



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación de desempeño sísmico para reforzamiento incremental  
con ACMAC de la I.E. N°2059 Suecia – Comas, Lima”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**Ingeniera Civil**

**AUTORA:**

**Huaman Enriquez, Katia Fiorela (ORCID: 0000-0002-8985-3004)**

**ASESOR:**

**Mg. Tacza Zevallos, John Nelinho (ORCID: 0000-0002-1763-9375)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Diseño Sísmico y Estructural**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

De manera muy especial, dedico este esfuerzo de investigación a la persona que siempre me apoyó y estuvo conmigo en todo momento, Econ E. E. Z.; del mismo modo a mis progenitores quienes me formaron con valores de responsabilidad y deseo de superación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Lo hermoso de la vida es compartir tiempo con las personas que en algún momento conocemos y empezamos a admirar por las cosas que hacen y nos transmiten, sin algún interés de por medio.

En primera instancia agradecer a Dios por la gran oportunidad que me dio al permitirme continuar con mis estudios, y seguir luchando de la mejor manera posible, demostrando a todos de lo que una persona puede ser capaz y así poder llegar al éxito. También agradecer a mi familia por la fortaleza que cada día me demostraba para no rendirme en el transcurso de mi desarrollo.

Para culminar darles mis profundos agradecimientos a mis formadores, de la Universidad César Vallejo, quienes me tuvieron la paciencia de dirigirme a luchar con una meta más en la vida que es la tesis.

## **Página del Jurado**

### **Declaratoria de Autenticidad**

Yo, Katia Fiorela Huaman Enriquez con DNI **76700496**, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en esta tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual e someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 16 de julio del 2019



---

Huaman Enriquez Katia Fiorela

DNI: **76700496**

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Evaluación de desempeño sísmico para reforzamiento incremental con ACMAC de la I.E. N°2059 Suecia – Comas, Lima”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de ingeniero civil.



---

Huaman Enriquez Katia Fiorela

DNI: 76700496

## **GENERALIDADES**

### **TÍTULO**

“Evaluación de desempeño sísmico para reforzamiento incremental con ACMAC de la I.E. N°2059 Suecia – Comas, Lima”

### **AUTOR**

KATIA FIORELA HUAMAN ENRIQUEZ

### **ASESOR**

MG.ING. JOHN NELINHO TACZA ZEVALLOS

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

No experimental

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño sísmico y estructural

### **UBICACIÓN**

Ate – Universidad César Vallejo

### **DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

9 meses

### **PRESUPUESTO ESTIMADO DE LA INVESTIGACIÓN**

5700.00 Nuevos soles

# Índice

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD**

**PRESENTACIÓN**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**GENERALIDADES**

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>1.1 Realidad Problemática</b> .....	16
<b>1.2 Trabajos Previos</b> .....	17
<b>1.2.1. Antecedentes Internacionales</b> .....	17
<b>1.2.2. Antecedentes Nacional</b> .....	18
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema</b> .....	20
<b>1.3.1. Desempeño Sísmico</b> .....	20
<b>1.3.1.1. Análisis estático no lineal – PUSHOVER</b> .....	22
<b>1.3.1.1.1. Curva de capacidad</b> .....	23
<b>1.3.1.1.2. Demanda sísmica</b> .....	24
<b>1.3.1.1.3. Niveles de desempeño</b> .....	25
<b>1.3.1.2. Comportamiento sísmico</b> .....	28
<b>1.3.1.2.1. Punto de desempeño</b> .....	29
<b>1.3.2. Reforzamiento Incremental con ACMAC</b> .....	29
<b>1.3.2.1. Elementos Estructurales</b> .....	31
<b>1.3.2.1.1. Modelo de esfuerzo-deformación para el acero</b> .....	31
<b>1.3.2.1.2. Modelo de esfuerzo-deformación para el concreto</b> .....	33
<b>1.3.2.1.3. Modelo de esfuerzo-deformación para la albañilería</b> .....	35
<b>1.3.2.2. Macro elementos Estructurales</b> .....	36
<b>1.3.2.2.1. Rigidez lateral</b> .....	36
<b>1.3.2.2.2. Resistencia característica</b> .....	38
<b>1.3.2.3. Espectro de Demanda</b> .....	39
<b>1.3.2.3.1. Sa/g: Aceleración espectral</b> .....	39
<b>1.3.2.3.2. Sd: Desplazamiento espectral</b> .....	40
<b>1.3 Formulación del Problema</b> .....	41
<b>1.4.1. Problema general:</b> .....	41



1.4.2.	<b>Problemas específicos:</b> .....	42
<b>1.4</b>	<b>Justificación del Estudio</b> .....	42
1.5.1.	<b>Teórica:</b> .....	42
1.5.2.	<b>Metodológica:</b> .....	42
1.5.3.	<b>Práctica:</b> .....	42
<b>1.5</b>	<b>Hipótesis</b> .....	43
1.6.1.	<b>Hipótesis general:</b> .....	43
1.6.2.	<b>Hipótesis específicas:</b> .....	43
<b>1.6</b>	<b>Objetivos</b> .....	43
1.7.1.	<b>Objetivo general:</b> .....	43
1.7.2.	<b>Objetivos específicos:</b> .....	43
<b>II.</b>	<b>MÉTODO</b> .....	45
2.1.	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	46
2.1.1.	<b>Tipo de Investigación</b> .....	46
2.1.2.	<b>Nivel de Investigación</b> .....	46
2.1.3.	<b>Diseño de Investigación</b> .....	46
2.2.	<b>Variables, operacionalización</b> .....	46
2.2.1.	<b>Variables Independientes</b> .....	46
2.2.2.	<b>Variables Dependientes</b> .....	46
2.2.3.	<b>Operacionalización de variables</b> .....	47
2.3.	<b>Población, muestra y muestreo</b> .....	48
2.3.1.	<b>Población</b> .....	48
2.3.2.	<b>Muestra</b> .....	48
2.3.3.	<b>Tipo de muestreo</b> .....	48
2.4.	<b>Validez y confiabilidad</b> .....	48
2.4.1.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	48
2.4.2.	<b>Instrumentos de Investigación</b> .....	49
2.4.3.	<b>Validez</b> .....	49
2.4.4.	<b>Confiabilidad</b> .....	49
2.5.	<b>Método de análisis de datos</b> .....	49
2.6.	<b>Aspectos éticos</b> .....	50
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	51
3.1.	<b>Alcances del Proyecto</b> .....	52
3.2.	<b>Ubicación del Proyecto</b> .....	52
3.3.	<b>Características arquitectónicas del Bloque 2</b> .....	52

3.4.	<b>Análisis sísmico</b> .....	53
3.4.1.	<b>Características de los materiales</b> .....	53
3.5.	<b>Desarrollo de la Curva Capacidad</b> .....	61
3.6.	<b>Conversión de Curva Capacidad a Espectro de Capacidad</b> .....	64
3.7.	<b>Espectro de Demanda</b> .....	66
3.8.	<b>Espectro sísmico E-030 a Espectro de Demanda por nivel de daño</b> .....	67
3.9.	<b>Espectro de Capacidad y Espectros de Demanda según el nivel de daño</b> .....	71
3.10.	<b>Seccionamiento de espectro capacidad según SEAOC</b> .....	72
3.11.	<b>Resumen de espectros y seccionamientos</b> .....	72
3.12.	<b>Análisis de Nivel y Punto de desempeño</b> .....	74
3.13.	<b>Matriz de desempeño</b> .....	76
3.14.	<b>Análisis de desempeño con reforzamiento ACMAC</b> .....	77
3.14.1.	<b>Planteamiento estructural de los marcos de Acero con Arriostres Concéntricos</b> 78	
3.14.2.	<b>Desarrollo de Curva Capacidad de la estructura reforzada con ACMAC</b> .....	80
3.14.3.	<b>Espectro de Capacidad con Adición de Marcos de Acero con Arriostres Concéntricos</b> .....	81
3.14.4.	<b>Espectro de demanda y Capacidad según nivel de daño de la estructura reforzada</b> .....	82
3.14.5.	<b>Seccionamiento del espectro de capacidad de la estructura reforzada</b> .....	82
3.14.6.	<b>Resumen de espectros y seccionamientos de la estructura reforzada</b> .....	82
IV.	<b>DISCUSIÓN</b> .....	85
V.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	89
VI.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	91
	<b>REFERENCIAS</b> .....	93
	<b>ANEXO</b> .....	98

## TABLA DE FIGURAS:

Figura 1. Patrones de distribución de cargas laterales para un análisis Pushover. ....	22
Figura 2. Ilustración de análisis Pushover. ....	23
Figura 3. Curva de capacidad de la estructura. ....	24
Figura 4. Representación gráfica de la demanda sísmica. ....	25
Figura 5. Representación gráfica del punto de desempeño. ....	29
Figura 6. Opciones de reducción de riesgo sísmico adaptado de FEMA 395. ....	30
Figura 7. Geometría de marco probado por Wakawayashi et al. (1970). ....	31
Figura 8. Modelo Elasto – Perfectamente Plástico. ....	32
Figura 9. Modelo Trilineal. ....	32
Figura 10. Modelo Curva Completa. ....	33
Figura 11. Curvas típicas de esfuerzo deformación para barras de acero. ....	33
Figura 12. Comparación del modelo de 1971 y el modelo de 1982 y la influencia del confinamiento en el tramo de caída. ....	34
Figura 13. Modelo de Mander. ....	35
Figura 14. Curva de Carga-deformación de albañilería. ....	36
Figura 15. Rigidez en columna. ....	37
Figura 16. Espectros de Capacidad – Demanda. ....	39
Figura 17. Representación gráfica de la aceleración espectral. ....	40
Figura 18. Representación gráfica del desplazamiento espectral. ....	41
Figura 19. Vista frontal de la I.E. Suecia N° 2059, Comas – Lima. ....	52
Figura 20. Vista de ubicación de I.E. Suecia N° 2059, Comas – Lima. ....	52
Figura 21. Vista en planta del primer piso del bloque 2. ....	53
Figura 22. Vista en planta del segundo piso del bloque 2. ....	53
Figura 23. Mapa de zonas sísmicas. ....	55
Figura 24. Espectro de aceleración en XX. ....	58
Figura 25. Espectro de aceleración en YY. ....	59
Figura 26. Asignación de rótulas plásticas. ....	61
Figura 27. Asignación de rótulas plásticas en elementos frame del eje X. ....	62
Figura 28. Formación de rótulas plásticas en la dirección X. ....	62
Figura 29. Formación de rótulas plásticas en la dirección Y. ....	62
Figura 30. Curva de Capacidad para análisis en la dirección X-X. ....	63
Figura 31. Curva de Capacidad (Pushover) para análisis en la dirección Y-Y. ....	64
Figura 32. Espectro de capacidad X-X. ....	65
Figura 33. Espectro de capacidad Y-Y. ....	65
Figura 34. Espectro de demanda elástico en dirección XX (Aceleración espectral – Desplazamiento espectral). ....	66
Figura 35. Espectro de demanda elástico en dirección Y (Aceleración espectral – Desplazamiento espectral). ....	67
Figura 36. Espectro de Demanda por nivel de daño en la dirección XX. ....	69
Figura 37. Espectro de Demanda por nivel de daño en la dirección YY. ....	70
Figura 38. Espectro de Capacidad Vs Espectro de Demanda por nivel de daño en X. ....	71
Figura 39. Espectro de Capacidad Vs Espectro de Demanda por nivel de daño en Y. ....	71
Figura 40. Seccionamiento del espectro capacidad y demanda en X. ....	73
Figura 41. Seccionamiento del espectro capacidad y demanda en Y. ....	73
Figura 42. Punto y nivel de desempeño en dirección X – Sismo moderado. ....	74
Figura 43. Punto y nivel de desempeño en dirección Y - Sismo moderado. ....	74

Figura 44. Punto y nivel de desempeño en dirección X – Sismo raro.....	75
Figura 45. Punto y nivel de desempeño en dirección Y - Sismo raro. ....	75
Figura 46. Curva de capacidad de ACMAC - Desplazamiento vs Carga. ....	77
Figura 47. Curva de capacidad ACMAC - Distorsión vs Carga. ....	78
Figura 48. Detalle de armado ACMAC. ....	78
Figura 49. Detalle de acero ACMAC.....	79
Figura 50. Ubicación de reforzamiento ACMAC. ....	79
Figura 51. Reforzamiento ACMAC – 1er piso. ....	80
Figura 52. Reforzamiento ACMAC - 2do piso.....	80
Figura 53. Curva de Capacidad (Pushover) de la estructura reforzada en la dirección X.....	81
Figura 54. Espectro de Capacidad de la estructura reforzada en la dirección X. ....	81
Figura 55. Espectro de Capacidad Vs Espectro de Demanda por niveles de daño con reforzamiento ACMAC en la dirección X.....	82
Figura 56. Seccionamiento del espectro capacidad y demanda con reforzamiento ACMAC en dirección X.....	83
Figura 57. Punto y nivel de desempeño con reforzamiento ACMAC en dirección X – Sismo moderado.....	83
Figura 58. Punto y nivel de desempeño con reforzamiento ACMAC en dirección X – Sismo raro.....	84
Figura 59. Superposición de las curvas de capacidad. ....	87

## LISTA DE TABLAS:

<b>Tabla 1.</b> Niveles de amenaza sísmica según propuesta del SEAOC. ....	21
Tabla 2. Niveles de desempeño según VISION 2000 .....	26
Tabla 3. Niveles de desempeño de la edificación .....	28
Tabla 4. Rigidez efectiva de elementos según FEMA 356. ....	38
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	47
Tabla 6. Factores de zona. ....	55
Tabla 7. Clasificación de los perfiles de suelo. ....	56
Tabla 8. Factor de suelo “S”.....	56
Tabla 9. Periodo “Tp” Y “Tl” .....	56
Tabla 10. Derivas en dirección X.....	59
Tabla 11. Derivas en dirección Y.....	60
Tabla 12. Fuerzas estáticas y dinámicas en la dirección XX. ....	60
Tabla 13. Fuerzas estáticas y dinámicas en la dirección YY. ....	61
Tabla 14. Datos para obtener el espectro de capacidad en la dirección X-X. ....	64
Tabla 15. Datos para obtener el espectro de capacidad en la dirección Y-Y. ....	65
Tabla 16. Espectros sísmicos de aceleraciones (Sa) en la dirección X. ....	67
Tabla 17. Espectros sísmicos de desplazamiento (Sd) en dirección X.....	68
Tabla 18. Espectros sísmicos de aceleraciones (Sa) en la dirección Y. ....	69
Tabla 19. Espectros sísmicos de desplazamiento (Sd) en la dirección Y.....	70
Tabla 20. Parámetros utilizados para el seccionamiento del espectro de capacidad.....	72
Tabla 21. Punto de fluencia, desplazamiento último.....	72
Tabla 22. Límites según el nivel de desempeño en X. ....	72
Tabla 23. Nivel de desempeño en dirección X.....	76
Tabla 24. Nivel de desempeño en dirección X.....	77
Tabla 25. Límites según el nivel de desempeño de la estructura reforzada en X.....	82
Tabla 26. Nivel de desempeño con ACMAC en dirección X. ....	84
Tabla 27. Nivel de desempeño con y sin reforzamiento en dirección X. ....	88

## RESUMEN

Las estructuras del tipo 780pre fueron diseñadas con la noma de Diseño Sismo Resistente del año 1977, con el cual se afirma a través de evaluaciones de desempeño que no son estructuras seguras para la población estudiantil a nivel nacional. Esto causó alerta a las entidades encargadas de las infraestructuras educativas dando pie a la idea de reforzar estas estructuras a nivel nacional, con la condición que no se pierdan actividades escolares y que financieramente se pueda abastecer a todo el Perú. Es por ello que las entidades como MINEDU y el Banco Mundial presentaron propuestas de reforzamiento incremental para aliviar esta problemática sin interrupción en las actividades escolares.

La presente investigación refiere a la evaluación del desempeño sísmico de la Institución Educativa Suecia N°2059 ubicada en Comas, mediante el análisis estático no lineal Pushover, haciendo uso de las normativas E-030, SEAOC 1995, FEMA y ATC 40, para obtener la respuesta sismorresistente de la estructura; llegando a la conclusión que en la dirección Y la edificación se encuentra en el nivel de desempeño operacional y no necesita ser reforzado, en cambio la dirección X no se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma E-030, por lo que fue necesario realizar el reforzamiento con ACMAC en dicha dirección. Dándonos como resultados el desempeño sismorresistente óptimo para estructuras esenciales.

**Palabras claves:** Evaluación de desempeño sísmico, reforzamiento incremental, instituciones educativas.

## ABSTRACT

The structures of type 780pre has been designed with the nomination of Resistant Earthquake Design of the year 1977, with which it's affirmed through performance evaluations that are not safe structures for the student population nationwide. This caused an alert to the entities in charge of the educational infrastructures, giving rise to the idea of reinforcing these structures at a national level, with the condition that school activities are not lost and that all of Peru can be financially supplied. That is why entities such as MINEDU and the World Bank presented proposals for incremental reinforcement to alleviate this problem without interruption in school activities.

The present investigation refers to the evaluation of the seismic performance of the Educational Institution Suecia No. 2059 located in Comas, by means of the nolinear static analysis Pushover, making use of the regulations E-030, SEAOC 1995, FEMA and ATC 40, to obtain the seismic response of the structure; arriving at the conclusion that in the direction and the building is at the level of operational performance and does not need to be reinforced, instead the X address is not within the parameters established in the E-030, so it was necessary perform the reinforcement with ACMAC in that direction. Giving us the results of optimal seismic performance for essential structures.

**Keywords:** Seismic performance evaluation, incremental, reinforcement, educational institutions.

## **I. INTRODUCCIÓN**



## 1.1 Realidad Problemática

A raíz de la existencia de sismos se dieron pérdidas humanas y económicas por los desastres o efectos que estas producían debido a la vulnerabilidad de las estructuras originadas por los malos materiales, técnicas constructivas y baja resistencia; como es en el caso del sismo que ocurrió en San Francisco (1906) que tuvo como consecuencia 700 muertos y en Tokyo (1923) con 140 mil muertos. En EE.UU. del año 1990, surge el interés por diseñar estructuras en las cuales se puedan predecir su desempeño sismorresistente, es ahí donde nace la teoría de “Diseño por Desempeño” que significó ser un instrumento de la ingeniería sísmica y estructural con las cuales se pueda pronosticar el comportamiento de estructuras ante diversos movimientos telúricos definidos en términos de niveles de desempeño. Astica (2012) señala que, el diseño de estructuras sismorresistente, es de gran importancia para poder asegurar su durabilidad, evitando el colapso de éstas, resguardando la seguridad de vida de las personas que las habitan, y, además, asegurando la disponibilidad para seguir su funcionamiento en caso sea necesario (p. 14). Sin embargo, a lo largo del tiempo, han llegado a ocurrir sismos de gran magnitud las cuales ha puesto en debate el diseño por desempeño en sus diferentes métodos conllevando a realizar el análisis en diferentes niveles.

Según evidencias científicas del Instituto Geofísico del Perú, García (2017) menciona en el diario El Comercio que, “en los próximos años puede ocurrir un sismo de gran magnitud en la costa central del Perú”; tal como ocurrió en agosto del 2007, un terremoto de magnitud 7.8 (Mw) que impactó el sur de Perú con un saldo de 550 personas muertas, 2,000 personas afectadas y pérdidas económicas del orden de US\$ 1 billón (Banco Mundial, 2017, p.1). Es por esta razón que es de gran interés evaluar las pérdidas económicas que están directamente relacionadas con los daños sísmicos en las edificaciones que cumplen con las normas sismorresistentes; sin embargo, las políticas de protección financiera y la de gestión de riesgos no son apropiados como para poder asegurar los bienes y formular planes para atender las emergencias, rehabilitación o construcción de nuevas estructuras. Sabiendo que Lima es la ciudad más poblada del país y que se concentra el desarrollo económico, se debe pensar en que “lo importante no es cuándo, sino qué estamos haciendo para no ser dañados por ese terremoto que de todas maneras ocurrirá”, señala Tavera (2007) en el diario El Comercio.

Las estructuras del tipo 780pre son aquellos que poseen esqueletos con pórticos hechos de concreto armado conjuntamente con muros de albañilería, constituidas antes de 1997 bajo la Norma de Diseño Sismo Resistente de 1977 (NDSR 1997). Estas edificaciones, que son 12000 aproximadamente (INEI, 2013), alcanzan casi al 25% de edificaciones educativas en el Perú originándose peligros latentes para profesores y escolares (Loa, 2017, p.1). Sin embargo, las políticas de protección financiera y la de gestión de riesgos no son apropiadas como para poder asegurar los bienes y formular planes para atender las emergencias, rehabilitación o construcción de nuevas estructuras. Es por ello que el Banco Mundial y el MINEDU se unieron para generar un Plan Nacional de Infraestructura Educativa en las cuales buscan tener como objetivo primordial; ofrecer una educación de calidad para todos los educandos; mejorando la condición, gestión capacidad e infraestructura de los colegios 780pre (Banco Mundial, 2017, p.1). Teniendo como objetivos estratégicos: Tener la certeza de que la seguridad y la funcionalidad de la estructura sean las adecuadas, se amplíe la capacidad para poder atender la demanda que se requiere, poder asegurar la gestión de las infraestructuras educativas en todas sus etapas; y dar garantía sobre la sostenibilidad de estas infraestructuras.

Una de las técnicas de reforzamiento incremental que propone el Banco Mundial es el ACMAC, técnica que tiene como objetivo rigidizar y aumentar la resistencia de la estructura adicionando marcos de acero concéntricamente arriostrados. Este proyecto se enfocará en realizar el análisis de desempeño sísmico, a través del método Pushover de una estructura educativa, con la finalidad de tener sus espectros de capacidad y demanda sísmica resultante para finalmente tener el punto de desempeño. Este análisis se desarrollará antes y después del reforzamiento incremental con ACMAC.

## **1.2 Trabajos Previos**

### **1.2.1. Antecedentes Internacionales**

**(Juan ARÉVALO y Willyam BERMÚDEZ, 2007, pág. 2) La tesis: “Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aporticada de concreto reforzado”,** para optar el título de Ingeniero Civil, Bucaramanga – Colombia. “La investigación plantea verificar el proceso de evaluación de daños ocasionados en las partes estructurales de una edificación por causa de eventos sísmicos”. Teniendo como

objetivo principal aplicar la metodología Pushover a las edificaciones de concreto reforzado, definiendo y analizando los niveles de daños ocasionado y el desempeño establecido; llegando a la conclusión que para la evaluación con la metodología Pushover es importante que las curvas de tanto de capacidad como de demanda deben ser muy bien estimadas y definidas para no tener errores considerables en el riesgo de los resultados finales.

**(Luis ALEMÁN y Luis NARANJO, 2011, pág. ) La tesis: “Diseño por desempeño de elementos estructurales de hormigón armado mediante los códigos fema, utilizando etabs”,** para optar el título de Ingeniero Civil. Sangolqui – Ecuador. “El proyecto dispone hacer una representación del análisis de una estructura con marcos arriostrados, para así poder demostrar el comportamiento eficiente de esta ante eventos sísmicos”, destacando como objetivo principal obtener las razones del buen desempeño sísmico de las estructuras con marcos arriostrados un específico sismo. Teniendo como conclusión que la estructura no presentó evidencia de daños en sus elementos estructurales, la cual se hizo válida en el estudio.

**(Guadalupe ASTICA, 2012, pág. 14). La tesis: “Evaluación de las disposiciones de diseño sísmico para marcos arriostrados en edificios industriales”,** para optar el título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile – Chile. “En esta investigación se hizo el diseño de los elementos estructurales de un armazón con hormigón armado, a través del programa ETABS, teniendo como referencia las disposiciones o recomendaciones del código FEMA”, con el objetivo de validar, a través del programa ETABS, las recomendaciones del código FEMA; llegando a la conclusión que para poder dar uso de este código debemos tener en cuenta algunas características propias del punto a analizar como: la geología, topografía y la ubicación en la que se encuentra.

### **1.2.2. Antecedentes Nacional**

En las investigaciones nacionales, se presentan informaciones relevantes encontradas:

**(Gustavo LOA, 2017, pág. 2) En la investigación: “Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997”,** para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú: “Esta investigación propone

analizar los efectos sísmicos que puedan resultar en una edificación 780 pre, en sus dos direcciones que son longitudinal y, el menos considerado en estas investigaciones, en su dirección transversal”. Proponiendo como objetivo principal aplicar un análisis no lineal a sus elementos para estimar el desempeño sísmico de la estructura frente un evento sísmico; llegando a la conclusión que, aunque la estructura pueda tener juntas adecuadas o no adecuadas, el desempeño sísmico resultante no es favorable por lo que la flexibilidad es alta y genera altos niveles de desplazamiento ante sismos de poca intensidad; lo que se propone ser necesario dar paso a un sistema de reforzamiento estructural.

**(Pamela RAMIREZ, 2017, pág. 1) En el proyecto: “Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Perú”,** para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú. “La tesis descrita propuso hacer el análisis de varias técnicas de reforzamiento al tipo de estructura 780 pre, con el fin de evaluar de forma experimental algún reforzamiento que sea beneficioso de manera masiva a estos edificios escolares que se encuentran en la costa y sierra del país”, proyectándose como objetivo principal poder disminuir la vulnerabilidad de los elementos estructurales de las edificaciones 780pre; llegando a la conclusión que con respecto al análisis teórico que se pudo realizar, se pudo mejorar considerablemente el desempeño de la estructura ya que los elementos estructurales evitaron fallas durante la simulación dinámica.

**(Mary AURIS, 2017, pág. 5) En la tesis: “Análisis del desempeño sísmico en estructuras de instituciones educativas del sector de Azapampa, Distrito de Chilca, Huancayo – 2016”,** para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana los Andes, Huancayo-Perú. “Esta tesis investigó el comportamiento y la capacidad de los elementos estructurales de edificaciones escolares tomando en cuenta el concepto de diseño sísmico basado en su desempeño durante movimiento sísmicos, y el análisis no lineal-Pushover”, tomando como objetivo principal realizar el análisis del desempeño de los elementos estructurales de concreto armado de las instituciones educativas; concluyendo que la propuesta encontrada en el ATC-40 es el indicado para evaluar los niveles de desempeño de las estructuras que a su vez esta nos permite evaluar varios niveles de desempeño estructurales en este tipo de edificaciones.

**(Franz ESTRADA, 2018, pág. 1) En la tesis: “Estudio comparativo de dos alternativas para la ampliación de un nivel de un módulo de aulas existentes”,** para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima-Perú: “La tesis en mención sostuvo la propuesta que para poder ampliar una edificación educativa que fue construida antes de 1997 se debe hacer una serie de evaluaciones en sus elementos estructurales para así poder determinar el reforzamiento que se puede realizar en dicha estructura”, teniendo como objetivo fundamental poder hacer contribución a la reducción de la vulnerabilidad estructural que presentan estas estructuras ante diversos movimientos sísmicos; concluyendo que este tipo de estructuras presentan deficiencias de rigidez lateral en su dirección longitudinal, como también presenta baja resistencia en su dirección transversal.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Desempeño Sísmico**

El desempeño sismorresistente es el resultado, que brinda una estructura como respuesta, obtenida ante un movimiento sísmico destacando así su funcionalidad durante y después de un movimiento telúrico que ponga en riesgo la protección de los habitantes. Para determinar un desempeño sísmico predecible y controlable es necesario tener recursos definidos, de modo que asegure la condición de la estructura y posteriormente tenga un mantenimiento adecuado (Meza, 2018, p. 21).

