



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL Y LA AFECTACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR SISMO DE UN EDIFICIO ESTRUCTURADO A BASE DE MDL DEL CONDOMINIO CIUDAD VERDE 4TA ETAPA, LIMA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

**Autor:**

David Ananias Chavez Obregon

**Asesor:**

Mg. Ing. Gerson Elías Vega Rivera

Lima - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico a mis padres (Emiliano Chávez L. y Pascuala Obregón A.) por ser el pilar fundamental para mi formación profesional, los primeros y los más importantes maestros que enmarcaron mi niñez con sus palabras de aliento de mis derrotas y por su apoyo incondicional durante la permanencia universitaria.

## AGRADECIMIENTO

¿Cómo agradecer cuándo hay tantas personas a las que les debes algo?, esta línea de investigación es una muestra de agradecimiento a mis hermanos, quienes fueron influyentes modelos a seguir sus pasos de día a día, quisiera dar gracias en especial:  
A mi hermano Hugo Chávez Obregón, por ser el pilar de toda mi formación académica, y depositar su confianza para culminar mis estudios.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>11</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1. Realidad Problemática</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	<b>25</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>27</b>
<b>1.4. Hipótesis</b> .....	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1. Tipo de investigación</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2. Población y muestra</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</b> .....	<b>30</b>
<b>2.4. Procedimientos</b> .....	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....	<b>89</b>
<b>3.1. Resultado del objetivo 1</b> .....	<b>89</b>
<b>3.2. Resultado del objetivo 2</b> .....	<b>91</b>
<b>3.3. Resultado del objetivo 3</b> .....	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>95</b>
<b>4.1. Discusiones</b> .....	<b>95</b>
<b>4.2. Conclusiones</b> .....	<b>97</b>
<b>4.3. Recomendaciones</b> .....	<b>98</b>

<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores para el factor de modificación $C_0$ .....	39
Tabla 2 Valores del factor de masa efectivo $C_m$ .....	40
Tabla 3 Valores para el factor de modificación $C_2$ .....	41
Tabla 4 Niveles de desempeño y estado de daño según comité VISION 2000.....	46
Tabla 5 Especificaciones de las características mecánicas de los materiales usadas en el proyecto.....	49
Tabla 6 Equivalencia de fierro corrugado ( $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ ) y malla electrosoldada ( $f_y=5000\text{kg/cm}^2$ ) .....	50
Tabla 7 Parámetro sísmico según la norma E-030.....	50
Tabla 8 Asignación de cargas concentradas por metro cuadrado .....	51
Tabla 9 Metrado de carga muerta o peso propio.....	51
Tabla 10 Periodos y porcentaje de masa equivalente asociada a cada modo de vibración .....	58
Tabla 11 Desplazamiento de entrepisos en dos direcciones de análisis "X" y "Y". .....	60
Tabla 12 Desplazamientos de techo para cada nivel de piso con patrón modal de carga asignada .....	62
Tabla 13 Desplazamiento objetivo según niveles de desempeño para curva de capacidad.....	69
Tabla 14 Nivel de desempeño esperado: criterio de seguridad básica.....	69
Tabla 15 Registro de sismos más fuertes en los últimos 25 años .....	70
Tabla 16 Desplazamiento de entre pisos con los diferentes sismos presentados.....	71
Tabla 17 Objetivo de desempeño esperado del análisis estático no lineal Pushover.....	89
Tabla 18 Control de desplazamiento de análisis lineal vs análisis no lineal .....	90
Tabla 19 Desplazamiento objetivo para cada registro sísmico de la estructura analizada .....	91
Tabla 20 Drift de del análisis no lineal vs drift de registro sísmico de Callao y Ancash.....	92
Tabla 21 Desplazamiento objetivo de registro sísmico más desfavorable .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Riesgo sísmico en América Latina y la zona más vulnerable del Perú, extraído de USGS, <a href="http://www.seismo.ethz.ch">www.seismo.ethz.ch</a> .	14
Figura 2. Tensiones máximas en los muros marcados en círculo de la figura a) y b), extraído del informe de (Medina & Music, 2018).	18
Figura 3. Niveles recomendados de desempeños esperados, elaborado por visión 2000.	19
Figura 4. Curva de fragilidad y niveles de desempeño según propuesta de comité visión 2000, fuente elaboración de (González & García, 2018).	19
Figura 5. Daño que sufrirían los EMDL en un sismo raro, elaborado por (Delgado & Rodríguez, 2006).	21
Figura 6. Flujograma de procesos de diseño basado en desempeño.	34
Figura 7. Ilustración de un análisis estático no lineal (AENL).	35
Figura 8. Secuencia de rotulas plásticas en una estructura, a) Rotulas en los muros y techos, b) Rotulas en traslación en los muros, c) Rotulas en muros d) Traslación lateral en el techo, e) Rotulas mixtas.	35
Figura 9. Cambio de estado de un muro, representado como una rotula plástica.	36
Figura 10. Curva de capacidad de una estructura, por coeficientes.	38
Figura 11. Determinación de punto de desempeño por método de los coeficientes.	42
Figura 12. Ejemplo de factores de participación modal y coeficientes de masa modal.	43
Figura 13. Curva espectral en formato estándar (Sa-T) a formato ADRS (Sa-Sd).	44
Figura 14. Espectro de capacidad superpuesto sobre espectros de respuesta en formatos tradicionales y ADRE, fuente ATC 40.	45
Figura 15. Ubicación del proyecto de investigación, elaboración propia.	47
Figura 16. Distribución de muros en dirección "X" y "Y" del condominio residencial ciudad verde 4ta etapa, vista en planta de Etabs.	48
Figura 17. Modelo estructural 3D en ETABS-2017 del condominio residencia ciudad Verde 4ta etapa, elaboración propia.	49
Figura 18. Características de no linealidad concreto no confinado.	52
Figura 19. Características de acero de refuerzo.	52
Figura 20. Curva de esfuerzo deformación de concreto sin confinar, informe de Gálvez 2012.	53

Figura 21. Comparación de Curva de esfuerzo - deformación de acero corrugado y malla electrosoldada. ....	53
Figura 22. Muros estructurales del sistema MDL, en toda la planta sigue el mismo patrón..	54
Figura 23. Detalle típico de losa de MDL.....	55
Figura 24. Relación generalizada carga – deformación, FEMA-365. ....	55
Figura 25. Relación generalizada carga – porcentaje deformación, FEMA-365.....	55
Figura 26. Presentación de la cortante basal estático en ambas direcciones. ....	56
Figura 27. Distribución de las fuerzas estáticas en las alturas .....	57
Figura 28. Espectro de demanda según parámetros sísmicos. ....	59
Figura 29. Verificación de control de desplazamientos de entrepiso según sismo en X y Sismo en Y.....	60
Figura 30. Asignación de patrones de carga en ETBS, como una carga no lineal. ....	61
Figura 31. Asignación de las fallas en los muros.....	61
Figura 32. Desplazamientos obtenidos del software ETABS.....	62
Figura 33. Curva de capacidad de MDL (Fuerza – Desplazamiento), elaboración propia.....	63
Figura 34. Desplazamiento objetivo en la dirección de análisis X, mediante análisis no lineal pushover.....	63
Figura 35. Desplazamiento objetivo en la dirección de análisis Y, mediante análisis no lineal pushover.....	64
Figura 36. Objetivo esperado de la estructura en dirección “X”. ....	64
Figura 37. Objetivo esperado de la estructura en dirección “Y”. ....	65
Figura 38. Verificación de elementos estructurales, con el desplazamiento objetivo. ....	66
Figura 39. Espectros de respuesta sísmica de acuerdo con la magnitud de daño en el Perú. .	70
Figura 40. Verificación de control de desplazamiento de entrepisos en “X”, según la norma E-030, de acuerdo a los sismos presentados.....	72
Figura 41. Verificación de control de desplazamiento de entrepisos en “Y”, según la norma E-030, de acuerdo a los sismos presentados.....	72
Figura 42. Curva de capacidad para cada registro sísmico.....	73
Figura 43. Desplazamiento objetivo para el sismo de Callao 3 de octubre de 1966. ....	74

Figura 44. Desplazamiento objetivo para el sismo de Ancash 31 de mayo de 1970.....	74
Figura 45. Desplazamiento objetivo para el sismo de Pisco 15 de agosto de 2007.....	74
Figura 46. Desplazamiento objetivo para el sismo de Callao 1 de abril del 2014.....	75
Figura 47. Desplazamiento objetivo para el sismo de Ecuador (Amazonas) 22 de febrero del 2019.....	75
Figura 48. Capacidad estructural de todo el sistema de MDL, para sismos de Ancash 1970 y Callao 2007.....	76
Figura 49. Curva de capacidad del muro tipo L y desempeño objetivo. ....	77
Figura 50. Falla por flexión, Fuente informe del sismo Chile.....	79
Figura 51. Falla por flexión, falta de confinamiento en los extremos, informe de San Bartolomé, 2010.....	79
Figura 52. Falla por corte, del informe de San Bartolomé, 2010.....	80
Figura 53. Falla por corte – cizalle, informe de San Bartolomé, 2010.....	80
Figura 54. Falla por compresión, informe de San Bartolomé, 2010.....	81
Figura 55. Falla por pandeo, informe de San Bartolomen,2010.....	81
Figura 56. Fallas globales de una estructura, a) Desplazamiento máximo, b) Discontinuidad de diafragma, c) Desplazamiento de la estructura. ....	82
Figura 57. Identificación de las fallas que presentan los elementos estructurales del primer nivel.....	83
Figura 58. Identificación de las fallas que presentan los elementos estructurales del piso 2 al piso 9.....	83
Figura 59. Aumento de confinamiento en uniones de los muros largos de tipo L, para muros cortos.....	84
Figura 60. Aumento de confinamiento en uniones de los muros largos de tipo L, para muros largos.....	84
Figura 61. Secciones tipo de MDL, aumento de confinamiento en los extremos de los muros de 10 cm y 15 cm, para muros cortos y largos.....	84
Figura 62. Aumento de confinamiento en las uniones de los muros T.....	85
Figura 63. Aumento de confinamiento en uniones de los muros cortos de tipo +.....	85
Figura 64. Junta de dilatación de 1” en muros de 8 m de largo, con confinamiento en la separación para cada lado. ....	85

Figura 65. Replanteamiento de configuración estructural del primer nivel.....	86
Figura 66. Replanteamiento de configuración estructural del piso 2 hasta piso 9.....	87
Figura 67. Modelo final 3D en Etabs-2017. ....	87
Figura 68. Fallas en los muros para el sismo de Callao 1966.....	88
Figura 69. Fallas en los muros para el sismo de Ancash 1970. ....	88
Figura 70. Desplazamiento objetivo en dirección "X" vs límites establecidos por el comité visión 2000.....	89
Figura 71. Desplazamiento objetivo en dirección "Y" vs límites establecidos por el comité visión 2000.....	89
Figura 72. Control de desplazamientos de entrepiso, del análisis lineal vs análisis no lineal. ....	90
Figura 73. Desplazamiento objetivo según la propuesta de comité visión 2000 en la curva de capacidad pushover dinámico. ....	91
Figura 74. Control de drift en dirección "X" de análisis no lineal vs registro sísmico de Callao y Ancash.....	92
Figura 75. Control de drift en dirección "Y" de análisis no lineal vs registro sísmico de Callao y Ancash.....	92
Figura 76. Desplazamiento objetivo para sismos de Ancash, Callao y Pisco.....	93
Figura 77. Curva de capacidad final de muro de 15 cm. ....	94

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cortante basal estático .....	36
Ecuación 2 Periodo Fundamental Efectivo.....	38
Ecuación 3 Desplazamiento Objetivo .....	39
Ecuación 4 Relación de resistencia R .....	40
Ecuación 5 Coeficiente de desplazamiento debido a efectos dinámicos. ....	41
Ecuación 6 Factor de participación modal para la primera modalidad natural.....	43
Ecuación 7 Coeficiente de masa modal para el primer modo natural.....	43
Ecuación 8 aceleración espectral .....	43
Ecuación 9 Desplazamiento espectral.....	43
Ecuación 10 Espectro de desplazamiento en formato ADRS .....	44
Ecuación 11 Calculo de Espectro de desplazamiento.....	44
Ecuación 12 Fuerza sísmica en la altura. ....	57
Ecuación 13 Periodo fundamental expresada en segundos.....	57
Ecuación 14 Aceleración espectral .....	59
Ecuación 15 Constante de amplificación sísmica según periodo fundamental .....	59

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de Muros de Ductilidad Limitada (MDL), del condominio residencial ciudad verde 4ta etapa. Para determinar el nivel de desempeño se utilizó el Método de Espectro de Capacidad (MEC), el cual superpone el espectro de capacidad y demanda sísmica. El espectro de capacidad se construye a partir de la curva de capacidad de la estructura, de lo que se obtuvo del análisis no lineal pushover. El punto de desempeño se obtuvo con el programa ETABS y ESTERA 3D, con ello se evaluó los niveles de desempeño según la propuesta de comité visión 2000, encontrándose para una demanda sísmica de diseño en un nivel de desempeño de seguridad de vida y para sismos con intensidad mayores VIII, como es el caso del sismo Ancash 1970 y Callao 1966 la estructura se encontraba en un nivel de desempeño de pre colapso con daños severos en sus elementos. Si bien los edificios generalmente se diseñan para la resistencia sísmica mediante análisis elásticos, la mayoría experimentará deformaciones inelásticas significativas bajo grandes terremotos. Para mejorar el nivel de desempeño de pre colapso se propuso aumentar el confinamiento como elementos de borde en los extremos de los muros y columnas en los perímetros de la edificación, buscando así la fluencia del elemento, para que tienda a tener mayor desplazamiento con sismos de gran intensidad.

**Palabras clave:** Desempeño estructural, análisis no lineal elástico, análisis no lineal inelástico, capacidad estructural, demanda sísmica, espectro de capacidad.

## ABSTRACT

The main objective of the present investigation is to evaluate the structural performance and the impact of the structure by earthquake of a structured building based on Limited Ductility Walls (MDL), of the Ciudad Verde 4th stage residential condominium. To determine the level of performance, the Capacity Spectrum Method (MEC) was used, which superimposes the spectrum of capacity and seismic demand. The capacity spectrum is constructed from the capacity curve of the structure, from what was obtained from the non-linear pushover analysis. The performance point was obtained with the ETABS and ESTERA 3D program, with which the performance levels were evaluated according to the vision 2000 committee proposal, finding for a seismic design demand at a life safety performance level and for earthquakes with greater intensity VIII, as is the case of the Ancash 1970 and Callao 1966 earthquakes, the structure was at a pre-collapse performance level with severe damage to its elements. While buildings are generally designed for seismic resistance using elastic analysis, most will experience significant inelastic deformation under large earthquakes. To improve the level of pre-collapse performance, it was proposed to increase the confinement as edge elements at the ends of the walls and columns at the perimeters of the building, thus seeking the creep of the element, so that it tends to have greater displacement with earthquakes of great intensity.

**Keywords:** Structural performance, elastic nonlinear analysis, inelastic nonlinear analysis, structural capacity, seismic demand, capacity spectrum.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

El Perú, por la ubicación geográfica de la zona costera que se encuentran en el cinturón de fuego del pacífico, donde está comprendido entre una de las regiones con más actividad sísmica, por lo tanto, está expuesto a este peligro sísmico, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y económicas en nuestro país y el mundo (Castillo, 1993, pág. 1). Estas experiencias dejadas han dado pie a que el hombre busque e innoven nuevos métodos, técnicas y herramientas que les permitan mejorar el comportamiento de diferentes estructuras con la finalidad de mitigar los posibles daños producidos por los sismos, con ella se busca salvaguardar la vida de sus ocupantes y preservar el equipamiento e inmobiliario que hay dentro de nuestras edificaciones.



Figura 1. Riesgo sísmico en América Latina y la zona más vulnerable del Perú, extraído de USGS, [www.seismo.ethz.ch](http://www.seismo.ethz.ch).

Esto induce a que el hombre busque nuevas alternativas de construcción y capaces de soportar dichos fenómenos provocados por la acción de la naturaleza, por ello se ve esforzado la evolución de nuevos sistemas constructivos para las edificaciones altas, donde se busca sistemas de fácil construcción en tiempos récord y económico, pero principalmente sistemas sismorresistentes.

Basado a estas experiencias dejadas en la década del 80 se hicieron algunos edificios con muros portantes de concreto armado que resultaron económicos por el bajo costo de los materiales usados como el acero y el concreto. Estos edificios tenían muros de 15 cm de espesor, con una malla central y núcleos confinados en los extremos. A unos años después en la década del 90, debido al crecimiento abrupto de los costos de acero y la mano de obra en el mercado, se dejó de construir edificios de muros de concreto. (Blanco Blasco, 2006, pág. 6).

Según (Delgado & Rodríguez, 2006), desde el año 2001 los costos relativos del acero, concreto y mano de obra, permitieron a la comunidad de ingenieros peruanos retomar la construcción de edificios de muros de concreto. Las empresas concreteras y las productoras de acero, en coordinación con ingenieros proyectistas y constructores, lograron un edificio de muros de concreto armado de construcción muy rápida y bien planificada. El resultado fue un edificio económico y rápido en ejecución, un sistema apropiado para cubrir el déficit habitacional. Para ese entonces el costo para adquirir dichos inmuebles por los sectores con clase media baja y clase baja superior no cubrían los ingresos a los gastos generados por dichos inmuebles, debido a esta crisis el gobierno peruano contribuyó creando programas de ayuda para financiar condominios con departamentos y mini departamentos, ya que un 40% de la población se encontraba en clase baja superior y ellos fueron los que cubrieron las demandas inmobiliarias.

Para el año 2003 a 2004, ya se avían construido muchos edificios sin contar con una norma específica, sin embargo, a finales de 2004 el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) incorporó las disposiciones específicas para EMDL a las normas de diseño sismorresistente y concreto armado (Delgado & Rodríguez, 2006, pág. 15).

En la actualidad la construcción de este sistema de Muros de Ductilidad Limitada se ha convertido en la elección preferida debido a la velocidad de construcción y disponibilidad de

materiales (Carrillo & Alcocer, 2013, pág. 10), según la publicación de CAPECO para el año 2018 las construcciones inmobiliarias tienen un crecimiento de 6.13 % respecto al año anterior.

### **1.1.1. Antecedente**

En 1995 el comité visión 2000 y oficina de servicio de emergencia de California Sacramento, sacó diferentes documentos referentes a un marco conceptual por desempeño basado en ingeniería sísmica, en esos mismos años en 1996 sale el ATC 40 – SEISMIC EVALUATION AND RETROFIT OF CONCRETE BUILDING, esta norma es para determinar el punto de desempeño de una estructura a base de curva de capacidad que describe el comportamiento no lineal de la estructura. Pasado un año después en 1997 surge la norma FEMA 273 – NATIONAL EARTHQUAKE HAZARDS REDUCTION PROGRAM, esta norma toma el teorema de los coeficientes para determinar el análisis no lineal de las estructuras, es a partir de esta norma surgen nuevas normas con mejoras, como es el caso FEMA 356 – PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE REHABILITATION OF BUILDINGS, en esta norma se realizan comentarios y se optimiza el teorema de los coeficientes. En el año 2005 surge la norma FEMA 440 – IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES, esta norma mejora los procedimientos de análisis sísmico estático no lineal, se optimizó el método llamándose linealización equivalente, a partir de esta norma se crearon nuevas normas paralelas a ella, las cuales están la norma FEMA P-58-1 SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF BUILDINGS (2012), que evalúa básicamente el desempeño sísmico y las pérdidas económicas, a la misma en el año 2013 sale la norma ASCE/SEI 41-13 SEISMIC EVALUATION AND RETROFIT OF EXISTING BUILDINGS, unos años más tarde en 2017 sale la norma mejorada ASCE/SEI 41-17- SEISMIC EVALUATION AND RETROFIT OF EXISTING BUILDINGS, son normas

enfocadas a la evaluación sísmica y reforzamiento de edificaciones existentes, base a estas normas se origina el diseño por desempeño.

### ***Enfoque internacional.***

Según (Medina & Music, 2018, pág. 64), en su artículo de investigación de *"Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena, Chile"* señala que la mayoría de edificaciones están diseñadas sin haber considerado los niveles de desempeño, a falta de que las normas existentes para diseño sismo resistente, no incluyen el análisis por desempeño de distintos sistemas estructurales, por ende la mayoría de las edificaciones presentan una mala configuración de sus elementos estructurales y la carencia de acero de refuerzo, por lo que al evaluar el desempeño sísmico la mayoría de las edificaciones presentan un daño severo, para evidenciar esta falencia realiza una comparación de la norma chilena (NCh-2369, 2003), que considera para sus diseños la demanda sísmica de frecuente y ocasional con respecto a la norma española (FEMA-440, 2005), en ello presenta las diferencias de puntos de desempeño entre las dos formas consideradas para determinar espectros de desplazamiento elástico, se observan grandes diferencias en niveles de demanda sísmica frecuente, hasta 167% en desplazamiento techo y 165% en corte basal y ocasional, hasta 125% en desplazamiento de techo y 118% en corte basal.

Además, como un resultado primordial presenta las tensiones máximas en muros a partir de los puntos de desempeño para una demanda sísmica más desfavorable y para los desplazamientos máximos obtenidos en las curvas de capacidad.

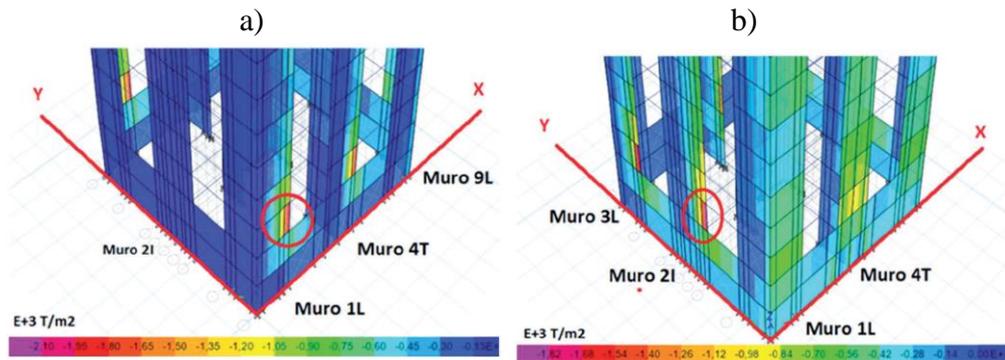


Figura 2. Tensiones máximas en los muros marcados en círculo de la figura a) y b), extraído del informe de (Medina & Music, 2018).

Según la investigación de (Junwon, Jong, & Burte, 2016), “*Seismic Performance Evaluation of Multistory Reinforced Concrete Moment Resisting Frame Structure with Shear Walls*” en Correa. Determina que los desplazamientos máximos aumentaron a lo largo de la altura de la estructura a medida que el nivel del piso de la estructura era más alto. Sin embargo, las distribuciones de las proporciones de deriva entre pisos correspondientes para ambos análisis son ligeramente diferentes de las de los desplazamientos máximos porque estas proporciones varían según los desplazamientos y las alturas relativas de las plantas. El análisis del historial de tiempo no lineal proporcionó valores un 28,1% y un 54,0% mayores en los desplazamientos máximos y las relaciones de deriva en comparación con los del análisis de espectros de respuesta.

Comité visión 2000 (SEAOC, 1995) especifica cuatro niveles de demanda definidos según su probabilidad de ocurrencia y período de retorno. Ellos son definidos como: movimientos sísmicos de diseño frecuente, ocasional, raro y muy raro que se aprecian en la figura 3, Sin embargo, estos sismos están orientados a la realidad geo sísmica norteamericana, por lo que requieren necesariamente de una calibración de sus límites adecuándose a la realidad sismo tectónica peruana, (Medina & Music, 2018).

El desempeño esperado de las edificaciones establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico ante los diferentes niveles de amenaza. La figura 3 presenta

los niveles de desempeño esperado para distintas edificaciones, conforme a su clasificación de acuerdo con el uso y ocupación de las instalaciones.

		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente (T=43 años)	1	0	0	0
	Ocasional (T=72 años)	2	1	0	0
	Raro (T=475 años)	3	2	1	0
	Muy Raro (T=970 años)	-	3	2	1

Figura 3. Niveles recomendados de desempeños esperados, elaborado por comité visión 2000.

Según la investigación de (González & García, 2018) de “*Curvas de Fragilidad Para Evaluar el Daño Sísmico en Edificios de Concreto Armado con Losas Reticulares*” en Barcelona. Se realizó estudios de desempeño sísmico considerando los niveles de desempeño por comité visión 2000 a diferentes estructuras, una de ellas a muros de concreto armado, donde determinan que los edificios bajos son los que presentan más daño. Este hecho, que parece sorprendente, puede ser debido a la mayor rigidez de estos edificios que causa que los estados de daño leve y moderado aparezcan para desplazamientos espectrales pequeños.

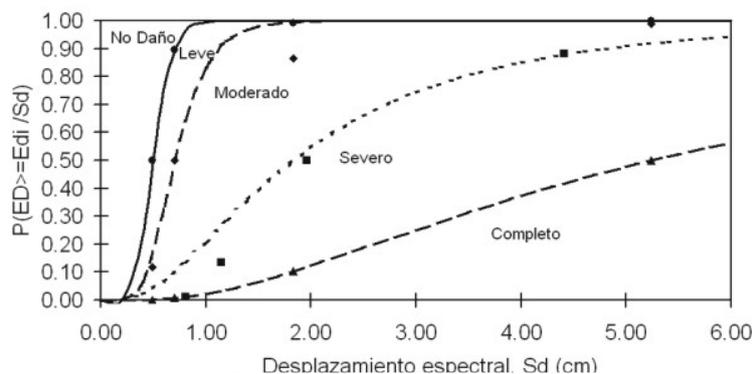


Figura 4. Curva de fragilidad y niveles de desempeño según propuesta de comité visión 2000, fuente elaboración de (González & García, 2018).

Se observó cómo los edificios más bajos tienen un mayor índice de daño, lo cual puede ser debido a que los edificios de poca altura poseen mayor rigidez y menos masa que los

edificios altos, por lo cual, el período es más bajo y las aceleraciones espectrales aumentan.

Según (Parker, 2016) en su artículo de investigación de "*Evaluación Del Comportamiento Sísmico De Edificación De Hormigón Armado*" menciona que; la provisión de carga sísmica en los códigos de construcción existentes se enfoca en las fuerzas sísmicas laterales mínimas para las cuales el edificio debe ser diseñado, pero no incorpora explícitamente las características de demanda y respuesta. Sin embargo, la especificación de las fuerzas laterales por sí sola no es suficiente para asegurar el nivel de protección deseado en un edificio cuando se somete a terremotos esperados de diferentes intensidades, la metodología de diseño debe proporcionar un medio de evaluación.

#### ***Enfoque nacional.***

(Chunque, 2013, pág. 21) indica en su estudio del "*Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio "A" de la Universidad Privada del Norte- Sede Cajamarca*", que la edificación alcanza una sobre resistencia de 2,4 respecto a la fluencia efectiva y una ductilidad de desplazamiento es cercana a 15 y que los resultados del desempeño sísmico de la edificación en la dirección longitudinal para los eventos sísmicos frecuente y ocasional son de nivel operacional y para un sismo raro el desempeño sísmico es nivel funcional, la ductilidad global de la estructura en esta dirección es 5,76 y tiene resistencia de 1,66. Para el análisis en la dirección transversal el nivel de desempeño sísmico es funcional ante los tres eventos sísmicos y la ductilidad global alcanzada por la edificación es de 8,58 y tiene resistencia de 1,81, finalmente se comparan las derivas alcanzadas para un sismo raro en la dirección longitudinal es 3%o y para la transversal es 4,4%o que no sobrepasan la deriva límite de 7%o establecido en la Norma Técnica Peruana (E – 030) de Diseño Sismorresistente. Los resultados del análisis efectuado en este estudio indican que la

edificación tiene un buen desempeño sísmico y por lo tanto no necesita reforzamiento estructural.

Según la investigación de (Delgado & Rodríguez, 2006) en su línea de investigación de “*Edificios peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada (MDL)*”, hace mención que la gran parte de edificios que se construyen hoy en día tienen como sistema estructural Muros de Ductilidad Limitada, para ver la capacidad de desempeño frente a demanda sísmica existente en el Perú, realiza un estudio de un edificio de muro de ductilidad limitada de 5 y 7 pisos, donde menciona que los edificios construidos en los años 2000 a 2005 quedarían con daño irreparable ( $FDM > 60\%$ ) para intensidades mayores o iguales a IX+MM, y en caso de sismos raros, los resultados indican que estos edificios presentarían un daño reparable con un FDM del orden del 45% para edificios de 5 pisos y 55% para edificios de 7 pisos.

