).

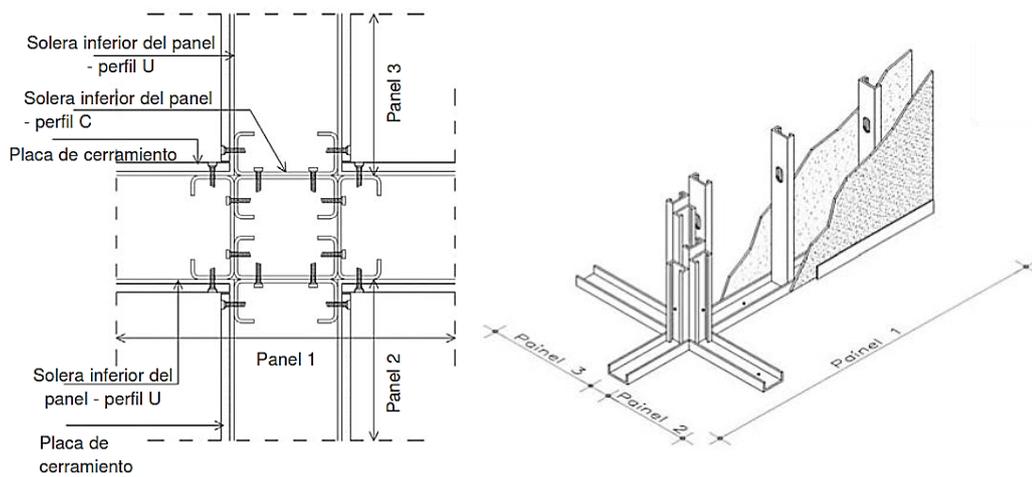
**Figura 35**

*Modelado de montantes en T en el software mediante le Section Designer*



**Figura 36**

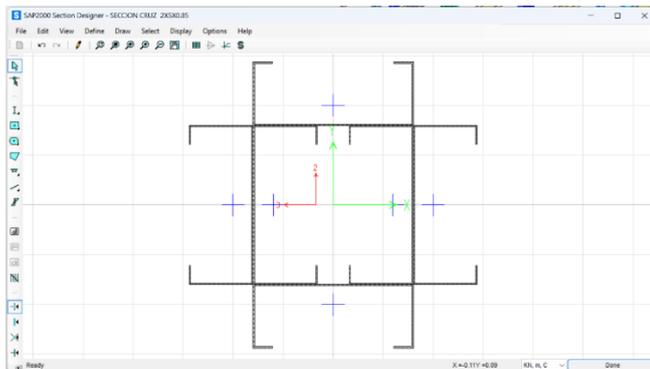
*Detalle de encuentro de montantes en Cruz*



*Nota: Manual de Arquitectura de Steel framing. Fuente: Sarmanho y Moraes (2007).*

**Figura 37**

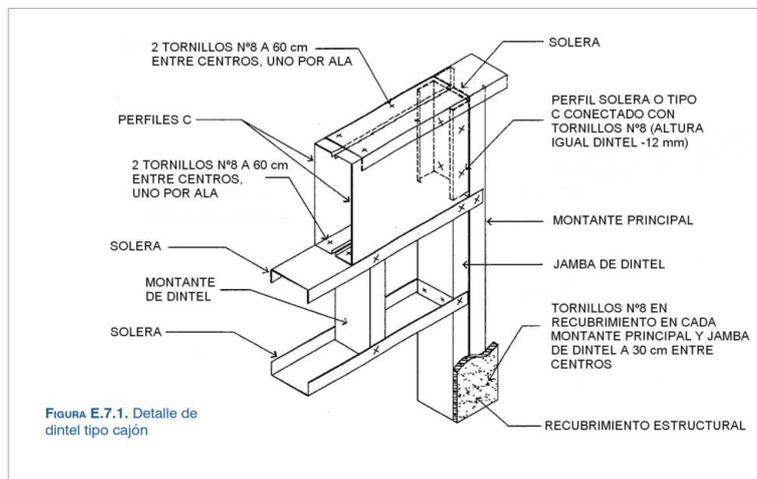
*Modelado de montantes en Cruz en el software mediante el Section Designer del software*



En la conformación de paneles estructurales destinados a alojar aberturas para puertas y ventanas, es esencial incorporar elementos de soporte que contribuyan a la redistribución eficiente de las cargas. Estos elementos estructurales incluyen, por ejemplo, vigas dinteles, cuya función principal es transferir la carga de los montantes interrumpidos hacia los montantes que delimitan el vano lateralmente.

**Figura 38**

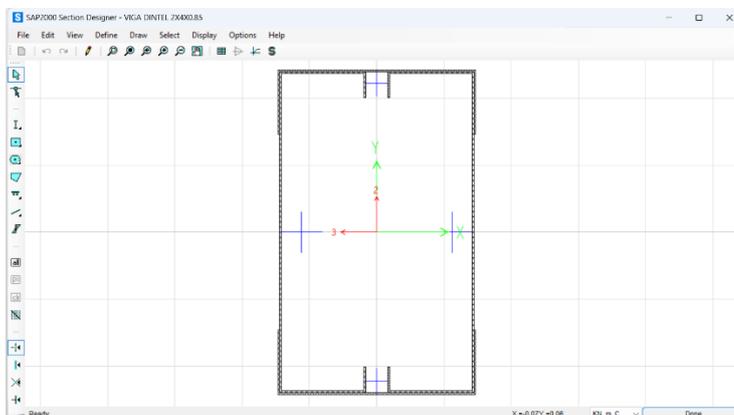
*Detalle de viga dintel tipo Cajón*



*Nota:* Manual de Ingeniería de Steel framing. Fuente: Dannemann (2007).

**Figura 39**

*Modelado de Sección viga dintel en el software mediante le Section Designer del software*

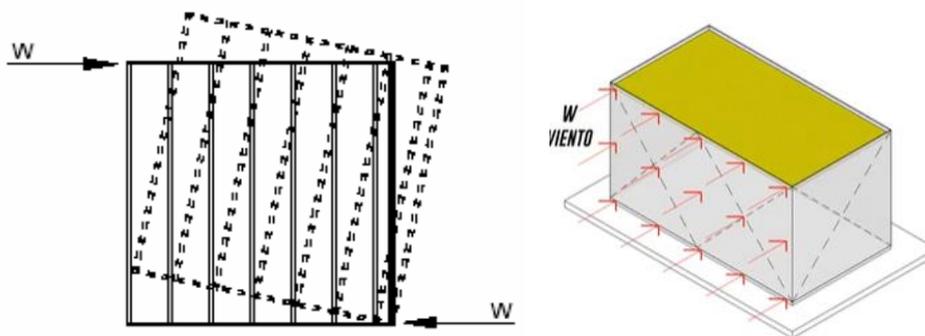


#### 4.5 Cargas por viento

Las fuerzas que impactan la estructura lateralmente se derivan principalmente de las cargas por viento y las cargas sísmicas. Estas fuerzas generan desplazamientos en los entrepisos, denominados derivas. Específicamente, las fuerzas del viento tienen el potencial de provocar volcamientos y arrancamientos. Por este motivo, algunos de los montantes y los rieles inferiores están firmemente anclados a la plataforma de concreto armado, que constituye la base fundamental de toda la estructura. Este anclaje proporciona estabilidad y resistencia adicional, asegurando que la estructura pueda hacer frente a las tensiones laterales generadas por eventos como vientos fuertes o movimientos sísmicos, y así mantener la integridad y seguridad del conjunto.

**Figura 40**

*Acción de cargas laterales en muros no anclados*



*Nota:* Bautista (2003).

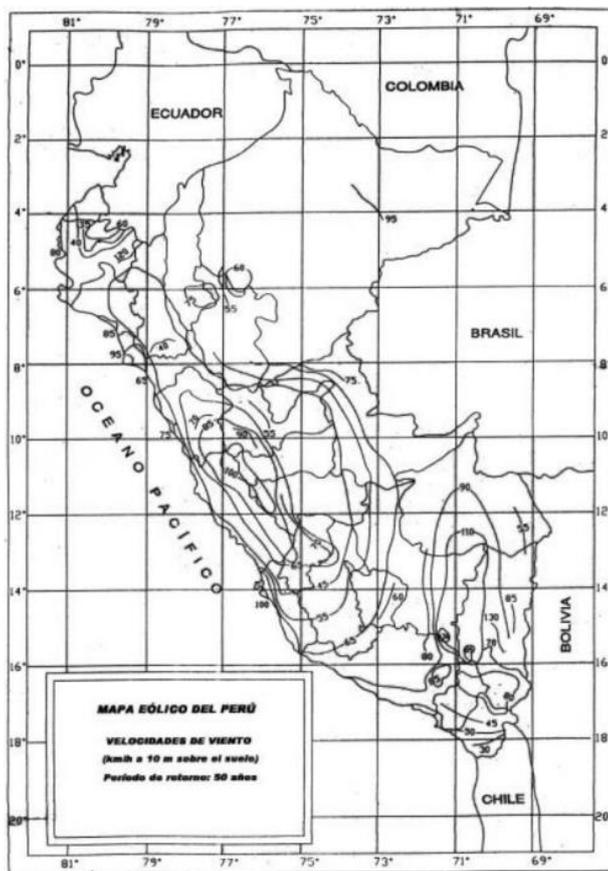
Las pautas para calcular la carga debida al viento en las viviendas que se pretenden modelar se basarán en las disposiciones y ecuaciones establecidas por la normativa E.020, específica en el reglamento nacional de construcción vigente. Este conjunto normativo, en consonancia con los estándares de diseño estructural, delinea las consideraciones clave que deben ser tenidas en cuenta al evaluar el

impacto del viento en las edificaciones. En este contexto, la norma específica la velocidad básica del viento, cuyo valor se determina en función de la ubicación geográfica precisa del proyecto.

La altura de la estructura, otro factor crucial, también está contemplada en la normativa, reconociendo su influencia directa en las cargas generadas por el viento.

**Figura 41**

*Mapa eólico del Perú*



*Nota:* RNE E.0.20. Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2023).

Considerándose a las viviendas para el análisis como Tipo 1 según la clasificación eólica, que corresponde a edificaciones de poca altura o esbeltez poco sensibles a ráfagas, debido a que se encuentran en área urbana para uso residencial.

$$V_h = V \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22} \dots\dots\dots [Ecuación 31]$$

Donde:

$V_h$  es la velocidad de diseño en la altura  $h$  en Km/h.

$V$  es la velocidad de diseño hasta 10 m de altura en Km/h.

$h$  es la altura sobre el terreno en metros.

De acuerdo a la ubicación de las estructuras se determina la velocidad de diseño hasta 10 metros de altura en km/h, para la costa del Perú, en promedio van desde los 50km/h hasta los 100km/h, por lo que se ha considerado para la presente investigación una velocidad de diseño de 75km/h siendo esta la velocidad mínima que indica la presente norma, debido a que al calcular la velocidad mediante la formula en función de la altura, para los edificios de 1 nivel de 2.7m de alto, la velocidad de diseño  $V_h$  seria 56.23km/h y para edificios de 2 niveles con una altura de 65.49m/h.

La carga exterior de viento para Barlovento y Sotavento se calculará con la siguiente formula:

$$P_h = 0.005 \times C \times V_h^2 \dots\dots\dots [Ecuación 32]$$

Donde:

$P_h$  presión o succión del viento a una altura  $h$  en Kg/m<sup>2</sup>.

$C$  factor de forma adimensional (+0.8 para barlovento y -0.6 para sotavento).

$V_h$  velocidad de diseño a la altura  $h$ , en Km/h.

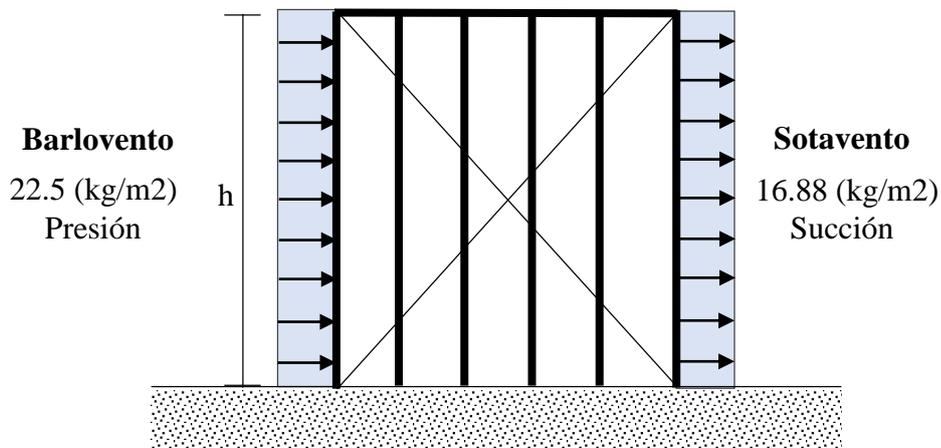
**Tabla 14**

*Cargas de Viento por metro cuadrado en superficies verticales de edificios*

	<b>Barlovento</b>	<b>Sotavento</b>
Presión del viento	22.50 kg/m <sup>2</sup>	-
Succión del viento	-	-16.88 kg/m <sup>2</sup>

**Figura 42**

*Cargas de Viento actuantes en las superficies de los edificios*



## 4.6 Análisis por sismo

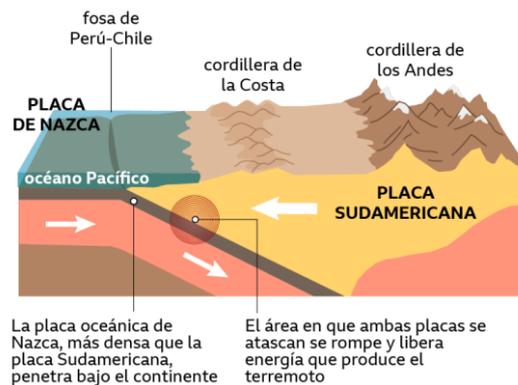
### 4.6.1 Zonificación

La efectividad del diseño sismorresistente está intrínsecamente vinculada a factores cruciales, entre los cuales destaca la ubicación de la estructura y el tipo de suelo que se contempla para la construcción. La respuesta dinámica de la edificación ante las ondas sísmicas varía significativamente en función de las características particulares de cada tipo de sustrato. En el marco de esta investigación, se ha asignado el factor de zona  $Z$ , siendo la Zona Sísmica 4 el parámetro definido. Esta designación se aplica específicamente a la extensa costa peruana, la cual se ubica en estrecha proximidad a la zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana. Este criterio se sustenta en el análisis del mapa

de riesgos proporcionado por el reglamento E 0.30, consolidando la necesidad imperante de un diseño estructural que responda eficazmente a las condiciones sísmicas inherentes a esta región geográfica.

**Figura 43**

*Zona de subducción en la costa del Perú*



*Nota: BBC News Chile (2020).*

Como se aprecia en la siguiente figura, la zona 4 corresponde a toda la longitud de la costa del Perú y tiene un factor de 0.45 g de aceleración máxima horizontal con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años por ser edificación común.

**Figura 44**

*Mapa de zonas sísmicas del Perú*



*Nota: RNE E.0.30 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2023).*

#### 4.6.2 Perfil del suelo

La determinación del tipo de suelo, identificándolo como S1 (roca o suelos muy rígidos), se ha llevado a cabo para discretizar los resultados. Esta clasificación, combinada con la elección preexistente de la zona sísmica, conduce a un valor específico que se refleja en la tabla correspondiente: el factor S. En este contexto, dicho factor se establece en 1.00, indicando una modificación en la aceleración Z.

**Tabla 15**

*Factor de suelo según la zona sísmica*

Zona/Suelo	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

*Nota:* RNE E.0.30 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2023).

#### 4.6.3 Categoría de la edificación

Para calcular el factor de uso, es esencial inicialmente definir la clasificación de la estructura. La normativa destaca como uno de los elementos clave para esta evaluación la relevancia del edificio y su propósito. En este contexto, las edificaciones destinadas a viviendas son identificadas como Edificios Comunes, asignándoseles un valor predeterminado para el factor U de **1.00**. Este parámetro constituye un indicador fundamental que refleja la importancia y la función específica de la edificación, contribuyendo así a una evaluación precisa de su factor de uso en conformidad con las normas establecidas.

**Figura 45**

*Uso residencial con sistema estructural Steel framing Perú*



*Nota:* Eternit S.A. (2003).

#### **4.6.4 Factor de amplificación**

El factor de amplificación de la aceleración estructural respecto a la aceleración del suelo depende directamente del periodo fundamental de la estructura y de los rangos dependientes de los parámetros de sitio.

**Tabla 16**

*Factor Amplificación sísmica*

<b>Periodos</b>	<b>S0</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
Tp(s)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL(s)	3.00	2.50	2	1.6

*Nota:* RNE E.0.30 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2023).

Siendo delimitados los periodos Tp y TL por 0.4 y 2.5 respectivamente, estos parámetros deben compararse con los periodos fundamentales de las

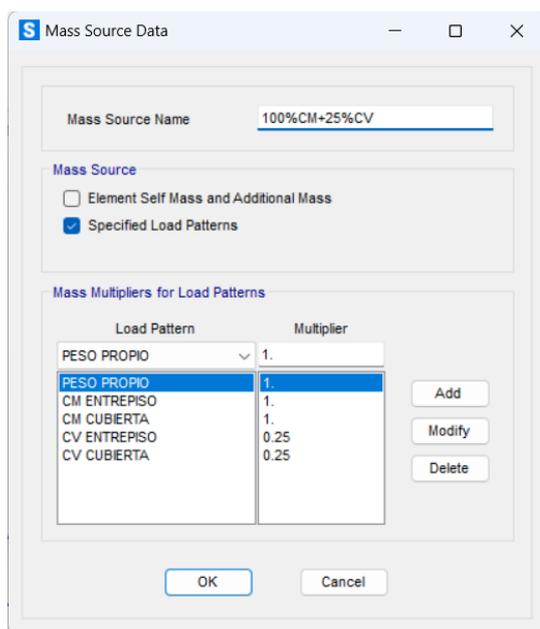
estructuras bajo análisis para determinar el valor del factor C que en promedio toma un valor de 2.5.

#### 4.6.5 Modos de vibración

De acuerdo con la norma E.030, se especifica que la identificación de los modos de vibración debe llevarse a cabo mediante la utilización de un modelo que refleje de manera precisa la distribución de rigideces y masas en la edificación. Este proceso implica la consideración, como mínimo, de los tres primeros modos predominantes. En cada dirección, se deben tener en cuenta los modos de vibración cuya suma de masas efectivas alcance, como mínimo, el 90% de la masa total del sistema. Este enfoque garantiza una evaluación exhaustiva y representativa de la respuesta sísmica del edificio, asegurando que se capturen los modos de vibración más significativos para la correcta interpretación y análisis de su comportamiento ante eventos sísmicos.

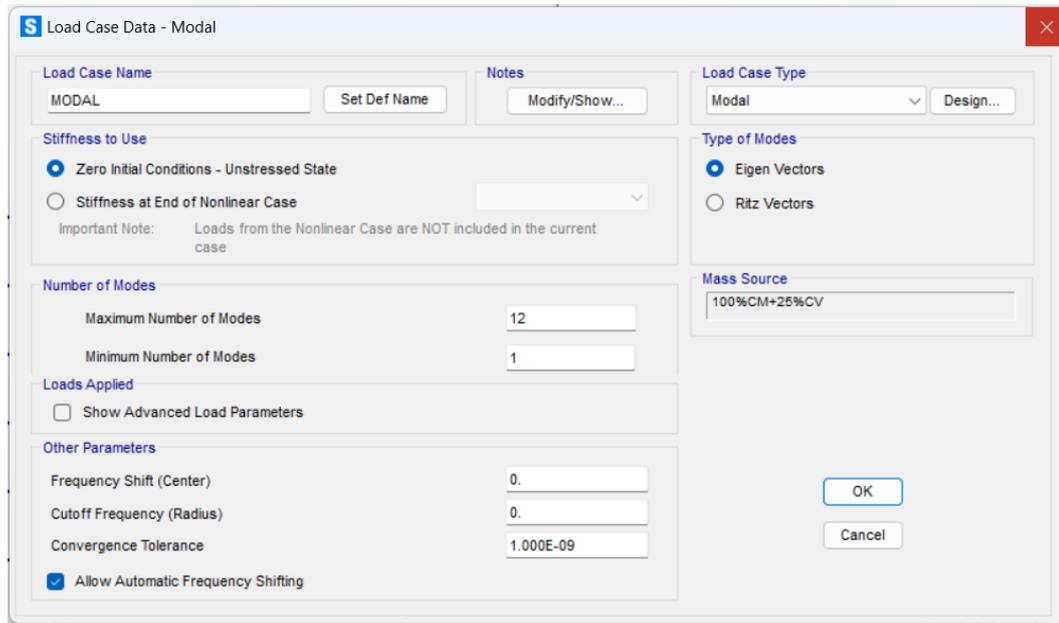
**Figura 46**

*Asignación de porcentaje de masas en SAP2000*



**Figura 47**

*Modos de vibración en SAP2000*



#### **4.6.6 Desplazamientos laterales y derivas admisibles**

Para establecer las derivas permitidas, se determinarán los desplazamientos laterales derivados del análisis lineal, y se multiplicarán por el 75% del coeficiente de reducción sísmica, según lo especificado en la normativa sismorresistente E.0.30.

**Tabla 17**

*Límites para la distorsión del entrepiso*

<b>Material Predominante</b>	<b>(<math>\Delta_i/h_{ei}</math>)</b>
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con ductilidad limitada	0.005

*Nota:* RNE E.0.30 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2023).

## 4.7 Análisis estático no lineal

### 4.7.1 Peligro sísmico

Se delimitan cuatro categorías de riesgo sísmico, cada una caracterizada por un evento específico vinculado a su periodo de retorno, también denominado como la probabilidad de excedencia en un lapso de 50 años. El espectro elástico, conforme a las normativas peruanas, se configura tomando como referencia un terremoto considerado raro, con un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad del 10% de ocurrencia.

**Tabla 18**

*Escenarios de peligro sísmico VISION 2000*

Sismo	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia en 50 años
Frecuente	45	67%
Ocasional	75	50%
Raro	475	10%
Muy Raro	970	5%

*Nota:* SENCICO (2020).

**Figura 48**

*Niveles de Peligro FEMA 273*

Probability	MRI	Frequency
50%-50 year	72 years	Frequent
20%-50 year	225 years	Occasional
10%-50 year (BSE-1)	474 years	Rare
2%-50 year* (BSE-2)	2475 years	Very rare

*Nota:* FEMA 273. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2003).

El SEAOC reconoce tres clases de edificaciones. Y niveles de desempeño establecen el daño y punto localización del punto de desempeño de cada edificación dependiendo la clase de la misma para diferentes tipos de sismos de

diseño, en el caso de la presente investigación, las estructuras deberían de tener su desempeño como máximo en resguardo de vida por ser edificación común.

**Figura 49**

*Matriz de objetivos para edificaciones VISION 2000*

		Nivel de desempeño			
		Completamente operativo	Operativo	Resguardo de vida	Cerca al colapso
Sismo de diseño	Sismo frecuente				
	Sismo ocasional				
	Sismo raro				
	Sismo muy raro				

		
Edificación común	Edificación esencial	Edificación de seguridad crítica

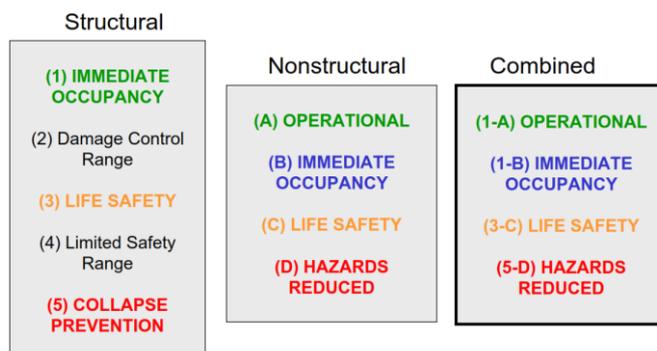
*Nota:* SENCICO (2020).

En el FEMA 273, se establecen tres niveles de desempeño, el primer nivel, denominado "Ocupación Inmediata", se caracteriza por daños menores, con una degradación limitada de la rigidez y resistencia de la estructura. En este estado, la edificación aún es funcional y permite una ocupación inmediata con riesgos mínimos.

**Figura 50**

*Niveles y rangos de desempeño en edificaciones FEMA 273*

### Building Performance Levels and Ranges



*Nota:* FEMA 273. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2003).

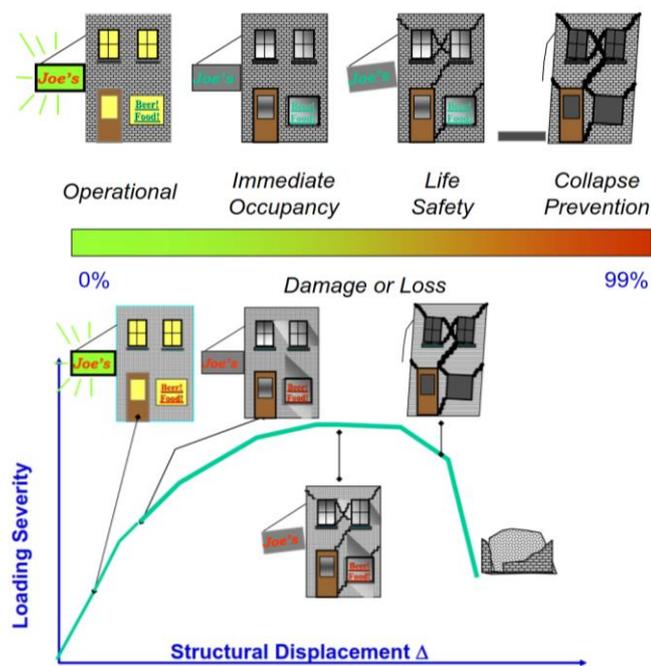
Por otro lado, la categoría de "Seguridad de Vidas" implica que la edificación, aunque pueda requerir reparaciones, sigue siendo reparable y presenta un bajo nivel de riesgo para sus ocupantes. Se busca garantizar la integridad y seguridad de las personas en el espacio construido, incluso ante eventos sísmicos significativos.

Finalmente, el tercer nivel, conocido como "Prevención de Colapso", representa un estado incipiente de falla total, con una degradación sustancial de la rigidez y resistencia de la estructura. Este nivel se identifica en el momento en que comienza la degradación rápida, sirviendo como indicador crítico para tomar medidas preventivas y evitar un colapso total.

La clasificación en estos niveles ofrece un marco detallado para evaluar y comprender el desempeño estructural ante eventos sísmicos, permitiendo una gestión más efectiva de la seguridad y la integridad de las edificaciones.

**Figura 51**

*Desempeño estructural y criterios de aceptación FEMA 273*



*Nota:* FEMA 273. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2003).

La variabilidad en los estándares refleja la diversidad de enfoques adoptados por diferentes autoridades y organizaciones para garantizar niveles adecuados de desempeño estructural y protección de la vida humana en situaciones críticas. La comprensión y aplicación de estos criterios son fundamentales para asegurar la resiliencia de las edificaciones ante condiciones adversas.

**Tabla 19**

*Límites de distorsión de entrepiso para los niveles de desempeño*

Nivel de desempeño	ATC-40	FEMA 273	BERTERO	VISION 2000
Ocupación Inmediata	0.01	0.01	0.002-0.005	0.002-0.005
Seguridad de Vida	0.01-0.02	0.01-0.02	0.01-0.02	0.015
Prevención del colapso	0.33 Vi/Pi	0.04	0.02-0.04	0.025

*Nota:* Navarro y Valero (2021).

Según las directrices establecidas en el FEMA 440, se especifica que el desplazamiento máximo lateral permitido para una estructura puede variar en un rango comprendido entre el 4% y el 6% de su altura total.

La introducción del nivel de peligro sísmico en el programa se llevó a cabo mediante la incorporación de un espectro elástico de pseudo aceleraciones, siguiendo las pautas establecidas por la norma E.030. Este enfoque implica la consideración de un sismo severo, y el espectro elástico proporciona información crucial sobre la respuesta estructural esperada frente a distintas frecuencias y periodos de vibración.

**Tabla 20**

*Parámetros de diseño sísmico de acuerdo a la norma E.030 para espectro elástico*

Parámetros	Valores	Descripción	
Z	0.45	Zona Sísmica	4
U	1.00	Edificaciones Comunes	C
C	2.50	Coefficiente de Amplificación	
S	1.00	Roca o Suelos Muy Rígidos	S1
k	1.00	Exponente del periodo fundamental	

Al adherirse a las directrices de la norma E.030, se garantiza que el programa esté alineado con los estándares y requisitos específicos para evaluar el peligro sísmico en la ubicación correspondiente. La utilización de pseudo aceleraciones en el espectro elástico permite una representación más precisa de las fuerzas dinámicas que la estructura puede experimentar durante un evento sísmico, facilitando así una evaluación más rigurosa y confiable de su desempeño frente a tales condiciones.

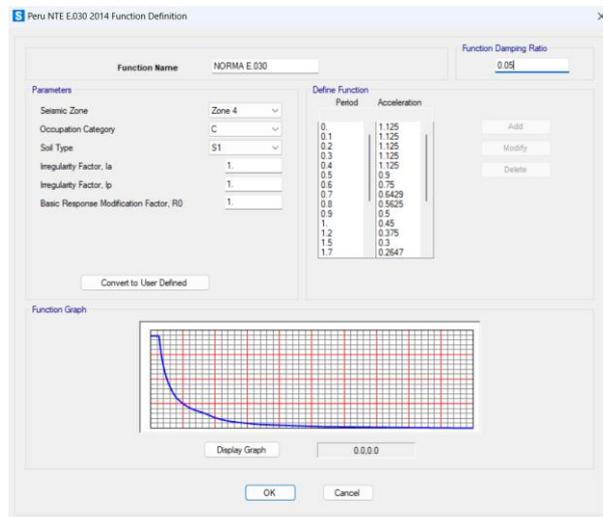
**Figura 52**

*Espectro elástico de la norma E.030 para suelos S1, y Zona sísmica 4*



**Figura 53**

*Espectro elástico de la norma E.030 para suelos S1, y Zona sísmica 4 en el SAP2000*



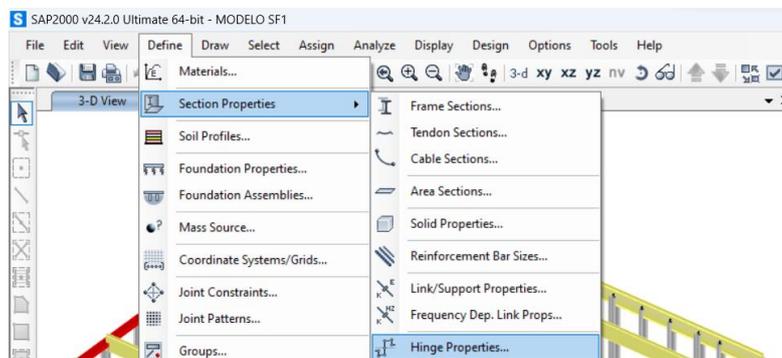
*Nota:* SAP2000 V24. Fuente: Computers and Structures, Inc. (2023).

#### 4.7.2 Definición de rotulas plásticas

Para la determinación de la curva de capacidad, se llevó a cabo un análisis estático no lineal, una metodología que implica ingresar al programa los parámetros necesarios para la generación de articulaciones plásticas en los componentes estructurales. Este enfoque permite evaluar de manera más precisa y detallada el comportamiento no lineal de la estructura, considerando la formación de rotulas plásticas que se desarrollan bajo cargas extremas.

**Figura 54**

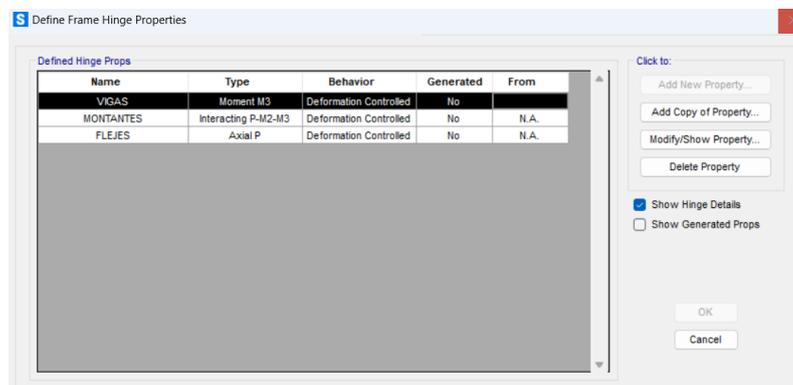
*Definición de las propiedades para las rotulas plásticas en SAP2000*



En el software, se presenta la posibilidad de incorporar diversos tipos de rótulas plásticas, cuya elección dependerá de su comportamiento estructural específico.