Según el ATC-40 (1996), refiere a que, para realizar el diseño estructural, la metodología a usar debe apuntar o expresarse a un objetivo claro de desempeño por la que la estructura deberá desenvolverse. Los términos descritos determinan la importancia de diseñar, ejecutar y mantener con responsabilidad una estructura, con el fin de prevenir grandes pérdidas humanas, materiales, financieros y problemas sociales; ante la llegada de un sismo.

#### **Comité 2000 (SEAOC 1995)**

El comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) sugiere poner los niveles de amenaza sísmica en función de su probabilidad de ocurrencia en un periodo de 50 años de exposición, o en función del período medio de retorno. A continuación, se muestra en la tabla 1 los niveles

de amenaza sísmica propuesta por el SEAOC, las probabilidades de excedencia en 50 años para distintos valores de periodos de retorno.

**Tabla 1.** Niveles de amenaza sísmica según propuesta del SEAOC.

Sismo de diseño	Probabilidad de excedencia en 50 años de exposición	Periodo de retorno
Sismos frecuentes	69%	43 años
Sismos ocasionales	50%	72 años
Sismos raros	10%	475 años
Sismos muy raros	5%	970 años

Fuente: SEAOC, 1995.

### **Objetivos del Desempeño**

Hace muchos años atrás, la ingeniería sismorresistente tenía como objetivo evitar el colapso de estructuras ante sismos severos, pero hoy en día se han cambiado los criterios y se busca tener objetivos de desempeños diferentes para distintos niveles de sismos ocurridos. La ingeniería basada en el desempeño calcula el comportamiento total de una estructura a través del desenvolvimiento real de sus elementos ante un evento sísmico, quiere decir que esta especialidad de ingeniería puede estimar las propiedades tanto lineales como no lineales de la estructura a analizar (Loa, 2017, p. 6).

En la siguiente tabla se representa el estado de daño ocasionado que alcanzaría una estructura por cada nivel de sismo ocurrido, también se puede identificar el desempeño mínimo que debería tener la estructura, ante esos sismos, con objetivos básicos y esenciales.

**Tabla 2.** *Objetivos de reforzamiento según SEAOC.*

Estado de daño	Operacional	Funcional	Resguardo de vida	Cercano al colapso	Colapso
Sismo frecuente ( $T_r = 45$ años)					
Sismo ocasional ( $T_r = 75$ años)					
Sismo raro ( $T_r = 475$ años)					
Sismo muy raro ( $T_r = 2475$ años)					

*Desempeño no aceptable*

*Objetivos básicos*

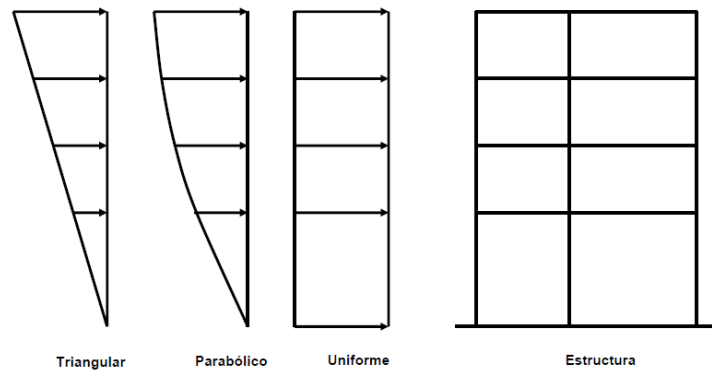
*Objetivos esenciales*

Fuente: SEAOC, 1995.

Las infraestructuras educativas, como edificaciones esenciales, deben cumplir con objetivos esenciales que consiste en que su desempeño para un sismo ocasional debería ser operacional y para un sismo raro un estado ed daño funcional (SENCICO, 2016).

### 1.3.1.1. Análisis estático no lineal – PUSHOVER

Es una evaluación simple que adiciona cargas axiales a una estructura para así determinar su capacidad máxima de desplazamiento lateral que pueda conseguir (Loa, 2017, p. 8).



*Figura 1.* Patrones de distribución de cargas laterales para un análisis Pushover.

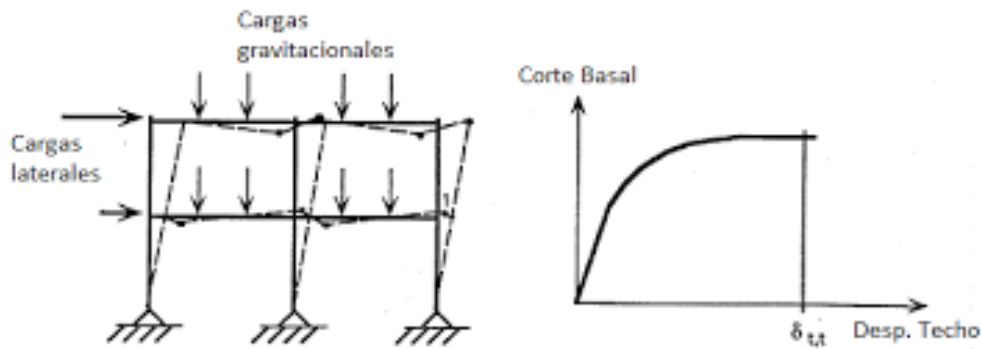


Figura 2. Ilustración de análisis Pushover.

Para realizar este método es necesario requerir de elementos primarios como: capacidad, demanda (desplazamiento) y desempeño. Para Arango, Paz y Duque (2009) la gráfica de cortante basal contra desplazamiento se representa en términos de espectro de aceleración versus espectro de desplazamiento, considerando como curva y/o espectro de capacidad de la estructura y se puede comparar con la gráfica de demanda resultante de los gráficos de diseño (p. 143).

#### 1.3.1.1.1. Curva de capacidad

Para tener la respuesta de desplazamiento máximo alcanzado de una edificación ante un sismo es mediante la curva capacidad, es necesario tener en consideración dos factores que determinen que el armazón alcance su estado límite. Es por ello que para Moreno (2005), la curva de capacidad es aquella en la que se logra visualizar la relación que se encuentra entre la carga lateral que se somete a una estructura y su resistencia que en consecuencia se estima un desplazamiento lateral característico (p. 92). Es decir, la curva Pushover o de capacidad de la estructura puede estimar el nivel de daño ocasionado por un sismo ocurrido en edificaciones ya existentes que se quieran rehabilitar o, en edificaciones nuevas la fuerza cortante máxima medida en la base y el desplazamiento máximo en el nivel de cubierta.

A continuación, se presenta la curva de capacidad representativa de una estructura, adoptado por el ATC-40; en donde se representa que por cada incremento de la cortante se determina el desplazamiento de la estructura hasta que alcance su condición de colapso. Se identifican los puntos de capacidad de diseño en donde la rigidez es constante, la



capacidad de fluencia en donde se determina la elasticidad como comportamiento de esta y la capacidad última que significa la plasticidad hasta llegar a la rotura de la estructura.

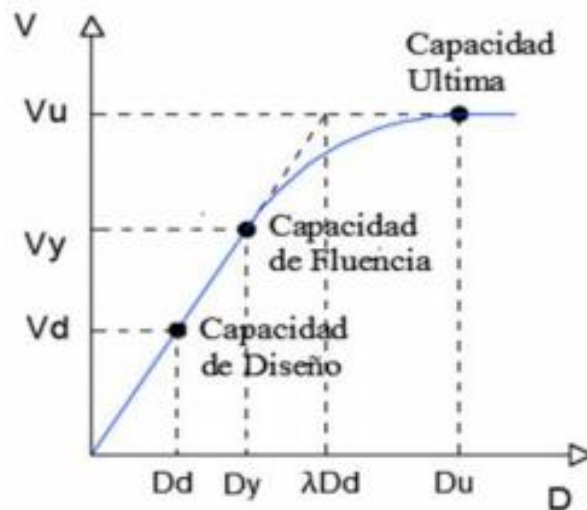


Figura 3. Curva de capacidad de la estructura.

Esta curva de Pushover aproxima la conducta de las estructuras después de haber excedido su límite elástico. La capacidad de esfuerzo-deformación que pueda tener cada elemento de una estructura podrá llevar a encontrar la capacidad estructural. Para hallar la curva capacidad se requiere realizar una serie de iteraciones, debido a esto es necesario usar programas computacionales como el Sap 2000 y el Etabs.

#### 1.3.1.1.2. Demanda sísmica

De manera habitual, se hacía uso de análisis de diseño de estructuras basadas en las fuerzas en donde se representaba el periodo vs la aceleración; pero con el transcurrir del tiempo, se ha identificado que el desplazamiento y la deformación, son los parámetros más relevantes para el diseño de estructuras.

La demanda sísmica es representada a través de un espectro de respuesta, es por ello que se conceptualiza en la representación de la respuesta máxima de sistemas de un grado de libertad como una función de sus frecuencias. Para Mora, (2017, p. 127); la demanda sísmica, es el movimiento del suelo durante un evento sísmico. Para hallar la no linealidad de una estructura es más fácil y directo usar una serie de desplazamientos laterales en condición de diseño (p.1). Es decir, la demanda de desplazamiento es un acercamiento de

cálculo a la máxima respuesta, durante la acción de un sismo, que genera el movimiento del suelo en una estructura.

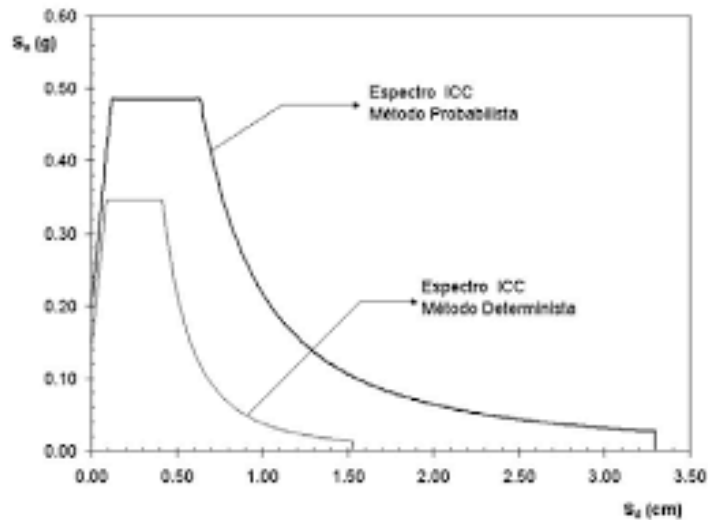


Figura 4. Representación gráfica de la demanda sísmica.

#### 1.3.1.1.3. Niveles de desempeño

El nivel de desempeño de una estructura es el estado límite tolerable que esta pueda alcanzar en función de parámetros establecidos sobre el desempeño de edificaciones según su funcionalidad ante una amenaza sísmica (ATC-40, 1996, p.53).

#### VISION 2000

La propuesta de VISION 2000 (SEAOC, 1995) identifica 4 niveles de desempeño establecidos en los siguientes calificadores:

- a. *Totalmente Operacional.* - en este nivel de estado existe la seguridad total de no sufrir daño alguno tanto para los usuarios como para la infraestructura; es por ello que no se requieren de reparaciones y se puede habitar de manera inmediata.
- b. *Operacional.* - nivel de desempeño la cual los daños son leves, ya que la seguridad de la edificación no se ve comprometido y la permanencia de disponibilidad de uso siguiendo con su buen funcionamiento. Solo se requiere de reparaciones ligeras, es por eso que también se puede habitar de manera inmediata.

- c. *Seguridad*. – en este nivel todos los elementos de la edificación sufren daños moderados. La rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema tienden a degradarse, teniendo como consecuencia la interrupción de los servicios. Este nivel de desempeño necesitará de reparaciones importantes.
- d. *Pre-Colapso*. – en este nivel de desempeño la estructura se vuelve insegura para los ocupantes ya que la rigidez lateral y la capacidad resistente se degradan teniendo un acercamiento comprometedor al colapso estructural. Debido a la inestabilidad de la estructura las reparaciones resultan no factibles, ya sea técnica o económicamente.

*Tabla 2. Niveles de desempeño según VISION 2000*

<i>Estado de daño</i>	<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Características principales</i>
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando 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 del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural

Fuente: SEAOC, 1995

### **ATC-40**

La propuesta del ATC-40 (1996) especifica de modo separado los niveles de desempeño tanto de los elementos estructurales como no estructurales para que al final resulte, a través de su combinación, el desempeño total de la edificación en su totalidad:

a. *Nivel de desempeño para la estructura*

*SP-1. Inmediata Ocupación*. – el peligro a la vida y el daño estructural ocurrido son despreciables, ya que la estructura resiste cargas verticales y laterales. Es por ello que la edificación sigue funcionando normalmente.

*SP-2. Daño Controlado.* - en este nivel los ocupantes podrían ser afectados, dejando en claro que sus vidas no se encuentran en peligro; pero corresponde a un estado de daño que está entre las condiciones límite de SP-1 y SP-3.

*SP-3. Seguridad.* - en este nivel se refleja la existencia de la amenaza a la vida, y los daños estructurales son significativos. Los costos de reparaciones estructurales son elevados.

*SP-4. Seguridad Limitada.* – con alto nivel de peligrosidad para los habitantes, está dentro de un estado de daño que se encuentra entre las condiciones de límite de seguridad y estabilidad de la estructura.

*SP-5. Estabilidad estructural.* - en este nivel de desempeño la rigidez y la resistencia del sistema se degradan significativamente, quiere decir que el sistema estructural se encuentra en el límite de sufrir un colapso y requerir de reparaciones estructurales significativas. En el caso de los ocupantes, se encuentran en un elevado peligro.

*SP-6. No considerado.* - es una condición en la cual solo se evalúa el desempeño sísmico de los elementos no estructurales del sistema.

*b. Nivel de desempeño para los componentes no estructurales*

*NP-A. Operacional.* - después de haber sufrido un sismo, los sistemas, componentes y elementos no estructurales se mantienen sin daños. Aunque algunos servicios externos no se encuentren del todo disponibles, los equipos y herramientas, y maquinarias deben estar operativas en todo momento.

*NP-B. Inmediata Ocupación.* - el estado de seguridad de los ocupantes es alto, y los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen en su lugar, con mínimas interrupciones que no limitan su funcionamiento.

*NP-C. Seguridad.* - en este nivel se puede encontrar, considerablemente, daños en los sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin tener el temor de sufrir colapso alguno. El peligro a la vida de los usuarios, por los daños que sufren los

elementos no estructurales, es mínima; pero cabe resaltar que podrían existir algunos afectados.

*NP-D. Amenaza.* – en este nivel el peligro a la vida de los usuarios, por los daños que sufren los elementos no estructurales, es alto. Se puede encontrar, importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales; sin llegar al colapso.

*NP-E. No Considerado.* - es una condición en la cual se incluye una evaluación sísmica de los componentes estructurales.

Tabla 3. Niveles de desempeño de la edificación

	<i>SP-1 Inmediata Ocupación</i>	<i>SP-2 Daño Controlado (rango)</i>	<i>SP-3 Seguridad</i>	<i>SP-4 Seguridad limitada (rango)</i>	<i>SP-5 Estabilidad Estructural</i>	<i>SP-6 No considerado</i>
<i>NP-A Operacional</i>	<b>1-A Operacional</b>	2-A	NR	NR	NR	NR
<i>NP-B Inmediata Ocupación</i>	<b>1-B Inmediata Ocupación</b>	2-B	3-B	NR	NR	NR
<i>NP-C Seguridad</i>	1-C	2-C	<b>3-C Seguridad</b>	4-C	5-C	6-C
<i>NP-D Amenaza</i>	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
<i>NP-E No Considerado</i>	NR	NR	3-E	4-E	<b>5-E Estabilidad Estructural</b>	No Aplicable

Fuente: ATC, 1996

### 1.3.1.2. Comportamiento sísmico

El comportamiento sismorresistente de una edificación puede considerarse satisfactoria cuando esta cumple con tener un buen desempeño esperado, esto se puede saber a través de la imposición de movimientos sísmicos a una edificación (ATC-1996). Es decir, el desempeño sísmico refiere a la respuesta esperada como comportamiento de una edificación que está sujeto a un determinado nivel de movimiento, y esto se puede medir a través de específicos niveles de desempeño.

La selección del desempeño esperado de una estructura debe estar evaluada en función de las características de la ocupación, consideración de los gastos económicos que

generan las reparaciones de daño ocasionado y las de interrupción de servicio, hasta la importancia de la estructura a nivel cultural (SEAOC, 1995).

### 1.3.1.2.1. Punto de desempeño

El punto de desempeño es la intersección que obtenemos al graficar el Espectro de Capacidad con el Espectro de Demanda según la Norma E-0.30 del RNE. Así mismo, según FEMA 356, para lograr encontrar el punto de desempeño da iniciativa a comprender en que se conseguirá un nivel esperado de desempeño de la edificación ante una demanda sísmica especificada.

La obtención del punto de desempeño es necesario experimentar con un sismo de diseño, las cuales este nos va a representar el máximo desplazamiento probable que sufrirá la estructura para tal caso.

El FEMA 356 recomienda que, para encontrar el punto de desempeño de una estructura, es necesario desarrollar la relación entre el desplazamiento último y la constante basal del último piso, que significa construir la curva de capacidad.

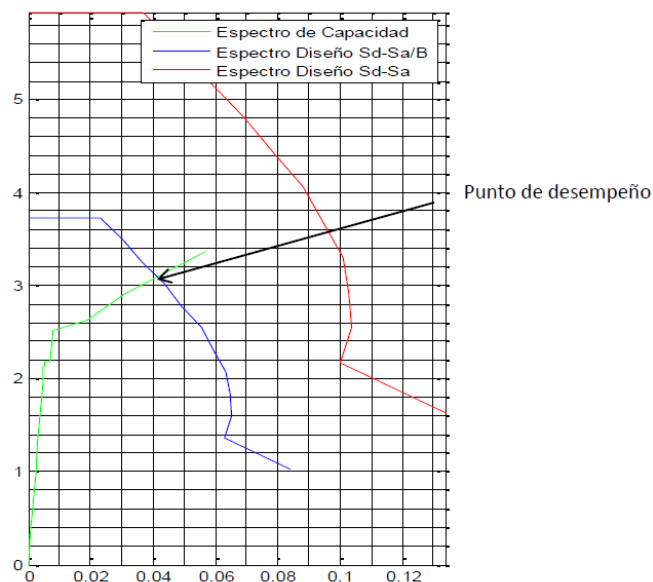


Figura 5. Representación gráfica del punto de desempeño.

### 1.3.2. Reforzamiento Incremental con ACMAC

## Reforzamiento incremental

Para la reducción de riesgos sísmicos es necesario la realización de evaluaciones con el fin de obtener respuestas acerca del estado en el que se encuentra una estructura, y así saber si este va a poder resistir ante algún evento sísmico que se presente. Existen muchas posibilidades como alternativas de solución que se puedan realizar para disminuir el riesgo de pérdidas humanas tanto como económica ante un evento sísmico que causa daño a una estructura; la primera alternativa de solución es no hacer nada, es decir dejar la estructura dañada y deshabitarla dejando que esta siga teniendo alto riesgo sísmico; la segunda es reemplazarla, la cual nos ayudaría a disminuir el riesgo pero teniendo un alto costo por ser estructura nueva; la tercera alternativa es de realizar reforzamiento, que pueden ser de dos maneras, una de ella es realizar reforzamiento simple teniendo en cuenta que habrá pérdida de uso con un alto costo, y la otra es de un reforzamiento incremental con un bajo costo con uso continuo. Es por eso, que el reforzamiento incremental es aquel reforzamiento cuyo objetivo es reducir en costos y evitar pérdida de uso durante el tiempo de ejecución y “se refiere a trabajar o realizar actividades de forma ordenada para ser ejecutada en un periodo límite de tiempo; de ser posible estas actividades deben ser programadas con el fin que coincidan con los planes de reparaciones, mantenimiento, políticas y planes que el gobierno pueda establecer” (Loa, 2017, p. 5).

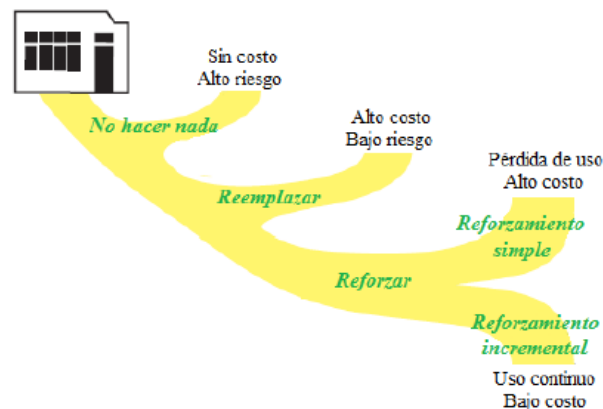


Figura 6. Opciones de reducción de riesgo sísmico adaptado de FEMA 395.

## Reforzamiento con la adición de marcos de acero con arriostres concéntricos (ACMAC)

Este tipo de refuerzo son los más populares por que resisten cargas sísmicas de terremoto en regiones altas. Las líneas centrales de todos los miembros (rótula, viga y columna) se reúnen en un punto en sus articulaciones en un marco concéntricamente arriostrado de manera que la deformación elástica de dicho marco concéntricamente arriostrado consta de deformación axial (en compresión y tensión), que es la principal razón por la que este reforzamiento tiene gran rigidez inicial para resistir cargas laterales (Wen, Onur, Bulent, Jay, 2015, p. 1).

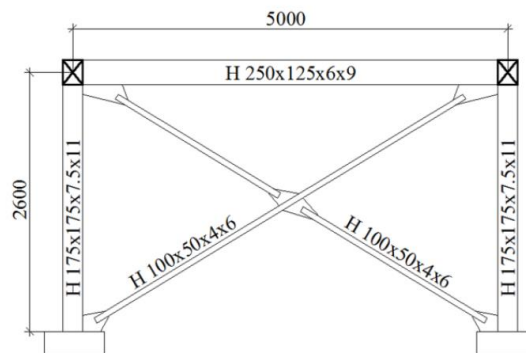


Figura 7. Geometría de marco probado por Wakawayashi et al. (1970).

### 1.3.2.1. Elementos Estructurales

Los elementos estructurales son aquellos elementos que están sujetos a recibir y responder cargas axiales, considerando sus propiedades mecánicas. En la presente estructura se pueden encontrar con elementos estructurales como vigas, columnas, y arriostres las cuales cumplen con el deber de soportar cargas laterales mediante el análisis estático no lineal, para la verificación de su máximo desplazamiento.

#### 1.3.2.1.1. Modelo de esfuerzo-deformación para el acero

##### Modelo Elasto – perfectamente plástico

Este modelo de esfuerzo-deformación del acero es muy sencillo; en la gráfica se puede observar que existe un límite de fluencia en donde el material ya no necesita de esfuerzo para deformarse. Considerándose que es un modelo que se puede utilizar para el diseño, mas no para realizar evaluación de desempeño sismorresistente (Barrera, 2017, p. 26).



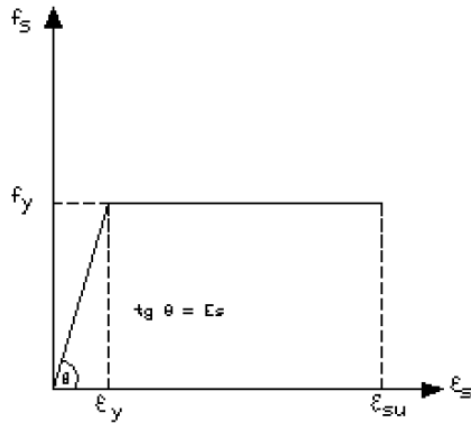


Figura 8. Modelo Elasto – Perfectamente Plástico.

### Modelo Trilineal

El modelo trilineal representa el comportamiento del esfuerzo-deformación en tres tramos: después de llegar a un punto de fluencia el esfuerzo es constante y que después de esto vuelve a necesitar de esfuerzo para deformarse; esto quiere decir que existe endurecimiento por deformación gracias a ello puede soportar esfuerzos mayores (Barrera, 2017, p. 26).

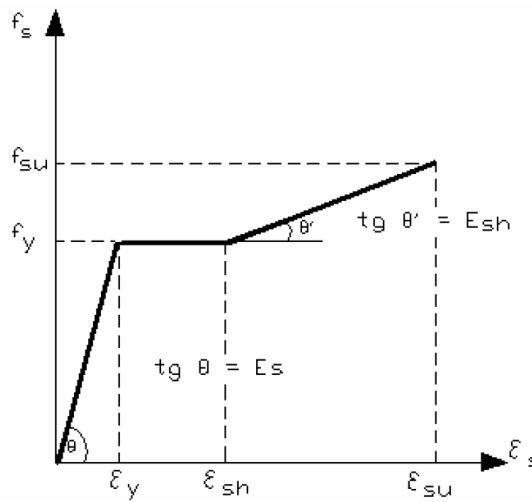


Figura 9. Modelo Trilineal.

### Modelo de Curva Completa

Este modelo no se usa frecuentemente para diseñar, pero considera la zona de endurecimiento como una curva parabólica completa haciendo que se note un comportamiento más real (Barrera, 2017, p. 26).

“Este modelo se caracteriza por tener tramos rectos en la figura del rango elástico y la fluencia, y un tramo en forma de parábola que representa el endurecimiento” (Auriz, 2017, p. 28).

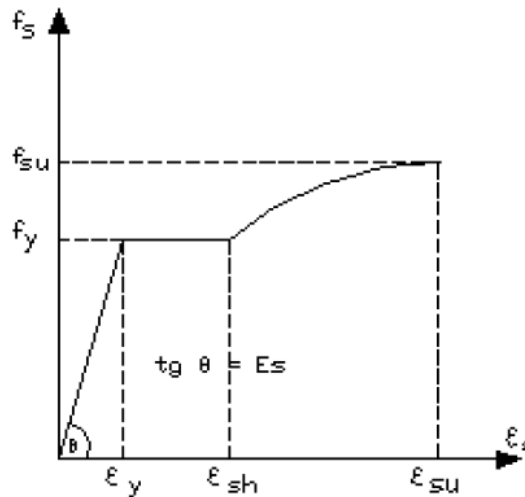


Figura 10. Modelo Curva Completa.

El endurecimiento por deformación es conocido por que en deformaciones unitarias más grandes los esfuerzos aumentan una vez más, pero en menores proporciones. “Para alcanzar la resistencia a la tensión la curva debe tender a hacerse horizontal, es entonces cuando esta desciende hasta llegar a la rotura” (Paredes, 2016, p.19).