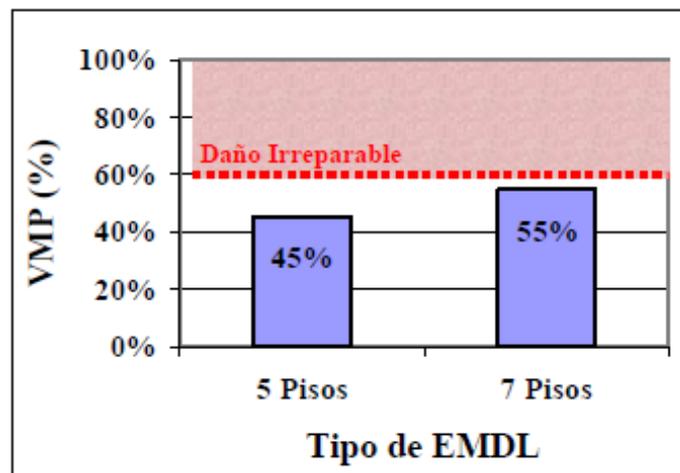


Figura 5. Daño que sufrirían los EMDL en un sismo raro, elaborado por (Delgado & Rodríguez, 2006).

De acuerdo con la investigación de (Allauca, 2016, pág. 114), “*Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de Cinco Pisos Diseñado con las Normas Peruanas De Edificaciones, Perú, 2016*”, indica que para los sismos raros con tiempo de retorno a 500 años con una aceleración pico de 0.4g los resultados muestran que las edificaciones

tendrán un excelente desempeño. Habrían consumido solo el 22% a 31% de su capacidad, donde el daño presentado por ese sismo sería reducido y quedaría en un estado funcional.

En su investigación de *"Evaluación Del Desempeño Sísmico De Un Edificio De Once Pisos Utilizando Análisis Estático Y Dinámico No-Lineal"* (Calcina, 2017), presenta una comparación de desplazamientos del análisis estático no lineal y análisis dinámico incremental que los máximos desplazamientos inelásticos se dan en séptimo piso hacia adelante y en octavo piso hacia adelante en el análisis dinámico incremental donde se concluye que para la edificación tanto en el análisis estático no lineal como el análisis dinámico incremental se encuentra en el nivel de ocupación inmediata donde solo se espera un daño mínimo o ninguno en sus elementos estructurales y sólo un menor daño en sus componentes no estructurales.

Según la investigación de (Navarro & Fernández, 2017) en Lima, *"Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de Seis Pisos Diseñado con las Normas Peruanas De Edificaciones"* Los resultados del estudio mostraron que para satisfacer los requerimientos de rigidez de las normas peruanas en edificios aporticados de 3 a 7 pisos sería necesario emplear muros de concreto armados o placas para cumplir con los requerimientos de diseño por desempeño establecidos por comité visión 2000 y FEMA-440. Además, se mostró por debajo de valores mínimos que exige la norma peruana de diseño de concreto armado, donde recomienda realizar más estudios sobre el análisis de desempeño para considerar la incorporación de códigos de desempeño en la norma peruana y se exija los diseños por desempeño.

### **1.1.2. Definiciones.**

#### *Análisis lineal.*

Al análisis lineal (Chávez, Meléndez, Sinchi, & Urtado, 2013) definen como aquel análisis donde las propiedades estructurales, tales como la rigidez y el

amortiguamiento, son constantes y no varían con el tiempo. Todos los desplazamientos, esfuerzos, reacciones son directamente proporcionales a la magnitud de las fuerzas aplicadas.

### ***Análisis No lineal.***

Según (Chávez, Meléndez, Sinchi, & Urtado, 2013) el análisis No Lineal es aquel análisis donde las propiedades estructurales pueden variar con el tiempo, la deformación y la carga. La respuesta suele ser no proporcional a las cargas, ya que las propiedades estructurales suelen variar, considerando la no linealidad geométrica y descartando de manera directa el principio de superposición.

### ***Análisis sísmico.***

El análisis sísmico consiste en presentar un análisis que comprenda una solución para las acciones sísmicas de cualquier magnitud, esto implica en restringir los desplazamientos máximos y/o derivas de entrepisos según indica la Norma de Diseño sismorresistente E.030.

Además (Bazán Enrique, 1999, pág. 1), hace referencia que se viene usando este método de análisis para contrarrestar los daños que ocasionaran los terremotos. El análisis sísmico de estructuras es una disciplina que se enmarca en el campo del análisis estructural y tiene como objetivo efectuar una apreciación de la respuesta de una estructura a la ocurrencia de un evento sísmico.

### ***Riesgo sísmico.***

El riesgo sísmico es un indicador para las edificaciones que surge debido a los eventos sísmicos ocurridos en diferentes puntos del planeta a causa de la interacción de las placas tectónicas. Este indicador está determinado en función del lugar en que se encuentre la edificación, de las propiedades de sus materiales y del valor económico que represente. Así, D. Madariaga et al. señalan que

### ***Sismo.***

Según (CENEPRED, 2017), consiste en la sensación producida por la liberación de energía generada por las placas tectónicas en constante movimiento. Los sismos son movimientos originados por la liberación de fuerzas iniciadas en un punto de ruptura dentro de la tierra. Al iniciarse un movimiento telúrico, la energía sísmica se libera en ondas sísmicas que se expanden por el interior de la tierra y viajan por diversas trayectorias al interior de pavimento antes de impactar en la superficie.

### ***Capacidad estructural.***

En una representación de la habilidad que posee la estructura para resistir la demanda sísmica. La capacidad de la estructura depende de la resistencia y la capacidad de deformación de los componentes individuales de la estructura. (Chávez, Meléndez, Sinchi, & Urtado, 2013, pág. 9). Además, esta dado hasta que nivel de estado de daño puede soportar una estructura con respecto al desplazamiento de los entresijos, el último punto de desempeño representa la capacidad de la estructura.

### ***Nivel de Desempeño.***

Un estado límite de daño o condición descrita por el daño físico dentro del edificio, la amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes debido al daño, y del servicio después del terremoto del edificio (ATC-40, 1996).

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general.

- ¿Cómo evaluar el desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?

### 1.2.2. Problema específico.

- ¿Como evaluar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?
- ¿Como evaluar la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el análisis no lineal pushover incrementando sismos de diferentes intensidades para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?
- ¿Cuál sería la alternativa de solución más adecuada para mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?

### 1.2.3. Justificación de la investigación.

Según (Medina & Music, 2018), hace mención que es sumamente importante implementar el control de la respuesta dinámica en estructuras sismorresistentes, para ello es primordial conocer el desempeño sísmico de una estructura con muros de corte, donde se debe aplicar adecuadamente la configuración estructural del sistema. Para diferentes sismos de diseño con un aceptable nivel de confiabilidad. Los avances de las investigaciones de estas han permitido plantear requerimientos de diseño sísmico basados en esta filosofía y se pre escribe que las siguientes generaciones de códigos estarán basadas en ella.

Según señalado en la Tesis para optar el título profesional en ingeniería civil de (Allauca Sanchez, 2016, pág. 7) hace mención que la mayoría de las metodologías y códigos de diseño sísmico de edificaciones, incluidas las normas peruanas, consideran un solo nivel de amenaza sísmica para el cual la edificación no debería colapsar, pero no tienen un esquema de verificación del comportamiento ante sismos más frecuentes, pero menos severos. En tal sentido es importante desarrollar el estudio del desempeño sísmico de las edificaciones con estructuras de Ductilidad Limitada en el Perú, ante diferentes niveles de amenaza sísmica.

### ***Justificación teórica.***

Debido a lo mencionado se tiene la necesidad de solucionar este gran problema que aqueja la realidad actual en diseño sísmico resistente que son los diseños por desempeño, Para ello se realiza una evaluación de desempeño en estructuras de muros de ductilidad limitada, para determinar la capacidad máxima resistencia frente a la demanda sísmica y registros sísmicos de los terremotos presentados años atrás de esta investigación, y sería de vital importancia para futuras investigaciones que buscan mejorar el desempeño estructural frente a sismos de los sistemas estructurales a base de muros de ductilidad limitada (MDL) y muros estructurales de hormigón armado.

#### **1.2.4. Limitaciones de la investigación.**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, no se cuenta con mucha información en nuestra ciudad con respecto al tema de evaluación por desempeño de estructuras con muros de concreto armado, además contamos con la carencia de normas para su desarrollo, sin embargo, nos regimos a normas españolas que ya han venido implementando las condiciones a tomar en cuenta en las evaluaciones y diseños por desempeño, para la correcta funcionalidad de los sistemas planteados. Se realizó el desarrollo de la investigación, con los herramientas y tecnologías disponibles.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general.

- Evaluar el desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

#### 1.3.2. Objetivo específico.

- Evaluar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.
- Evaluar la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el análisis no lineal Pushover incrementando sismos de diferentes intensidades para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.
- Determinar la alternativa de solución más adecuada para mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

### 1.4. Hipótesis

#### 1.4.1. Hipótesis general.

- El desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), tendrá un adecuado desempeño y ayudará a determinar la afectación de los elementos estructurales del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

#### **1.4.2. Hipótesis específica.**

- El desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, permitirá identificar el desempeño estructural del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.
- La afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el análisis no lineal Pushover incrementando sismos de diferentes intensidades, permitirá identificar la afectación de los elementos estructurales del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.
- La alternativa de solución más adecuada ayudará a mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### A) Tipo de Estudio.

El tipo de estudio de la presente investigación es de tipo descriptivo, porque manifiesta la toma de datos para el caso de estudio a partir de normas extranjeras, con la finalidad de mejorar el desempeño esperado de una edificación. Además, por la forma en cómo se mide los indicadores para la investigación, es cualitativa porque el nivel de desempeño será definido a una escala ordinario.

#### B) Diseño de investigación.

El diseño de esta presente investigación es cuasi-experimental; porque se realiza manipuleo de valores de las variables, para el caso en mención se realiza mediante técnicas y métodos donde se determinan el nivel de desempeño estructural. Además, incluye de manera retrospectivo; porque aplicando los lineamientos de la norma se analiza y se manipula los indicadores al presente.

### 2.2. Población y muestra

#### A) Población.

La población está dada por todos los edificios con sistema estructural a base de Muros de Ductilidad Limitada (MDL), del condominio residencial ciudad verde Puente Piedra.

#### B) Muestra.

Para la presente investigación se tomará como muestra al pabellón G del condominio residencial Ciudad Verde – 4ta Etapa – Puente Piedra.

## 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

### A) Técnica de recolección de datos.

En 2016, Delgado & Rodríguez, como recolección de datos hacen uso a opinión de expertos, para opinar sobre la seguridad sísmica de mismo modo para lograr estimaciones de las posibles pérdidas materiales generados por sismos. Delgado por medio de una página web presentó definiciones generales y una descripción de la sismicidad peruana para uniformizar la opinión de expertos con respecto a la estimación de desempeño sísmico en muros de ductilidad limitada.

En 2016, Alcanta & Nalvarte para recolección de datos aplican la estadística descriptiva basada en recolectar, ordenar, analizar y representa un conjunto de datos; para el caso de estudio los obtenidos de cuestionarios, con el fin de describir apropiadamente las características del estudio.

En 2017, Calcina, mencionan que las técnicas de recolección de datos basadas en la observación directa que permite acumular y sintetizar información adecuada para procesar dicha información, además es vital la participación del investigador en la situación donde realiza el estudio, procurando un análisis de forma directa y en el momento en que dicha situación se lleve a cabo.

En esta investigación se usará la observación directa como una técnica de recolección de datos, ya que el investigador se encuentra presente en el proceso de la construcción de esta edificación, esto lleva a que el investigador registre la situación actual de cada proceso constructivo y su criterio de diseño para quien fue planteado.

## **B) Instrumentos de recolección de datos.**

Delgado & Rodríguez, 2006. Para recopilar datos se uso como un instrumento a las fichas de campo elaboradas para estructuras de muros de ductilidad limitada, donde con ello recopila información de arquitectura y estructural de diferentes edificios. Con esta información busca plantear un edificio típico representativo de MDL que además presenta similares sus elementos estructurales para edificios de 5 y 7 pisos de este mismo sistema estructural.

En 2016, Alcántara & Nalvarte, Aplica cuestionarios semiestructurados de respuesta dicotómica (la encuesta solo tiene respuesta SI y NO), acerca de los procedimientos de evaluación y mejora en edificaciones existentes de la norma ATC-40, además incluye fichas técnicas para la recolección de datos de la edificación el cual será evaluado de desempeño sísmico, a manera que el investigador crea conveniente, además en las fichas incluye los parámetros que influyan en el comportamiento No Lineal.

Para esta investigación se usará fichas estructuradas para la recolección de datos de las características mecánicas y los materiales usadas en el presente proyecto del condominio, además se elabora fichas para procesamiento de datos como la capacidad estructural, punto de desempeño, capacidad de elementos y los sistemas de reforzamiento.

## **C) Técnicas de análisis de datos.**

En 2017, Calcina, para la aplicación del caso de estudio desarrolla mediante la técnica de Pushover, el método espectro de capacidad y los procedimientos de la norma ATC – 40 para el análisis estructural y la obtención de resultados.

En 2018, Medina, para determinar el nivel de desempeño esperado en un edificio estructurado de muros de hormigón armado usa el método de espectro de capacidad MEC, el cual superpone el espectro de capacidad y demanda sísmica, el cual se obtiene mediante un análisis estático no lineal Pushover.

Para el presente proyecto de investigación se usará el método de espectro de capacidad MEC, incorporando los datos recolectados de las fichas técnicas usadas al programa ETABS 2017, donde se realizará el análisis estático No lineal para determinar el desempeño esperado para diferente demanda sísmica.

## **2.4. Procedimientos**

### **2.4.1. Del objetivo específico 1.**

#### **A. Proceso de desarrollo.**

- Descripción del trabajo en campo
- Características del sistema estructural empleado
- Modelación de la estructura en el programa ETABS – 2017
- Factores de análisis de diseño sismorresistente
- Cargas actuantes en el diseño
- Propiedades no lineales de los materiales
- Curva de esfuerzo – deformación de concreto sin confinar
- Curva de Esfuerzo – deformación de acero corrugado vs malla electrosoldada
- Descripción de elementos estructurales del proyecto
- Procedimientos estáticos y dinámicos no lineales en los muros de corte
- Análisis estático o fuerzas equivalentes
- Análisis Dinámico modal espectral
- Análisis Estático no lineal – Pushover
- Verificación de elementos estructurales según el desplazamiento objetivo

## **B. Marco teórico.**

### *Estructuras de Ductilidad Limitada (MDL).*

Los EMDL se caracterizan por tener un sistema estructural donde la resistencia sísmica y de cargas de gravedad en las dos direcciones está dada por muros de concreto armado que no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes. En este sistema los muros son de espesores reducidos, se prescinde de esquinas confinados y el refuerzo vertical se dispone de una sola hilera. Los sistemas de piso son losas macizas o aligeradas que cumplen la función de diagrama rígido, así mismo hace recomendación del número máximo de 7 pisos que será construido por este sistema. (NORMA E.030, 2014).

### *Diseño basado en el Desempeño Sísmico.*

Según indica (Salvador, 2002, pág. 65), diseño basado en el desempeño sísmico, consiste en la selección de esquemas de evaluación que permitan la caracterización estructural del sistema a análisis, de manera que para un nivel de movimiento especificado y con diferentes niveles de confiabilidad, la estructura no debería comprometer a sus elementos estructurales ni mucho menos al sistema estructural. Además, tiene como objetivo el desarrollo de métodos que permitan concebir, diseñar, construir y mantener edificaciones que sean capaces de exhibir un desempeño predecible, cuando son afectadas por sismos. El desempeño se cuantifica en términos de la cantidad de daño sufrido por un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento sísmico.

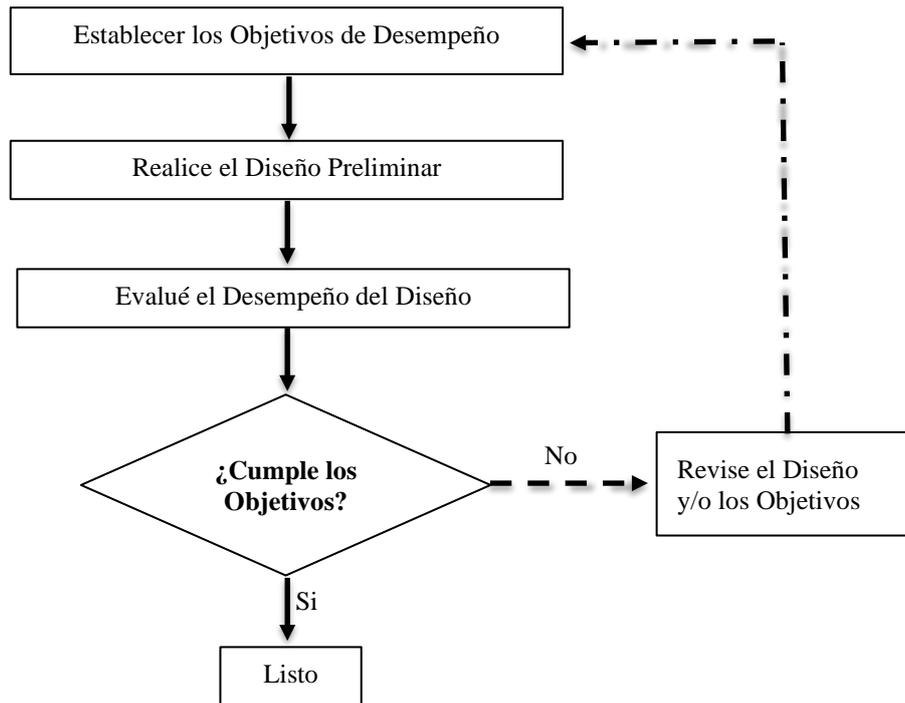


Figura 6. Flujograma de procesos de diseño basado en desempeño.

Para el caso de edificaciones existentes, se realiza una evaluación por desempeño para estimar la vulnerabilidad de la estructura, que es la probabilidad de daño que ocasionarían sismos de determinadas intensidades a la estructura. El propósito es poder tomar acciones correctivas para alinear la vulnerabilidad sísmica con el desempeño que se requiere que tenga la estructura. (Salvador, 2002, pág. 34).

### ***Análisis Estático No Lineal (AENL).***

El objetivo del AENL es evaluar el comportamiento de un sistema estructural estimando sus demandas de resistencia y deformación mediante una serie de análisis estáticos consecutivos. Este tipo de análisis puede ser visto como un método que permite predecir la fuerza sísmica y la demanda de deformación en una estructura, debido a que toma en cuenta la redistribución de las fuerzas internas que ocurre cuando la estructura es sujeta a fuerzas inerciales que sobrepasan el límite elástico de la estructura. (Krawinkler & Seneviratna, 1998)

El análisis estático no lineal consiste en representar la estructura mediante un modelo en 2D o 3D que tome en cuenta los principales parámetros que influyen en la respuesta lineal y no lineal del sistema. Posteriormente se aplican las cargas de gravedad seguidas de las cargas laterales. Estas últimas se encuentran distribuidas de acuerdo con formas predeterminadas que tratan de representar las fuerzas relativas de inercia generadas en los lugares donde se concentran las masas.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de un análisis "pushover". Las cargas gravitacionales se aplican primeramente a la estructura y las cargas laterales se aplican de forma creciente hasta llegar a un desplazamiento objetivo.

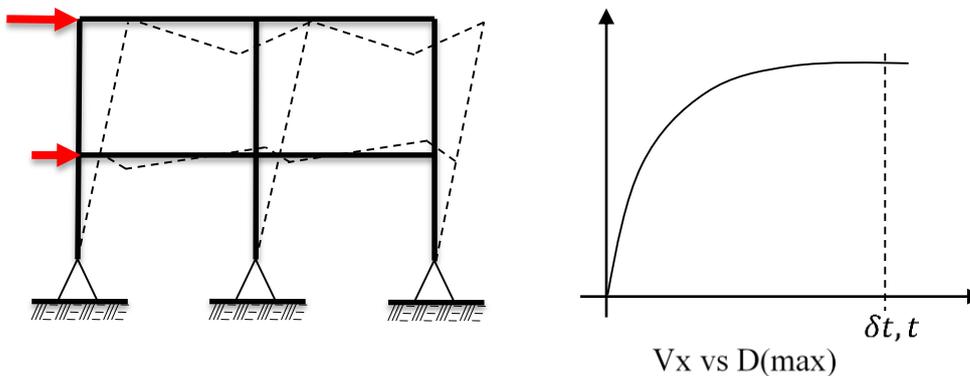


Figura 7. Ilustración de un análisis estático no lineal (AENL).

### ***Secuencia de Rotulas Plásticas en Columnas y Vigas.***

Es un dispositivo de amortiguación de energía, que permite la rotación de la deformación plástica. Se usa para describir la deformación de una sección en una viga donde se produce la flexión. (Calcina, 2017, pág. 67).

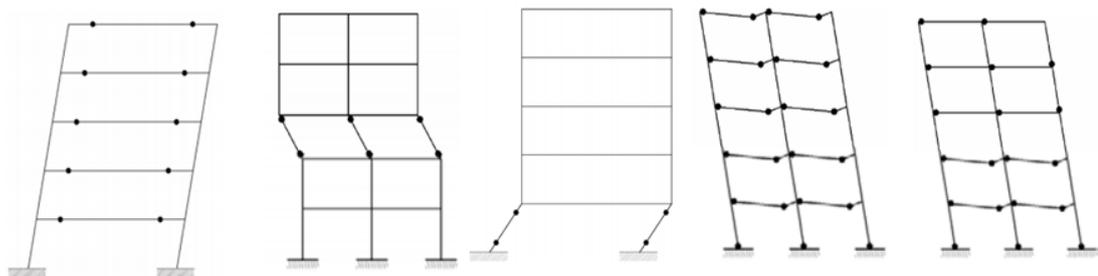


Figura 8. Secuencia de rotulas plásticas en una estructura, a) Rotulas en los muros y techos, b) Rotulas en traslación en los muros, c) Rotulas en muros d) Traslación lateral en el techo, e) Rotulas mixtas.

### ***Secuencia de Rotulas Plásticas en Muros.***

La secuencia de las rotulas plásticas en muros se da mayormente por corte y se define como un estado de cada elemento donde pierde la capacidad de poder restringir la deformación por la plasticidad como se muestra en la figura 9.

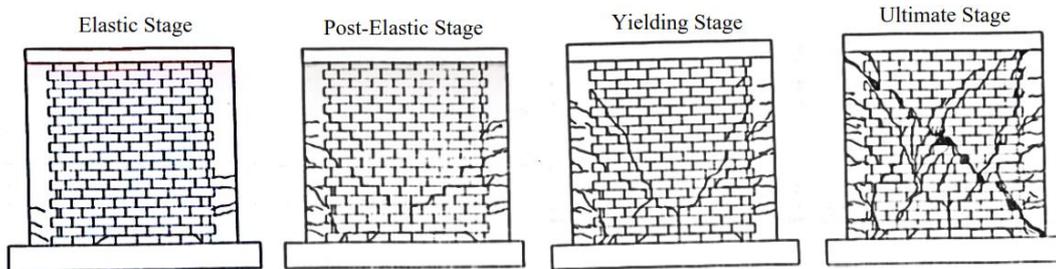


Figura 9. Cambio de estado de un muro, representado como una rotula plástica.

### ***Cortante Basal.***

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación. Podrán analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en cualquier zona sísmica (NORMA E.030, 2014, pág. 23). Además, es la representación de una fuerza única en la base de la estructura de los parámetros que establece la Norma Peruana.

*Ecuación 1 Cortante basal estático*

$$V = \left( \frac{Z * U * C * S}{R} \right) P$$

Donde:

Z = Zona

U = Uso

C = Factor de amplificación Sísmica

S = Tipo de suelo

R = (R. Ia. Ip) = Coeficiente de Reducción

### ***Curva de capacidad (FEMA 356 – Método de los coeficientes).***

La curva de capacidad por método de los coeficientes según FEMA-356 es un proceso numérico directo para calcular el desplazamiento de la demanda sísmica de diseño u otro. la representación gráfica del comportamiento no lineal de una estructura con respecto al desplazamiento de los entrepisos y las fuerzas incrementales en los niveles de cada entrepiso. La aplicación se limita para edificaciones regulares que no tengan efectos torsionales o influencia de modos mayores.

### ***Distribución de patrón de cargas laterales.***

Las cargas laterales deberán ser aplicados en el modelo matemático en proporción de la distribución de las fuerzas inerciales en el plano de cada diafragma así también, para todos los análisis, deberá usarse por lo menos dos distribuciones verticales para la carga vertical un patrón de cargas deberá ser seleccionado de cada uno de los siguientes grupos:

- *Patrón I: Patrón modal.*

Una distribución vertical proporcional a los valores para el análisis estático lineal esta se utilizará solo cuando más del 75% de la masa participativa corresponde al modo fundamental en la dirección de análisis, y también es usado la distribución uniforme.

- *Patrón II.*

Una distribución uniforme que consiste en fuerzas laterales en cada nivel proporcional a la masa total del mismo.

### ***Curva de fuerza – desplazamiento idealizado.***

La relación fuerza-desplazamiento no lineal entre la cortante basal y el desplazamiento del punto de control, debe reemplazarse con una curva idealizada

donde se calcula la rigidez lateral efectiva,  $K_e$ , y la fuerza efectiva de cedencia,  $V_y$ , de la edificación mostrada en la figura 10. La curva será bilineal, con una pendiente inicial  $K_e$  y pendiente post-cedencia  $\alpha K_e$ . las líneas idealizadas de la curva fuerza-desplazamiento se ubicarán utilizando un procedimiento grafico iterativo que equilibra aproximadamente el área por encima y por debajo de la curva.

La rigidez lateral efectiva,  $K_e$ , se tomará como la rigidez secante calculada a un esfuerzo cortante base igual al 60% del límite elástico efectivo de la estructura. La pendiente posterior a la fluencia,  $\alpha K_e$ , se determinará mediante un segmento de línea que atraviesa la curva real en el desplazamiento objetivo calculado. El límite elástico efectivo no debe tomarse como mayor que el esfuerzo cortante base máximo en ningún punto a lo largo de la curva real.

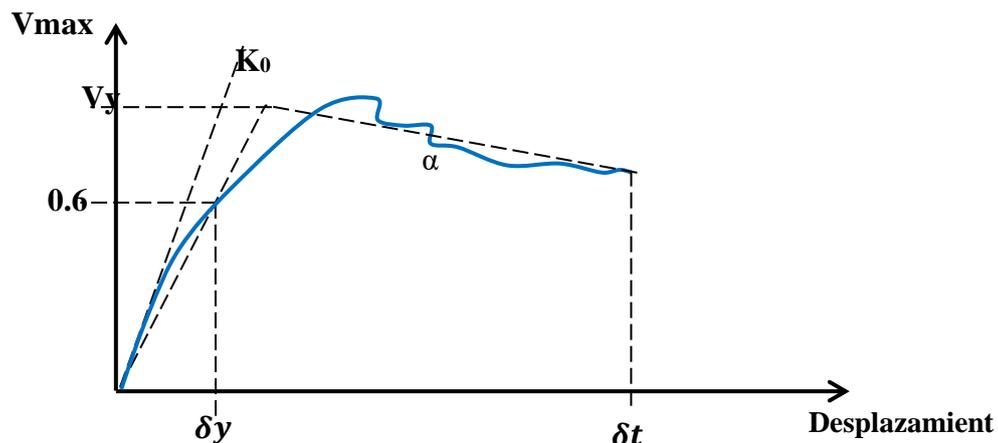


Figura 10. Curva de capacidad de una estructura, por coeficientes.

### ***Periodo fundamental efectivo.***

El período fundamental efectivo en la dirección considerada se basará en la curva de desplazamiento forzado idealizada, donde se calculará de acuerdo a la ecuación 2.

*Ecuación 2 Periodo fundamental efectivo*

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

$T_1$  = Período fundamental elástico (en segundos) en la dirección considerada calculado por análisis dinámico elástico.

$K_i$  = Rigidez lateral elástica del edificio en la dirección considerada.

$K_e$  = Rigidez lateral efectiva del edificio en la dirección considerada.

### ***Desplazamiento objetivo.***

El desplazamiento objetivo,  $\delta_t$ , en cada nivel del piso se calculará de acuerdo con la ecuación 3.

*Ecuación 3 Desplazamiento objetivo*

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

### ***Cálculo del coeficiente $C_0$ .***

$C_0$  = Factor de modificación para relacionar el desplazamiento espectral de un sistema SDOF equivalente con el desplazamiento del techo del sistema MDOF del edificio calculado utilizando uno de los siguientes procedimientos.