**Figura 55**

*Definición de los tipos de rotulas plásticas en SAP2000*



El software dispone de un banco de datos que incorpora las tablas correspondientes al ASCE 41-13, permitiendo así la asignación automatizada de articulaciones plásticas a los elementos estructurales, ya sean de concreto armado o acero, en función de su rol específico, ya sea como vigas o columnas. Este proceso automatizado garantiza una implementación eficiente y precisa de las recomendaciones normativas, agilizando la aplicación de rotulas plásticas de manera coherente con las funciones estructurales particulares de cada elemento

**Figura 56**

*Parámetros para el modelamiento y criterios de aceptación para Acero Estructural*

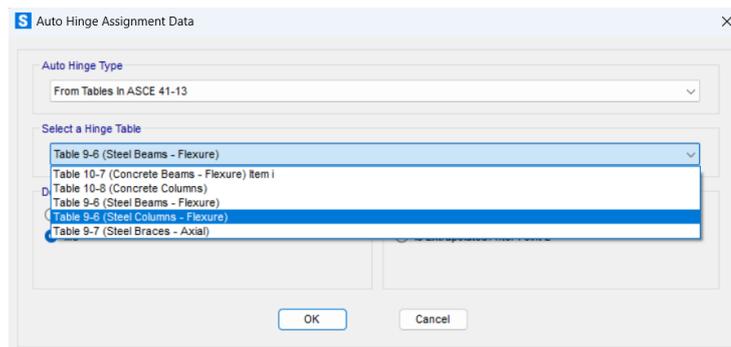
**Table 9-6. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components**

Component or Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle, Radians	Residual Strength Ratio		Plastic Rotation Angle, Radians		
				IO	LS	CP
	a	b	c			
<b>Beams—Flexure</b>						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{yc}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{yc}}}$	90,	110,	0.6	10,	90,	110,
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{yc}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{F_{yc}}}$	40,	60,	0.2	0.250,	30,	40,
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					
<b>Columns—Flexure<sup>a,b</sup></b>						
For $PIP_{cl} < 0.2$						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{yc}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{F_{yc}}}$	90,	110,	0.6	10,	90,	110,
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{yc}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{460}{\sqrt{F_{yc}}}$	40,	60,	0.2	0.250,	30,	40,
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					
For $0.2 \leq PIP_{cl} \leq 0.5$						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{yc}}}$ and $\frac{h}{t_w} \leq \frac{260}{\sqrt{F_{yc}}}$	— <sup>c</sup>	— <sup>d</sup>	0.2	0.250,	— <sup>c</sup>	— <sup>d</sup>
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{yc}}}$ or $\frac{h}{t_w} \geq \frac{400}{\sqrt{F_{yc}}}$	10,	1.50,	0.2	0.250,	1.20,	1.20,
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					

*Nota:* ASCE 41-13. Fuente: American Society of Civil Engineers (2014).

**Figura 57**

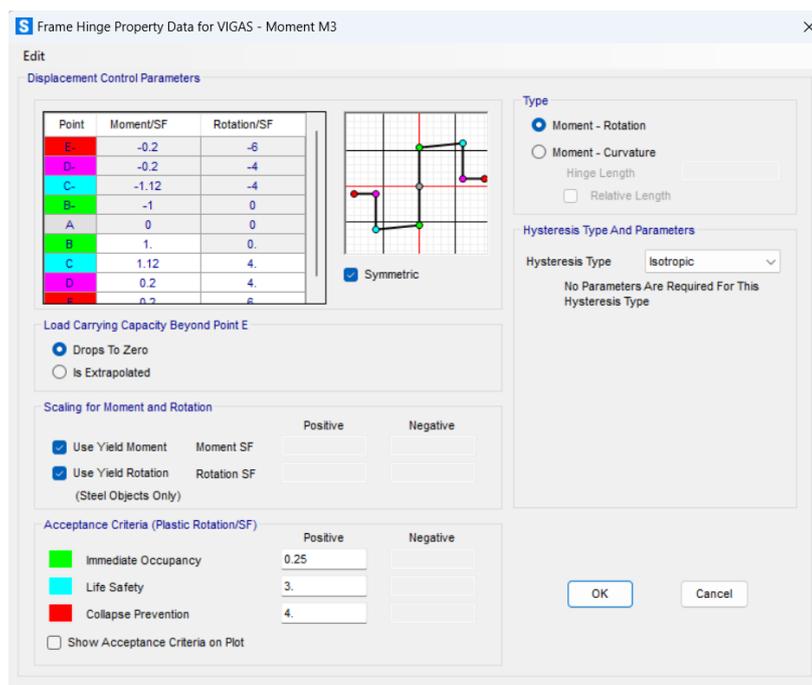
*Banco de tablas del ASCE 41-13 incorporados en el SAP2000*



En el marco de la presente investigación, se toma en cuenta que los montantes operan bajo condiciones de flexo compresión, lo cual implica la asignación de parámetros para la generación de articulaciones plásticas por carga axial y momentos (P-M2-M3). En contraste, para las vigas, se les asignan parámetros específicos para la generación de rotulas por flexión (M3). Por otro lado, se considera que los flejes están propensos a fallas por fuerza axial (P), ya que su comportamiento se limita a la tensión y no a la compresión. Esta característica particular de los flejes, como en el caso de los denominados "Cruces de San Andrés", se define mediante la asignación de límites de tensión/compresión que el software puede aplicar a los elementos correspondientes. Este enfoque detallado permite una modelización precisa y específica de cada tipo de componente estructural, contribuyendo a una evaluación exhaustiva de la respuesta sísmica y a una toma de decisiones fundamentada en los resultados obtenidos.

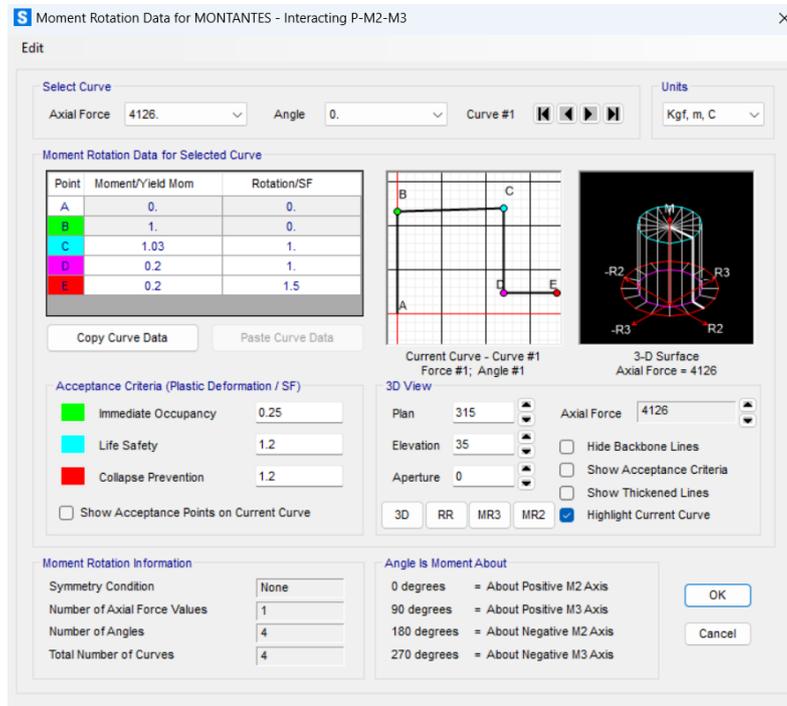
**Figura 58**

*Asignación de propiedades a la rótula de las vigas en SAP2000*



**Figura 59**

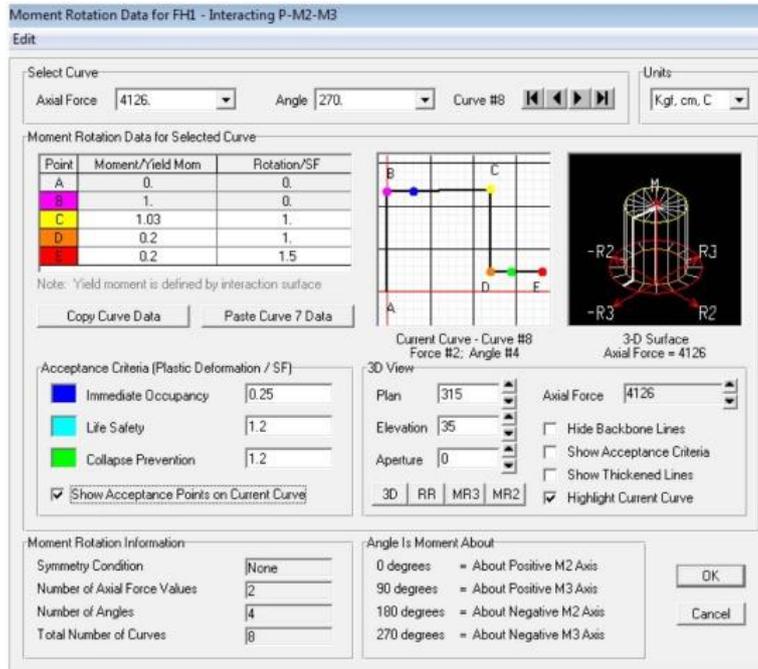
*Asignación de propiedades a la rótula de los montantes en SAP2000*



Los parámetros incorporados en el software fueron derivados de la investigación llevada a cabo por Hossein Mirzaaghabek y Hamid Reza Vosoughifar en el año 2016. Estos investigadores realizaron un estudio similar al presente, titulado "Comparación Entre Calidad Y Cantidad Del Índice De Daño Sísmico Para Sistemas LSF". En su investigación, llevaron a cabo un análisis estático no lineal mediante la utilización del software SAP2000, enfocado en estructuras de Light Steel Framing (LSF). Como parte integral de su metodología, llevaron a cabo ensayos específicos en cada elemento estructural, proporcionando datos valiosos que se han empleado en la definición de parámetros para la presente investigación. Esta compartición de conocimientos no solo valida y fortalece la metodología utilizada, sino que también enriquece la base de datos utilizada en el análisis de la capacidad sísmica de sistemas de construcción con estructuras de acero liviano.

**Figura 60**

*Propiedades a la rótula de los montantes P-M2-M3 en SAP2000 según Mirzaaghabeik*



*Nota:* Mirzaaghabeik y Vosoughifar (2016).

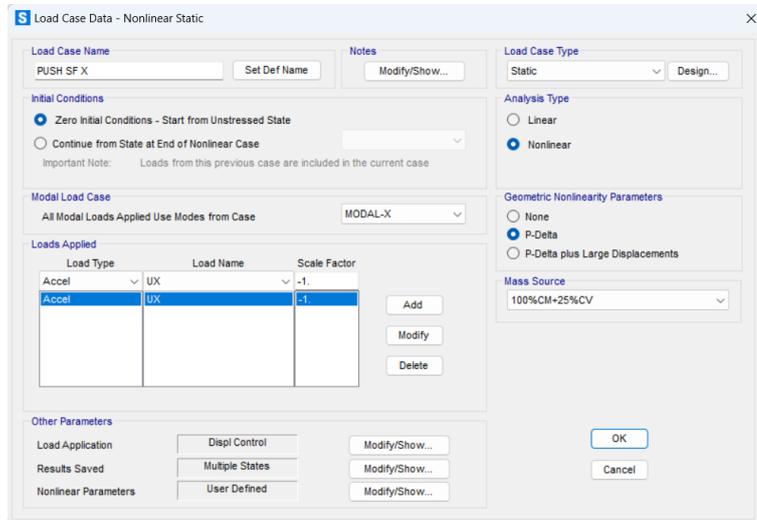
### 4.7.3 Creación de casos de carga no lineal

Luego de definir los tipos de carga, se procedió a crear los casos de carga no lineal denominados PUSH X y PUSH Y, Estos escenarios fueron diseñados con un perfil de carga horizontal directamente proporcional al modo fundamental en la dirección específica considerada. En esta configuración, la aplicación de la carga se concibió como un control de desplazamiento, vigilando cuidadosamente el movimiento de la estructura en un punto predefinido hasta alcanzar un 4% de su altura total antes de llegar al colapso.

Este enfoque permitió una evaluación precisa y detallada del comportamiento estructural, capturando la respuesta ante condiciones extremas y proporcionando información para generación de la curva de capacidad el punto de desempeño estructural de las edificaciones.

**Figura 61**

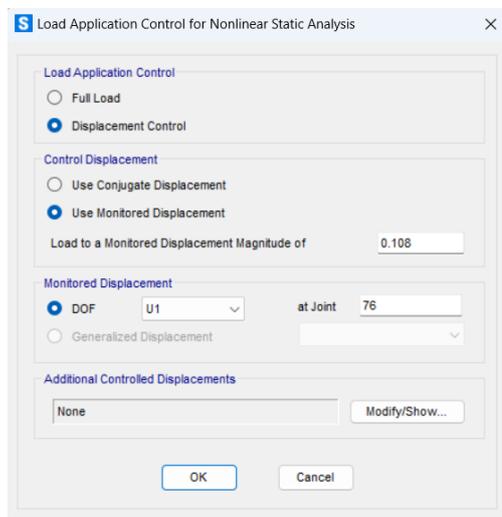
*Creación del caso de carga horizontal PUSH SF X en el software SAP2000*



Siguiendo la explicación anterior, se opta por elegir un punto específico para supervisar el desplazamiento máximo justo antes de que la estructura alcance su colapso. Con este propósito, se selecciona cuidadosamente, en cada instancia, el nodo ubicado en la esquina del nivel con la mayor altura en la estructura, debido a que en la losa se crea una condición de diafragma rígido debido a la colocación de los paneles OSB.

**Figura 62**

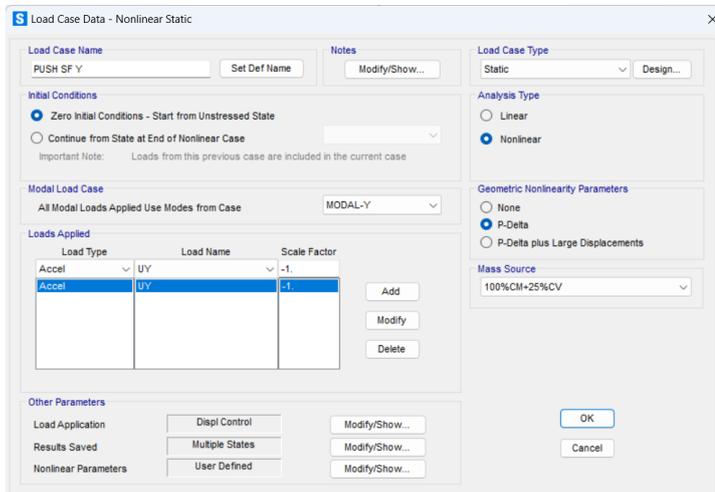
*Control de desplazamiento en la dirección X en SAP2000*



Al igual que en la dirección X, se procede a crear el caso de carga no lineal en la dirección Y, en ambos casos, se incorpora el efecto P-delta para tener en cuenta la influencia en el desplazamiento de los montantes. Esta inclusión es esencial para una modelización más precisa, ya que toma en consideración la interacción entre las cargas verticales y los desplazamientos laterales, ofreciendo así una representación más realista de la respuesta estructural ante cargas verticales.

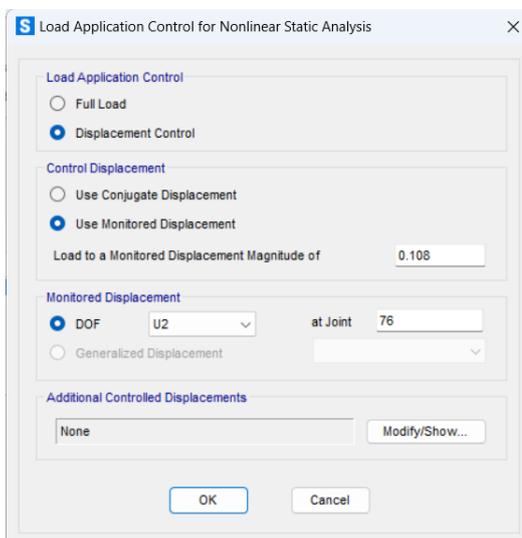
**Figura 63**

*Creación del caso de carga horizontal PUSH SF Y en el software SAP2000*



**Figura 64**

*Control de desplazamiento en la dirección Y en SAP2000*



#### **4.8 Análisis estático no lineal de las viviendas en estudio**

Para resolver problemas de ingeniería estructural más complicados y realistas, son necesarias técnicas de análisis no lineal, ya que permiten conocer mejor cómo se comportan las estructuras en distintos escenarios de carga y deformación. Esto es esencial para el diseño seguro y eficaz de edificios en diversas aplicaciones.

Para abordar de manera integral esta investigación, resulta imperativo analizar en profundidad la respuesta sísmica que exhibirán una variedad de edificios. Para alcanzar los objetivos propuestos, la técnica basada en la evaluación de los desplazamientos parece ser la opción más adecuada y necesaria en esta situación. Dos técnicas importantes destacan entre las muchas disponibles: el análisis dinámico no lineal que utiliza la metodología tiempo-historia y el análisis estático no lineal, a veces denominado método pushover.

Estos recursos ofrecen una sólida base analítica para investigar y comprender el comportamiento estructural y la durabilidad de las estructuras durante los eventos sísmicos. Se adquiere una comprensión más completa y precisa de la susceptibilidad sísmica de las estructuras mediante el uso de un enfoque integral que incluye la evaluación estática y dinámica. Esto ayuda a mejorar las técnicas de diseño y mitigación de riesgos en el campo de la ingeniería estructural.

Se llevaron a cabo las simulaciones y modelados de estructuras, abordando tanto aquellas de un nivel como de dos niveles, situadas en la Zona 4 y con un tipo de suelo catalogado como muy rígido (S1). Esta elección de ubicación y características del suelo es crucial para comprender y evaluar el comportamiento estructural bajo condiciones específicas de amenaza sísmica.

#### **4.8.1 Modelo matemático**

Para realizar el análisis y diseño estructural se realizó un modelo matemático teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

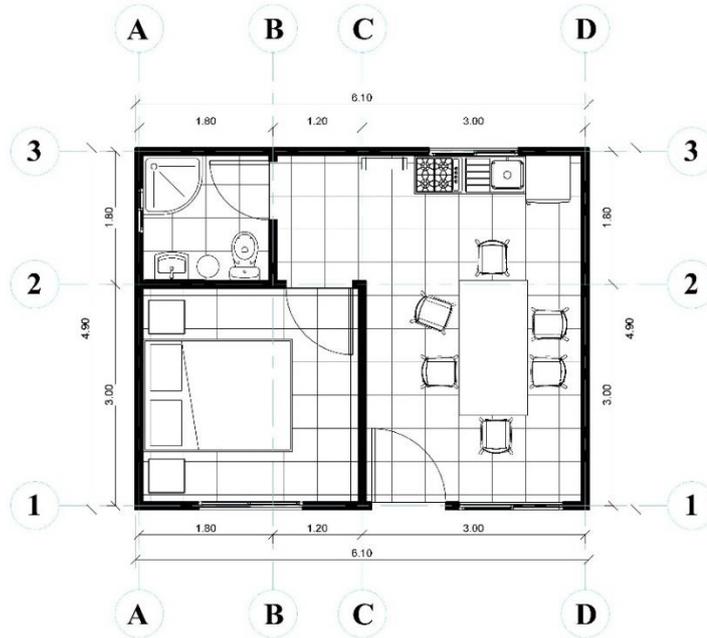
- Se modeló la estructura en 3D, en el software de análisis SAP2000, restringiendo la base con apoyo fijo y apoyo empotrado en los casos que requiera ya que, al considerarse anclajes en el proceso constructivo, estos presentan la condición de empotramiento en su base.
- Se consideró un diafragma rígido por cada nivel, debido a que los paneles OSB de los techos con entrepiso seco, crean un diafragma rígido horizontal.
- Las montantes y soleras fueron modelados como elementos Frame.
- Se modelaron los strapping y blocking que arriostran por la mitad todos los montantes como elementos Frame.
- Se modelaron los flejes o también llamados Cruces de San Andrés en ambas direcciones, con la característica de que estos elementos solo trabajan a tensión, es por tal motivo que se asignó límites de tensión y compresión para un correcto cálculo.
- Tanto los strapping como las cruces de San Andrés se consideraron como elementos articulados, sin transmisión de momento en sus extremos.
- A las vigas se le consideró la transmisión de cargas horizontales más de momentos como se aprecia en la Figura 24.
- Las secciones de los montantes van de acuerdo al proceso constructivo, es decir que en las esquinas y otras ubicaciones puntuales se colocó la sección correspondiente.

#### 4.8.2 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF1

La Vivienda Tipo SF1 se caracteriza por su diseño eficiente y funcional, con un área total de 30m<sup>2</sup>. Los muros portantes, que proporcionan la estructura principal están en dirección Y, definen la distribución interna de los espacios. En cuanto a la altura de entrepisos, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

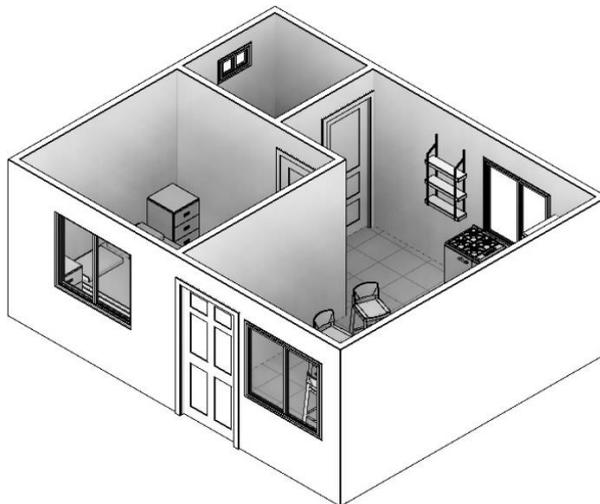
**Figura 65**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF1*



**Figura 66**

*Vista Isométrica de la Vivienda SF1*



## Diseño sismorresistente

Se realizó la modelización detallada de la estructura mediante la aplicación de un modelo matemático tridimensional utilizando el programa SAP2000. Con el propósito principal de garantizar la resistencia sísmica en el diseño, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 21**

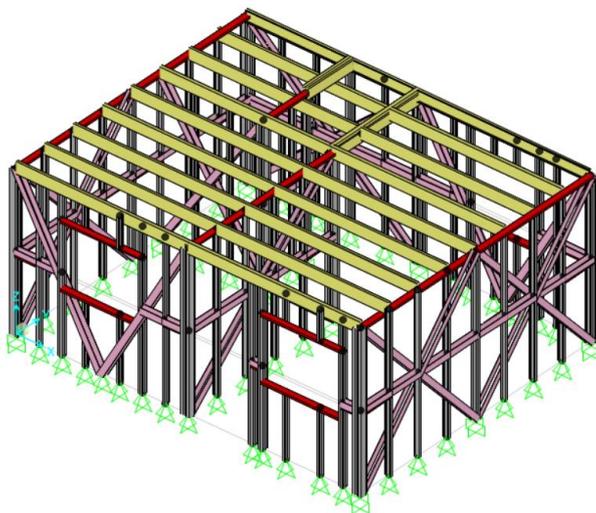
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la vivienda SF1 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.38892 seg	0.384151 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		7725.1	

El periodo fundamental de vibración y el peso sísmico se obtuvo con ayuda del software de modelado.

**Figura 67**

*Estructuración de la Vivienda SF1 en el software Sap2000*

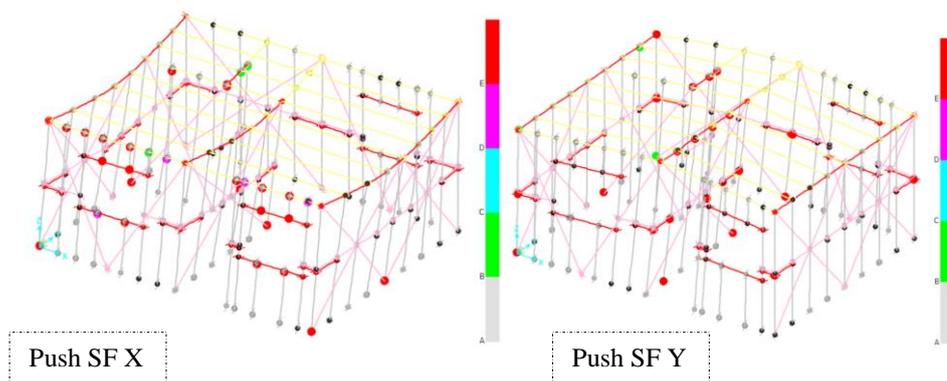


Después de completar el modelado de la estructura y de verificar su diseño mediante el método LRFD (Load and Resistance Factor Design), se avanzó hacia la fase de asignación de propiedades de rotulas plásticas a cada elemento estructural. Esta etapa es esencial para incorporar la capacidad de deformación plástica en la estructura, permitiendo que ciertos elementos puedan experimentar desplazamientos más allá de su límite elástico sin comprometer la integridad global de la edificación.

La asignación de propiedades de rotulas plásticas añade un nivel de sofisticación al análisis estructural, ya que reconoce y modela la capacidad de absorción de energía durante eventos sísmicos. Estas rotulas plásticas son cruciales para capturar la respuesta realista de la estructura frente a cargas extremas, y contribuyen a mejorar la capacidad de resistencia y ductilidad del sistema estructural en su conjunto.

**Figura 68**

*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF1*

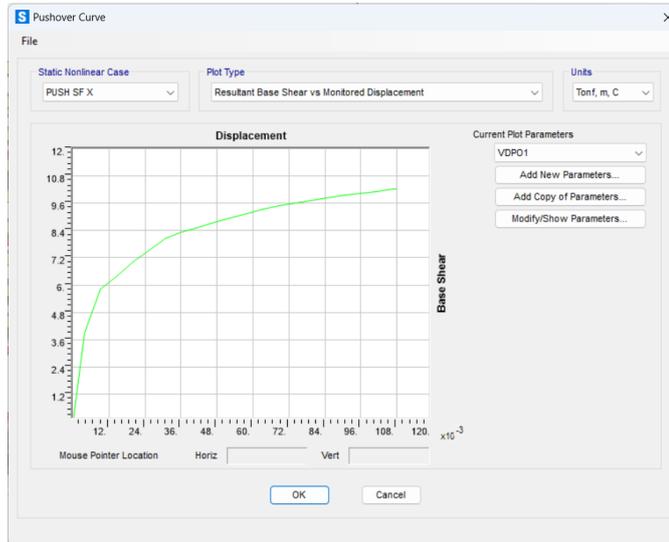


Tras la ejecución del análisis pushover de la estructura, el programa proporciona un valioso conjunto de resultados (ver *Apéndice B*), destacando principalmente el gráfico de la curva de capacidad de la estructura hasta alcanzar su colapso. Este gráfico, fundamental para la evaluación de la capacidad sísmica, ofrece una

representación visual de cómo la resistencia de la estructura evoluciona con respecto a los desplazamientos laterales aplicados.

**Figura 69**

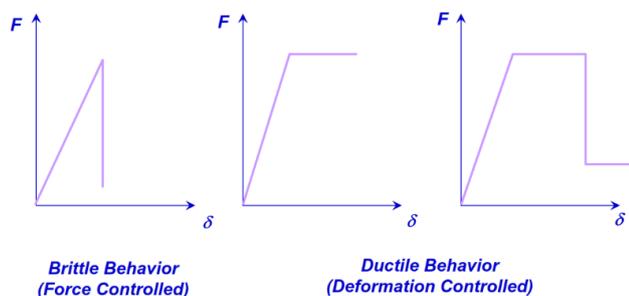
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF1*



La observación de que el gráfico de la curva de capacidad de la estructura incursiona en su rango inelástico hasta llegar al colapso confirma y refuerza la conclusión de un comportamiento dúctil de la estructura. Este comportamiento es crucial, ya que implica la capacidad de la edificación para experimentar deformaciones plásticas y redistribuir eficientemente las fuerzas internas durante eventos sísmicos.

**Figura 70**

*Componentes y criterios de aceptación de fallas frágiles y fallas dúctiles*

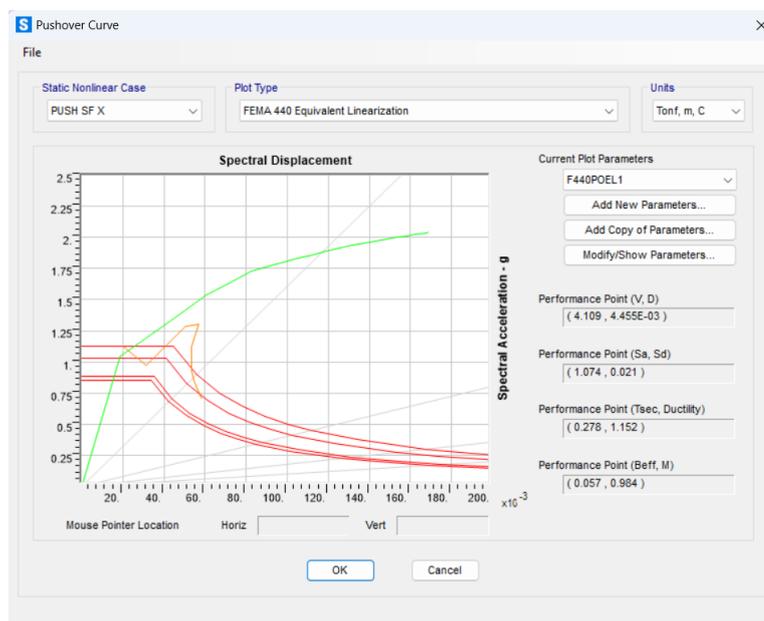


*Nota:* FEMA 273. Fuente: Federal Emergency Management Agency (2003).

Adicionalmente, la herramienta de análisis brinda la posibilidad de visualizar los espectros de capacidad según el método establecido por ATC 40 o del FEMA 440. Estos espectros ofrecen una representación gráfica de la respuesta de la estructura a diferentes niveles de excitación sísmica, permitiendo una evaluación detallada de su rendimiento bajo diversas condiciones.

**Figura 71**

*Gráfico del espectro de capacidad FEMA440 en la dirección X-X de la Vivienda SF1*



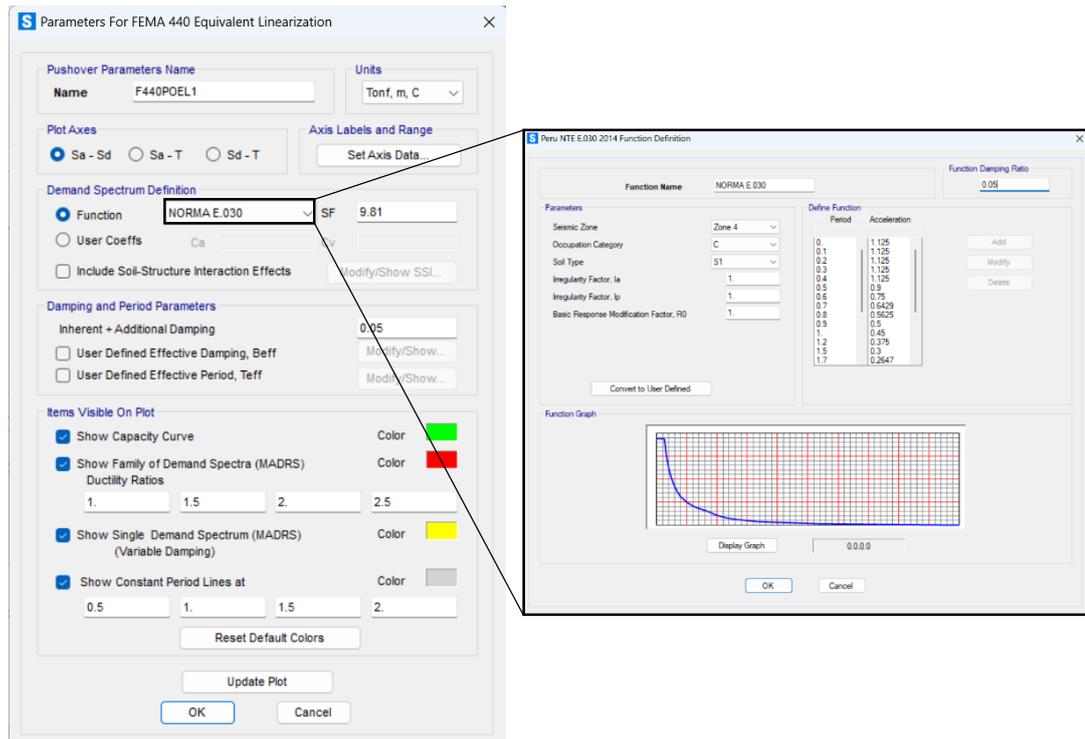
En el cálculo del punto de desempeño de la estructura en la curva de capacidad, se adoptó como referencia teórica el método propuesto por el FEMA440. El software empleado para realizar estos cálculos se fundamenta en esta normativa estadounidense, siendo necesario seleccionar el espectro de demanda elástica estipulado por la misma para llevar a cabo el proceso de análisis. Este enfoque, respaldado por las directrices del FEMA440, proporciona un marco sólido para evaluar el comportamiento sísmico de la estructura en cuestión.

La selección del espectro de demanda elástica conforme a la normativa nacional E.030 no solo es un requisito técnico del software, sino que también asegura una

evaluación precisa y consistente de la capacidad de la estructura frente a cargas sísmicas, siguiendo estándares reconocidos internacionalmente y contribuyendo así a la robustez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

**Figura 72**

*Parámetros para el método del espectro de capacidad del FEMA440 en el SAP2000*



#### 4.8.2.1 Cálculo del coeficiente de reducción “R” eje X-X

Después de haber obtenido las curvas de capacidad de la estructura en ambas direcciones, el siguiente paso crucial consiste en llevar a cabo la determinación del coeficiente de reducción sísmica. Este proceso implica el análisis detallado de los datos recopilados, evaluando la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas y, posteriormente, calculando un factor de reducción que refleje de manera precisa la capacidad real de la edificación ante eventos sísmicos.