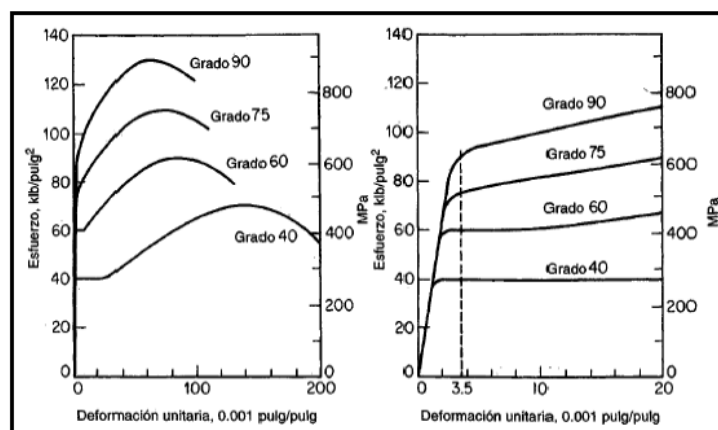


Figura 11. Curvas típicas de esfuerzo deformación para barras de acero.

### 1.3.2.1.2. Modelo de esfuerzo-deformación para el concreto

Para el análisis de la curva esfuerzo-deformación del concreto es importante, conocer primero, los resultados de los ensayos de compresión y tracción del elemento que está siendo estudiado (Paredes, 2016, p.18).

### Modelo de Kent y Park (1971 y 1982)

Este modelo es conocido por tener más uso de estribos rectangulares en concreto. En el modelo presentado en 1982 se tuvo aumento de la resistencia por la variación de presencia del confinamiento, a diferencia del modelo presentado en 1971 en donde sufría carencia de aumento en la resistencia (Barrera, 2017, p. 25).

El confinamiento está considerado dentro de la longitud, así como también se encuentra pendiente del tramo en descenso. En ambos modelos se alcanza a visualizar la resistencia máxima a la compresión, sin embargo, en el modelo en donde el concreto se encuentra confinado, la distorsión a la rotura es mayor con respecto al modelo en donde el concreto se encuentra no confinado (Aguiar, 2003).

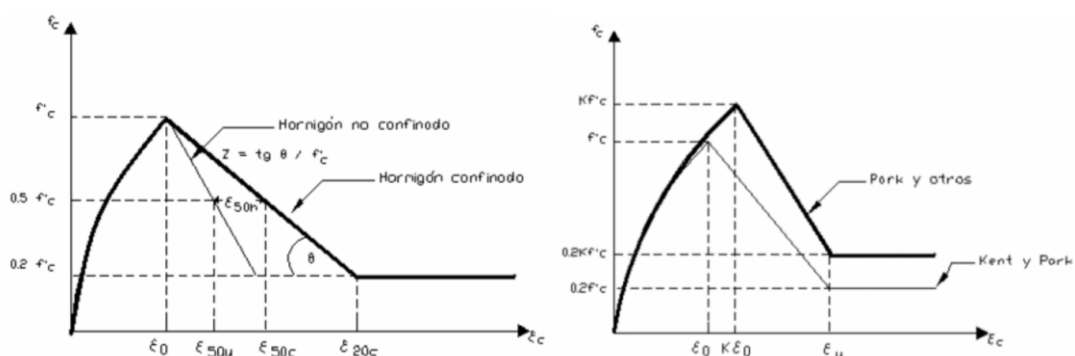


Figura 12. Comparación del modelo de 1971 y el modelo de 1982 y la influencia del confinamiento en el tramo de caída.

En ambos casos (modelo de 1971 y 1982) se contempla el incremento de ductilidad por confinamiento, pero el incremento de resistencia por confinamiento sólo se contempla en el modelo realizado en 1982.

### Modelo de Mander

El modelo de Mander es el más usado entre todos, porque se puede analizar la sismorresistencia de elementos estructurales, tanto para concreto confinado y sin confinar, que están sujetos a esfuerzos de flexión y flexo-compresión.

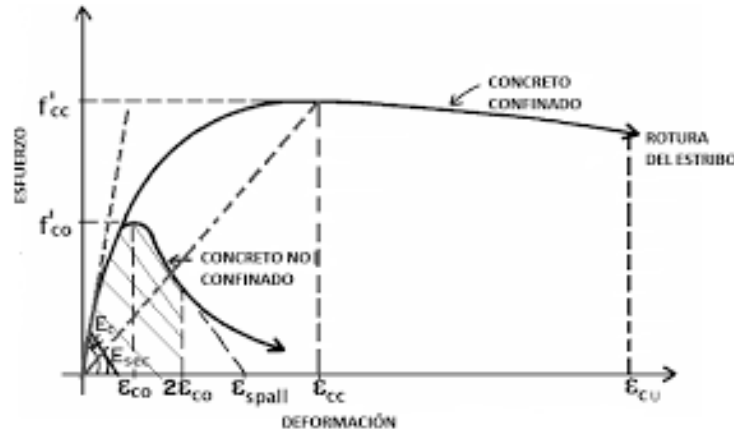


Figura 13. Modelo de Mander.

### 1.3.2.1.3. Modelo de esfuerzo-deformación para la albañilería

Para Taveras (2008, p.12), a nivel mundial existen muchas propuestas con respecto a la modelación matemática sobre el comportamiento sísmico de la mampostería. Las propuestas más citadas que se pueden considerar son los modelos trilineales propuestos por Meli (1979), Flores (1995) y Tomazevic (1999). Considerando que estos modelos pueden tener tres etapas en la mampostería, en las cuales se presentan:

- Estado límite elástico, este estado está específicamente definido por la resistencia última a la cortante ligada a la mampostería y el desplazamiento de agrietamiento; empíricamente la duración de este estado es hasta que se genere la primera aparición de grieta diagonal significativa.
- Resistencia máxima, esta etapa está determinada por la carga máxima lateral y el desplazamiento encontrado. A partir de este punto la trayectoria de la envolvente se vuelve horizontal hasta el punto de falla en el modelo de Meli, mientras que la pendiente se vuelve negativa para el modelo de Flores y Tomazevic.
- Estado último, corresponde al desplazamiento máximo determinado en un tiempo, de forma inmediata, antes que el muro llegue a colapsar y la carga lateral que es alcanzado.

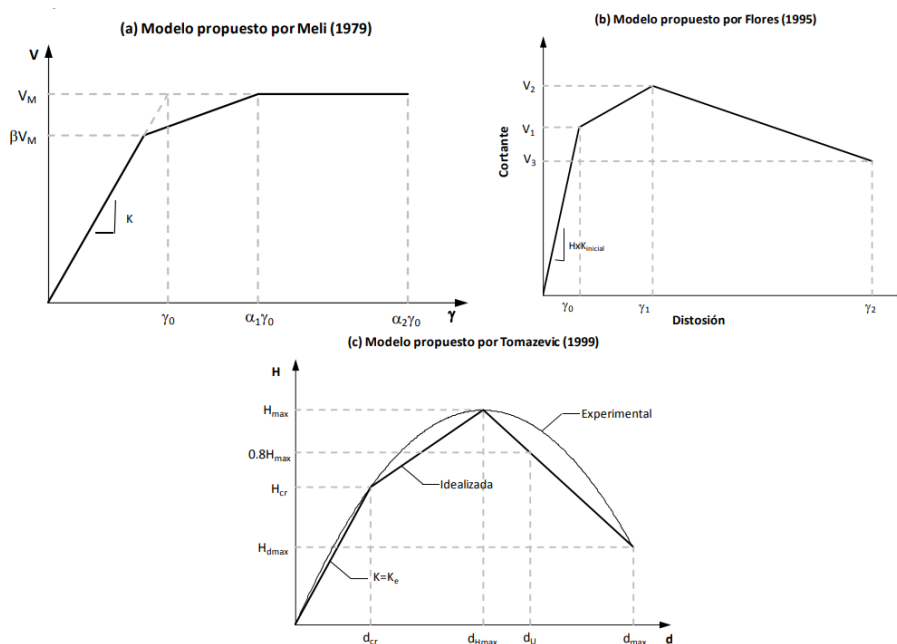


Figura 14. Curva de Carga-deformación de albañilería.

### 1.3.2.2. Macro elementos Estructurales

Los macro elementos son unidades estructurales que tienen un comportamiento sísmico diferenciado, pueden o no ser de distintos materiales. Los macro elementos están compuestos por elementos y estos se articulan entre sí mediante conexiones. En general, los elementos dentro de un macro elemento son del mismo material (Torrealva y Vicente, 2015, p.1).

#### 1.3.2.2.1. Rigidez lateral

La rigidez no es más que la medición cualitativa de la resistencia que se produce, en el material estructural, debido a las deformaciones elásticas; y está estrechamente ligada a la magnitud de las derivas de entre piso, las cuales disminuyen a medida que esta aumenta. Para Alemán y Naranjo (2011), la rigidez es dependiente de las características del material de la estructura, las condiciones en que se encuentran los elementos estructurales y el estado con respecto de las fallas ocurridas por los niveles de esfuerzo generados (p. 157).

La rigidez de una edificación es la resultante de la fuerza aplicada entre la deformación producida; debido al comportamiento que esta da ante la acción de un sismo que ejerce fuerzas laterales la estructura se desplaza en su dirección dada, resultando ser la rigidez lateral.

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

$K_i$  = Rigidez lateral

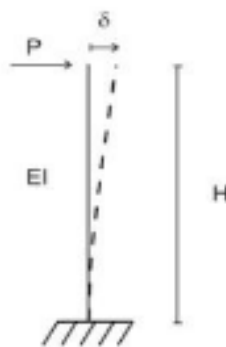
$F_i$  = fuerza lateral

$\delta_i$  = deformación lineal

Las edificaciones que sufren deformaciones muy grandes pueden llegar a ocasionar grandes daños a los elementos estructurales y no estructurales hasta llegar al colapso, dañando también las estructuras que están contiguas. Este tipo de evento hace que los habitantes presenten las vibraciones y las deformaciones dadas haciéndoles entrar en pavor. Las estructuras 780pre, que corresponden a edificaciones escolares, han experimentado daños importantes durante eventos sísmicos pasado; esto fue resultado por la baja rigidez lateral que este tipo de estructura tiene en el sentido longitudinal y por la inadecuada separación entre alfeizares y columnas (Loa, 2017, p. 23).

### **Rigidez de Columnas**

El pandeo es un problema que se presenta en los momentos de inercia de las columnas; ya que están sometidas a esfuerzos, esencialmente de compresión. Para ello es necesario que sus dimensiones tengan factor de relación entre el área y la longitud.



*Figura 15.* Rigidez en columna.

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$K = \frac{12EI}{h^3}$$

E= módulo de elasticidad del concreto

I= inercia de la columna

h= Altura de la columna

### Rigidez Lateral de Pórticos

Las traslaciones son las componentes de movimiento horizontales del suelo con mayor importancia ya que, tomadas de manera independiente, se pueden considerar cargas en los análisis; en cambio, en un pórtico plano el estudio de movimientos traslacionales en su base nos conduce a evaluar acciones de inercia rotacionales y traslacionales. Los giros apreciados no influyen en los efectos finales de las estructuras porque son relativamente pequeños debido a las acciones rotacionales.

Tabla 4. Rigidez efectiva de elementos según FEMA 356.

Componente	Rigidez de flexión	Rigidez de corte	Rigidez axial
Vigas no pre-esforzadas	0.5 $E_c I_g$	0.40 $E_c A_w$	-
Vigas pre-esforzadas	$E_c I_g$	0.40 $E_c A_w$	-
Columnas con compresión debidas a las cargas de diseño de gravedad $\geq 0.5f'cA_g$	0.7 $E_c I_g$	0.40 $E_c A_w$	$E_c A_g$
Columnas con compresión debidas a las cargas de diseño de gravedad $\leq 0.3f'cA_g$ o con tensión	0.5 $E_c I_g$	0.40 $E_c A_w$	$E_c A_s$
Muros no agrietados	0.8 $E_c I_g$	0.40 $E_c A_w$	$E_c A_g$
Muros agrietados	0.5 $E_c I_g$	0.40 $E_c A_w$	$E_c A_g$

Fuente: Federal Emergency Management Agency 356

#### 1.3.2.2.2. Resistencia característica

Para Gómez (2018, p. 34) la resistencia es el nivel de esfuerzo que puedan soportar los elementos o en conjunto el cuerpo de una estructura ante una carga ejercida antes de su fallo total, que pueden ser esfuerzos máximos de rotura o tal vez deformaciones. Es decir,

la principal función de la resistencia característica, que tiene una estructura, es de soportar cargas sin que esta llegue al colapso.

Entonces debemos decir que para evitar deformaciones, en consecuencia, de las fuerzas laterales, debemos construir estructuras rígidas y resistentes, de tal modo que se impida que caigan en colapso soportando esfuerzos que puedan actuar sobre cada elemento del armazón.

### 1.3.2.3. Espectro de Demanda

Para la evaluación del riesgo sísmico es necesario caracterizarlo y esto se puede realizar de diferentes maneras, tales como la intensidad y la aceleración.

Cuando caracterizamos a través de la intensidad, adquirida por los movimientos telúricos ocurridos, esta deja efectos observables las cuales pueden ser sistematizadas. Por otro lado, se puede efectuar a través de la aceleración que es determinado como aceleración máxima, aceleración efectiva o aceleración básica. Sin embargo, hoy en día, existen procedimientos más avanzados, la cual influye realizar el análisis de la estructura aplicada a un movimiento sísmico que lleva a determinar la respuesta máxima en aceleración y desplazamiento de la estructura. Esto es determinado como espectro de respuesta.

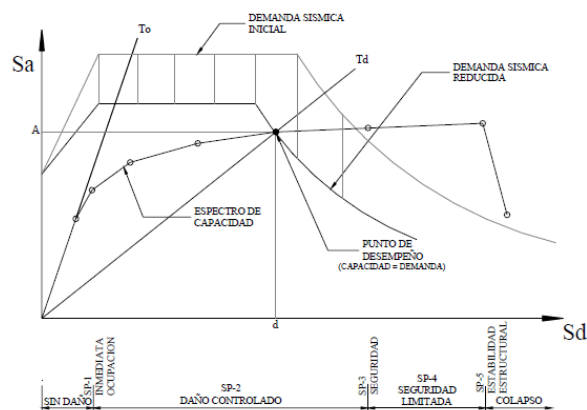


Figura 16. Espectros de Capacidad – Demanda.

#### 1.3.2.3.1. Sa/g: Aceleración espectral

Debido al empleo del análisis no lineal se construye un modelo que representa la cortante basal y el desplazamiento lateral del último nivel de la edificación, es decir, la curva de



capacidad que se forma de manera decreciente, asociada a la progresiva degradación de rigidez y al daño que sufre dicha estructura.

Debido a la asociación del periodo fundamental de vibración y las propiedades modales de la estructura, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS donde se hace representación de la aceleración espectral, respecto al desplazamiento espectral, denominado espectro de capacidad. Para esta conversión, cada punto de la curva de capacidad, corresponde a un punto  $(S_{ai}, S_{di})$  del espectro de capacidad, según:

$$S_{d_i} = \frac{\Delta n_i}{(\beta_1 \times \phi_{1,n})} \qquad S_{a_i} = \frac{V_{o_i}}{\alpha_1}$$

$\alpha_1$  ... masa modal asociada al modo fundamental o primer modo de vibración.

$\beta_1$  ... factor de participación asociado al modo fundamental.

$\phi_{1,n}$  ... amplitud en el nivel n, de la forma de vibración del modo fundamental.

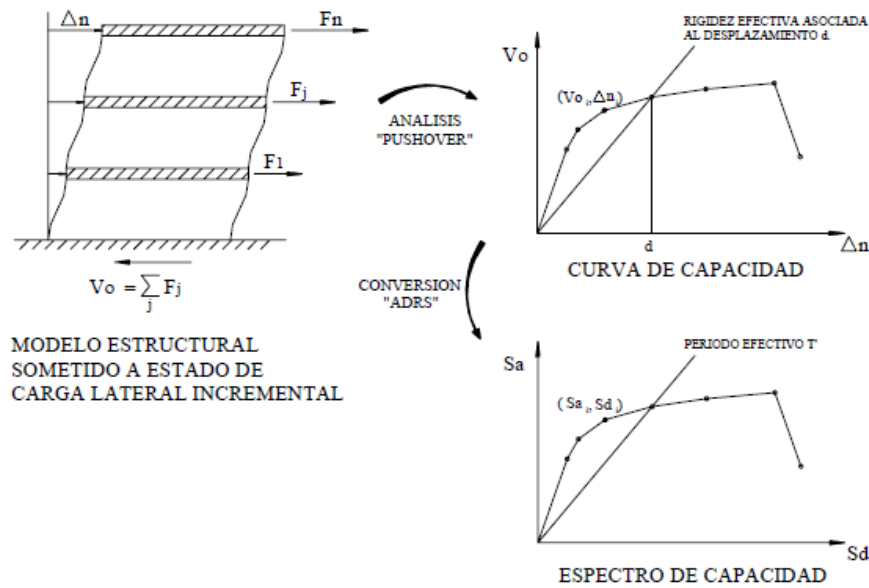


Figura 17. Representación gráfica de la aceleración espectral.

### 1.3.2.3.2. Sd: Desplazamiento espectral

La demanda sísmica inicialmente se tiene como espectro de respuesta elástica en función de la aceleración espectral y el periodo, luego se debe transformar al formato

ADRS que significa que dicho espectro debe estar en función de la aceleración espectral vs el desplazamiento espectral, esto es posible a través de la formula ubicada en el reglamento ATC-40 de la siguiente manera:

$$Sd_i = \frac{T_i^2}{4\pi^2} Sa_i \times g$$

El espectro de demanda no es más que la representación gráfica de la aceleración máxima que pueda tener la estructura con respecto al desplazamiento máximo, para un nivel de amortiguamiento y un periodo asignado.

Se espera que la estructura tenga altos niveles de incremento para la disipación de energía cuando se dan altos niveles de deformación; es por ello que si el amortiguamiento efectivo incrementa habrá la necesidad de reducir la demanda sísmica.

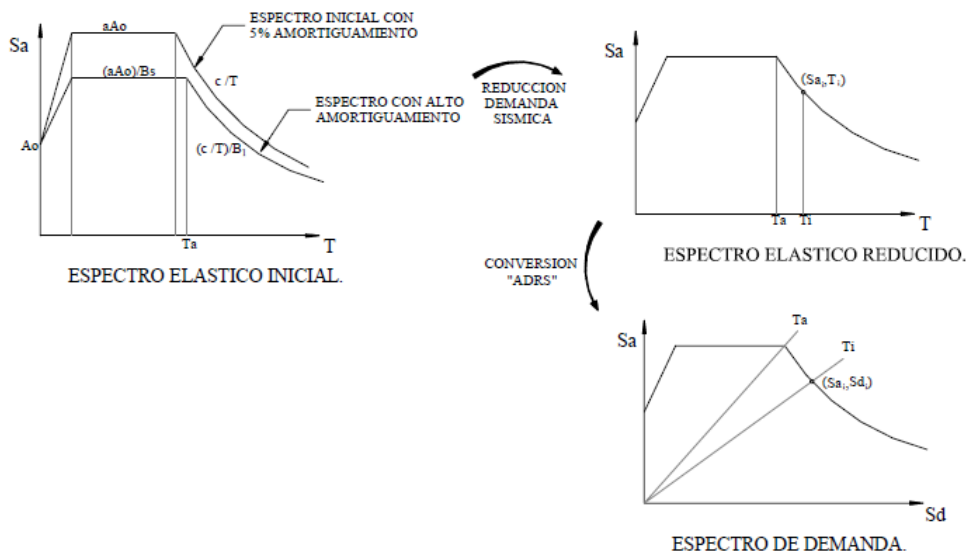


Figura 18. Representación gráfica del desplazamiento espectral.

### 1.3 Formulación del Problema

#### 1.4.1. Problema general:

¿De qué manera el uso del reforzamiento incremental con marcos de acero influye en el desempeño sísmico del C.E. SUECIA N°2059 – Comas 2019?

#### **1.4.2. Problemas específicos:**

¿Cuál es el comportamiento sísmico de la estructura y qué cambios genera el empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero?

¿Cuáles son las propiedades no lineales de los elementos que permiten obtener el desempeño real de la estructura?

¿Cuál es el nivel de daño asociado a la respuesta sísmica de la edificación?

### **1.4 Justificación del Estudio**

#### **1.5.1. Teórica:**

Se realiza el uso del reforzamiento incremental, para rehabilitar el Centro Educativo N°2059 Suecia, con el fin de promover el uso de esta técnica y así poder realizar rehabilitaciones de colegios de manera eficaz o reducir drásticamente los costos de interrupción, si se organizan actividades de manera que se produce toda la rehabilitación durante la etapa escolar como, lo menciona el código FEMA 395.

#### **1.5.2. Metodológica:**

Para lograr la finalidad del presente estudio se realizará el análisis estático no lineal “Pushover” al Centro Educativo N° 2059 Suecia, para así poder identificar su desempeño sísmico ante movimientos telúricos de diferentes intensidades.

#### **1.5.3. Práctica:**

La finalidad de la presente investigación es consolidar una técnica de reforzamiento incremental, que es el ACMAC, aplicando el método de Diseño Basado en el Desempeño

para poder explicar el nivel de desempeño en el que se encuentra la estructura, ante un movimiento sísmico, a través del punto de desempeño; y para ello es necesario hallar los espectros de capacidad y demanda.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general:**

El empleo del reforzamiento incremental con marcos de acero mejora el desempeño sísmico de la I.E. Suecia , Comas, Lima.

### **1.6.2. Hipótesis específicas:**

Las respuestas no lineales de los elementos permiten obtener la curva capacidad e interpretar el desempeño real de la estructura, mediante el análisis estático no lineal "Pushover".

El empleo de reforzamiento incremental con macos de acero general cambios en el comportamiento sísmico teórico de la estructura.

El nivel de daño asociado a la respuesta sísmica es severo antes de su reforzamiento; y despreciable después del empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero.

## **1.6 Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general:**

Evaluar el desempeño sísmico empleando el reforzamiento incremental con marcos de acero de acuerdo a la norma E030, en la I.E. N°2059 Suecia - Comas, Lima.

### **1.7.2. Objetivos específicos:**

Interpretar el comportamiento sísmico de la estructura y el cambio que genera el empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero.

Determinar las propiedades no lineales de los elementos, mediante el análisis estático no lineal "Pushover", para obtener la curva capacidad e interpretar el desempeño real de la estructura.

Estimar el nivel de daño asociado a la respuesta sísmica de la edificación.

## **II. MÉTODO**

## **2.1. Tipo y diseño de investigación**

### **2.1.1. Tipo de Investigación**

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicada, porque se hará uso de los conocimientos teóricos de la variable diseño sísmico y reforzamiento incremental con ACMAC para dar una posible solución a la realidad problemática.

### **2.1.2. Nivel de Investigación**

La presente investigación desarrolla una metodología de investigación descriptiva, debido a las particularidades que tiene el proyecto, es necesario tener información por medio de: inspección de bibliografías y de documentos que permitan describir en forma escrita y gráfica, el desempeño de la estructura.

### **2.1.3. Diseño de Investigación**

“Los diseños de investigación transaccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único” (Hernández, Fernandez y Baptista, 2010, p.151).

La presente tesis es no experimental porque tiene como objetivo analizar el desempeño sísmico mediante modelos teóricos y así poder determinar el punto de desempeño bajo la metodología recomendada del E.030, ATC-40, FEMA, SEAOC VISION 2000. También de transversal por los datos son obtenidos desde el informe técnico de estado de la estructura.

## **2.2. Variables, operacionalización**

### **2.2.1. Variables Independientes**

Reforzamiento Incremental con ACMAC.

### **2.2.2. Variables Dependientes**

Desempeño sísmico.

### 2.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 5. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Niveles de medición	Instrumento de medida
<b>DESEMPEÑO SÍSMICO</b>	Es la metodología de diseño en la cual el criterio estructural se expresa en términos de selección de un objetivo de desempeño (ATC-40,1996).	Se alcanzó a obtener el desempeño sísmico antes y después de reforzamiento con ACMAC a través del método de diseño por desempeño.	Análisis estático no lineal - PUSHOVER	Curva de capacidad	Intervalo	Software ETABS
				Demanda sísmica	Nominal	REGLAMENTO E.030 y software excel
				Niveles de desempeño	Razón	REGLAMENTO VISION 2000
			Comportamiento sísmico	Punto de desempeño	Nominal	Software excel
<b>REFORZAMIENTO INCREMENTAL CON ACMAC</b>	Los marcos reforzados son sistemas reforzados cuyas líneas de trabajo esencialmente se cruzan en puntos. Menor excentricidades, donde las líneas de trabajo se cruzan dentro de la anchura del miembro de refuerzo son aceptables si contabilizado en el diseño (FEMA-273, 1997).	Se realizó el modelamiento de la estructura con el reforzamiento incremental con ACMAC a través del análisis estático no lineal - Pushover.	Elementos estructurales	Modelo de esfuerzo-deformación para el acero	Intervalo	Software ETABS
				Modelo de esfuerzo-deformación para el concreto	Intervalo	Software ETABS
				Modelo de esfuerzo-deformación para el albañilería	Intervalo	Software ETABS
			Macroelementos estructurales	Rigidez lateral	Razón	Software ETABS
				Resistencia característica	Razón	Software ETABS
			Espectro de demanda	Sa/g : Aceleración espectral	Razón	Software EXCEL
				Sd: Desplazamiento espectral	Ordinal	Software EXCEL

Fuente: Elaboración propia.



## **2.3. Población, muestra y muestreo**

### **2.3.1. Población**

Según (Borja, 2012), indica que, la población es un conjunto de elementos que son tema de estudio.

La población de la siguiente investigación son los dos bloques del Centro Educativo N°2059 Suecia, ubicado en el distrito de Comas, Provincia y Departamento de Lima, siendo una zona netamente urbana.

### **2.3.2. Muestra**

La muestra de la siguiente investigación son todos los elementos estructurales del bloque 2 de la Institución Educativa N°2059 Suecia, a la cual se realizará la evaluación de desempeño sísmico antes y después de su reforzamiento.

### **2.3.3. Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo de la presente investigación es el no probabilístico, el cual se tomó una estructura escolar que presenta un sistema de edificación denominado “780 pre”, ya que no es estadísticamente representativo de una determinada población.

## **2.4. Validez y confiabilidad**

El presente trabajo de investigación requerirá del uso de las siguientes técnicas e instrumentos.

### **2.4.1. Técnicas de recolección de datos**

Para la realización del proyecto de investigación se aplicó el análisis de documentos: modelos teóricos para determinar el comportamiento de los elementos, E0.30 de la norma peruana para la determinación del sismo de diseño, ATC-40 para la determinación de las

distintas demandas sísmicas, FEMA para los procedimientos del análisis no lineal estático y la matriz de SEAOC Visión 2000 para la ubicación del punto de desempeño.