- Factor de participación del primer modo en el nivel del punto de control
- Factor de participación modal en el nivel del punto de control calculado al usar un vector de forma de la deformada de la edificación en el desplazamiento objetivo

Para este proceso, deberá usarse el patrón de cargas adaptativo

Tabla 1  
Valores para el factor de modificación  $C_0$

Número de pisos	Valores para el factor de modificación $C_0$		
	Edificios de cizallamiento Patrón de carga triangular	Edificios de cizallamiento Patrón de carga uniforme	Otros edificios Cualquier patrón de carga
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

- 1.- Se utilizará la interpolación lineal para calcular los valores intermedios.
- 2.- Edificios en los que, en todos los pisos, la deriva entre pisos disminuye al aumentar la altura.

**Nota:** la tabla 1 presenta los valores de coeficiente  $C_0$  para el factor de modificación, fuente FEMA-356.

### *Cálculo del coeficiente $C_1$ .*

$C_1$  = Factor de modificación para relacionar los desplazamientos inelásticos máximos esperados con los desplazamientos calculados para la respuesta elástica lineal:

$$C_1 = 1.0 \text{ para } T_e \geq T_s$$

$$C_1 = (1.0 + (R-1) T_e / T_s) / R \text{ para } T_e < T_s$$

### *Ecuación 4 Relación de resistencia $R$*

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} \cdot C_m$$

$V_y$  = Límite elástico calculado usando los resultados del NSP para la curva de desplazamiento forzado no lineal idealizada desarrollada.

$W$  = Peso sísmico efectivo.

$C_m$  = Masa efectiva del modelo calculada para el modo fundamental utilizando un análisis de valores propios, se calcula apartir de la tabla 2.

Tabla 2  
Valores del factor de masa efectivo  $C_m$

N° pisos	Valores del factor de masa efectivo $C_m$						Otros
	Marco de concreto (porticos)	Muro de corte	Muelle en junta	Marco de acero	Marco concentrico de acero ariostrado	Marco exentrico de acero ariostrado	
1 – 2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 a mas	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1.-  $C_m$  se tomará como 1.0 el período fundamental,  $T$ , es mayor que 1.0 segundo.

**Nota:** la tabla 2 presenta los valores de  $C_m$ , fuente FEMA-356.

### *Cálculo del coeficiente $C_2$ .*

$C_2$  = Factor de modificación para representar la forma histerética ajustada, degradación de la rigidez y deterioro de la resistencia en la respuesta máxima de desplazamiento los valores de para diferentes sistemas estructurales y niveles de rendimiento estructural se obtendrán de la Tabla 3 Alternativamente, se permitirá el uso de  $C=1.0$  para procedimientos no lineales.

Tabla 3  
Valores para el factor de modificación  $C_2$

	Valores para el factor de modificación			
	$T < 0.1$ Seg.		$T \geq T_s$ Seg.	
Ocupación inmediata	1.0	1.0	1.0	1.0
Seguridad de vida	1.3	1.0	1.1	1.0
Prevención de colapso	1.5	1.0	1.2	1.0

1.- Estructuras en las que más del 30% del cortante del piso en cualquier nivel es resistido por cualquier combinación de los siguientes componentes, elementos o pórticos: pórticos ordinarios resistentes a momentos, pórticos arriostrados concéntricamente, pórticos con conexiones parcialmente restringidas, tirantes de sólo tensión, muros de mampostería no reforzada, pilares críticos para el corte y enjutas de hormigón armado o mampostería.  
2.- Todas las tramas no asignadas a Encuadre Tipo 1.  
2.- Se utilizará la interpolación lineal para valores intermedios de T.

**Nota:** la tabla 3 presenta los valores de  $C_2$  para la modificación de factores de amplificación, fuente FEMA-356.

### *Cálculo del coeficiente $C_3$ .*

$C_3$  = Desplazamientos aumentados debido a los efectos dinámicos P- $\Delta$ . El coeficiente se calculará de acuerdo con la Ecuación 5 si la relación entre la fuerza cortante de la base y el desplazamiento del nodo de control exhibe rigidez de fluencia negativa.

*Ecuación 5 Coeficiente de desplazamiento debido a efectos dinámicos.*

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R - 1)^{3/2}}{T_e}$$

$\alpha$  = Relación entre la rigidez posterior a la fluencia y la rigidez elástica efectiva, donde la relación de desplazamiento de la fuerza no lineal se caracterizará por una ecuación lineal como se muestra en la Figura 10.

***Punto de desempeño (por método de los coeficientes).***

El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento de la estructura esperado para una determinada demanda sísmica. Su localización es aproximada y puede estar dentro de un intervalo de aceptabilidad del 5% del DPI a cada lado.

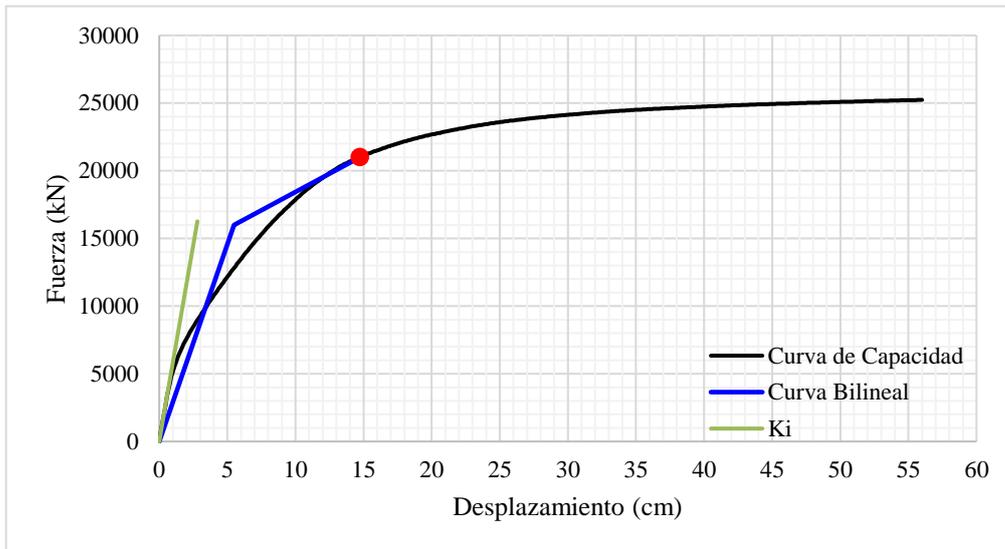


Figura 11. Determinación de punto de desempeño por método de los coeficientes.

***Capacidad espectral (ATC-40 método de espectro de capacidad).***

La curva de capacidad por método espectro de capacidad es la conversión de la curva de capacidad (fuerza – desplazamiento), a una curva de espectro de capacidad (aceleración espectral – desplazamiento espectral “ $S_a-S_d$ ”), utilizando los vectores de forma modal, factores de participación y masas modales obtenidas de un análisis modal de la estructura.

***Conversión de la curva de capacidad al espectro de capacidad.***

El espectro de capacidad es una representación de la curva de capacidad en el espectro de respuesta desplazamiento aceleración (ADRS acceleration displacement response spectra), es decir un formato  $S_a$  vs  $S_d$  las siguientes ecuaciones se requieren para realizar la transformación.

*Ecuación 6 Factor de participación modal para primer modo natural*

$$PF_1 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_i) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_i^2) / g} \right]$$

*Ecuación 7 Coeficiente de masa modal para el primer modo natural*

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_i) / g]}{[\sum_{i=1}^N w_i / g][\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_i^2) / g]}$$

*Ecuación 8 Aceleración espectral*

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1}$$

*Ecuación 9 Desplazamiento espectral*

$$S_d = \frac{\Delta_{Techo}}{PF_1 * \phi_{1,Techo}}$$

Como se muestra en la figura 12, el factor de participación y el coeficiente de masa modal varían de acuerdo al desplazamiento relativo del entrepiso.

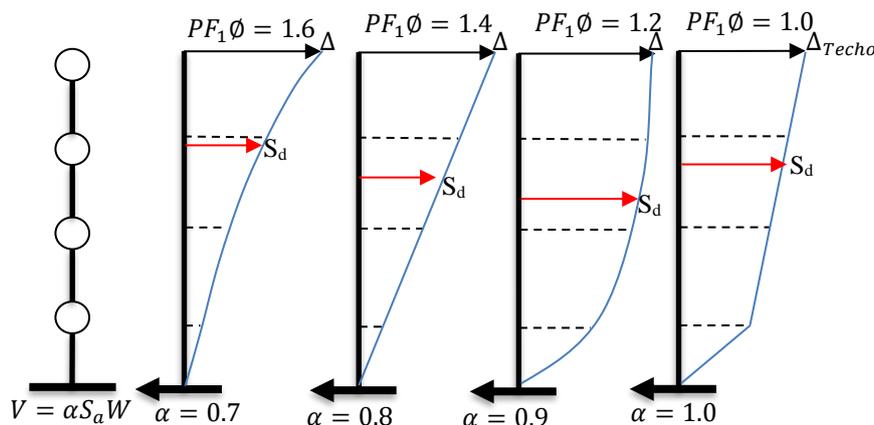


Figura 12. Ejemplo de factores de participación modal y coeficientes de masa modal.

En general, el proceso para convertir la curva de capacidad a la de espectro de capacidad es convertirla usando el formato ADRS, esto es, primero calcular el factor

de participación modal  $PF1$  y el coeficiente de masa modal  $\alpha_1$  según las ecuaciones mostradas anteriormente. Luego, para cada punto de la curva de capacidad,  $V$ ,  $\Delta_{roof}$  calcular  $S_a$  y  $S_d$  correspondiente del espectro de capacidad, según las ecuaciones mostradas anteriormente.

En el formato ADRS, las líneas radiales desde el origen corresponden a un periodo constante y se puede obtener con la expresión de la figura 13. Similarmente, para algunos puntos del espectro tradicional, el desplazamiento espectral, puede obtenerse con la expresión de la figura 12.

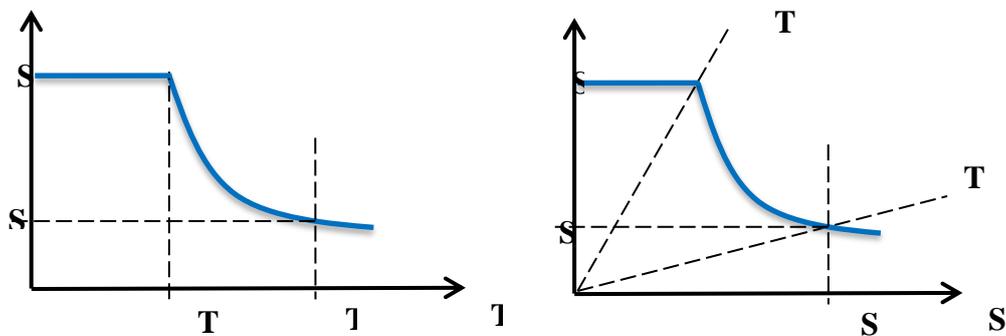


Figura 13. Curva espectral en formato estándar ( $S_a-T$ ) a formato ADRS ( $S_a-S_d$ ).

Ecuación 10 Espectro de desplazamiento en formato ADRS

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g$$

Los espectros de respuesta a la demanda estándar contienen un rango de aceleración espectral constante y un segundo rango de velocidad espectral constante. La aceleración espectral y el desplazamiento en el período  $T_i$  vienen dados por:

Ecuación 11 Cálculo de espectro de desplazamiento

$$S_{ai} g = \frac{2\pi}{T_i} S_v$$

$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} S_v$$

En la figura 14 se muestra el espectro de capacidad superpuesto con el espectro de respuesta que se obtuvo anteriormente a lo largo del espectro de capacidad, el periodo  $T_1$  es constante hasta el punto "A" cuando el punto "B" es alcanzado, el periodo es  $T_2$  esto indica que a medida que una estructura sufre un desplazamiento inelástico, el período se alarga.

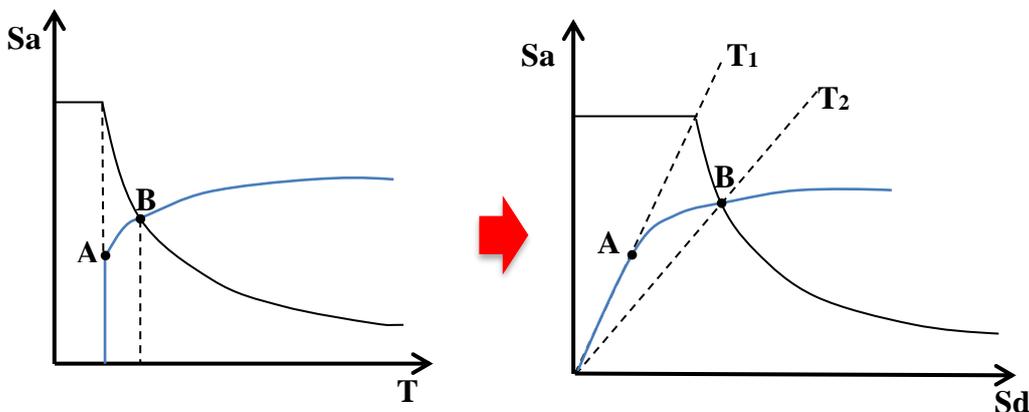


Figura 14. Espectro de capacidad superpuesto sobre espectros de respuesta en formatos tradicionales y ADRE, fuente ATC 40.

### ***Niveles de desempeño.***

Los niveles de desempeño representan una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre una estructura, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (ATC-40, 1996, pág. 102). Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de significación pública (impacto en ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes (extensión del deterioro, degradación de elementos estructurales o no estructurales, etc.) (SEAOC, 1995, pág. 22).

Los niveles de desempeño propuestos por el comité VISION 2000 que presento en la tabla 4 resume algunas de sus principales características asociadas a los niveles de desempeño y su relación con los estados de daño, los cuales son cuatro niveles calificadores al desempeño: Totalmente operacional, operacional, seguridad de vida, pre colapso y colapso total.

Tabla 4  
*Niveles de desempeño y estado de daño según comité VISION 2000*

Estado de Daño	Nivel de Desempeño	Características principales
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan presentando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados, la estructura sufre daños, pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Severo	Pre colapso	Daño estructural severo en la proximidad de colapso estructura. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

**Nota:** la tabla 4 presenta los estados de daño y niveles de desempeño, fue presentado por, comité visión 2000.

### C. Desarrollo

Para evaluar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021, procedió a realizar los siguientes procedimientos descritos en el ítem A.

#### *Descripción del trabajo en campo.*

Se tomo como muestra al edificio MDL del bloque "G" denominado condominio residencial ciudad verde - 4ta etapa – Puente Piedra. Donde se aplicará el método de análisis no lineal pushover, para ver si la estructura es capaz de resistir sismos de

diferentes intensidades sin sufrir daños significativos en los elementos estructurales.

Se recopiló información de los parámetros y características del edificio de acuerdo al plano estructural del proyecto, donde se consideró para el análisis no lineal las características físicas y mecánicas de cada material usado en el proceso constructivo del condominio.

### *Características del sistema estructural empleado.*

La estructura analizada es el BLOQUE “G” DEL CONDOMINIO RESIDENCIAL CIUDAD VERDE 4TA ETAPA – PUENTE PIEDRA, que se encuentra ubicado en kilómetro 27, Auxiliar Panamericana Norte, Puente Piedra, a la altura de escuela de policías.

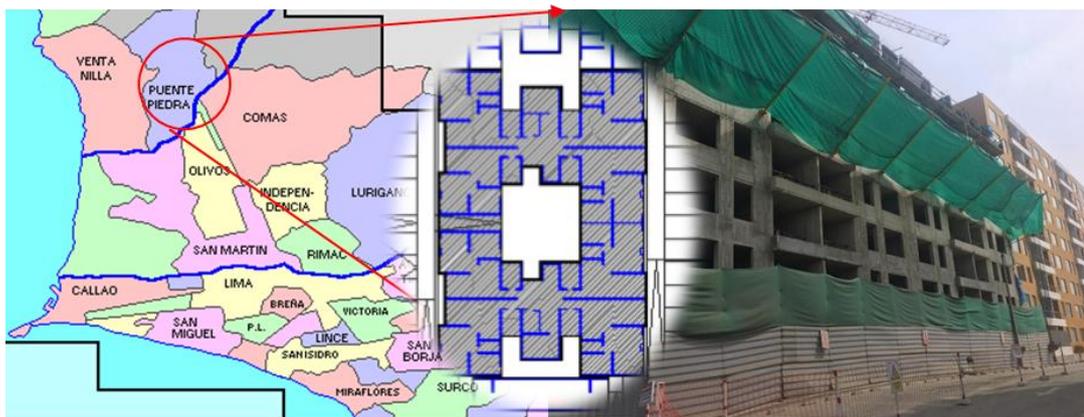
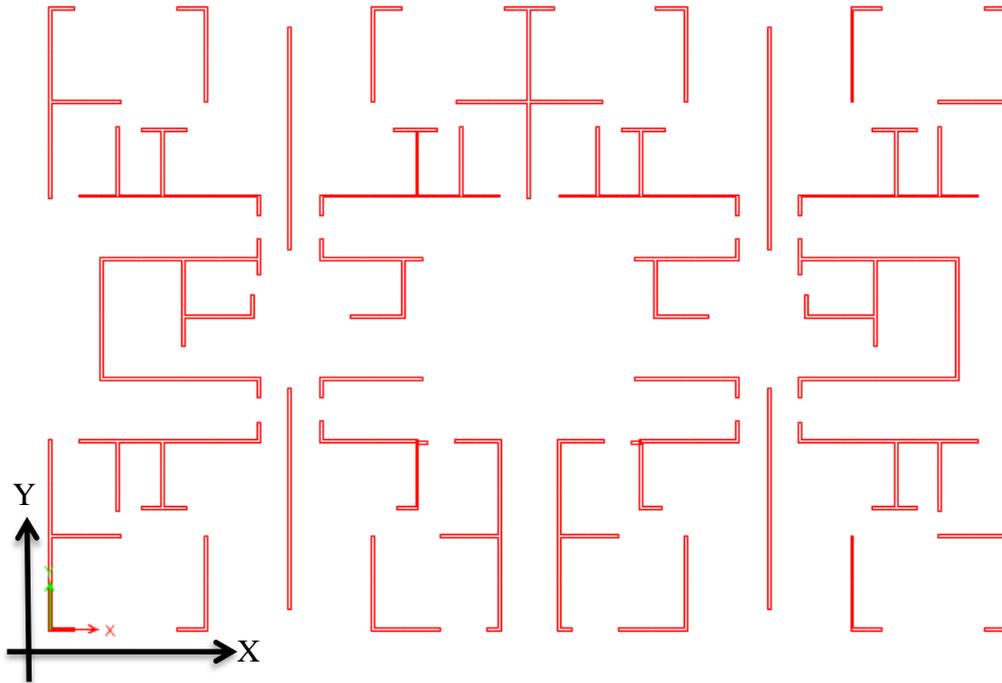


Figura 15. Ubicación del proyecto de investigación, elaboración propia.

La edificación cuenta con muros de concreto no confinado con espesores de 10 cm, 12cm y 15 cm, con sistema de cimentación a platea de concreto armado y losas de transferencia en primer piso, la resistencia de concreto de techo en el primer nivel es de  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup>, los pisos superiores tienen una resistencia de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y los muros de  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>. La edificación cuenta de 9 niveles con un área de 568.22m<sup>2</sup> por nivel, con una altura de 23.85 metros que se distribuye de manera equidistante en los 9 niveles, la densidad de muros por piso es de 1.622% en dirección de análisis “X” y 1.822% en dirección de análisis “Y”, en la figura 16 se presenta la

distribución de los muros estructurales principales y secundarios del condominio ciudad verde 4ta etapa. Todos los elementos estructurales son de hormigón armado y acero de calidad A60, sin embargo, se hace un cambio de acero corrugado por malla electrosoldada, pero con una fluencia mayor al de acero corrugado, esto se puede apreciar en la tabla 6.



*Figura 16.* Distribución de muros en dirección “X” y “Y” del condominio residencial ciudad verde 4ta etapa, vista en planta de Etabs.

### ***Modelación de la estructura en el programa ETABS – 2017.***

La modelación de la estructura se realiza con el Programa Etaps-2017, a partir de los planos estructurales de la edificación, en la figura 17 se aprecia la elevación 3D del edificio con Muros de Ductilidad Limitada (MDL) en todos los niveles.

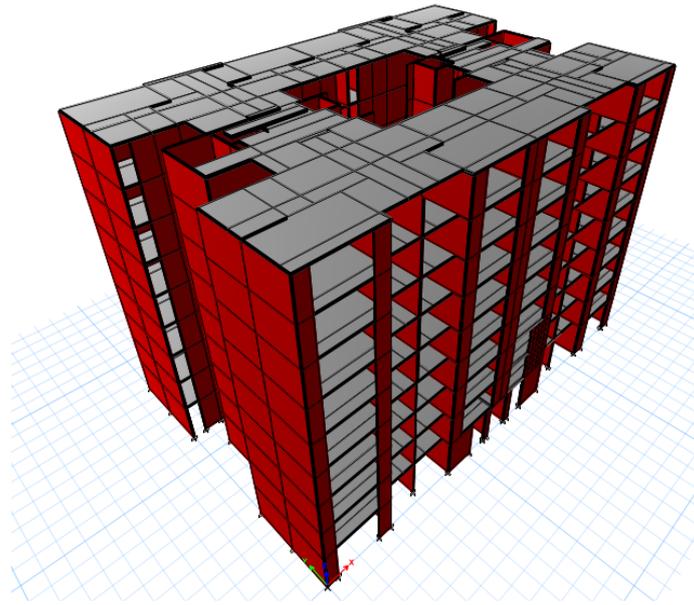


Figura 17. Modelo estructural 3D en ETABS-2017 del condominio residencia ciudad Verde 4ta etapa, elaboración propia.

### *Especificaciones de los materiales.*

En la tabla 5 se presentan los materiales descritos en los planos estructurales para todos los elementos estructurales de la edificación Muros, Placas y Techos.

Tabla 5

*Especificaciones de las características mecánicas de los materiales usadas en el proyecto*

<b>Especificaciones De Los Materiales Usados</b>	
<b>Concreto para Muros, Columnas, Placas y Techos</b>	
Resistencia	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E = 217,000 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Poisson	$u = 0.20$
Peso específico	$\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$
<b>Acero de Refuerzo para Muros y Techos</b>	
Resistencia a la fluencia	$f_y = 5\,000 \text{ Kg/cm}^2$ Malla Electr.
Módulo de elasticidad	$E = 2,100\,000 \text{ Kg/cm}^2$
Peso específico	$\gamma = 7\,849 \text{ Kg/m}^3$
<b>Características del Suelo</b>	
Peso específico	$\gamma = 7\,849 \text{ Kg/m}^3$
Capacidad portante	$\sigma't = 1.00 \text{ Kg/cm}^2$

**Nota:** La tabla 5 presenta las características mecánicas de los materiales, extraídos de los planos y fichas de campo del proyecto.

Tabla 6

Equivalencia de fierro corrugado ( $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ ) y malla electrosoldada ( $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$ )

Elementos Estructurales	Varillas fierro corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$		Malla electrosoldada $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$
	VERTICAL	HORIZONTAL	MALLA
Muros	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 35$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 35$	Q142
	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 325$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 325$	Q153
	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 30$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 30$	Q159
	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 25$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 25$	Q196
	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 20$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 20$	Q252
	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 45$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 45$	Q106
	$\emptyset 3/8'' @ 225$	$\emptyset 3/8'' @ 225$	Q312
	$\emptyset 3/8'' @ 30$	$\emptyset 3/8'' @ 30$	Q238 O Q235
Alfeizar Y Parapetos	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 25$	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 25$	Q188 o $7.3 \text{ mm} @ 25$
Platea De Cimentación	$\emptyset 6 \text{ mm} @ 275$	$\emptyset 6 \text{ mm} @ 275$	Q86 o $5.5 \text{ mm} @ 275$
Losas Macizas	$\emptyset 8 \text{ mm} @ 325$	$\emptyset 6 \text{ mm} @ 325$	Q128 o $7.3 \text{ mm} @ 325$
Bastonería	$\emptyset 6 \text{ mm}$ , $\emptyset 8 \text{ mm}$ y $\emptyset 12 \text{ mm}$ .		$\emptyset 5.5 \text{ mm}$ , $\emptyset 7.3 \text{ mm}$ y $\emptyset 11 \text{ mm}$

**Nota:** La tabla 6 presenta la equivalencia de acero corrugado con la malla electrosoldada, este cambio es para todos los elementos estructurales.

### **Factores de análisis de diseño sismorresistente.**

Según indica la Norma E.030 diseño sismorresistente, para analizar un sistema estructural se realiza un análisis de peligro sísmico los cuales ya presenta la norma E.030 y se consideran los siguientes parámetros: zonificación, condiciones geotécnicas, categoría de edificio o factor de uso y sistemas estructurales, para este caso de estudio en la tabla 7 se presenta todos los parámetros requeridos para el análisis no lineal.

Tabla 7

Parámetro sísmico según la norma E-030

Factor	Nomenclatura	Clasificación categoría tipo	Valor	Justificación
Zona	Z	4	0.45	Zona Sísmica 4: Lima
Uso	U	C	1.00	Vivienda Multifamiliar
Periodo Fundamental	T	$T = h_n / C_t$ $C_t = 60$	0.4	$h_n = 23 \text{ m}$ (altura total del edificio)
Periodos	$T_p$ (Seg)		0.4	Zona / Suelo

	TI (Seg)		2.5	Zona / Suelo
Factor de Amplificación Sísmica	Cx	$T_p < T < T_I$	1.56	$C=2.5 (T_p/T_I)$
	Cy	$T_p < T < T_I$	1.56	$C=2.5 (T_p/T_I)$
Suelo	S	S1	1.0	Suelo Rígido
Peso	P (Tn)		2219.82	Peso total de la estructura
Coeficiente de Reducción	Rxx			Muros de Ductilidad Limitada
	Ryy	MDL	4.00	Muros de Ductilidad Limitada

**Nota:** la tabla 7 presenta los parámetros sísmicos según la ubicación del proyecto, fuente elaboración propia.

### ***Cargas actuantes en el diseño.***

Según las definiciones en la Norma Técnica Peruana (E-020, 2006, pág. 2), Todas las edificaciones y sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones establecidas.

Tabla 8  
*Asignación de cargas concentradas por metro cuadrado*

Carga Muerta Adicional			Carga Viva		
Acabados	Kg/m <sup>2</sup>	<b>150.00</b>	Carga de escaleras	Kg/m <sup>2</sup>	<b>200.00</b>
Tabiquería móvil	Kg/m <sup>2</sup>	<b>100.00</b>	Carga vivienda	Kg/m <sup>2</sup>	<b>250.00</b>
Peso Ascensor	Kg	<b>400.00</b>	Azotea	Kg/m <sup>2</sup>	<b>100.00</b>
Peso Techo	Tn	<b>70.57</b>	<b>Total (Tn)</b>		<b>104.75</b>

**Nota:** La tabla 8 presenta el metrado de cargas muertas y vivas en kilogramo por metro cuadrado, para tener uniformidad se lleva a tonelada por metro cuadrado, fuente elaboración propia.

Tabla 9  
*Metrado de carga muerta o peso propio*

Resumen General de Metrado de Cargas								
Carga Muerta (Tn)					Carga Viva (Tn)			
	Peso Muros	Peso Techo	Pesos Adic.	Total: CM		Piso	Peso	
1°	105.56	74.57	68.83	<b>248.96</b>	Tn	1°	<b>104.75</b>	Tn
2°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	2°	104.75	Tn
3°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	3°	104.75	Tn

4°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	4°	104.75	Tn
5°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	5°	104.75	Tn
6°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	6°	104.75	Tn
7°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	7°	104.75	Tn
8°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	8°	104.75	Tn
9°	105.56	70.57	68.83	244.96	Tn	9°	104.75	Tn
<b>SUMATORIA: 100% DE CM</b>				<b>2208.64</b>	<b>SUMATORIA:</b>	<b>235.68</b>		
					<b>25% DE CV</b>			

**Nota:** La tabla 9 presenta el metrado de peso propio de la edificación.

### *Propiedades no lineales de los materiales.*

#### *Concreto no Confinado.*

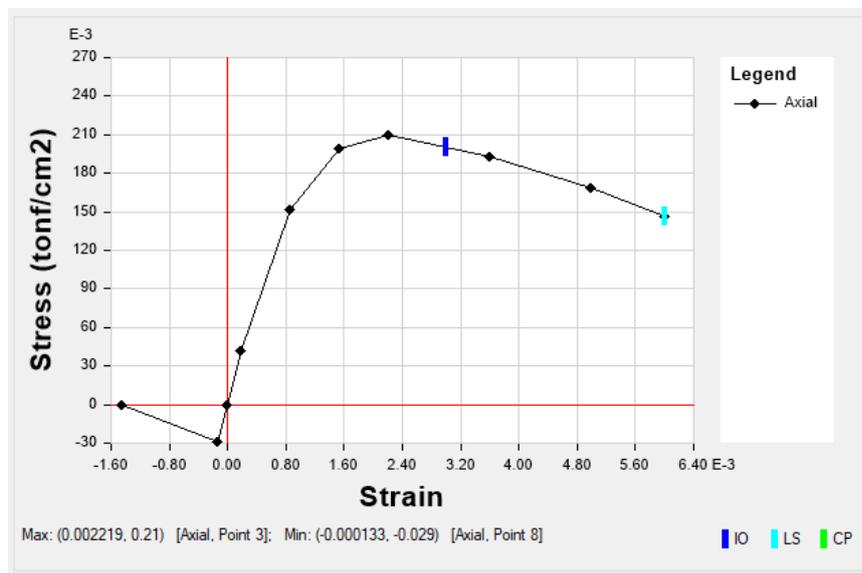


Figura 18. Características de no linealidad concreto no confinado.