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

Como se expuso en el marco teórico el coeficiente de reducción R, se calcula como el producto del factor de ductilidad y el factor de sobre resistencia estructural.

El proceso se inicia con el cálculo del cortante de diseño, utilizando los parámetros específicos del diseño sismorresistente, el cortante de diseño es esencial para dimensionar adecuadamente los elementos estructurales y garantizar la capacidad de la edificación para resistir las fuerzas sísmicas previstas.

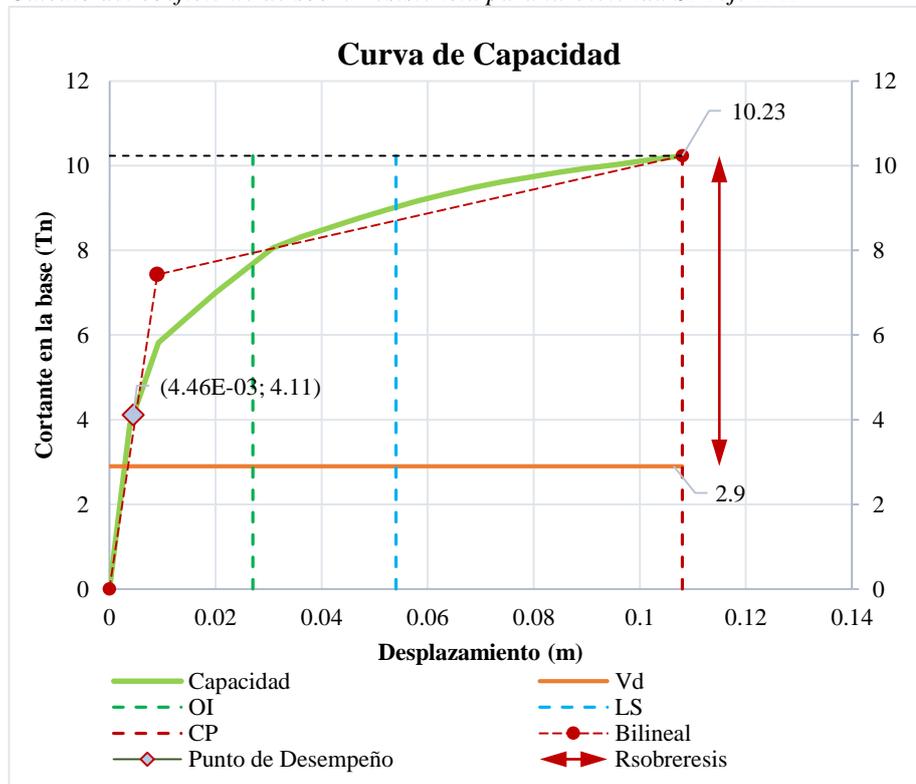
**Tabla 22**

*Cálculo del cortante de diseño para la vivienda SF1 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	7.7251	2.90
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	7.7251	2.90

**Figura 73**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF1 eje X-X*



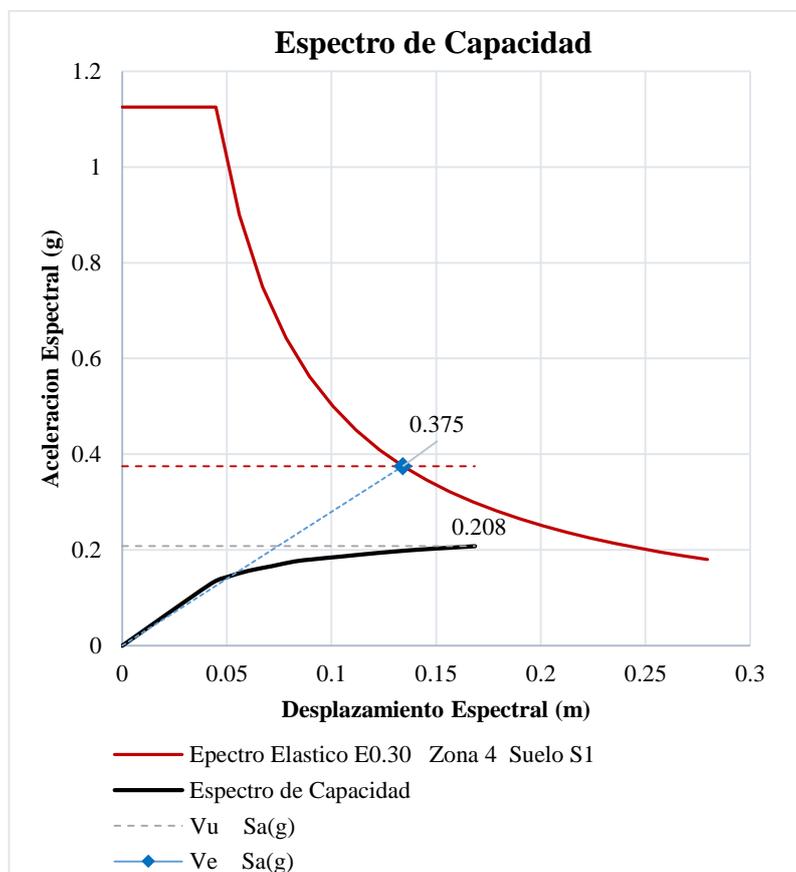
### Fuerza cortante de Elástica ( $V_e$ )

En esta etapa, se avanza en el proceso calculando el cortante elástico  $V_e$ , el cual representa la resistencia al corte que la estructura exhibiría al adoptar un comportamiento netamente elástico. Para obtener este valor, se lleva a cabo la traza de una proyección del comportamiento elástico de la estructura mediante una línea que interseca con el espectro de demanda elástico (ver *Apéndice A*).

Esta proyección, que es esencial para comprender la capacidad elástica de la estructura frente a las fuerzas sísmicas, se materializa en el punto de intersección entre la línea proyectada y el espectro de demanda elástico de la norma. Este punto es entonces considerado como el cortante elástico  $V_e$ .

**Figura 74**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF1eje X-X*



Con todos los datos necesarios ahora disponibles, se procede al cálculo del coeficiente de reducción, dividiendo este proceso en dos aspectos fundamentales: el coeficiente de reducción por ductilidad y el coeficiente de reducción por sobrerresistencia.

El coeficiente de reducción por ductilidad se determina al considerar la capacidad de la estructura para deformarse plásticamente y absorber energía durante eventos sísmicos. Este factor refleja la capacidad de la edificación para soportar deformaciones considerables sin perder su integridad estructural. El cálculo se realiza teniendo en cuenta la ductilidad inherente de los materiales y la capacidad de los elementos estructurales para deformarse antes de llegar a un estado de colapso.

Por otro lado, el coeficiente de reducción por sobrerresistencia se relaciona con la capacidad adicional de la estructura para soportar cargas sísmicas superiores a las previstas en condiciones normales de diseño. Este coeficiente tiene en cuenta la capacidad de la edificación para resistir eventos sísmicos intensos sin experimentar daños significativos.

**Figura 75**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1eje X-X*

<b>R DUCTILIDAD</b>	<b>R SOBRE RESISTENCIA</b>	<b>COEFICIENTE DE REDUCCION R</b>
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.375	Vu= 10.231	
Vu= 0.208	Vd= 2.900	<b>R= 6.360</b>
<b>R<sub>d</sub>= 1.803</b>	<b>Ω= 3.528</b>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.803 y el factor de sobre resistencia es de 3.528, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.36**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de **Operacional**.

Asimismo, se llevó a cabo la representación gráfica de las curvas de capacidad y los espectros de capacidad en la dirección Y-Y, como parte integral del proceso para la obtención del coeficiente de reducción. Esta visualización gráfica provee una perspectiva detallada de cómo la estructura responde a cargas sísmicas a lo largo de esta dirección específica.

Las curvas de capacidad, que describen la capacidad de la estructura para resistir cargas en función de la deformación, fueron trazadas para la dirección Y-Y.

### Figura 76

Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF1

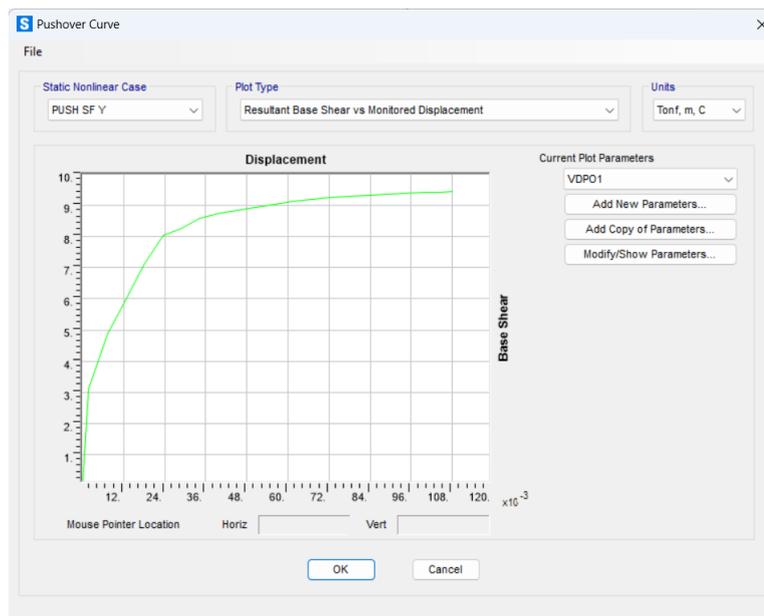
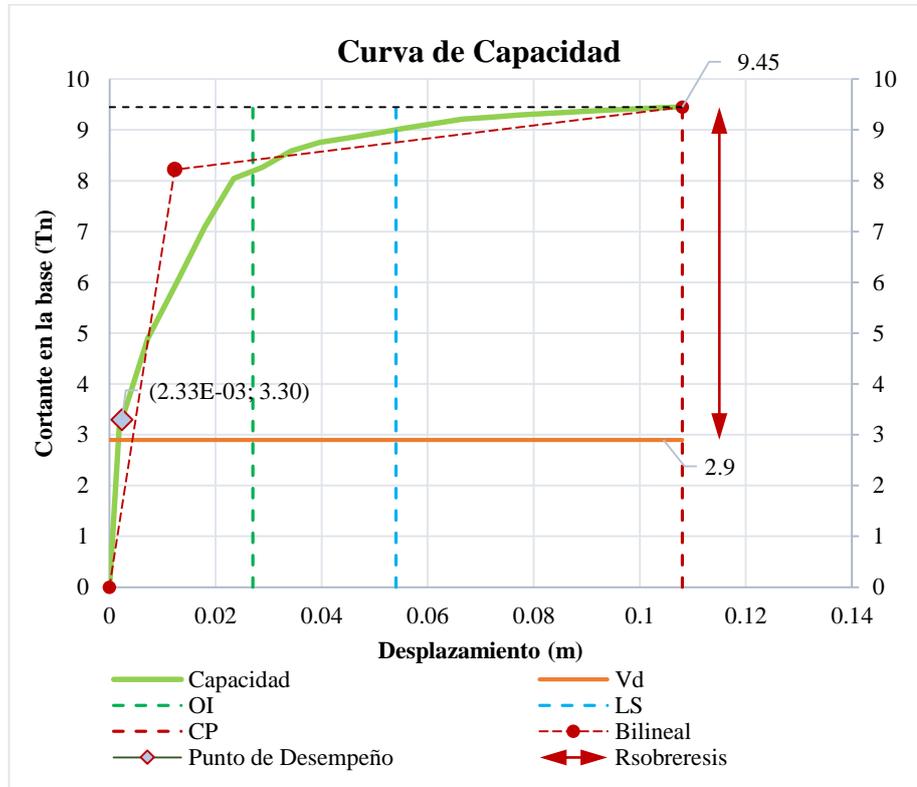


Figura 77

Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF1eje Y-Y



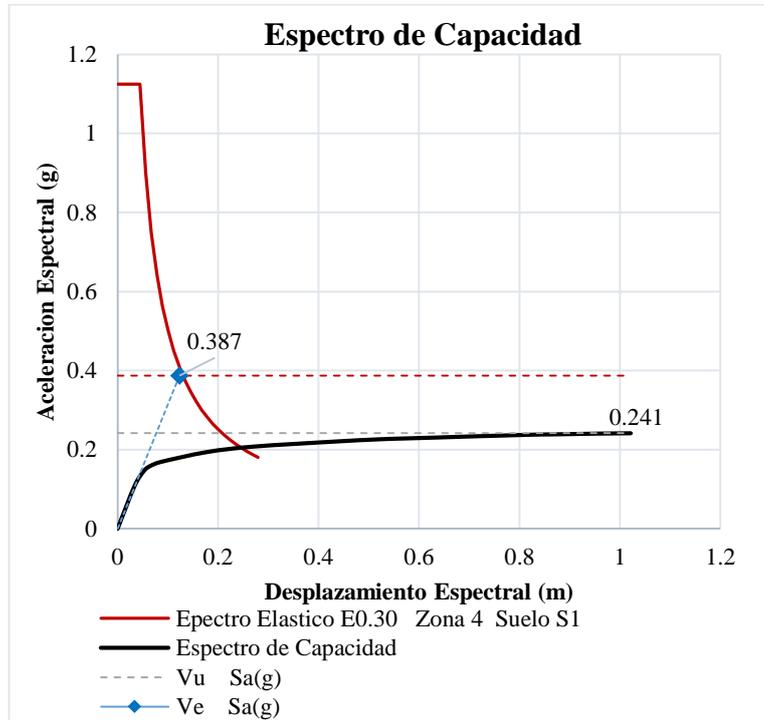
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

La designación de "Operacional" implica que, a pesar de la ocurrencia del sismo, la estructura tiene la capacidad de continuar sus operaciones normales. Este nivel de desempeño se logra mediante el diseño y la implementación de medidas sismorresistentes que permiten a la edificación resistir las fuerzas sísmicas esperadas para un evento raro en la región específica (Zona 4) y en un tipo de suelo (S1).

**Figura 78**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF1eje Y-Y*



**Figura 79**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = 0.387$	$V_u = 9.452$	$R = 5.226$
$V_u = 0.241$	$V_d = 2.900$	
$R_d = 1.604$	$\Omega = 3.259$	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

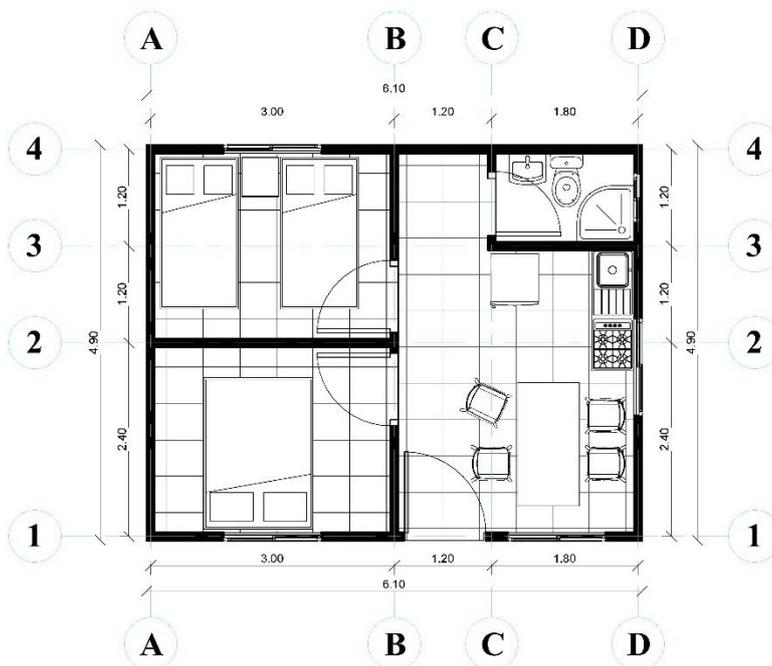
1. El factor de ductilidad es de 1.604 y el factor de sobre resistencia es de 3.259, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **5.226**.

### 4.8.3 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF2

La Vivienda Tipo SF2 cuenta con un área total de 28m<sup>2</sup>. Los muros portantes están en dirección Y, A pesar de su tamaño compacto, la Vivienda Tipo SF2 busca maximizar la eficiencia del espacio disponible. En cuanto a la altura de entresijos, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

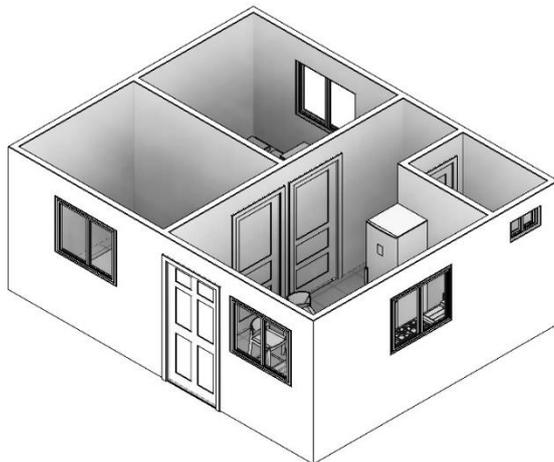
**Figura 80**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF2*



**Figura 81**

*Vista Isométrica de la Vivienda SF2*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 23**

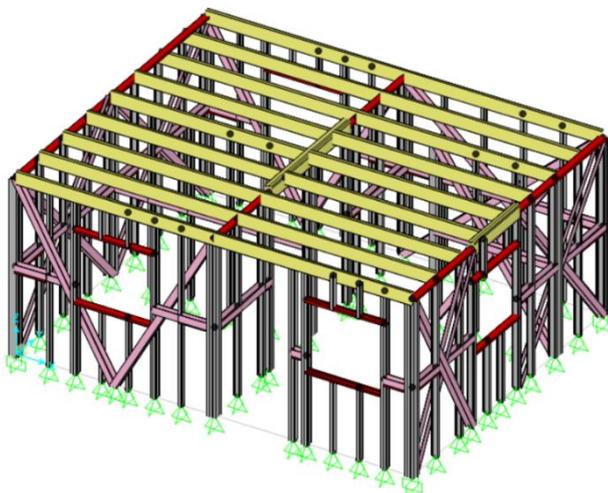
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF2*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.101454 seg	0.087743 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)			7924.28

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la vivienda SF2 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 82**

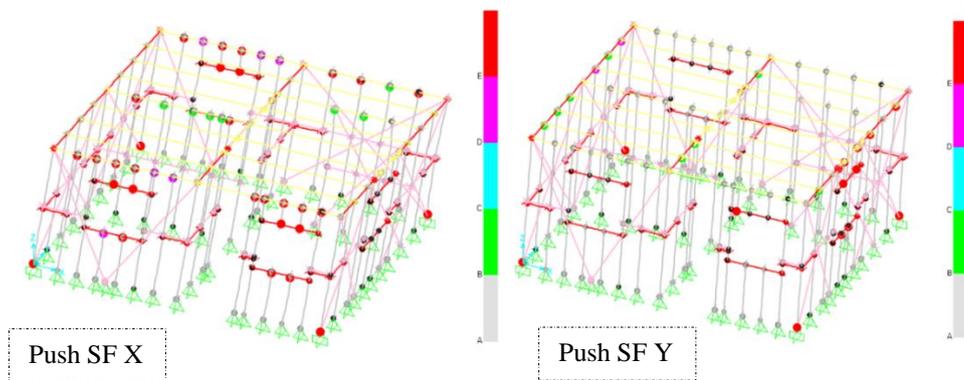
*Estructuración de la Vivienda SF2 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la vivienda SF2.

**Figura 83**

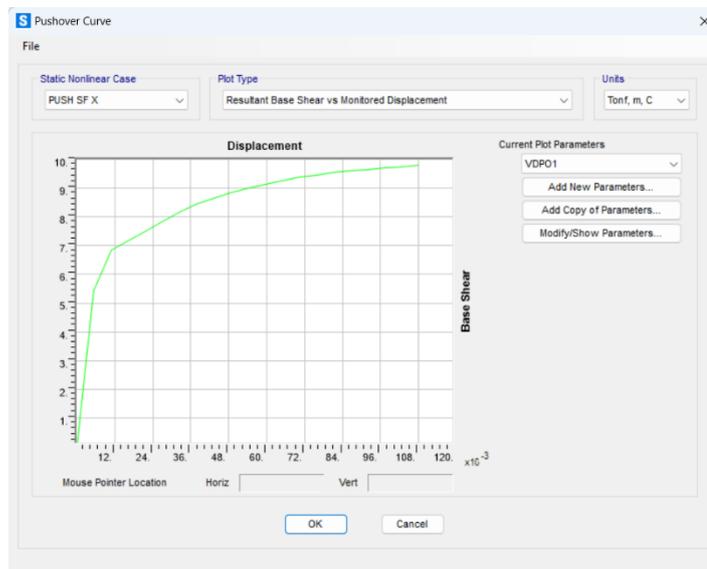
*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF2*



Con las curvas de capacidad y espectros de capacidad se procede a realizar el cálculo de los coeficientes de ductilidad y sobrerresistencia de la vivienda SF2.

**Figura 84**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF2*



## CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION “R”

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

**Tabla 24**

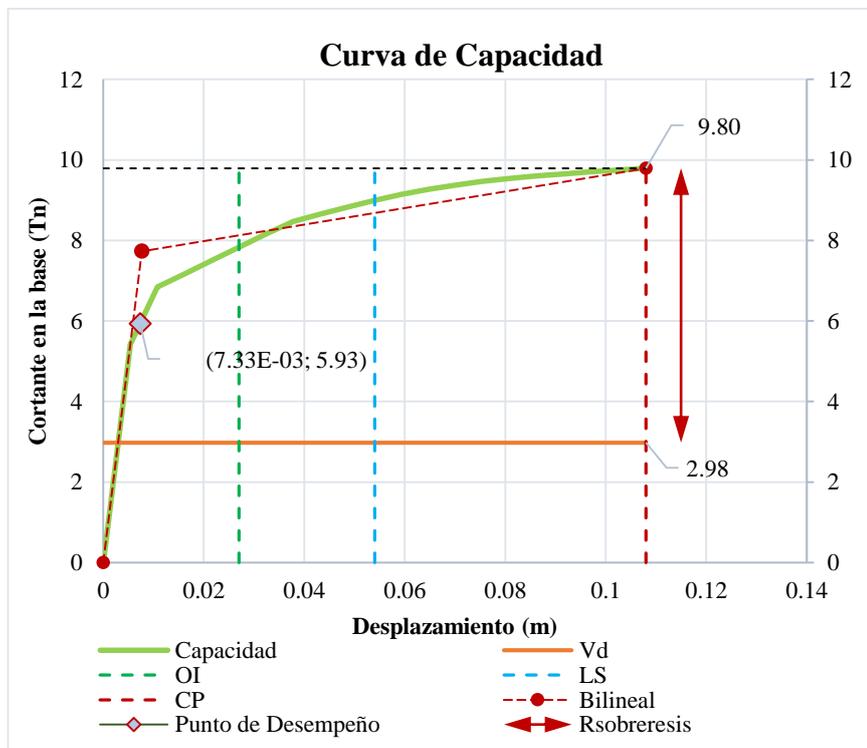
*Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF2 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	7.92428	2.98
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	7.92428	2.98

La relación entre la fuerza cortante máxima Vu y la fuerza cortante de diseño Vd, se define como el factor de sobrerresistencia de la vivienda SF2.

**Figura 85**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF1 eje X-X*

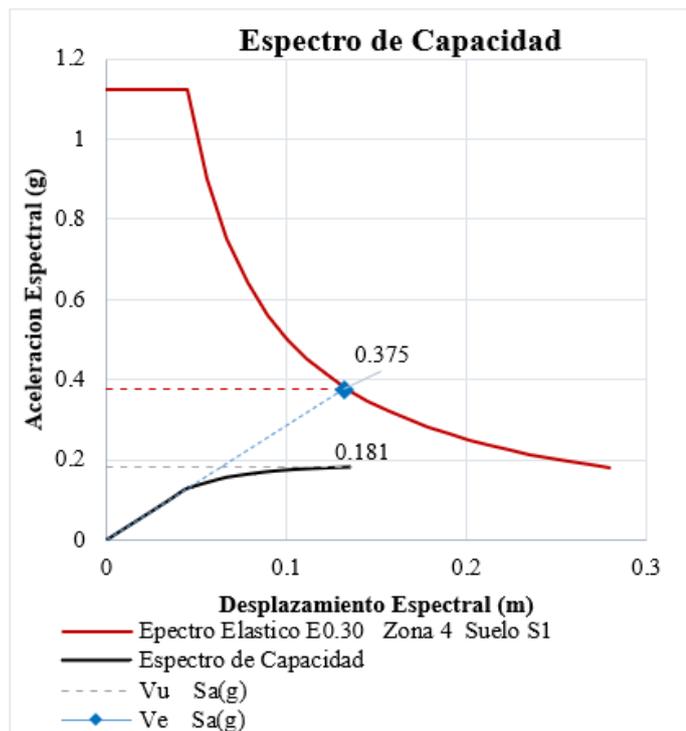


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF2. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 86**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF2 eje X-X*



**Figura 87**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF2 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$S_a(g)$	$T_n$	
$V_e = 0.375$	$V_u = 9.795$	$R = 6.80$
$V_u = 0.181$	$V_d = 2.980$	
$R_d = 2.068$	$\Omega = 3.287$	

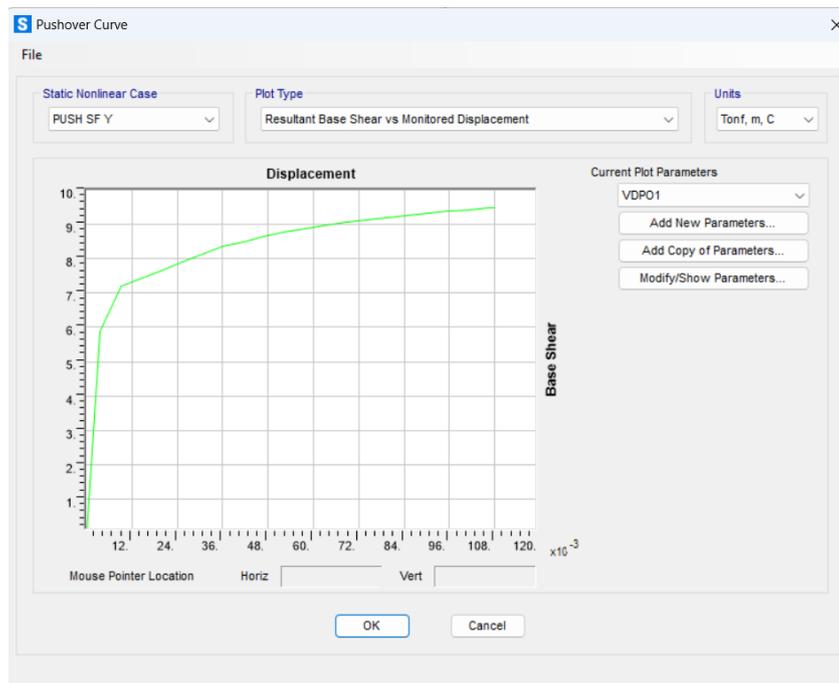
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.068 y el factor de sobre resistencia es de 3.287, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.80**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “**Operacional**”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 88**

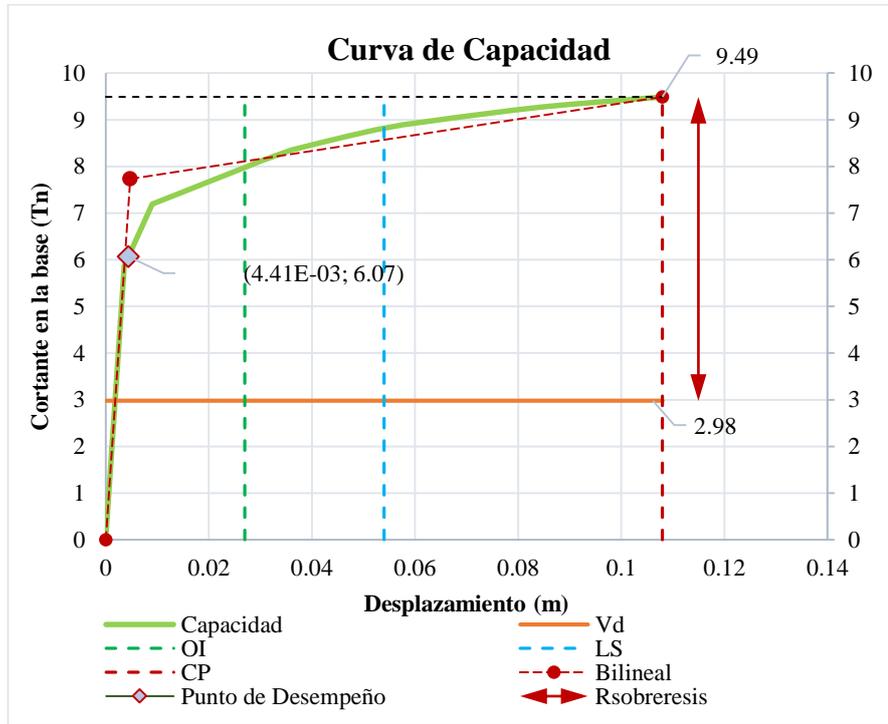
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF2*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF2.

**Figura 89**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF2 eje Y-Y*



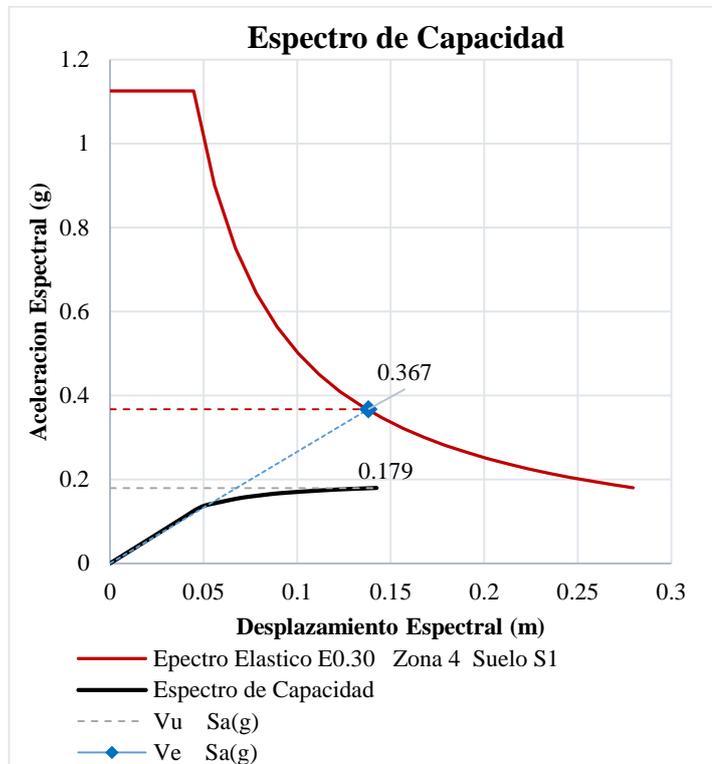
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 90**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF2 eje Y-Y*



**Figura 91**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF2 eje Y-Y*

<b>R DUCTILIDAD</b>	<b>R SOBRE RESISTENCIA</b>	<b>COEFICIENTE DE REDUCCION R</b>
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.367	Vu= 9.488	<b>R= 6.52</b>
Vu= 0.179	Vd= 2.980	
<b>R<sub>d</sub>= 2.047</b>	<b>Ω= 3.184</b>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.047 y el factor de sobre resistencia es de 3.184, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.52**.