#### **2.4.2. Instrumentos de Investigación**

Para el proyecto de investigación se utilizó el programa computacional de diseño sísmico Etabs, y para sectorizar la curva de capacidad será mediante el software Excel y se recopilará la necesaria y básica información para el logro de los objetivos de forma observacional.

#### **2.4.3. Validez**

Para (Ospino Rodríguez, 2004), se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que se pretende medir. La validación se realizó mediante dos jueces de la especialidad, el asesor y el profesor temático.

#### **2.4.4. Confiabilidad**

Para la confiabilidad de esta investigación se hace uso del informe técnico realizado en abril del año 2019 por la PRONIED, la cual tuvo como objetivo determinar el estado y las características del concreto existente en el Instituto Educativo N° 2059 SUECIA COMAS - LIMA y la compresión simple de testigos de concreto respectivamente.

### **2.5. Método de análisis de datos**

En la presente tesis se desarrolla el análisis estático con el fin de proporcionarle las propiedades no lineales y así conocer el comportamiento más próximo acercado a la realidad con el método Pushover (análisis estático no lineal). El modelamiento de la estructura se realiza en el software ETABS con el que se puede conocer el diagrama de fuerza-desplazamiento (curva de capacidad) de la edificación, para luego intersectarla con los espectros de sismo raro y moderado, y así obtener el punto de desempeño de la edificación.

## **2.6. Aspectos éticos**

La presente investigación reconocerá el respeto por la propiedad de conocimientos ajenos y se guiará por los parámetros de los reglamentos ATC-40, VISION 2000 y E.030, también tendrá en cuenta la guía FEMA en donde se encuentran las recomendaciones para seguir pasos en las cuales se determine la no linealidad de la estructura como desempeño sismorresistente.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1. Alcances del Proyecto

La I.E. N° 2059 Suecia cuenta con 2 bloques, de dos niveles cada uno, las cuales, en la presente investigación, fueron consideradas para la evaluación del desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal Pushover; para luego aplicar el reforzamiento incremental con ACMAC.



*Figura 19.* Vista frontal de la I.E. Suecia N° 2059, Comas – Lima.

### 3.2. Ubicación del Proyecto

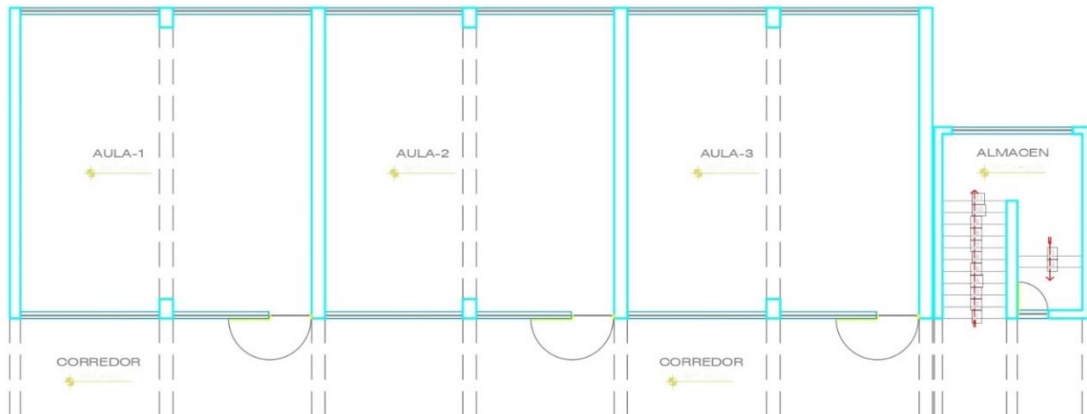
La I.E. Suecia N° 2059 se encuentra ubicada en la carretera Panamericana Norte con ruta hacia la avenida Universitaria, hasta la avenida Miguel Grau Cuadra 3, en el Distrito de Comas, Provincia y Departamento de Lima con una altitud de 156.70 m.s.n.m.



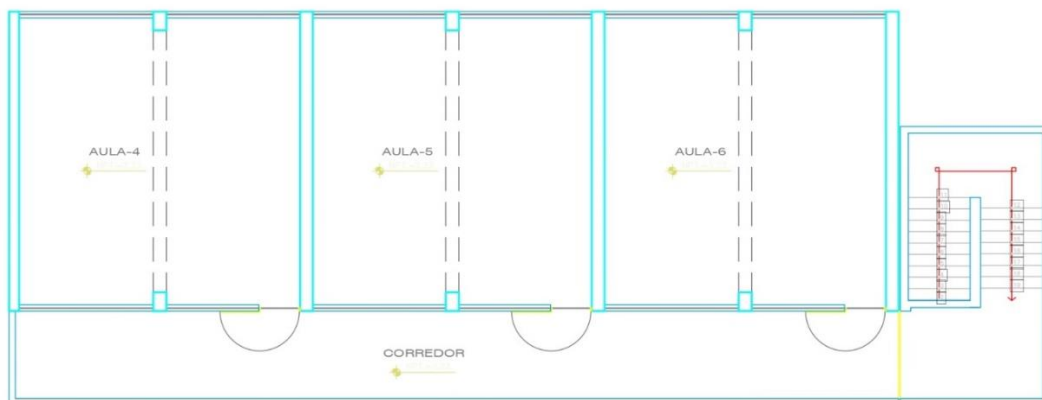
*Figura 20.* Vista de ubicación de I.E. Suecia N° 2059, Comas – Lima.

### 3.3. Características arquitectónicas del Bloque 2

Se muestran las dos plantas del bloque de estudio, con aulas típicas en ambos niveles. Las dimensiones del bloque son de 10.47 m de ancho x 27.73 m de largo, siendo el área efectiva 290.33 m<sup>2</sup>; así mismo se precisa que la escalera se encuentra aislada con junta sísmica de 2.48 cm, de tal forma que el bloque trabaja de manera independiente.



*Figura 21.* Vista en planta del primer piso del bloque 2.



*Figura 22.* Vista en planta del segundo piso del bloque 2.

### 3.4. Análisis sísmico

#### 3.4.1. Características de los materiales

##### Concreto

- Resistencia a compresión

Para el estudio del concreto de la I.E. Suecia N°2059 se ejecutó el ensayo de esclerometría, con un total de seis muestras entre vigas y columnas. Según la Norma

Técnica Peruana (NTP 339.034: 2015), los valores de las resistencias de los testigos extraídos deberán estar mayor o igual al 85% de los corazones diamantinos.

Columnas  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Vigas  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

### Acero de refuerzo

Las auscultaciones del acero de refuerzo se realizaron en los elementos verticales y horizontales más importantes de la estructura. Esto consistió en picar franjas en el recubrimiento del concreto, de tal manera que se pueda ubicar el acero longitudinal y los estribos.

- Corrugado, grado 60, esfuerzo de fluencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 4.2 \text{ ton/cm}^2$

### 3.4.2. Cargas aplicadas

Se aplicó cargas según norma E-0.20.

#### Carga muerta

- Peso específico del concreto armado  $= 2.10 \text{ ton/m}^3$
- Peso específico del piso terminado  $= 0.18 \text{ ton/m}^3$

#### Carga viva

- S/C Aulas  $= 0.25 \text{ ton/m}^2$
- S/C Pasadizos y escalera  $= 0.40 \text{ ton/m}^2$

### 3.4.3. Parámetros sismorresistentes

Se aplicó los siguientes valores de los parámetros sísmicos de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones según norma E-0.30 Diseño Sismorresistente:

**Factor de zona:**

La estructura se encuentra en Lima – Comas la cual es considerado, según la zonificación del país, zona 4 por lo que el factor Z será igual a 0.45.

*Tabla 6. Factores de zona.*

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: E-0.30



*Figura 23. Mapa de zonas sísmicas.*

**Suelo:** Según la interpretación del estudio de suelos, la clasificación del perfil del suelo es S1 (roca y suelos muy rígidos) en base a los resultados del estudio de suelo realizado, corresponde un suelo tipo  $S = 1.00$  y un periodo de vibración de  $T_p = 0.40$  seg y  $T_l = 2,50$  seg.



Tabla 7. Clasificación de los perfiles de suelo.

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO	
Perfil	Tipo
S0	S0: Roca Dura
S1	S1: Roca o Suelos Muy Rígidos
S2	S2: Suelos Intermedios
S3	S3: Suelos Blandos
S4	S4: Suelos Excepcionales

Fuente: E-0.30

Tabla 8. Factor de suelo "S"

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA/SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z1	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: E-0.30

Tabla 9. Periodo "Tp" Y "Tl"

Tabla N° 4 PERIODO " <u>TP</u> " Y " <u>TI</u> "				
PERIODO/SUELO	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
<u>TP</u> (S)	0,3	0,4	0,6	1,0
<u>TI</u> (S)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: E-0.30

**Uso:** Por referirse a una institución educativa pública se califica como categoría "A" que refiere a Edificaciones Esenciales y le corresponde un factor  $U = 1.5$

Tabla 12. Categoría de las edificaciones y factor "U".

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A) Edificaciones esenciales	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (púbicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud. A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse después de que ocurra un sismo severo tales como:  Establecimiento de Salud no Comprendidos en la categoría A1.  Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de fuerzas armadas y policía.  Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamientos de agua.  Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluye edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.  Edificios que almacenan archivos e información esencial del Estado.	Ver nota 1
		1,5

Fuente: E-0.30

**Coefficiente de Reducción de Fuerzas Sísmicas:** La estructura comprende de un sistema estructural compuesto de la siguiente manera: en la dirección X-X tenemos pórticos de concreto armado y en la dirección Y-Y tenemos albañilería armada o confinada, por lo tanto, se toman los siguientes valores de la tabla N°7 de la normativa E-0.30.

Tabla 13. *Sistemas estructurales E-0.30*

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
SISTEMA ESTRUCTURAL	Coefficiente Básico de Reducción R0 (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos esenciales Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado</b>	
Pórticos	8
Dual	7

De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	<b>3</b>
<b>Madera (por esfuerzos admisibles)</b>	<b>7</b>

Fuente: E-0.30

Para obtener el coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas es necesario considerar valor más crítico de los factores de irregularidad en altura y en planta, que es la unidad, por tratarse de una estructura regular determinada en la tabla N° 10 de la normatividad E-0.30.

DIR X-X  $R_x = 8 \times 0.75 = 6$

DIR Y-Y  $R_x = 3 \times 0.75 = 2.25$

### 3.4.4. Representación de las Solicitaciones Sísmicas

#### Espectro de Sismo de Diseño en X

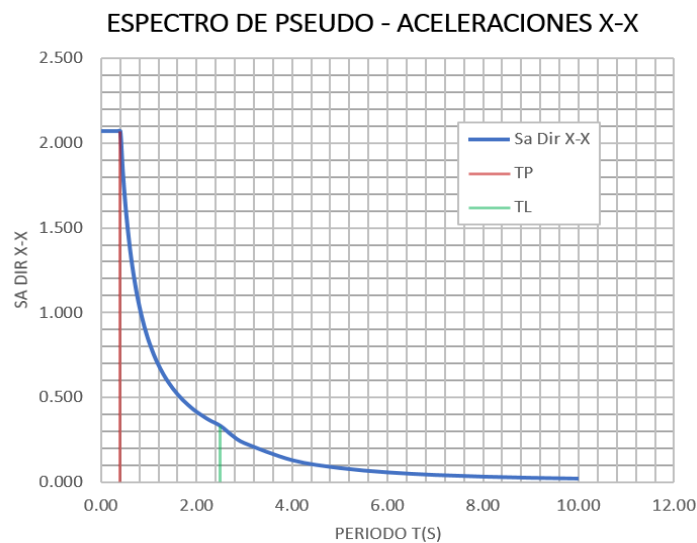
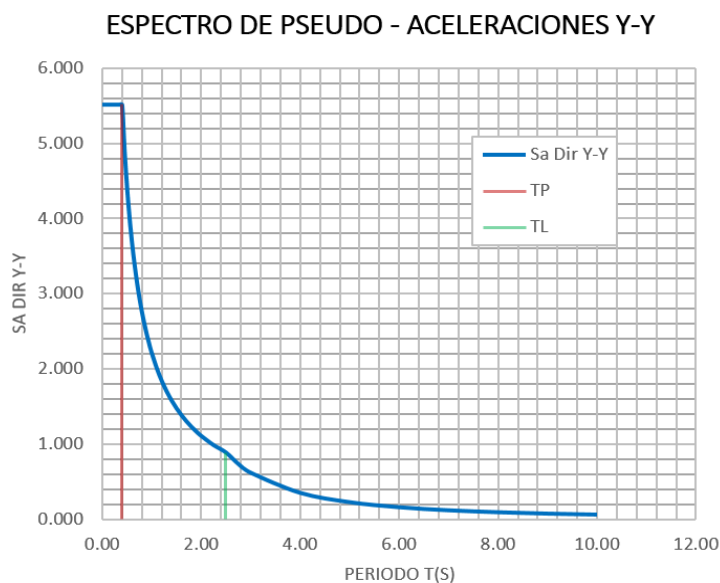


Figura 24. Espectro de aceleración en XX

#### Espectro de Sismo de Diseño en Y



*Figura 25. Espectro de aceleración en YY*

**Derivas:**

En las siguientes tablas se muestran las derivas, en la dirección X con deriva máxima de 14.20% la cual no cumple con los límites para la distorsión de entrepiso de 7% según estipula la normativa E-0.30, notándose problemas de rigidez; y en la dirección Y con deriva máxima de 5% la cual cumple con los límites para la distorsión de entrepiso de 5% según estipula la normativa E-0.30.

**Eje “X”**

*Tabla 10. Derivas en dirección X.*

<b>DERIVAS EN X</b>						
<b>Story</b>	<b>Load Case/Combo</b>	<b>Drift</b>	<b>Label</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>
PISO 2	DRIFTX Max	0.010	11	19.48	2.64	6.53
PISO 2	DRIFTX Min	0.010	11	19.48	2.64	6.53
PISO 1	DRIFTX Max	0.014	18	11.68	2.64	3.23
PISO 1	DRIFTX Min	0.014	18	11.68	2.64	3.23
		0.014	> 0.007	No cumple con tabla N°11 de reglamento E-0.30. Límites para distorsión de entrepiso para concreto.		

Fuente: Elaboración propia.

**Eje “Y”**

Tabla 11. Derivas en dirección Y.

DERIVAS EN Y						
Story	Load Case/Combo	Drift	Label	X m	Y m	Z m
PISO 2	DRIFTY Max	0.004	11	19.48	2.64	6.53
PISO 2	DRIFTY Min	0.004	11	19.48	2.64	6.53
PISO 1	DRIFTY Max	0.005	18	11.68	2.64	3.23
PISO 1	DRIFTY Min	0.005	18	11.68	2.64	3.23
		0.005	= 0.005	Si cumple con tabla N°11 de reglamento E-0.30. Límites para distorsión de entrepiso para albañilería.		

Fuente: Elaboración propia.

### Fuerzas estáticas y dinámicas en ambas direcciones

En las siguientes tablas se muestran los valores de las fuerzas cortantes de entrepiso en toneladas. Para estructuras regulares la fuerza cortante en el primer entrepiso no podrá ser menor que el 80% del valor calculado. Según la norma E-0.30.

Tabla 12. Fuerzas estáticas y dinámicas en la dirección XX.

FUERZAS CORTANTES DE ENTREPISO EN TONELADAS						
Story	Load	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m	MY tonf-m
PISO 2	EQX Max	21.544	0.006	140.495	0.000	0.000
PISO 2	EQX Max	3.930	0.005	29.239	0.135	45.707
PISO 2	ESTXX	-30.878	-0.000	200.887	0.000	0.000
PISO 2	ESTXX	-5.629	0.001	39.861	-0.191	-64.486
PISO 1	EQX Max	39.604	0.011	240.955	0.020	71.097
PISO 1	EQX Max	39.604	0.011	240.955	0.057	196.821
PISO 1	ESTXX	-53.319	0.000	329.250	0.000	-101.898
PISO 1	ESTXX	-53.319	0.000	329.250	0.000	-274.119

Fuente: Elaboración propia.

$$V_{din} \geq 80\%V_{est} = 0.8 * 53.32 = 42.66 Tn$$

$$42.66 Tn < 39.60 Tn$$

No cumple - Es necesario escalarlo

$$\text{Factor de escala: } 1.08$$

Tabla 13. Fuerzas estáticas y dinámicas en la dirección YY.

FUERZAS CORTANTES DE ENTREPISO EN TONELADAS						
Story	Load	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m	MY tonf-m
PISO 2	EQY Max	0.037	70.887	913.084	0.000	0.000
PISO 2	EQY Max	0.021	64.034	827.555	247.578	168.240
PISO 2	ESTYY	0.000	-81.742	-1051.582	0.000	0.000
PISO 2	ESTYY	0.015	-73.654	-950.611	284.689	-193.033
PISO 1	EQY Max	0.033	131.660	1696.371	233.930	0.122
PISO 1	EQY Max	0.033	131.660	1696.371	654.606	0.035
PISO 1	ESTYY	-0.003	-140.518	-1807.686	269.748	-0.000
PISO 1	ESTYY	-0.003	-140.518	-1807.686	723.622	0.009

Fuente: Elaboración propia.

$$V_{din} \geq 80\%V_{est} = 0.8 * 140.52 = 112.42 Tn$$

$$112.42 Tn < 131.66 Tn$$

Si cumple – No es necesario escalarlo

### 3.5. Desarrollo de la Curva Capacidad

Se desarrolló la curva capacidad teniendo la información solicitada del informe técnico de los estudios realizados por la PRONIED, que garantiza su objetividad para la recolección de datos. El modelamiento del bloque 2 se realizó con el software Etabs 2016 Ultimate16.2.1 donde se insertaron todos los datos de los ensayos obtenidos y se asignaron rótulas plásticas de tipo axial y momento acoplado (P-M2-M3) a las columnas, y rótulas de tipo flexión (M3) a las vigas.

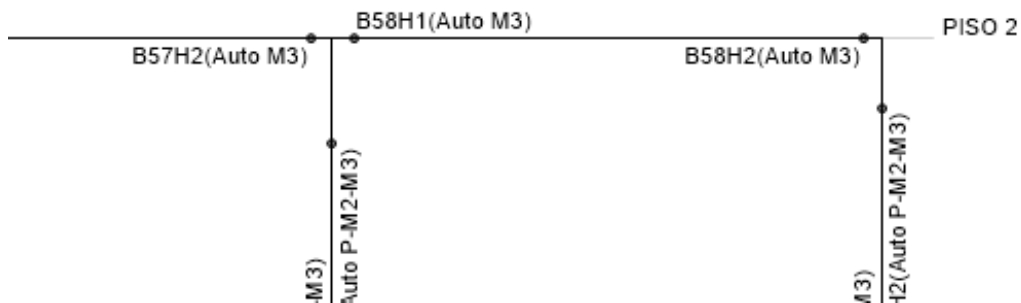


Figura 26. Asignación de rótulas plásticas.

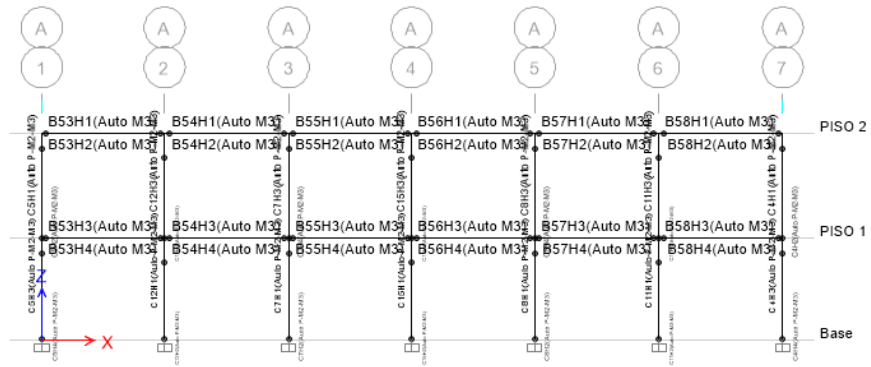


Figura 27. Asignación de rótulas plásticas en elementos frame del eje X

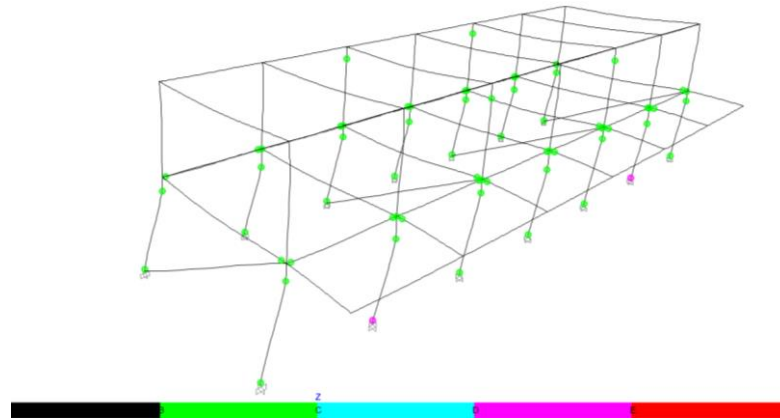


Figura 28. Formación de rótulas plásticas en la dirección X.

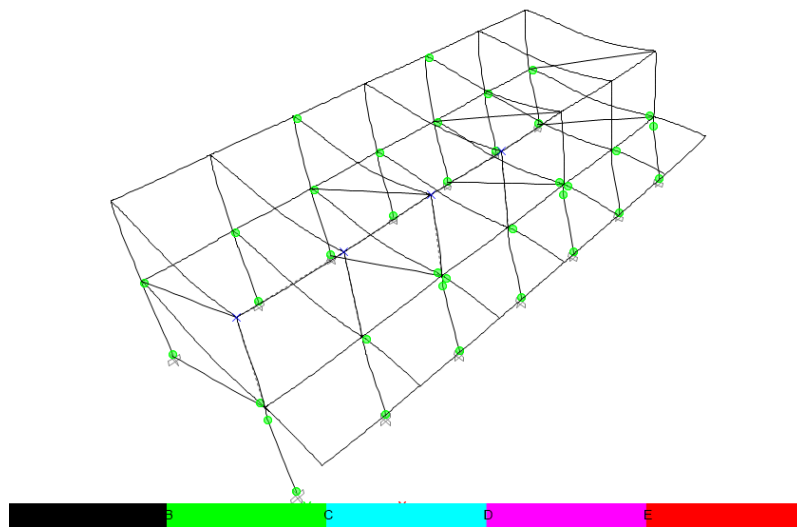


Figura 29. Formación de rótulas plásticas en la dirección Y.

### Curva capacidad en X

La curva de Capacidad mostrada es el resultado final por la asignación de rótulas plásticas en los elementos frame (vigas y columnas) en la dirección X, verificados en la figura 26. Aquí se puede observar que los desplazamientos están en cm y la fuerza cortante en ton. Se observa la capacidad última en X con desplazamiento máximo de 4.867 cm y fuerza cortante basal de 93.761 ton. Esto significa que la estructura llegaría al colapso cuando llegue a un desplazamiento máximo de 4.867 cm.

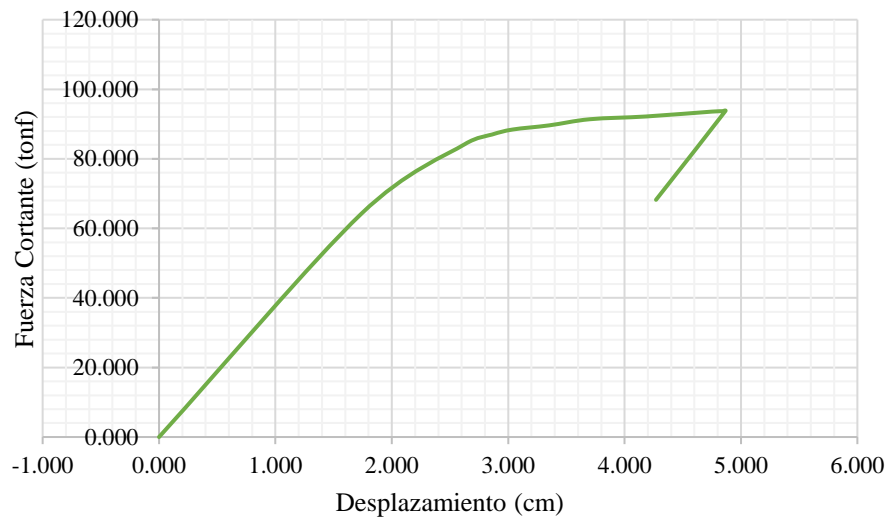


Figura 30. Curva de Capacidad para análisis en la dirección X-X.

### Curva capacidad en Y

La curva de Capacidad mostrada es el resultado final por la asignación de rótulas plásticas en los elementos frame (vigas y columnas) en la dirección Y, verificados en la figura 27, aquí se puede observar que los desplazamientos están en cm y la reacción en la base en ton. Se observa la capacidad última en Y con desplazamiento máximo de 2.46 cm y fuerza cortante basal de 612.34 ton. Esto significa que la estructura llegaría al colapso cuando llegue a un desplazamiento máximo de 2.46 cm.



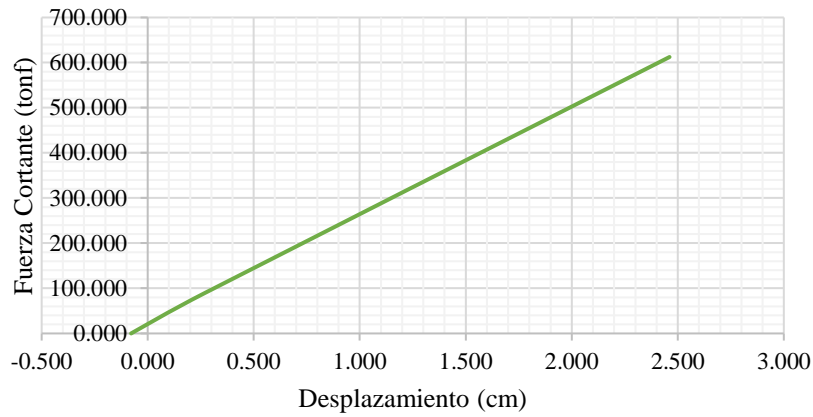


Figura 31. Curva de Capacidad (Pushover) para análisis en la dirección Y-Y.

### 3.6. Conversión de Curva Capacidad a Espectro de Capacidad

Para la conversión de la curva capacidad a espectro de capacidad se realizó el análisis en ambas direcciones y fue necesario hacer uso de la fórmula contemplada en el reglamento ATC-40 en donde:  $\alpha_1$  es el coeficiente de masa modal,  $PF_1$  es el factor de participación del primer modo de la estructura y  $\Delta_{1,roof}$  es el nivel de amplitud del primer modo.

$$S_{ai} = \frac{V_i/W}{\alpha_1} \qquad S_{di} = \frac{\Delta_{roof}}{PF * \Delta_{1,roof}}$$

Tabla 14. Datos para obtener el espectro de capacidad en la dirección X-X.