#### *Malla electrosoldada.*

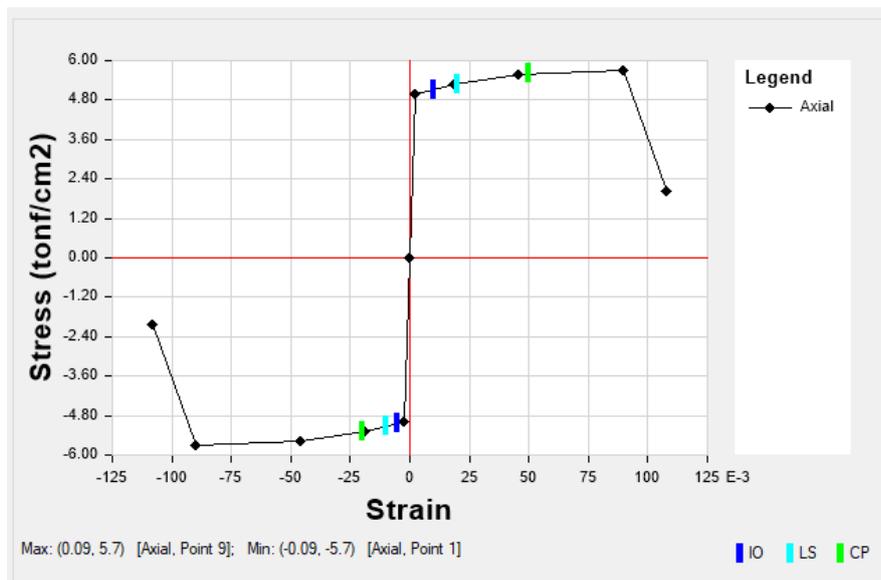


Figura 19. Características de acero de refuerzo.

### Curva de esfuerzo deformación de concreto sin confinar.

La curva de esfuerzo – deformación para concreto de sin confinar, se ve de acuerdo a la resistencia para lo cual está diseñado, en la figura 21 se ve un cambio considerable, para los concretos de alta resistencia, esto indica que para tener un mejor desempeño del material usado se debe de considerar de mayor resistencia.

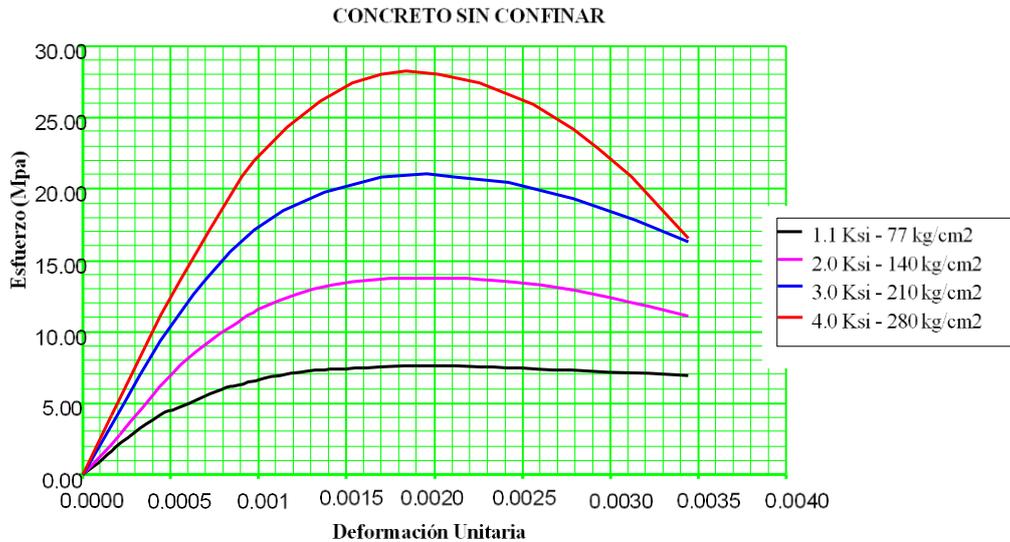


Figura 20. Curva de esfuerzo deformación de concreto sin confinar, informe de Gálvez 2012.

### Curva de esfuerzo deformación de acero corrugado vs malla electrosoldada.

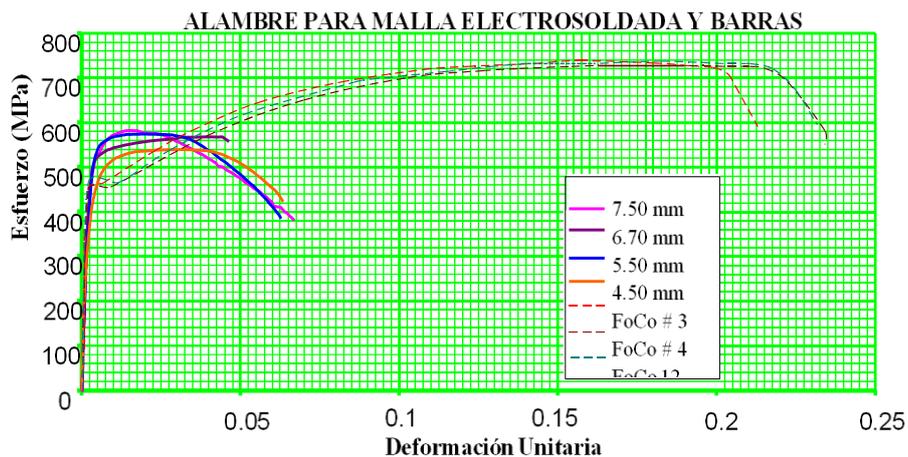


Figura 21. Comparación de Curva de esfuerzo - deformación de acero corrugado y malla electrosoldada.

Según (Gálvez, 2012) en su investigación de “Viviendas de Concreto con Malla

Electrosoldadas”, hace mención sobre la limitación de muros de ductilidad limitada,

donde estos sistemas tienden a tener alta resistencia a la rigidez pero muy baja a la ductilidad, esto es por falta de confinamiento en los extremos de los muros, para que un sistema estructural tenga una buena ductilidad todos los elementos deben tener la propiedad de ductilidad empesando de los materiales, sección, elemento y estructura en general, pero con esta propiedad no cumple empezando de los materiales como es el caso de concreto y acero, producto a ello la estructura tiene muy poca ductilidad.

**Descripción de elementos estructurales del proyecto.**

**Muros.**

Los muros son de espesores de 10cm, 12cm y 15cm con diferentes formas de T, L, + y C, cada una de estos muros siguen el mismo patrón de diseño que fue considerado por el proyectista, por ello en este proyecto de investigación se verificará si efectivamente cumplen con la función de soportar una demanda sísmica de diseño y sismos de diferentes intensidades ocurridos en el Perú.

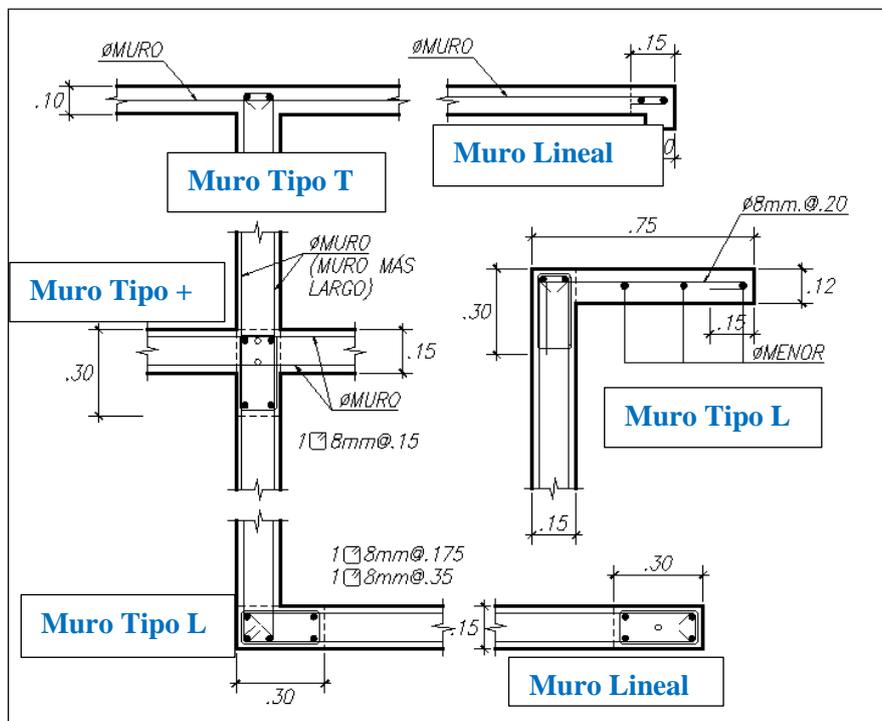


Figura 22. Muros estructurales del sistema MDL, en toda la planta sigue el mismo patrón.

*Losas.*

Las losas son diseñadas de tipo membrana en Muros de Ductilidad Limitada porque la carga que se aplica a los objetos de membrana se transfiere directamente a los objetos estructurales de soporte como es el caso los muros estructurales.

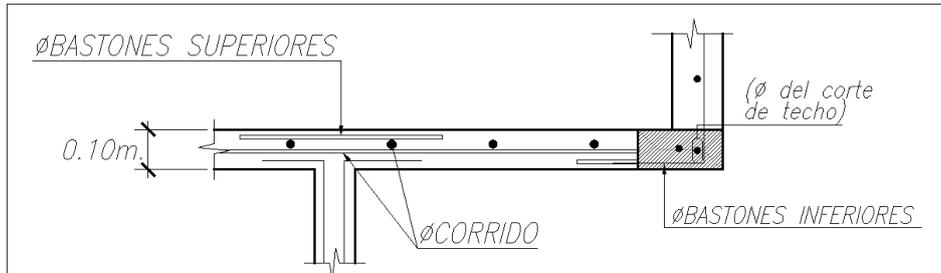


Figura 23. Detalle típico de losa de MDL.

***Procedimientos estáticos y dinámicos no lineales en los muros de corte.***

Las relaciones de deformación-carga no lineales deben seguir los procedimientos establecidos por (FEMA-356, 2012), para modelos analíticos que representan muros, vigas y columnas deben ser definidas como la figura 24 y 25.

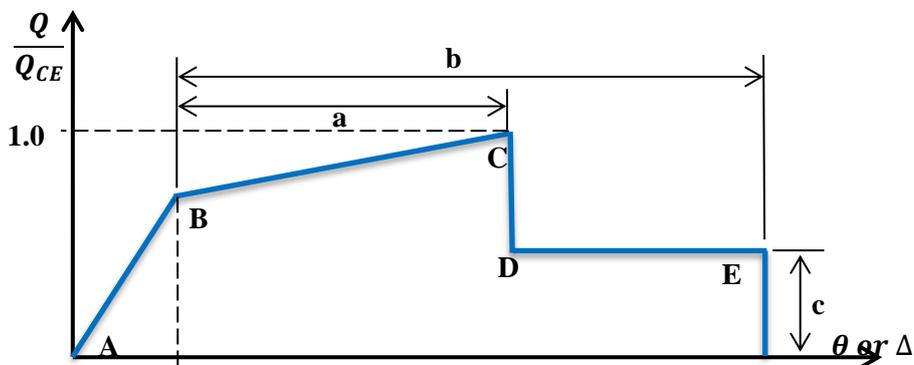


Figura 24. Relación generalizada carga – deformación, FEMA-365.

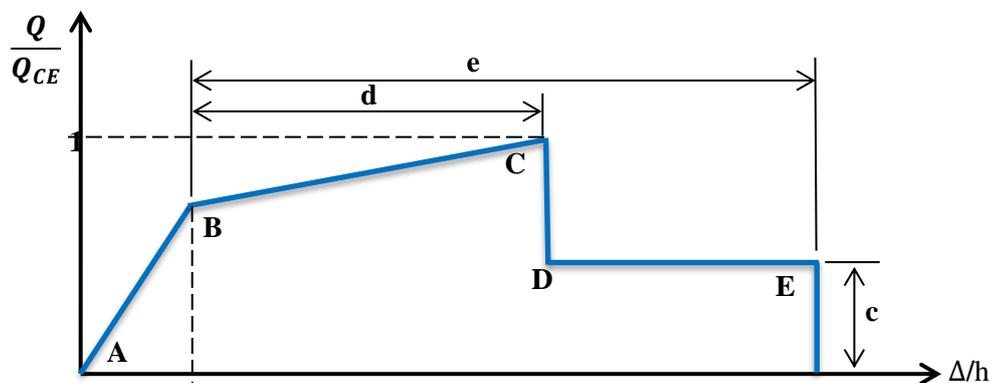


Figura 25. Relación generalizada carga – porcentaje deformación, FEMA-365.

La deformación las relaciones de deformación – carga de la figura 24, el punto B equivale a un rendimiento significativo, el punto C equivale donde la resistencia máxima empieza a perder su capacidad, el punto D equivale donde la resistencia máxima perdió su capacidad por completo y el punto E equivale al punto donde la resistencia de carga gravitacional perdió por completo (colapso total), la figura 26 esta gobernada para muros de corte y segmentos de muros que tienen el comportamiento inelástico en la carga lateral que es tomado por flexión la mayor fuerza lateral, así como los confinamientos aportan la elasticidad a los muros de corte.

### *Análisis estático o fuerzas equivalentes.*

#### *Cortante basal de la estructura.*

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará con la ecuación 1, presentada en el capítulo anterior. Esta fuerza es la acumulación de todas las fuerzas hacia la base, donde indica la capacidad de soporte en el primer piso de la estructura.

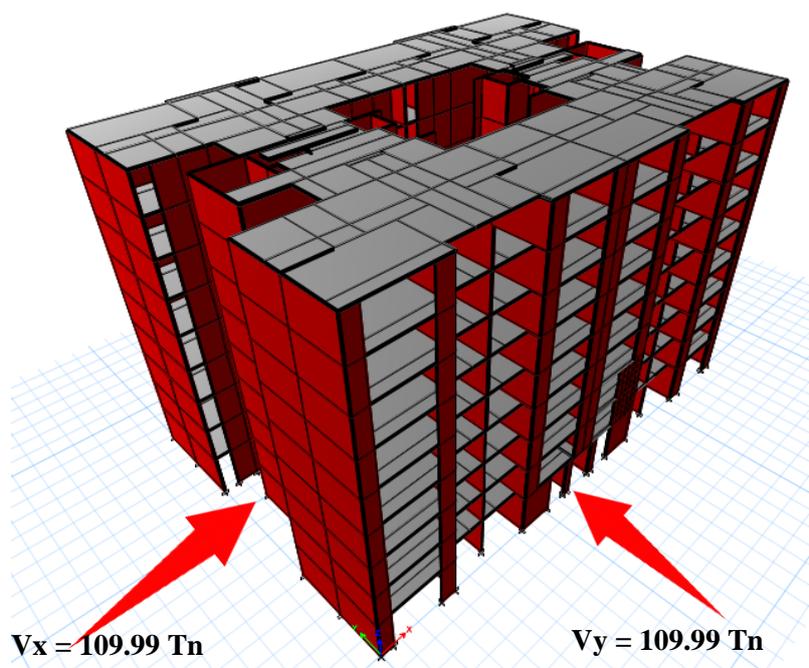


Figura 26. Presentación de la cortante basal estático en ambas direcciones.

*Distribución de fuerza sísmica en la altura.*

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel de la edificación, correspondientes a la dirección considerada, se calcularán mediante las ecuaciones 7 y 8, presentados por la Norma Peruana en el capítulo de diseño sismorresistente, el resultado obtenido este dado con unidades de toneladas (Tn).

*Ecuación 12 Fuerza sísmica en la altura.*

$$\alpha_i = \frac{P_i * (h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j * (h_j)^k}$$

$$F_i = \alpha_i * V$$

Donde  $k$  es un exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura ( $T$ ), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo con:

- Para  $T$  menor o igual a 0,5 segundos:  $k = 1,0$ .
- Para  $T$  mayor que 0,5 segundos:  $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$ .

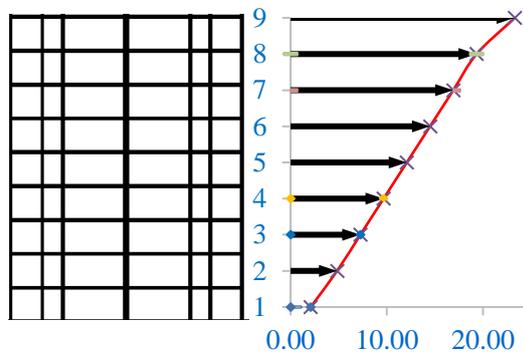


Figura 27. Distribución de las fuerzas estáticas en las alturas.

*Periodo fundamental de vibración.*

Periodo de fundamental de vibración para cada dirección se estima con la ecuación 6, o que también puede ser extraído del programa ETABS.

*Ecuación 13 Periodo fundamental expresada en segundos*

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$H_n$ =altura nominal

$C_T$ =Coeficiente de acuerdo al sistema estructura en cada dirección de análisis, lo cual corresponde a un periodo fundamental de  $T = 0.38$  Seg., para el caso de diseño

### ***Análisis dinámico modal espectral.***

#### *Modos de vibración.*

El factor de participación sísmica una vez determinado el modelo tridimensional se obtiene los periodos que corresponden a cada modo de vibrar, hasta que el porcentaje acumulado establecido en la norma peruana sea mayor que el 90%, lo cual para la estructura analizado el mayor modo participativo se encuentra en el modo 16.

Tabla 10

*Periodos y porcentaje de masa equivalente asociada a cada modo de vibración*

Modo	Periodo T-seg	% según grado de libertad			% acumulado		
		UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0.293	0	0.0012	0.0001	0	0.0012	0.0001
2	0.201	0	0.0005	7.12E-06	0	0.0016	0.0001
3	-0.181	0	0.6242	0	0	0.6258	0.0001
4	0.149	0	8.22E-06	6.77E-06	0	0.6258	0.0001
5	0.128	0.6618	0	1.17E-05	0.6618	0.6258	0.0001
6	0.113	0	0.0002	2.28E-06	0.6618	0.626	0.0001
7	0.099	0	0.2373	6.38E-07	0.6618	0.8633	0.0001
8	0.084	0	0.0001	2.39E-06	0.6618	0.8634	0.0001
9	0.079	0.2055	1.94E-06	0	0.8673	0.8634	0.0001
10	-0.065	1.39E-05	8.18E-06	0.1988	0.8673	0.8634	0.199
11	0.063	0	1.63E-05	1.00E-06	0.8673	0.8634	0.199
12	0.057	5.30E-06	7.88E-07	0.0655	0.8673	0.8634	0.2645
13	-0.052	2.12E-06	0	0.6678	0.8673	0.8634	0.9323
14	0.048	0	1.10E-05	6.02E-07	0.8673	0.8634	0.9323
15	0.041	0.0642	1.08E-06	0.0001	0.9315	0.8634	0.9324
16	0.039	0	1.80E-06	0	0.9315	0.8634	0.9324

**Nota:** la tabla 10 presenta el porcentaje de participación modal en cada piso, elaboración propia. Espectro de diseño.

Para el Análisis Dinámico de la estructura se utiliza un espectro de respuesta según la (E-030, 2014, pág. 21), es usado para determinar el punto de desempeño de la estructura, donde la intersección de la curva de capacidad y espectro de respuesta representa un punto de desempeño para una demanda sísmica. El análisis se realiza mediante ecuación 14 y con factores de amplificación de la ecuación 8.

*Ecuación 14 Aceleración espectral*

$$\frac{S_a}{g} = \frac{ZUCS}{R}; g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

*Ecuación 15 Constante de amplificación sísmica según periodo fundamental*

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$$

Donde:

$T_p$  = Periodo que define la plataforma del espectro.

$T_L$  = Periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante.

$T$  = Periodo fundamental de la estructura.

$C$  = Constante de amplificación sísmica.

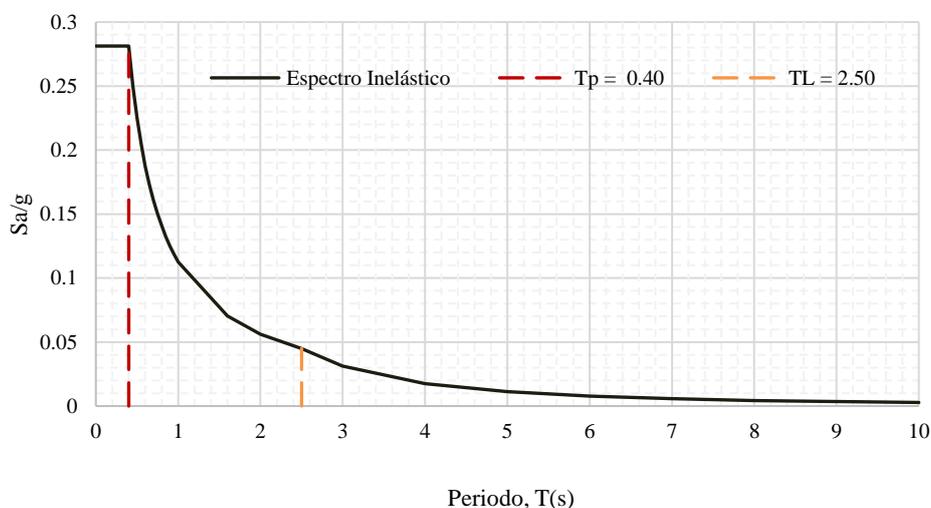


Figura 28. Espectro de demanda según parámetros sísmicos.

*Distorsiones máximas de entrepiso.*

La deformación sísmica debe cumplir de acuerdo con lo establecido en la Norma Peruana E-030. Donde indica que para las estructuras regulares los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando  $0.75R$  los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para el caso de estructuras irregulares deberá emplearse el valor de  $0,85 R$ . (E-030, 2014), El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas debe ser menor que la altura de entrepiso multiplicada por  $0.005$  para Muros de Ductilidad Limitada. Esto equivale a calcular el drift de cada piso, en la figura 29 se muestran el drift correspondiente de cada piso.

Tabla 11

*Desplazamiento de entrepisos en dos direcciones de análisis "X" y "Y".*

Pisos	Driff X	Driff Y
9	0.00011	0.000348
8	0.00011	0.000303
7	0.00011	0.000391
6	0.0001	0.00045
5	9.00E-05	0.000415
4	8.10E-05	0.000425
3	7.20E-05	0.000527
2	6.00E-05	0.000601
1	3.80E-05	0.000376
Base	0.0000	0.0000

*Nota: La tabla 11 presenta las derivas de los pisos Driff en ambas rirrecone.*

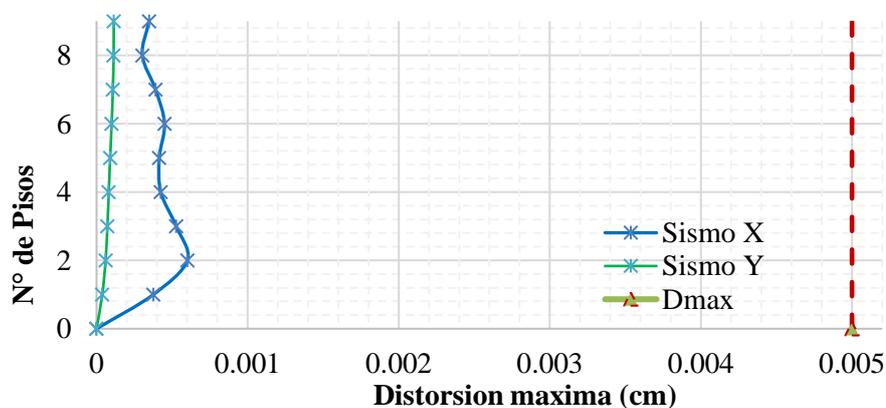


Figura 29. Verificación de control de desplazamientos de entrepiso según sismo en X y Sismo en Y.

### *Análisis estático no lineal – pushover.*

#### *Asignación de patrones de carga.*

Para el análisis se usa el software ETABS, que permite realizar este tipo de análisis y analizar a la estructura mediante la curva de capacidad y los espectros de respuesta, para el correcto análisis se establecen patrones de carga establecidos por (ATC-40, 1996) como se muestra en la figura 30 que están establecidos como una carga no lineal.

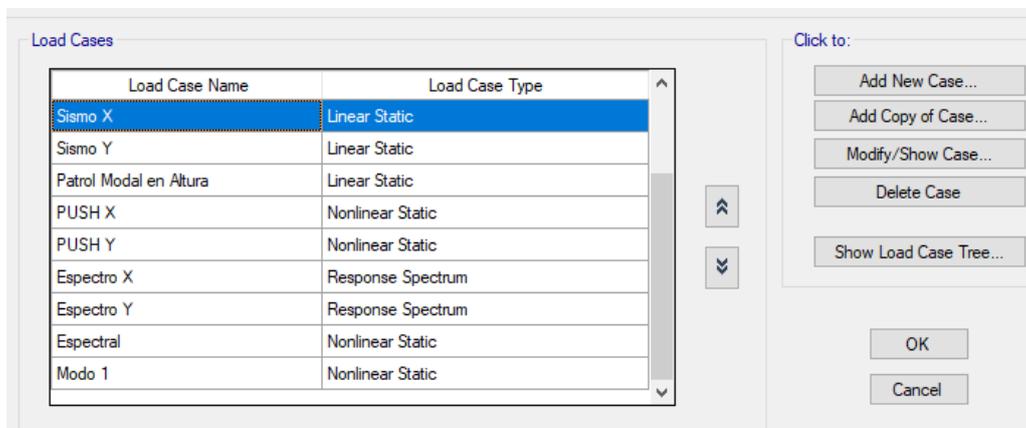


Figura 30. Asignación de patrones de carga en ETBS, como una carga no lineal.

#### *Asignación de rotulas plásticas.*

Luego de haber asignado los patrones de carga, también se establecen las rotulas plásticas en los muros, sin embargo la asignación de estas, no son aplicables en estos sistemas estructurales. Son considerados las fallas de la figura 31 de acuerdo a la evaluación de capacidad de resistencia de los muros.

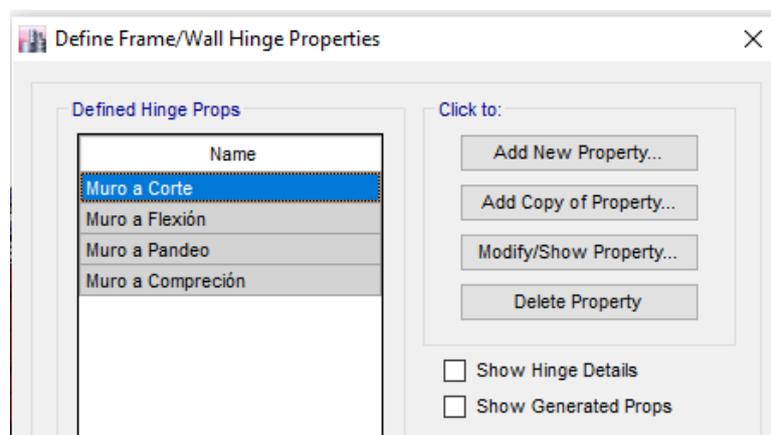
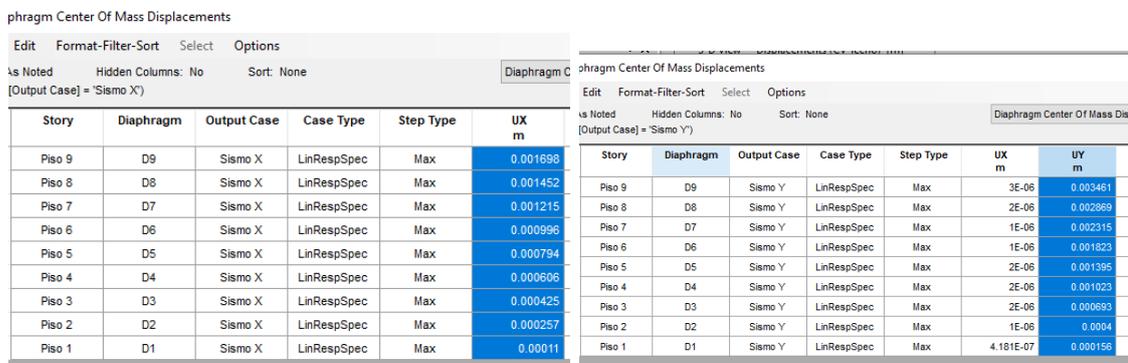


Figura 31. Asignación de las fallas en los muros.