#### 4.8.4 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF3

La Vivienda Tipo SF3 con un área total de 46m<sup>2</sup>. Los muros portantes, además de brindar estabilidad estructural, contribuyen a definir zonas específicas dentro de la vivienda, definen la distribución interna de los espacios. En cuanto a la altura, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

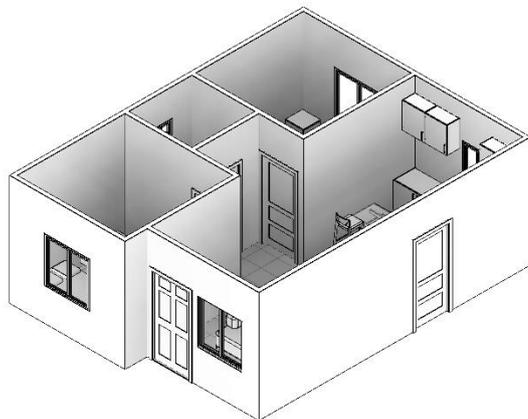
**Figura 92**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF3*



**Figura 93**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF3*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 25**

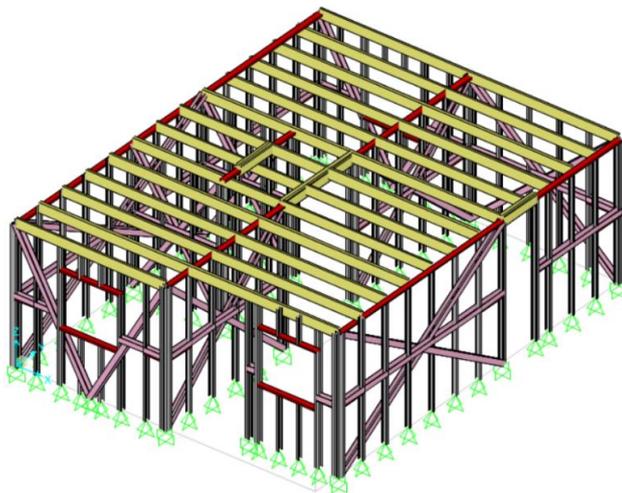
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF3*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.417822 seg	0.316315 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.39	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		10869.59	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF3 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 94**

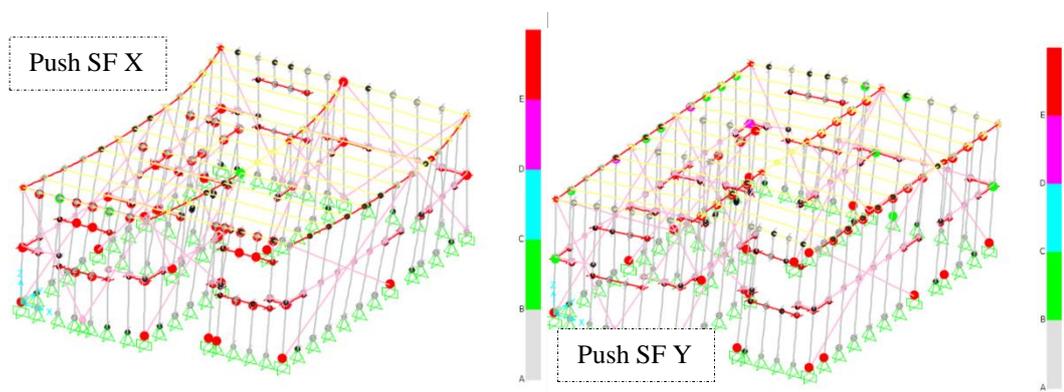
*Estructuración de la Vivienda SF3 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la vivienda SF3.

**Figura 95**

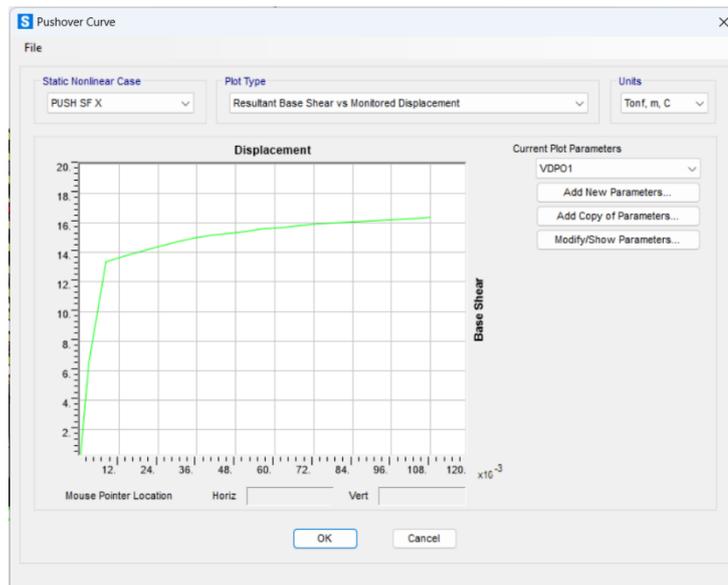
*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF3*



Con las curvas de capacidad y espectros de capacidad se procede a realizar el cálculo de los coeficientes de ductilidad y sobrerresistencia de la vivienda SF3.

**Figura 96**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF3*



## CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION "R"

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

**Tabla 26**

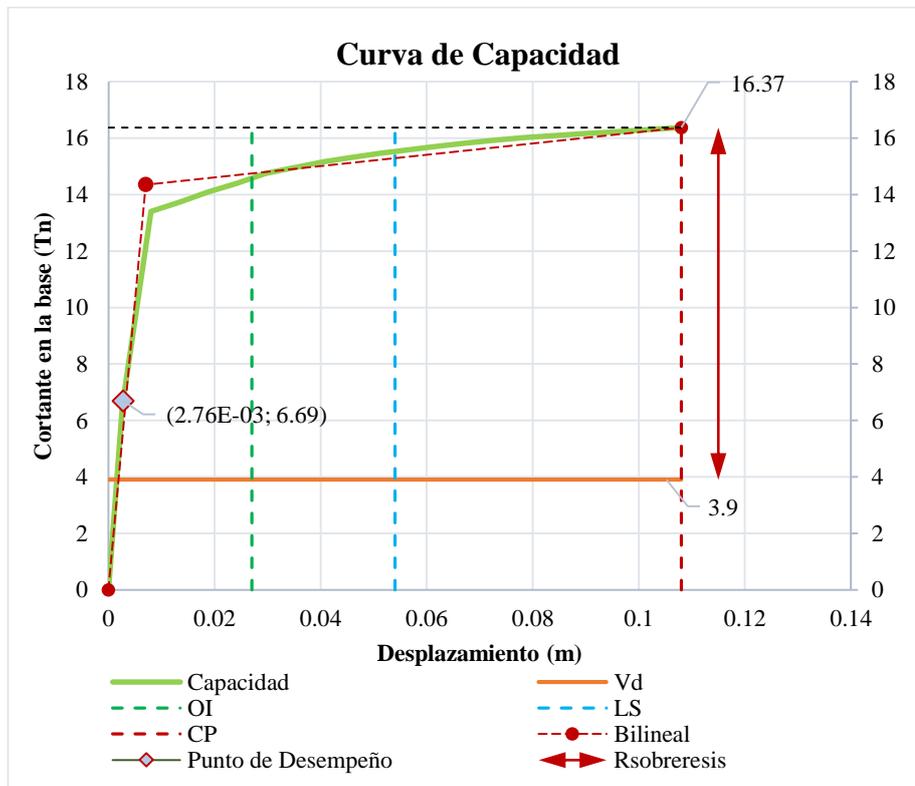
*Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF3 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.39	1.00	3.00	10.86959	3.90
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	10.86959	4.08

La relación entre la fuerza cortante máxima  $V_u$  y la fuerza cortante de diseño  $V_d$ , se define como el factor de sobrerresistencia de la vivienda SF3.

**Figura 97**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF3 eje X-X*

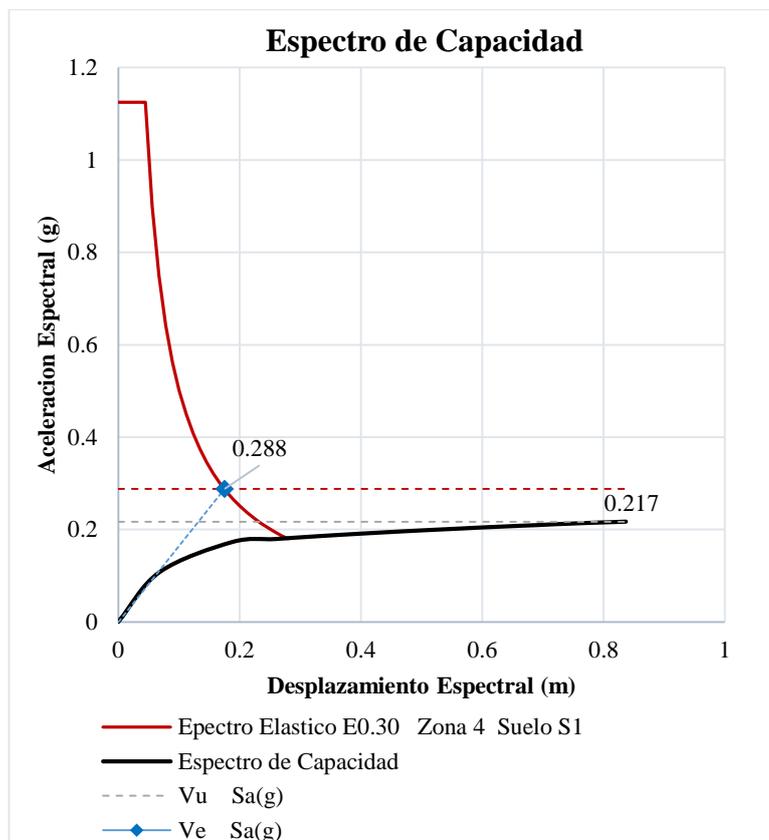


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF3. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 98**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF3 eje X-X*



**Figura 99**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF3 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.288	Vu= 16.374	<b>R= 5.57</b>
Vu= 0.217	Vd= 3.900	
<b>R<sub>d</sub> = 1.327</b>	<b>Ω = 4.198</b>	

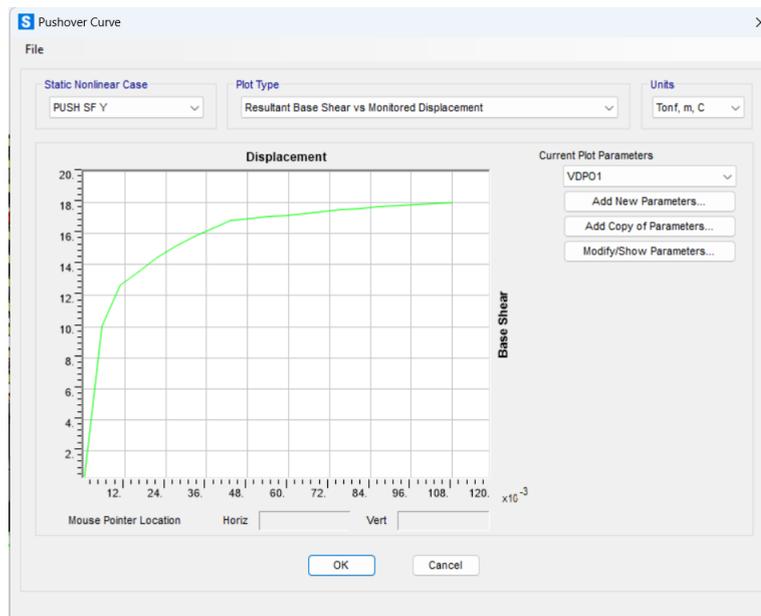
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.327 y el factor de sobre resistencia es de 4.198, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **5.57**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de **“Operacional”**.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 100**

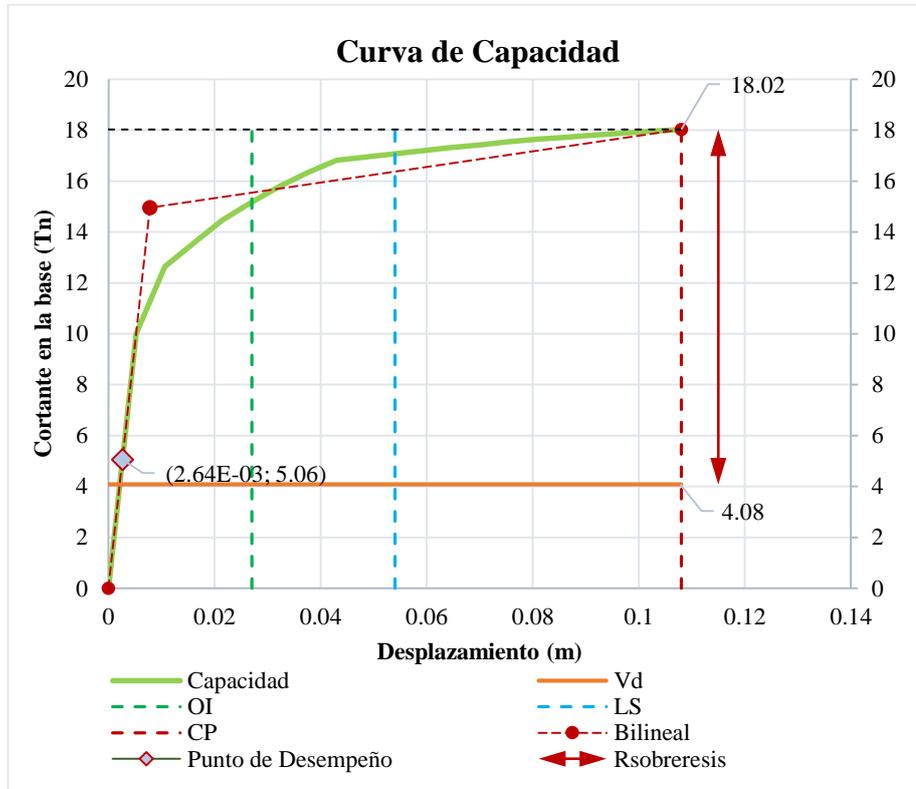
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF3*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF2.

**Figura 101**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF3 eje Y-Y*



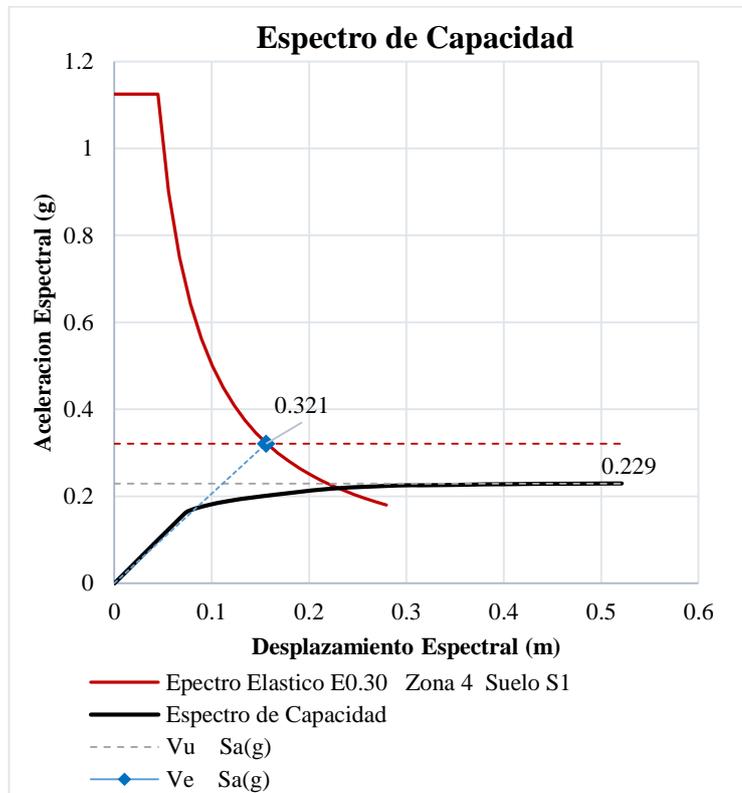
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 102**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF3 eje Y-Y*



**Figura 103**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF3 eje X-X*

<b>R DUCTILIDAD</b>	<b>R SOBRE RESISTENCIA</b>	<b>COEFICIENTE DE REDUCCION R</b>
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.321	Vu= 18.025	
Vu= 0.229	Vd= 4.080	<b>R= 6.19</b>
<b>R<sub>d</sub>= 1.400</b>	<b>Ω= 4.418</b>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

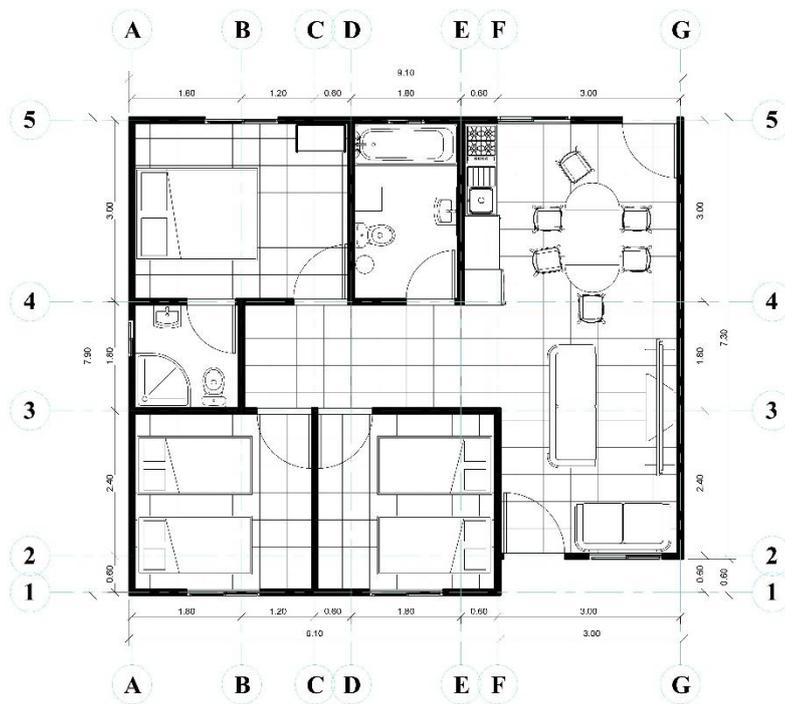
1. El factor de ductilidad es de 1.400 y el factor de sobre resistencia es de 4.418, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.19**.

#### 4.8.5 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF4

La Vivienda Tipo SF4 presenta una estructura que combina eficiencia y funcionalidad en un área total de 70m<sup>2</sup>. Los muros portantes, que desempeñan un papel crucial en la estabilidad de la construcción, están orientados en dirección Y. En cuanto a la altura de entresijos, presenta una altura típica de 2.70m.

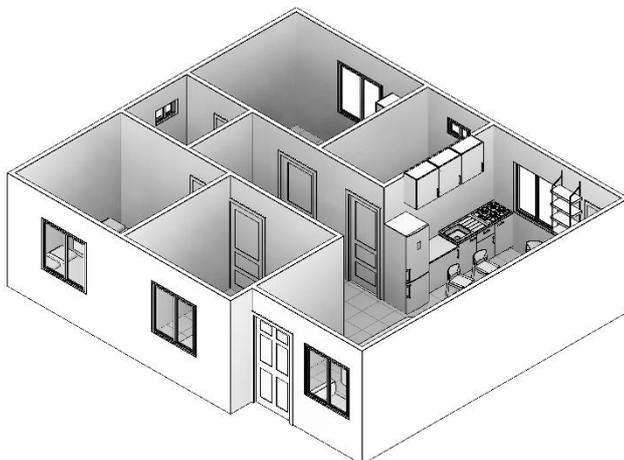
**Figura 104**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF4*



**Figura 105**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF4*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 27**

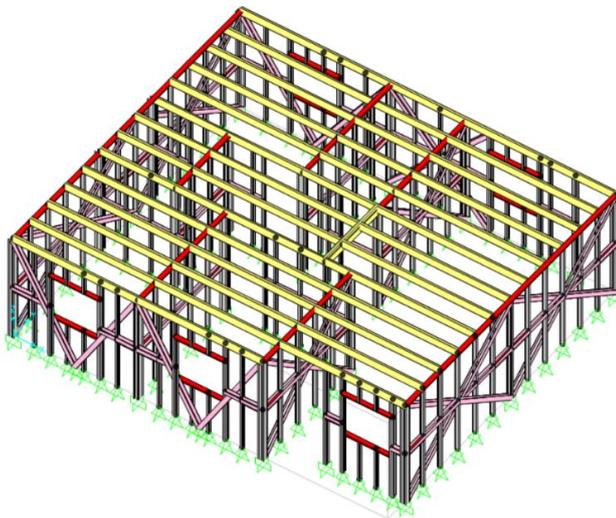
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF4 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.147823 seg	0.126426 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		16820.96	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF4 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 106**

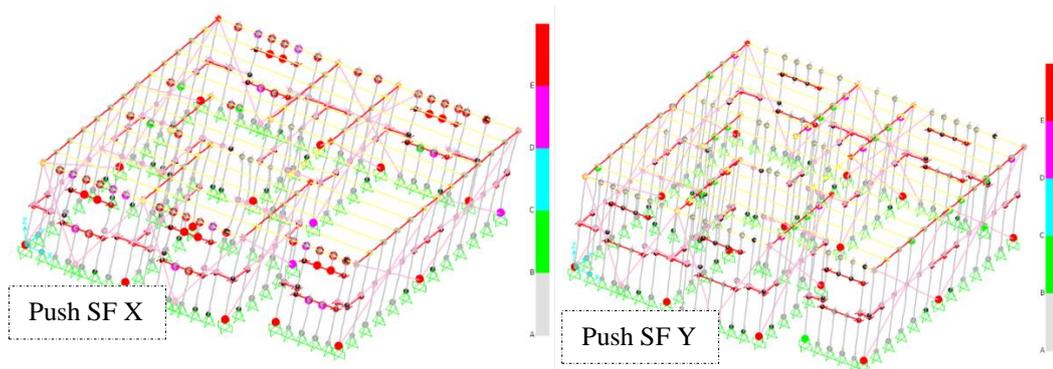
*Estructuración de la Vivienda SF4 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF4.

**Figura 107**

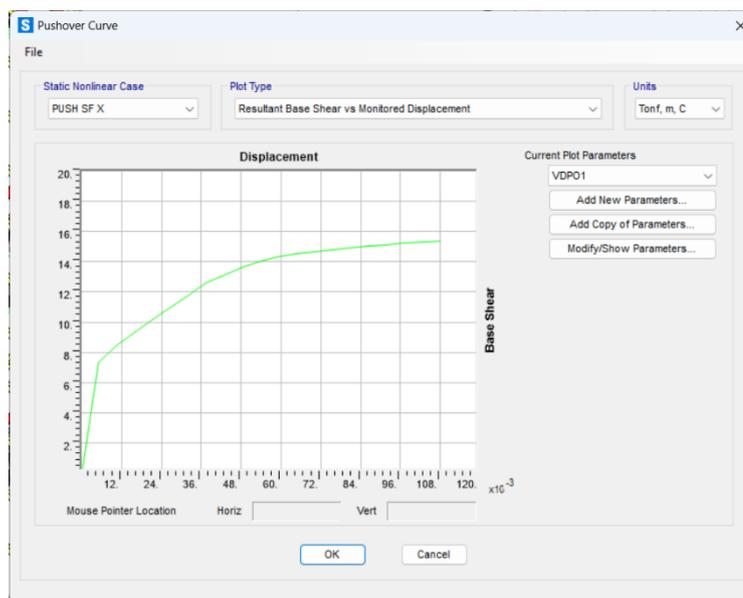
*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF4*



Con las curvas de capacidad y espectros de capacidad se procede a realizar el cálculo de los coeficientes de ductilidad y sobrerresistencia de la vivienda SF4.

**Figura 108**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF4*



## CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION "R"

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

Tabla 28

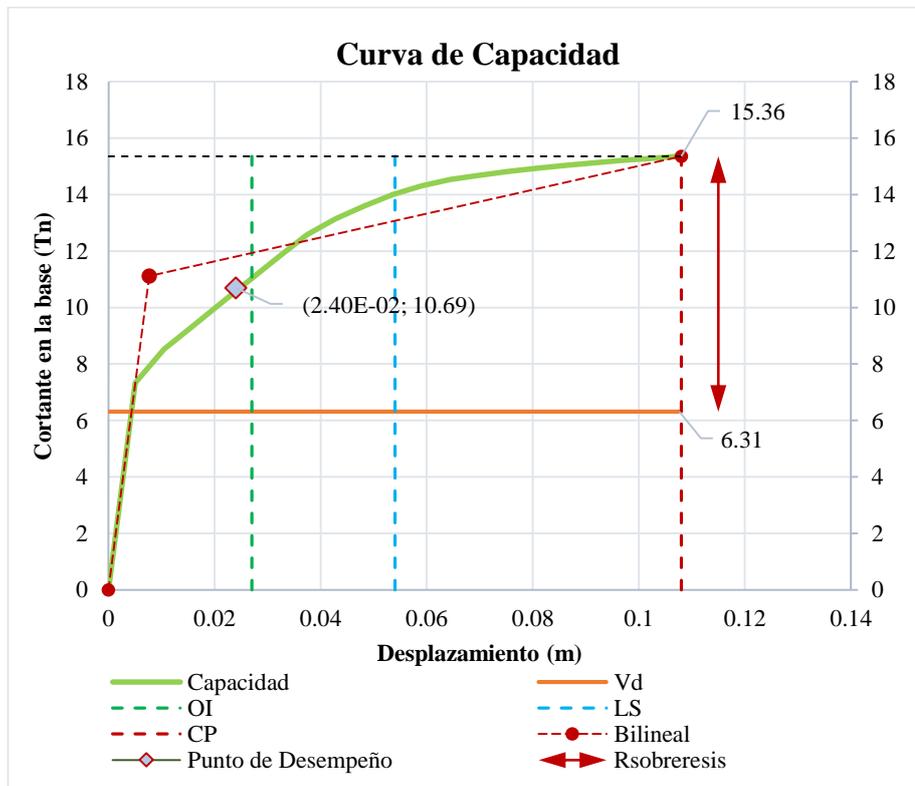
Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF4 eje X-X y Y-Y

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	16.821	6.31
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	16.821	6.31

La relación entre la fuerza cortante máxima Vu y la fuerza cortante de diseño Vd, se define como el factor de sobrerresistencia de la Vivienda SF4.

Figura 109

Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF4 eje X-X

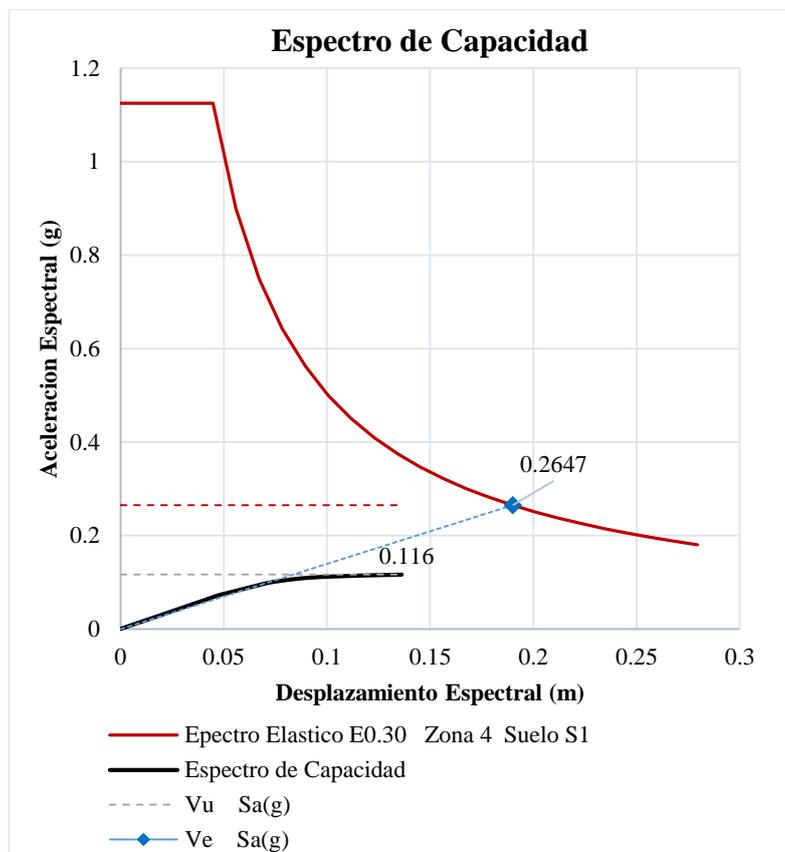


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF4. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 110**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF4 eje X-X*



**Figura 111**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF4 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = 0.265$	$V_u = 15.363$	$R = 5.53$
$V_u = 0.116$	$V_d = 6.310$	
$R_d = 2.272$	$\Omega = 2.435$	

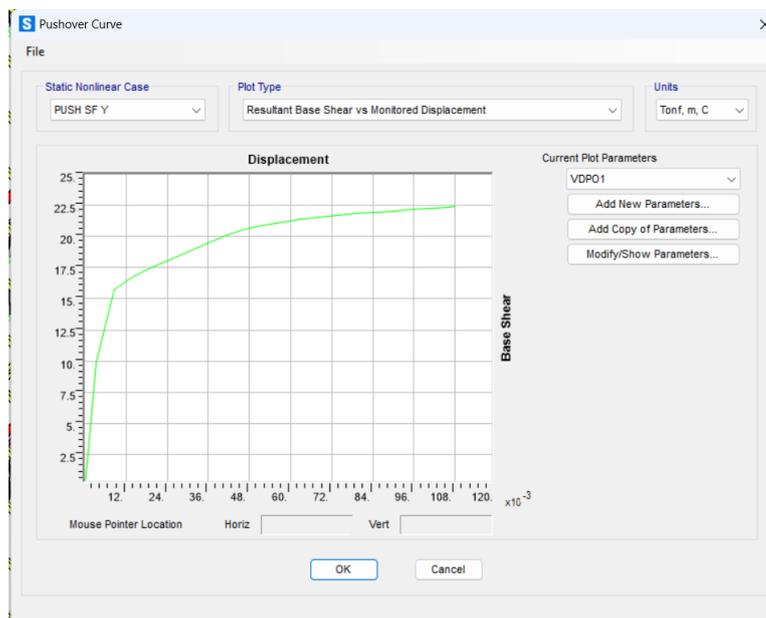
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.272 y el factor de sobre resistencia es de 2.435, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **5.53**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “**Operacional**”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 112**

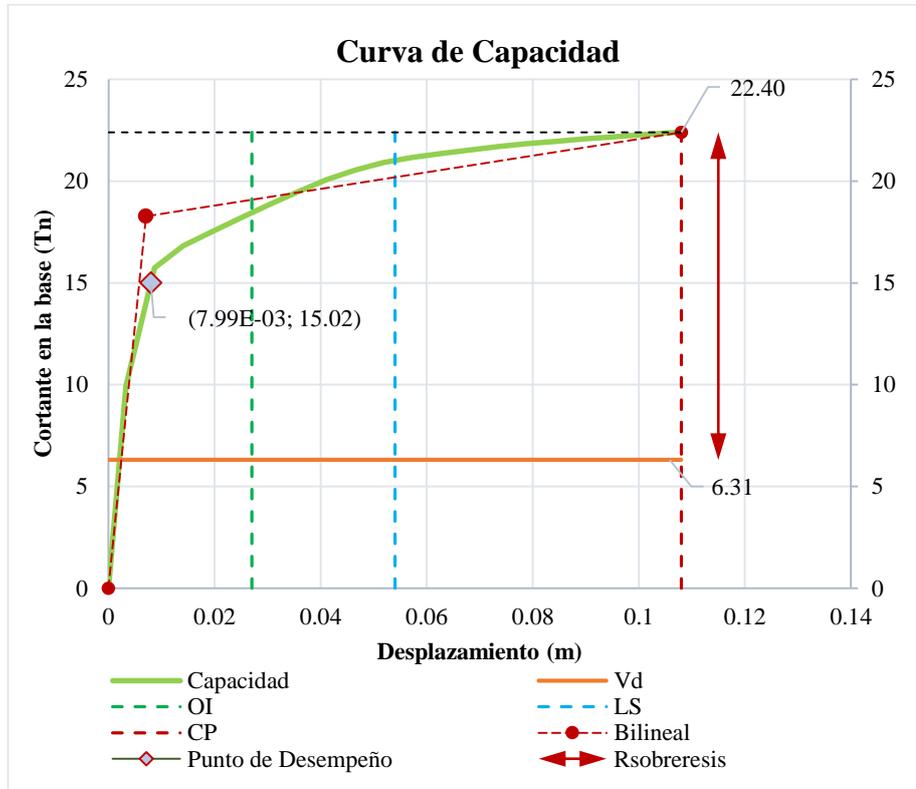
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF4*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF2.

**Figura 113**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF4 eje Y-Y*



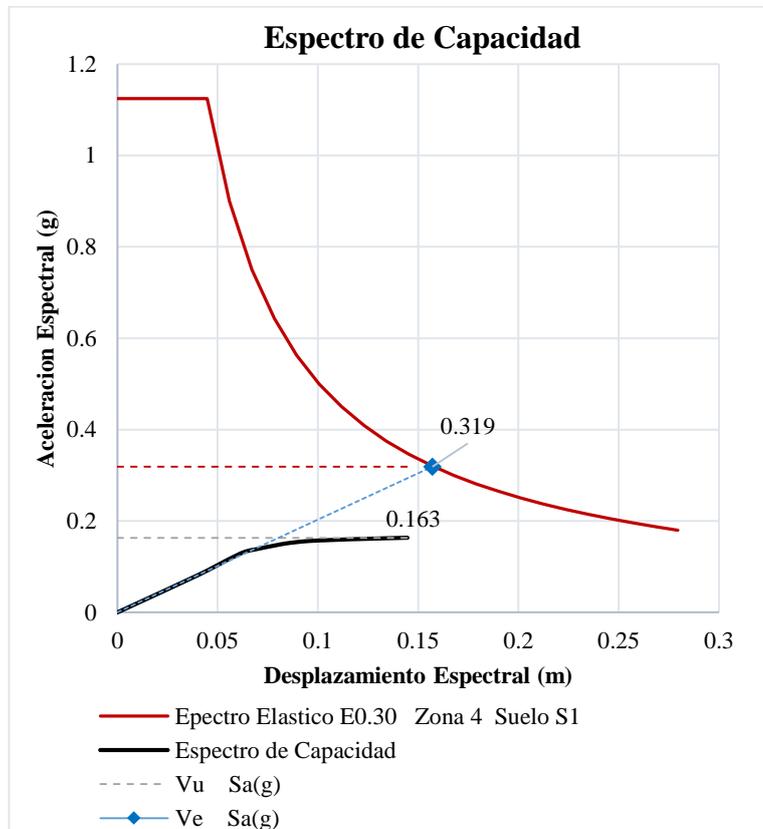
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

3. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 114**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF4 eje Y-Y*



**Figura 115**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF4 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.319	Vu= 22.399	<b>R= 6.94</b>
Vu= 0.163	Vd= 6.310	
<b>R<sub>d</sub>= 1.954</b>	<b>Ω= 3.550</b>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.954 y el factor de sobre resistencia es de 3.550, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.94**.