Desplazamiento (cm)	Fuerza Cortante (tonf)	Sd	Sa
0.000	0.000	0.000	0.000
1.739	64.209	1.398	0.278
2.628	84.232	2.145	0.357
2.862	86.981	2.349	0.367
3.039	88.415	2.506	0.371
3.353	89.614	2.798	0.373
3.700	91.369	3.113	0.377
4.185	92.172	3.568	0.377
4.752	93.575	4.096	0.381
4.843	93.699	4.181	0.381
4.867	93.761	4.203	0.381

Fuente: Elaboración propia.

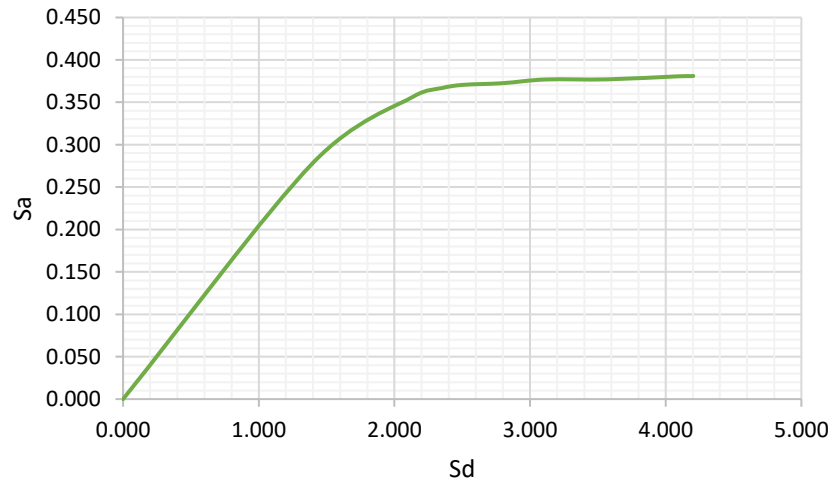


Figura 32. Espectro de capacidad X-X.

Tabla 15. Datos para obtener el espectro de capacidad en la dirección Y-Y.

**DIRECCIÓN Y-Y**

Desplazamiento (cm)	Fuerza Cortante (tonf)	Sd (cm)	Sa
-0.078	0.000	0.000	0.000
0.270	89.590	0.281	0.386
2.461	612.400	2.071	2.608

Fuente: Elaboración propia.

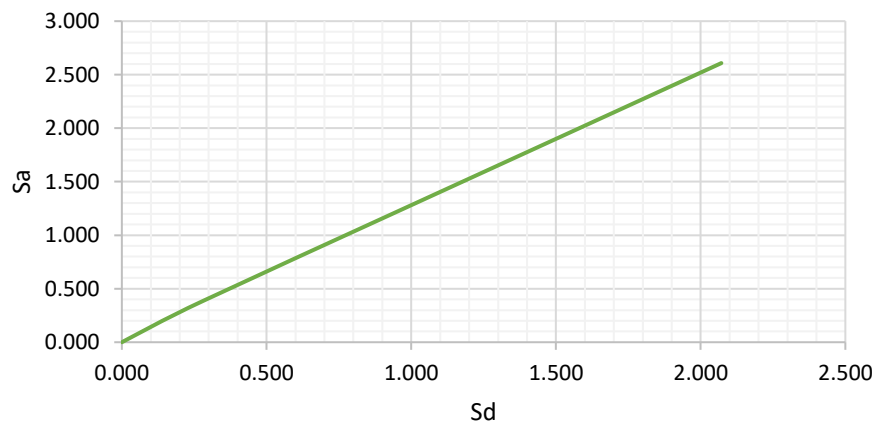


Figura 33. Espectro de capacidad Y-Y.

De los gráficos de espectros de capacidad realizados en la dirección X y en la dirección Y, se puede observar que en la dirección X es menor que la rigidez en la dirección Y, pero también se puede observar que después del periodo elástico la rigidez empieza a inclinar.

### 3.7. Espectro de Demanda

Se hizo uso de la normativa E-0.30 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, haciendo el análisis en las direcciones X e Y para obtener el espectro de demanda; el resultado del análisis es en función de Aceleración Espectral ( $S_a$ ) vs Periodo ( $t$ ). Para obtener el espectro de demanda en función de Aceleración Espectral ( $S_a$ ) vs Desplazamiento Espectral ( $S_d$ ); fue necesario usar la siguiente fórmula que nos indica la el ATC-40:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad \longrightarrow \quad S_d = S_a * \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$

En donde:

- T es el periodo
- $S_a$  la aceleración espectral
- $S_d$  el desplazamiento espectral

La conversión del espectro de demanda en función de la Aceleración Espectral ( $S_a$ ) vs Desplazamiento Espectral ( $S_d$ ) nos da como resultado el espectro de demanda elástico para un sismo raro.

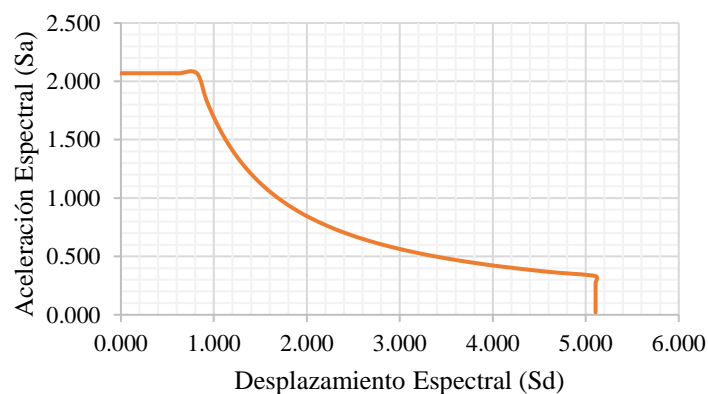


Figura 34. Espectro de demanda elástico en dirección XX (Aceleración espectral – Desplazamiento espectral).

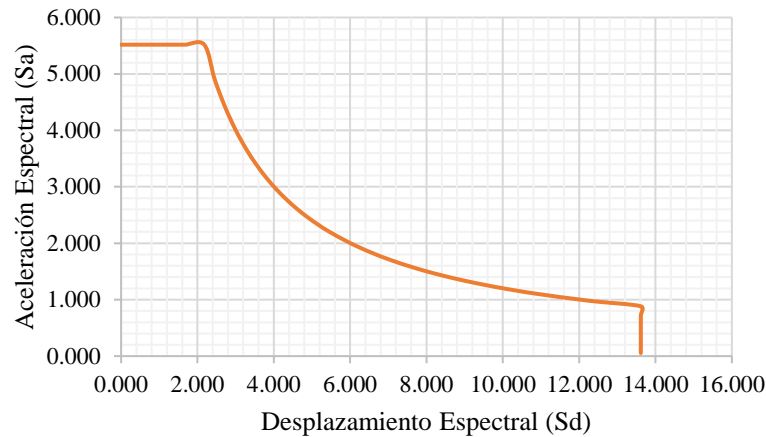


Figura 35. Espectro de demanda elástico en dirección Y (Aceleración espectral – Desplazamiento espectral).

### 3.8. Espectro sísmico E-030 a Espectro de Demanda por nivel de daño

En la conversión de espectro de demanda para sismo moderado es necesario el uso de la norma técnica peruana en donde indica que el coeficiente para obtener los espectros sísmicos tanto de aceleraciones como desplazamientos se hace uso del factor  $\frac{1}{2}$  que se multiplicará con  $S_{ae}$  (espectro de aceleración elástico) y nos dará como resultado el espectro de demanda para sismo moderado, para ambas direcciones.

Tabla 16. Espectros sísmicos de aceleraciones ( $S_a$ ) en la dirección X.

SISMO MODERADO		SISMO RARO	
Sa Dir X-X	Sa Dir X-X	Sa Dir X-X	Sa Dir X-X
1.035	0.460	2.069	0.920
1.035	0.436	2.069	0.871
1.035	0.414	2.069	0.828
1.035	0.376	2.069	0.752
1.035	0.345	2.069	0.690
1.035	0.318	2.069	0.637
1.035	0.296	2.069	0.591
1.035	0.276	2.069	0.552
1.035	0.259	2.069	0.517
1.035	0.243	2.069	0.487
1.035	0.230	2.069	0.460
1.035	0.218	2.069	0.436
1.035	0.207	2.069	0.414
1.035	0.184	2.069	0.368

1.035	0.166	2.069	0.331
0.920	0.137	1.839	0.274
0.828	0.115	1.655	0.230
0.752	0.065	1.505	0.129
0.690	0.041	1.380	0.083
0.637	0.029	1.273	0.057
0.591	0.021	1.182	0.042
0.552	0.016	1.104	0.032
0.517	0.013	1.035	0.026
0.487	0.010	0.974	0.021

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 17. Espectros sísmicos de desplazamiento (Sd) en dirección X.*

<b>SISMO MODERADO</b>		<b>SISMO RARO</b>	
Sd Dir X-X	Sd Dir X-X	Sd Dir X-X	Sd Dir X-X
0.000	1.838	0.000	1.838
0.002	1.940	0.002	1.940
0.008	2.042	0.008	2.042
0.018	2.246	0.018	2.246
0.033	2.451	0.033	2.451
0.051	2.655	0.051	2.655
0.074	2.859	0.074	2.859
0.100	3.063	0.100	3.063
0.131	3.268	0.131	3.268
0.165	3.472	0.165	3.472
0.204	3.676	0.204	3.676
0.319	3.880	0.319	3.880
0.459	4.084	0.459	4.084
0.625	4.595	0.625	4.595
0.817	5.105	0.817	5.105
0.919	5.105	0.919	5.105
1.021	5.105	1.021	5.105
1.123	5.105	1.123	5.105
1.225	5.105	1.225	5.105
1.327	5.105	1.327	5.105
1.430	5.105	1.430	5.105
1.532	5.105	1.532	5.105
1.634	5.105	1.634	5.105
1.736	5.105	1.736	5.105

Fuente: Elaboración propia.

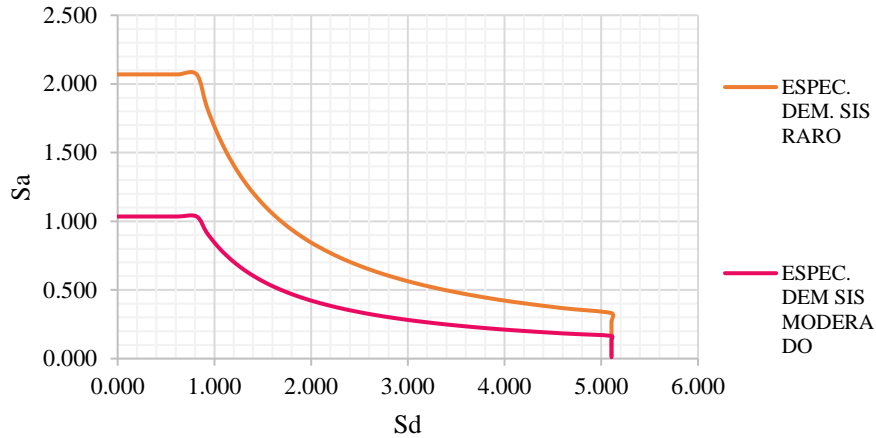


Figura 36. Espectro de Demanda por nivel de daño en la dirección XX.

Tabla 18. Espectros sísmicos de aceleraciones ( $S_a$ ) en la dirección Y.

SISMO MODERADO		SISMO RARO	
Sa Dir Y-Y	Sa Dir Y-Y	Sa Dir Y-Y	Sa Dir Y-Y
2.759	1.226	5.518	2.453
2.759	1.162	5.518	2.323
2.759	1.104	5.518	2.207
2.759	1.003	5.518	2.007
2.759	0.920	5.518	1.839
2.759	0.849	5.518	1.698
2.759	0.788	5.518	1.577
2.759	0.736	5.518	1.472
2.759	0.690	5.518	1.380
2.759	0.649	5.518	1.298
2.759	0.613	5.518	1.226
2.759	0.581	5.518	1.162
2.759	0.552	5.518	1.104
2.759	0.491	5.518	0.981
2.759	0.441	5.518	0.883
2.453	0.365	4.905	0.730
2.207	0.307	4.415	0.613
2.007	0.172	4.013	0.345
1.839	0.110	3.679	0.221
1.698	0.077	3.396	0.153
1.577	0.056	3.153	0.113
1.472	0.043	2.943	0.086
1.380	0.034	2.759	0.068
1.298	0.028	2.597	0.055

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Espectros sísmicos de desplazamiento ( $S_d$ ) en la dirección Y.

SISMO MODERADO		SISMO RARO	
$S_d$ Dir Y-Y	$S_d$ Dir Y-Y	$S_d$ Dir Y-Y	$S_d$ Dir Y-Y
0.000	4.901	0.000	4.901
0.005	5.174	0.005	5.174
0.022	5.446	0.022	5.446
0.049	5.990	0.049	5.990
0.087	6.535	0.087	6.535
0.136	7.080	0.136	7.080
0.196	7.624	0.196	7.624
0.267	8.169	0.267	8.169
0.349	8.713	0.349	8.713
0.441	9.258	0.441	9.258
0.545	9.803	0.545	9.803
0.851	10.347	0.851	10.347
1.225	10.892	1.225	10.892
1.668	12.253	1.668	12.253
2.178	13.615	2.178	13.615
2.451	13.615	2.451	13.615
2.723	13.615	2.723	13.615
2.995	13.615	2.995	13.615
3.268	13.615	3.268	13.615
3.540	13.615	3.540	13.615
3.812	13.615	3.812	13.615
4.084	13.615	4.084	13.615
4.357	13.615	4.357	13.615
4.629	13.615	4.629	13.615

Fuente: Elaboración propia.

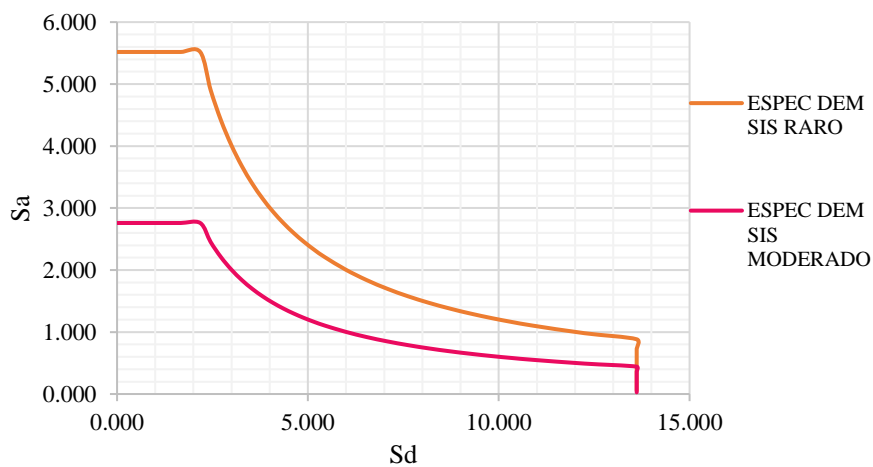


Figura 37. Espectro de Demanda por nivel de daño en la dirección YY.

### 3.9. Espectro de Capacidad y Espectros de Demanda según el nivel de daño

En la siguiente figura se muestra la intersección de los espectros de demanda por niveles de daño tales como moderado y raro con el espectro de capacidad en la dirección X, de tal manera que se puede lograr el punto de desempeño por cada nivel.

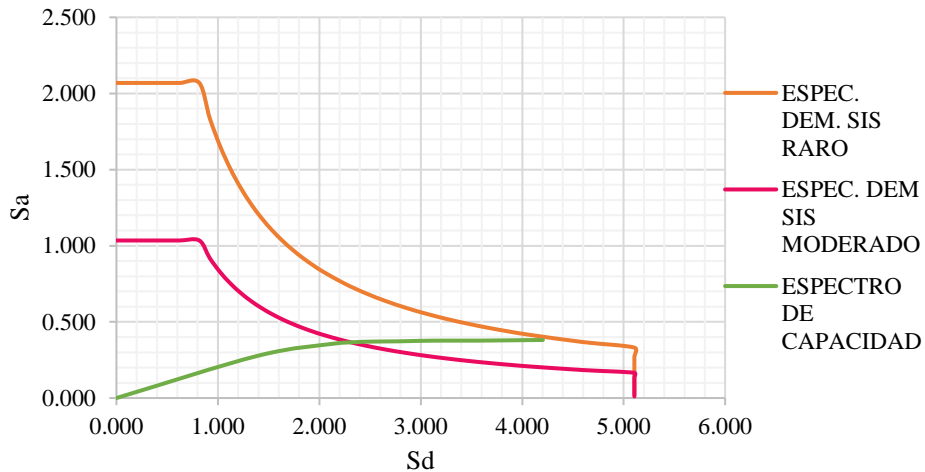


Figura 38. Espectro de Capacidad Vs Espectro de Demanda por nivel de daño en X.

En la siguiente figura se muestra la intersección de los espectros de demanda por niveles de daño tales como moderado y raro con el espectro de capacidad en la dirección Y en donde se identifica que el espectro de capacidad es lineal que quiere decir que presenta mucha rigidez, es por ello que se deduce que no tendrá problemas durante un evento sísmico de nivel moderado y raro.

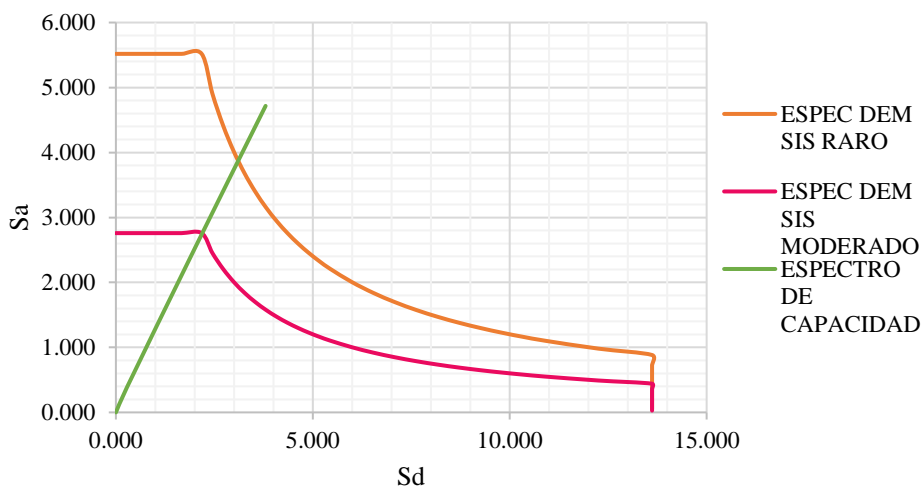


Figura 39. Espectro de Capacidad Vs Espectro de Demanda por nivel de daño en Y.



### 3.10. Seccionamiento de espectro capacidad según SEAOC

Para seccionar la curva espectro de capacidad se hace uso de parámetros utilizados para el seccionamiento del espectro de capacidad, donde  $D_u$  es el desplazamiento último y  $D_y$  el desplazamiento de fluencia.

Tabla 20. *Parámetros utilizados para el seccionamiento del espectro de capacidad.*

Damage Grade	Definition	Displacement Limits (AUTH)	Spectral Displacement Limits (UNIGE, CIMNE)
0	No damage	$\Delta < 0.7\Delta_y$	$D < 0.7\Delta_y$
1	Slight damage	$0.7\Delta_y < \Delta < 0.7\Delta_y + 0.5*\Delta_{uy}$	$0.7D_y \leq D < 1.0D_y$
2	Moderate damage	$0.7\Delta_y + 0.5*\Delta_{uy} < \Delta < 0.7\Delta_y + 0.2*\Delta_{uy}$	$1.0D_y \leq D < D_y + D_{uy}$
3	Extensive damage	$0.7\Delta_y + 0.2*\Delta_{uy} < \Delta < 0.7\Delta_y + 0.5*\Delta_{uy}$	$D_y + D_{uy} \leq D < D_u$
4	Very heavy damage	$0.7\Delta_y + 0.5*\Delta_{uy} < \Delta < 0.7\Delta_y + 1.00*\Delta_{uy}$	$D_u \leq D$
		$\Delta_{uy} = 0.9\Delta_u - 0.7\Delta_y$	$D_{uy} = 0.25*(D_u - D_y)$

Fuente: VISION 2000

Tabla 21. *Punto de fluencia, desplazamiento último.*

Dy	Du	Duy
1.839	4.203	0.591

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. *Límites según el nivel de desempeño en X.*

Límites según el nivel de desempeño en X	
Tipo de nivel	Límites
Operacional	Sd1 = 1.29
Ocupación inmediata	Sd2 = 1.84
Seguridad de vida	Sd3 = 2.43
Prevención de colapso	Sd4 = 4.20

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11. Resumen de espectros y seccionamientos

#### Nivel de desempeño en X

En la siguiente figura se puede observar que para un sismo raro se tiene un nivel de desempeño de seguridad de vida y para sismo moderado un nivel de desempeño de prevención colapso.

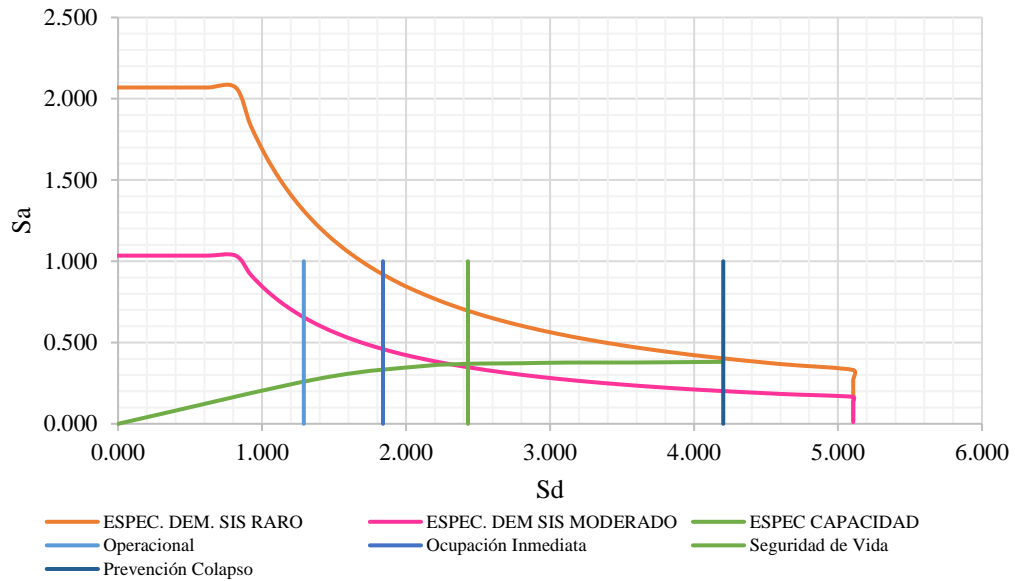


Figura 40. Seccionamiento del espectro capacidad y demanda en X.

### Nivel de desempeño en Y

En la siguiente figura se puede observar que para un sismo raro se tiene un nivel de desempeño de ocupación inmediata y para sismo moderado un nivel de desempeño de operacional.

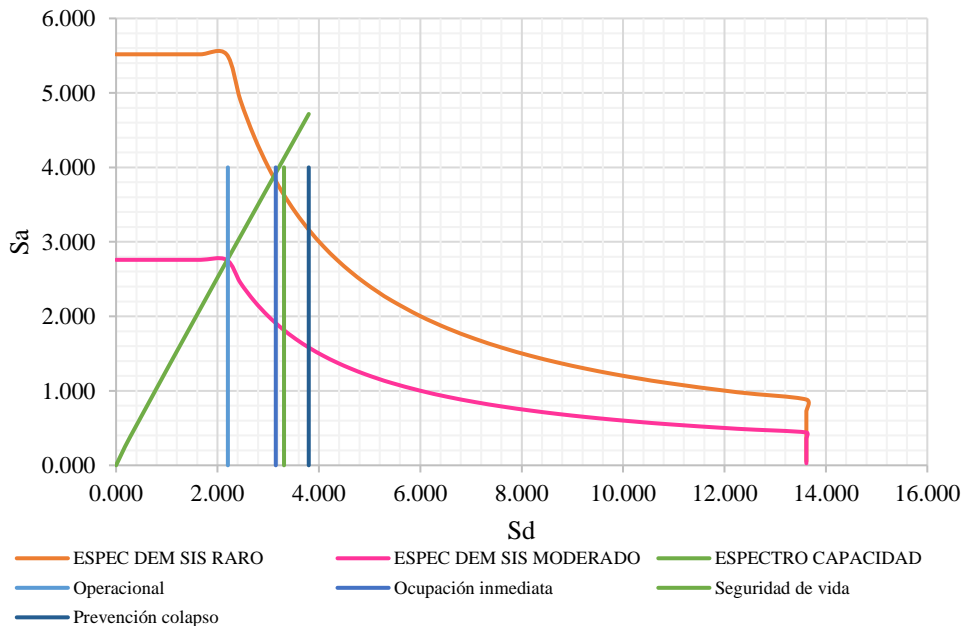


Figura 41. Seccionamiento del espectro capacidad y demanda en Y.

### 3.12. Análisis de Nivel y Punto de desempeño

#### Sismo moderado

En la dirección X se evidencia que para un sismo moderado el desempeño de la estructura es seguridad de vida y en la dirección Y el desempeño es operacional.

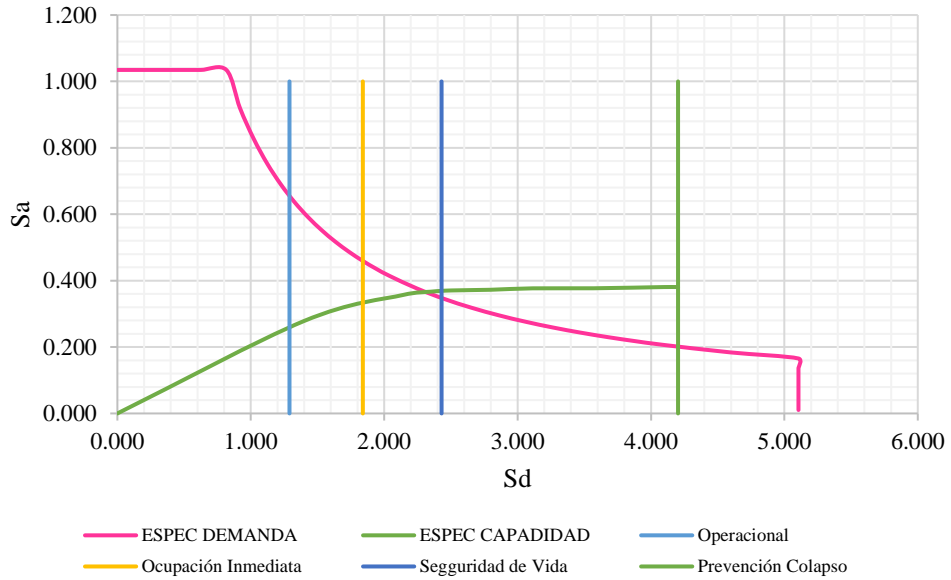


Figura 42. Punto y nivel de desempeño en dirección X – Sismo moderado.