De acuerdo a la asignación de fallas hipotéticamente, en donde podría presentar más fallas, se procede a determinar la capacidad de la estructura.

*Curva de capacidad.*

La curva de capacidad se obtiene a partir del análisis pushover con los patrones de cargas y los estados de falla asignado, para ello se determina los desplazamientos y modos de vibración para cada dirección de análisis con el software ETABS, los datos son adecuados según lo necesario para el respectivo análisis de la curva de capacidad.



Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UX m
Piso 9	D9	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.001698
Piso 8	D8	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.001452
Piso 7	D7	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.001215
Piso 6	D6	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.000996
Piso 5	D5	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.000794
Piso 4	D4	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.000606
Piso 3	D3	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.000425
Piso 2	D2	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.000257
Piso 1	D1	Sismo X	LinRespSpec	Max	0.00011

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UX m	UY m
Piso 9	D9	Sismo Y	LinRespSpec	Max	3E-06	0.003461
Piso 8	D8	Sismo Y	LinRespSpec	Max	2E-06	0.002869
Piso 7	D7	Sismo Y	LinRespSpec	Max	1E-06	0.002315
Piso 6	D6	Sismo Y	LinRespSpec	Max	1E-06	0.001823
Piso 5	D5	Sismo Y	LinRespSpec	Max	2E-06	0.001395
Piso 4	D4	Sismo Y	LinRespSpec	Max	2E-06	0.001023
Piso 3	D3	Sismo Y	LinRespSpec	Max	2E-06	0.000693
Piso 2	D2	Sismo Y	LinRespSpec	Max	1E-06	0.0004
Piso 1	D1	Sismo Y	LinRespSpec	Max	4.181E-07	0.000156

Figura 32. Desplazamientos obtenidos del software ETABS.

Tabla 12

*Desplazamientos de techo para cada nivel de piso con patrón modal de carga asignada*

Pisos	V <sub>x</sub> (Tn)	D <sub>x</sub> (m)	V <sub>y</sub> (Tn)	D <sub>y</sub> (m)	Δ D <sub>max</sub> X	Δ D <sub>max</sub> Y
Base	0	0	0	0	0	0
1°	2.687	0.00011	2.687	0.000156	0.00011	0.000156
2°	5.019	0.000257	5.019	0.0004	0.000147	0.000244
3°	7.528	0.000425	7.528	0.000693	0.000168	0.000293
4°	10.037	0.000606	10.037	0.001023	0.000181	0.00033
5°	12.547	0.000794	12.547	0.001395	0.000188	0.000372
6°	15.056	0.000996	15.056	0.001823	0.000202	0.000428
7°	17.565	0.001215	17.565	0.002315	0.000219	0.000492
8°	20.075	0.001452	20.075	0.002869	0.000237	0.000554
9°	19.480	0.001698	19.480	0.003461	0.000246	0.000592

**Nota:** La tabla 12 presenta los desplazamientos de cada piso, con ello se elabora la curva de capacidad de la estructura.

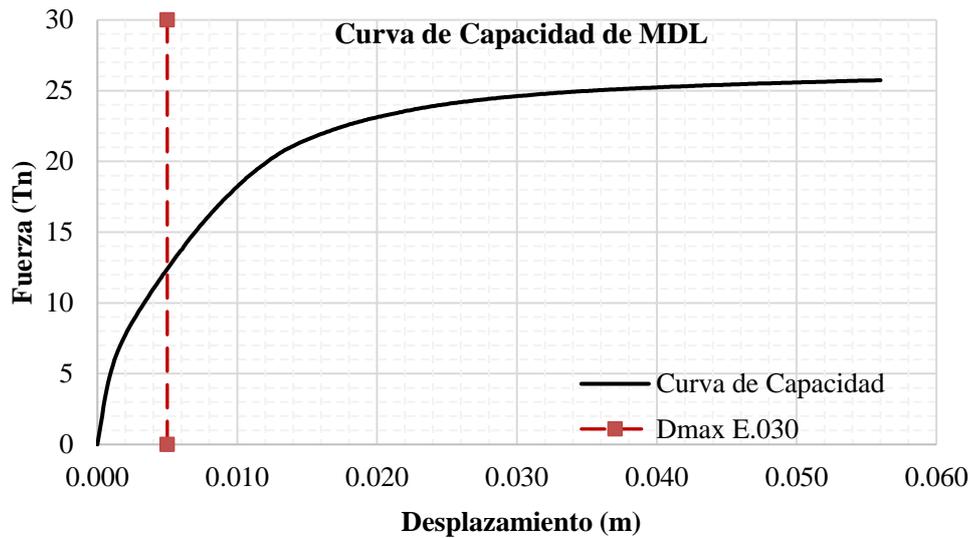


Figura 33. Curva de capacidad de MDL (Fuerza – Desplazamiento), elaboración propia.

*Punto de desempeño por método de espectro de capacidad.*

Para la obtención de punto de desempeño o desplazamiento esperado se obtuvo mediante el análisis no lineal pushover, con el programa ETABS, los cuales se presenta para la dirección de análisis "X" en la figura 34. Donde el desplazamiento objetivo fue de 0.006075 m, en este punto se verificará los estados en que se encuentran los elementos estructurales como los muros y techos.

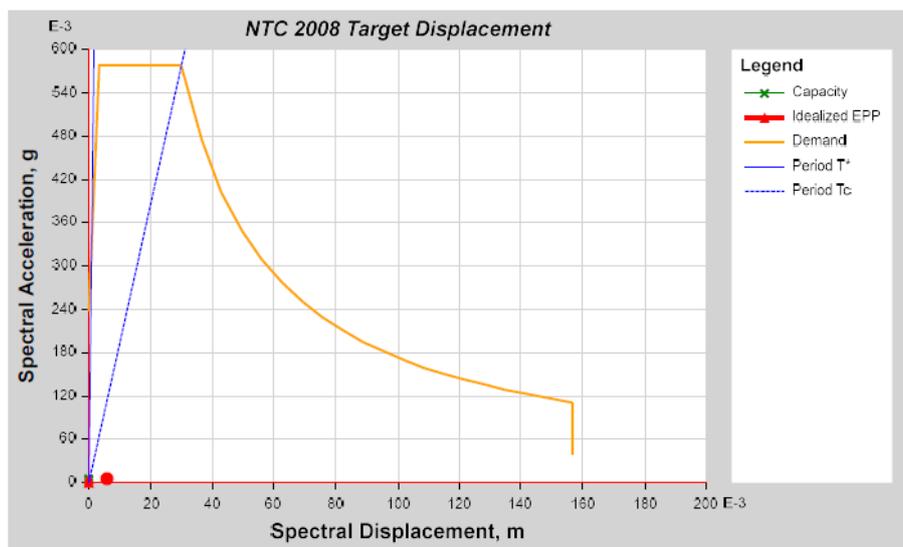


Figura 34. Desplazamiento objetivo en la dirección de análisis X, mediante análisis no lineal pushover.

De misma manera se verifico para la dirección de análisis "Y" en la figura 35.

Donde el desplazamiento objetivo fue de 0.007156 m, en este punto se verificará los estados en que se encuentran los elementos estructurales.

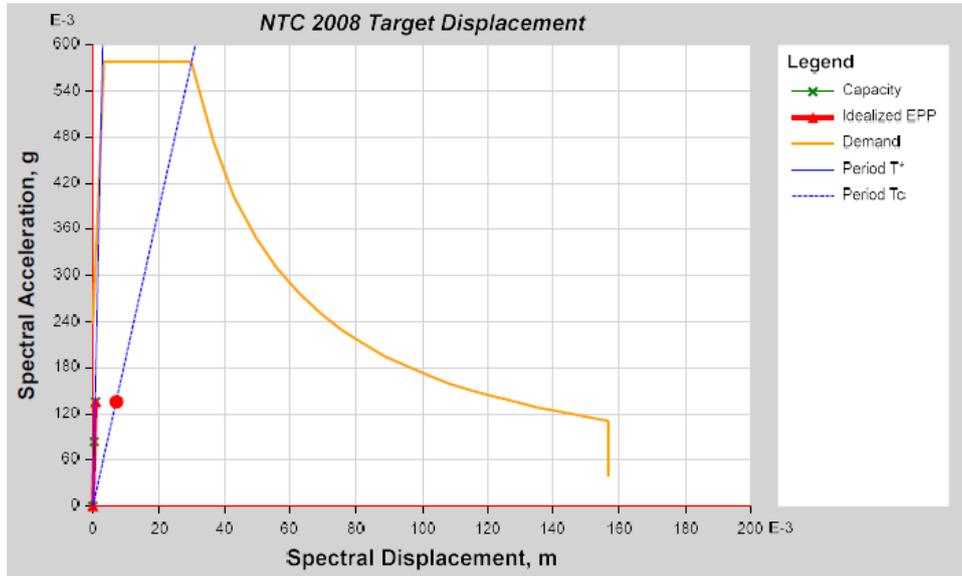


Figura 35. Desplazamiento objetivo en la dirección de análisis Y, mediante análisis no lineal pushover.

*Punto de desempeño en curva de capacidad.*

Después de obtener el punto de desempeño esperado de la estructura, en el programa ETABS, se procedió a transcribir a la curva de capacidad de la estructura para ver la capacidad de diseño para lo cual fue planteado inicialmente.

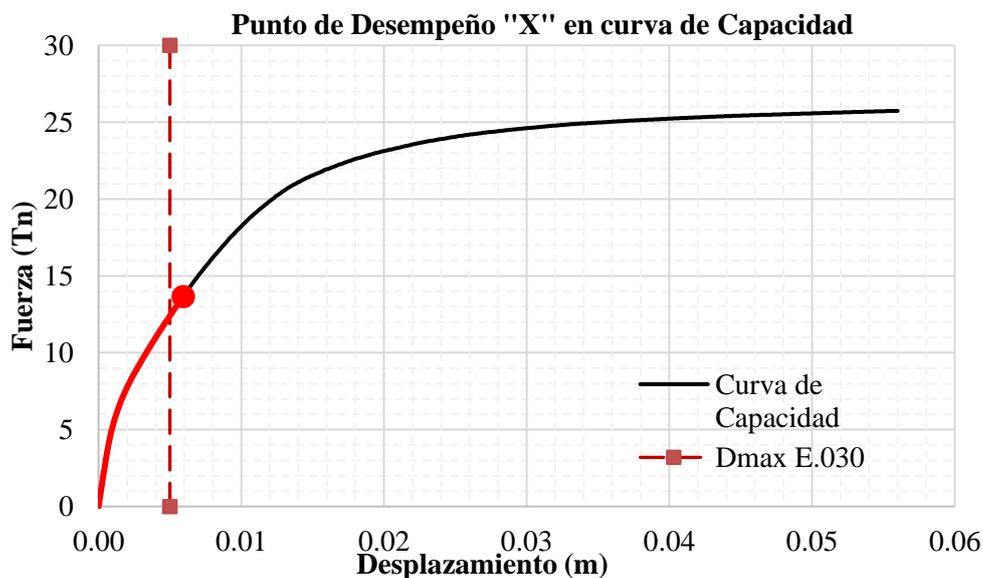


Figura 36. Objetivo esperado de la estructura en dirección "X".

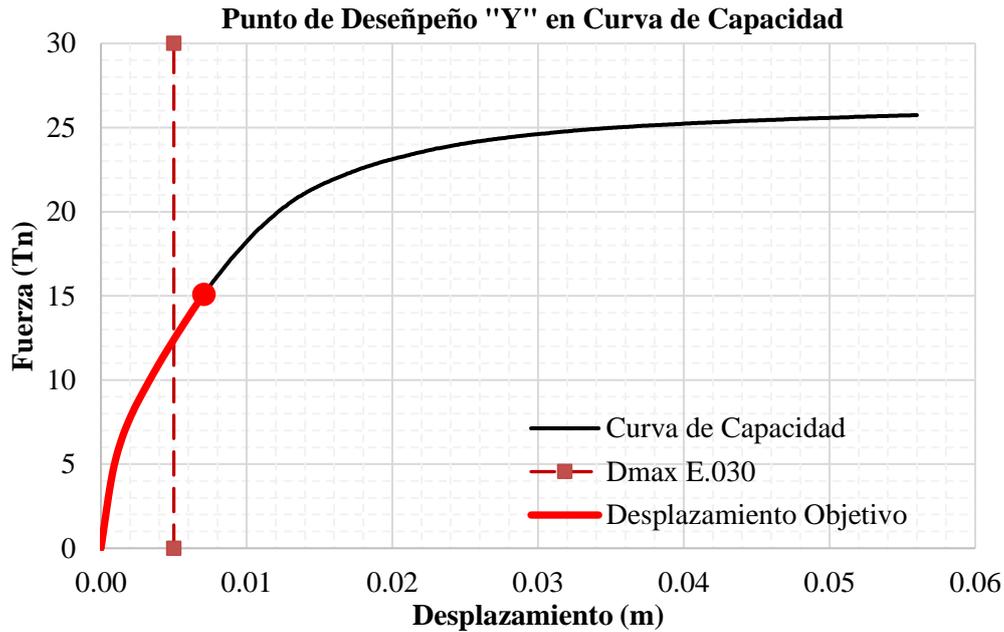


Figura 37. Objetivo esperado de la estructura en dirección "Y".

En este capítulo se realizó la evaluación de desempeño estructural de muros de ductilidad limitada con fuerzas estáticas y con una demanda sísmico de diseño, para lo cual fue aplicado en el programa ETABS la no linealidad de cada elemento estructural, luego a ello se procedió a la aplicación de pushover con patrones de carga estática. Se obtuvo la curva de capacidad Fuerza – Desplazamiento de la estructura, con ello se debe de obtener el punto de desempeño esperado (objetivo de desplazamiento), el punto de desempeño se obtuvo para cada dirección de análisis por el método de espectro de capacidad como se muestra en la figura 34 y 35.

El objetivo esperado de acuerdo a la figura 36 en dirección de análisis X es de 0.007156 m y para dirección de análisis Y según la figura 37 es de 0.007156 m, para este desplazamiento se deberá de verificar en qué estado se encuentra los elementos estructurales de MDL. Se llevo el punto de desempeño a la curva de capacidad con la finalidad de verificar en que rango se encuentra el objetivo de diseño según criterios de ATC. 40, comité visión 2000 y FEMA 440.

### *Verificación de elementos estructurales según el desplazamiento objetivo.*

La verificación de los elementos estructurales se realiza con el objetivo de desempeño encontrado del análisis pushover no lineal el desplazamiento más desfavorable gobernara para evaluar cada elemento que presente alguna falla. Con la evaluación se verificará la capacidad máxima de carga que pueda soportar el muro, en este caso se encontró que los muros del ingreso al edificio están en un nivel de desempeño de pre colapso, esto da indicios de que el muro no cuenta con adecuado refuerzo de acero o están sobrecargados por el muro superior, el muro se encuentra con tensión máxima en los círculos marcados.

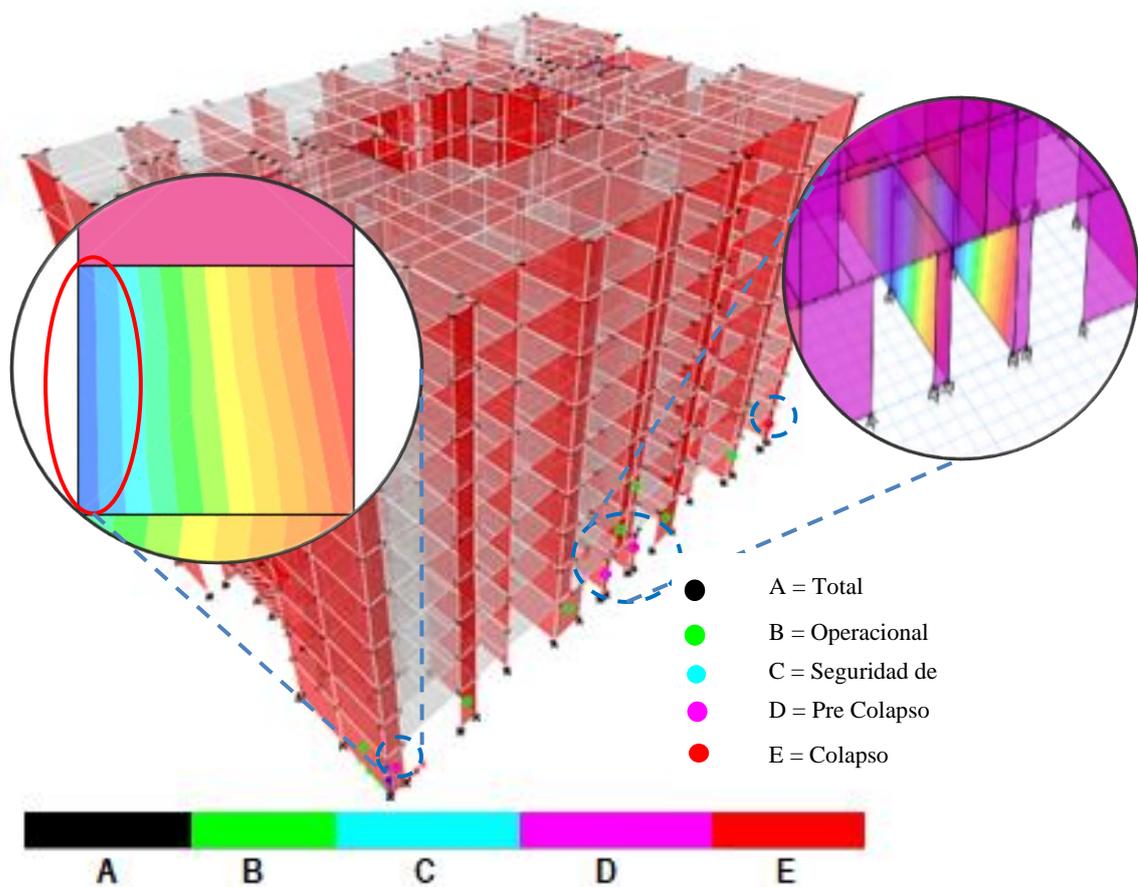


Figura 38. Verificación de elementos estructurales, con el desplazamiento objetivo.

## 2.4.2. Del objetivo específico 2

### A. Proceso de desarrollo.

- Análisis de registro sísmico
- Control de distorsión según registro sísmico
- Curva de capacidad tiempo - historia
- Objetivos de diseño de registros sísmicos
- Verificación de capacidad de los elementos estructurales

### B. Marco teórico.

#### *Registro sísmico.*

El registro sísmico es considerado como base de datos sísmicos de una vibración del suelo a consecuencia de sismos, el registro sísmico esta dado en tres direcciones norte (N), este (E) y oeste (W), el registro sísmico depende una estación sismológica, a cuan cerca se presenta un movimiento del suelo, estos registros dan utilidad para realizar investigaciones de tiempo historia y poder predecir alguna falla a una determinada estructura con el registro sísmico.

#### *Curva de capacidad de registro sísmico.*

La curva de capacidad de un registro sísmico, también es conocido como curva dinámica Pushover, en esta evaluación se usará el análisis dinámico incremental (IDA), donde la estructura es sometida a una serie de análisis de tiempo historia no lineal de intensidad creciente, se amplifica progresivamente la aceleración pico del suelo desde un valor bajo de respuesta elástica hasta alcanzar algún estado limite post fluencia predefinido. Los valores picos de corte basal son luego graficados con respecto a sus respectivos desplazamientos de la cima de la estructura para cada registro (Cabanillas, 2016).

### ***Espectro de respuesta.***

El espectro de respuesta es una curva representativa de respuesta que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo frente a fenómenos naturales como es el caso de un sismo, el espectro de respuesta se puede obtener mediante el registro sísmico, el estudio de peligro sísmico y el análisis de respuesta de sitio, o que representa la máxima respuesta de la estructura, expresada en términos de aceleración espectral  $S_a$ , en cualquier momento durante un terremoto en función del periodo de vibración  $T$  (Soto, 2018).

### ***Control de distorsión.***

El control de distorsión según la norma peruana (E-030, 2014) del capítulo de diseño sismorresistente, está dado por desplazamientos laterales relativos de entrepiso, esto no debe exceder una fracción de la altura de entrepiso (distorsión), donde para edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada es de 0.005 la deriva de entrepiso.

### ***Objetivos de desempeño.***

Los objetivos de desempeño miden la aceptabilidad de daño causados por los terremotos hipotéticos futuros, con estos objetivos se busca mejorar la capacidad estructural para contrarrestar los daños ocasionados por el sismo que se presente, el comité visión 2000 propone objetivos de desempeño esperado de una estructura según su implicancia en la seguridad poblacional.

Los peligros asociados con futuros terremotos hipotéticos comúnmente se definen en términos de amplitudes de sacudidas del suelo con una cierta probabilidad de ser excedidas durante un período de tiempo definido, o en términos de un terremoto

característico que probablemente ocurra en una falla determinada. La combinación de un nivel de desempeño y un peligro define un objetivo de desempeño.

Tabla 13  
*Desplazamiento objetivo según niveles de desempeño para curva de capacidad*

Niveles de Desempeño	Desplazamiento Objetivo Dt/H	
Totalmente Operacional	≤	0.2%
Operacional	≤	0.5%
Seguridad de vida	≤	1.5%
Pre Colapso	≤	2.5%
Colapso	>	2.5%

**Nota:** la tabla 13 presenta los valores de desplazamiento según objetivos de diseño para niveles de desempeño.

Los objetivos de desempeño establecen los rangos de valores deseados con el comportamiento de la estructura bajo una acción sísmica como lo establece (ATC-40, 1996), tres niveles de desempeño: ocupacional inmediato (IO), Seguridad de vida (LS) y prevención de colapso (CP).

Tabla 14  
*Nivel de desempeño esperado: criterio de seguridad básica*

Nivel del movimiento del terreno	Nivel de desempeño de la edificación			
	Operacional	Inmediata Ocupación	Seguridad Vital	Estabilidad Estructural
Servicio (SS)				
Diseño (SD)			X	
Máximo (SM)				X

**Nota:** la tabla 14 presenta según la demanda sísmica de diseño el objetivo esperado de una estructura básica debe ser de seguridad de vida.

### C. Desarrollo.

Para el desarrollo del objetivo 2 “Evaluar la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el análisis no lineal pushover incrementando sismos de diferentes intensidades para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021”, se realiza una evaluación pushover tiempo historia, se realizará una evaluación de desempeño esperado de la estructura con los registros sísmicos más representativos en la historia del Perú.

### Análisis de registros sísmicos.

Para el Análisis de Dinámico Incremental (ADI) se usarán como mínimo tres registros de aceleraciones del terreno. Las historias de aceleración serán obtenidas de acuerdo con la magnitud de daño ocasionado cada evento sísmico. Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleración, con 5% de amortiguamiento, los registros considerados se presentan en la tabla 15.

Tabla 15  
Registro de sismos más fuertes en los últimos 25 años

Fecha	Lugar	Escala Momento	Escala Mercalli (MM)	Escala Richter
3 de octubre de 1966	Lima - Callao	8.1 MW	VII	
31 de mayo de 1970	Ancash	7.9 MW	X	6.2°
15 de agosto de 2007	Pisco, Ica, Chincha y paracas	7.9 ML	VII-VIII	7.9°
01 de abril del 2014	Perú - Callao	8.2 MW	VIII-IX	8.1°
22 de febrero de 2019	Ecuador	6.9 MW	VIII	7.6°

**Nota:** La tabla 15 presenta el registro sísmico del Perú con mayor intensidad de daño en los últimos 25 años.

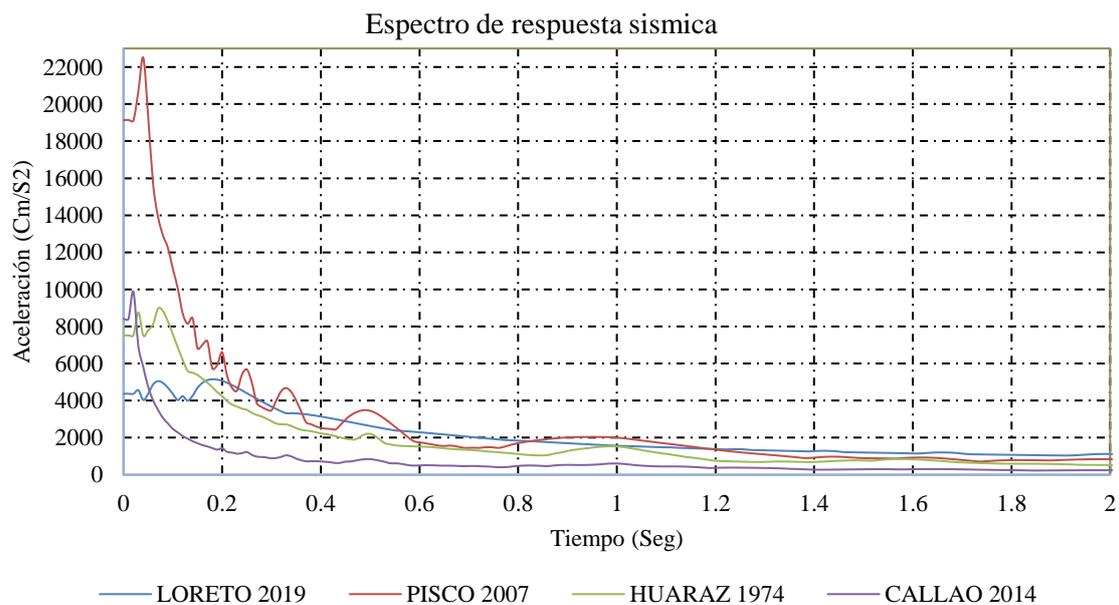


Figura 39. Espectros de respuesta sísmica de acuerdo con la magnitud de daño en el Perú.

### *Control de distorsión según registro sísmico.*

En este capítulo se presenta una distorsión de entre pisos de acuerdo a los registros sísmicos presentados, de los cuales son tomados como muestra a sismo de Ancash 1970, sismo de Pisco 2007, sismo de Callao 2014 y 1966, sismo de Ecuador 2019, los sismos son usados para determinar el desplazamiento máxima de una estructura y para saber el desempeño de la estructura frente a los fenómenos naturales presentados.

Tabla 16

*Desplazamiento de entre pisos con los diferentes sismos presentados*

Pisos	Callao - 1966		Ancash - 1970		Pisco - 2007		Callao - 2014		Ecuador - 2019	
	3 de octubre de 1966		31 de mayo de 1970		15 de agosto de 2007		01 de abril del 2014		22 de febrero de 2019	
	Driff X	Driff Y	Driff X	Driff Y	Driff X	Driff Y	Driff X	Driff Y	Driff X	Driff Y
9	0.0009	0.0062	0.0033	0.0020	6.00	0.0001	8.30	0.0007	2.80E	5.30
	49	71	62	02	E-06	44	E-05	49	-05	E-05
8	0.0009	0.0059	0.0033	0.0019	6.00	0.0001	8.30	0.0007	2.80E	5.30
	46	4	31	46	E-06	35	E-05	06	-05	E-05
7	0.0009	0.0051	0.0032	0.0018	6.00	0.0001	8.30	0.0006	2.80E	5.10
	9	26	46	06	E-06	12	E-05	01	-05	E-05
6	0.0011	0.0037	0.0030	0.0015	5.00	7.70E-	8.10	0.0004	2.70E	4.70
	01	64	8	71	E-06	05	E-05	26	-05	E-05
5	0.0012	0.0019	0.0028	0.0012	6.00	5.20E-	7.60	0.0002	2.60E	4.20
	19	88	13	67	E-06	05	E-05	26	-05	E-05
4	0.0012	0.0006	0.0024	0.0009	1.10	5.70E-	6.70	0.0002	2.30E	3.80
	98	82	31	19	E-05	05	E-05	28	-05	E-05
3	0.0012	0.0012	0.0019	0.0009	1.60	9.90E-	5.40	0.0002	2.00E	3.30
	63	81	28	16	E-05	05	E-05	54	-05	E-05
2	0.0010	0.0015	0.0012	0.0007	1.70	0.0001	3.70	0.0003	1.40E	2.50
	5	27	89	9	E-05	12	E-05	32	-05	E-05
1	0.0004	0.0007	0.0004	0.0003	8.00	5.30E-	1.40	0.0001	5.00E	1.00
	48	43	64	35	E-06	05	E-05	7	-06	E-05
Base	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Nota:** La tabla 16 presenta la distorsión de los entrepisos de acuerdo a los sismos presentados en la tabla 16, elaboración propia.