#### 4.8.6 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF5

La Vivienda Tipo SF5 se caracteriza por su diseño eficiente y funcional, con un área total de 60m<sup>2</sup>. Los muros portantes, que proporcionan la estructura principal están en dirección Y, definen la distribución interna de los espacios. En cuanto a la altura de entrepisos, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

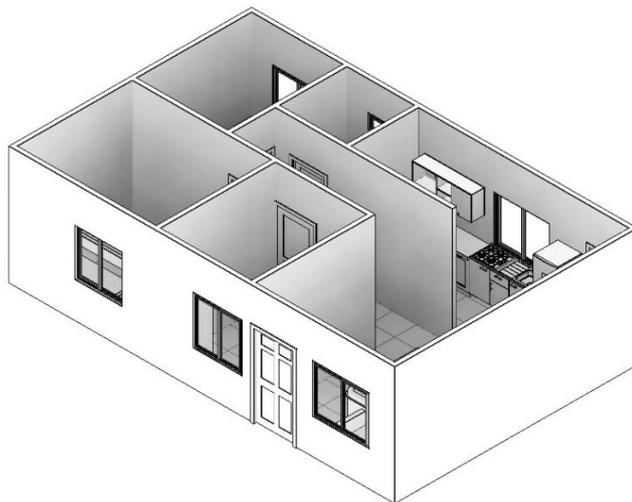
**Figura 116**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF5*



**Figura 117**

*Vista Isométrica de la Vivienda SF5*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 29**

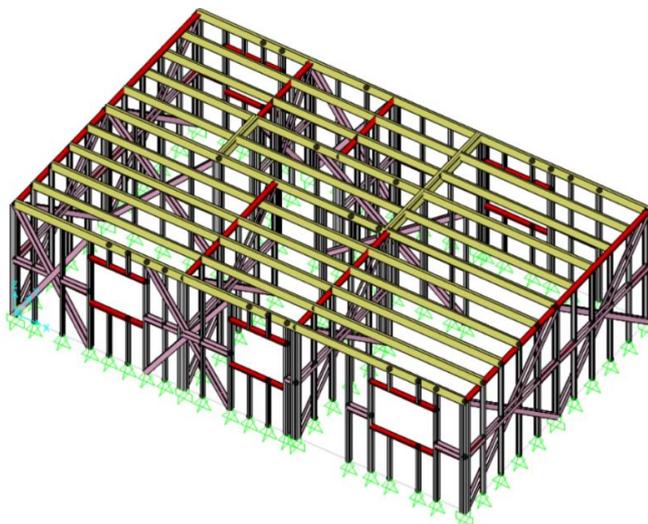
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF5 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.128579 seg	0.126383 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		14630.4	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF5 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 118**

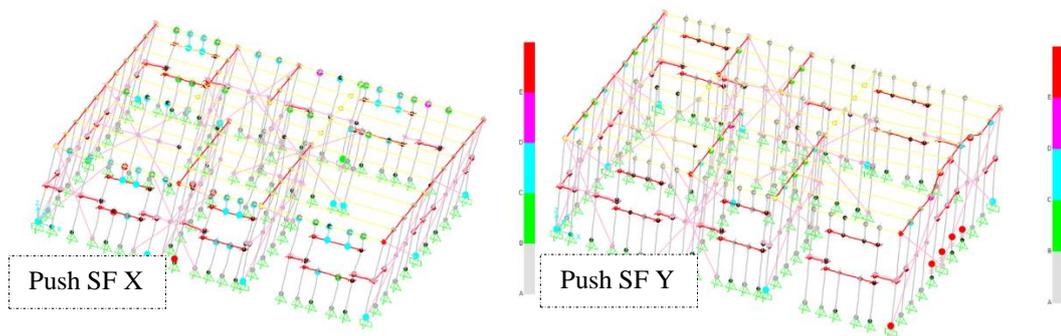
*Estructuración de la Vivienda SF5 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF5.

**Figura 119**

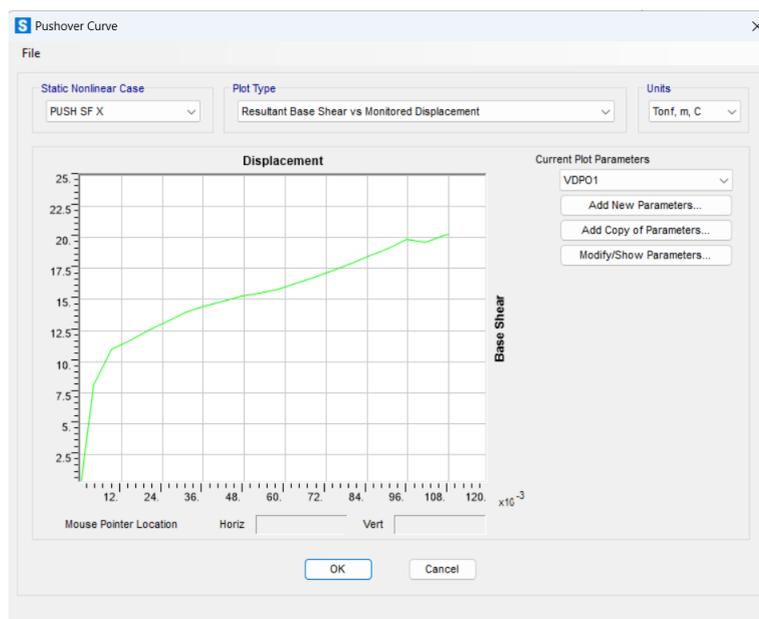
*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF5*



Con las curvas de capacidad y espectros de capacidad se procede a realizar el cálculo de los coeficientes de ductilidad y sobrerresistencia de la Vivienda SF5.

**Figura 120**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF5*



## CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION “R”

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

**Tabla 30**

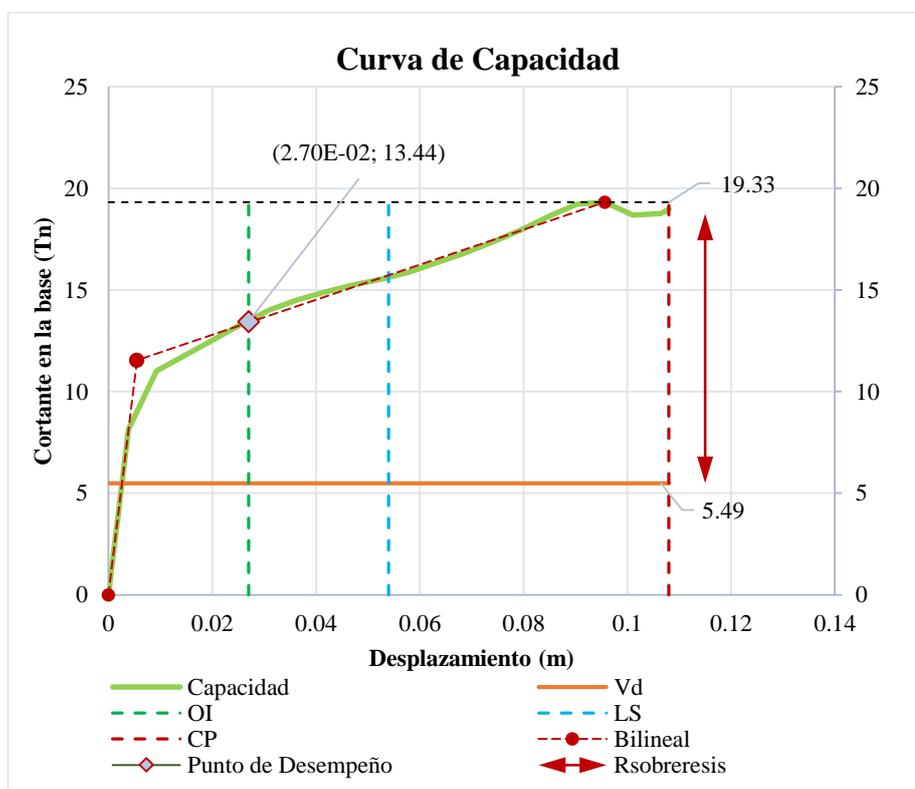
*Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF5 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	14.6304	5.49
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	14.6304	5.49

La relación entre la fuerza cortante máxima Vu y la fuerza cortante de diseño Vd, se define como el factor de sobrerresistencia de la Vivienda SF5.

**Figura 121**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF5 eje X-X*

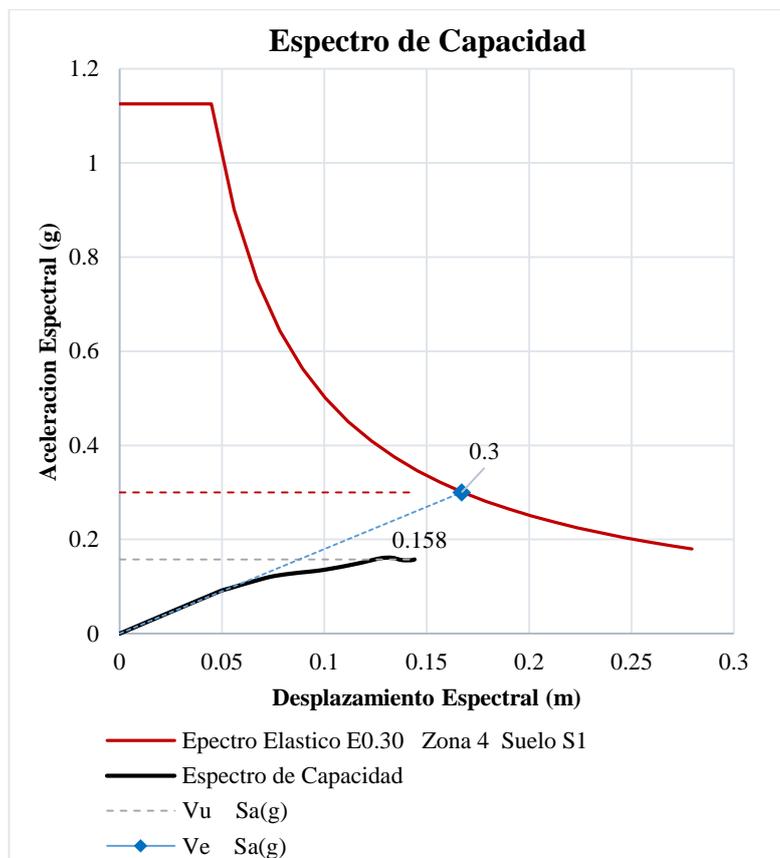


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF5. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 122**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF5 eje X-X*



**Figura 123**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF5 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Th	
Ve= 0.300	Vu= 19.326	<b>R= 6.69</b>
Vu= 0.158	Vd= 5.490	
<b>R<sub>d</sub>= 1.899</b>	<b>Ω= 3.520</b>	

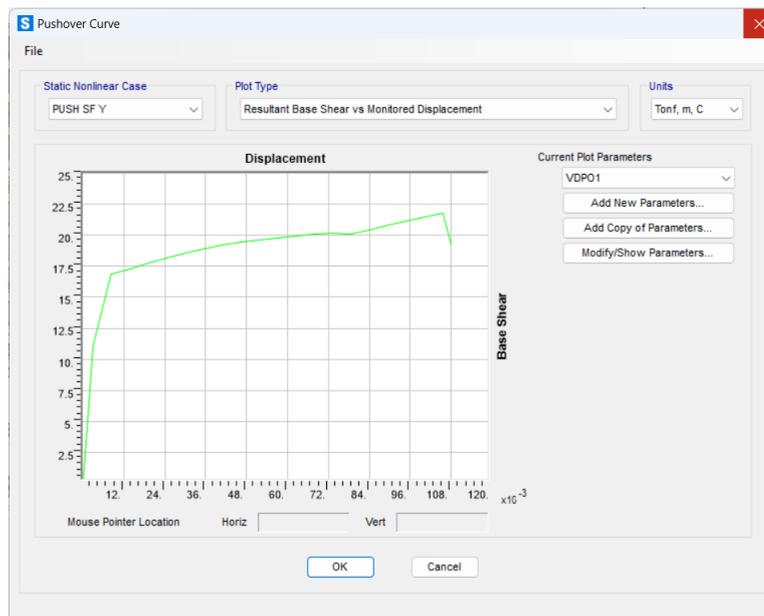
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.899 y el factor de sobre resistencia es de 3.520, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.69**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “**Ocupación Inmediata**”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 124**

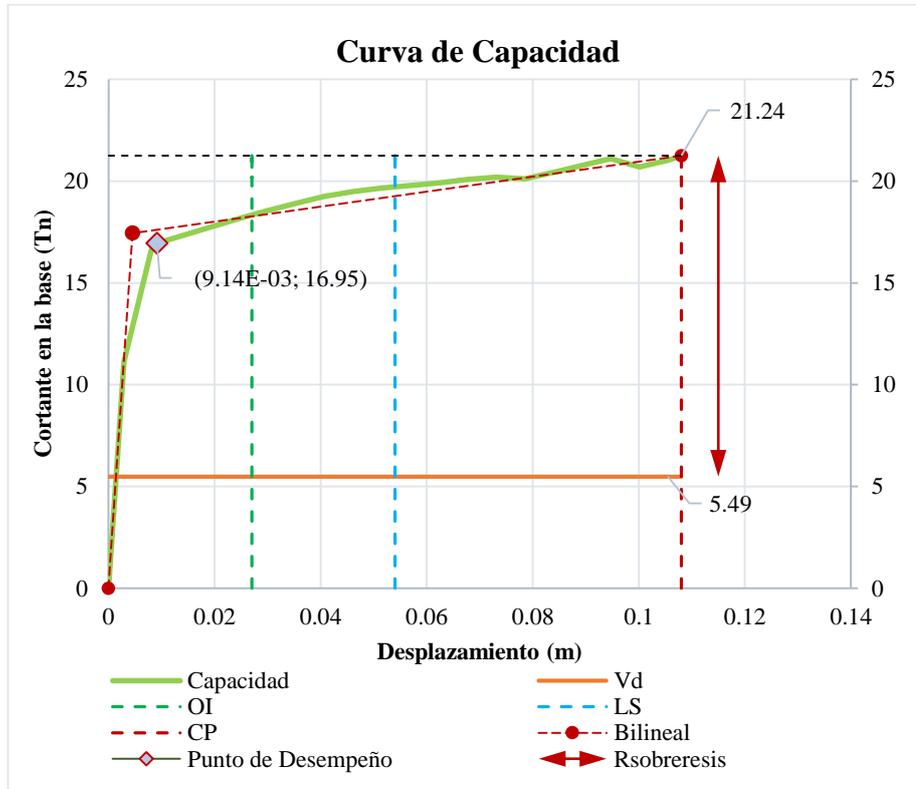
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF5*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF5.

**Figura 125**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF5 eje Y-Y*



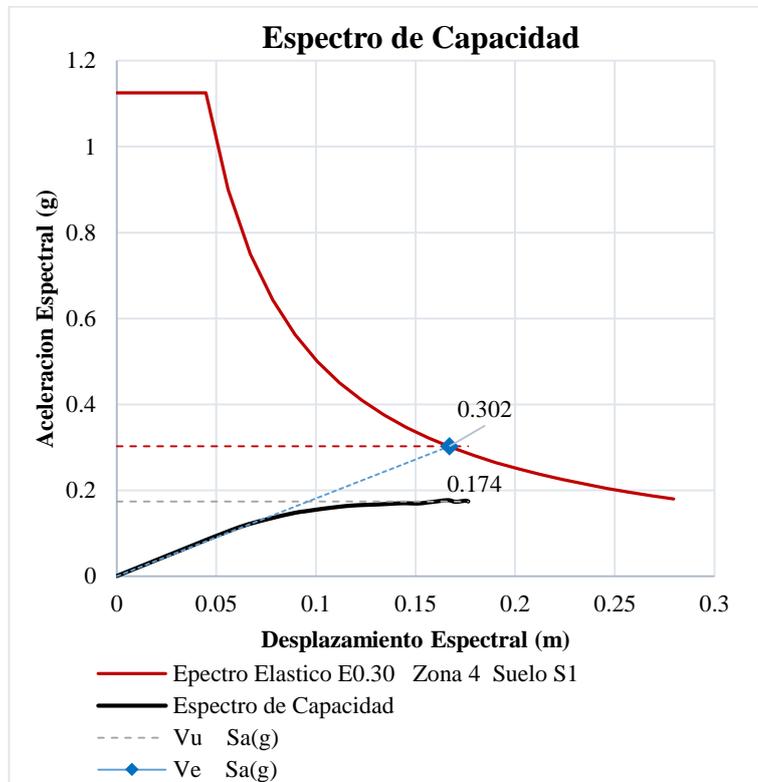
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo (Vu) y el cortante de diseño (Vd) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico (Ve), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción (R) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 126**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF5 eje Y-Y*



**Figura 127**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF5 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
<p style="text-align: right;">Sa(g)</p> <p>Ve= 0.302</p> <p>Vu= 0.189</p>	<p style="text-align: right;">Tn</p> <p>Vu= 21.243</p> <p>Vd= 5.490</p>	<p><b>R= 6.19</b></p>
<p><b>R<sub>d</sub>= 1.600</b></p>	<p><b>Ω= 3.869</b></p>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.600 y el factor de sobre resistencia es de 3.869, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.19**.



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 31**

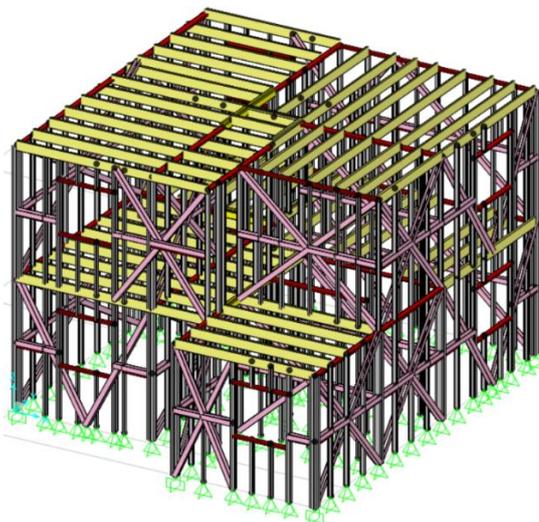
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF6 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.167303 seg	0.151161 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		22984.5	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF6 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 130**

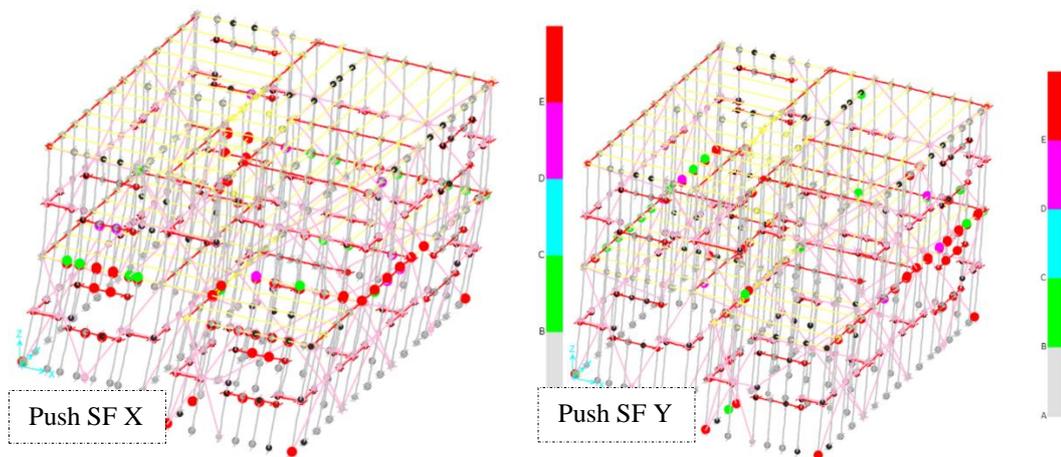
*Estructuración de la Vivienda SF6 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF6.

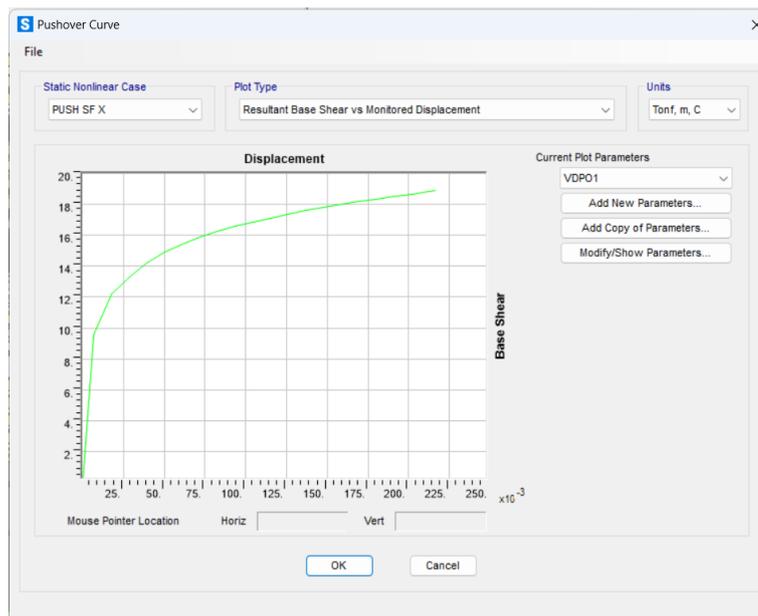
**Figura 131**

*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF6*



**Figura 132**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF6*



## CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION “R”

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

**Tabla 32**

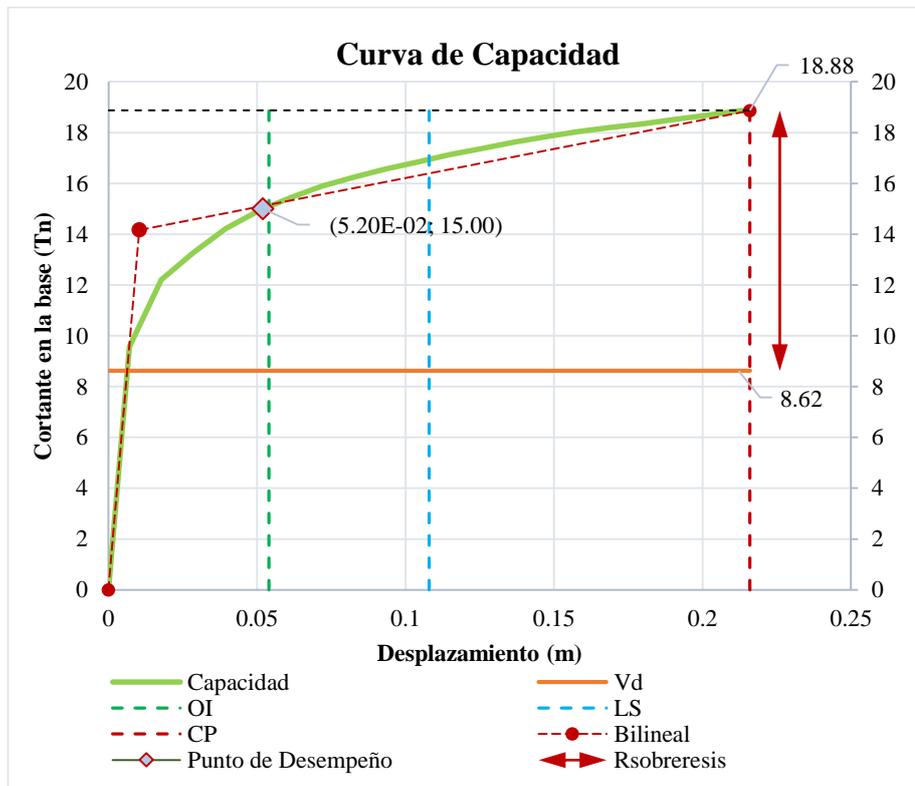
*Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF6 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	22.9845	8.62
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	22.9845	8.62

La relación entre la fuerza cortante máxima Vu y la fuerza cortante de diseño Vd, se define como el factor de sobrerresistencia de la Vivienda SF6.

**Figura 133**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF6 eje X-X*

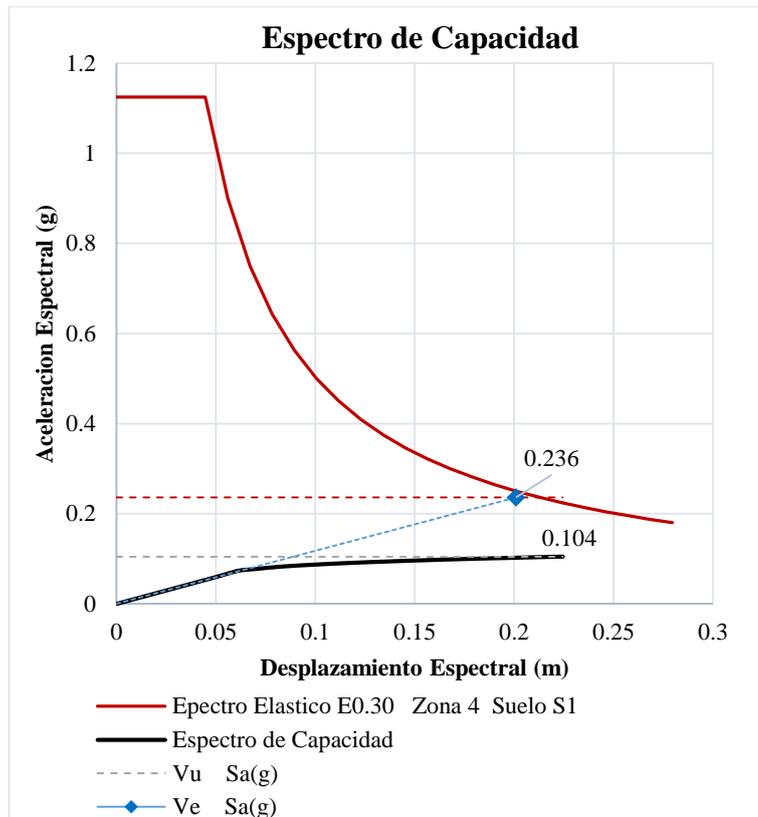


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF6. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 134**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF6 eje X-X*



**Figura 135**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF6 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.236	Vu= 18.861	<b>R= 4.94</b>
Vu= 0.104	Vd= 8.620	
<b>R<sub>d</sub>= 2.260</b>	<b>Ω= 2.188</b>	

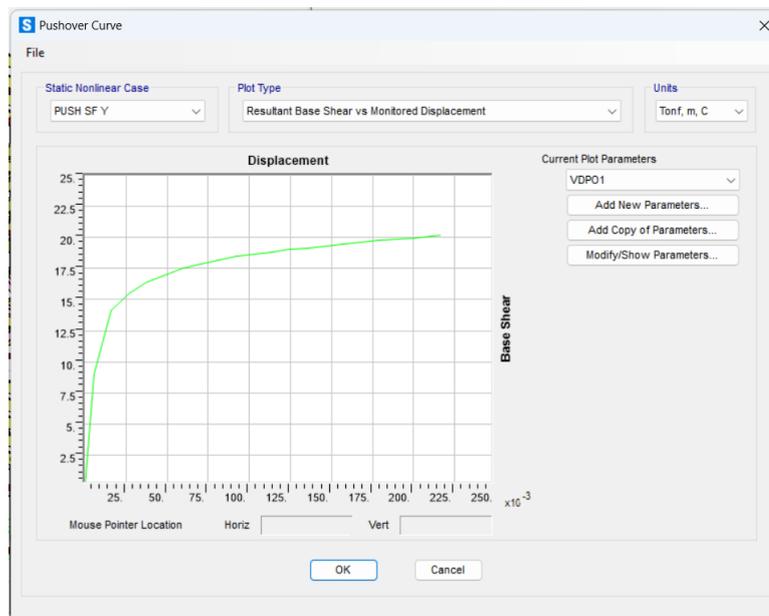
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.260 y el factor de sobre resistencia es de 2.188, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **4.94**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “**Operacional**”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 136**

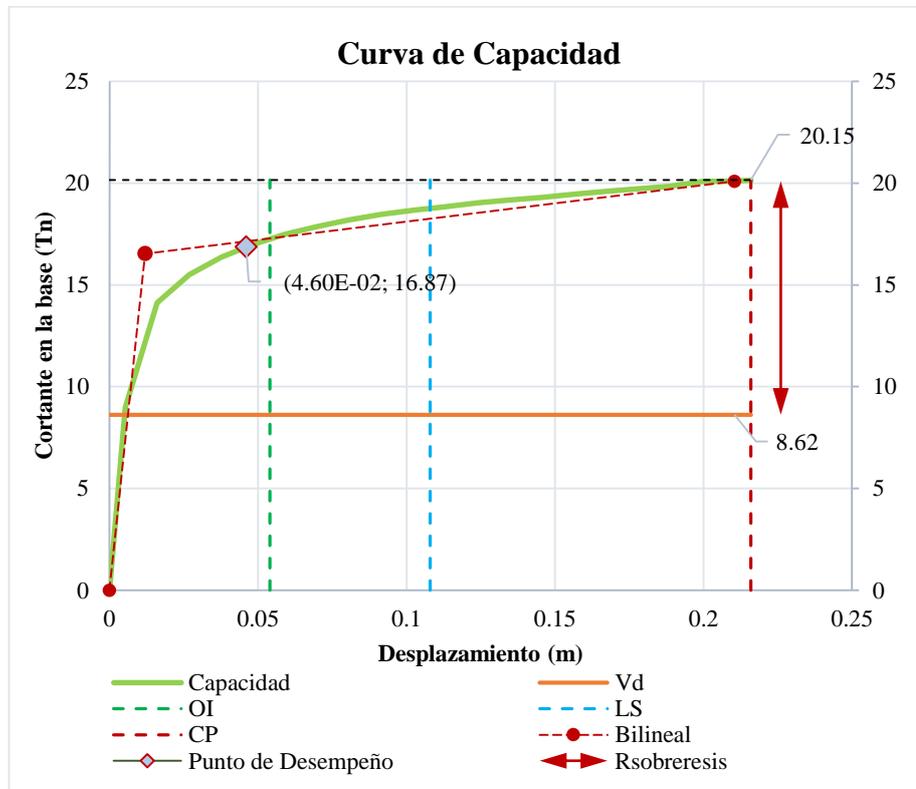
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF6*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF6.

**Figura 137**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF6 eje Y-Y*



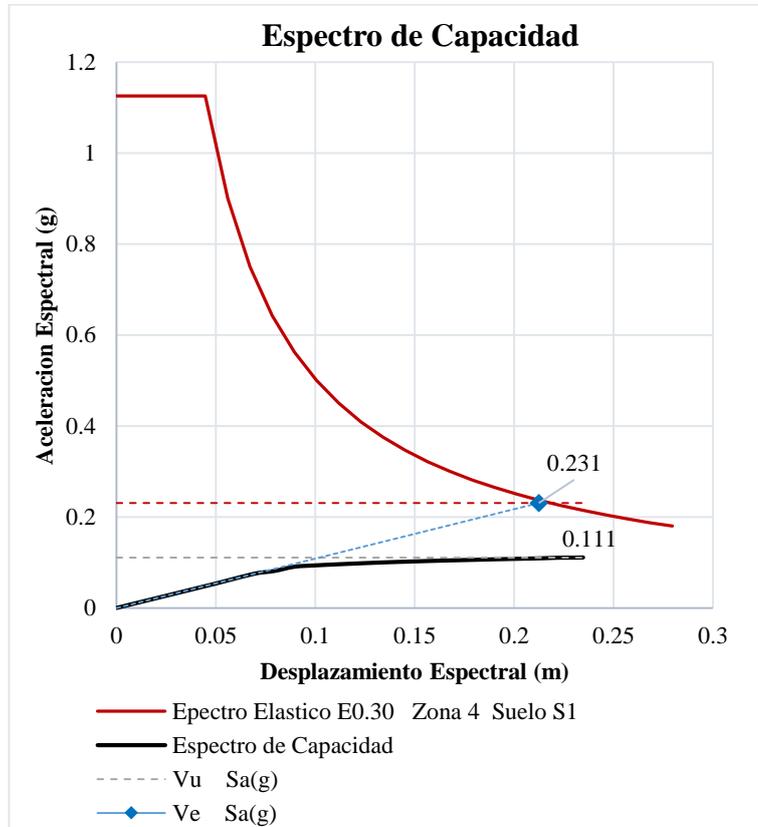
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 138**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF6 eje Y-Y*



**Figura 139**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.231	Vu= 20.148	R= 4.88
Vu= 0.111	Vd= 8.620	
$R_d = 2.087$	$\Omega = 2.337$	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

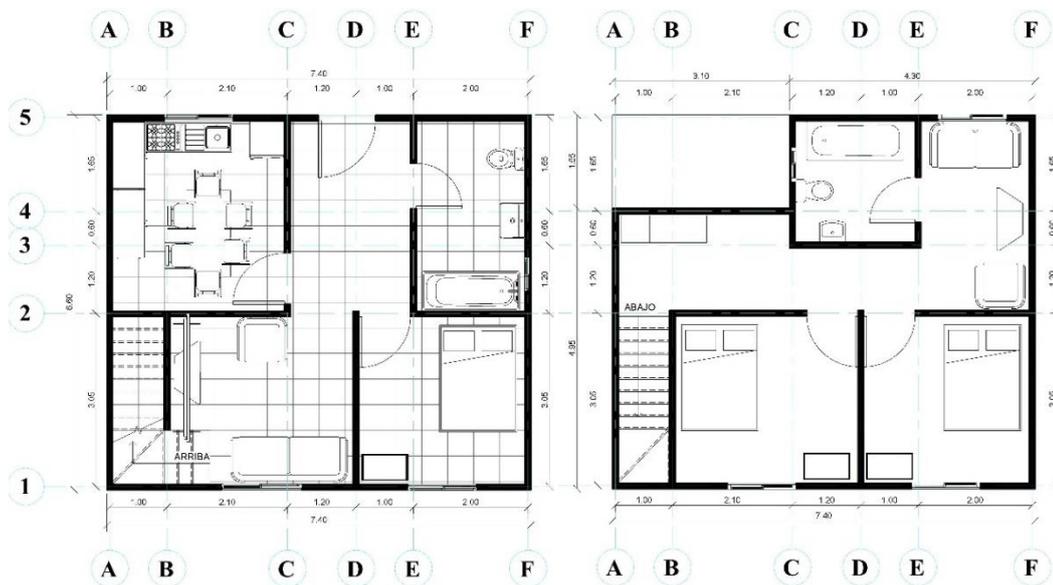
1. El factor de ductilidad es de 2.087 y el factor de sobre resistencia es de 2.337, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **4.88**.