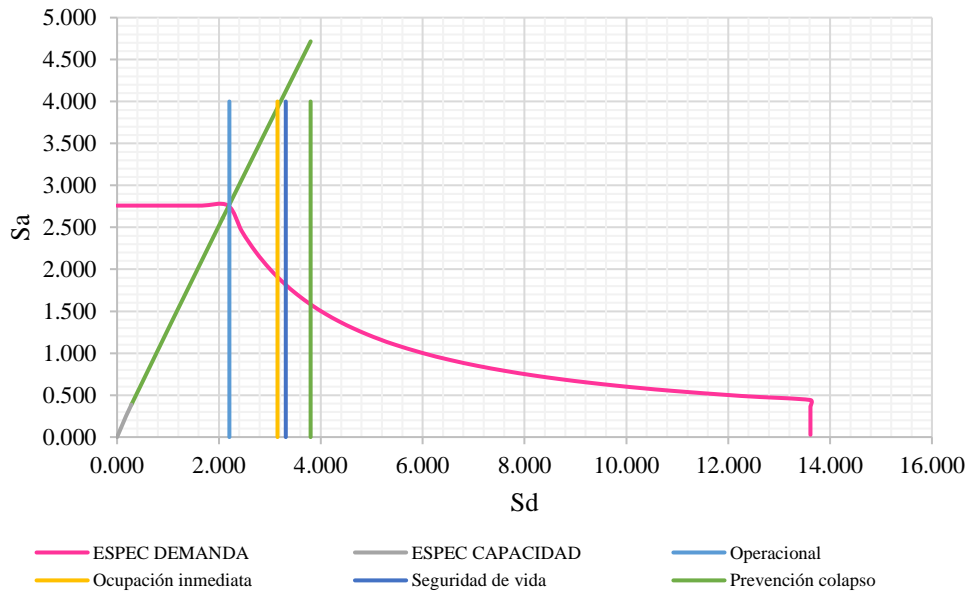


Figura 43. Punto y nivel de desempeño en dirección Y - Sismo moderado.

## Sismo raro

En la dirección X se evidencia que para un sismo raro el desempeño de la estructura es prevención colapso y en la dirección Y el desempeño sísmico es ocupación inmediata.

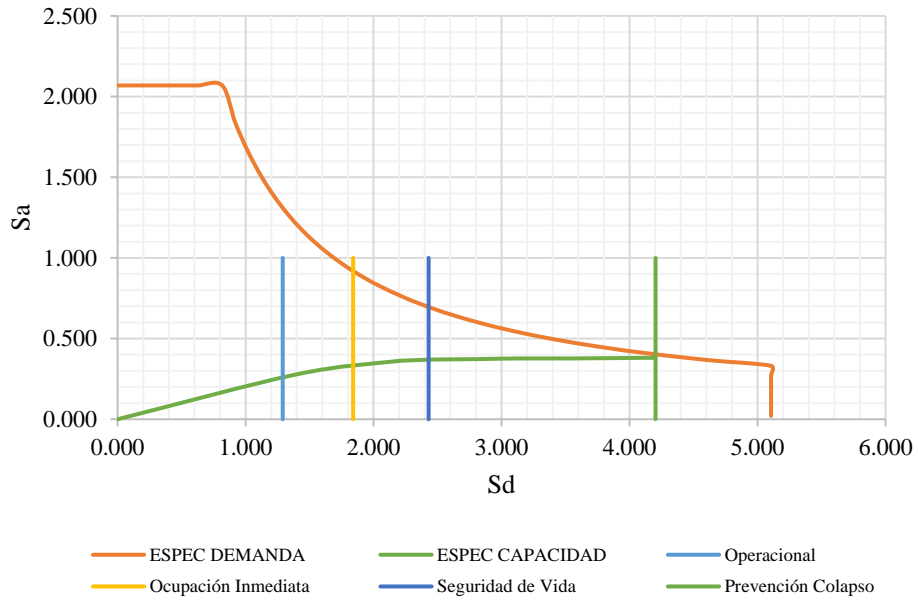


Figura 44. Punto y nivel de desempeño en dirección X – Sismo raro.

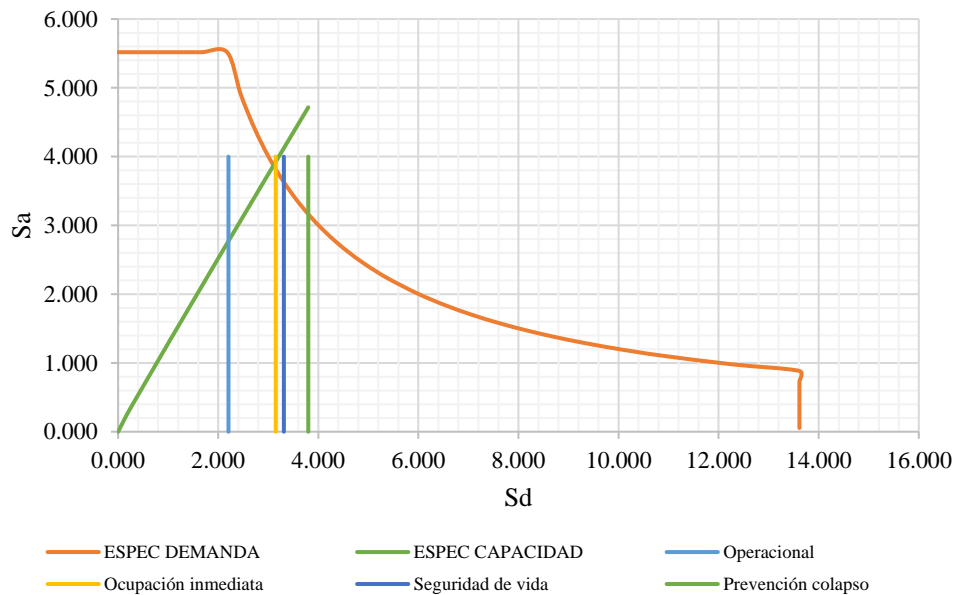


Figura 45. Punto y nivel de desempeño en dirección Y - Sismo raro.

### 3.13. Matriz de desempeño

La realización de la matriz de desempeño de la estructura es en base a la siguiente tabla ubicado en la SEAOC de 1995, en donde se identifican los estados de daño permitidos según el nivel de sismo para el tipo de estructura en los cuadros de diferentes colores; en el cual se usarán los cuadros de color verde porque es la solicitud de estado de daño permitido para estructuras esenciales. Se identificaron dos tipos de sismos: sismo moderado y sismo raro.

#### Dirección X

En la dirección X se puede apreciar que para el nivel de sismo moderado la estructura sufre un estado de daño de seguridad de vida que significa que los daños son moderados, pero aún permanece estable y que algunos elementos estructurales podrían dañarse. Y para un nivel de sismo raro se tiene el estado de daño prevención colapso, el cual quiere decir que el daño estructural es severo y se aproxima al colapso por falla de elementos no estructurales; deduciendo que la seguridad de los ocupantes es comprometida.

Tabla 23. Nivel de desempeño en dirección X.

Estado de daño \ Sismo	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Prevención colapso	Colapso
Sismo moderado (Tr = 75 años)			No Cumple		
Sismo raro (Tr = 475 años)				No Cumple	

Fuente: Elaboración propia

#### Dirección Y

En la dirección Y se puede apreciar que para el nivel de sismo moderado la estructura cumple con el estado de daño operacional que significa que los daños estructurales y no estructurales son despreciables y que las instalaciones siguen prestando sus servicios y funcionando como antes. Y para un nivel de sismo raro se tiene el estado de daño

ocupación inmediata, el cual quiere decir que el daño estructural es ligero y que las instalaciones esenciales siguen en servicio, pero las no esenciales podrían tener interrupciones de inmediata recuperación.

Tabla 24. Nivel de desempeño en dirección X.

Sismo	Estado de daño				
	Operacional	Ocupación inmediata	Seguridad de vida	Prevención colapso	Colapso
Sismo moderado (Tr = 75 años)	Si Cumple				
Sismo raro (Tr = 475 años)		Si Cumple			

Fuente: Elaboración propia

### 3.14. Análisis de desempeño con reforzamiento ACMAC

Para el Banco Mundial, según ensayos realizados, deduce que el reforzamiento ACMAC mejora significativamente la capacidad estructural. Teniendo esta un mejor desempeño demostrado en la curva capacidad, de la figura N°46 presentada, a comparación de otros reforzamientos también ensayados; como son el MARM y el IMACA.

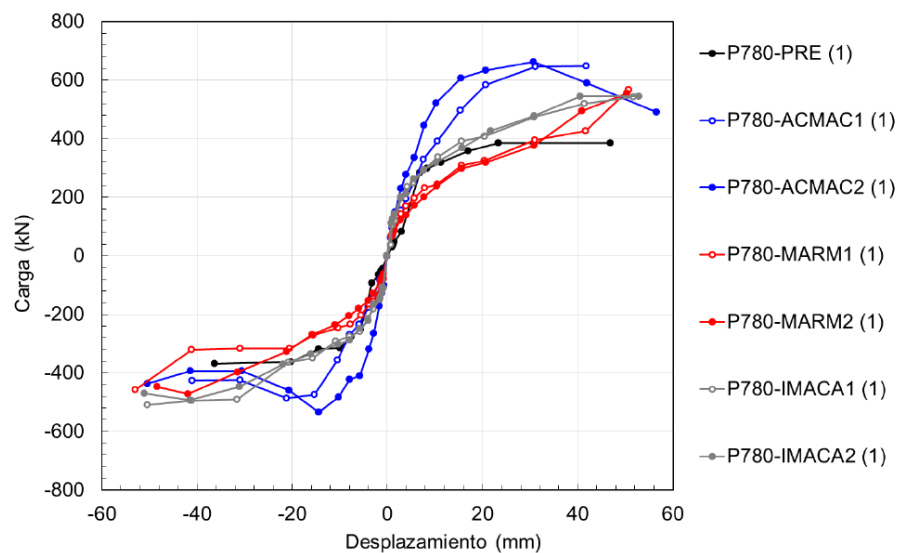


Figura 46. Curva de capacidad de ACMAC - Desplazamiento vs Carga.

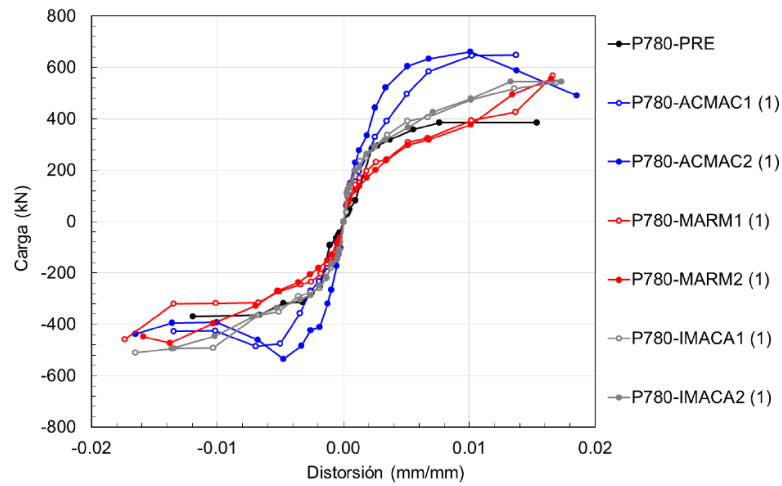


Figura 47. Curva de capacidad ACMAC - Distorsión vs Carga.

### 3.14.1. Planteamiento estructural de los marcos de Acero con Arriostres

#### Concéntricos

Este sistema de reforzamiento está compuesto por marcos metálicos constituidos por perfiles W8x18 de acero estructural A36 de tal manera que se enlacen a columnas y vigas como un cinturón, conectándose al pórtico de concreto armado; y los arriostres que son secciones tubulares HSS 2.5"x2.5"x3/16" los que apuntalan directamente al pórtico metálico.

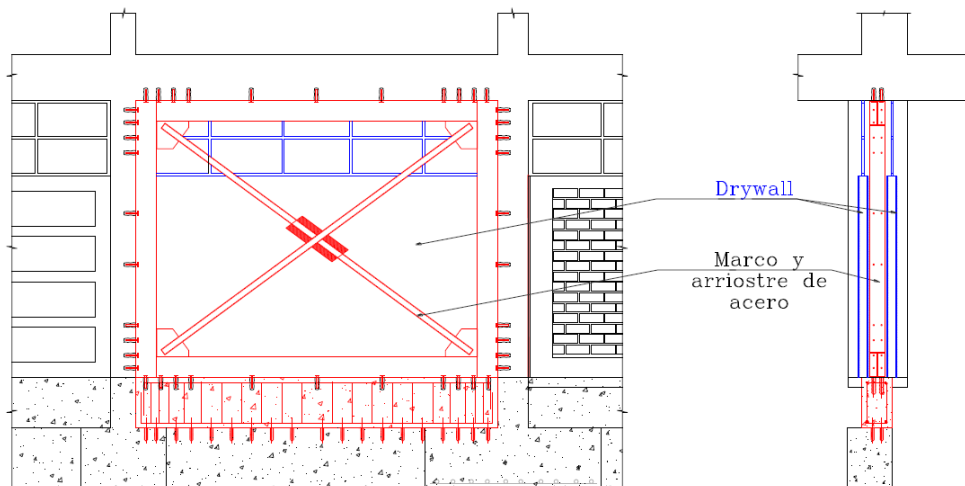


Figura 48. Detalle de armado ACMAC.

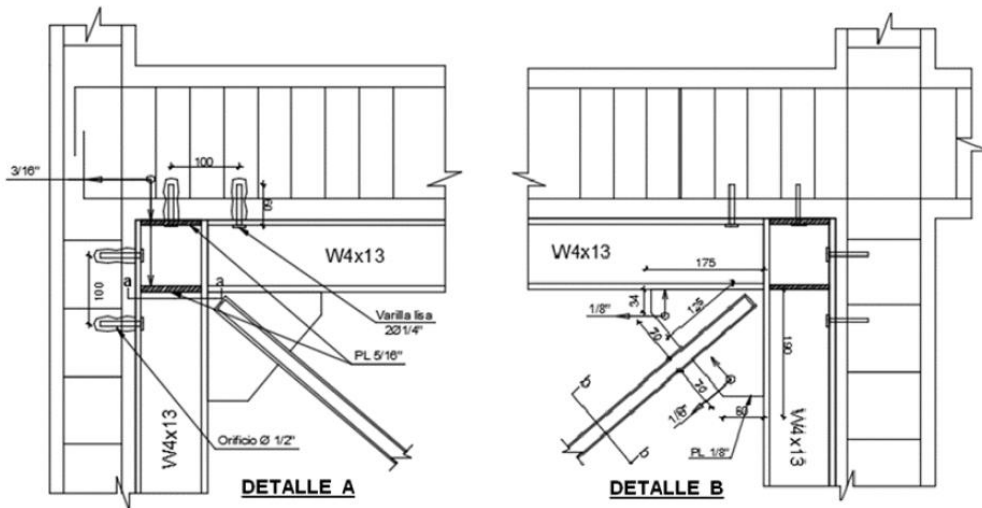


Figura 49. Detalle de acero ACMA.

Según el análisis realizado por el Banco Mundial, el CISMID y la PUCP aplicar el reforzamiento en el primer nivel de la estructura genera distorsiones de entrepiso moderadas en el segundo piso, por lo tanto, también se debe adicionar el reforzamiento en el segundo nivel. La adición de Marcos de acero con Arriostres Concéntricos se realiza en la dirección X ya que es el eje que no cumple con funciones de desempeño adecuado para los sismos moderado y raro.

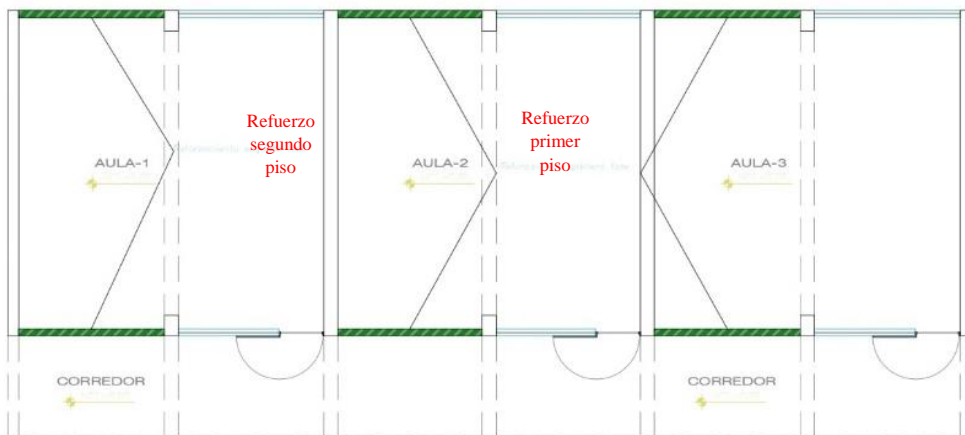
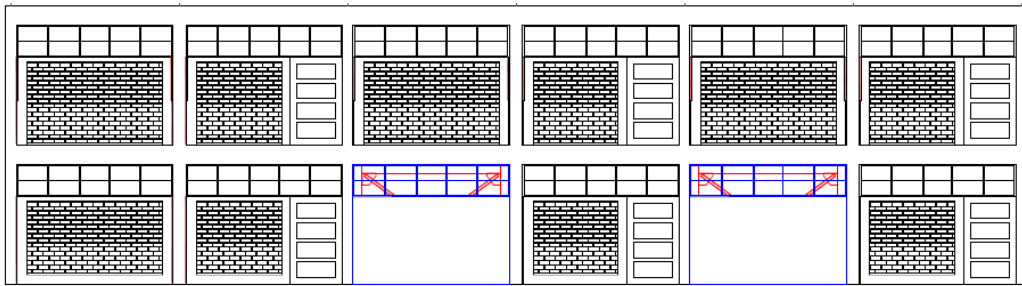
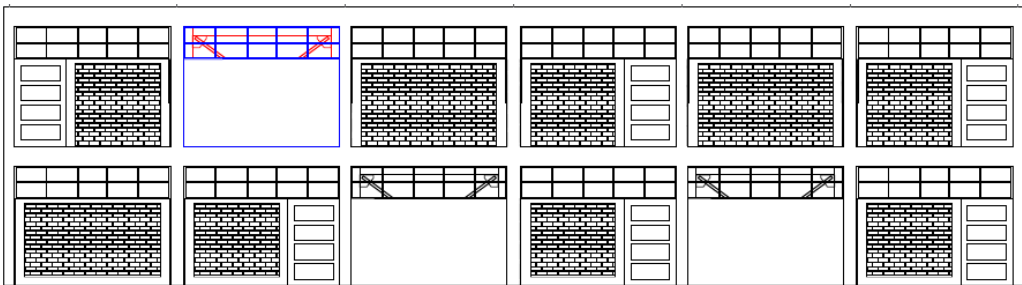


Figura 50. Ubicación de reforzamiento ACMA.





*Figura 51. Reforzamiento ACMAC – 1er piso.*



*Figura 52. Reforzamiento ACMAC - 2do piso*

### **3.14.2. Desarrollo de Curva Capacidad de la estructura reforzada con ACMAC**

#### **Curva capacidad en X**

La curva de Capacidad mostrada es el resultado final por la adición de marcos de acero de arriostres concéntrico (ACMAC) con la que se reforzó la estructura, verificado en la figura 47. Se observa la capacidad última en X con desplazamiento máximo de 3.158 cm y fuerza cortante basal de 220.173 ton. Esto significa que la estructura llegaría al colapso cuando llegue a un desplazamiento máximo de 3.158 cm.

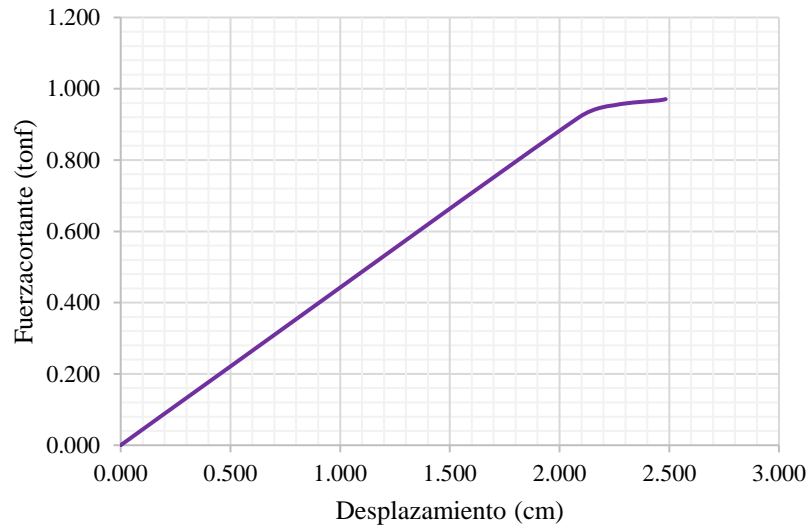


Figura 53. Curva de Capacidad (Pushover) de la estructura reforzada en la dirección X.

### 3.14.3. Espectro de Capacidad con Adición de Marcos de Acero con Arriostres Concéntricos

En la siguiente figura se observa el espectro de capacidad en la que se identifica que la máxima aceleración espectral es 0.971 y el máximo desplazamiento espectral que puede tener la estructura es de 2.484; y que después de su periodo elástico la rigidez empieza a declinar.

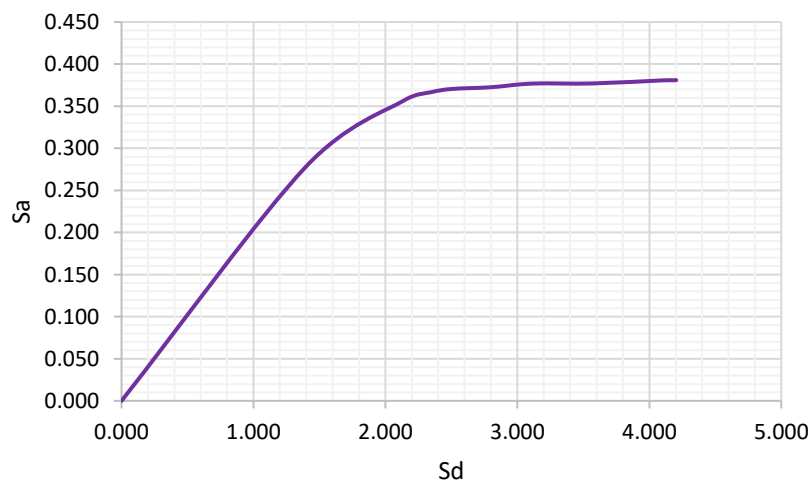


Figura 54. . Espectro de Capacidad de la estructura reforzada en la dirección X.

### 3.14.4. Espectro de demanda y Capacidad según nivel de daño de la estructura reforzada

En la siguiente figura se observa la intersección de los espectros de demanda por niveles de daño tales como moderado y raro con el espectro de capacidad en la dirección X, de tal manera que se puede lograr el punto de desempeño por cada nivel.

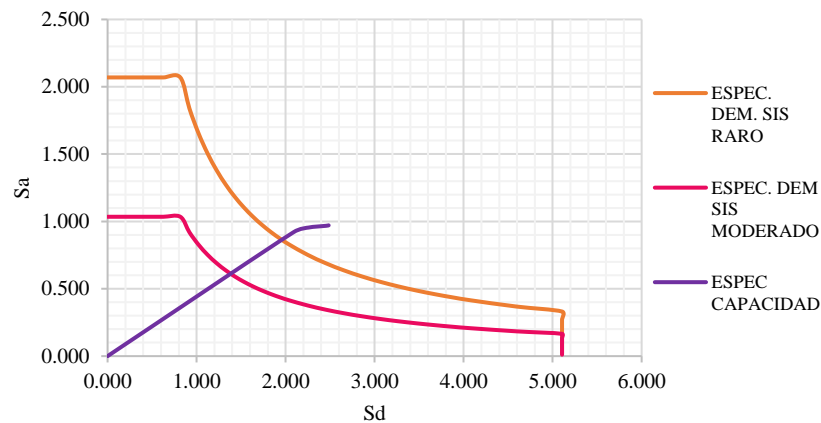


Figura 55. Espectro de Capacidad Vs Espectro de Demanda por niveles de daño con reforzamiento ACMAC en la dirección X.

### 3.14.5. Seccionamiento del espectro de capacidad de la estructura reforzada

Para obtener el seccionamiento de los niveles de desempeño de la estructura reforzada se hace uso del cuadro de tabla N° 23. Parámetros utilizados para el seccionamiento del espectro de capacidad, dónde Du es el desplazamiento último y Dy el desplazamiento de fluencia.

Tabla 25. Límites según el nivel de desempeño de la estructura reforzada en X.

Límites según el nivel de desempeño en X	
Tipo de nivel	Límites
Operacional	Sd1 = 1.58
Ocupación inmediata	Sd2 = 2.26
Seguridad de vida	Sd3 = 2.34
Prevención de colapso	Sd4 = 2.59

Fuente: Elaboración propia.

### 3.14.6. Resumen de espectros y seccionamientos de la estructura reforzada

#### Nivel de desempeño en X

En la siguiente figura se puede observar que para un sismo raro se tiene un nivel de desempeño de ocupación inmediata y para sismo moderado un nivel de desempeño operacional.

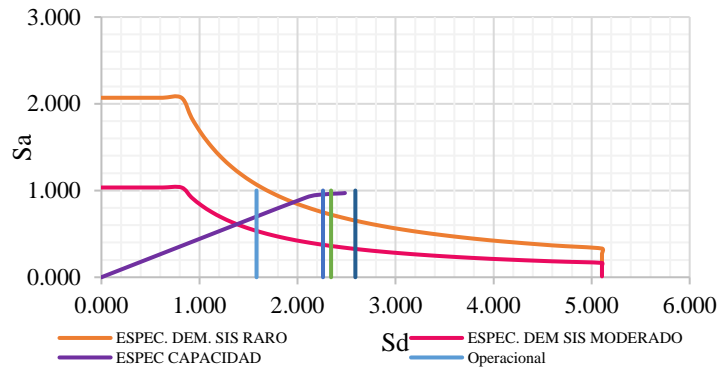


Figura 56. Seccionamiento del espectro capacidad y demanda con reforzamiento ACMAC en dirección X.

### 3.14.7. Análisis de nivel y punto de desempeño de la estructura reforzada

#### Sismo moderado

Se evidencia que para un sismo moderado el desempeño de la estructura operacional.