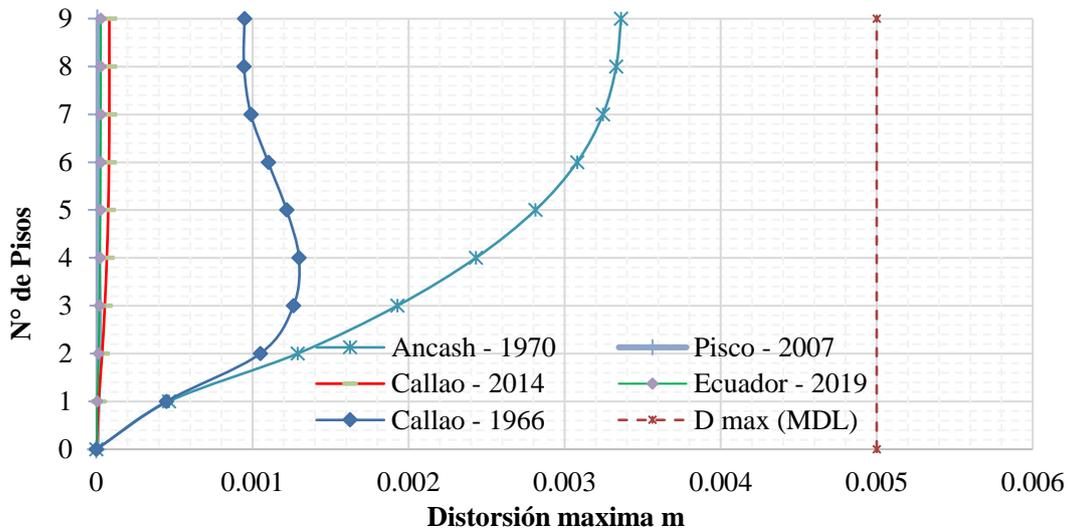


Figura 40. Verificación de control de desplazamiento de entrepisos en "X", según la norma E-030, de acuerdo a los sismos presentados.

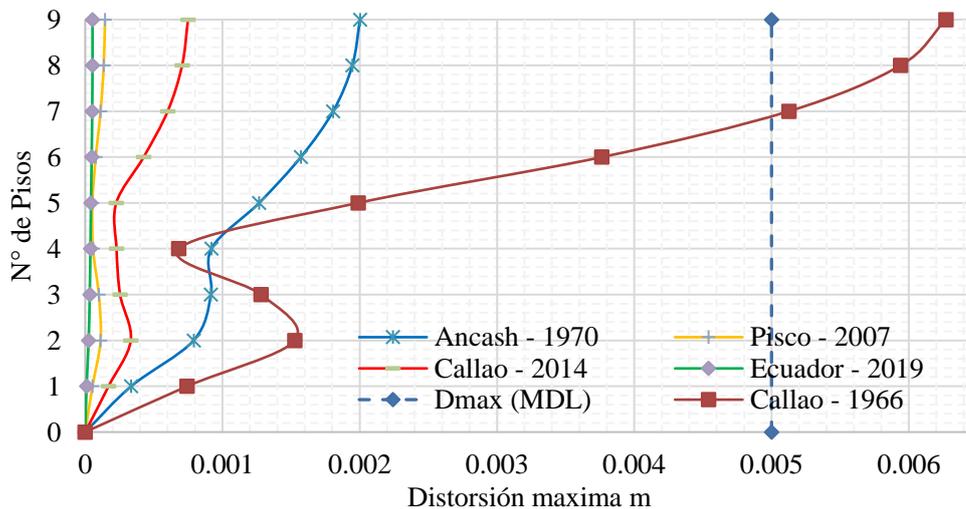


Figura 41. Verificación de control de desplazamiento de entrepisos en "Y", según la norma E-030, de acuerdo a los sismos presentados.

Se verifico el desplazamiento máximo según la norma E.030 de cada sismo presentado para determinar el desempeño frente a estas, como se aprecia en la figura 41 el sismo de Ancash 1970 pasa de lo permitido por la norma, sin embargo, hacer mención que no debe exceder el doble de lo establecido por la norma.

### ***Curva de capacidad tiempo – historia.***

Se obtuvo la curva de capacidad de los sismos presentados en la tabla 15, de la misma forma de la capacidad estructural, sin embargo, en esta oportunidad la curva de capacidad es representado por espectro de aceleraciones y desplazamientos en un

tiempo determinado. La curva de capacidad más representativo es del sismo de Ancash 1970, lo que predomina para el análisis de punto de desempeño.

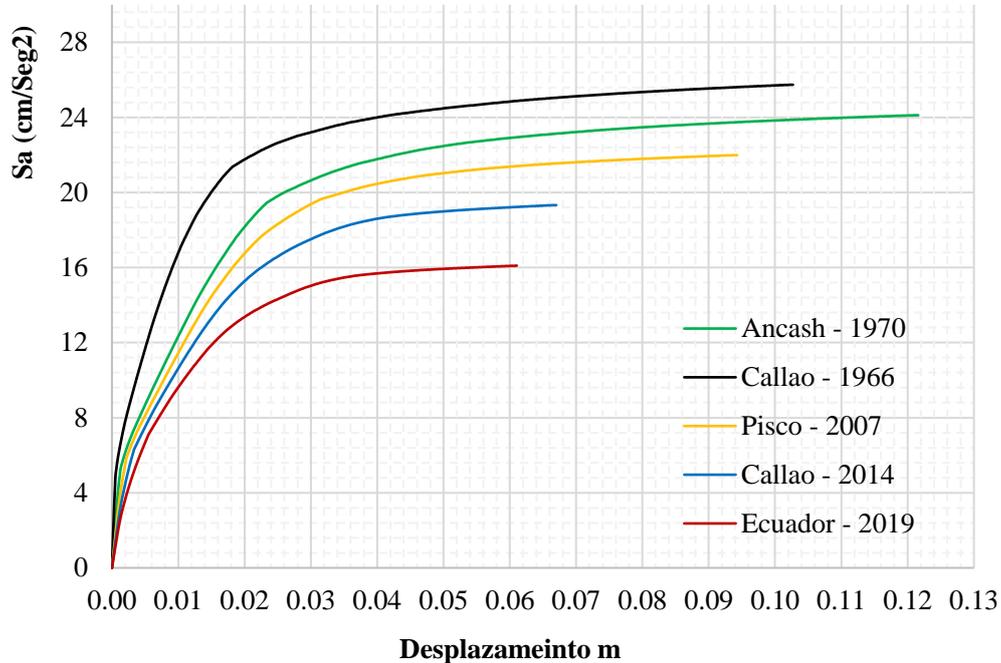


Figura 42. Curva de capacidad para cada registro sísmico.

### **Objetivos de diseño de registro sísmico.**

Los objetivos de desplazamiento de la estructura con respecto a los registros sísmicos, se evalúa en la curva de capacidad de la figura 42. De modo que son calculados en el programa Etabs por el método de espectro de capacidad, estos puntos dan como resultado para sismo de Callao – 1966 con desplazamiento objetivo de 0.01881 m, Ancash – 1970 con D. O. de 0.01591 m, Pisco – 2007 con un D.O. de 0.008762 m, Callao – 2014 con un D.O. de 0.004275m y por último el sismo de Ecuador – 2019 con un desplazamiento objetivo de 0.002655 m.

*Desplazamiento Objetivo de sismo callao 1966.*

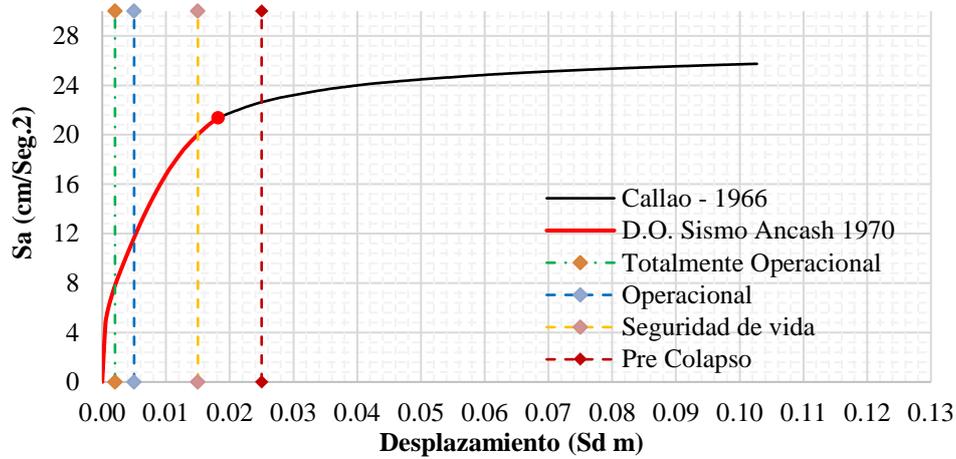


Figura 43. Desplazamiento objetivo para el sismo de Callao 3 de octubre de 1966.

*Desplazamiento objetivo de sismo Áncash 1970.*

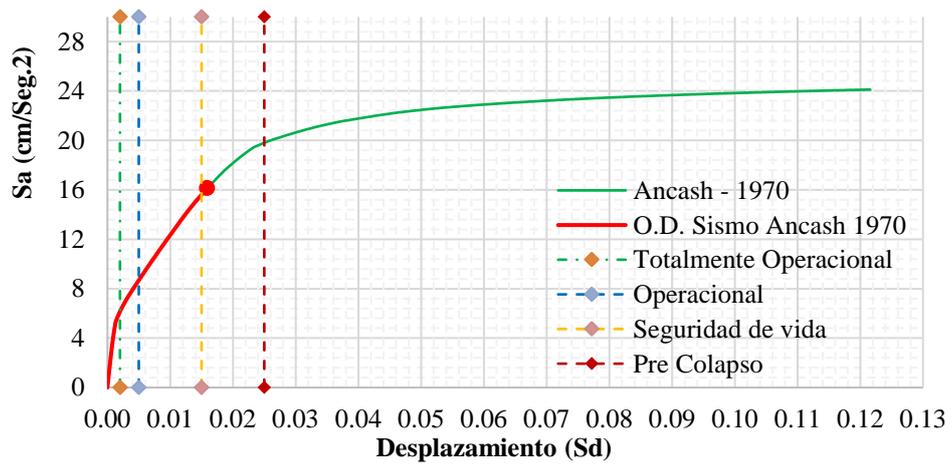


Figura 44. Desplazamiento objetivo para el sismo de Ancash 31 de mayo de 1970.

*Desplazamiento objetivo de sismo Pisco 2007.*

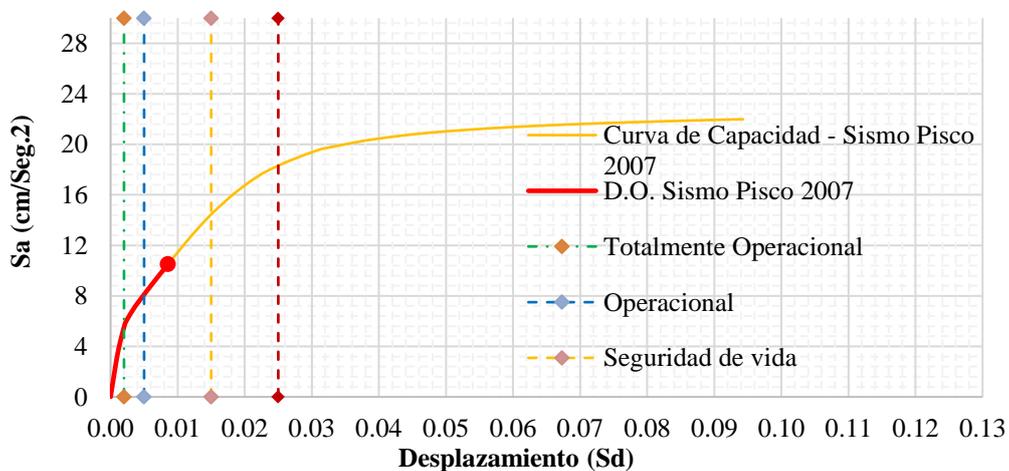


Figura 45. Desplazamiento objetivo para el sismo de Pisco 15 de agosto de 2007.

*Desplazamiento objetivo de sismo Callao – 2014.*

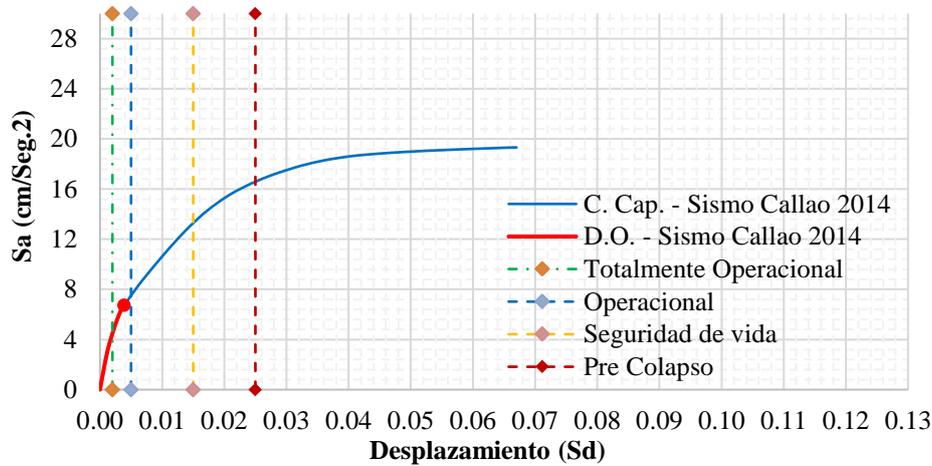


Figura 46. Desplazamiento objetivo para el sismo de Callao 1 de abril del 2014.

*Desplazamiento objetivo de sismo Ecuador 2019.*

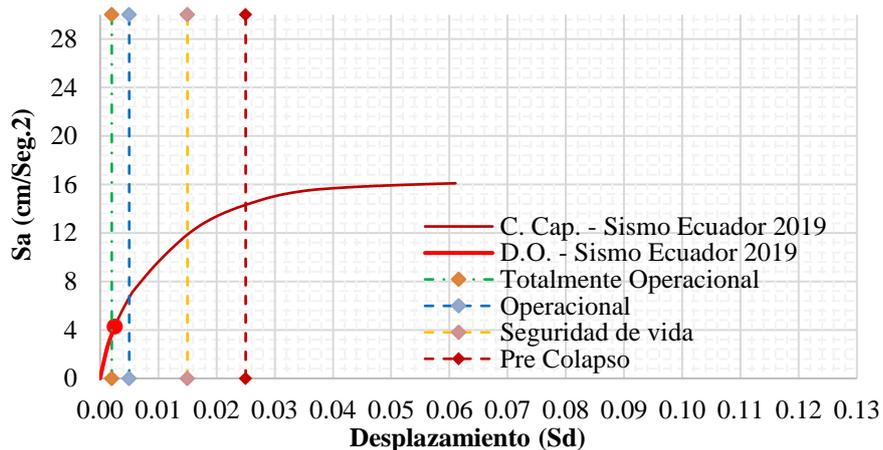


Figura 47. Desplazamiento objetivo para el sismo de Ecuador (Amazonas) 22 de febrero del 2019.

Según el desarrollo del objetivo 2 se encontró que para sismos con intensidad de 7 – 8, como es el caso el Sismo de Ancash 1970 y Callao 1996 no cumplen con los criterios del Comité Visión 2000 y tampoco con los criterios de la norma peruana la distorsión de entrepiso, por lo que exceden el desplazamiento planteado en la norma E.030. para sismo de Ancash 1970 se encuentra en un estado de **pre colapso** en la dirección de análisis más desfavorable, así como también para sismo de callao 1996.

Para registro sísmico del sismo de Pisco 2007 el desplazamiento objetivo se encuentra en **Seguridad de vida**, donde se encuentra dentro de los parámetros de

Comité visión 2000 y cumple con el criterio de diseño sismorresistente, sin embargo, se tendría que verificar los estados en que se encuentran cada elemento estructural.

Para registros sísmicos de los sismos de Callao 2014 y Ecuador 2019 el desplazamiento objetivo se encuentra en un estado **Operacional**, lo cual no sería necesario realizar la evaluación con estos registros sísmicos por que cumplen con los criterios de Comité Visión 2000 y la norma peruana de diseño sismorresistente E.030.

### *Verificación de capacidad de los elementos estructurales*

La verificación de los elementos estructurales se realiza para los registros sísmicos que no cumplen con los criterios de Comité visión 2000. Se verificará para sismo de Ancash 1970 y Calla 2014, en la figura 48 se aprecia que las los elementos estructurales se encuentran en un estado de Pre colapso, para mayor veracidad de esto se evalúa la capacidad de un muro más desfavorable.

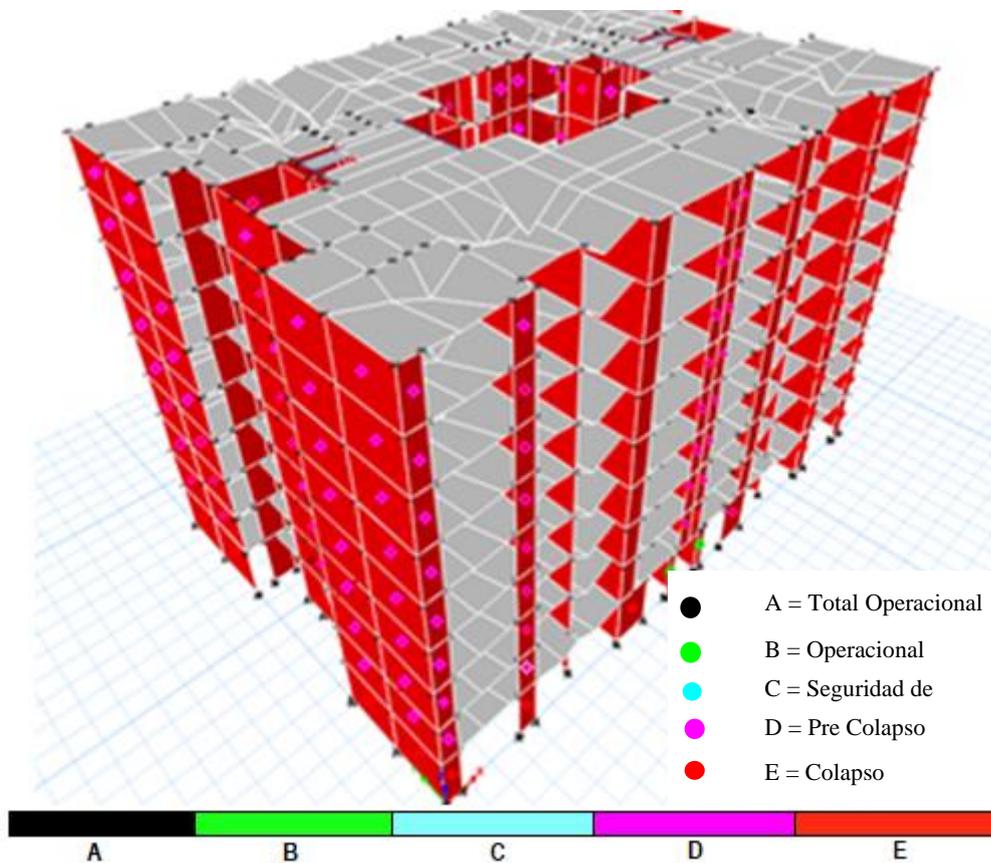


Figura 48. Capacidad estructural de todo el sistema de MDL, para sismos de Ancash 1970 y Callao 2007.

Verificación de estados de daño del muro Tipo "L" en el eje (A-A + 1-1), se elabora una curva de capacidad específicamente para los muros que presentan alguna falla, con ello se verifico el objetivo según los estados de daño que presenta (Zavala, 2019, pág. 140), para el caso evaluado el muro se encuentra en un estado de Pre colapso.

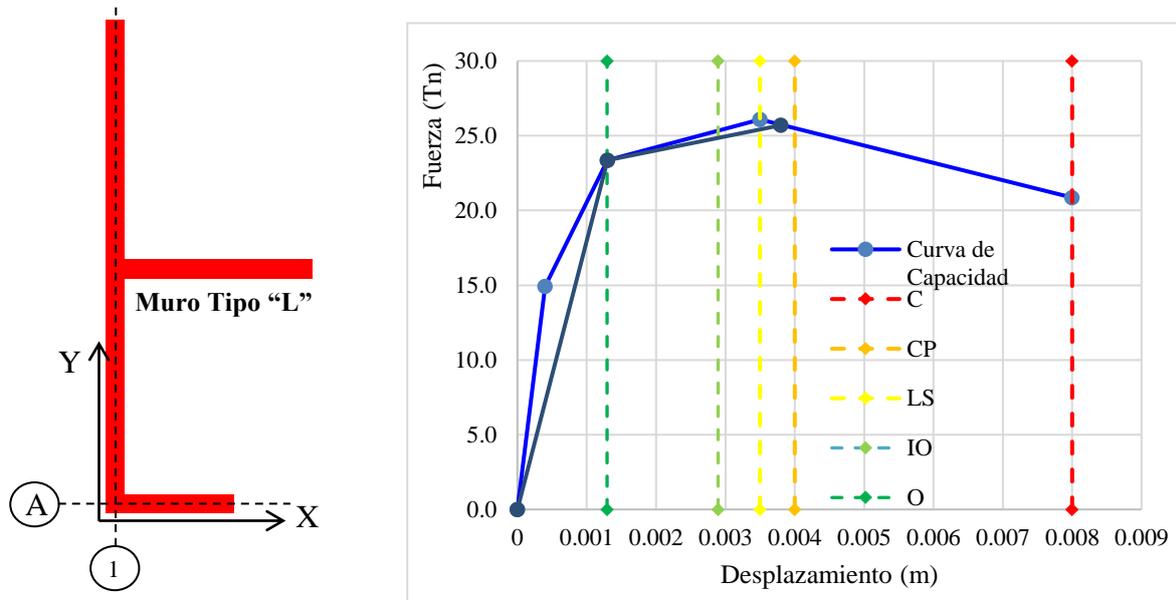


Figura 49. Curva de capacidad del muro tipo L y desempeño objetivo.

### 2.4.3. Del objetivo específico 3

#### A. Proceso de desarrollo.

- Identificar las fallas que se presentan de acuerdo al análisis de capacidad y desempeño de la estructura del objetivo 1 y objetivo 2.
- Identificar en el plano los muros que presentan las fallas.
- Proponer una alternativa de solución que concuerde con la arquitectura y esta sea viable, donde mejore la capacidad y/o desempeño estructural.
- Modelar en el programa con las modificaciones para ver el comportamiento final.

## **B. Marco teórico.**

### ***Ductilidad.***

Ductilidad es la deformación de una estructura o elemento estructural más allá del límite elástico sin reducir su resistencia o rigidez. Si un elemento sobrepasa el límite de fluencia o elástico, la curva que define su comportamiento elástico empieza a perder la capacidad inicial y tiende a inclinarse al eje horizontal. Para sistemas estructurales con muros de ductilidad limitada (MDL), la ductilidad no se comporta al igual que sistema estructural de pórticos u otros.

Para que un sistema estructural tenga una buena ductilidad todos los elementos que conforman deben ser dúctil como: Material, Sección, elemento y estructura, es por ello el nombre de muros de ductilidad limitada, porque todos los elementos que conforman tienen una ductilidad baja.

### ***Confinamiento.***

Confinamiento se entiende como un sistema con acero de refuerzo vertical y horizontal en el núcleo de los elementos estructurales para dar la fluencia al elemento, como es el caso de columnas, placas, vigas y losas. Todos estos elementos cuentan con acero de refuerzo y son conocidos como elementos confinados.

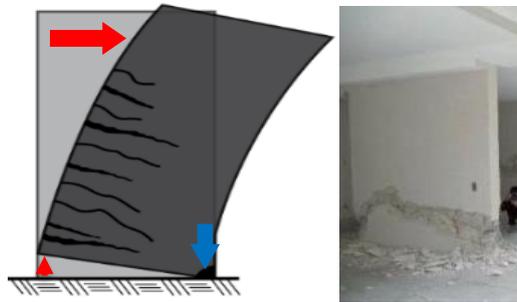
### ***Fallas locales.***

Las fallas locales generalmente se presentan en los elementos estructurales como en los muros, columnas, vigas, nudos y techos de acuerdo a cada sistemas estructural, según (San Bartolomé & Quiun, 2010, pág. 38) las fuerzas de momento flector, la carga axial y la fuerza cortante, actúan de manera simultánea durante un sismo y que los valores máximos tienen lugar en los pisos inferiores, debido a este fenómeno los elementos estructurales del primer nivel se ven afectados con mayor magnitud que los de pisos superiores.

### *Tipos de fallas locales.*

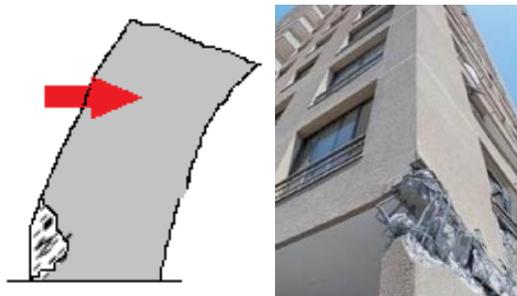
#### *Falla por flexión.*

Según (San Bartolome,2010) la falla por flexión se presenta cuando la capacidad de resistencia a la fuerza cortante supera a la flexión. Esta falla se caracteriza por el balanceo del muro en torno a sus extremos, transmitiéndose gran parte de la carga vertical como en la figura 50 por el extremo comprimido, lo que puede originar la trituración del concreto con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical.



*Figura 50.* Falla por flexión, Fuente informe del sismo Chile.

En caso de que no exista confinamiento en los extremos caso muy común en los edificios de Ductilidad Limitada con el caso de la figura 51, el refuerzo vertical al trabajar en tracción o compresión, trata de expulsar al concreto. Estas continuas aberturas y cierres de las grietas, son las causantes de la trituración del concreto en el borde no confinada adecuadamente.



*Figura 51.* Falla por flexión, falta de confinamiento en los extremos, informe de San Bartolomé, 2010.

### *Falla por corte.*

La falla por corte se produce en los muros de concreto cuando su capacidad resistente a fuerza cortante es inferior a la de flexión. Esta falla se caracteriza por la presencia de grietas diagonales en los muros o algunos elementos estructurales como en la figura 52.



Figura 52. Falla por corte, del informe de San Bartolomé, 2010.

### *Falla por corte – cizalle.*

La falla por corte – cizalle o falla por deslizamiento, este tipo de falla es una derivación de la falla por flexión, producida al conectarse las dos grietas formadas por flexión en ambos extremos del muro, y son producidos por las juntas de construcción.

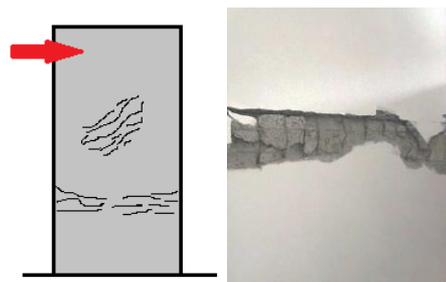


Figura 53. Falla por corte – cizalle, informe de San Bartolomé, 2010.

### *Falla por compresión.*

Falla por compresión se muestra cuando los elementos estructurales tienen una carga axial, el refuerzo y el concreto experimentan una tensión por el exceso de cargas a comparación del área de sección transversal de los elementos estructurales.

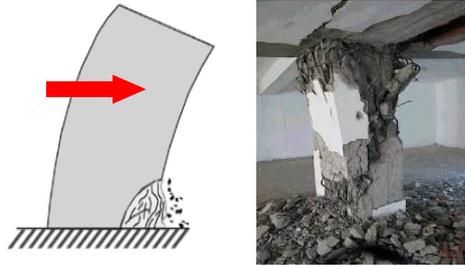


Figura 54. Falla por compresión, informe de San Bartolomé, 2010.

### *Falla por pandeo.*

La falla por pandeo es conocido también como inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, a presencia de la fuerza axial, compresión y torsión en los elementos estructurales, por ende, lo que representa a este tipo de falla es el exceso de carga a lateral donde se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

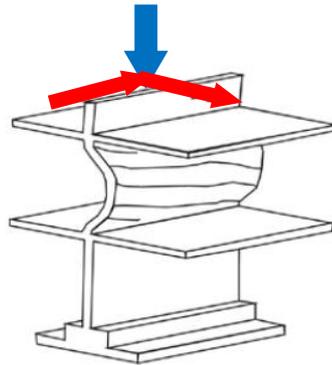


Figura 55. Falla por pandeo, informe de San Bartolomen,2010.