#### 4.8.8 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF7

La Vivienda Tipo SF7 se caracteriza por su diseño eficiente y funcional, con un área total de 48.85m<sup>2</sup>. Los muros portantes, que proporcionan la estructura principal están en dirección Y, definen la distribución interna de los espacios. En cuanto a la altura de entrepisos, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

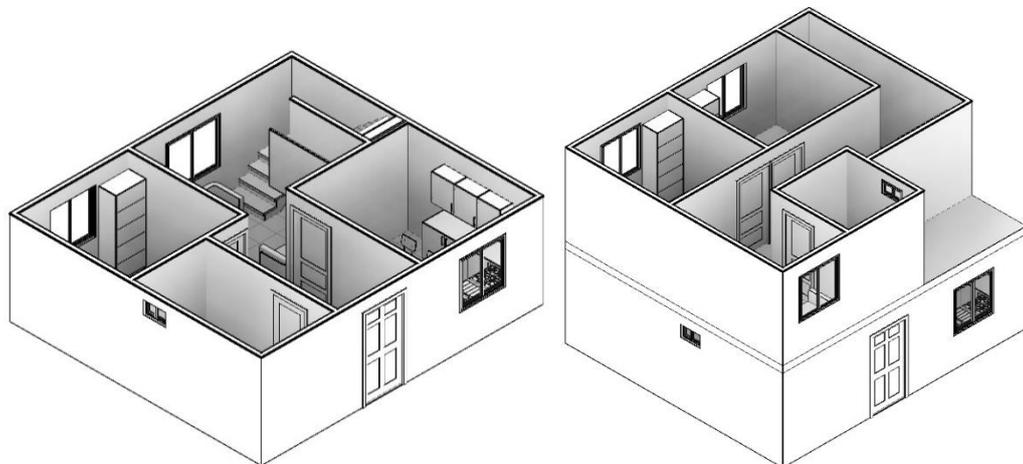
**Figura 140**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF7*



**Figura 141**

*Vista Isométrica de la Vivienda SF7*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 33**

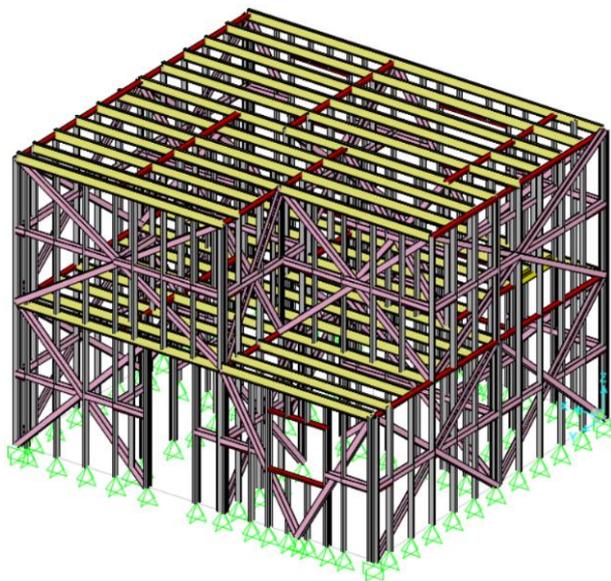
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la vivienda SF7 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.168991 seg	0.166817 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		21798.4	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF7 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 142**

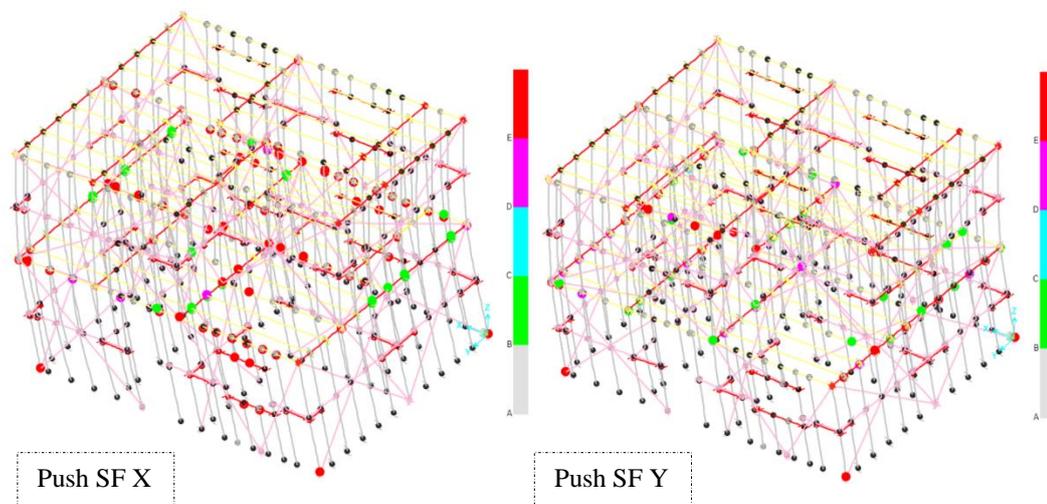
*Estructuración de la Vivienda SF7 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF7.

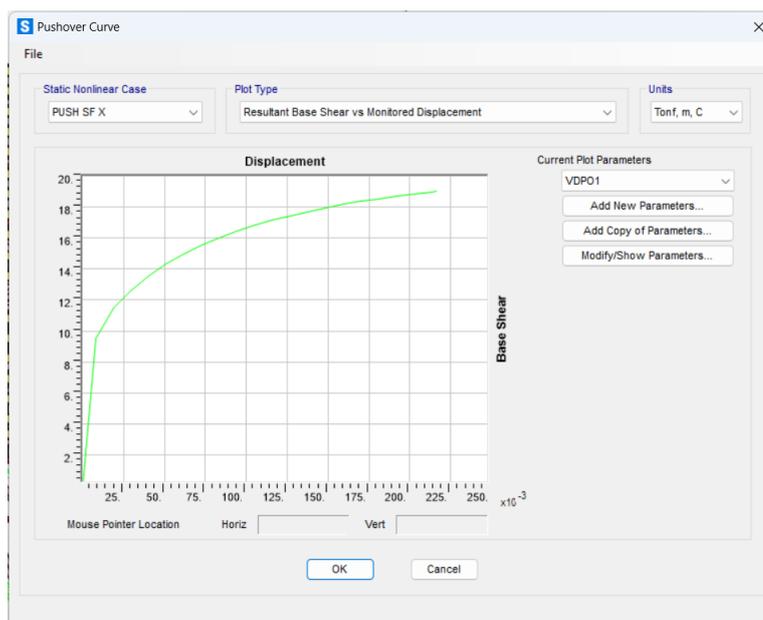
**Figura 143**

*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF7*



**Figura 144**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF7*



## CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION “R”

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

**Tabla 34**

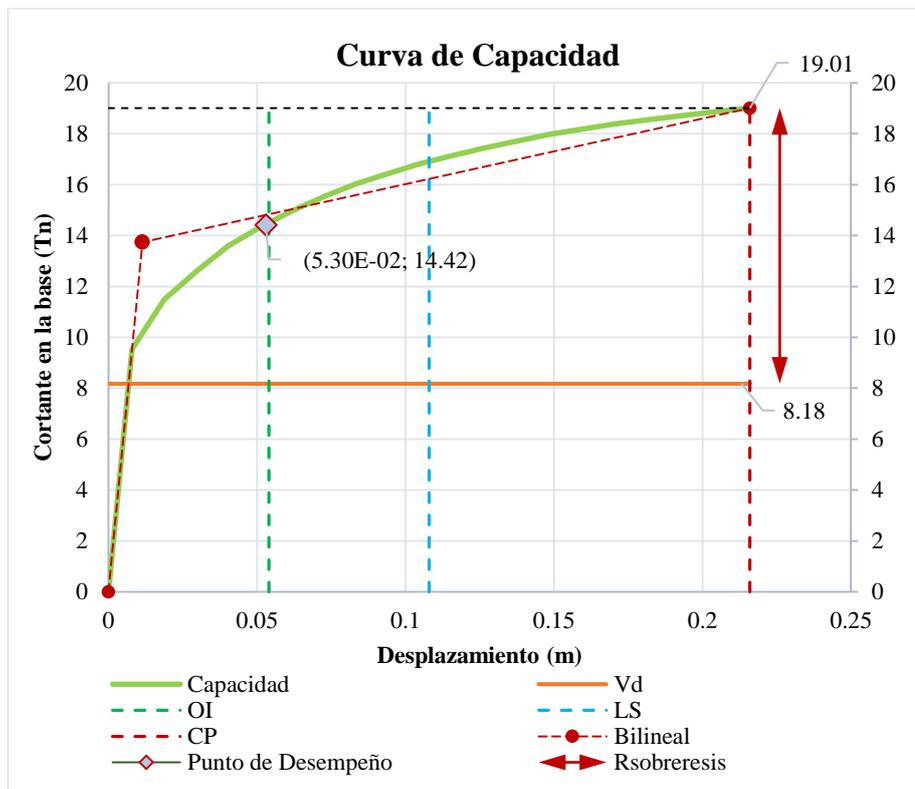
*Cálculo del cortante de diseño para la vivienda SF7 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	21.7984	8.18
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	21.7984	8.18

La relación entre la fuerza cortante máxima  $V_u$  y la fuerza cortante de diseño  $V_d$ , se define como el factor de sobrerresistencia de la Vivienda SF7.

**Figura 145**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF7 eje X-X*

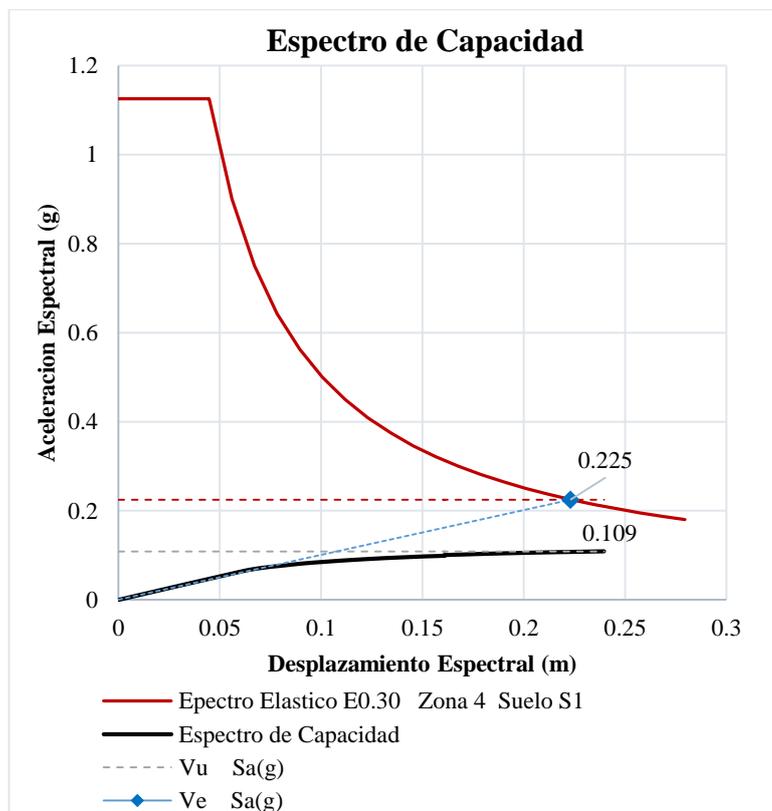


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF7. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 146**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF7 eje X-X*



**Figura 147**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF7 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g) Ve= 0.225 Vu= 0.109	Tn Vu= 19.010 Vd= 8.180	$R = 4.81$
$R_d = 2.069$	$\Omega = 2.324$	

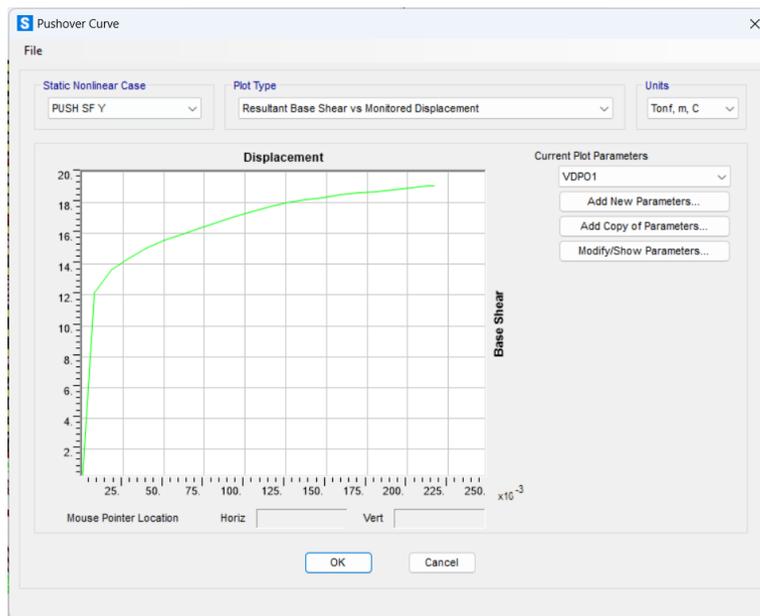
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.069 y el factor de sobre resistencia es de 2.324, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **4.81**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “Operacional”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 148**

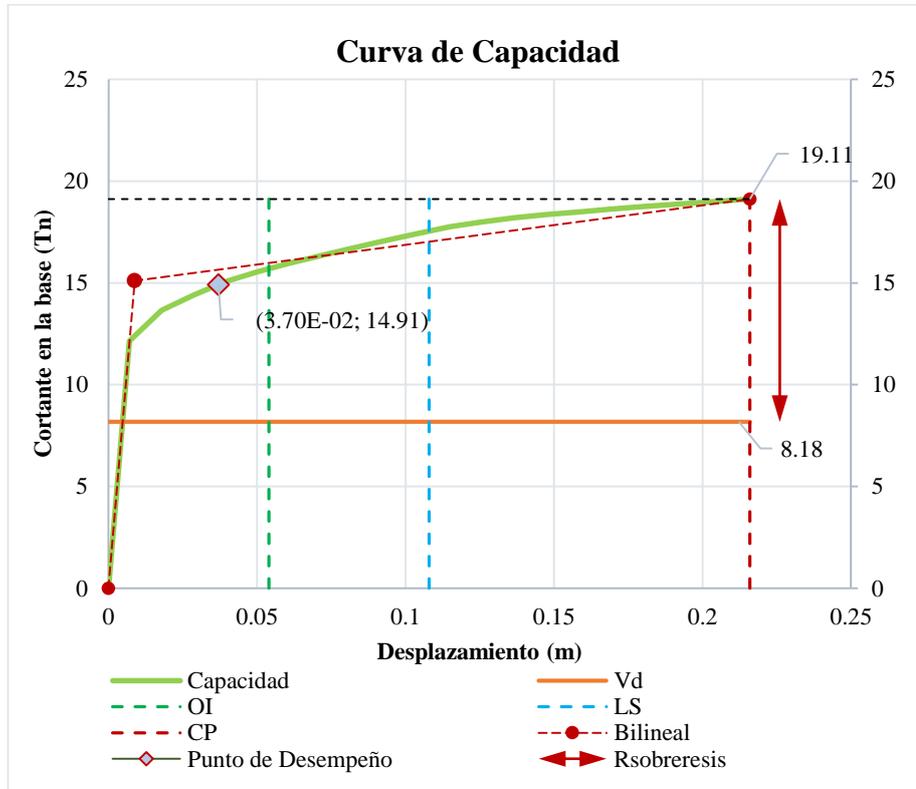
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF7*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF7.

**Figura 149**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF7 eje Y-Y*



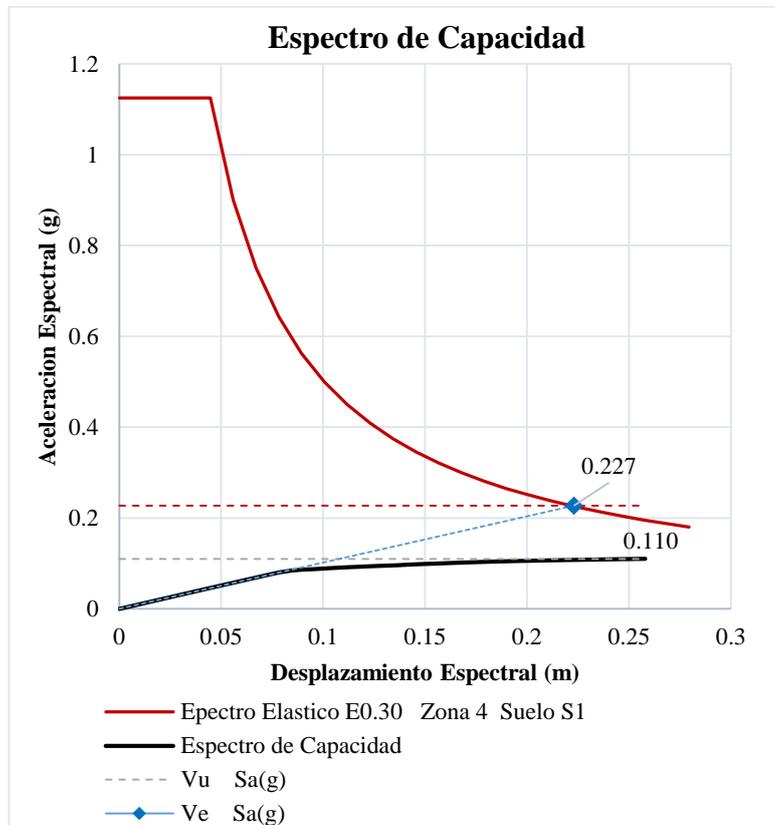
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 150**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF7 eje Y-Y*



**Figura 151**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF7 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = \frac{S_a(g)}{2.067}$	$V_u = 19.114$	$R = 4.83$
$V_u = 0.110$	$V_d = 8.180$	
$R_d = 2.067$	$\Omega = 2.337$	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.067 y el factor de sobre resistencia es de 2.337, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **4.83**.



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 35**

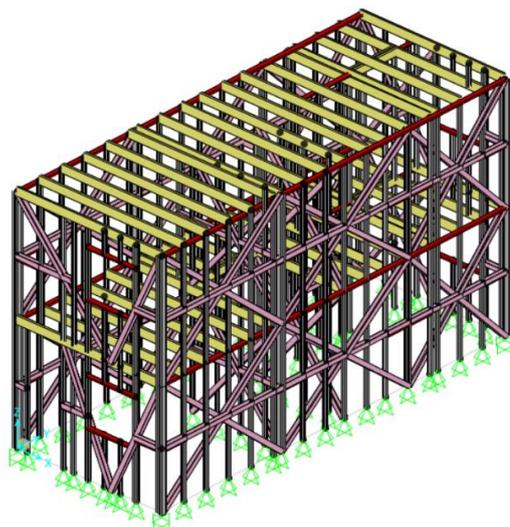
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF8 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.207339 seg	0.147497 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		17341.4	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF8 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 154**

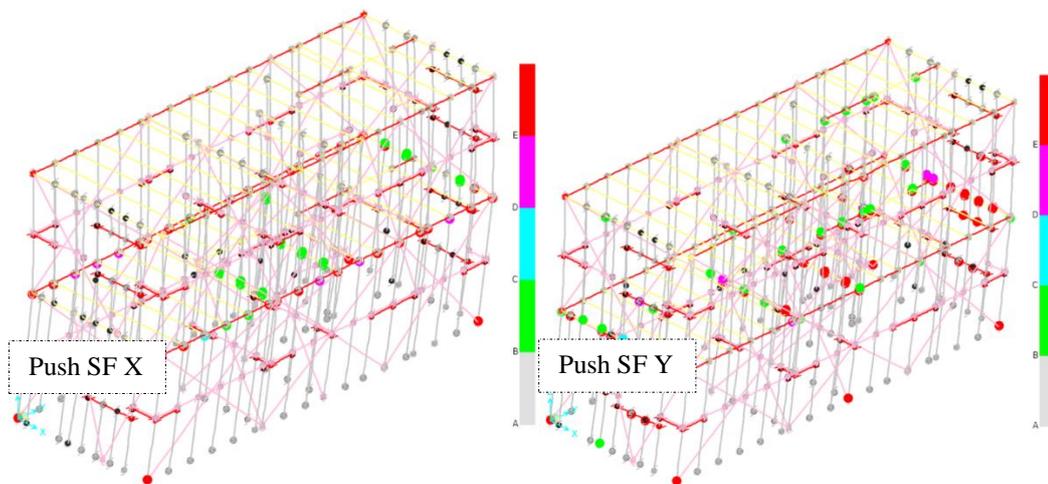
*Estructuración de la Vivienda SF8 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF8.

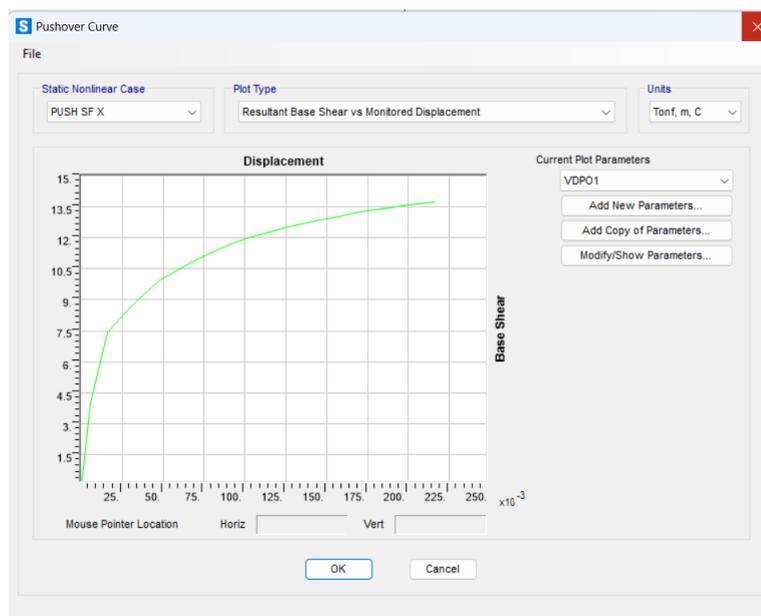
**Figura 155**

*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF8*



**Figura 156**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF8*



## CALCULO DEL COEFICIENTE DE REDUCCION “R”

Utilizando la información suministrada por el programa SAP2000, se inicia el cálculo del coeficiente de reducción, para lo cual se identifican y analizan detalladamente los siguientes parámetros:

### Fuerza cortante de Diseño (Vd)

**Tabla 36**

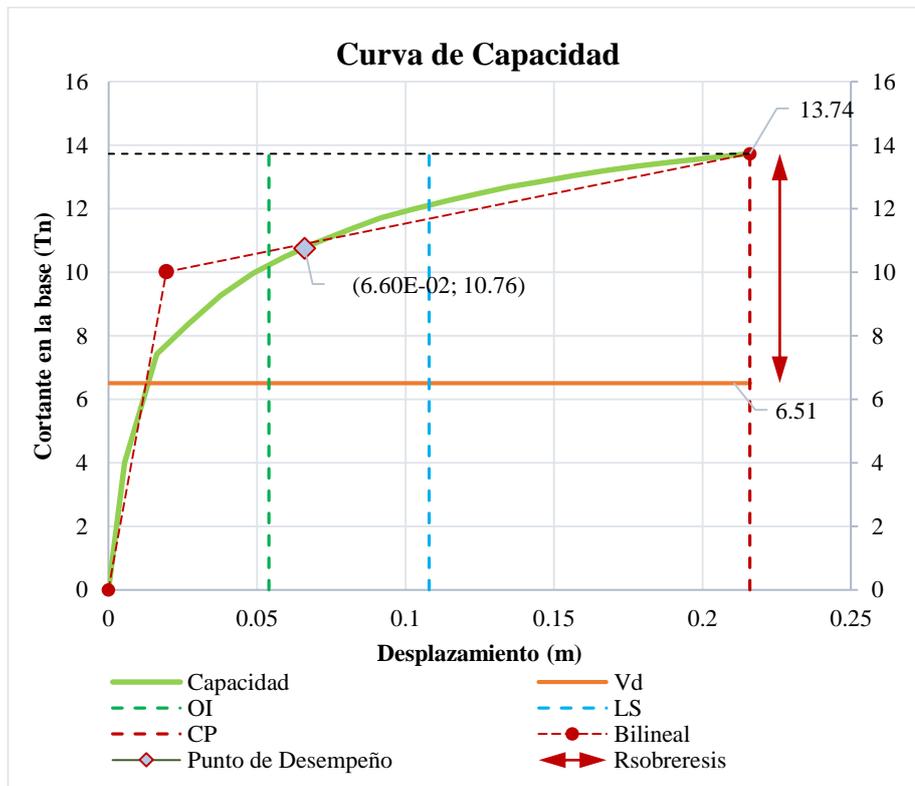
*Cálculo del cortante de diseño para la Vivienda SF8 eje X-X y Y-Y*

Dirección	Z	U	C	S	R	P(tn)	V diseño (tn)
X-X	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	17.3414	6.51
Y-Y	0.45	1.00	2.50	1.00	3.00	17.3414	6.51

La relación entre la fuerza cortante máxima  $V_u$  y la fuerza cortante de diseño  $V_d$ , se define como el factor de sobrerresistencia de la Vivienda SF8.

**Figura 157**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF8 eje X-X*

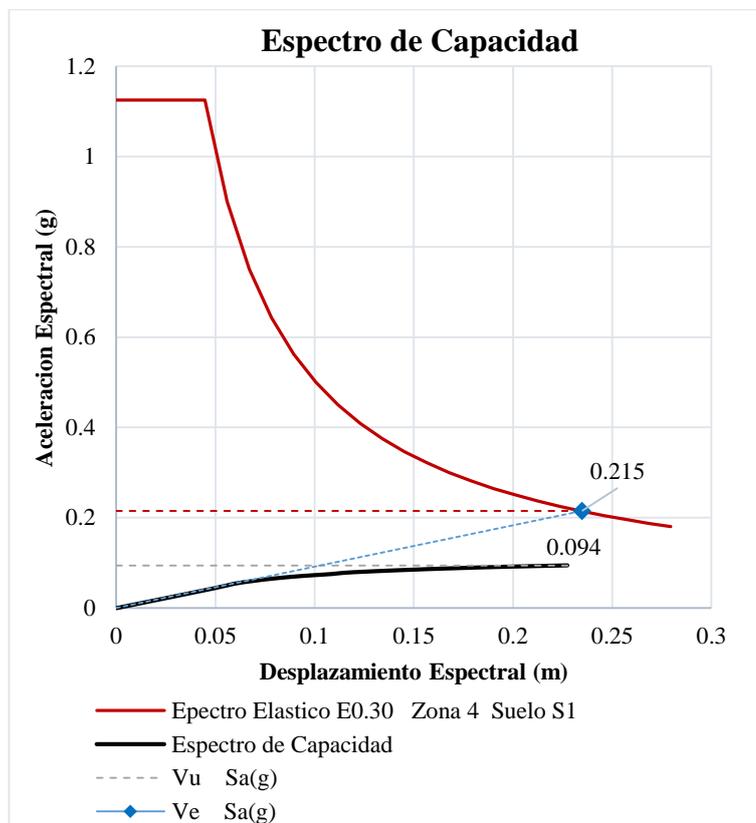


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF8. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 158**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF8 eje X-X*



**Figura 159**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF8 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = 0.215$	$V_u = 13.735$	$R = 4.81$
$V_u = 0.094$	$V_d = 6.510$	
$R_d = 2.278$	$\Omega = 2.110$	

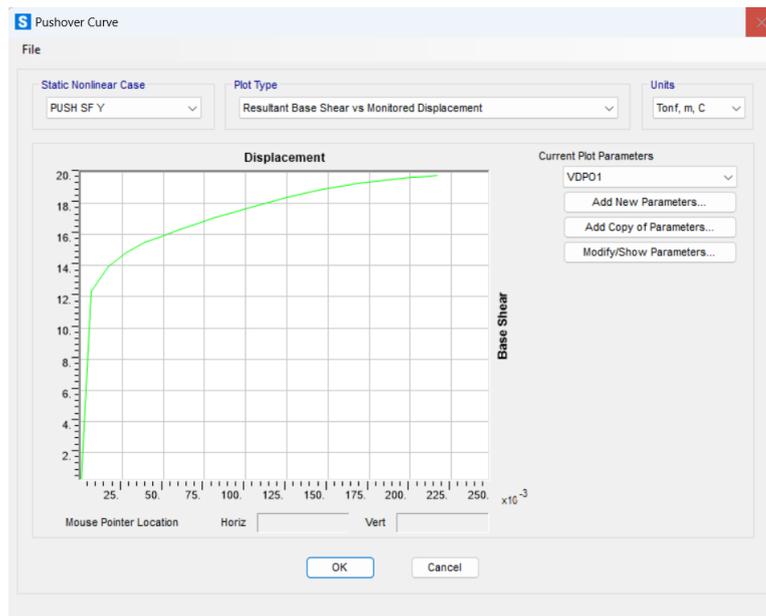
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 2.278 y el factor de sobre resistencia es de 2.110, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **4.81**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “**Ocupación Inmediata**”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 160**

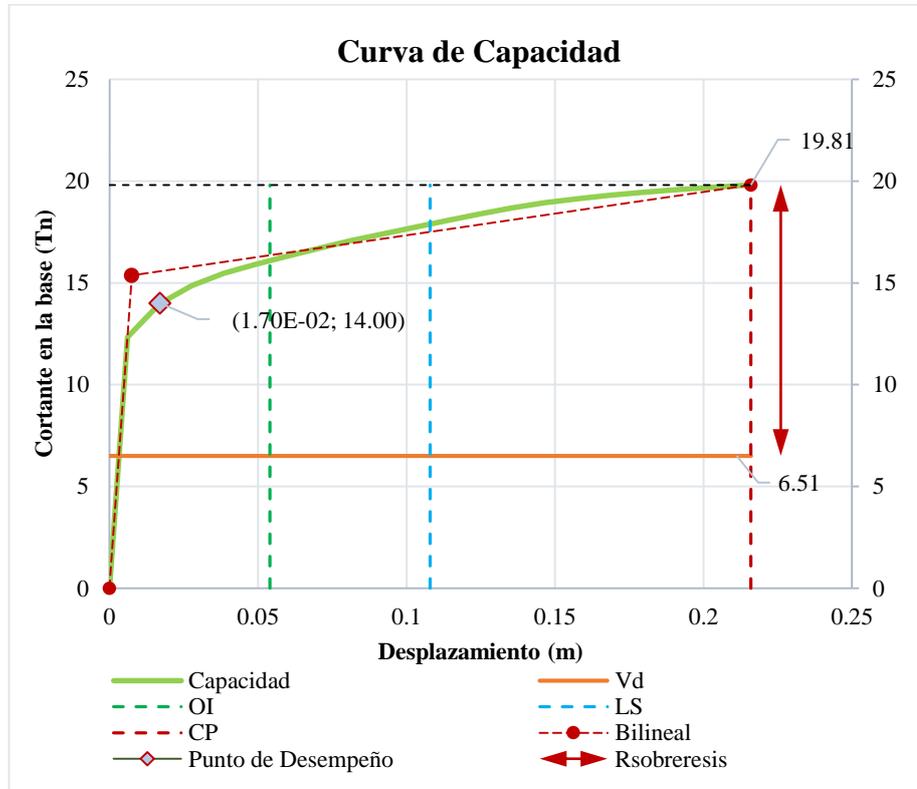
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF8*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF8.