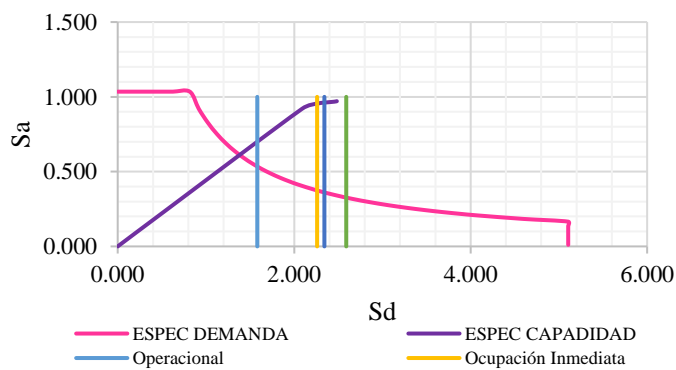


Figura 57. Punto y nivel de desempeño con reforzamiento ACMAC en dirección X – Sismo moderado.

#### Sismo raro

Se observa que para un sismo moderado el desempeño de la estructura es de ocupación inmediata.

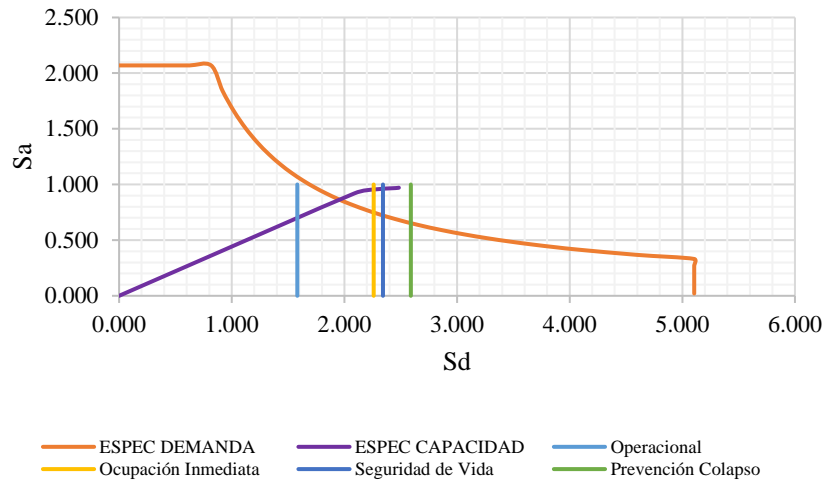


Figura 58. Punto y nivel de desempeño con reforzamiento ACMAC en dirección X – Sismo raro.

### 3.14.8. Matriz de desempeño como resultado del reforzamiento con Adición de Marcos de Acero con Arriostres Concéntricos

#### Dirección X

Se puede apreciar que para el nivel de sismo moderado la estructura mejora en su desempeño con un estado de daño de operacional, lo que significa que los daños estructurales son despreciables y las instalaciones continúan prestando sus servicios con normalidad; y para un nivel de sismo raro se tiene el estado de daño de ocupación inmediata, en el que se puede identificar que los daños estructurales son ligeros.

Tabla 26. Nivel de desempeño con ACMAC en dirección X.

Estado de daño \ Sismo	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de vida	Prevención colapso	Colapso
Sismo frecuente (Tr = 45 años)					
Sismo moderado (Tr = 75 años)	Sí Cumple				
Sismo raro (Tr = 475 años)		Sí cumple			
Sismo muy raro (Tr = 2475 años)					

Fuente: Elaboración propia

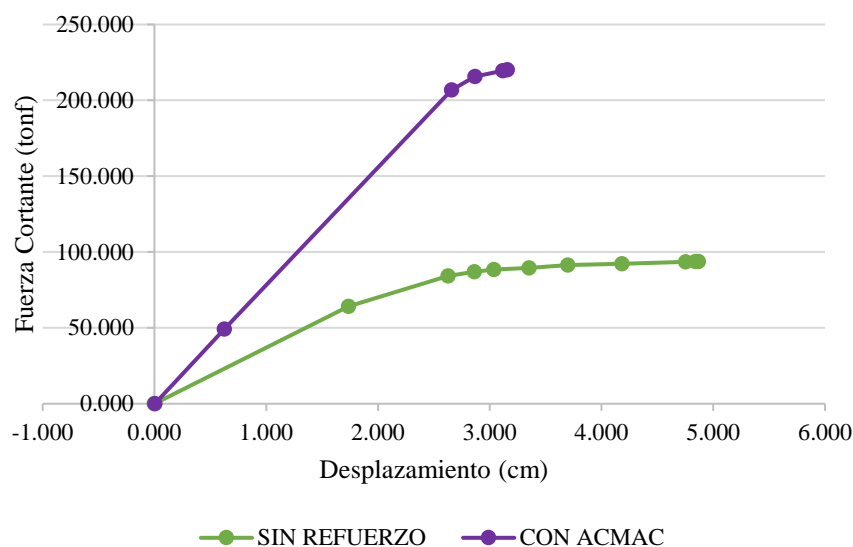
#### **IV. DISCUSIÓN**

#### **4.1. Discusión**

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el desempeño sísmico de la I.E. Suecia N° 2059, que es de tipo 780 pre constituida por pórticos de concreto armado y muros de albañilería confinada construidas con parámetros de la Norma de Diseño Sismo Resistente del año 1977. Se hizo la evaluación del desempeño sísmico del bloque 2 de la estructura mediante los ensayos obtenidos realizados por la PRONIED para luego realizar el modelo computarizado de la estructura con el software Etabs V16.2.1.

La no linealidad de los elementos estructurales describe el comportamiento elástico y plástico que estos puedan tener en reacción ante un evento sísmico y determinar la rigidez y resistencia, dando como resultado el desplazamiento máximo que sufre la estructura ante una fuerza cortante máxima emitida por la ocurrencia de un movimiento sísmico, obteniendo una curva como respuesta no lineal de la estructura. Como describe Loa en su tesis “Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997”, el reforzamiento permite rigidizar los elementos responsables de la poca rigidez de la estructura (2017, p.29).

La edificación esencial I.E. Suecia N° 2059 analizada en ambas direcciones, antes de su reforzamiento, dio como respuesta que la distorsión de entrepiso en la dirección Y corresponde dentro del parámetro establecido por la norma E-030 y en la dirección X la distorsión de entrepiso sobrepasa del parámetro de la misma norma, con la interpretación que es necesario rigidizar esta dirección. Esto se comprueba con la superposición de las curvas de capacidad en donde se puede apreciar las rigideces de la estructura antes y después de ser reforzada. Esto corrobora a la hipótesis que describe que las respuestas no lineales de los elementos permiten obtener la respuesta real de la estructura mediante la curva de capacidad.



*Figura 59.* Superposición de las curvas de capacidad.

Las edificaciones del tipo 780pre construidas con la Norma de Diseño Sismo Resistente de 1977 tienen bajo nivel de desempeño sísmico en la dirección X-X, resultado de evaluaciones de investigaciones ya realizadas anteriormente por la PRONIED.

Para Ramírez en su tesis “Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Perú “, el sistema de reforzamiento permite mejorar considerablemente el desempeño de la estructura reduciendo los daños (2017, p.84). Según los resultados obtenidos los niveles de desempeño de la estructura en análisis, para un nivel de sismo moderado el estado de daño resulta seguridad de vida y para un nivel de sismo raro el estado de daño es prevención colapso, en cambio para la dirección Y-Y para el nivel de sismo moderado el estado de daño es operacional y para sismo raro el estado de daño es ocupación inmediata lo que nos lleva a realizar el reforzamiento en la dirección X-X. Esto corrobora la hipótesis que describe que el empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero genera cambios en el comportamiento sísmico teórico de la estructura y que el nivel de daño asociado a la respuesta sísmica es severo antes de su reforzamiento; y despreciable después del empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero.



Tabla 27. Nivel de desempeño con y sin reforzamiento en dirección X.

Sismo \ Estado de daño	Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Prevención colapso	Colapso
Sismo moderado (Tr = 75 años)	Con refuerzo		Sin refuerzo		
Sismo raro (Tr = 475 años)		Con refuerzo		Sin refuerzo	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32 se identifica los niveles de desempeño que se interpreta de la siguiente manera. Los cuadros de color rojo son el resultado del nivel de desempeño de la estructura sin reforzamiento y los cuadros de color verde son el resultado de nivel de desempeño de la estructura reforzada incrementalmente con la Adición de Marcos de acero con Arriostres Concéntricos en la dirección X.

En la estructura analizada se da el efecto de columna corta, ya que según los ensayos realizados por la PRONIED se tiene juntas sísmicas de 2.48 cm la cual, según los ensayos experimentales realizados por Ramirez en el año 2017, las juntas de separación sísmicas deberían ser mayor a 4 cm, a partir de 50 cm de la base del parapeto.

## **V. CONCLUSIONES**

Se elaboró el espectro de demanda sísmica mediante los parámetros solicitados en la normativa E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se concluyó que los daños que pueda recibir la estructura se genera en la dirección X por ende se debe realizar el reforzamiento, ya que en esta dirección se tuvo una deriva máxima de 14.20 % no cumpliendo con los límites de distorsión de entrepiso de 7% para concreto armado que contempla la tabla N° 11 de la normativa E-030 y que en la dirección Y se obtuvo deriva máxima de 5% cumpliendo con los límites de distorsión de entrepiso para albañilería confinada.

Después de haber realizado el análisis Pushover mediante el modelamiento de la estructura bloque 2 de la Institución Educativa Suecia N° 2059 ubicado en Comas, y evaluado mediante la matriz de desempeño que propone VISION 2000, en donde indica que para estructuras esenciales los niveles de daño deben estar entre los rango de Operacional y Ocupación inmediata para los sismos raro y moderado respectivamente, se concluyó que la estructura, en la dirección Y cumple con lo solicitado propuesto por el reglamento VISION 2000 debido a que la curva de capacidad es lineal lo cual deduce que es rígido; pero en la dirección X el nivel de desempeño es de pre colapso y seguridad de vida, no cumpliendo este último con lo requerido por el SEAOC, 1995.

Se identificó el cambio de respuesta sísmica que genera el empleo de reforzamiento incremental con ACMAC porque incrementa sustancialmente la rigidez y la resistencia de la estructura, identificados a través de la curva de capacidad obtenida lográndose así un desempeño óptimo ante niveles de sismos moderados y raros cayendo a operacional y ocupación inmediata respectivamente, requeridas por el reglamento VISION 2000.

Se concluyó que la técnica de reforzamiento incremental ACMAC (Adición de Marcos de Acero con Arriostres Concéntricos) garantiza el nivel de seguridad de las estructuras para evitar pérdidas tanto humanas como económicas, con el incremento de su nivel de desempeño sísmico, y que por otro lado es fácilmente aplicable porque es capaz reducir en costos de reparación y pérdida de actividades escolares gracias a su tiempo de colocación. Planteado por el FEMA P420 Pauta de Ingeniería para la Rehabilitación Sísmica Incremental.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Después de la evaluación realizada, es necesario aplicar el reforzamiento estructural de la Institución Educativa Suecia N° 2059 ubicado en Comas con la propuesta ACMAC, para así asegurarse del soporte de la estructura ante eventos sísmicos moderados y raros con el fin de evitar pérdidas humanas y financieras.

Realizar evaluaciones de desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal “Pushover” y así permitir acercarse a la realidad en cuanto a comportamiento estructural ante eventos sísmicos (porque es el método más simplificado para entender), a edificaciones escolares de tipo 780pre debido a que fueron construidas con la norma de Diseño Sismo Resistente de 1997.

Es necesario realizar el reforzamiento ACMAC tanto en el primer piso como en el segundo para evitar que la distorsión de entrepiso aumente en el segundo nivel y así poder evitar fallas en las columnas y rigidizar la estructura en su totalidad (ambos niveles).

## REFERENCIAS

1. Aguiar, Roberto. Análisis sísmico por Desempeño. Sangolquí: Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, 2003. 329 pp.
2. Alemán García, Luis, NARANJO Quimbiulco, Luis. Diseño por desempeño de elementos estructurales de hormigón armado mediante los códigos Fema, utilizando el Etabs. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Sangolquí: Escuela politécnica de ejército, 2011. 210 pp.
3. Arango, Sergio, PAZ, Alejandro, DUQUE, María del Pilar. Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño estructural de una estantería metálica. Revista Escuela de Ingeniería Antioquia, n°12. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2019].  
Disponibile en <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n12/n12a11.pdf>  
ISSN: 1794-1237
4. Arévalo Pérez, Juan, BERMÚDEZ Florez, William. Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aperticada de concreto reforzado. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007. 148 pp.
5. Astica Arrieta, Guadalupe. Evaluación de las disposiciones de diseño sísmico para marcos arriostrados en edificios industriales. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2012. 159 pp.
6. Applied Technology Council. Seismic Evaluation and Retrofit of Concret Buildings. Seismic Safety Comission (EE.UU.). ATC-40, 96: Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. California: INN, 1996. 346 pp.
7. Auris Romero, Mary. Análisis del desempeño sísmico en estructuras de instituciones educativas del Sector de Azapampa, Distrito de Chilca, Huancayo – 2016. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana los Andes, 2017. 160 pp.
8. Ayala, Gustavo. Evaluación del desempeño sísmico de estructuras – un nuevo enfoque. En: Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería. México D.F.: Instituto de ingeniería UNAM, 2001. 19pp.

9. Barrera Alvarado, Pedro. Evaluación del punto de desempeño de una edificación escolar, diseñado con la norma E.030, usando criterios de Visión 2000. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. 62 pp.
10. Cahuana Quicha, Rodolfo, QUISPE Juño, José. Desempeño sísmico del centro de salud San Cristóbal del Distrito, Provincia y Región de Huancavelica, diseñado con el Reglamento Nacional de Construcciones y aceptando una deriva máxima de 1%. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2015. 85 pp.
11. Chio Cho, Gustavo. Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aporticada de concreto reforzado. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2007. 148 pp
12. D´Aniello, M. Modelling aspects of the seismic response of Steel concentric braced frames. Revista Steel and Composite Structures [en línea]. Junio 2013, n°3. [Fecha de consulta: 01 de Julio de 2019].  
Disponible en <http://dx.doi.org/10.12989/scs.2013.15.5.539>  
ISSN: 1229-9367
13. Hamburger, R. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering. En: Implementing performance based seismic design in structural engineering practice. California: EQE International, 1996. 8 pp.
14. Estrada Porras, Franz. Estudio comparativo de dos alternativas para la ampliación de un nivel de un módulo de aulas existentes. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018. 83 pp.
15. Fajfar, Peter. Earthquake spectra. En: A nolineal analysis method for performance based seismic design. Ljubljana, 2000. 20 pp.
16. Federal Emergency Management Agency (EE.UU.) FEMA P-420, of. 9: Engineering guildeline for incremental seismic rehabilitation. Washington: INN 2009. 94 pp.

17. Federal Emergency Management Agency (EE.UU.) FEMA 273, of. 97: NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building. Washington: INN 1997. 435 pp.
18. Federal Emergency Management Agency (EE.UU.) FEMA 356: NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building. Washington: INN 2000. 519 pp.
19. García, Luis. Lima es la ciudad más vulnerable frente a sismos según Lloyd's [en línea]. Comercio.PE. 15 de agosto de 2017. [Fecha de consulta. 10 de mayo de 2019] Disponible en: <https://elcomercio.pe/peru/lima-ciudad-vulnerable-frente-sismos-lloyd-s-254500?foto=2>
20. Gómez Quispe, Yesica. Influencia de la rigidez lateral en el análisis y diseño sismoresistente de un edificio de concreto armado de 5 pisos. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Continental, 2018. 232 pp.
21. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Resultados de la encuesta nacional de instituciones educativas de nivel inicial, primaria y secundaria. Lima, 1 (1). Agosto 2014.
22. Loa Canales, Gustavo. Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. 63 pp.
23. Lobo, William. Diseño sismorresistente basado en el desempeño de las estructuras. Revista de ingeniería. Mérida, 1997. 11pp.
24. Meza Carrion, Alexander. Desempeño sismorresistente mediante el análisis estático no lineal Pushover de la I.E. JCM N°2048 – pabellón “G” – Comas – 2017. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2018. 128 pp.
25. Montoya Coronado, Luis. Influencia de flexibilidad de las conexiones en el comportamiento sísmico de edificios metálicos. Tesis (Máster en Ingeniería Estructural y de la construcción). Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, 2013. 129 pp.



26. Mora, D. Análisis sísmico de gradas con tres modelos mediante los métodos: espectral y del espectro de capacidad, que sirven de acceso a una estructura con aisladores sísmicos. Revista Ingeniería y Construcción [en línea]. Diciembre 2017, n° 3. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2019].  
Disponible en:  
file:///C:/Users/MSI%20GL/Downloads/Analisis\_sismico\_de\_gradas\_con\_tres\_mode.pdf
27. NEHRP Seismic Design Technical Brief N°8, of. 13: Seismic design of steel special concentrically braced frame systems. Connerce: INN: 2013. 31 pp.
28. Paredes Azaña, Miguel. Evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio destinado a vivienda en la ciudad de Lima aplicando el análisis estático no lineal Pushover. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2016. 151 pp.
29. Park, R, Paulay, T. Estructuras de concreto reforzado. Editorial Limusa: Universidad de Canterbury, 1988. 408 pp.  
ISBN: 968-18-0100-8
30. Ministerio de Educación. Plan Nacional de Infraestructura Educativa. Lima, 1(1). Febrero 2017.
31. Po-Chien, Hsiao, Dawn, Lehman, Charles, Roeder. Journal analytical model for special concentrically braced frames [en línea]. January 2012. [fecha de consulta: 28 de junio de 2019].  
Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-constructional-steel-research>
32. Ramírez García, Pamela. Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Perú. Tesis (Grado de Magíster en Ingeniería Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. 85 pp.

33. Reglamento Nacional de Edificaciones (Perú). RNE E-020, of 2018: Cargas. Lima: INN, 2018. 6 pp.
34. Reglamento Nacional de Edificaciones (Perú). RNE E-030, of 2018: Diseño sismorresistente. Lima: INN, 2018. 28 pp.
35. Reglamento Nacional de Edificaciones (Perú). RNE E-070, of 2018: Albañilería. Lima: INN, 2018. 14 pp.
36. Sánchez Aguilar, Marco. Diseño sísmico basado en desempeño para una edificación esencial de concreto reforzado. Tesis (Maestro en ciencias en ingeniería y administración de la construcción). Monterrey: Instituto tecnológico y de estudios de Monterrey, 2010. 133 pp.
37. SEAOC (EE.UU.): Vision 2000 - Performance Based Seismic Engineering of Buildings. California: 1995.
38. Taveras Montero, Manuel. Revisión de las recomendaciones para modelar y analizar estructuras de mampostería confinada ante carga lateral. Tesis (Grado de Maestro en Ingeniería Civil). México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2008. 93 pp.
39. Video: DISEÑO BASADO EN DESEMPEÑO - DBD  
<https://www.youtube.com/watch?v=HWoX4KCvnWw>
40. Wen, Rou. Designs of special concentrically braced frame using AISC 341-05 and AISC 314-10. Revista Practice Periodical on structural design and construction. [en línea]. Julio 2015. [Fecha de consulta: 01 de Julio de 2019].  
Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/279851675>  
ISSN: 1943-5576
41. Wiss, Janney. Journal of Earthquake Technology. En: Review of the development of the capacity spectrum method. Emeryville, 2004. 13 pp.

## ANEXO

### ANEXO 01: Matriz de Consistencia

#### Matriz de Consistencia

Tema: EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SISMICO PARA REFORZAMIENTO INCREMENTAL CON ACMAC DE LA I.E.SUECIA N°2059 SUECIA - COMAS 2019.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES		NIVEL DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	V1: DESEMPEÑO SISMICO			TIPO DE ESTUDIO:
¿De qué manera el uso del reforzamiento incremental con marcos de acero influyen en el desempeño sísmico del C.E. N°2059 SUECIA - Comas, Lima.?	Evaluar el desempeño sísmico empleando el reforzamiento incremental con marcos de acero en la I.E. N°2059 Suecia - Comas, Lima.	El empleo del reforzamiento incremental con marcos de acero mejora el desempeño sísmico de la I.E. Suecia, Comas, Lima.	DIMENSIONES	INDICADORES	Intervalo	Aplicada: El presente trabajo de investigación es aplicada, porque se hará uso de los conocimientos teóricos de la variable diseño sísmico y reforzamiento incremental con ACMAC para dar una posible solución a la realidad problemática.
			Análisis estático no lineal - PUSHOVER	Curva de capacidad		
				Comportamiento Sísmico	Demanda sísmica	
			Punto de desempeño		Niveles de Desempeño	
PROBLEMAS ESPECÍFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	V2: REFORZAMIENTO INCREMENTAL CON ACMAC		Intervalo	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:
¿Cuáles son las propiedades no lineales de los elementos que permiten obtener el desempeño real de la estructura?	Determinar la respuesta no lineal de los elementos, mediante el análisis estático no lineal "Pushover", para obtener la curva capacidad e interpretar el desempeño real de la estructura.	Las respuestas no lineales de los elementos permiten obtener la curva capacidad e interpretar el desempeño real de la estructura, mediante el análisis estático no lineal "Pushover".	DIMENSIONES	INDICADORES		Intervalo
			Elementos estructurales	Modelo de esfuerzo-deformación para el acero	Intervalo	
				Modelo de esfuerzo-deformación para la albañilería		Intervalo
¿Cuál es el comportamiento sísmico de la estructura y qué cambios genera el empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero?	Interpretar el comportamiento sísmico de la estructura y el cambio que genera el empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero.	El empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero general cambios en el comportamiento sísmico teórico de la estructura.	Macroelementos estructurales	Rigidez lateral	Razón	DURACIÓN: La duración del proyecto es de 9 meses.
				Resistencia característica	Razón	
¿Cuál es el nivel de daño asociado a la respuesta sísmica de la edificación?	Estimar el nivel de daño asociado a la respuesta sísmica de la edificación.	El nivel de daño asociado a la respuesta sísmica es severo antes de su reforzamiento; y despreciable después del empleo de reforzamiento incremental con marcos de acero.	Espectro de demanda	Sa/g : Aceleración espectral	Razón	POBLACIÓN: La población de la siguiente investigación es el Centro Educativo N°2059 Suecia, ubicado en el distrito de Comas, Provincia y Departamento de Lima, siendo una zona netamente urbana.
				Sd: Desplazamiento espectral	Ordinal	
						MUESTRA: La muestra de la siguiente investigación son todos los elementos estructurales de la Institución Educativa N°2059 Suecia, a la cual se realizará la evaluación de desempeño sísmico antes y después de su reforzamiento incremental con ACMAC.

## ANEXO 02: Ensayos de laboratorio

CONSULTORÍA - Control de la Calidad - Materiales de Construcción – Diseño de mezclas de concreto – Ensayos destructivos y no destructivos

### INFORME TÉCNICO

ATENCIÓN : Katia Fiorela Huamán Enriquez.  
ASUNTO : Ensayo de Esclerometría en columnas de concreto armado.  
OBRA : TESIS "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA REFORZAMIENTO INCREMENTAL CON ACMAC DE LA I.E. 2059 SUECIA, COMAS - 2019".  
UBICACIÓN : Miguel Grau con Andrés Avelino Cáceres, Comas 15326.  
DE : Mag. Ing. Carlos Villegas Martínez  
FECHA : 14 de Junio del 2019

#### OBJETIVO:

Realizar el ensayo de Esclerometría (Martillo de Schmidt), de dureza superficial del concreto con la finalidad de medir la uniformidad de su resistencia en las columnas de concreto armado de la edificación. La ubicación de las zonas de ensayo fueron indicados por el solicitante.

Los ensayos de Esclerometría se realizaron el 16 de Agosto del 2019.

Norma de referencia NTP 339.181:2013.

Calibración del equipo: CFM-019-2018 – 01.02.18 – S/N 126

#### RESULTADOS:

En los cuadros adjuntos se indica la ubicación, elemento estructural y los resultados de los ensayos de Esclerometría;

C 1 - COLUMNA - SEGUNDO PISO		C 2 - COLUMNA - SEGUNDO PISO		C 3 - COLUMNA - SEGUNDO PISO		C 4 - COLUMNA - PRIMER PISO	
Lectura	Valor del rebote	Lectura	Valor del rebote	Lectura	Valor del rebote	Lectura	Valor del rebote
1	29	1	32	1	34	1	38
2	31	2	32	2	33	2	38
3	30	3	31	3	35	3	40
4	31	4	32	4	35	4	38
5	32	5	32	5	36	5	40
6	31	6	33	6	36	6	39
7	32	7	33	7	37	7	39
8	32	8	33	8	37	8	40
9	29	9	33	9	37	9	40
10	31	10	34	10	35	10	39
Promedio	31	Promedio	33	Promedio	36	Promedio	39
Desv. Estándar	1.1	Desv. Estándar	0.8	Desv. Estándar	1.4	Desv. Estándar	0.9
Sentido	Horizontal	Sentido	Horizontal	Sentido	Horizontal	Sentido	Horizontal

Tecnología del Concreto y Materiales de Construcción

1

C 5 - COLUMNA - PRIMER PISO		C 6 - COLUMNA - PRIMER PISO	
Lectura	Valor del rebote	Lectura	Valor del rebote
1	34	1	38
2	34	2	38
3	32	3	37
4	35	4	34
5	35	5	34
6	37	6	36
7	36	7	38
8	37	8	38
9	38	9	37
10	39	10	38
Promedio	36	Promedio	37
Desv. Estándar	2,1	Desv. Estándar	1,6
Sentido	Horizontal	Sentido	Vertical

En el cuadro N°1 (ver anexo adjunto), se adjunta la curva de correlación del rebote promedio versus la resistencia a la compresión del concreto, del equipo utilizado.