### *Fallas Globales.*

Las fallas globales son fallas que se presentan en toda la estructural como el colapso de la estructura con la presencia de un sismo, además está considerado las distorsiones máximas de cada entrepiso con respecto al desplazamiento máximo que establece la norma peruana. Los más comunes son las que se muestran en la figura 56.

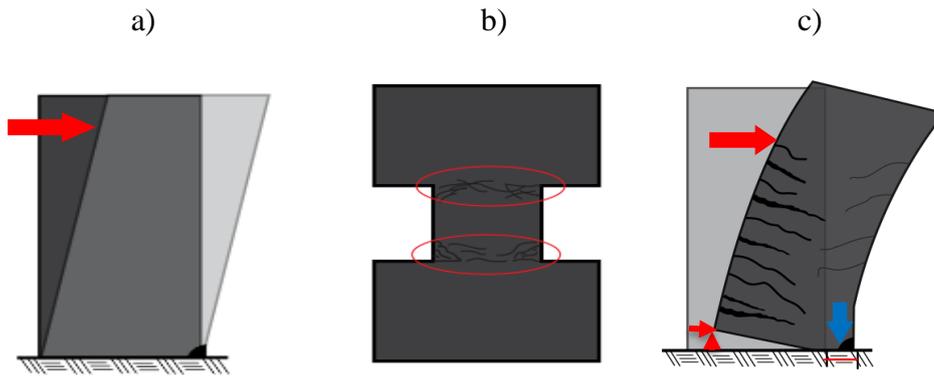


Figura 56. Fallas globales de una estructura, a) Desplazamiento máximo, b) Discontinuidad de diafragma, c) Desplazamiento de la estructura.

### C. Desarrollo.

Para el desarrollo del objetivo 3 “*Determinar la alternativa de solución más adecuada para mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021*”, se identifica las fallas de los elementos estructurales producto del análisis no lineal pushover. En el objetivo 1 lo que se vio es la capacidad estructural con una demanda sísmico de diseño de acuerdo a la norma E0.30, producto a este análisis se identificó las fallas en los elementos del primer nivel, que los muros paralelos a eje Y del ingreso al edificio que sufren tensiones máximas por corte.

De mismo modo se realizó una segunda verificación con el objetivo 2, donde se incorporó los registros sísmicos con diferentes intensidades y/o magnitudes, los que se tomaron en cuenta de acuerdo a la tabla 15, con ello se pudo ver la capacidad de soporte de los elementos estructurales y la afectación de la estructura frente a los sismos presentados, en este capítulo se verá una alternativa de solución a las fallas presentadas en la figura 57 y 58, producto a la evaluación de capacidad con registro sísmico.

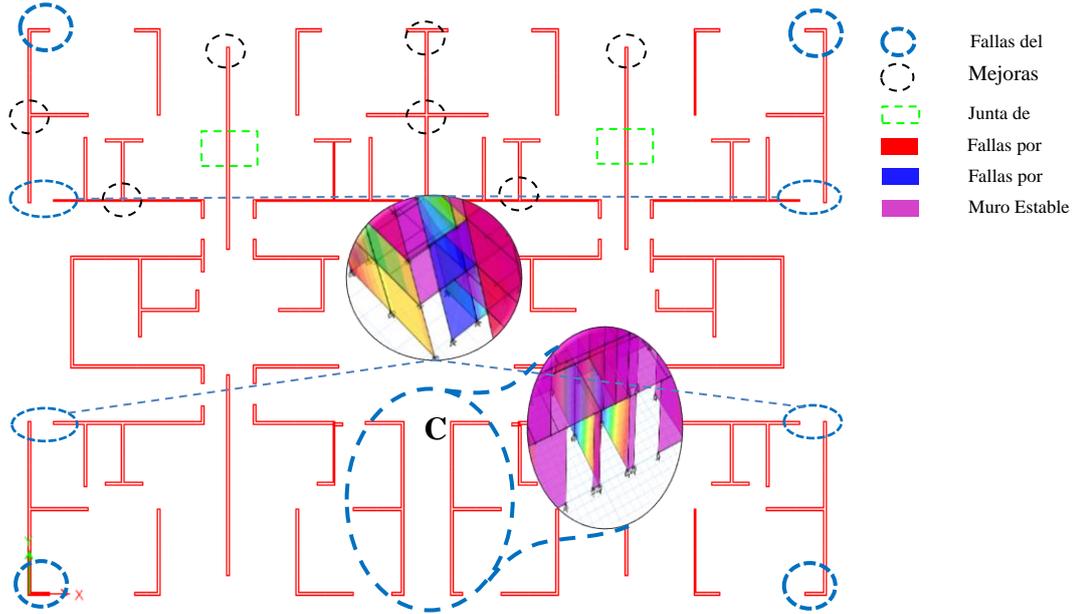


Figura 57. Identificación de las fallas que presentan los elementos estructurales del primer nivel.

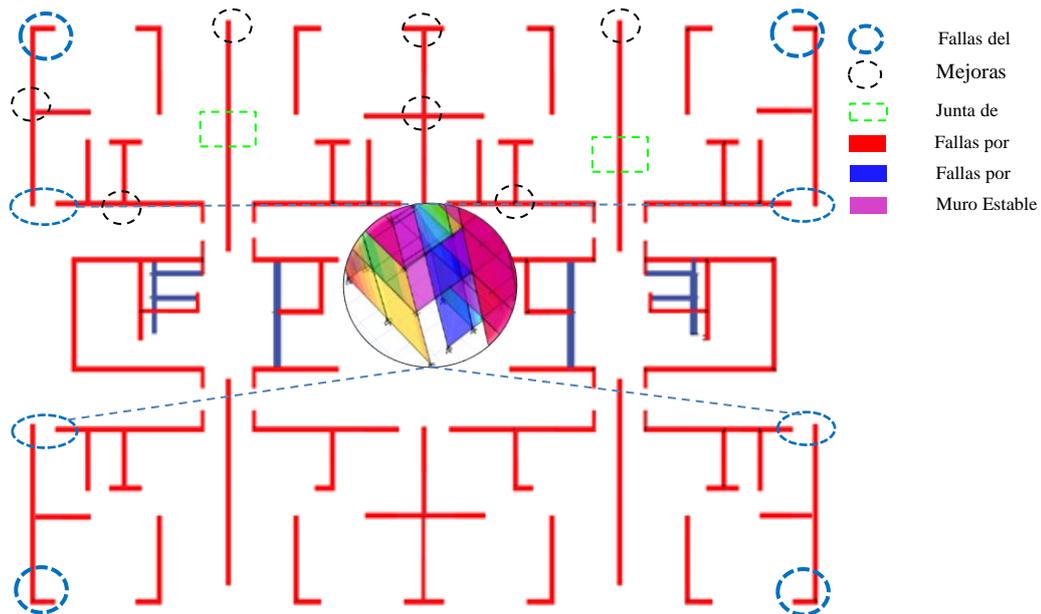


Figura 58. Identificación de las fallas que presentan los elementos estructurales del piso 2 al piso 9.

***Alternativa de solución a las fallas presentadas.***

Las alternativas de solución en los muros se vio durante el proceso constructivo, lo que se busco es mejorar la ductilidad en los elementos estructurales, aumentando confinamiento en los extremos de los elementos que presentan alguna falla por tensión (corte) o compresión (plastamiento, piso blando, pandeo, etc).

*Solución a la falla A del muro tipo "L".*

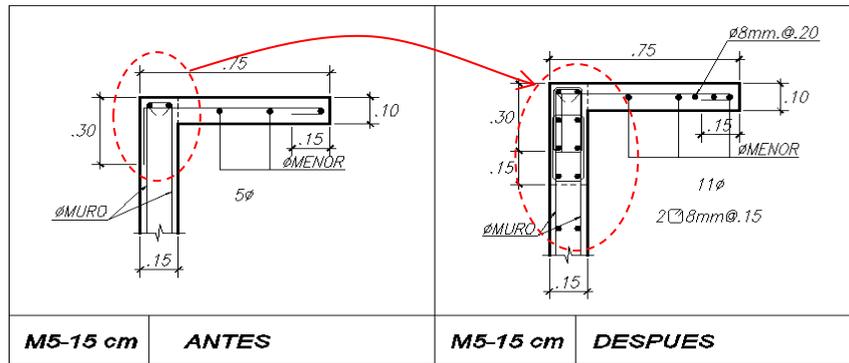


Figura 59. Aumento de confinamiento en uniones de los muros largos de tipo L, para muros cortos.

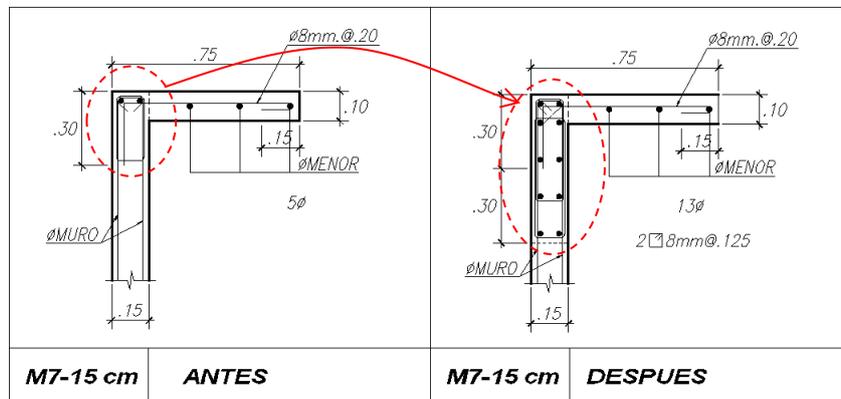


Figura 60. Aumento de confinamiento en uniones de los muros largos de tipo L, para muros largos.

*Solución a la falla B del muro longitudinal.*

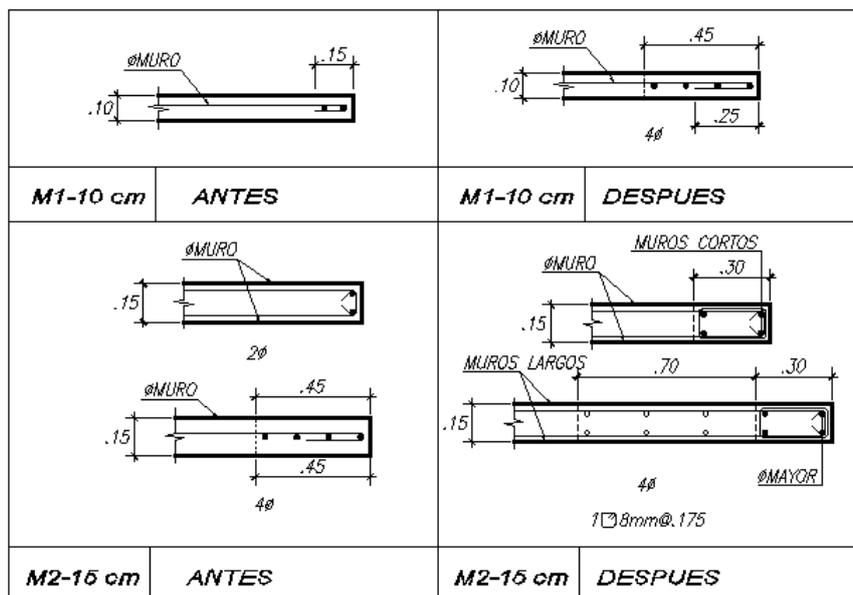


Figura 61. Secciones tipo de MDL, aumento de confinamiento en los extremos de los muros de 10 cm y 15 cm, para muros cortos y largos.

*Propuesta de mejora en 3 y 5 de muros tipo "T".*

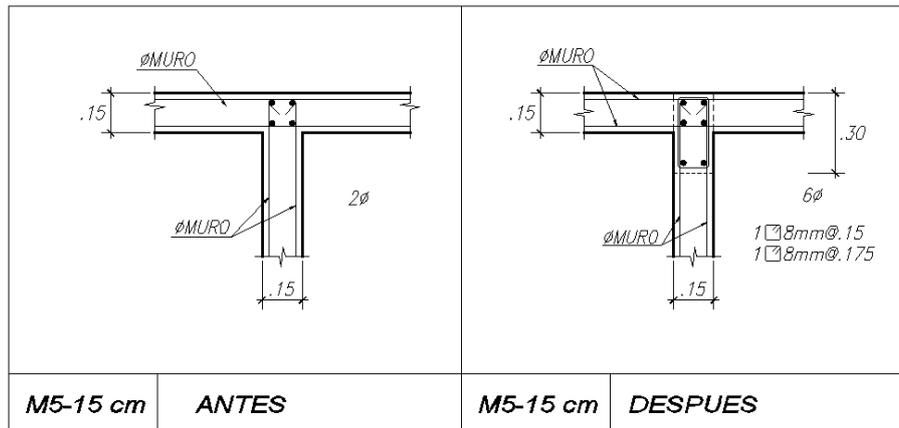


Figura 62. Aumento de confinamiento en las uniones de los muros T.

*Propuesta de mejora en 4 de muros tipo "+".*

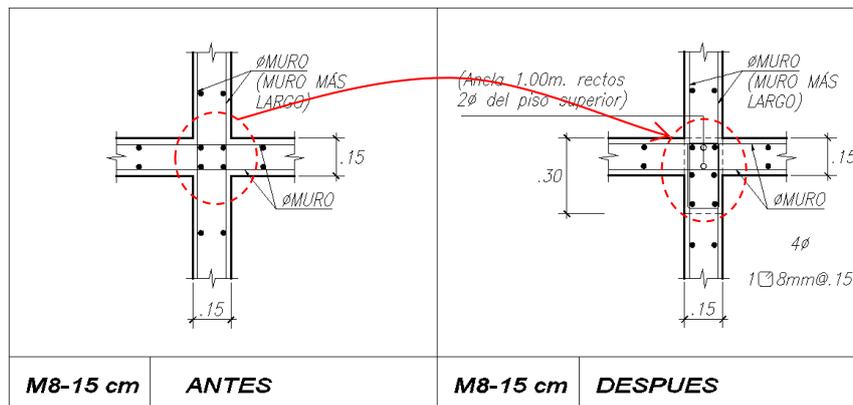


Figura 63. Aumento de confinamiento en uniones de los muros cortos de tipo +.

*Propuesta de junta de dilatación para muros largos.*

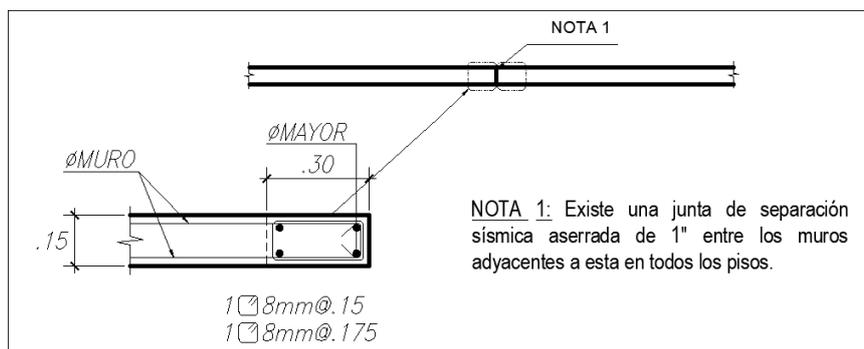


Figura 64. Junta de dilatación de 1" en muros de 8 m de largo, con confinamiento en la separación para cada lado.

Se presenta los muros modificados de las fallas producidos de la evaluación de desempeño estructural no lineal de tiempo – historia, se buscó mejorar la ductilidad en

los elementos estructurales, para controlar mejor los desplazamientos laterales. Se presenta algunos de ellos en las figuras 59 al 64, cada modificación se da con las restricciones del diseño arquitectónico y está dado para cada tipo de muro presente en el proyecto.

En la figura 65 se presenta todas las intervenciones que fueron aplicados en el presente proyecto, durante el proceso constructivo se agregó todas las columnas en los bordes de la edificación, de mismo modo se agregó columnetas en los terminales de cada muro.

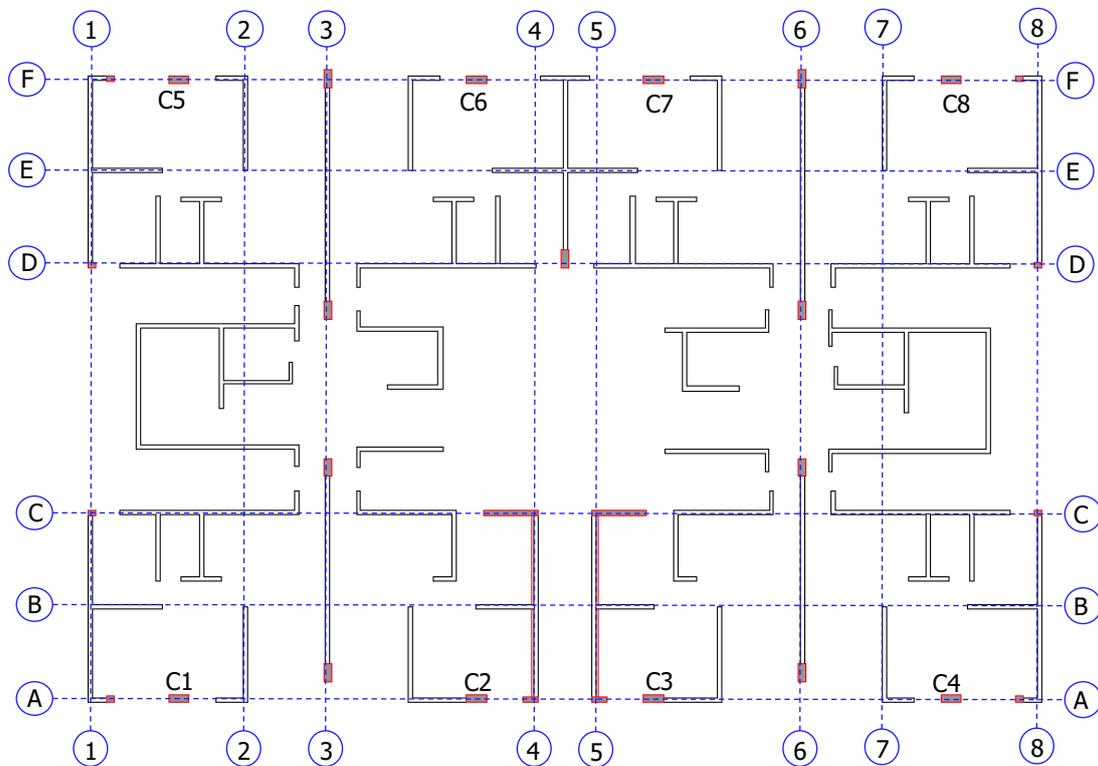


Figura 65. Replanteamiento de configuración estructural del primer nivel.



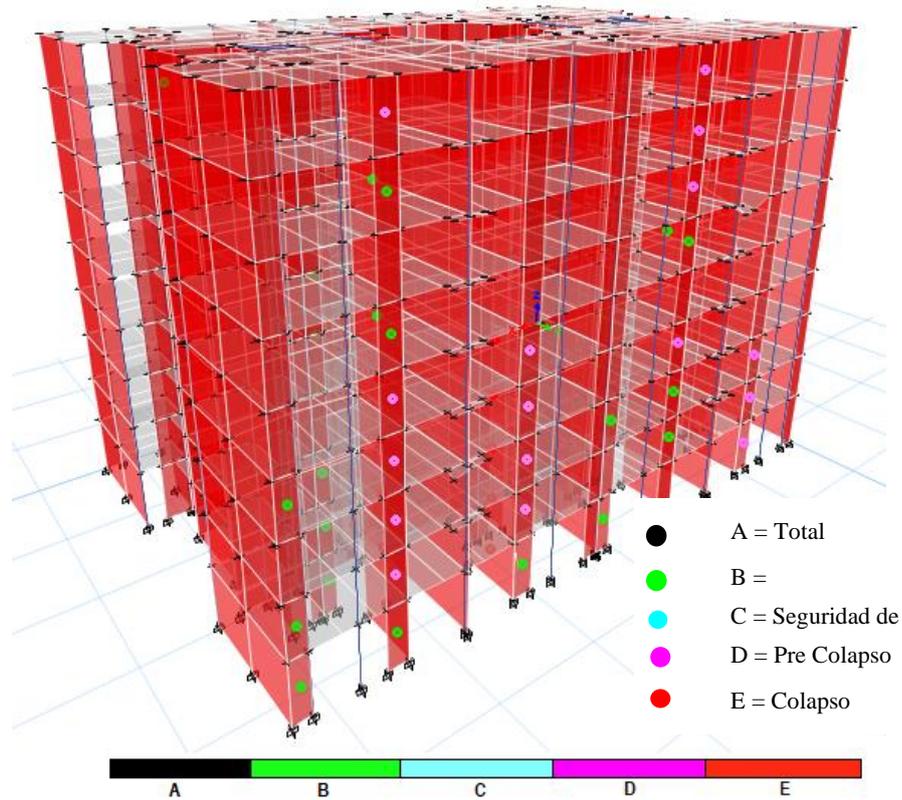


Figura 68. Fallas en los muros para el sismo de Callao 1966.

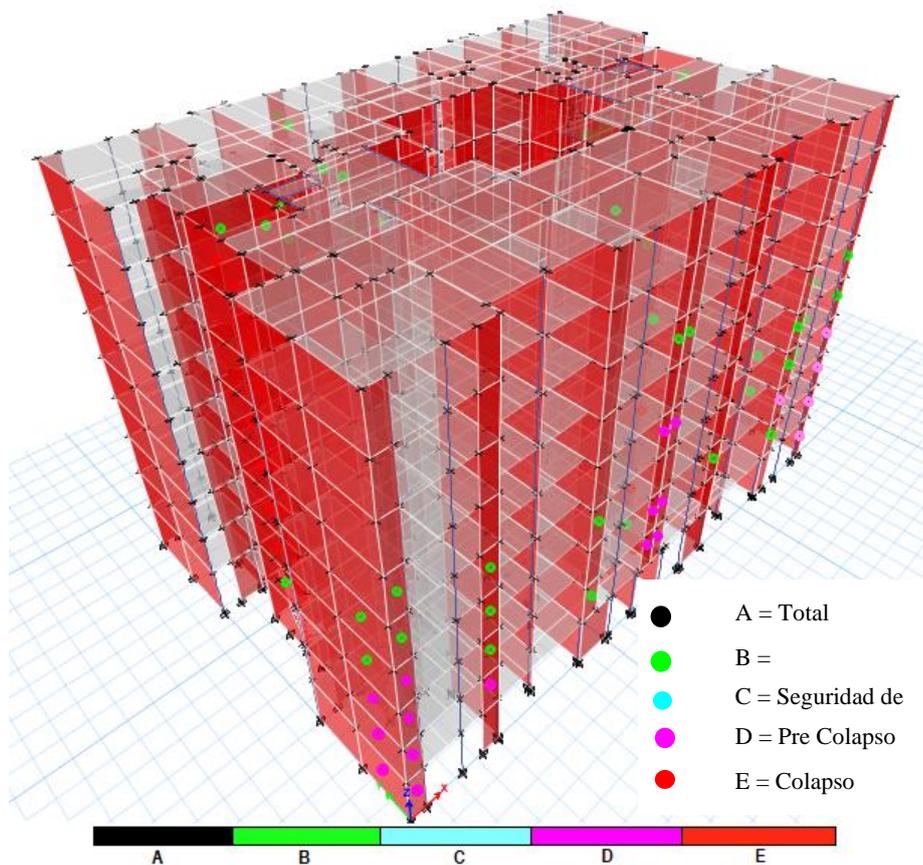


Figura 69. Fallas en los muros para el sismo de Ancash 1970.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Resultado del objetivo 1

#### *Nivel de desempeño.*

Tabla 17

*Objetivo de desempeño esperado del análisis estático no lineal Pushover*

	PUSH X	PUSH Y
Desplazamiento objetivo	0.006075	0.007156
Nivel de Desempeño	Seguridad de vida	Seguridad de vida
Nivel de daño	Moderado	Moderado

**Nota:** La tabla 17 presenta los desplazamientos objetivos del análisis no lineal pushover, en la dirección de análisis "X" y "Y".

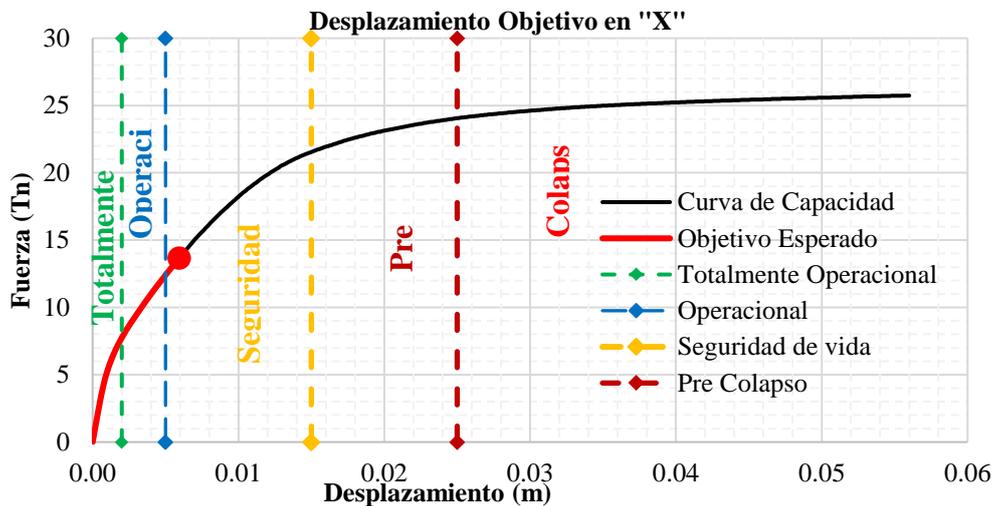


Figura 70. Desplazamiento objetivo en dirección "X" vs límites establecidos por el comité visión 2000.

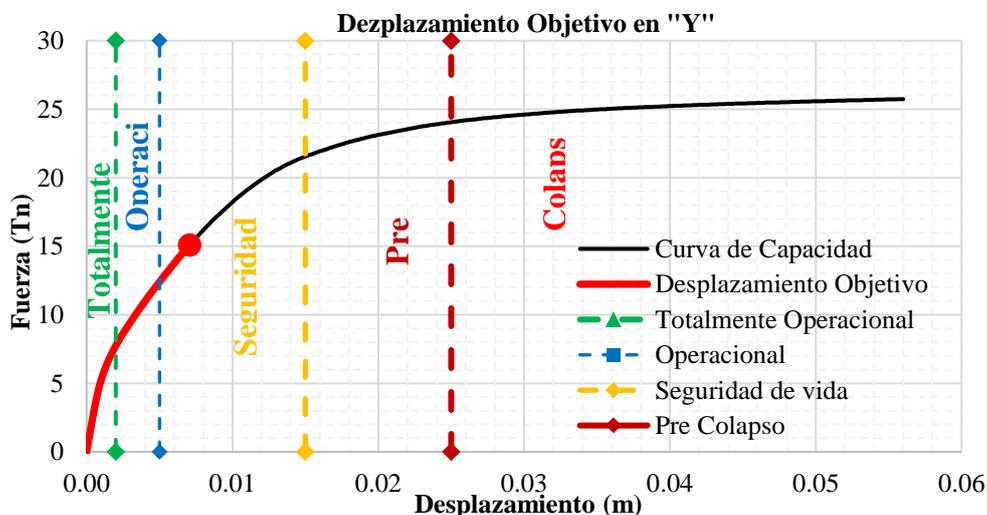


Figura 71. Desplazamiento objetivo en dirección "Y" vs límites establecidos por el comité visión 2000.

Para el análisis no lineal, la estructura se encuentra con un objetivo de desempeño de seguridad de vida con un daño moderado. Que cumple la función de salvaguardar la seguridad de vida de sus ocupantes, de mismo modo cumple con el criterio de diseño sismorresistente E.030.

**Control de drift (desplazamiento relativo).**

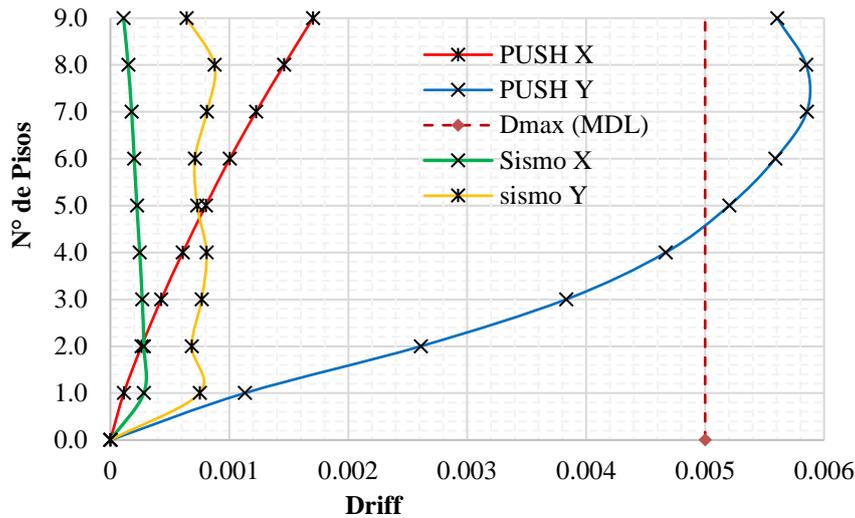


Figura 72. Control de desplazamientos de entrepiso, del análisis lineal vs análisis no lineal.