**Figura 161**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF8 eje Y-Y*



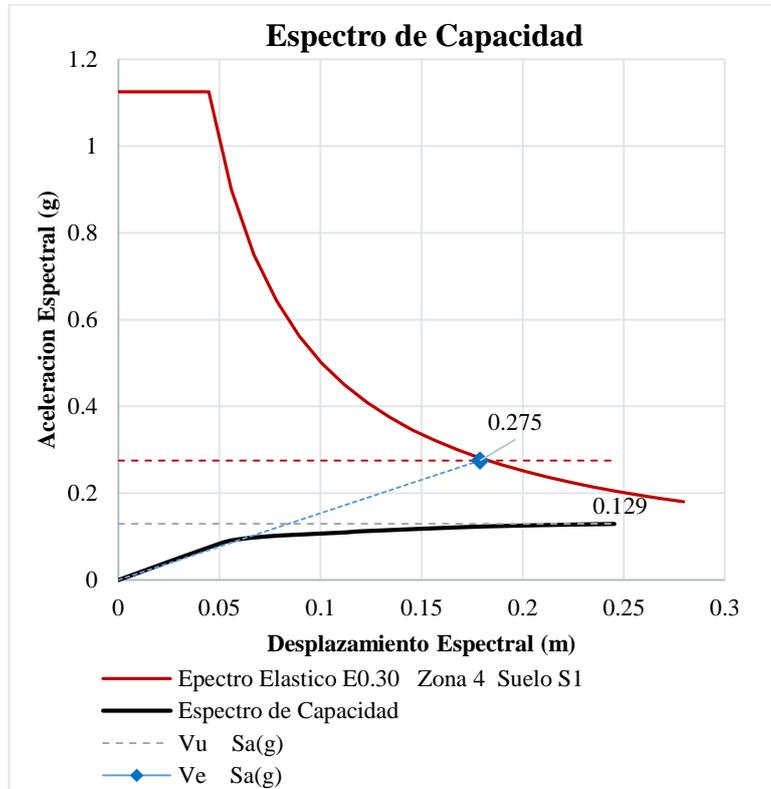
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 162**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF8 eje Y-Y*



**Figura 163**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF8 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = \frac{S_a(g)}{2.127}$	$V_u = 19.810$	$R = 6.47$
$V_u = 0.129$	$V_d = 6.510$	
$R_d = 2.127$	$\Omega = 3.043$	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

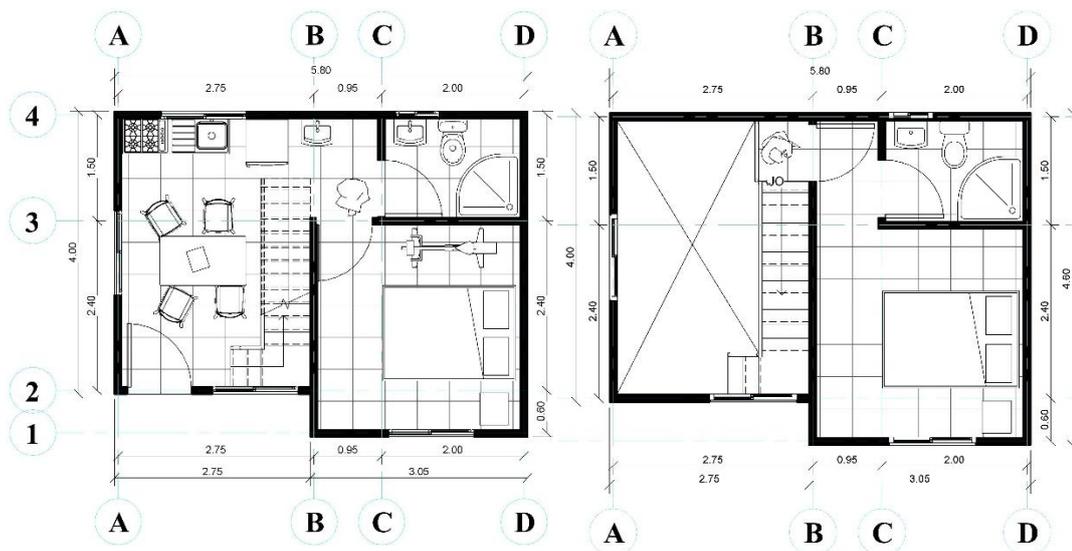
1. El factor de ductilidad es de 2.127 y el factor de sobre resistencia es de 3.043, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.47**.

#### 4.8.10 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF9

La Vivienda Tipo SF9 se caracteriza por su diseño eficiente y funcional, con un área total de 25m<sup>2</sup>. Los muros portantes, que proporcionan la estructura principal están en dirección Y, definen la distribución interna de los espacios. En cuanto a la altura de entrepisos, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

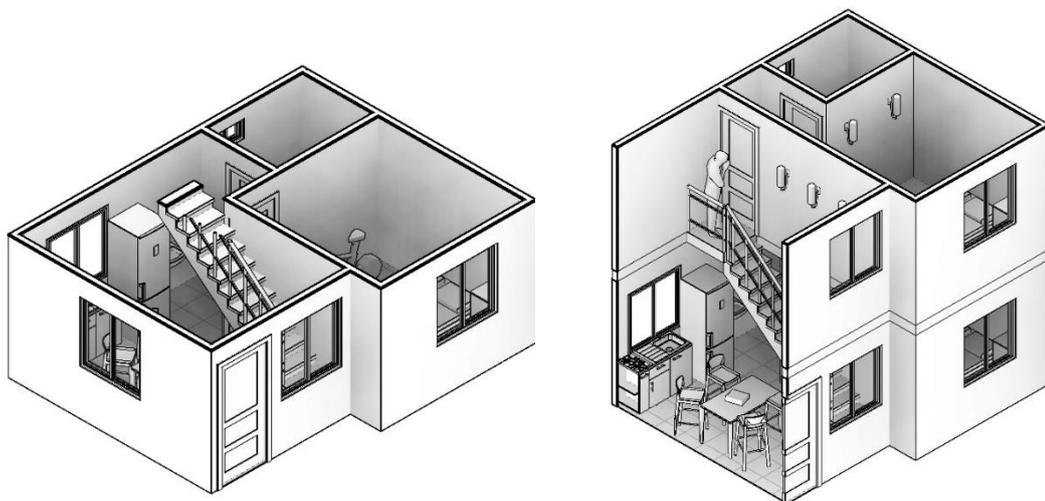
**Figura 164**

*Plano en planta del 1er nivel de la vivienda SF9*



**Figura 165**

*Vista Isométrica de la Vivienda SF9*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 37**

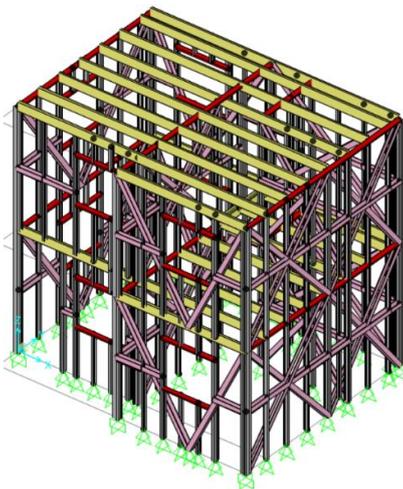
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF9 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.173038 seg	0.147218 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		11308.4	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF9 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 166**

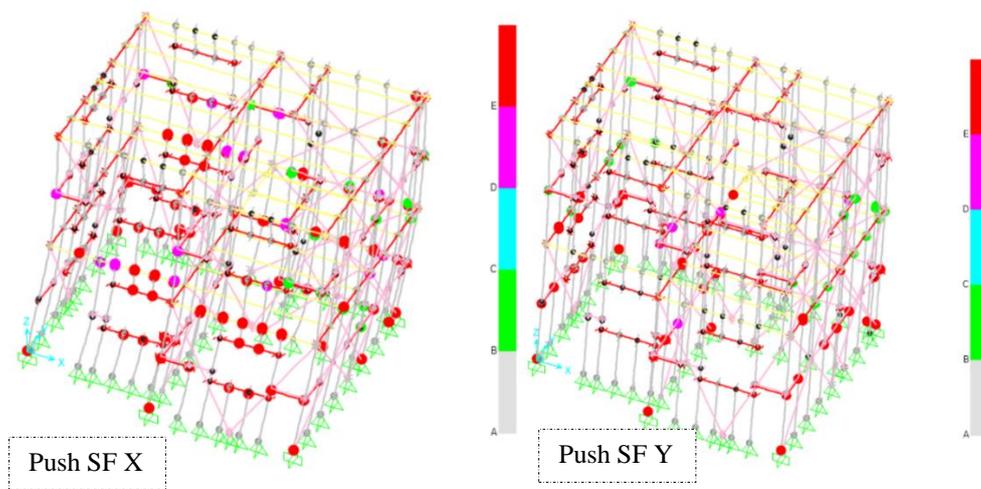
*Estructuración de la Vivienda SF9 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF9.

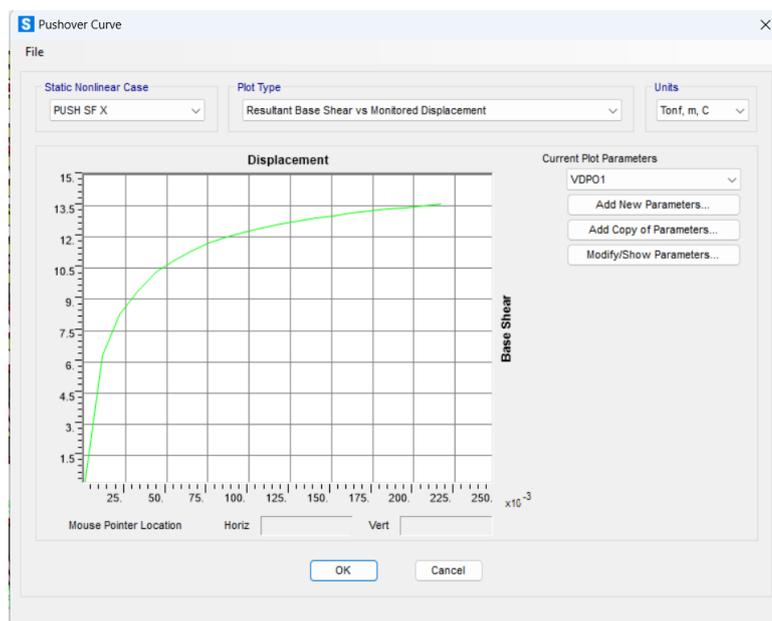
**Figura 167**

*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF9*



**Figura 168**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF9*



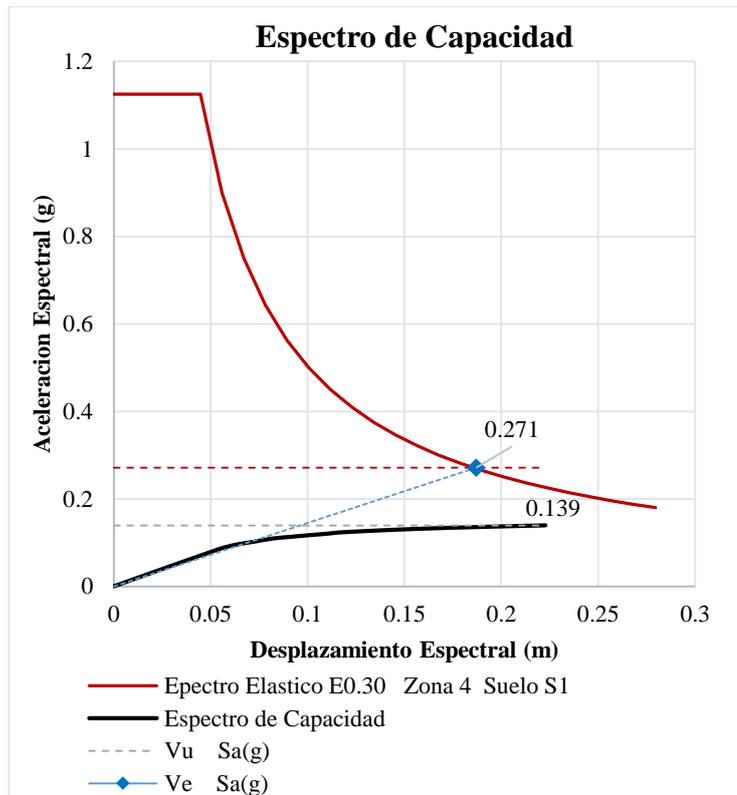


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF9. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 170**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF9 eje X-X*



**Figura 171**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF1 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = 0.271$	$V_u = 13.593$	$R = 6.23$
$V_u = 0.139$	$V_d = 4.250$	
$R_d = 1.948$	$\Omega = 3.198$	

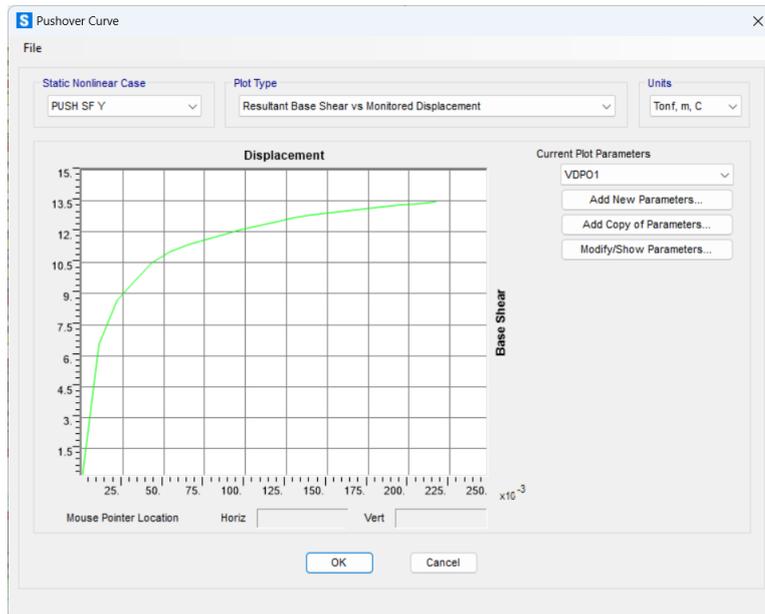
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.948 y el factor de sobre resistencia es de 3.198, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.23**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “Operacional”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 172**

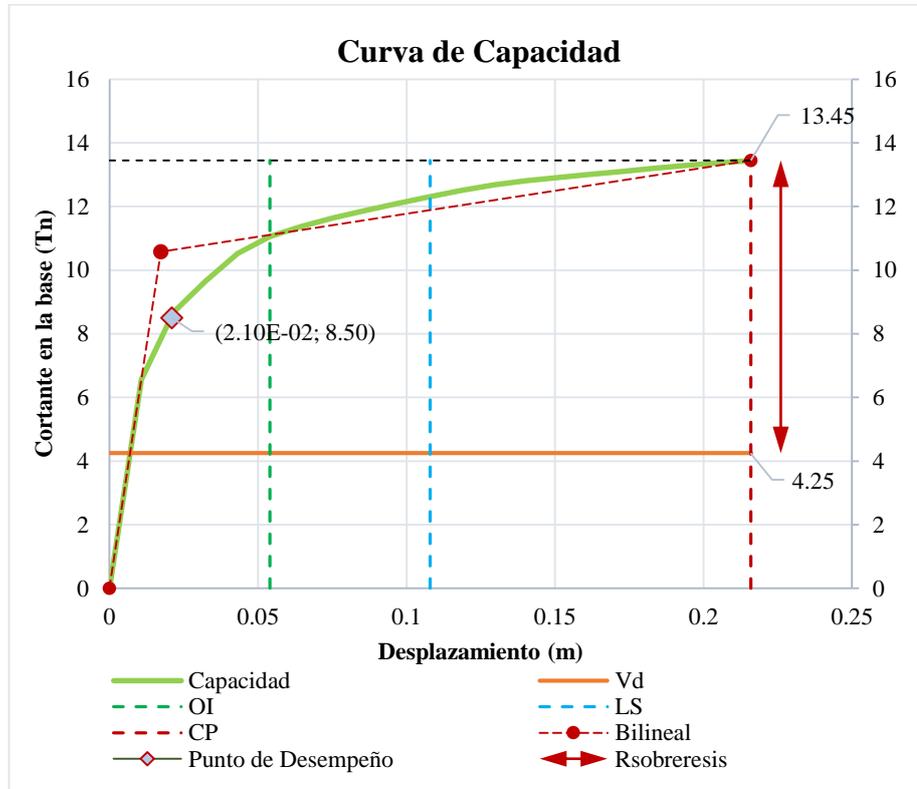
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF9*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF9.

**Figura 173**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF9 eje Y-Y*



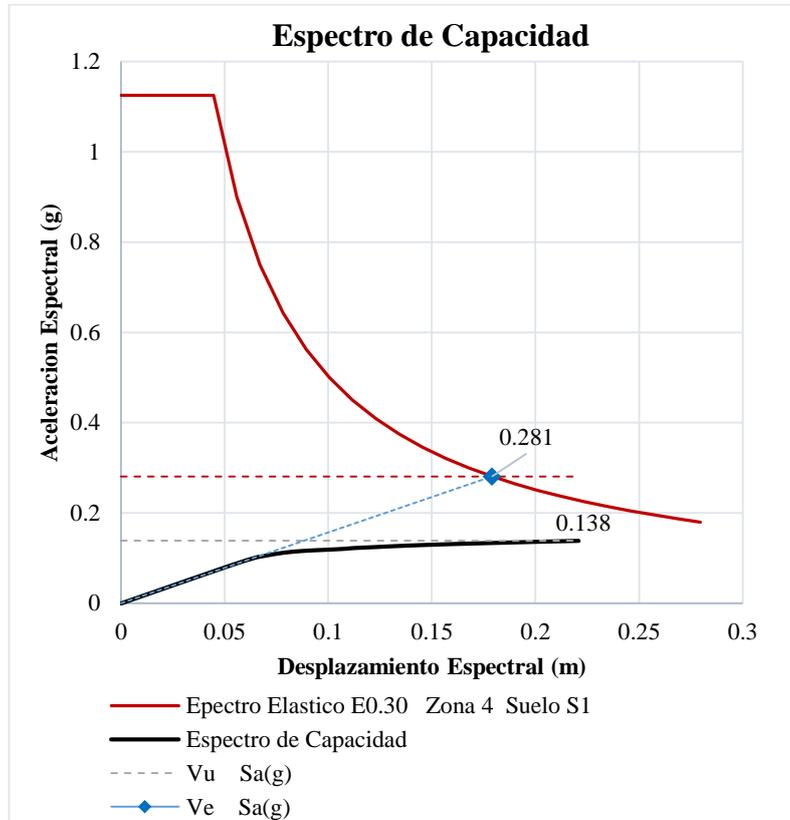
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Operacional**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación para mantener su funcionalidad esencial sin sufrir daños estructurales significativos durante un evento sísmico de esta naturaleza.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 174**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF9 eje Y-Y*



**Figura 175**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF9 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
<p>Sa(g)</p> <p>Ve= 0.281</p> <p>Vu= 0.138</p>	<p>Tn</p> <p>Vu= 13.447</p> <p>Vd= 4.250</p>	<p><b>R= 6.43</b></p>
<p><b>R<sub>d</sub>= 2.031</b></p>	<p><b>Ω= 3.164</b></p>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

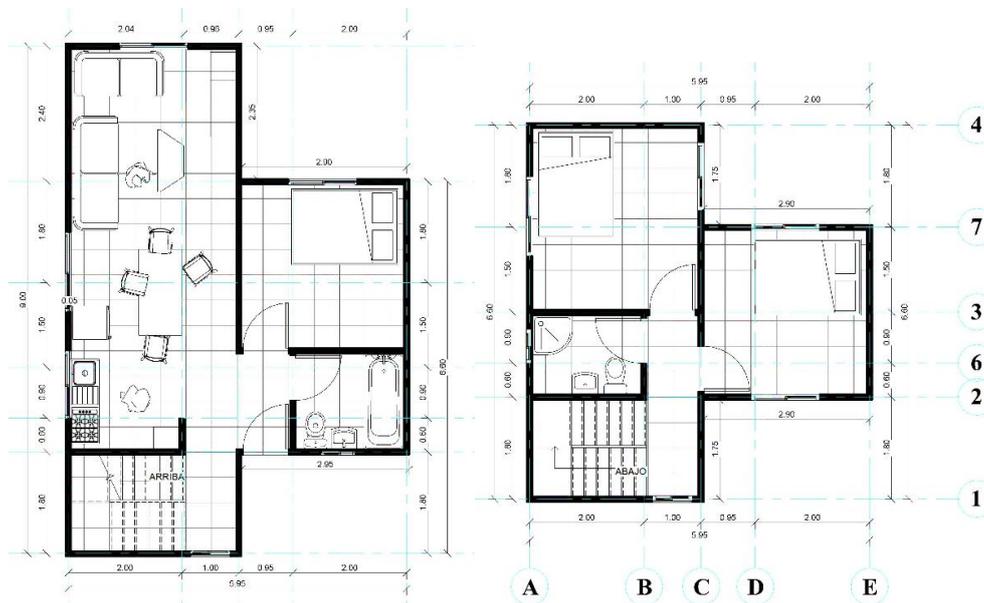
1. El factor de ductilidad es de 2.031 y el factor de sobre resistencia es de 3.164, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **6.43**.

#### 4.8.11 Determinación del coeficiente R para la Vivienda SF10

La Vivienda Tipo SF10 se caracteriza por su diseño con tragaluces, con un área total de 42.66m<sup>2</sup> en el primer nivel. Los muros portantes, que proporcionan la estructura principal están en dirección X y, definen la distribución interna de los espacios. En cuanto a la altura de entrepisos, la vivienda presenta una altura típica de 2.70m.

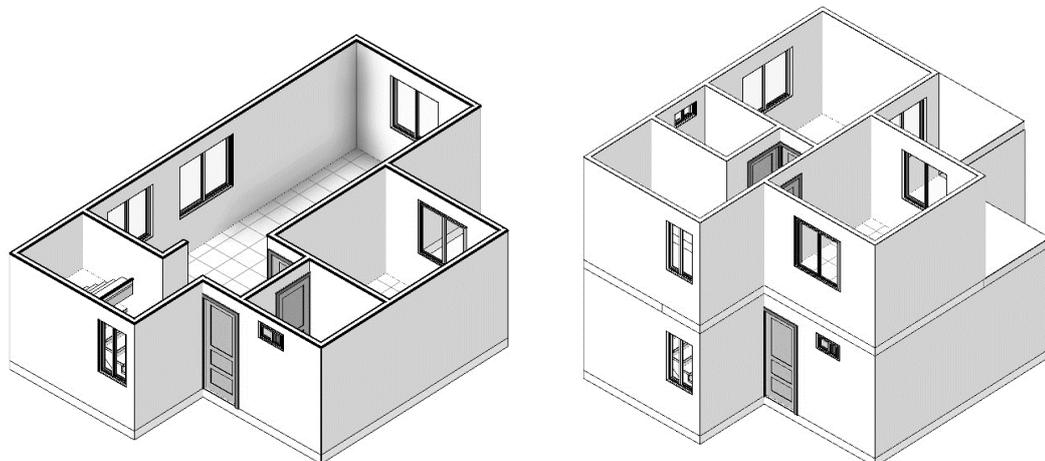
**Figura 176**

*Plano en planta del 1er y 2do nivel de la Vivienda SF10*



**Figura 177**

*Vista Isométrica de la Vivienda SF10*



Se prosiguió con la metodología de diseño de manera consistente con la aplicada para las viviendas que se han modelado en esta investigación con el respectivo sistema estructural, se tomaron en cuenta los siguientes factores de diseño:

**Tabla 39**

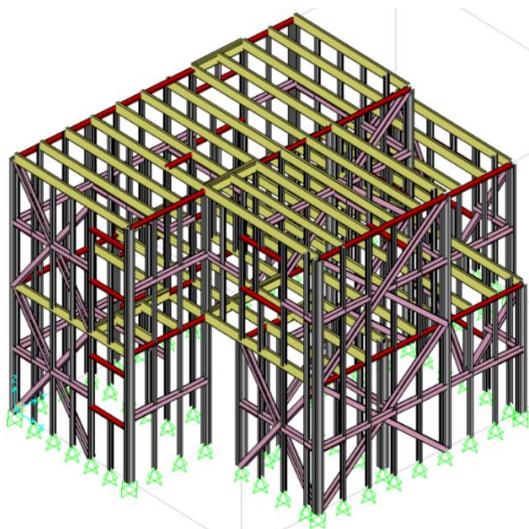
*Parámetros de diseño Sismorresistentes para la Vivienda SF10 eje X-X*

<b>Parámetros de Diseño</b>		<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
Factor de Zona	Zona 4	Z=0.45g	Z=0.45g
Factor de Suelo	S1 Roca o Suelos muy Rígidos	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5	S=1.00; TP=0.40; TL=2.5
Factor de Uso	C Edificaciones Comunes	U=1.00	U=1.00
Periodo de vibración fundamental		0.303626 seg	0.193549 seg
Coefficiente de Amplificación		C=2.5	C=2.5
Coefficiente de Reducción de diseño	Pelaes et al. (2020)	3	3
Peso de la estructura (kg)		12696.1	

Luego de haber definido la distribución de los muros, se llevó a cabo la continuación del proceso mediante el modelado de la Vivienda SF10 en el software de análisis estructural SAP2000.

**Figura 178**

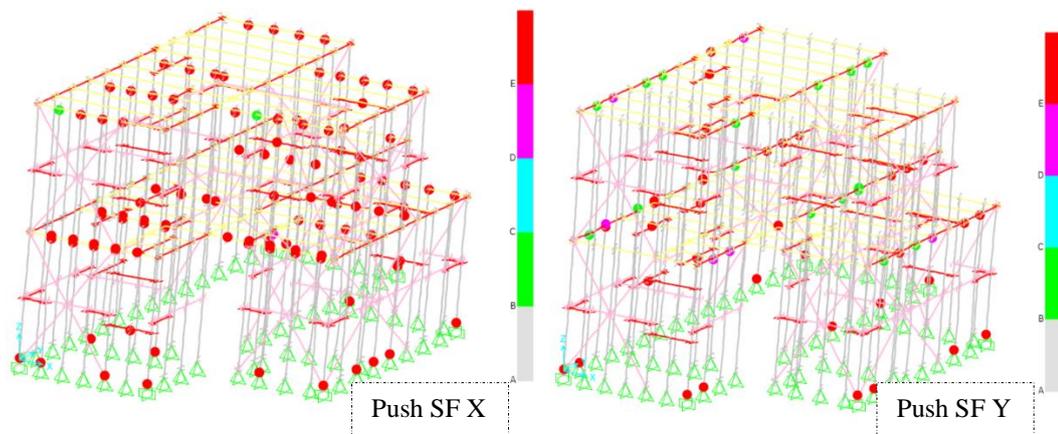
*Estructuración de la Vivienda SF10 en el software Sap2000*



Después de haber completado el proceso de modelado y la asignación de rotulas plásticas, se avanzó con determinación hacia la siguiente etapa crucial: la ejecución del análisis estático no lineal, siguiendo de cerca la metodología previamente establecida en las páginas anteriores de esta investigación. Al llevar a cabo el análisis, se logró obtener las curvas de capacidad para la Vivienda SF10.

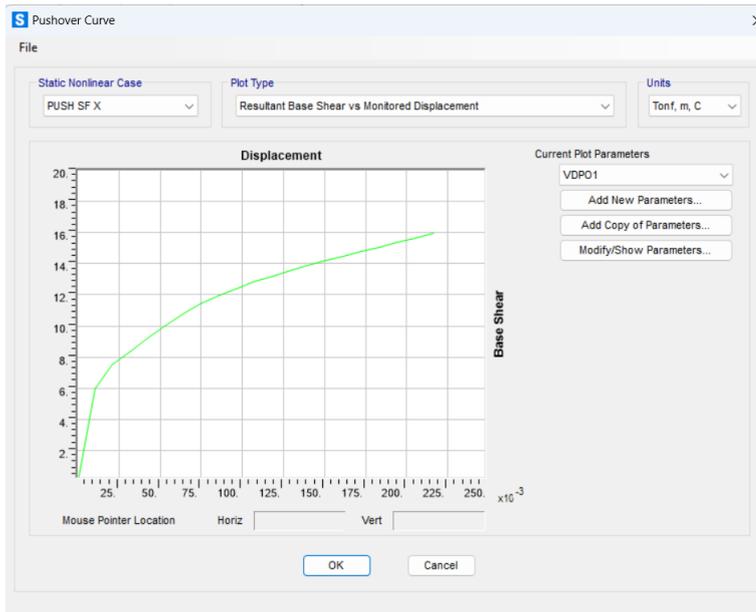
**Figura 179**

*Formación de rotulas plásticas en los montantes en la Vivienda SF10*



**Figura 180**

*Gráfico de la curva Pushover en la dirección X-X de la Vivienda SF10*



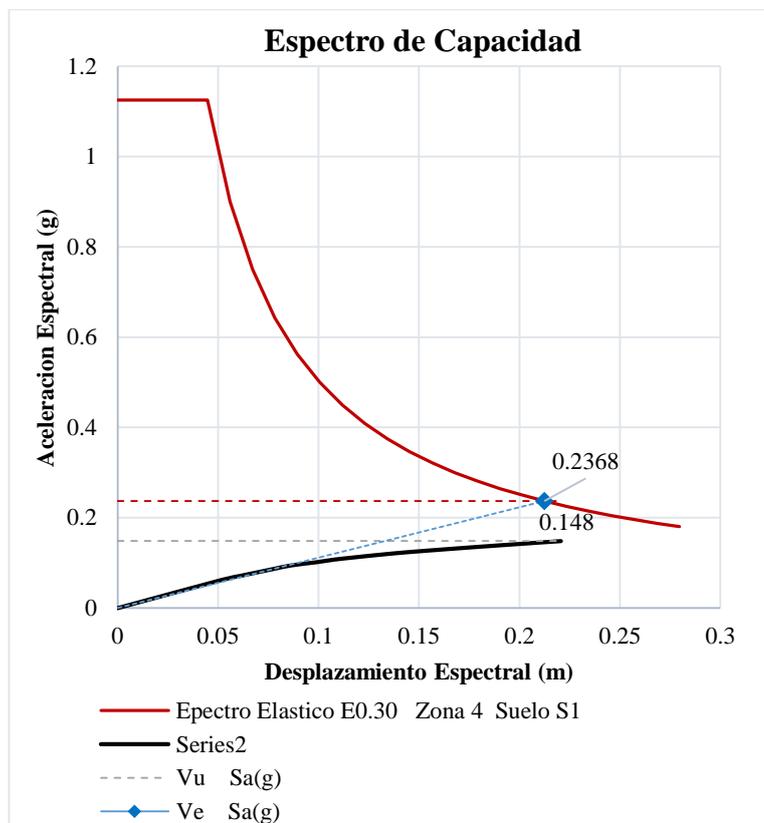


### Fuerza cortante de Elástica (Ve)

Al igual que con la vivienda anterior, el procedimiento para calcular el factor por ductilidad se realiza mediante la proyección del comportamiento elástico de la Vivienda SF10. Obteniéndose así el cortante elástico Ve.

**Figura 182**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF10 eje X-X*



**Figura 183**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF10 eje X-X*

R DUCTILIDAD	R SOBRE RESISTENCIA	COEFICIENTE DE REDUCCION R
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
$V_e = 0.237$	$V_u = 15.948$	$R = 5.33$
$V_u = 0.148$	$V_d = 4.770$	
$R_d = 1.595$	$\Omega = 3.343$	

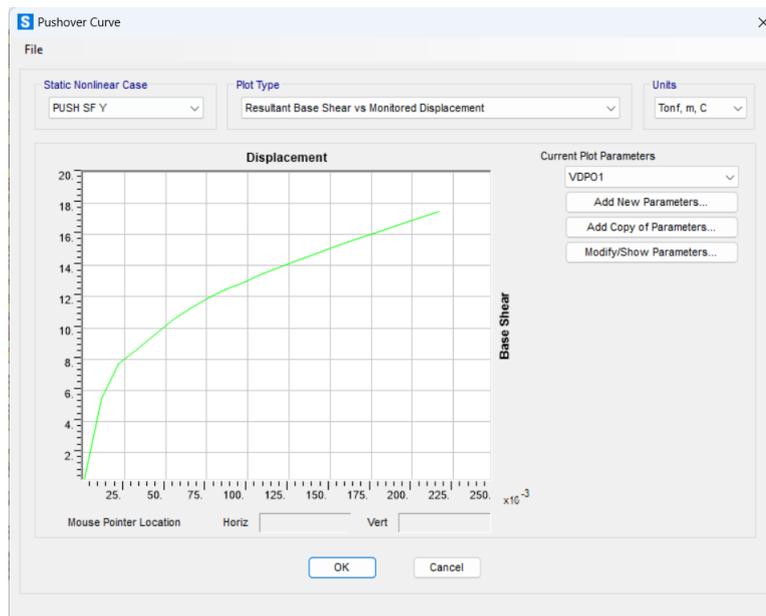
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.595 y el factor de sobre resistencia es de 3.343, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **5.33**.
2. Para un sismo raro, la estructura ubicada en la zona 4 y un suelo tipo S1, presenta un nivel de desempeño de “**Ocupación inmediata**”.

De igual manera, se procedió con la representación gráfica de las curvas de aptitud y los espectros de rendimiento en la orientación Y-Y, como un elemento esencial dentro del procedimiento para adquirir el coeficiente de disminución.