Mag. Ing. Carlos Villegas M.  
Ingeniero de Control de Calidad  
CIP 109061

## ANEXO 1

CUADRO N°1: CORRELACION DEL REBOTE PROMEDIO VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO

R	IMPACT ANGLE $\alpha$					CYLINDER COMPRESSIVE STRENGTH $f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	$\alpha - 90^\circ$	$\alpha - 45^\circ$	$0^\circ$	$\alpha + 45^\circ$	$\alpha + 90^\circ$	
20	125	115				
21	135	125				
22	145	135	110			
23	160	145	120			
24	170	160	130			
25	180	170	140	100		
26	198	185	158	115		
27	210	200	165	130	105	
28	220	210	180	140	120	
29	238	220	190	150	138	
30	250	238	210	170	145	
31	260	250	220	180	160	
32	280	265	238	190	170	
33	290	280	250	210	190	
34	310	290	260	220	200	
35	320	310	280	238	218	
36	340	320	290	250	230	
37	350	340	310	265	245	
38	370	350	320	280	260	
39	380	370	340	300	280	
40	400	380	350	310	295	
41	410	400	370	330	310	
42	425	415	380	345	325	
43	440	430	400	360	340	
44	460	450	420	380	360	
45	470	460	430	395	375	
46	490	480	450	410	390	
47	500	495	465	430	410	
48	520	510	480	445	430	
49	540	525	500	460	445	
50	550	540	515	480	460	
51	570	560	530	500	480	
52	580	570	550	515	500	
53	600	590	565	530	520	
54	Over 600	Over 600	580	550	530	
55	Over 600	Over 600	600	570	550	

**ANEXO 05: Fotografías de ensayos**

**ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA EN COLUMNAS**



**COLUMNA C2 – P2**



**COLUMNA C6 – P1**



COLUMNA C2 - P2



COLUMNA C7 - P2



COLUMNA C3 - P1

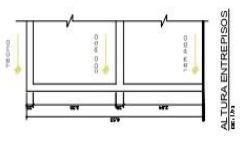
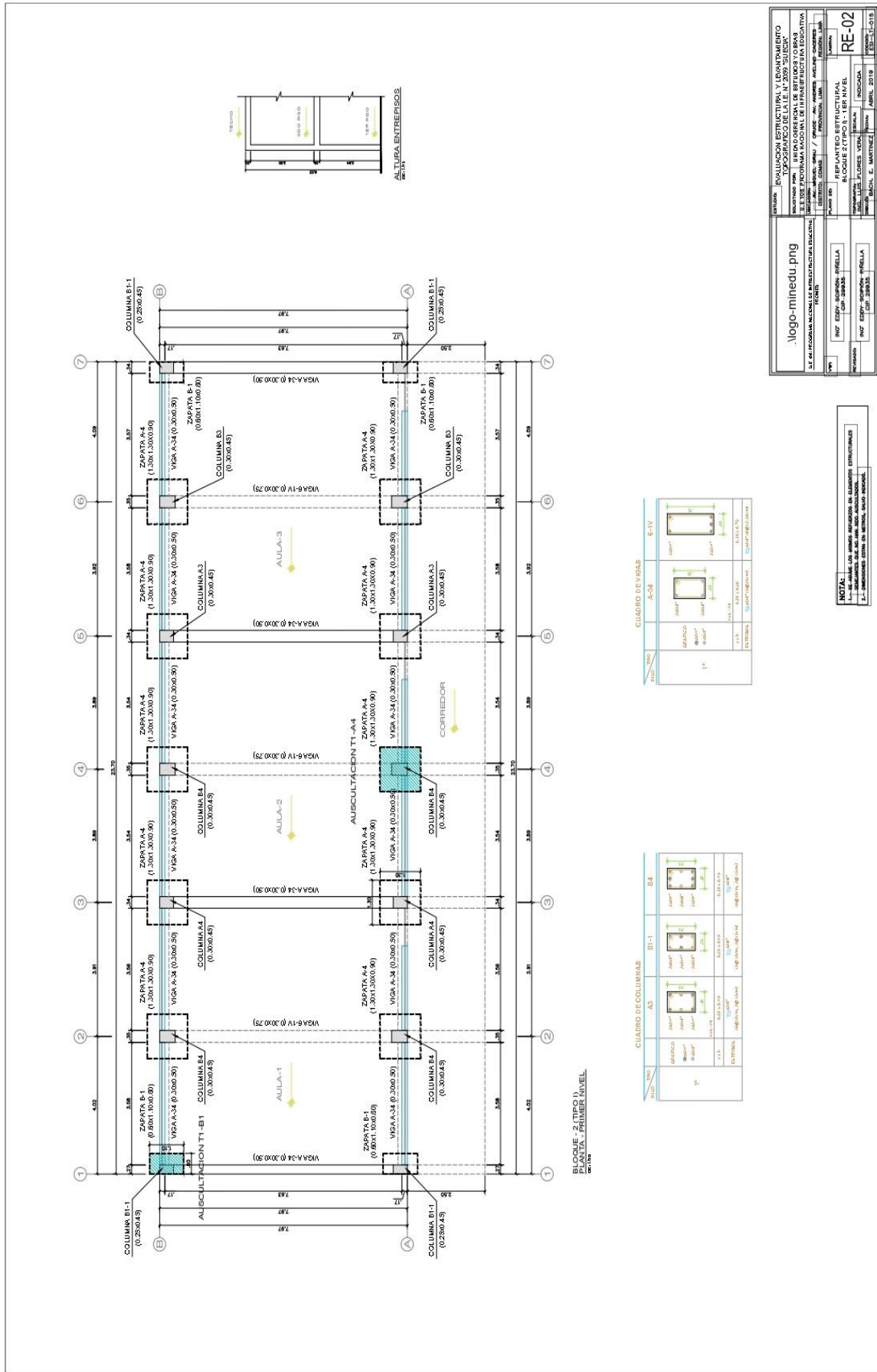


COLUMNA C4 - P1









CUADRO DE VIGAS

TIPO	SECCION	ESPESOR	LONGITUD	ANCHO	ALCANTARILLA
VIGA	A-34	300	3000	300	1.00x1.00x0.80
	B-1	450	2500	250	1.00x1.00x0.80

CUADRO DE COLUMNAS

TIPO	SECCION	ESPESOR	LONGITUD	ANCHO	ALCANTARILLA
COLUMNA	A-3	300	3000	300	1.00x1.00x0.80
	B-1	450	2500	250	1.00x1.00x0.80

**NOTA:**  
 1.- DIMENSIONES EN METROS.  
 2.- DIMENSIONES EN METROS, SIN REDONDEAR.  
 3.- DIMENSIONES EN METROS, SIN REDONDEAR.

**Logo-minedu ping**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION SUPERIOR "PILOTO" (UNEP)

INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACION SUPERIOR "PILOTO" (INPE)

RE-02

FECHA: 2018



## ANEXO 04: Cálculo de Espectros

Tabla N°1 (NORMA E030-2014/DS-003-2016)

FACTOR DE ZONA "Z"	ZONA	Z
	ZONA 4	0.45

Ing. Aldo Greco Nuñonca Herrera  
FIC - UNSAAC

Tabla N°3 y N°4 (NORMA E030-2014/DS-003-2016)

FACTOR DE SUELO "S"	TIPO	DESCRIPCION	S	TP	TL
	S1		Roca o Suelos Muy Rígidos	1.00	0.40

Tabla N°5 (NORMA E030-2014/DS-003-2016)

FACTOR DE USO "U"	CATEGORIA	U	OBSERVACIONES
	"A2" Edificaciones Esenciales		1.50

Tabla N°7 (NORMA E030-2014/DS-003-2016)

FACTOR DE SISTEMA ESTRUCTURAL "R"	DIRECCION	SISTEMA ESTRUCTURAL	Ro
	DIR X-X	Pórticos de Concreto Armado	8
	DIR Y-Y	Albañilería Armada o Confinada	3

Tabla N°8 (NORMA E030-2014/DS-003-2016)

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA			la Dir X-X	la Dir Y-Y
Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Irregularidades de Resistencia – Piso Débil	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Irregularidad Extrema de Rigidez	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Irregularidad Extrema de Resistencia	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Irregularidad de Masa o Peso	<input type="checkbox"/> AMBAS DIRECCIONES		1.00	1.00
Irregularidad Geométrica Vertical	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	<input type="checkbox"/> AMBAS DIRECCIONES		1.00	1.00
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	<input type="checkbox"/> AMBAS DIRECCIONES		1.00	1.00
Tener en cuenta las restricciones de la tabla N° 10			<b>Se toma el valor mas critico</b>	<b>1.00</b>

Tabla N°9 (NORMA E030-2014/DS-003-2016)

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA			lp Dir X-X	lp Dir Y-Y
Irregularidad Torsional	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Irregularidad Torsional Extrema	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Esquinas Entrantes	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Discontinuidad del Diafragma	<input type="checkbox"/> AMBAS DIRECCIONES		1.00	1.00
Sistemas no Paralelos	<input type="checkbox"/> DIR X-X	<input type="checkbox"/> DIR Y-Y	1.00	1.00
Tener en cuenta las restricciones de la tabla N° 10			<b>Se toma el valor mas critico</b>	<b>1.00</b>

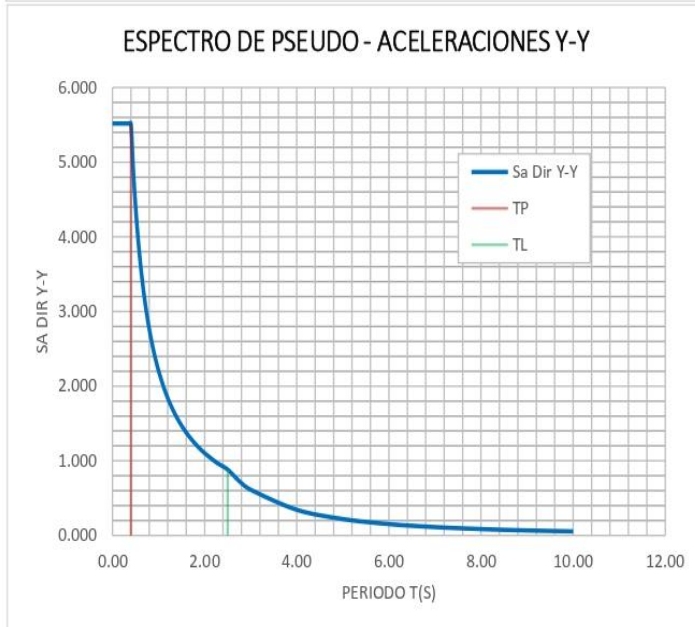
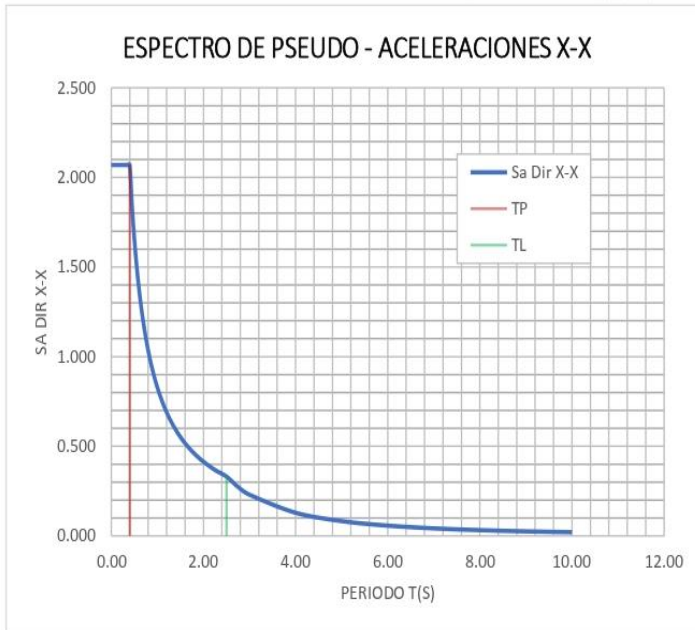
DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.45	R <sub>0</sub>	8	3
U	1.50	I <sub>a</sub>	1.00	1.00
S	1.00	I <sub>p</sub>	1.00	1.00
T <sub>p</sub>	0.40	R	8	3
T <sub>L</sub>	2.50	g	9.81 m/s <sup>2</sup>	

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \quad R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

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

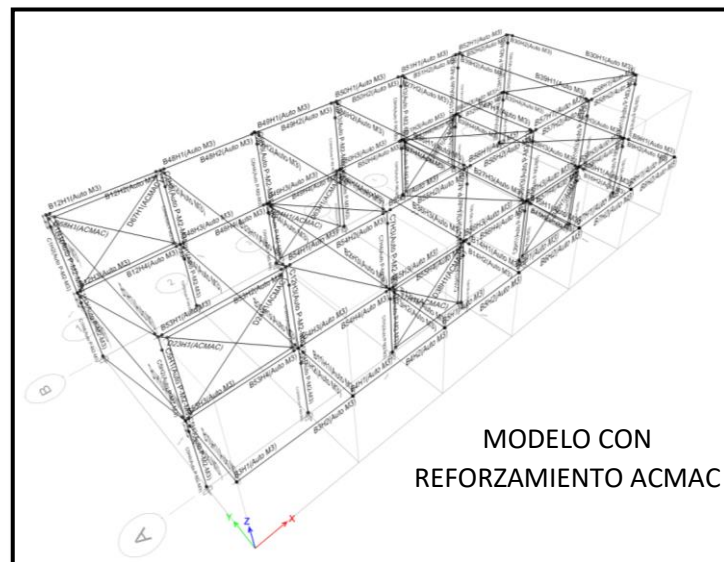
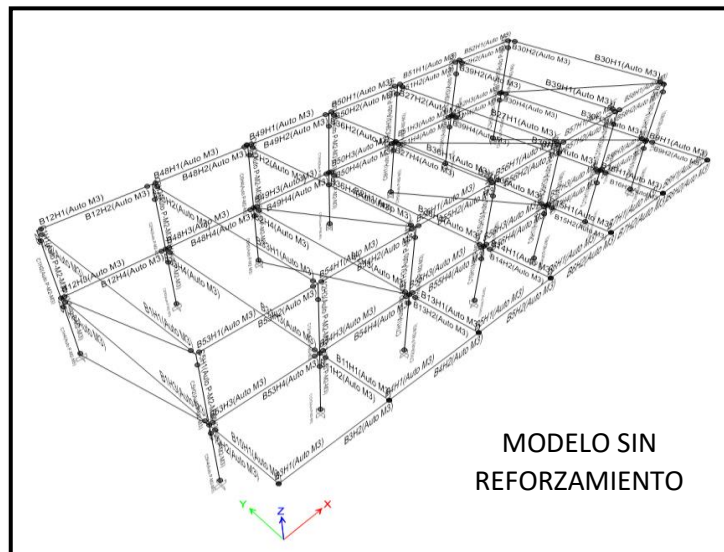
$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

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



C	T	Sa Dir X-X	Sa Dir Y-Y
2.50	0.00	2.069	5.518
2.50	0.02	2.069	5.518
2.50	0.04	2.069	5.518
2.50	0.06	2.069	5.518
2.50	0.08	2.069	5.518
2.50	0.10	2.069	5.518
2.50	0.12	2.069	5.518
2.50	0.14	2.069	5.518
2.50	0.16	2.069	5.518
2.50	0.18	2.069	5.518
2.50	0.20	2.069	5.518
2.50	0.25	2.069	5.518
2.50	0.30	2.069	5.518
2.50	0.35	2.069	5.518
2.50	0.40	2.069	5.518
2.22	0.45	1.839	4.905
2.00	0.50	1.655	4.415
1.82	0.55	1.505	4.013
1.67	0.60	1.380	3.679
1.54	0.65	1.273	3.396
1.43	0.70	1.182	3.153
1.33	0.75	1.104	2.943
1.25	0.80	1.035	2.759
1.18	0.85	0.974	2.597
1.11	0.90	0.920	2.453
1.05	0.95	0.871	2.323
1.00	1.00	0.828	2.207
0.91	1.10	0.752	2.007
0.83	1.20	0.690	1.839
0.77	1.30	0.637	1.698
0.71	1.40	0.591	1.577
0.67	1.50	0.552	1.472
0.63	1.60	0.517	1.380
0.59	1.70	0.487	1.298
0.56	1.80	0.460	1.226
0.53	1.90	0.436	1.162
0.50	2.00	0.414	1.104
0.44	2.25	0.368	0.981
0.40	2.50	0.331	0.883
0.33	2.75	0.274	0.730
0.28	3.00	0.230	0.613
0.16	4.00	0.129	0.345
0.10	5.00	0.083	0.221
0.07	6.00	0.057	0.153
0.05	7.00	0.042	0.113
0.04	8.00	0.032	0.086
0.03	9.00	0.026	0.068
0.03	10.00	0.021	0.055

## ANEXO 05: Resultados Etabs



<b>DERIVAS EN X</b>			
<b>Story</b>	<b>Load Case/Combo</b>	<b>Drift sin reforzamiento</b>	<b>Drift con ACMAC</b>
PISO 2	DRIFTX Max	0.010	0.005
PISO 2	DRIFTX Min	0.010	0.000
PISO 1	DRIFTX Max	0.014	0.005
PISO 1	DRIFTX Min	0.014	0.000
CONCRETO ARMADO Y ACERO Según norma E-030		0.014	0.005
< 0.007 - < 0.01		No cumple	Si cumple

## MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS DE ENTREPISOS

DIRECCIÓN X (cm)	1er Piso		2do Piso	
	X	Y	X	Y
SIN REFUERZO	1.00	0.06	1.74	0.09
REF 1ER PISO	0.34	0.05	0.87	0.09
REF 2DO PISO	0.33	0.05	0.63	0.10

DIRECCIÓN Y (cm)	1er Piso		2do Piso	
	X	Y	X	Y
SIN REFUERZO	0.0001	0.16	0.0002	0.27
REF 1ER PISO	0.005	0.16	0.0002	0.27
REF 2DO PISO	0.021	1.24	0.0446	2.06

## DRIFT MAXIMOS

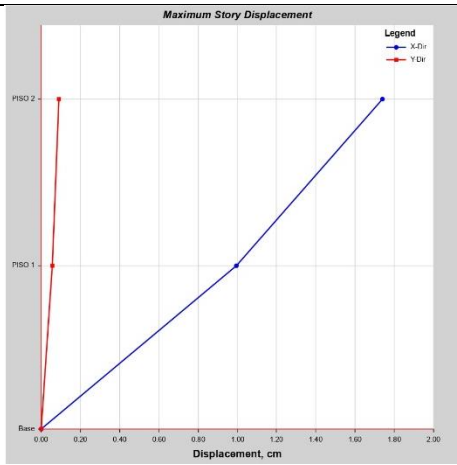
DIRECCIÓN X (cm)	1er Piso		2do Piso	
	X	Y	X	Y
SIN REFUERZO	0.003	0.0002	0.002	0.0001
REF 1ER PISO	0.001	0.0001	0.002	0.0001
REF 2DO PISO	0.001	0.0002	0.001	0.0001

DIRECCIÓN Y (cm)	1er Piso		2do Piso	
	X	Y	X	Y
SIN REFUERZO	3.01E-07	0.0005	2.67E-07	0.0003
REF 1ER PISO	3.59E-07	0.0005	2.73E-07	0.0003
REF 2DO PISO	2E-06	0.0002	1.4E-05	0.0001

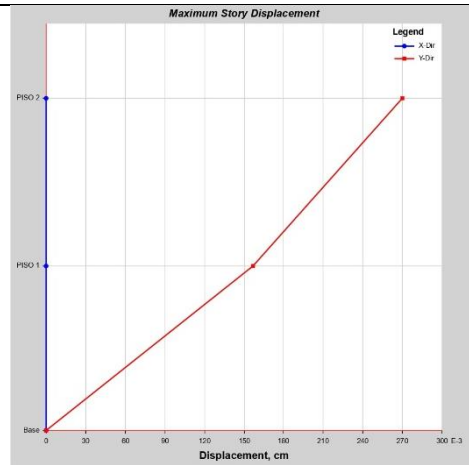


**MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS DE ENTREPISOS**  
**ESTRUCTURA SIN REFUERZO**

**DIRECCIÓN X**

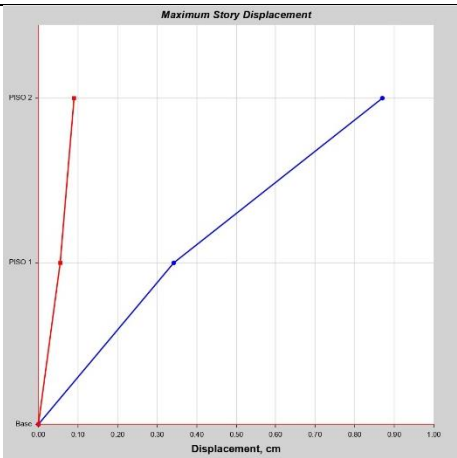


**DIRECCIÓN Y**

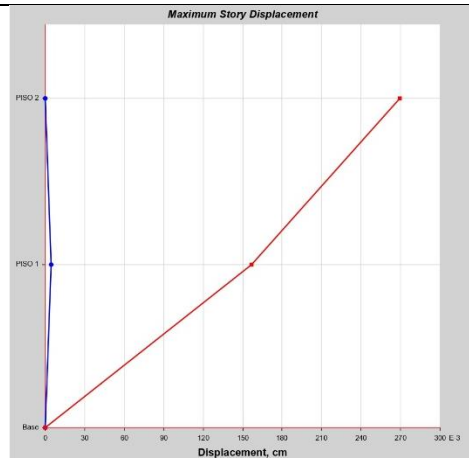


**ESTRUCTURA CON REFUERZO - 1ER PISO**

**DIRECCIÓN X**

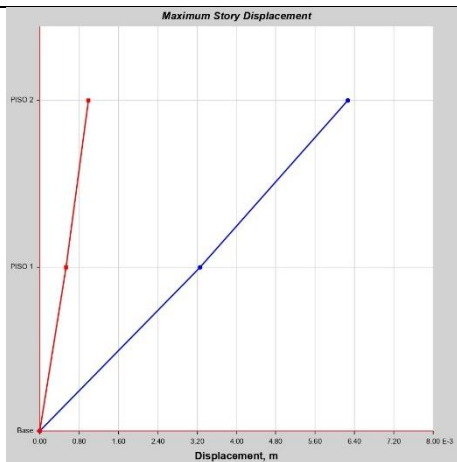


**DIRECCIÓN Y**

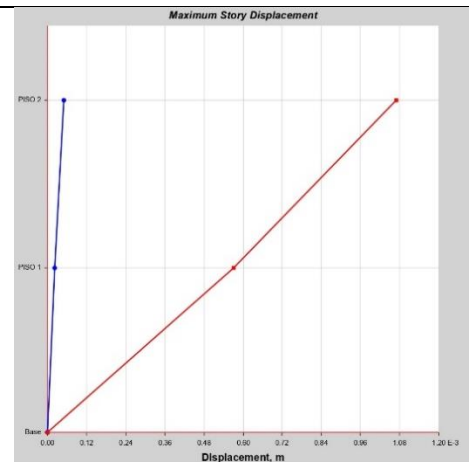


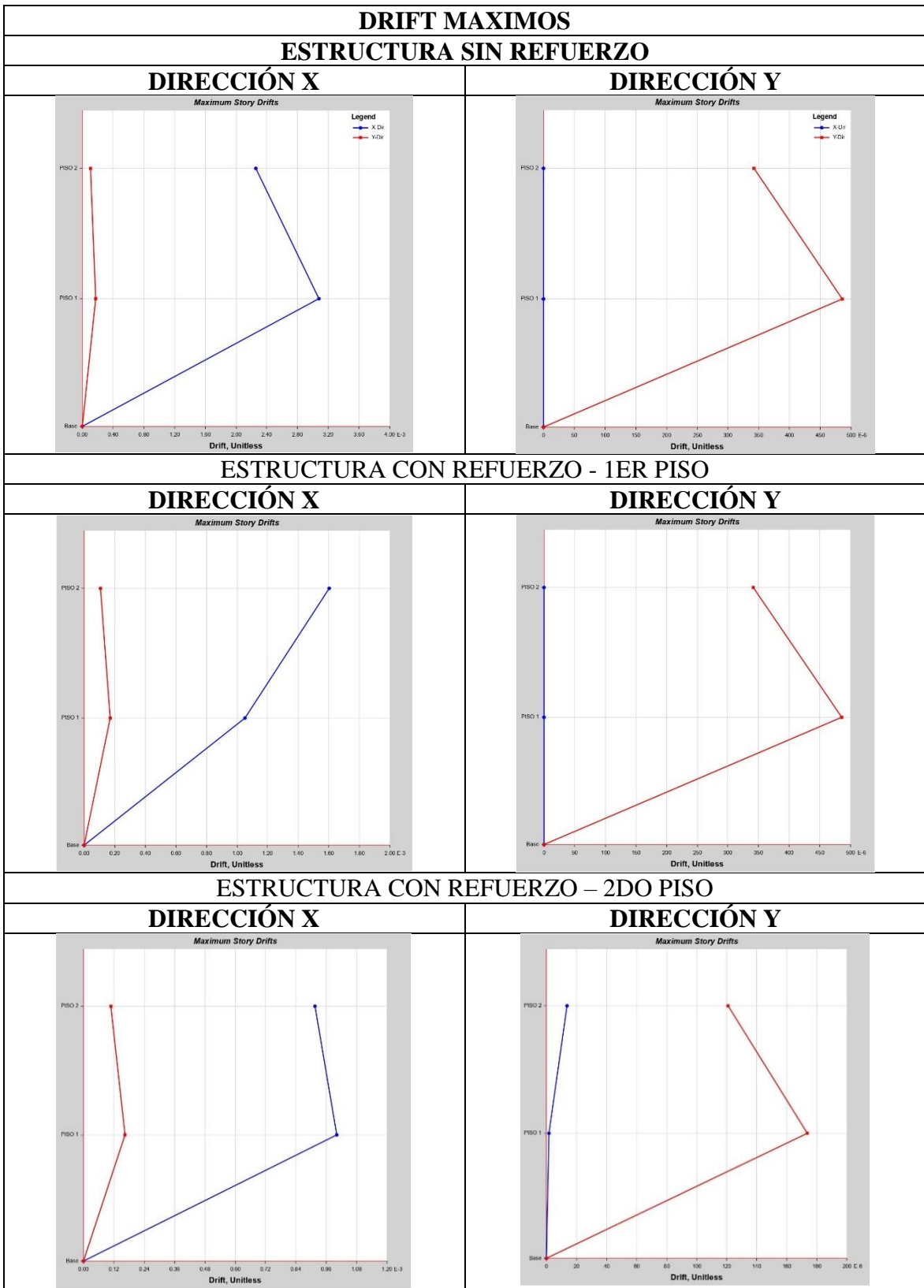
**ESTRUCTURA CON REFUERZO - 2DO PISO**

**DIRECCIÓN X**



**DIRECCIÓN Y**





**Matriz de validación de instrumento**

Título de la Investigación	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO SISMICO PARA REFORZAMIENTO INCREMENTAL CON ACMAC DE L.A.I.E. SUECIA N°2059 COMAS - 2019.
Apellidos y Nombres del Investigador	Huamán Enriquez, Katia Fiorela
Apellidos y nombres del Experto	Mg. Ing. Mancho Meza, Juan Alfredo

VARIABLES	DIMENSIONES	ASPECTO POR EVALUAR				OPINIÓN DEL EXPERTO		
		INDICADORES	ITEM	ESCALA	SI CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIONES / SUGERENCIAS	
Desempeño sísmico	Análisis estático no lineal - Pushover	Curva de capacidad	I	Intervalo	CUMPLE			
		Demanda sísmica	II	Nominal				
		Niveles de desempeño	III	Razón				
	Comportamiento sísmico	Punto de desempeño	IV	Nominal	CUMPLE			
Reforzamiento Incremental con ACMAC	Elementos estructurales	Modelo de esfuerzo-deformación para el acero	V	Intervalo	CUMPLE			
		Modelo de esfuerzo-deformación para el concreto	VI	Intervalo				
		Modelo de esfuerzo-deformación para el albañilería	VII	Intervalo				
	Macroelementos estructurales	Rigidez lateral	VIII	Razón	CUMPLE			
		Resistencia característica	IX	Razón				
	Espectro de demanda	Sa/g: Aceleración espectral	X	Razón	CUMPLE			
Sd: Desplazamiento espectral		XI	Ordinal					

Firma del Experto:



**JUAN ALFREDO MANCHO MEZA**  
 Mg. ING. CIVIL  
 C.I.P. 200816

Fecha: 07/06/2019