Tabla 18

Control de desplazamiento de análisis lineal vs análisis no lineal

	Sismo	Pushover	$\Delta$ drift %
Drift X	0.000282	0.001704	16.54%
Drift Y	0.000875	0.005855	14.94%

**Nota:** La tabla 18 presenta la diferencia de desplazamiento de entre piso del análisis lineal dinámico con respecto al análisis no lineal dinámico.

El desplazamiento relativo de entre pisos del análisis dinámico lineal con el análisis dinámico no lineal presenta una diferencia de 16.54% en dirección "X" y de 14.94% en la dirección "Y", se puede apreciar de la figura 72 que el desplazamiento relativo de análisis no lineal en la dirección "Y" sobrepasa del límite establecido por la norma en un 17.2%.

### 3.2. Resultado del objetivo 2

#### Nivel de desempeño.

Tabla 19

Desplazamiento objetivo para cada registro sísmico de la estructura analizada

	Callao -3 de octubre de 1966	Ancash – 31 de mayo de 1970	Pisco - 15 de agosto de 2007	Callao - 01 de abril del 2014	Ecuador - 22 de febrero de 2019
Desplazamiento Objetivo	0.01881	0.01591	0.008762	0.004275	0.002655
Nivel de Desempeño	Pre Colapso	Pre Colapso	Seguridad de Vida	Operacional	Operacional
Nivel de Daño	Severo	Severo	Moderado	Ligero	Ligero

**Nota:** La tabla 19 presenta los desplazamientos objetivos para cada registro sísmico y el nivel de daño para cada sismo presentado en el Perú.

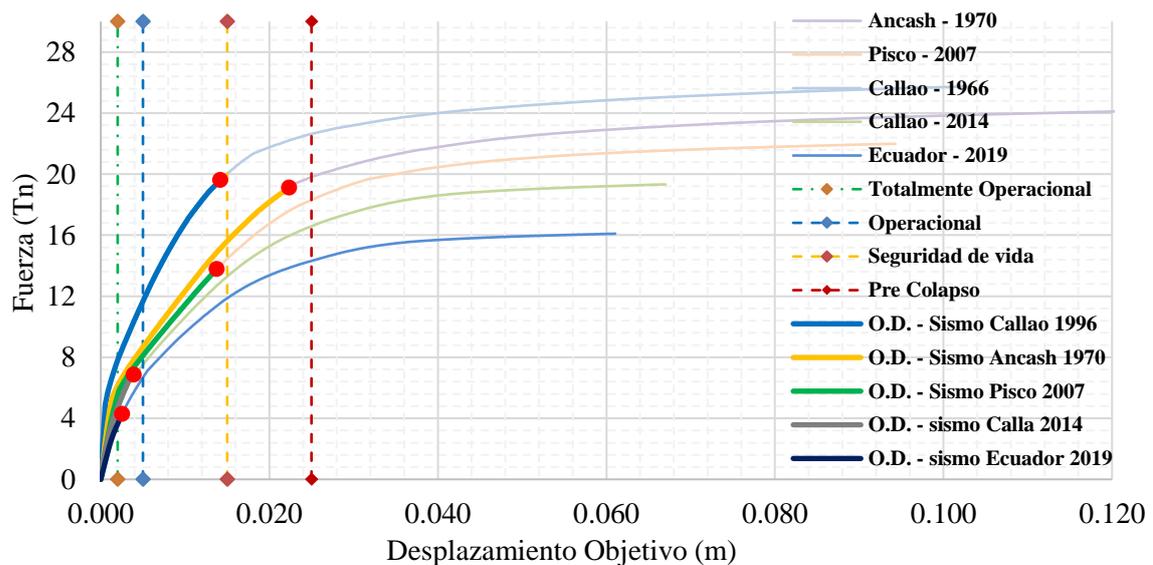


Figura 73. Desplazamiento objetivo según la propuesta de comité visión 2000 en la curva de capacidad pushover dinámico.

El nivel de desempeño alcanzado de la estructura es de pre colapso para un sismo de igual o mayor magnitud al sismo de Ancash 1970, la estructura se encuentra con daños severos en sus elementos.

**Control de driff (desplazamiento relativo de entrepiso).**

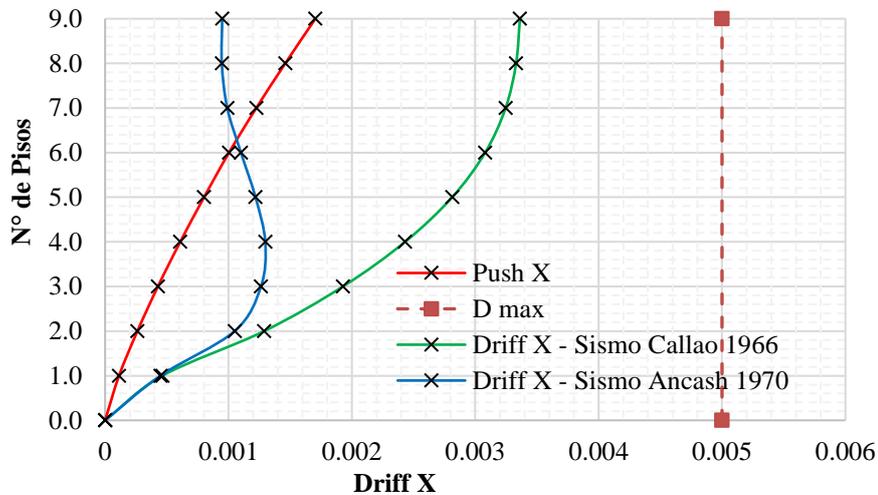


Figura 74. Control de driff en dirección "X" de análisis no lineal vs registro sísmico de Callao y Ancash.

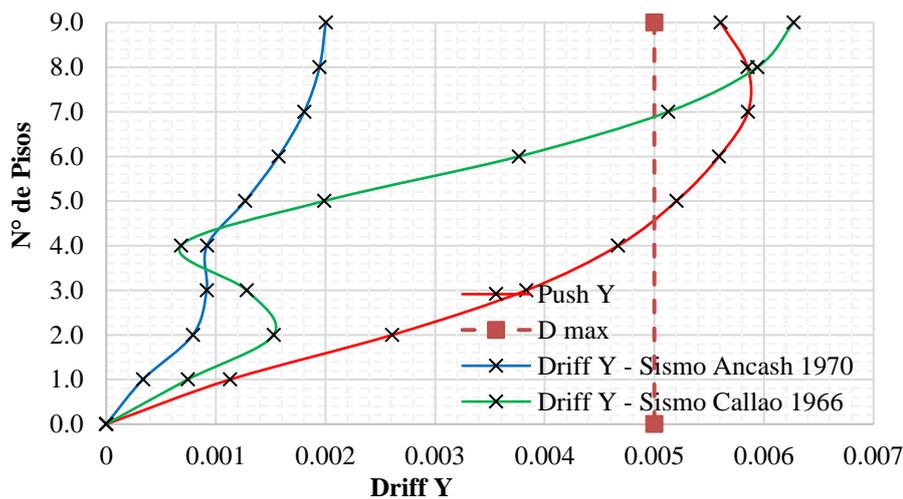


Figura 75. Control de driff en dirección "Y" de análisis no lineal vs registro sísmico de Callao y Ancash.

Tabla 20

Driff de del análisis no lineal vs driff de registro sísmico de Callao y Ancash

	Pushover	Sismo Callao 1966	Sismo Ancash 1970	$\Delta$ driff % (Push vs sismo Callao)	$\Delta$ driff % (Push vs sismo Ancash)
Driff X	0.001704	0.001298	0.003362	131.28%	50.68%
Driff Y	0.005855	0.006271	0.002002	93.37%	292.46%

**Nota:** La tabla 20 presenta una comparación de los desplazamientos relativos de entrepiso del análisis no lineal pushover con respecto a los desplazamientos de relativos de los entrepisos del sismo Callao y Ancash.

De acuerdo a la figura 75 el desplazamiento del sismo en la dirección "Y" sobrepasa en un 79.7% al desplazamiento del reglamento.

### 3.3. Resultado del objetivo 3

#### *Alternativa de solución.*

La alternativa de solución es aumentar el confinamiento en los extremos como elementos de borde en los muros y se agregó columnas en todo el contorno del edificio, esta alternativa de solución se planteó durante el proceso constructivo del edificio, por las restricciones de la arquitectura y poco espacio entre ambientes. Se busco que la estructura tenga una ductilidad mayor al de diseño por ende se tomó como una alternativa de solución a los elementos de borde.

#### *Nivel de Desempeño.*

Tabla 21

*Desplazamiento objetivo de registro sísmico más desfavorable*

	Callao -3 de octubre de 1966	Ancash - 31 de mayo de 1970	Pisco - 15 de agosto de 2007	PUSH "X"	PUSH "Y"
Desplazamiento Objetivo	0.01111	0.01165	0.009081	0.00437	0.00426
Nivel de Desempeño	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Operacional	Operacional
Nivel de Daño	Moderado	Moderado	Moderado	Ligero	Ligero

**Nota:** la tabla 22 presenta el desplazamiento objetivo mejorados de los registros sísmicos más desfavorables de la tabla 21 y desplazamiento objetivo de análisis no lineal de la mejora, elaboración propia.

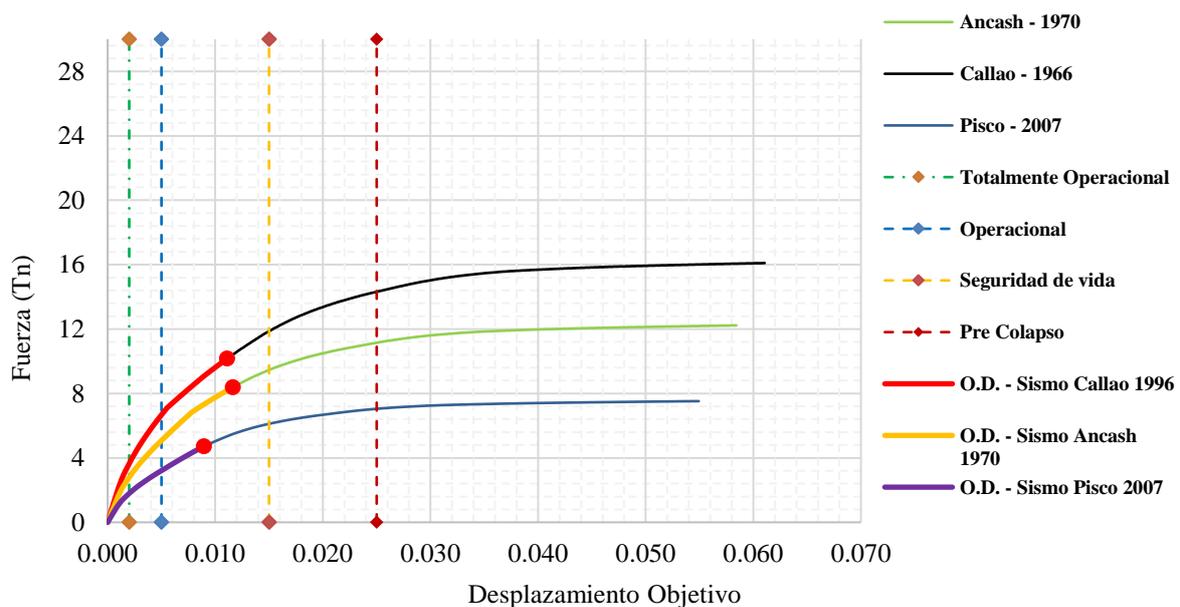


Figura 76. Desplazamiento objetivo para sismos de Ancash, Callao y Pisco.

El nivel de desempeño de la estructura frente a sismos de gran intensidad es de seguridad de vida con un daño moderado en los elementos en un desplazamiento de 0.01165 m, se obtuvo una reducción de pre colapso a seguridad de vida con los elementos de borde.

***Nivel de Desempeño del elemento.***

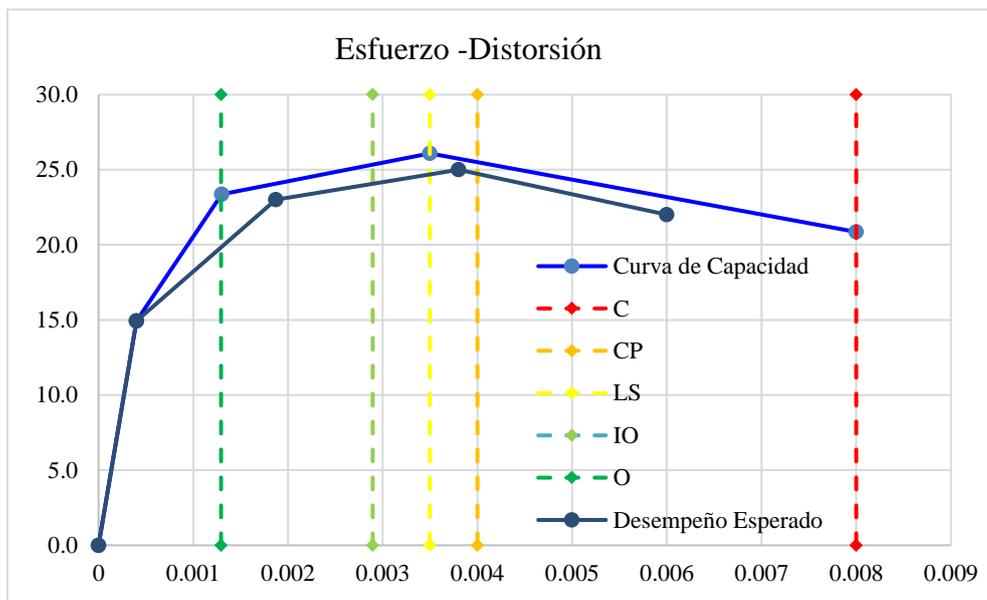


Figura 77. Curva de capacidad final de muro de 15 cm.

La curva de capacidad del elemento analizado se aproxima a la curva de capacidad sin daño, por lo que el muro pierde su capacidad de desarrollo en un desplazamiento de 0.006 m, por ende, para la estructura los elementos se encuentran con un nivel colapso para un nivel de seguridad de vida de la estructura.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusiones

- En la presente investigación como objetivo primordial fue evaluar el desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), donde a primeras instancias se realizó una evaluación de desempeño estructural, aplicando la metodología de espectro de capacidad para obtener el punto de desempeño esperado de la edificación, dando como resultado 0.006075 metros en la dirección de análisis "X" y en la dirección de análisis "Y" de 0.007156 metros, estos valores se encuentran dentro de la propuesta de comité visión 2000 con un desempeño objetivo de Seguridad de vida para ambos casos, por lo tanto para el análisis no lineal de toda la estructura sin la afectación del sismos se encuentra estable. Según (Medina & Music, 2018) en su investigación de *"determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado a base de muros de hormigón y diseño según normativa chilena"* presento nivel de desempeño alcanzado del edificio estudiado que para sismos frecuentes es totalmente operacional y para los demás niveles de demanda sísmica el desempeño alcanzado es de operacional, por lo tanto concluye que la estructura se encuentra estable para sismos de gran intensidad.
- Para la evaluación del objetivo específico 2 por la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), como resultado se obtuvo que para registro sísmico de Ancash 1970 la estructura se encuentra en un nivel de desempeño de pre colapso con daños severos, para sismos de Callao 1966 la estructura se encuentra en seguridad de vida, sin embargo, se consideró en pre colapso por las altas fuerzas actuantes, para el sismos de Pisco 2007 la estructura se encuentra con un nivel de desempeño de seguridad de vida, para sismos

de Callao 2014 y Ecuador 2019 la estructura se encuentra con nivel de desempeño operacional con daños ligeros en los elementos estructurales. Según (Delgado & Rodríguez, 2006) en su investigación de "*Edificios peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada (MDL)*", obtiene como resultado para sismos con intensidades de magnitud Ms 8.1, 8.2 y 7.9 los edificios tienen un daño moderado que indica que la edificación se encuentra con un nivel de desempeño de seguridad de vida. Pero para edificios mayores de 7 pisos con las mismas intensidades la estructura llegaría a pre colapso o con daños irreparables.

- Las derivas de entrepiso para el análisis no lineal estático se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma E.030, sin embargo, las derivas para el análisis no lineal de en dirección "X" es de 1.0 ‰ y para en análisis en la dirección "Y" es de 6.0 ‰ lo cual sobrepasa de 5.0 ‰, lo que indica que la estructura no se encuentra estable en la dirección de análisis "Y", se tendrá que verificar la estructuración inicial según indica (Chunque, 2013, pág. 21) en su investigación de "*Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio "A" de la Universidad Privada del Norte- Sede Cajamarca*", las derivas alcanzadas para un sismo raro en la dirección longitudinal es 3‰ y para la transversal es 4,4‰ que no sobrepasan la de deriva límite de 5‰ establecido en la Norma Técnica Peruana E - 030 de Diseño Sismorresistente, por lo tanto la estructura se encuentra estable y no sería necesario aplicar alguna reforzamiento.
- De acuerdo al desarrollo del objetivo específico 3 determinar la alternativa de solución más adecuada para mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), para mejorar el desempeño por la afectación de sismo de Ancash 1070 y Callao 1996, se planteó mejorar en confinamiento en los extremos y agregar columnas en los bordes de todo el edificio, obteniendo así una alternativa de solución durante el proceso constructivo,

con ello se mejoró la capacidad estructural de seguridad de vida a operacional lo cual no sería necesario evaluar el costo de reparación cuando ocurre un sismo de intensidad similar al de Ancash o Callao. Según (Delgado & Rodríguez) en su investigación de "*Edificios peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada (MDL)*", da como resultado sobre EMDL de 5 como de 7 pisos quedarían con un daño irreparable a partir de una intensidad IX, lo que corresponde aproximadamente a una aceleración entre 0.35g y 0.50g.

#### 4.2. Conclusiones

- El nivel de desempeño esperado es de seguridad de vida para la estructura de MDL del condominio residencial ciudad verde 4ta – etapa, Puente Piedra, con un desplazamiento máximo de 0.007156 m, donde la estructura presenta daños moderados en sus elementos. El nivel de desempeño de la estructura se encuentra dentro del parámetro establecido por comité visión 2000.
- El nivel de desempeño alcanzado de la estructura por sismo es de **pre colapso** con un desplazamiento máximo de 0.01591 m, para un registro sísmico de igual o mayor magnitud al sismo de Ancash 1970 que determina la estructura se encuentra con daños severos en sus elementos.
- La distorsión para sismos de Ancash 1970 en la dirección de análisis "X" es de 4.6%o y para dirección de análisis "Y" 3.3%o, para sismo de Callao 1966 en la dirección de análisis "X" es de 4.5%o y para dirección de análisis "Y" 7.4%o. lo que concluye que la estructura en la dirección "Y" no se encuentra estable para el sismo de Callao 1966.
- La estructura de MDL mejoró su desempeño de seguridad de vida a operacional, lo que indica que debemos estructurar los elementos estructurales a mayor fluencia, para que la estructura tienda a tener mayores desplazamientos sin entrar a la plasticidad.

- Se aplico un pushover hasta alcanzar un desplazamiento máximo de techo, para ver el comportamiento de los elementos estructurales en su capacidad máxima. Lo que se obtuvo es tensiones superiores hasta un 75.4% en dirección "X" y tensiones 86.3% en la dirección "Y" con respecto a las tensiones de los muros en su objetivo de diseño de la estructura.

#### **4.3. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar más investigaciones sobre el análisis no lineal en estructura de concreto armado, por metodologías de espectro de capacidad (MEC) y análisis dinámico incremental (IDA), para la evaluación de no linealidad de los muros se recomienda usar los elementos infinitos ya que son más precisos, pero también presenta el mayor desafío en términos de calibración de parámetros del modelo y recursos computacionales. Al igual que con la formulación de la fibra, las deformaciones calculadas a partir de los elementos finitos pueden ser difíciles de interpretar en relación con los criterios de aceptación que normalmente se informan en términos de rotaciones y deformaciones de las rotulas.
- Se recomienda a la comunidad de ingeniería estructural presentar propuestas para la norma de diseño sismorresistente parámetros y consideraciones sobre diseño por desempeño de estructuras, lo cual debe realizarse juntamente con diseño sismorresistente.

## REFERENCIAS

- Allauca Sanchez, L. Y. (2016). Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de cinco pisos Diseñado con la Normas Peruanas de Edificaciones.
- Allauca, S. L. (2016). Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de cinco pisos Diseñado con la Normas Peruanas de Edificaciones.
- ATC 40. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings.
- ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete building*". Volume 1 and 2. California.
- Bazán Enrique, R. (1999). *Diseño Sísmico de Edificios; Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.; 1ra reimpresión; México, 1999.* Mexico.
- Blanco Blasco, A. (20 de marzo de 2006). Consulta realizada al Ingeniero Antonio Blanco Blasco. (R. J. DELGADO EHNI, Entrevistador)
- Cabanillas, R. J. (2016). Evaluación Dinámica Incremental usando Respuesta no Lineal en una estructura de Concreto Armado 8 pisos. 86.
- Calcina, P. R. (2017). Evaluación Del Desempeño Sísmico De Un Edificio De Once Pisos Utilizando Análisis Estático Y Dinámico No-Lineal. 123.
- Carrillo, J., & Alcocer, S. (2013). Resistencia a cortante de muros de concreto reforzado para diseño sísmico de vivienda de baja altura.
- Castillo, J. (1993). Peligro Sismico En El Perú. *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*, (pág. 1). Lima.
- CENEPRED. (2017). Manual para la Ealuacion del Riesgo Sismico. En W. Giovannini. Lima.
- Chávez, T. J., Meléndez, G. M., Sinchi, P. S., & Urtado, A. E. (2013). *Analisis Estático no linial de una estructura porticada esencial.* Lima.
- Chunque, P. J. (2013). Nivel de desempeño sfsmico del edificio "A" de la Universidad privada del Norte - sede cajamarca. 21.
- Delgado, E. R., & Rodríguez, L. C. (2006). Edificios peruanos con Muros de Concreto de Ductilidad Limitada (MDL). 11. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/169>
- E-020. (2006). Norma Tecnica Peruana - E0.20 - Cargas. *El Peruano*.
- E-030. (2014). Norma Tecnica Peruana - Diseño sismoresistente. *El Peruano*.
- FEMA-356. (2012). Cálculo del desplazamiento de demanda usando el metodo de coeficiente de desplzamiento.
- FEMA-440. (2005). Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures.

- Gálvez, V. A. (2012). Viviendas de Concreto con Malla Electrosoldadas.
- González, R. M., & García, J. M. (2018). Curvas de Fragilidad Para Evaluar el Daño Sísmico en Edificios de Concreto Armado con Losas Reticulares. 14.
- Junwon, S., Jong, W. H., & Burte, D. (2016). Seismic Performance Evaluation of Multistory Reinforced Concrete Moment Resisting Frame Structure with Shear Walls. 2.
- Krawinkler, & Seneviratna, &. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation, Engineering Structures, Elsevier Science Ltd. 4.
- Medina, R., & Music, J. (16 de Abril de 2018). *Determinación del nivel de desempeño de un edificio Habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena*. Investigación, Chile. doi:10.4067/s0718-28132018000100063.
- Medina, R., & Music, J. (2018). Determinación del nivel de desempeño de un edificio Habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena. 64.
- Muñoz, A., Delgado, E. R., & Peña, R. C. (2016). *Desempeño Sismoresistente de edificios de Muros de Ductilidad Limitada*. Lima.
- Navarro, L. C., & Fernández, V. J. (2017). Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de Seis Pisos Diseñado con las Normas Peruanas De Edificaciones. 97.
- NCh-2369. (2003). Diseño Sísmico de Edificaciones . Chile: Instituto Nacional de Normalización - INN.
- NORMA E.030. (2014). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: El Peruano.
- Parker, W. (2016). Evaluación del Comportamiento Sísmico de Edificación de Hormigón Armado. 31.
- Pasquel E. (15 de Abril de 2006). Consulta realizada al Ingeniero Enrique Pasquel. (C. P. RODRÍGUEZ LARRAÍN, Entrevistador)
- Ramirez Quispe, J. (2014). *Desempeño Sismoresistente del Modulo C, del mercado de abastos de los baños del inca* . Tesis para Obtener el título profesional de ingeniero Civil, Cajamarca, Lima . Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/89>
- Salvador, S. M. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. 56.
- San Bartolomé, Á. (2011). Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010. *SciELO*, 4.

San Bartolomé, Á., & Quiun, D. (2010). Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios Chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010.

SEAOC. (1995). "Performance based seismic engineering of building". VISION 2000 Committee. Structural Engineering Association of California. 156.

SEAOC. (1995). Performance based seismic engineering of building. *VISION 2000*.

Soto, H. J. (2018). Evaluación de Espectros de Respuesta mediante el Análisis Unidimensional de Respuesta de Sitio en la Ciudad de Lima. 2.

Zavala, C. (2019). Damage Limit States For Confined Masonry Walls Based On Experimental Test. 6.

**ANEXOS**

## Anexo 01: Matriz de consistencia

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL Y LA AFECTACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR SISMO DE UN EDIFICIO ESTRUCTURADO A BASE DE MDL DEL CONDOMINIO CIUDAD VERDE 4TA ETAPA, LIMA 2021"								
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOS	INSTRUMENTOS	HERRAMIENTAS
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Independientes</b>					
¿Cómo evaluar el desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?	Evaluar el desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.	El desempeño estructural y la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), tendrá un adecuado desempeño y ayudará a determinar la afectación de los elementos estructurales del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.	MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	Cargas actuantes	Peso propio y pesos Unitarios	.....	Ficha Técnica	NORMA E.020
				Sistema estructural	Configuraciones geométricas	.....	Planos	Auto CAD 2017
				Materiales	Asignación de No linealidad	Park, Mander	Laptop	Etabs
				Diseño sismorresistente	Parámetros de diseño sismo resistente	Descriptivo	Ficha Técnica	NORMA E.030
				Análisis sísmico	Análisis Estático y Dinámico	Análisis Estático Análisis Dinámico	Laptop Laptop	Etabs Etabs
<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Dependiente</b>					
¿Como evaluar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?	Evaluar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.	El desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL) mediante el análisis no lineal Pushover, permitirá identificar el desempeño estructural del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.	DESEMPEÑO ESTRUCTURAL Y LA AFECTACION POR SISMO	Análisis no lineal de la Estructura	Desempeño Esperado	Coefficientes Capacidad Espectral	Ficha Técnica Laptop	Hoja de calculo Etabs
				Desplazamientos	Control de Driff	Analítico	Hoja de Calculo	NORMA E.030
				Análisis No lineal del Elemento	Desempeño Esperado	Curva de Capacidad	Ficha Técnica	Hoja de calculo
¿Como evaluar la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el	Evaluar la afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el análisis no lineal Pushover incrementando	La afectación de la estructura por sismo de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), mediante el análisis no lineal Pushover incrementando sismos de diferentes intensidades, permitirá		Demanda Sísmico	Registro Sísmico	-----	SISMID	LAPTOP
				Análisis Dinámico Incremental (Tiempo - Historia)	Desempeño Esperado	Capacidad Espectral	Laptop	Etabs

análisis no lineal Pushover incrementando sismos de diferentes intensidades para el Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?

¿Cuál sería la alternativa de solución más adecuada para mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021?

Identificar la afectación de los elementos estructurales del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

Determinar la alternativa de solución más adecuada para mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

La alternativa de solución más adecuada ayudará a mejorar el desempeño estructural de un edificio estructurado a base de muros de ductilidad limitada (MDL), del Condominio Ciudad Verde 4ta Etapa, Lima 2021.

Desplazamientos	Control de Drift	Analítico	Hoja de Calculo	NORMA E.030
Tipos de Fallas	Fallas locales	Visual	Laptop	Etabs
	Fallas Globales	Visual	Laptop	Etabs

Anexo 02: Ficha de validación de instrumento

Anexo 03: Fichas de recolección de datos campo

Anexo 04: Fichas de herramientas de trabajo

Anexo 05: Fichas de Análisis Pushover en ETABS

Anexo 06: Panel fotográfico

Anexo 07: Plano