**Figura 184**

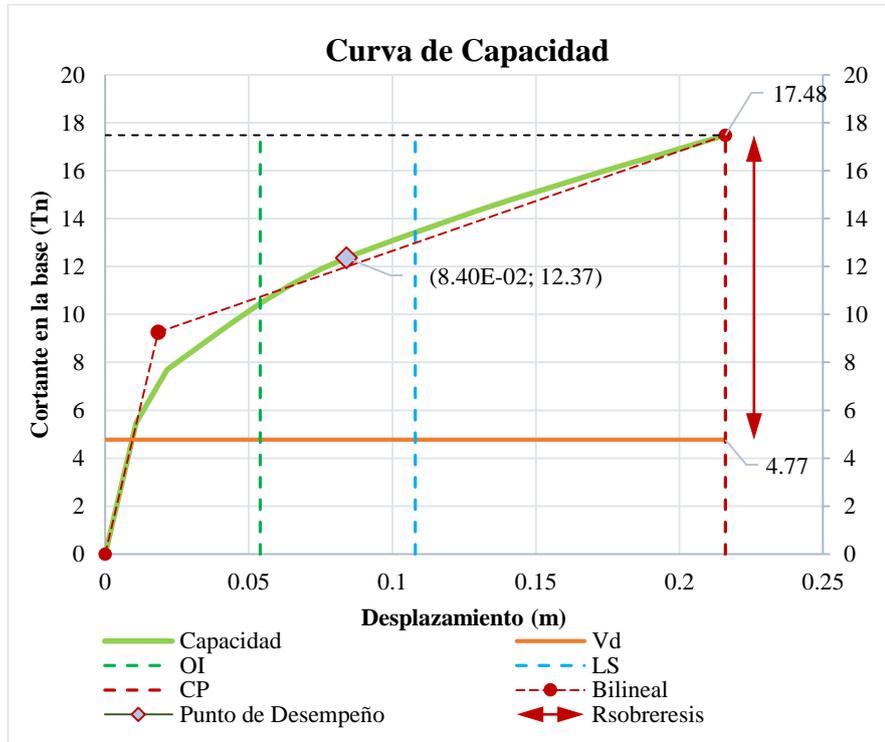
*Gráfico de la curva Pushover en la dirección Y-Y de la Vivienda SF10*



Así como se realiza en el eje X, la determinación del factor de sobre resistencia en el eje Y implica calcular la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ). De esta manera se puede calcular el factor de sobre resistencia para la Vivienda SF10.

**Figura 185**

*Cálculo del coeficiente de sobrerresistencia para la Vivienda SF10 eje Y-Y*



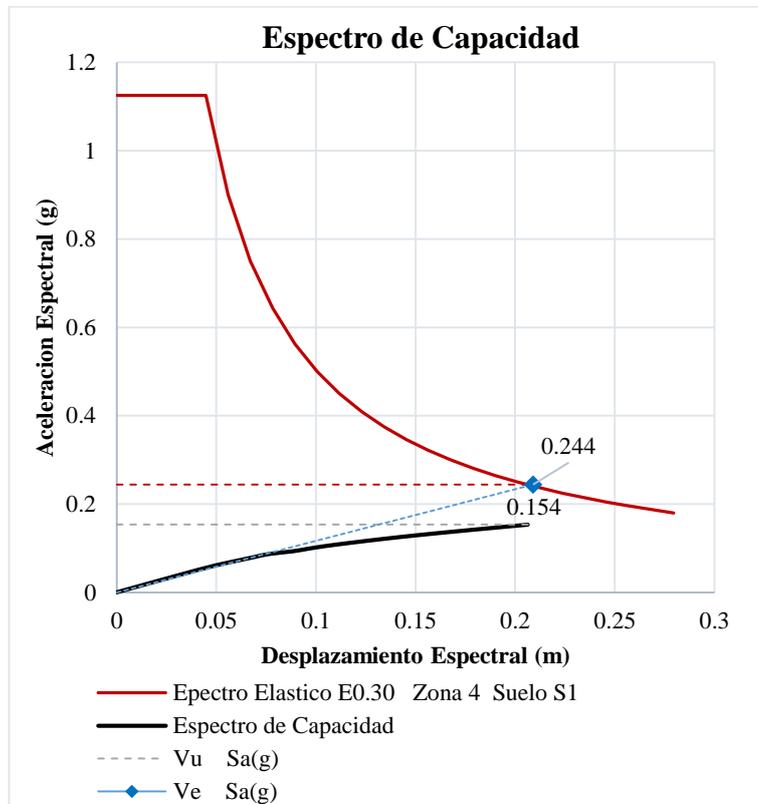
De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. En el escenario de un sismo catalogado como raro, la estructura situada en la Zona 4 y sobre un suelo de tipo S1 exhibe un nivel de desempeño clasificado como "**Ocupación inmediata**". Esta evaluación se basa en la capacidad de la edificación después de un sismo, la estructura retiene en gran medida tanto su resistencia como su rigidez original, lo que garantiza la continuidad de sus funciones y servicios.

Después de llevar a cabo la relación entre el cortante máximo ( $V_u$ ) y el cortante de diseño ( $V_d$ ) en el eje Y, se avanza con el cálculo del cortante elástico ( $V_e$ ), utilizando el procedimiento previamente explicado. Posteriormente, se realiza el cálculo del Coeficiente de Reducción ( $R$ ) en función de estos dos factores determinados.

**Figura 186**

*Cálculo del coeficiente de ductilidad para la Vivienda SF10 eje Y-Y*



**Figura 187**

*Cálculo del coeficiente de Reducción para la Vivienda SF10 eje X-X*

<b>R DUCTILIDAD</b>	<b>R SOBRE RESISTENCIA</b>	<b>COEFICIENTE DE REDUCCION R</b>
$R_d = \frac{V_e}{V_u}$	$\Omega = \frac{V_u}{V_d}$	$R = R_d \times \Omega$
Sa(g)	Tn	
Ve= 0.244	Vu= 17.477	<b>R= 5.82</b>
Vu= 0.154	Vd= 4.770	
<b>R<sub>d</sub> = 1.588</b>	<b>Ω = 3.664</b>	

De la figura mostrada se obtienen los siguientes resultados:

1. El factor de ductilidad es de 1.588 y el factor de sobre resistencia es de 3.664, obteniéndose como producto de ambos factores, el coeficiente de reducción **R** igual a **5.82**.

#### 4.9 Presentación de resultados

Después de adquirir los valores de las fuerzas cortantes requeridas para determinar tanto los factores de ductilidad como los de sobrerresistencia, se llevó a cabo los cálculos correspondientes. Los resultados de este proceso se detallan de manera exhaustiva en las tablas subsiguientes, proporcionando una visión detallada de los valores obtenidos a partir de dicho cálculo.

**Tabla 41**

*Resultados del cálculo del coeficiente de Sobrerresistencia*

<b>Descripción</b>	<b>Eje</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Periodo (Sec)</b>	<b>Vd (Tn)</b>	<b>Vu (Tn)</b>	<b><math>\Omega</math></b>
Vivienda SF1	X-X	7725.1	0.38892	2.900	10.231	<b>3.528</b>
	Y-Y		0.384151	2.900	9.452	<b>3.259</b>
Vivienda SF2	X-X	7924.28	0.101454	2.980	9.795	<b>3.287</b>
	Y-Y		0.087743	2.980	9.488	<b>3.184</b>
Vivienda SF3	X-X	10869.59	0.417822	3.900	16.374	<b>4.198</b>
	Y-Y		0.316315	4.080	18.025	<b>4.418</b>
Vivienda SF4	X-X	16820.96	0.147823	6.310	15.363	<b>2.435</b>
	Y-Y		0.126426	6.310	22.399	<b>3.550</b>
Vivienda SF5	X-X	14630.4	0.128579	5.490	19.326	<b>3.520</b>
	Y-Y		0.126383	5.490	21.243	<b>3.869</b>
Vivienda SF6	X-X	22984.5	0.167303	8.620	18.861	<b>2.188</b>
	Y-Y		0.151161	8.620	20.148	<b>2.337</b>
Vivienda SF7	X-X	21798.4	0.168991	8.180	19.010	<b>2.324</b>
	Y-Y		0.166817	8.180	19.114	<b>2.337</b>
Vivienda SF8	X-X	17341.4	0.207339	6.510	13.735	<b>2.110</b>
	Y-Y		0.147497	6.510	19.810	<b>3.043</b>
Vivienda SF9	X-X	11308.4	0.173038	4.250	13.593	<b>3.198</b>
	Y-Y		0.147218	4.250	13.447	<b>3.164</b>
Vivienda SF10	X-X	12696.1	0.303626	4.770	15.948	<b>3.343</b>
	Y-Y		0.193549	4.770	17.477	<b>3.664</b>

En la tabla subsiguiente, se presentan detalladamente los resultados derivados del cálculo de los coeficientes de ductilidad correspondientes a cada una de las residencias analizadas en ambas direcciones.

**Tabla 42***Resultados del cálculo del coeficiente de Ductilidad*

<b>Descripción</b>	<b>Eje</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Periodo (Sec)</b>	<b>Ve (Sa)</b>	<b>Vu (Sa)</b>	<b>R<math>\mu</math></b>
Vivienda SF1	X-X	7725.1	0.38892	0.375	0.208	<b>1.803</b>
	Y-Y		0.384151	0.387	0.241	<b>1.604</b>
Vivienda SF2	X-X	7924.28	0.101454	0.375	0.181	<b>2.068</b>
	Y-Y		0.087743	0.367	0.179	<b>2.047</b>
Vivienda SF3	X-X	10869.59	0.417822	0.288	0.217	<b>1.327</b>
	Y-Y		0.316315	0.321	0.229	<b>1.400</b>
Vivienda SF4	X-X	16820.96	0.147823	0.265	0.116	<b>2.272</b>
	Y-Y		0.126426	0.319	0.163	<b>1.954</b>
Vivienda SF5	X-X	14630.4	0.128579	0.300	0.158	<b>1.899</b>
	Y-Y		0.126383	0.302	0.189	<b>1.600</b>
Vivienda SF6	X-X	22984.5	0.167303	0.236	0.104	<b>2.260</b>
	Y-Y		0.151161	0.231	0.111	<b>2.087</b>
Vivienda SF7	X-X	21798.4	0.168991	0.225	0.109	<b>2.069</b>
	Y-Y		0.166817	0.227	0.110	<b>2.067</b>
Vivienda SF8	X-X	17341.4	0.207339	0.215	0.094	<b>2.278</b>
	Y-Y		0.147497	0.275	0.129	<b>2.127</b>
Vivienda SF9	X-X	11308.4	0.173038	0.271	0.139	<b>1.948</b>
	Y-Y		0.147218	0.281	0.138	<b>2.031</b>
Vivienda SF10	X-X	12696.1	0.303626	0.237	0.148	<b>1.595</b>
	Y-Y		0.193549	0.244	0.154	<b>1.588</b>

En las líneas que siguen, se presentan los resultados finales derivados de la multiplicación de los factores previamente calculados. Este producto proporciona el coeficiente de reducción sísmica para cada una de las estructuras analizadas en ambas direcciones. Posteriormente, se llevó a cabo el cálculo de la media geométrica con base en estos resultados, con el propósito de proponer un coeficiente de reducción sísmica constante (R) específicamente diseñado para el sistema estructural de viviendas situadas en la Zona Sísmica 4, en un suelo de tipo S1, y con la restricción de un máximo de 2 niveles, el valor de la media obtenido de R fue 5.782. Este enfoque busca consolidar un parámetro uniforme que refleje

de manera precisa la capacidad de resistencia sísmica de dichas estructuras en el contexto específico de su ubicación y características de construcción.

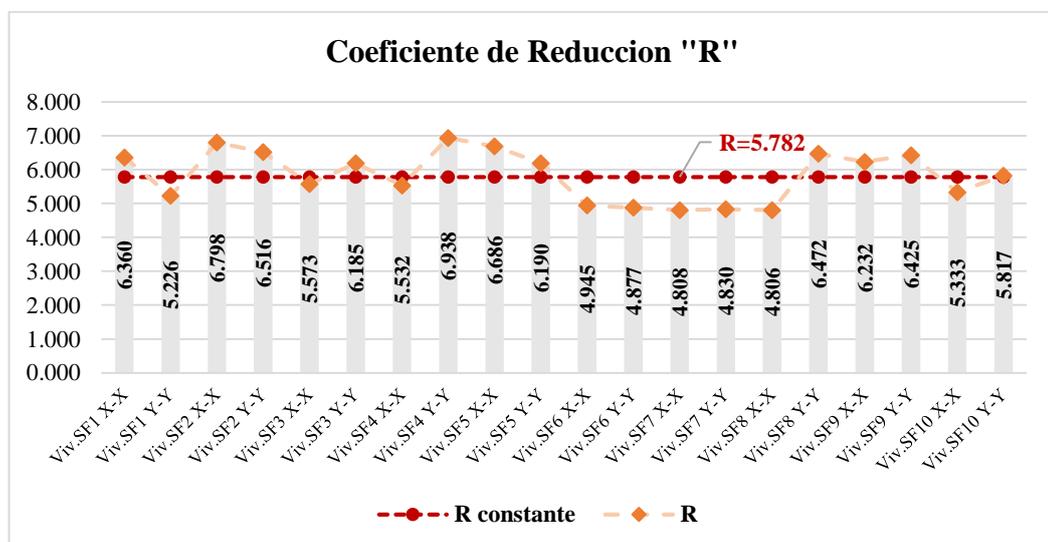
**Tabla 43**

*Resultados del factor de reducción sísmica “R” para estructuras Steel Frame*

Descripción	Eje	$\Omega$	$R_{\mu}$	R
Vivienda SF1	X-X	3.528	1.803	<b>6.360</b>
	Y-Y	3.259	1.604	<b>5.226</b>
Vivienda SF2	X-X	3.287	2.068	<b>6.798</b>
	Y-Y	3.184	2.047	<b>6.516</b>
Vivienda SF3	X-X	4.198	1.327	<b>5.573</b>
	Y-Y	4.418	1.400	<b>6.185</b>
Vivienda SF4	X-X	2.435	2.272	<b>5.532</b>
	Y-Y	3.550	1.954	<b>6.938</b>
Vivienda SF5	X-X	3.520	1.899	<b>6.686</b>
	Y-Y	3.869	1.600	<b>6.190</b>
Vivienda SF6	X-X	2.188	2.260	<b>4.945</b>
	Y-Y	2.337	2.087	<b>4.877</b>
Vivienda SF7	X-X	2.324	2.069	<b>4.808</b>
	Y-Y	2.337	2.067	<b>4.830</b>
Vivienda SF8	X-X	2.110	2.278	<b>4.806</b>
	Y-Y	3.043	2.127	<b>6.472</b>
Vivienda SF9	X-X	3.198	1.948	<b>6.232</b>
	Y-Y	3.164	2.031	<b>6.425</b>
Vivienda SF10	X-X	3.343	1.595	<b>5.333</b>
	Y-Y	3.664	1.588	<b>5.817</b>

**Figura 188**

*Resultados y propuesta del coeficiente de Reducción “R” para estructuras Steel Frame*



#### **4.10 Contrastación de Hipótesis**

En cuanto a las hipótesis específicas:

**Como hipótesis específica 01, se había planteado:**

**“El análisis no lineal de estructuras por el método de espectro de capacidad ATC40/FEMA440, permitirá estudiar el comportamiento no lineal del sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado (Steel Framing)”.**

Al respecto menciono lo siguiente:

- Se utilizó el software de análisis estructural SAP2000 versión 24 para realizar el análisis estático no lineal, mediante el método del espectro de capacidad ATC 40/FEMA 440, el cual permitió estudiar el comportamiento no lineal de cada una de las viviendas de muros portantes de acero galvanizado (Steel Framing) en análisis.
- A partir de los análisis llevados a cabo en las diversas estructuras, se generaron las denominadas curvas de capacidad. Estas curvas representan esencialmente el comportamiento real de las estructuras cuando se someten a cargas externas dentro del rango no lineal. Estas representaciones gráficas ofrecen una visión detallada y precisa de cómo las estructuras responden y se deforman ante cargas significativas, proporcionando valiosa información sobre su capacidad para mantener la integridad estructural en situaciones no lineales. Estas curvas de capacidad son fundamentales para comprender el rendimiento estructural y son herramientas clave en la evaluación de la seguridad y la eficacia de las edificaciones frente a condiciones de carga extremas.

**Como hipótesis específica 02, se había planteado:**

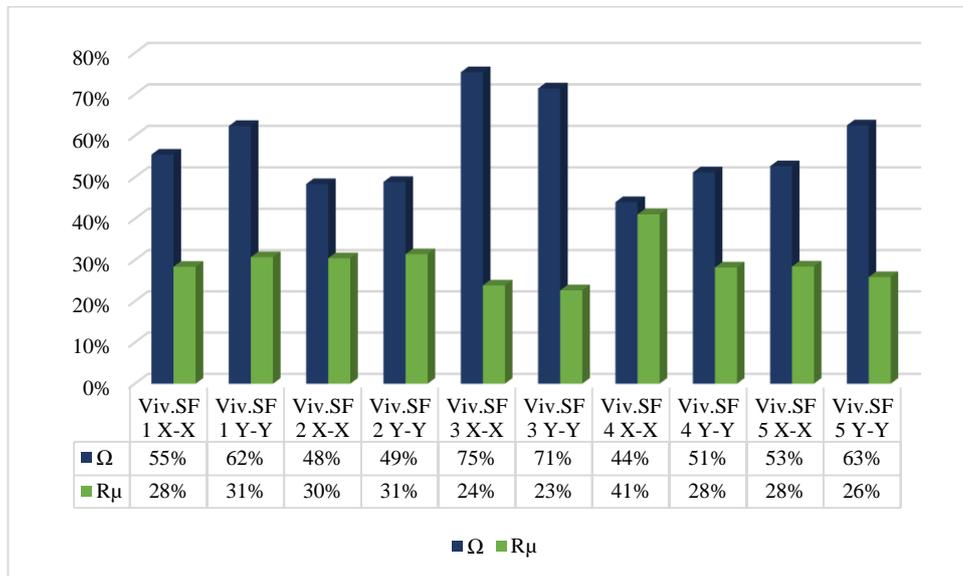
**“La obtención de la curva de capacidad de las estructuras modeladas permitirá evaluar la ductilidad y sobre resistencia de las mismas, y de estos resultados también se podrá estudiar la dependencia del factor de reducción con las variables que definen la respuesta de la estructura Steel framing”.**

Al respecto menciono lo siguiente:

- Las curvas de capacidad, derivadas de los análisis realizados, han posibilitado la evaluación tanto de la ductilidad como de la sobrerresistencia inherentes a cada una de las estructuras analizadas. Estos resultados, detallados en páginas anteriores, ofrecen una visión integral de la capacidad de las edificaciones para deformarse plásticamente y resistir cargas adicionales más allá de su capacidad de diseño convencional. La evaluación de la ductilidad proporciona información crucial sobre la capacidad de la estructura para absorber energía y soportar deformaciones significativas, mientras que la sobre resistencia revela su capacidad para resistir cargas excepcionales.
- La evaluación de la incidencia de los factores de ductilidad y sobrerresistencia en relación con el coeficiente de reducción permitió un análisis exhaustivo de la dependencia de este coeficiente con respecto a dichas variables, especialmente en el contexto de estructuras de Steel Framing.

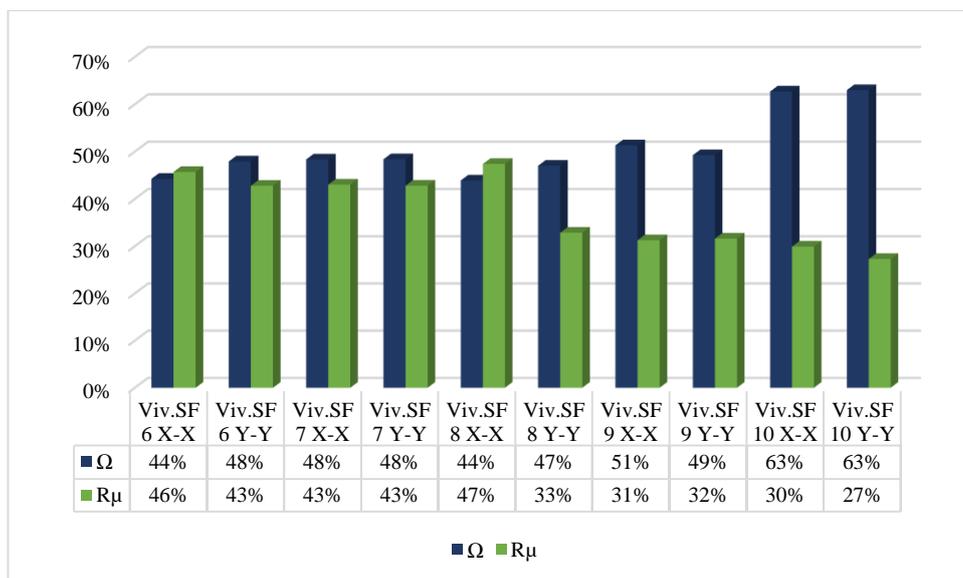
**Figura 189**

*Incidencia de los factores de Ductilidad y Sobre resistencia en viviendas de 1 nivel*



**Figura 190**

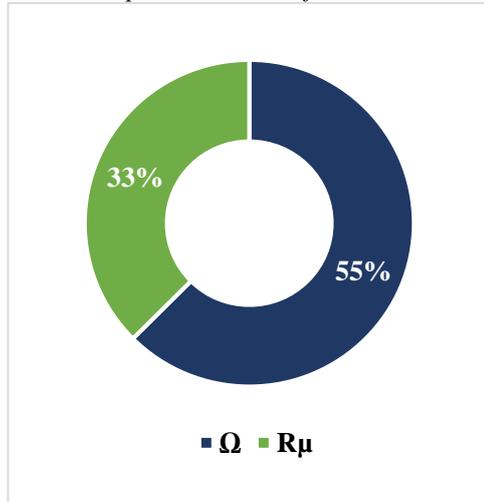
*Incidencia de los factores de Ductilidad y Sobre resistencia en viviendas de 2 niveles*



- Obteniéndose como incidencia promedio de los factores de ductilidad y sobrerresistencia en el valor del coeficiente de reducción R, a un 33% y 55% respectivamente para cada factor.

**Figura 191**

*Incidencia promedio de los factores de Ductilidad y Sobre resistencia en el coeficiente R*



**Como hipótesis específica 03, se había planteado:**

**“La realización del análisis no lineal a cada uno de los modelos permitirá estandarizar el valor del coeficiente de reducción sísmica para el mismo sistema estructural”.**

Al respecto menciono lo siguiente:

- De los resultados obtenidos gracias al análisis no lineal a cada uno de los modelos, se llevó a cabo el cálculo del coeficiente de reducción sísmica R, para cada una de las estructuras en la dirección X y, teniendo como media geométrica el valor de  $R=5.782$ , permitiendo de esta manera estandarizar este valor para viviendas construidas con el sistema estructural Steel Framing en la costa del Perú, específicamente en la zona sísmica 4 y ubicadas en un suelo tipo S1.

Finalmente, como hipótesis general se había planteado que:

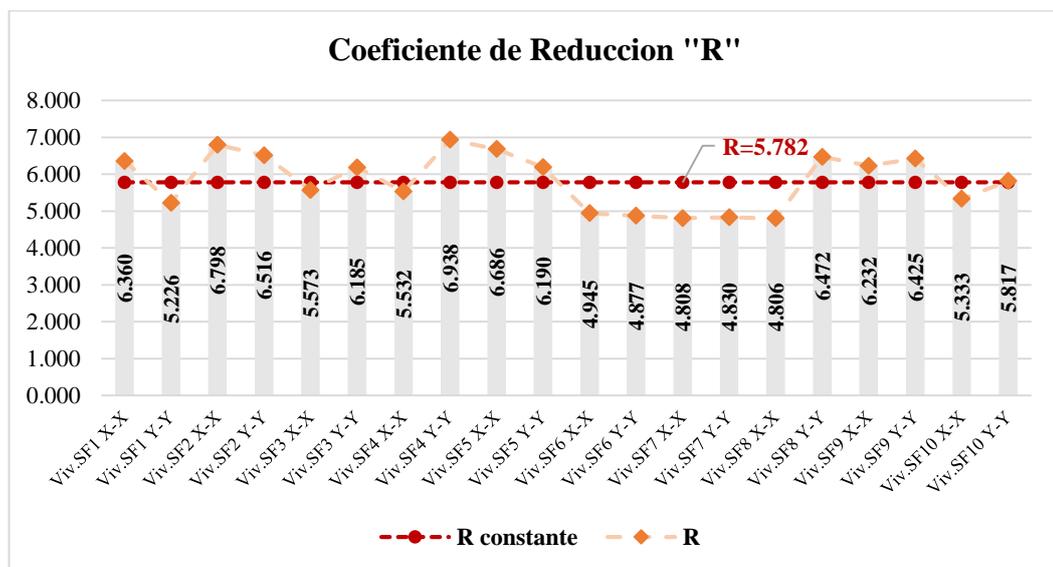
“La determinación del coeficiente básico de reducción sísmica  $R$ , que se obtendrá mediante el análisis estático no lineal Pushover siguiendo los códigos ATC 40/FEMA 440, permitirá proponer un valor teórico de este coeficiente, para estructuras con un sistema estructural de muros portantes de acero galvanizado ubicadas en la costa del Perú”.

Al respecto menciono lo siguiente:

- Gracias al análisis estático no lineal (Pushover) siguiendo las pautas del ATC 40/FEMA 440, realizado a 10 viviendas construidas con el sistema estructural Steel Framing ubicadas en la costa del Perú, se posibilitó la determinación del coeficiente de reducción sísmica  $R$  para cada una de estas estructuras en ambas direcciones. Pudiéndose de esta manera, proponer un valor teórico del coeficiente de reducción sísmica de 5.782 para  $R$ , para este sistema estructural en la sísmica 4 y un suelo S1.

**Figura 192**

*Resultados y propuesta del coeficiente de Reducción “R” para estructuras Steel Frame*



#### 4.11 Discusión de Resultados

Tras la obtención de los resultados, el siguiente paso consistirá en llevar a cabo una comparación con las investigaciones realizadas por otros autores. Esta fase tiene como objetivo identificar similitudes o diferencias significativas entre los hallazgos de este estudio y los de investigaciones previas.

Respecto a la incidencia de los factores de ductilidad y sobrerresistencia en el coeficiente de Reducción sísmica, Ancco (2021), en su tesis titulada "Análisis No Lineal de Estructuras Aporticadas de Concreto Armado para la Evaluación del Factor de Modificación de Respuesta Sísmica", determinó que la contribución de los subcomponentes del factor de reducción sísmica "R" era la siguiente:  $R_{\mu} = 49\%$  de R,  $R_{\Omega} = 22\%$  de R y  $R_R = 29\%$  de R. , mientras que como resultado de la presente investigación se obtuvieron los siguientes porcentajes de incidencia para el sistema estructural Steel framing  $R_{\mu} = 33\%$  de R y  $\Omega = 55\%$  de R, esto debido a que en su investigación utiliza el factor por redundancia, que ya no es necesario calcular actualmente, puesto que las normativas recientes mencionan que este factor ya está incluido en el factor de sobre resistencia, el cual se calculó en esta investigación.

La referencia a la tesis de Peláez y Contreras (2020), titulada "Diseño estructural del sistema Steel Framing de una vivienda de 2 pisos, urbanización Soliluz, Trujillo, La Libertad", revela una diferencia en el enfoque del factor de reducción sísmica (R) en comparación con los hallazgos de la presente investigación. En la tesis mencionada, se propone un valor de  $R=3$  para el diseño de una estructura de Steel Frame en la Zona 4 y suelo tipo S3.

En contraste, los resultados de la presente investigación respaldan la propuesta de un coeficiente de reducción sísmica ( $R$ ) de 5.782 para viviendas construidas con el sistema estructural Steel Framing en la costa del Perú, específicamente en la Zona Sísmica 4 y en suelo tipo S1. Estos resultados indican que este tipo de estructuras no solo es capaz de resistir las fuerzas sísmicas más allá de su límite elástico, sino que también demuestran una capacidad significativa para adaptarse y absorber deformaciones plásticas de manera efectiva.

La propuesta de un valor de  $R=5.782$  en la presente investigación sugiere una adaptación más ajustada y realista a las condiciones locales y a las características específicas del sistema Steel Framing en la región mencionada. Esta diferencia resalta la importancia de considerar cuidadosamente las condiciones geográficas y sísmicas particulares al determinar los coeficientes de reducción sísmica para estructuras específicas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primero.** Se determina lo siguiente, para estructuras de Steel Framing de 2 niveles cuyas condiciones geotécnicas pertenecen a un suelo tipo S1 del reglamento E.030, ubicadas en la zona sísmica 4, en la costa del Perú, se propone un valor teórico para el coeficiente de reducción sísmica equivalente a  **$R=5.782$** .

**Segundo.** El método del espectro de capacidad propuesto por el ATC 40 / FEMA 440, hace posible estudiar el comportamiento de estructuras del sistema Steel Framing, con la ayuda del software de análisis y diseño estructural SAP2000, pues este incluye la normativa correspondiente para realizar este método.

**Tercero.** La incidencia del factor de ductilidad  **$R_{\mu}$**  en el coeficiente de reducción sísmica  **$R$**  es de un 33% en promedio y la incidencia del factor de sobrerresistencia  **$\Omega$**  en el coeficiente de reducción sísmica  **$R$**  es de un 55% en promedio para estructuras con un sistema estructural de Steel Framing.

**Cuarto.** Las definiciones del NEHRP FEMA P-2192 V2, mediante la formulación de  $R = R_{\mu} \times \Omega$ , posibilita determinar el coeficiente de reducción  $R$  para las estructuras Steel Framing.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primero.** Luego de proponer de manera teórica el valor del coeficiente de reducción sísmica  $R$  para el sistema estructural Steel Frame, se recomienda que futuros tesisistas, el estado u otras entidades en el Perú realicen más investigaciones experimentales para discretizar el coeficiente para las demás zonas sísmicas.

**Segundo.** A los organismos encargados de elaborar nuestra normativa, se les recomienda incluir el sistema estructural no convencional Steel Framing, en la tabla de sistemas estructurales, así como criterios técnicos, por ser este un sistema en pleno auge y con poca información técnica originada en nuestro país.

**Tercero.** Al ver que el sistema estructural en el país, se ejecuta de forma inadecuada, se recomienda generar alguna normativa que asegure la sismo resistencia en este tipo de estructuras y la correcta ejecución del sistema estructural Steel Framing.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Applied Technology Council. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings ATC-40*. Estados Unidos de Norte America: ASCE.
- Ardila, J. (2016). *Evaluación del coeficiente de disipación energía, R, para edificios con un sistema estructural combinado de muros y pórticos en concreto, con diferente número de pisos* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57214>
- Arnold, C. & Reitherman, R. (1988). *Configuración y diseño sísmico de edificios*. México D.F.: Limusa.
- Bustamante, B. (2015). *Análisis del factor de reducción sísmica, efectos en el desempeño sísmico y propuesta de valores refinados para edificios duales de 5 a 8 niveles en la ciudad de Arequipa* (tesis de pregrado). Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú.
- Carpio, M. (2014). *Diseño estructural de una vivienda aplicando el sistema constructivo steel framing* (tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Azuay, Ecuador.
- Chopra, A. (2014). *Dinámica de estructuras* (4ª ed.). Estados Unidos de Norte America: University of California at Berkeley.
- Crisafulli, F. & Villafañe, E. (2002). Espectros de respuesta y diseño. *Ingeniería Sismorresistente*, 01(22), 2-3.
- Dannemann, R. (2007). *Manual de ingeniería del steel framing al acero*. Recuperado de [https://cms.alacero.org/uploads/manual\\_ingeneria\\_steel\\_framing\\_cc1026e19b.pdf](https://cms.alacero.org/uploads/manual_ingeneria_steel_framing_cc1026e19b.pdf).

- Del Carpio, F. & Soto, A. (2022). Analysis of the magnitude of the seismic waves energy transferred to the foundation of a building. *Revista Ingenieria de Construccion*, 37(2), 131-133. Recuperado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071850732022000200131&script=sci\\_abstract&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071850732022000200131&script=sci_abstract&tlng=en)
- Delgadillo, J. (2005). *Análisis no lineal estático de estructuras y la norma E-030* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/766>
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings FEMA 356*. Estados Unidos de Norte América: ASCE.
- Gálvez, A. (2008). *Propuesta del factor de reducción de fuerza sísmica para sistemas estructurales en concreto armado con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wpcontent/uploads/sites/109/2008/04/ValorR-en-SMDL.pdf>
- Hernández, R. (2010). *Metodología de la investigación* (5ª ed.). México: Mc Graw Hill.
- Huapaya, R. (2017). *Evaluación de los indicadores de comportamiento sísmico de edificios con sistema aporticado a través del método estático no lineal* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/1305>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Newmark, N. & Hall, W. (1982). *Earthquake Spectra And Design*. Estados Unidos de Norte América: Department of Civil Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Sarmanho, A. & Moraes, R. (2007). *Steel framing: arquitectura al acero*. Recuperado de [https://cms.alacero.org/uploads/steel\\_framing\\_arquitectura\\_5289010238.pdf](https://cms.alacero.org/uploads/steel_framing_arquitectura_5289010238.pdf)
- Scaramelli, F. (2017). *Efecto de la sobre resistencia y el nivel de ductilidad sobre la probabilidad de falla ante la ocurrencia de sismos* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146432>
- Zabala, A. (2017). *Modelado y análisis pushover de la respuesta sísmica de estructuras de acero* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia.