



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**Desempeño Sísmico Estructural en un Sistema Aporticado  
Mediante el Análisis Estático no Lineal**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**Autor**

**Bach. Aguilar Monteza Luis Job**  
<https://orcid.org/0000-0001-5831-0624>

**Asesor**

**Mg. Sánchez Diaz Elver**  
<https://orcid.org/0000-0001-9499-1252>

**Línea de Investigación**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2023**

**DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL EN UN SISTEMA APORTICADO  
MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL**

**Aprobación del jurado**

---

MG. VILLEGAS GRANADOS LUIS MARIANO

**Presidente del Jurado de Tesis**

---

MG. SALINAS VASQUEZ NESTOR RAUL

**Secretario del Jurado de Tesis**

---

MG. SÁNCHEZ DIAZ ELVER

**Vocal del Jurado de Tesis**


**DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s) del Programa de Estudios de **La Escuela Profesional de INGENIERÍA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

**DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL EN UN SISTEMA APORTICADO  
MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

(Apellidos y Nombres)	DNI: 48463984	
-----------------------	---------------	---

Pimentel, 04 de mayo del 2023.

## **Dedicatoria**

A mis padres Luis y Aurora, por el apoyo incondicional y el impulso para alcanzar mi objetivo anhelado y verme realizado como profesional.

A mis difuntos abuelos Oscar y Maria, por su amor incondicional y consejos para salir adelante a pesar de las adversidades de la vida.

A mis compañeros y docentes de la escuela de ingeniería civil que me brindaron siempre su ayuda desinteresada con el propósito de superarme y culminar mi estudios.

## **Agradecimientos**

Primero agradecer a Dios por la vida y mantenerme con buena salud para así poder culminar esta experiencia y cumplir mi tesis.

Mi infinito agradecimiento a la Universidad Señor de Sipan por acogerme y brindarme lo necesario para culminar mis estudios universitarios.

Agradecer a mis docentes de la escuela de ingeniería civil por brindarme siempre el apoyo para culminar mi carrera profesional así como al director de escuela Msc. Muñoz Pérez Sócrates Pedro por la orientación necesaria y las enseñanzas brindadas.

A mi familia por su abnegada preocupación por mi bienestar, quienes siempre estuvieron a mi lado en todo momento.

## Índice

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Índice de tablas y figuras.....	VI
Resumen .....	VII
Abstract.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Hipótesis.....	14
1.4. Objetivos .....	14
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	14
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	24
2.1. Tipo y Diseño de Investigación .....	24
2.2. Variables, Operacionalización.....	25
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección .....	27
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	27
2.5. Procedimiento de análisis de datos .....	27
2.6. Criterios éticos.....	28
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1. Resultados .....	28
3.2. Discusión.....	45
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
4.1. Conclusiones.....	47
4.2. Recomendaciones.....	47
REFERENCIAS .....	49
ANEXOS.....	55

## Índice de tablas y figuras

Tabla I .....	15
Tabla II .....	21
Tabla III .....	22
Tabla IV .....	22
Tabla V .....	23
Tabla VI .....	26
Tabla VII .....	28
Tabla VIII .....	29
Tabla IX .....	30
Tabla X .....	31
Tabla XI .....	31
Tabla XII .....	34
Tabla XIII .....	34
Tabla XIV .....	37
Tabla XV .....	37
Tabla XVI .....	39
Tabla XVII .....	39
Tabla XVIII .....	40
Tabla XIX .....	41
Tabla XX .....	41
Tabla XXI .....	41
Tabla XXII .....	42
Tabla XXIII .....	44
Tabla XXIV .....	44
<b>Fig. 1.</b> Definición de la deriva. [21] .....	15
<b>Fig. 2.</b> Relación Fuerza – Desplazamiento. [26] .....	16
<b>Fig. 3.</b> Curva capacidad de un pórtico de 4 niveles. [27] .....	17
<b>Fig. 4.</b> Secuencia para la obtención del espectro de capacidad. [26] .....	18
<b>Fig. 5.</b> Espectro de Demanda. [26] .....	19
<b>Fig. 6.</b> Sectorización de la Curva de Capacidad según VISION 2000. [34] .....	21
<b>Fig. 7.</b> Distribución de cargas .....	24
<b>Fig. 8.</b> Curva capacidad dirección X .....	33
<b>Fig. 9.</b> Curva capacidad dirección Y .....	33
<b>Fig. 10.</b> Representación bilineal dirección X .....	34
<b>Fig. 11.</b> Representación bilineal dirección Y .....	35
<b>Fig. 12.</b> Desplazamiento máximo para 0.20g dirección X .....	36
<b>Fig. 13.</b> Desplazamiento máximo para 0.25g dirección X .....	36
<b>Fig. 14.</b> Punto de desempeño en la curva capacidad para un sismo frecuente dirección X. .	38
<b>Fig. 15.</b> Punto de desempeño en la curva capacidad para un sismo ocasional dirección X. .	38
<b>Fig. 16.</b> Punto de desempeño en la curva capacidad para un sismo frecuente dirección Y ..	40
<b>Fig. 17.</b> Ubicación de rotula plástica en columna .....	43
<b>Fig. 18.</b> Ubicación de rotula plástica en viga .....	43

## Resumen

En esta investigación se presenta un análisis estático no lineal mediante el método push-over aplicado a una edificación con un sistema aporticado. El análisis permitió encontrar el nivel de desempeño que tendrá la estructura bajo diferentes aceleraciones sísmicas con parámetros de la zona correspondiente, permitiendo así clasificar a la estructura dentro del rango no lineal y determinarla dentro de las clasificaciones propuesta por el SEAOC (Structural Engineers Association of California). Se comprobó que la estructura sea regular para mejor comportamiento estructural, utilizando la normativa vigente. Los resultados nos muestran que la estructura por ser un sistema dúctil y no contar con elementos que rigidicen la distribución estructural, está propenso a no cumplir con el desempeño esperado, inclusive bajo aceleraciones sísmicas con un nivel sísmico frecuente (0.20g) y ocasional (0.25g), encontrándose así dentro del rango de pre-colapso y colapso. En definitiva, a la estructura se le debe incorporar elementos que controlen mejor estos desplazamientos, siendo la opción el uso de placas o un cambio de sección de sus elementos estructurales, permitiendo así un mejor desempeño de la estructura.

**Palabras Clave:** push-over, pórtico, desempeño, sismo.



## **Abstract**

This article presents a non-linear static analysis using the push-over method applied to a building with a supplied system. The analysis allowed to find the level of performance that the structure will have under different seismic accelerations with parameters of the corresponding zone, thus allowing classifying the structure within the non-linear range and determining it within the classifications proposed by the SEAOC (Structural Engineers Association of California ). It was verified that the structure is regular for better structural behavior, using current regulations. The results show us that the structure, being a ductile system and not having elements that stiffen the structural distribution, is prone to not fulfilling the expected performance, even under seismic accelerations with a frequent seismic level (0.20g) and occasional (0.25). g), thus being within the range of pre-collapse and collapse. In short, the structure must incorporate elements that better control these movements, with the option of using plates or changing the section of its structural elements, thus allowing better performance of the structure.

**Keywords:** push-over, gantry, performance, earthquake.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

Por lo general, la presencia de daños después de un movimiento telúrico severo nos obliga a emplear métodos confiables para el estudio de estructuras que pueda resultar vulnerables ante estos fenómenos. Dado que el impacto que puedan originar los movimientos sísmicos es de tomar en cuenta, Moya (2019) en su investigación nos comenta que el daño que ocasionan los sismos, está en función a la cantidad de habitantes que pueda existir en el lugar en donde se produce. Es por eso que, en la actualidad, muchas construcciones modernas se diseñan con lineamientos especificados, tomando así parámetros importantes como son los desplazamientos originados por dichas fuerzas [1].

Uno de los factores que influyen en las fallas estructurales es la mala estructuración de la edificación lo que conlleva a problemas en los elementos que lo conforman, por ello Duran et al., (2020) en su investigación nos plantea que, bajo una mala configuración a nivel de estructura y arquitectura, se produce la formación del fenómeno de columna corta, lo que provoca que estos elementos estén expuestas a demandas de corte excesivas a las que fueron diseñadas [2].

Reportes internacionales toman en cuenta procedimientos de evaluación como respuesta al peligro sísmico que se pueda producir. Los eventos sísmicos de gran magnitud que se han registrado, han dado como consecuencia que Flores (2021) en su investigación, determina el desempeño de una estructura sin previo cálculo estructural y si es capaz de soportar adecuadamente un movimiento sísmico a través de un análisis estático no lineal. El estudio le ayudó a obtener resultados para futuras construcciones de la zona en la que se realizó la investigación, concluyendo que solamente es apto para sismos cuyo rango se encuentran en la zona de servicio [3].

Existen parámetros estructurales los cuales se relacionan con los daños que se originan al momento de ocurrir un evento sísmico. El diseño sísmico permite comprender el comportamiento de las estructuras, de modo que Cagua et al.,(2023) en su investigación nos

resalta el desempeño de la estructura al ser sometida a cargas monótonas y como se pueden controlar para estructuras correspondientes a pórticos resistentes a momentos de acero. Al sufrir daños significativos en los elementos estructurales, finalmente mantiene un nivel de seguridad que permitirá la funcionalidad de la estructura permitiendo que estos sean reforzados [4]. Con este fin, muchos de los ingenieros pueden simular la estructura obteniendo respuestas sísmicas y así puedan intervenir eficazmente. Por eso Marino et al., (2019) en su investigación, mediante este modelamiento identifica las partes de la estructura donde pueda fallar gracias al análisis estático no lineal obteniendo una respuesta sísmica detallada de la estructura que esta sujeta a parámetros modificables que afectan a una predicción mucho mas precisa [5].

Una de las consideraciones que se toma en cuenta al momento de que una estructura falle y presenta daño despues de un evento sísmico es la de rehabilitación. En Perú, país donde la amenaza sísmica es latente, Aroquipa, H y Hurtado, A, (2022) en su investigación consideran que al realizar un análisis pushover, les resultara mas sencillo el reacondicionamiento de niveles que se definen en objetivos de rendimientos como lo son la ocupación inmediata y la seguridad de la vida. Al someter a la estructura cuya tipología demuestra ser altamente vulnerable demostraron la falta de intervención a los elementos estructurales, procediendo asi a su intervención y mejorando el grado de daño y la respuesta sísmica [6].

Para las categorías de edificaciones que están clasificadas en nuestra norma, las que deberían de tener más control son las edificaciones esenciales ya que en el Perú los sismos han provocado pérdidas y daño parcial en las estructuras. Dado así que, Paredes (2020) a través de su investigación nos dice que es importante un análisis estático no lineal debido esto nos permite observar el comportamiento de la estructura con un enfoque más real ante una amenaza sísmica [7]. Así también Fuentes (2018) en su investigación aplicó el método push-over en una edificación de cinco niveles de concreto armado llegando a la conclusión que este método no sólo debe centrarse en predecir si la estructura colapsará, si no también en brindar los parámetros aceptables al estructuralista y al cliente, dando a conocer los límites

aceptables para cada nivel de peligro [8].

Al resaltar la finalidad en las estructuras, Huaman (2016) en su investigación y al someter sísmicamente la edificación UCV en Chiclayo no dice que el predecir cuanto es que se ha deformado, cual es el elemento que fallará en primer lugar y cuál es su desempeño post sismo es el objetivo al que se quiere llegar. Es así que nace el estudio de la predicción del comportamiento sísmico mediante desplazamientos sucesivos de la edificación, así como cuál sería su performance ante diferentes sismos sobre todo ante los frecuentes, ocasionales y raros [9].

El análisis del rendimiento sísmico tiene la posibilidad de utilizar diferentes enfoques de cálculo de diseño, ya que es posible considerar las deformaciones más allá del dominio elástico. De esta manera Arruda et al., (2020) no dice que para llevar a cabo un análisis sísmico preciso, lo más correcto sería utilizar un análisis dinámico no lineal. Sin embargo, el uso de este tipo de análisis implica un método de cálculo bastante complejo, cada vez menos adecuado para su aplicación práctica en el cálculo de diseño sísmico. Por lo tanto, se podría utilizar un método de análisis estático no lineal alternativo, que también se conoce como análisis pushover. Usando este método, es posible identificar los problemas de colapso estructural, de la manera más simple que usando el análisis de dinámica no lineal [10].

Una metodología de evaluación de riesgos sísmicos y estimación de pérdidas para edificaciones se basa en el pushover. En su investigación Snoj y Dolšek (2020) concluye que esta metodología permite estimar la pérdida mediante diversas medidas de rendimiento, como la probabilidad de exceder una pérdida económica designada, la pérdida anual esperada y la pérdida esperada dada una intensidad sísmica [11]. También existen otros factores y metodologías para controlar estas demandas, tal como lo explica Piscal y López (2019) en su investigación en donde nos dan a conocer la manera de como influyen los aisladores sísmicos cumpliendo el objetivo de separar la edificación del suelo con tal de controlar la demanda sísmica y con esto los daños excesivos en la estructura principal. Se han dado como resultados daños considerables en la superestructura y por ende los aisladores son una buena respuesta ante este caso, dando resultados satisfactorios al

comportamiento estructural con aislamiento de base ante sismos severos [12].

Un enfoque a tomar en consideración es la direccionalidad con la que se presenta el sismo y como la estructura responde ante tal evento. En su investigación, Diaz et al., (2018) muestra un enfoque alternativo para tomar en cuenta ante el efecto de la direccionalidad sísmica y nos da a conocer que el efecto en las direcciones en los que actúan los sismos es influyente en las estructuras, por lo que propone evaluar desde dos enfoques: (1) el riesgo sísmico y (2) el rendimiento y daño sísmico esperado en los edificios [13]. Así también, Tanganelli et al., (2018) en su investigación nos muestra que se realizó la evaluación sísmica de una vivienda pública donde determina que la capacidad sísmica de los edificios se ha definido realizando un análisis estático no lineal a lo largo de las dos direcciones principales, asumiendo dos patrones diferentes de fuerzas horizontales, mientras que la entrada sísmica se ha asumido de acuerdo con las disposiciones de NTC 2008, lo que explica la sismicidad del área y sus características del suelo [14].

La estructura sometida a cargas puede determinar su comportamiento, acompañado de modelados se puede llegar a saber que tan resistente puede ser. Esto fue empleado por Venerito et al., (2017) en su investigación donde se utilizaron cálculos complejos y sofisticados para hipotetizar el comportamiento de los materiales que constituyen la estructura. Desde el modelo final, las tensiones, ampliamente validadas por un análisis numérico, y los desplazamientos de la estructura resultan ser decididamente pequeños en comparación con el tamaño del trullo. De hecho, la estructura resiste bien la tensión estática, lo que significa que tiene una resistencia muy alta [15].

Encontrar las rótulas plásticas al aplicar el Análisis Estático No Lineal determinan lo vulnerable que está la estructura ante eventos sísmicos. En su investigación López et al., (2017) determina la influencia del tipo de rótula plástica en el análisis no lineal de estructuras de hormigón armado con un sistema aporticado tomando en cuenta varios tipos de rótulas donde el modelo que proponen muestran mejor el comportamiento de edificaciones ubicadas en lugares donde se producen sismos [16].

Evaluar la respuesta a las aceleraciones laterales mediante un análisis no lineal con

elementos finitos es lo que llevo a Tezcan et al., (2019) a determinar que los modelos detallados de FE 2 y 3D se construyen a partir de mediciones tomadas en el lugar y distribuciones de material observadas de adobe, ladrillos cocidos y piedra. Los modelos FE se analizan en Abaqus / CAE Explicit bajo carga gravitacional y aceleraciones laterales que aumentan monotónicamente, simulando condiciones cuasiestáticas hasta el colapso [17].

La integración de herramientas de ingeniería y la combinación con los métodos analíticos avanzados y simplificados pueden conllevar a un análisis más predictivo del comportamiento estructural en edificaciones. En la investigación de Aguilar et al., (2019) nos da a conocer que el método de análisis de límites finalmente se utiliza para complementar el análisis y evaluar el desempeño estructural del edificio considerando diferentes escenarios sísmicos. Las conclusiones de la metodología de evaluación sísmica propuesta permitieron estimar el comportamiento global y los posibles patrones de daño durante los eventos sísmicos. La aplicación de esta metodología también permitió definir los niveles de rendimiento cuando se enfrentan a diferentes escenarios sísmicos. Los resultados mostraron que la edificación debería permanecer en un estado seguro hasta terremotos ocasionales con un retorno de 72 años. A pesar de esto, las conclusiones muestran que los terremotos raros producirán una condición estructural insegura con colapsos parciales de elementos estructurales [18]. Otra investigación similar es la que realizó Noel et al., (2019) mediante un análisis de impulso no lineal que permitió encontrar la evolución del daño y la capacidad estructural en un evento telúrico de manera que los resultados del análisis mostraron que las principales fallas estructurales serían el desacoplamiento de la parte frontal de la estructura, generando daños concentrados en los arcos que sostienen el coro, así como grietas longitudinales en las paredes de la nave. La capacidad sísmica relacionada con estas fallas es de alrededor de 0.20 g, que es mucho más baja que la demanda recomendada por el código peruano para la región de Cusco - 0.25 g - lo que significa que la estructura es altamente vulnerable a las cargas sísmicas [19].

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico óptimo en edificaciones con sistema

aporticado mediante un análisis estático no lineal?

### **1.3. Hipótesis**

Con un análisis estático no lineal da como resultado el nivel de desempeño sísmico dentro del rango funcional de la estructura aporticado.

### **1.4. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Demostrar el desempeño sísmico estructural en un sistema aporticado vía análisis estático no lineal.

#### **Objetivos específicos**

- Identificar los máximos desplazamientos que se producen en una edificación con sistema aporticado aplicando el software Etabs 2016.
- Estimar el punto de desempeño de una edificación con sistema aporticado vía el análisis push-over.
- Analizar la capacidad estructural dado por la irregularidad de la edificación y las fuerzas laterales.

### **1.5. Teorías relacionadas al tema**

#### **Desplazamiento máximo**

La verificación del máximo desplazamiento estará ubicado en el centro de la masa de la azotea, este desplazamiento estará en función de las cargas laterales monotónicas FEMA356 (2000) [20].

#### **Distorsión máxima**

Cristiano (2008) define como distorsión al desplazamiento relativo que existe entre dos puntos ubicados verticalmente entre pisos consecuentes de la estructura [21].



**Fig. 1.**Definición de la deriva. [21]

Nota: Esta figura muestra la deriva en una estructura bajo efectos de fuerzas lateras a lo largo de todos los niveles.

Resulta indispensable la obtención de la denominada distorsión de entre piso o deriva, que viene a ser el parámetro más importante para identificar cómo se comportan distintos sistemas estructurales y así determinar la magnitud de daño que se pueda presentar. La norma E 0.30 “Diseño Sismorresistente” da a conocer rangos de derivas de entrepiso. Como podemos ver en la siguiente tabla estos límites están en consideración de algunos tipos de materiales que establecen una estructura.

**Tabla I**  
**Límite de distorsión de entrepiso**

DISTORSIÓN DEL ENTREPISO PERMISIBLES	
Material	( $\Delta_i/h$ )
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Nota: En esta tabla se muestran los diferentes valores de distorsión permisible aceptados por la norma peruana para diferentes tipos de material. [22]

**Excentricidad**

Medina, C y Medina, S (2017) definen que la excentricidad es aquella generada en base al centro de masa y se producen por la mala distribución de muros en planta, la falta de



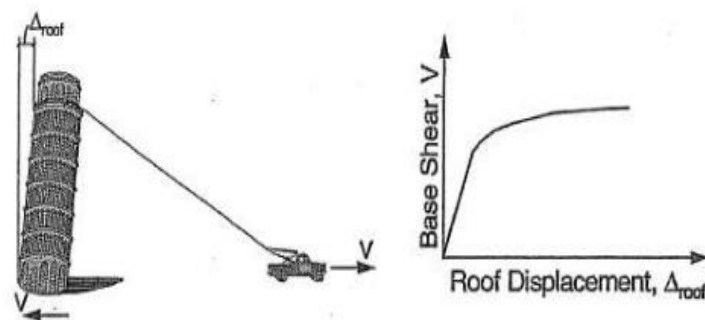
ejes estructurales paralelos, estructuras asimétricas, etc. [23].

### Cargas monotónicas

García, J y Tapia, E (2019) definen que, para un análisis estático no lineal, es usual utilizar cargas triangulares invertidas, correspondiente a la respuesta del primer modo [24].

### Curva capacidad

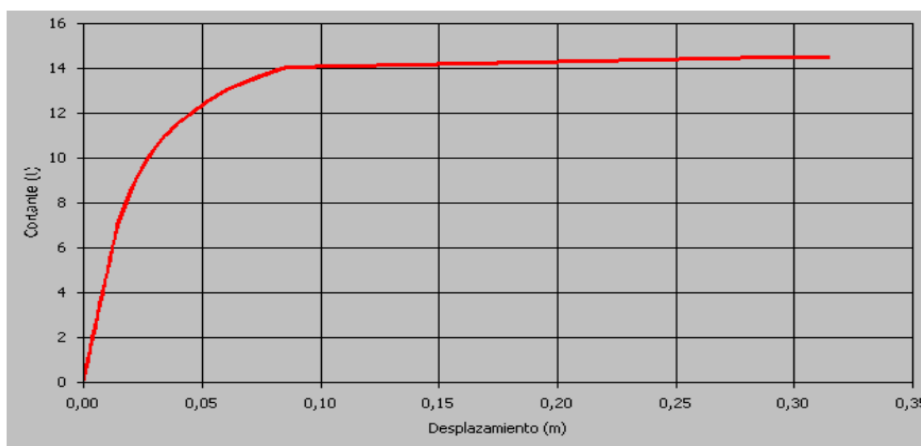
Sinisterra (2017) señala que “esta curva nos muestra el comportamiento sísmico estructural en función del desplazamiento máximo en el nivel de techo y la cortante máxima desde la base” (p.20). Para hallar la curva push-over o también llamada curva fuerza-deformación se considera aplicar fuerzas con un incremento monotónico lo cual para cada uno origina un desplazamiento hasta llegar a un estado de colapso lo cual se produce en el rango no lineal o inelástico. Este proceso se repite varias veces hasta que alcance un límite predeterminado. La curva capacidad acerca el comportamiento de las estructuras una vez estas excedan su límite elástico [25].



**Fig. 2.** Relación Fuerza – Desplazamiento. [26]

Nota: Esta figura nos muestra la reacción de la estructura a ser sometida a una fuerza lateral.

Que la curva capacidad relaciona el desplazamiento lateral con el cortante basal y se halla al aplicar cargas laterales en forma monotónica en cada uno de sus niveles hasta llevar al colapso de la estructura. Dado cada punto encontrado en la curva se desarrollan niveles de daño mostradas a continuación:



**Fig. 3.** Curva capacidad de un pórtico de 4 niveles. [27]

Nota: Esta figura muestra el comportamiento de la estructura bajo cargas laterales de incremento lineal.

Grassi, A y Rivera, I (2000) señalan que, si la curva capacidad se extiende más allá de la curva de demanda, la estructura resiste la acción del sismo. Para ese punto de comportamiento se obtienen valores de energía de piso, deriva de entrepisos y el daño global por pisos para diferentes valores de tiempo [28].

Aguiar, R et., (2017) nos menciona que la representación de esta curva es la llamada curva push-over. La manera más sencilla de graficarla, es con la relación de la cortante y el desplazamiento de la edificación [29].

### **Espectro de capacidad**

Casimiro (2012) señala que “la curva capacidad en coordenadas espectrales es denominada espectro capacidad” (p.158) [30].

La aplicación más adecuada de convertir en espectro capacidad a la curva push-over según lo explica Merino (2014) de la siguiente manera:

Es usando propiedades modales, convirtiendo la curva push-over a un formato de aceleración y desplazamientos espectrales, manifestado como espectro de capacidad. Para esta transformación, cada coordenada (V, D), corresponde a una coordenada (S<sub>Ai</sub>, S<sub>Di</sub>). (p.26) [31]. Según como se muestra en la imagen:

$$S_{D_i} = \frac{\Delta n_i}{(\beta_1 x \varphi_{1,n})}$$

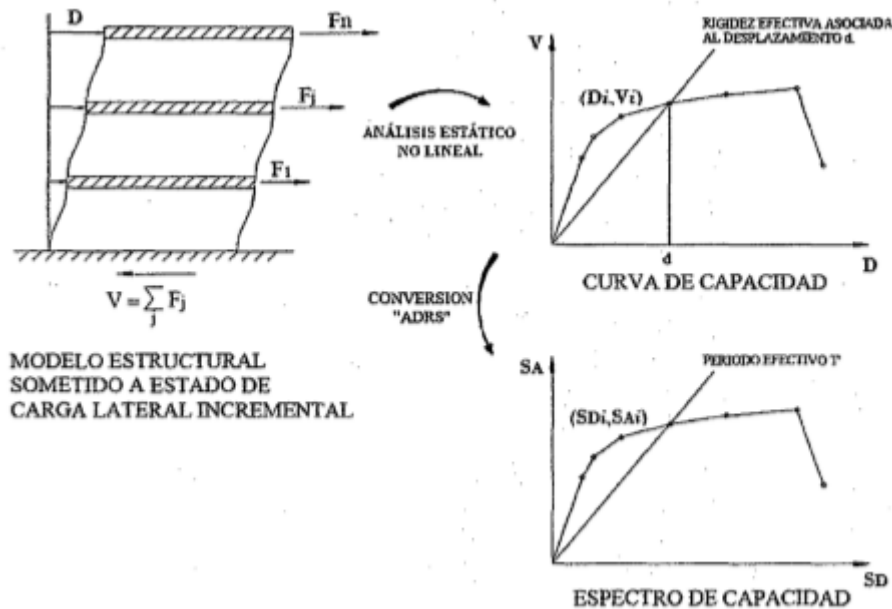
$$S_{A_i} = \frac{V_i}{\alpha_1}$$

Donde:

$\alpha_1$ : masa modal.

$\beta_1$ : factor de participación.

$\varphi_{1,n}$ : amplitud en el nivel n.



**Fig. 4.** Secuencia para la obtención del espectro de capacidad. [26]

Nota: En la figura nos muestra las coordenadas espectrales obtenida a base de la curva capacidad.

En la figura 4, la recta que llega del origen a la curva, tiene una pendiente  $\omega^2$ , siendo  $\omega$  la frecuencia circular vinculada a la manifestación aceptable de la edificación al estar deformada a tal punto del desplazamiento espectral. Tenemos que el periodo se puede hallar con la fórmula siguiente:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

### Espectro de Demanda

Merino (2014) "este espectro vincula el desplazamiento con la aceleración en coordenadas espectrales y se pueden conseguir relacionando la aceleración espectral con el periodo" (p.28) [31].

La utilización del espectro de demanda es importante según Bolaños (2015) ya que "se logra obtener el desplazamiento lateral máximo en base a el espectro de demanda con la cual el ATC-40 se basa para la reducción del espectro elástico" (p.13) [32].

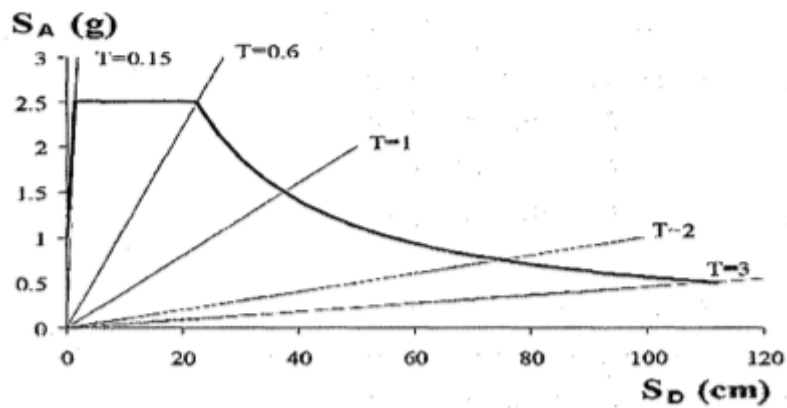


Fig. 5. Espectro de Demanda. [26]

Nota: En la figura se muestra la relación del desplazamiento con la aceleración en coordenadas espectrales, necesaria para llegar al espectro de demandas en la estructura.

### Niveles de desempeño

Medina, R y Music, J (2018) mencionan que estos niveles toman en cuenta aspectos como: daños en los elementos de la estructura, riesgos a la funcionalidad de los servicios básicos y a la seguridad a los residentes de la estructura [33].

Considera un estado máximo de daños. Identifica una condición aceptable en relación a los futuros daños de la estructura, la latente preocupación de resguardo a los residentes de la estructura incitados por los problemas de la edificación luego del movimiento telúrico (ATC-40, 1996) [26].

Es una representación crítica del daño que se podría dar, donde se toma en cuenta tanto los elementos de la estructura, así como en los elementos que no se consideran estructurales. Los niveles de desempeño pueden manifestarse con una descripción de importancia pública y en aplicaciones de diseño o criterios para edificaciones existentes ya sea para el deterioro de elementos que son o no estructurales o si en caso estas fallas tienden a expandirse (SEAOC, 1995) [34].

### Niveles de desempeño por VISION 2000

El Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) manifiesta los siguientes niveles:

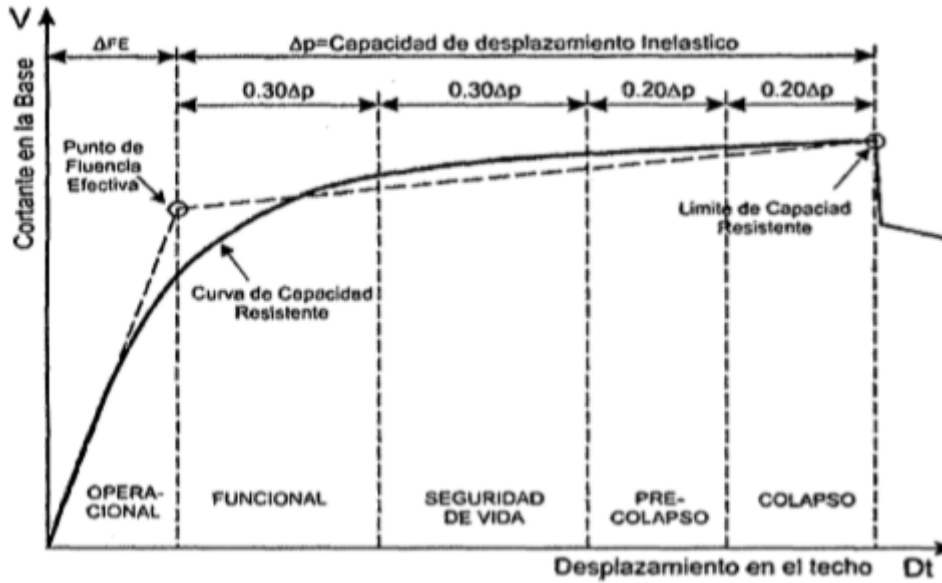
Operacional: La estructura está libre de daños. Desprecia las acciones sobre los usuarios. La seguridad de cada uno de los ocupantes es de consideración nula. Cada

instalación se usar con normalidad sin daño alguno. Por lo general no requieren reparaciones [34].

Funcional: Los daños son un poco considerables en elementos no estructurales y de poca preocupación en elementos estructurales, así como ambientes dentro del edificio, No compromete la seguridad del edificio lo cual significa que puede seguir con las funciones de los sistemas después de ocurrido el movimiento telúrico, pero tomando en cuenta los sistemas vinculados a los elementos no estructurales. Concluyendo se hacen reparaciones menores [34].

Seguridad o Resguardo de Vida: Los daños aquí son a tomar en cuenta ya que ocurren en todos sus elementos, así como también en ambientes dentro de la edificación. Deterioro de los elementos respecto a su rigidez y al mal funcionamiento del sistema. Mala intervención de los sistemas ya sean mecánicos o eléctricos, afectando las salidas de escape. No se pueden utilizar las instalaciones concluyendo en reparaciones importantes en la edificación [34].

Pre-Colapso: Los daños son muy considerables de modo que comprometen la integridad estructural llevándolo así a los límites cercanos al colapso. La irreparable situación respecto a los servicios concluye con la mala seguridad de los ocupantes. No se consideran la reparación de daños por la alta demanda que generaría por lo consiguiente no sería recomendable hacerlo [34].



**Fig. 6.** Sectorización de la Curva de Capacidad según VISION 2000. [34]

Nota: Esta figura muestra los estados de la estructura dentro del rango de la curva capacidad y determina el funcionamiento del edificio después de ser sometido al sismo.

**Tabla II**

**Relación de daños y niveles de desempeño**

NIVEL DE DAÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	DETALLES PRINCIPALES
Despreciable	Totalmente Operacional	Daños no considerables o nulos en estructuras e instalaciones ocurridos post-sismo.
Ligero	Operacional	Daños un poco considerables. Las instalaciones importantes no sufren daños y las demás son de rápida recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños considerables en la estructura más no de manera perjudicial. Los ocupantes permanecen seguros. Elementos dañados en especial los no estructurales.
Severo	Pre-Colapso	Daño muy considerable muy cerca al colapso en especial en elementos no estructurales. Toma en consideración la seguridad de los residentes en peligro
Completo	Colapso	Colapso total de la estructura.

Nota: Esta tabla define a detalle la relación del daño y desempeño de la estructura al ser sometido un

sismo. [34]

### Niveles de sismo

ATC-40 (1996) nos dice que para diferentes niveles de sismo existirá un comportamiento satisfactorio lo cual representa un desempeño deseado para la edificación [26].

### Niveles de sismo por Comité VISION 2000

El Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) representa la amenaza sísmica en varios niveles [34]. La tabla siguiente nos da a conocer los diferentes niveles del movimiento sísmico:

**Tabla III**  
**Niveles sísmicos**

Nivel sísmico	Periodo de retorno medio T (años)	Excedencia probable (p, t)
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	970 años	10% en 100 años

Nota: Esta tabla muestra los diferentes niveles sísmicos que se podrían ocasionar en un periodo determinado de años, siendo el nivel frecuente más probable que suceda. [34]

Lo más óptimo para la estructura está en relación a los requerimientos que se tienen en la edificación en cara a los diferentes niveles de amenazas. La tabla siguiente representa lo óptimo que se requiere en la edificación, en relación a lo siguiente:

**Tabla IV**  
**Niveles recomendados de desempeños esperados**

		NIVEL DE DESEMPEÑO SISMICO			
		Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Colapso
1.Inst.Básicas					
2.Inst.Escenciales/Riesgosas					
3. Inst.de seguridad critica					
0. Desempeño inaceptable					
Nivel del movimiento sísmico	Frecuente	1	0	0	0
	Ocasional	2	1	0	0
	Raro	3	2	1	0
	Muy raro	-	3	2	1

Nota: En la tabla se coloca a la estructura un rango de desempeño que, al ser sometido bajo diferentes niveles de sismo, se comprometen instalaciones que van de básicas a instalaciones con desempeño

totalmente comprometidas. [34]

En nuestro país, tomando en cuenta al SEAOC, lo requerido respecto al desempeño de la estructura se representa en la tabla siguiente:

**Tabla V**

**Porcentajes de aceleración para diferentes niveles de sismos**

NIVEL DEL DISEÑO SÍSMICO	ACELERACIÓN EN RELACIÓN A LA COSTA PERUANA (g)	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL
Frecuente	0.20	Perfectamente elástico
Ocasional	0.25	Prácticamente elástico
Raro	0.40	Importantes incursiones inelásticas. Estructuras reparables
Muy raro	0.50	Severas incursiones inelásticas. No es eficaz reparar la estructura

Nota: En la tabla nos define como se comporta la estructura al ser sometida a un porcentaje de aceleración correspondiente al nivel sísmico. [35]

### **Punto de desempeño**

ATC-40 (1996) nos da a conocer que es la relación entre la capacidad espectral y el de demanda hallado mediante el método del espectro capacidad” [26].

Alcántara, K y Nalvarte, C (2016) definen a este punto como “representación del máximo desplazamiento de la estructura esperado para una demanda sísmica” (p.36) [36].

### **Capacidad estructural**

Huaman (2016) define “La capacidad estructural está básicamente en función de la irregularidad de la edificación, es decir mientras posee mayores irregularidades, tendrá menos capacidad estructural” (p.17) [9].

También dependerá de la capacidad resistente que tienen los elementos estructurales y cómo se comportan ante las deformaciones y que cumplan con las distorsiones tolerables. Se le puede evaluar si le aplicamos cargas laterales monotónicas. De preferencia con el



siguiente patrón:

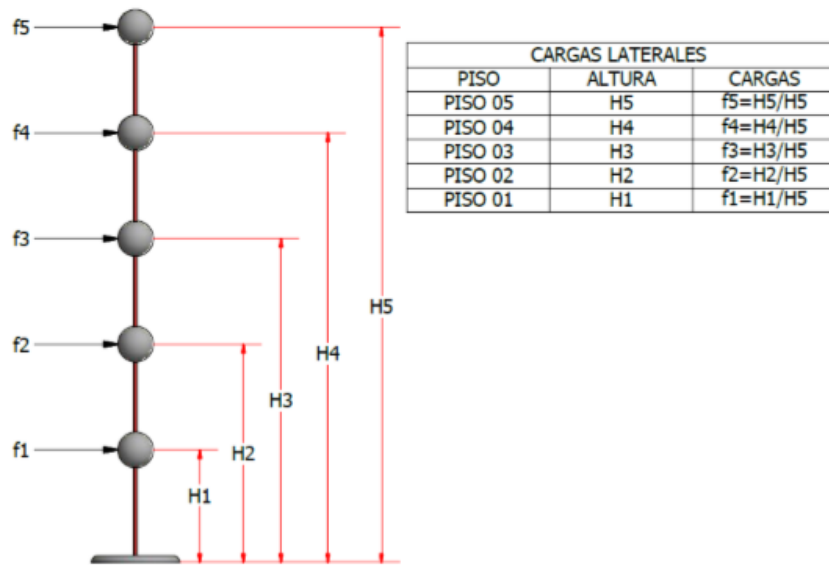


Fig. 7. Distribución de cargas

Nota: En la figura se muestra como calcular las cargas laterales aplicadas a una estructura que diferentes niveles. [9]

Marte (2014) lo determina como a que el elemento estructural sea capaz de soportar las cargas y cumpla su función estructural [37].

Medina, C y Medina, S, (2017) nos dicen que, para irregularidad estructural, se usarán los parámetros que ajusten el diseño en base a estas irregularidades que ocasionan un desempeño inadecuado en presencia de un sismo [23].

### Rotula Plástica

Paulay y Priestley (1992) definen como a la zona más concentrada de daño inelástico. A la rótula plástica se le considerará una longitud de 0.4-0.5 veces el peralte del elemento [38].

Calcina (2017) lo define como un dispositivo que amortigua la energía y ocasiona la deformación plástica y se utiliza para la descripción de la deformación en una viga bajo flexión [39].

## II. MATERIALES Y MÉTODO

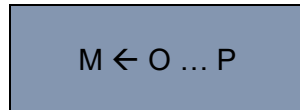
### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

## Tipo

La investigación se ubica dentro del paradigma positivista cuyo tipo es aplicada-descriptiva.

## Diseño

Se utilizará el diseño descriptivo simple con propuesta. Su esquema es el siguiente:



Donde:

M: Muestra (estructura con sistema aporticado)

O: Información a recoger (desempeño sísmico estructural)

P: Propuesta

## 2.2. Variables, Operacionalización

**Tabla VI**

**Operacionalización de la variable**

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Desempeño sísmico estructural en un sistema aporticado	Comportamiento estructural en un sistema aporticado bajo influencia de cargas de incremento lineal con la finalidad de categorizar el estado en el que se encuentra y prever las posibles fallas que se originan en la estructura bajo diferentes niveles sísmicos partiendo de un análisis previo aplicando el push-over.	Análisis estático no lineal mediante el software Etabs 2016 a una estructura con sistema aporticado	Desplazamientos máximos	Distorsiones máximas	Ver anexo 1	Ver anexo 2	mm	Numérica	De razón
				Excentricidad			mm		
				Cargas monotónicas			tn		
			Comportamiento sísmico	Curva de capacidad	Ver anexo 1	Ver anexo 2	mm vs tn	Numérica	De razón
Espectro de demanda	g vs mm								
Punto de desempeño	mm								
Niveles de desempeño	categoría								
Capacidad estructural				Irregularidad en planta	Ver anexo 1	Ver anexo 2	mm	Numérica	De razón
				Irregularidad en elevación			Mm		
				Ubicación de las rótulas plásticas			mm		

### **2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección**

#### **Población.**

La población de estudio está constituida por estructuras con un sistema aporticado cuyos elementos estructurales principales consisten en vigas y columnas conectadas a través de nudos formando pórticos resistentes en las dos direcciones principales de análisis.

#### **Muestra.**

Edificación con un sistema aporticado destinado a Comercio-Vivienda. Cuenta con 4 niveles y azotea con un área de 163.22 m<sup>2</sup>, con un concreto  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> y acero  $f_y$  de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, ubicado en la región Lambayeque, ciudad de Lambayeque, provincia de Lambayeque en la calle Paul Harris.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

#### Técnica de investigación

Para la técnica de gabinete se contará con los planos arquitectónicos y estructurales. Así como también documentos tales como tesis; libros; revistas y todo material bibliográfico con las que cuenta la Universidad Señor de Sipán.

#### Técnica de análisis de datos

Para el análisis de datos y obtención de resultados se utilizará el software Etabs 2016, normativas y ficha de registro de datos.

### **2.5. Procedimiento de análisis de datos**

El análisis estático no lineal considera la respuesta no lineal de los materiales. Este tipo de análisis son propuestos por el ATC-40 y FEMA 440. Ambos tienen en la característica común que la representación no lineal (Fuerza-Deformación) son representados por la curva capacidad.

Los máximos desplazamientos que puede presentar una estructura durante un movimiento sísmico, se determinan empleando espectros de respuesta inelástico.

Se analizará empleando un patrón de cargas laterales que va en incremento hasta

llegar a la capacidad máxima de la estructura. Empleando este proceso se tiene la posibilidad de identificar la sucesión de agrietamiento, así como también el fallo de los componentes, correspondientes a la curva capacidad

## 2.6. Criterios éticos

Los datos que generará esta investigación han sido exclusivamente para investigación científica y se cuenta con consentimiento informado.

La citación está realizada de acuerdo con las normas APA solicitadas por la universidad Señor de Sipán.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Resultados

Máximos desplazamientos

Los parámetros de distorsión, excentricidad y las fuerzas que actúan en cada nivel son mostradas en las siguientes tablas,

**Tabla VII**  
**Distorsiones máximas**

<b>DISTORSIONES MÁXIMAS</b>				
<b>Story</b>	<b>Load Case/Combo</b>	<b>Direction</b>	<b>Drift</b>	<b>Distorsiones &lt;=0.007</b>
<b>Azotea</b>	Derivas Max	X	0.04589	>0.007
<b>Azotea</b>	Derivas Max	Y	0.02359	>0.007
<b>Nivel 04</b>	Derivas Max	X	0.06560	>0.007
<b>Nivel 04</b>	Derivas Max	Y	0.03946	>0.007
<b>Nivel 03</b>	Derivas Max	X	0.07639	>0.007
<b>Nivel 03</b>	Derivas Max	Y	0.05136	>0.007

<b>Nivel 02</b>	Derivas Max	X	0.08313	>0.007
<b>Nivel 02</b>	Derivas Max	Y	0.05606	>0.007
<b>Nivel 01</b>	Derivas Max	X	0.11409	>0.007
<b>Nivel 01</b>	Derivas Max	Y	0.06257	>0.007

Nota: En la tabla se muestran los valores de las distorsiones que presenta la estructura a base de la normativa peruana.

Se evaluó las excentricidades en base al centro de masa como de rigidez de toda la edificación en general para prever los efectos de torsión originados por la aplicación de las fuerzas laterales producidas por los sismos. En la siguiente tabla se representan los valores obtenidos de las excentricidades de la edificación que se analizó.

**Tabla VIII**  
**Excentricidades en ambos sentidos**

<b>EXCENTRICIDADES</b>						
<b>STORY</b>	<b>CENTRO DE MASA</b>		<b>CENTRO DE RIGIDEZ</b>		<b>EXCENTRICIDAD</b>	
	<b>XCCM</b>	<b>YCCM</b>	<b>XCR</b>	<b>YCR</b>	<b>en x</b>	<b>en y</b>
	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>
<b>Nivel 01</b>	4.1884	10.043	6.0003	7.1572	1.8119	-2.8858
<b>Nivel 02</b>	4.1871	10.0566	5.7301	7.3765	1.543	-2.6801
<b>Nivel 03</b>	4.1871	10.0566	5.5453	7.5521	1.3582	-2.5045
<b>Nivel 04</b>	4.1871	10.0566	5.4156	7.7141	1.2285	-2.3425
<b>Azotea</b>	4.3927	9.681	5.2964	7.8915	0.9037	-1.7895

Nota: En la tabla se muestran los valores de las excentricidades de la edificación en ambos sentidos.

Se sometió a la estructura a un patrón de cargas mostrada en la siguiente tabla para la dirección X y la dirección Y, con la finalidad de simular las fuerzas sísmicas laterales correspondientes a sus direcciones las cuales se aplicarán a la estructura para consecuentemente encontrar la curva capacidad.

Tabla IX

Cargas monotónicas en ambos sentidos

CARGAS MONOTÓNICAS							
DIRECCIÓN "X"		Vx=	233.07 Tn				
Story	Load Case/Combo	PESO ACUMULADO	PESO DE ENTRE PISO "P"	ALTURA "H"	P*H	% DE CORTANTE E =P*H/Σ	FLX=%*Vx
Azotea	Peso Edificación	226.78	226.78	17.05	3,866.67 tn	0.2227	51.91
Nivel 04	Peso Edificación	595.69	368.91	13.90	5,127.84 tn	0.2954	68.85
Nivel 03	Peso Edificación	964.60	368.91	10.75	3,965.77 tn	0.2284	53.24
Nivel 02	Peso Edificación	1333.51	368.91	7.60	2,803.71 tn	0.1615	37.64
Nivel 01	Peso Edificación	1692.08	358.57	4.45	1,595.64 tn	0.0919	21.42
Σ TOTAL =					17,359.64 tn		
DIRECCIÓN "Y"		Vy=	510.56 Tn				
Story	Load Case/Combo	PESO ACUMULADO	PESO DE ENTREPISO "P"	ALTURA "H"	P*H	% DE CORTANTE =P*H/Σ	FLY=%*Vy
Azotea	Peso Edificación	226.78	226.78	17.05	3,866.67 tn	0.2227	113.72
Nivel 04	Peso Edificación	595.69	368.91	13.90	5,127.84 tn	0.2954	150.81
Nivel 03	Peso Edificación	964.60	368.91	10.75	3,965.77 tn	0.2284	116.64
Nivel 02	Peso Edificación	1333.51	368.91	7.60	2,803.71 tn	0.1615	82.46
Nivel 01	Peso Edificación	1692.08	358.57	4.45	1,595.64 tn	0.0919	46.93
Σ TOTAL =					17,359.64 tn		

Nota: En la tabla se muestran los valores de las que actuarán en todos los niveles de la edificación en ambos sentidos.

Después que la estructura fue sometida al análisis estático no lineal, se obtiene los valores de desplazamientos generados por las fuerzas cortantes indicados en la tabla X para la dirección X y la tabla XI para la dirección Y. Se observa que a medida que aumentan las

fuerzas laterales, la estructura se va desplazando aún más.

**Tabla X**  
**Coordenadas CP dirección X**

<b>CURVA CAPACIDAD</b>	
<b>COOR. PARA CURVA CAPACIDAD "X" (CORTANTE VS DESPLAZAMIENTOS)</b>	
<b>DESPLAZAMIENTO EN MM</b>	<b>CORTANTE EN TN</b>
<b>0.0000</b>	0.0000
<b>70.0000</b>	19.8551
<b>95.6070</b>	27.1185
<b>168.0730</b>	47.2745
<b>246.4390</b>	68.7073
<b>317.6980</b>	86.5710
<b>346.2890</b>	91.7016
<b>350.9220</b>	92.0339

Nota: En la tabla se muestran los valores de desplazamiento a cada fuerza aplicada correspondiente en toda la dirección X.

**Tabla XI**  
**Coordenadas CP dirección Y**

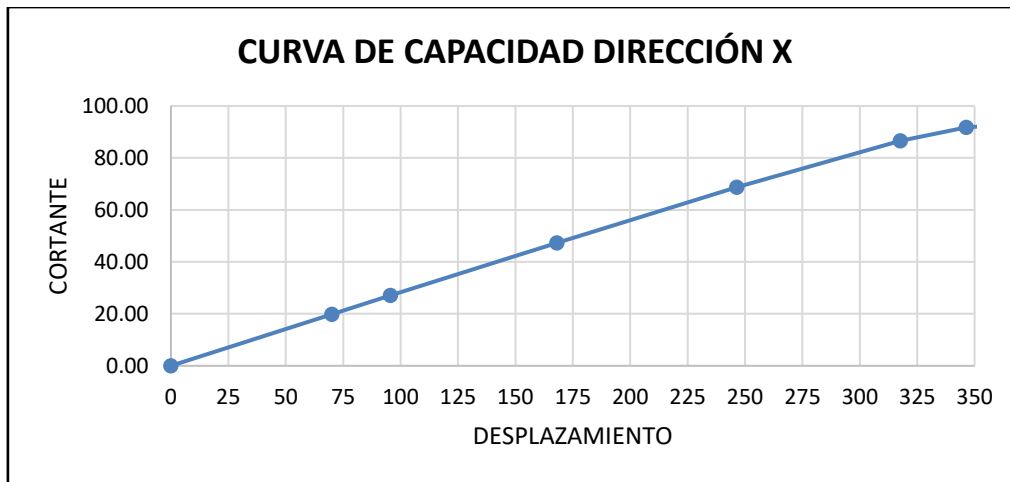
<b>CURVA CAPACIDAD</b>	
<b>COOR. PARA CURVA CAPACIDAD "Y" (CORTANTE VS DESPLAZAMIENTOS)</b>	
<b>DESPLAZAMIENTO EN MM</b>	<b>CORTANTE EN TN</b>
<b>0.0000</b>	0.0000
<b>7.0000</b>	13.3775
<b>14.0000</b>	26.7550
<b>21.0000</b>	40.1325
<b>23.4090</b>	44.7366



<b>32.6570</b>	60.6569
<b>44.3960</b>	77.9637
<b>51.9190</b>	88.3032
<b>59.5690</b>	98.1351
<b>67.0060</b>	107.2202
<b>76.9070</b>	118.5622
<b>85.5220</b>	127.8925
<b>94.0180</b>	137.3411
<b>101.5270</b>	145.0733
<b>112.4210</b>	155.3172
<b>121.0040</b>	163.0635
<b>130.8010</b>	171.4797
<b>138.3760</b>	177.7447
<b>145.9180</b>	183.8451
<b>146.7540</b>	184.5368
<b>146.7670</b>	184.5414
<b>153.9690</b>	190.1641
<b>161.5560</b>	195.9745
<b>168.6960</b>	201.1978
<b>175.9490</b>	206.3359
<b>183.7590</b>	211.6459
<b>185.5860</b>	212.8303

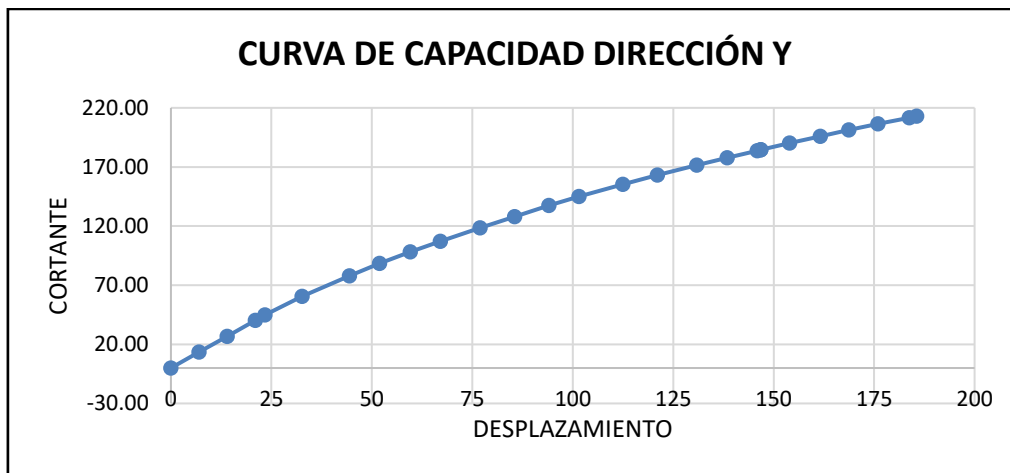
Nota: En la tabla se muestran los valores de desplazamiento a cada fuerza aplicada correspondiente en toda la dirección X´

Con los valores obtenido en ambas direcciones se puede dibujar la curva push-over o también llamada curva capacidad donde nos mostrara el comportamiento sísmico y como va desplazándose a medida que las cargas aumentan. En las siguientes figuras se observa el aumento de desplazamiento tanto en la dirección X y dirección Y respectivamente.



**Fig. 8.** Curva capacidad dirección X

Nota: En la figura se muestra el comportamiento de la estructura en el eje X sometido a las cargas laterales



**Fig. 9.** Curva capacidad dirección Y

Nota: En la figura se muestra el comportamiento de la estructura en el eje Y sometido a las cargas laterales.

### Punto de desempeño

Para ubicar el punto de desempeño es necesario una representación bilineal de la curva capacidad. Esta se puede obtener en coordenadas con el fin de poder ubicar de esta manera el punto de desempeño y poder sectorizarlo en la curva capacidad. En la siguiente tabla se muestra las coordenadas empezando desde el punto de fluencia hasta el desplazamiento final.

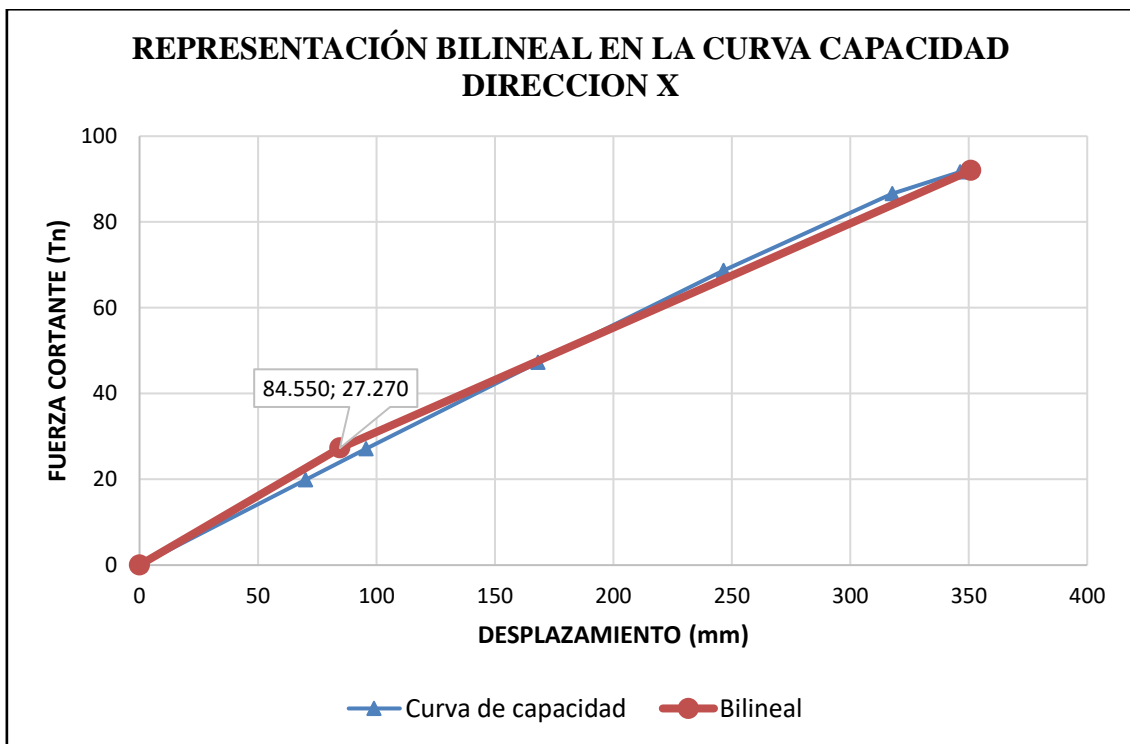
**Tabla XII**

**Cálculo del punto de intersección en la bilineal**

<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	<b>CORTANTE</b>
0	0
84.550	27.270
350.922	92.034

Nota: En la tabla nos muestra las coordenadas de interacción entre la curva capacidad y la gráfica bilineal.

Ubicamos el desplazamiento 84.55 mm para la dirección X en la curva capacidad teniendo así una representación bilineal mostrada en la siguiente figura. El principio para obtener la representación bilineal es que las áreas que abarcan tanto la curva capacidad como la gráfica bilineal sean las mismas.



**Fig. 10.** Representación bilineal dirección X

Nota: En la figura se muestra la interacción de la gráfica bilineal con la curva capacidad.

El mismo principio se aplica para la dirección Y teniendo como desplazamiento 43.580 mm a la cual también se le ubica en la representación bilineal mostrada en la siguiente figura.

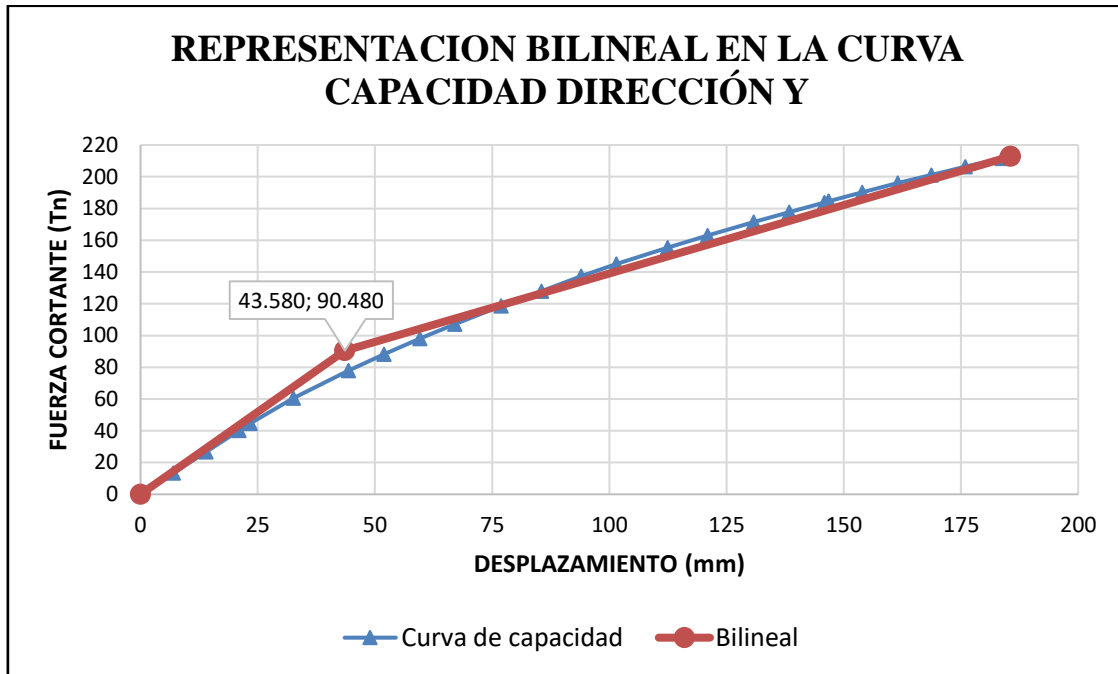
**Tabla XIII**

**Cálculo del punto de intersección en la bilineal**

<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	<b>CORTANTE</b>
------------------------	-----------------

0	0
43.580	90.480
185.586	212.830

Nota: En la tabla nos muestra las coordenadas de interacción entre la curva capacidad y la gráfica bilineal.

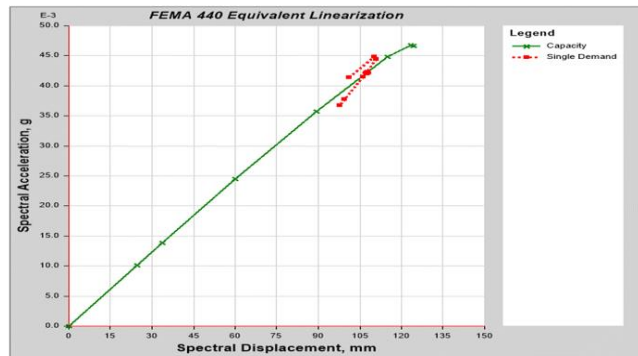


**Fig. 11.** Representación bilineal dirección Y

Nota: En la figura se muestra la interacción de la gráfica bilineal con la curva capacidad.

Con estos parámetros establecidos se procede hallar el desplazamiento máximo mediante el software Etabs 2016 como se muestra en la siguiente figura 12 de 296.935 mm y en la figura 13 de 347.615 mm, correspondiente al punto de desempeño en la dirección X con respecto a un porcentaje sísmico de 0.20g y 0.25g respectivamente. Ambos desplazamientos están en rango con sus respectivas curvas.

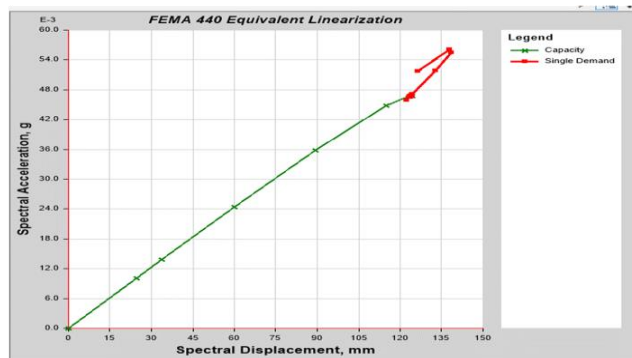
Plot Definition	
Plot Type	FEMA 440 EL
Load Case	Push-Over "X"
Legend Type	Integrated
Plot Settings	
Plot Axis Type	Sa - Sd
Show Associated Demand	Yes
Demand Spectrum	
Spectrum Source	Defined Function
Function Name	Sa R=1
SF (mm/sec <sup>2</sup> )	1962
Damping Parameters	
Damping Ratio	0.05
Effective Damping	Default Value
Period Parameters	
Effective Period	Default Value
Capacity Spectrum Curve	
Family of Demand Spectra	
Single Demand Spectrum	
Constant Period Lines	
Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (tonf)	81.3659
Displacement (mm)	238.335
Sa (g)	0.04217
Sd (mm)	107.379
T secant (sec)	3.2
T effective (sec)	3.461
Ductility Ratio	1.781209
Damping Ratio, Beff	0.0747
Modification Factor, M	1.170697



**Fig. 12.** Desplazamiento máximo para 0.20g dirección X

Nota: En esta figura nos muestra el resultado en la dirección X usando el programa Etabs 2016 para una aceleración de 0.20g

Name	
Name	Pushover2
Plot Definition	
Plot Type	FEMA 440 EL
Load Case	Push-Over "X"
Legend Type	Stand Alone
Plot Settings	
Plot Axis Type	Sa - Sd
Show Associated Demand	Yes
Demand Spectrum	
Spectrum Source	Defined Function
Function Name	Sa R=1
SF (mm/sec <sup>2</sup> )	2452.5
Damping Parameters	
Damping Ratio	0.05
Effective Damping	Default Value
Period Parameters	
Effective Period	Default Value
Capacity Spectrum Curve	
Family of Demand Spectra	
Single Demand Spectrum	
Constant Period Lines	
Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (tonf)	51.7967
Displacement (mm)	347.615
Sa (g)	0.046771
Sd (mm)	123.757
T secant (sec)	3.264
T effective (sec)	3.295
Ductility Ratio	1.514758
Damping Ratio, Beff	0.0615
Modification Factor, M	1.013179



**Fig. 13.** Desplazamiento máximo para 0.25g dirección X

Nota: En esta figura nos muestra el resultado en la dirección X usando el programa Etabs 2016 para una aceleración de 0.25g

Mediante el desplazamiento máximo obtenido tanto para un 0.20g (sismo frecuente) y 0.25g (sismo ocasional) se puede interceptar la coordenada y así poder obtener la ubicación del punto de desempeño en la curva. En la siguiente tabla se muestra el siguiente resultado respectivamente al porcentaje sísmico.

**Tabla XIV**

**Coordenada del punto de desempeño en la bilineal**

<b>Desplazamiento (Máximo)</b>	<b>Punto de intercepción en Bilineal</b>
296.935	78.908
347.615	91.230

Nota: En la tabla nos muestra las coordenadas en la curva capacidad definiendo el punto de desempeño de la estructura y su sectorización.

Finalmente se obtiene el punto de desempeño en la bilineal correspondiente al desplazamiento máximo que se origina al someter a la estructura a niveles sísmicos de 0.20g (sismo frecuente) y 0.25g (sismo ocasional) y se procede a sectorizar la curva de capacidad para verificar en qué nivel de desempeño se encuentra la estructura; tal y como se muestra en la figura 14 para un sismo frecuente y la figura 15 para un sismo ocasional. Tomando los valores de partida de la bilineal como puntos de fluencia, podemos determinar la sectorización de los niveles de desempeño estructural y relacionarla para niveles de sismo correspondientes a los porcentajes establecidos.

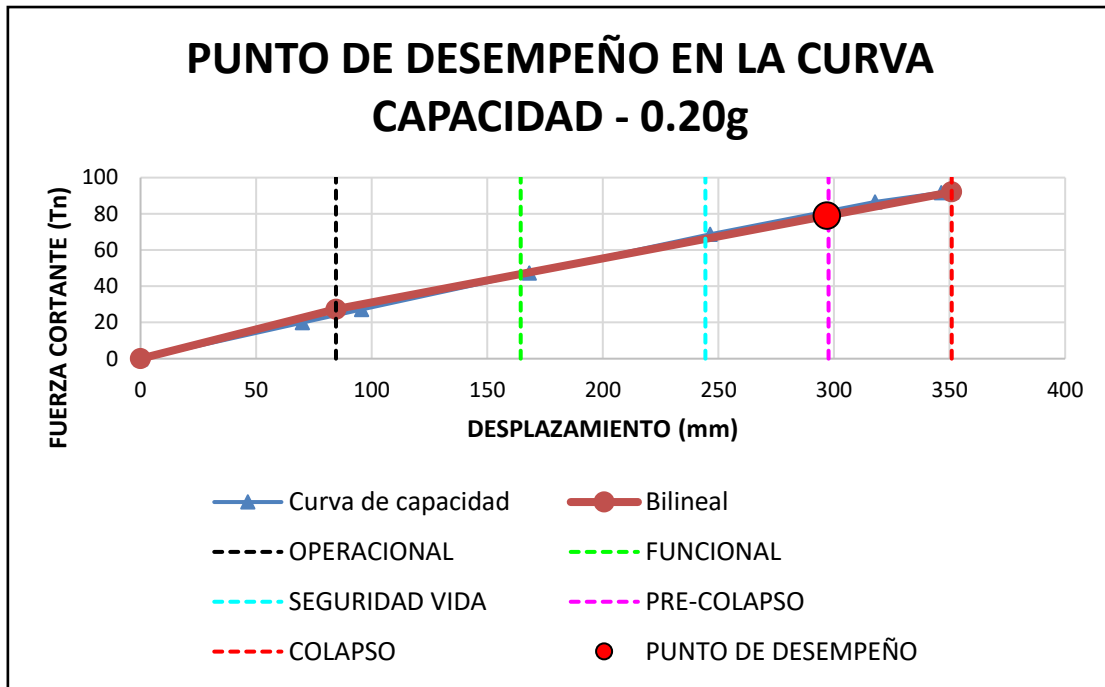
**Tabla XV**

**Cálculo del punto de intersección en la bilineal para la dirección X**

		<b>DESPLAZAMIENTOS (mm)</b>	
<b>OPERACIONAL</b>	$\Delta FE$	0.000	84.550
<b>FUNCIONAL</b>	$0.30\Delta p$	84.550	164.462
<b>SEGURIDAD VIDA</b>	$0.30\Delta FE$	164.462	244.373
<b>PRE-COLAPSO</b>	$0.20\Delta FE$	244.373	297.648
<b>COLAPSO</b>	$0.20\Delta FE$	297.648	350.922

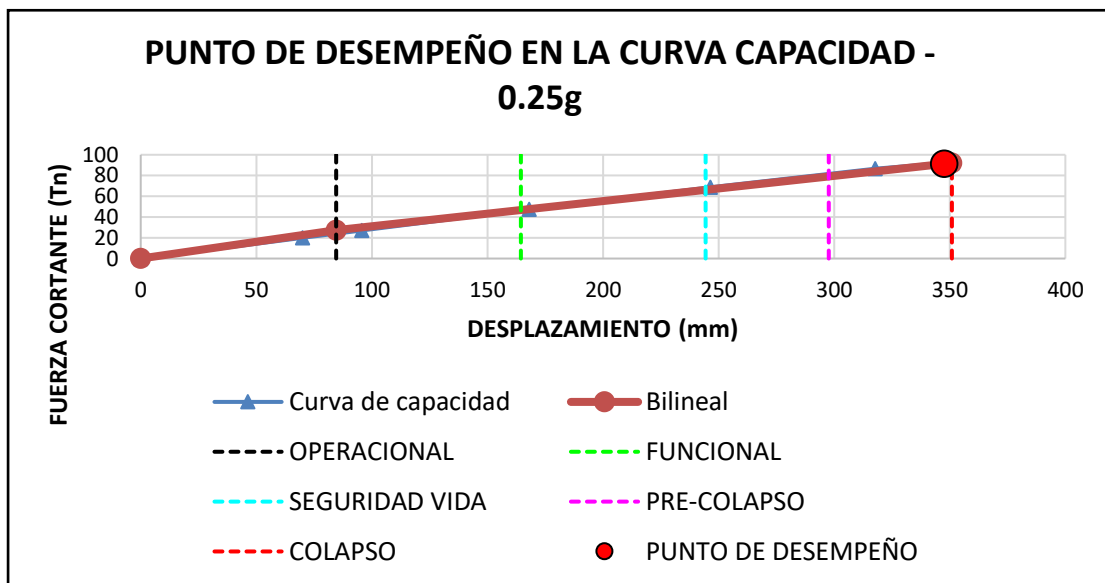
Nota: En la tabla nos muestra los rangos de desplazamientos para ser ubicados en la sectorización de la estructura para la dirección X.

Obtenidos los parámetros de desplazamiento respecto a los niveles de desempeño, se interceptan respecto a un sismo de 0.20g y 0.25g, los desplazamientos de 296.935 mm y 347.615 mm cuya cortante en la bilineal es 78.908 tn y 91.230 tn respectivamente.



**Fig. 14.** Punto de desempeño en la curva capacidad para un sismo frecuente dirección X.

Nota: En la figura se muestra el punto de desempeño en la curva capacidad en dirección X con una aceleración del 0.20g.



**Fig. 15.** Punto de desempeño en la curva capacidad para un sismo ocasional dirección X.

Nota: En la figura se muestra el punto de desempeño en la curva capacidad en dirección X con una aceleración del 0.25g.

Para la dirección X respecto a un sismo de 0.20g y 0.25g con desplazamiento de 296.935 mm y 347.615mm le corresponde un nivel de desempeño ubicada en la curva capacidad de precolapso y colapso respectivamente.

Tabla XVI

Resultado del nivel de desempeño respecto al nivel sísmico en la dirección X

**DIRECCIÓN "X"**

NIVEL DEL SISMO	NIVELES DE DESEMPEÑO				
	OPERACIONAL	FUNCIONAL	SEGURIDAD VIDA	PRE-COLAPSO	COLAPSO
FRECUENTE (0.20g)					
OCACIONAL (0.25g)					
RARO (0.40g)					
MUY RARO (0.50g)					

Nota: En la tabla se resuelve el desempeño de la estructura después del análisis para diferentes niveles de sismo en la dirección X

En la dirección Y se analizó con un sismo frecuente obteniéndose un desplazamiento de 300.00 mm con una cortante de 311.408 tn. Los rangos establecidos del nivel sísmico en la bilineal para la dirección Y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XVII

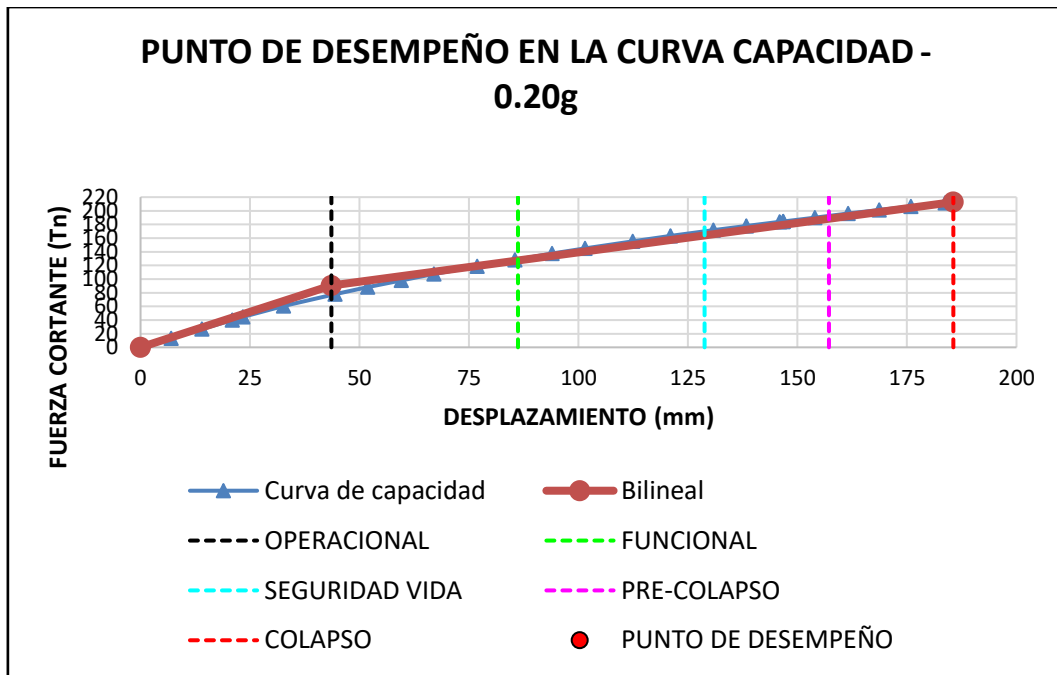
**Cálculo del punto de intersección en la bilineal para la dirección Y**

		DESPLAZAMAMIENTOS (mm)	
OPERACIONAL	$\Delta FE$	0.000	43.580
FUNCIONAL	$0.30\Delta p$	43.580	86.182
SEGURIDAD VIDA	$0.30\Delta FE$	86.182	128.784
PRE-COLAPSO	$0.20\Delta FE$	128.784	157.185
COLAPSO	$0.20\Delta FE$	157.185	185.586

Nota: En la tabla nos muestra los rangos de desplazamientos para ser ubicados en la sectorización de la estructura para la dirección Y

El desplazamiento máximo que obtenemos al aplicar un sismo frecuente en la dirección Y es de 300.00 mm; fuera de rango en la curva capacidad obteniendo un nivel de desempeño de colapso.





**Fig. 16.** Punto de desempeño en la curva capacidad para un sismo frecuente dirección Y

Nota: En la figura se muestra el punto de desempeño en la curva capacidad en dirección X con una aceleración del 0.20g.

**Tabla XVIII**

**Resultado del nivel de desempeño respecto al nivel sísmico en la dirección Y**

**DIRECCIÓN "Y"**

NIVEL DEL SISMO	NIVELES DE DESEMPEÑO				
	OPERACIONAL	FUNCIONAL	SEGURIDAD VIDA	PRE-COLAPSO	COLAPSO
FRECUENTE (0.20g)					
OCACIONAL (0.25g)					
RARO (0.40g)					
MUY RARO (0.50g)					

Nota: En la tabla se resuelve el desempeño de la estructura después del análisis para diferentes niveles de sismo en la dirección Y

**Irregularidades en la estructura y ubicación de las rotulas**

Se analizó la estructura para verificar la continuidad que tienen los elementos verticales y horizontales tanto en planta como elevación. Aun cuando en elevación la estructura presenta una correcta distribución, en planta presenta irregularidades torsionales

respecto a las derivas de la estructura como se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla XIX**

**Irregularidad torsional en dirección X**

DESPLAZAMIENTOS EN X (m)					
Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M. VERIFICACION					
Nivel	Max	Centro Masa			
	Drift				
Azotea	0.1445	0.1238	1.1672	<1.2 DES. CM	REGULAR
Nivel 04	0.2066	0.1168	1.7695	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR
Nivel 03	0.2406	0.1007	2.3896	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR
Nivel 02	0.2619	0.0783	3.3423	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR
Nivel 01	0.5077	0.0361	14.0784	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR

Nota: En la tabla se muestran las irregularidades que presenta la edificación en la dirección X.

**Tabla XX**

**Irregularidad torsional en la dirección Y**

DESPLAZAMIENTOS EN Y (m)					
Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M. VERIFICACION					
Nivel	Max	Centro Masa			
	Drift				
Azotea	0.0743	0.0959	0.7751	<1.2 DES. CM	REGULAR
Nivel 04	0.1243	0.0891	1.3958	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR
Nivel 03	0.1618	0.0755	2.1417	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR
Nivel 02	0.1766	0.0568	3.1066	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR
Nivel 01	0.2784	0.0245	11.3846	>=1.2 DES. CM	IRREGULAR

Nota: En la tabla se muestran las irregularidades que presenta la edificación en la dirección Y.

En elevación no presenta problemas con las irregularidades, se verifico por piso blando debido al sistema el cual se tomó en consideración, obteniendo los resultados mostrados en las siguientes tablas.

**Tabla XXI**

**Irregularidad de rigidez - piso blando dirección X**

NIVELES	DERIVAS	CORTANTE	RIGIDEZ	VERIFICACIÓN
		(TN)	(TN/M)	

Azotea	0.095864	189.7651	628.42	K. inf > 70% K. Sup	K. inf > 80% K. Prom 3 Sup		
Nivel 04	0.089052	462.8209	1649.91	262.55%	CUMPLE		
Nivel 03	0.075535	681.8315	2865.61	173.68%	CUMPLE		
Nivel 02	0.056839	850.1372	4748.23	165.70%	CUMPLE		
Nivel 01	0.024457	965.6398	8872.51	186.86%	CUMPLE	93.13%	CUMPLE

Nota: En la tabla se muestran los resultados de la evaluación de la estructura en el eje X.

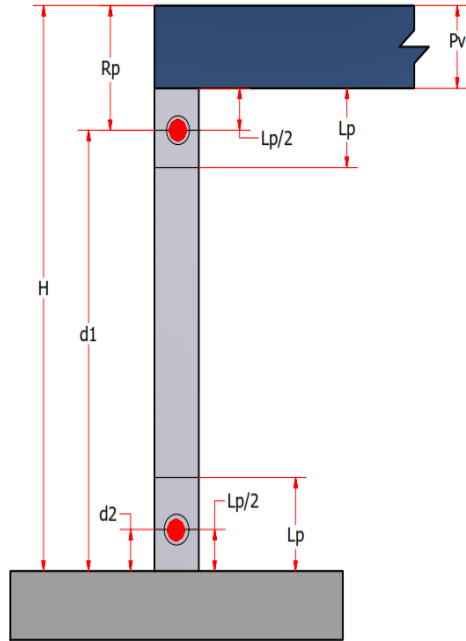
**Tabla XXII**

**Irregularidad de rigidez - piso blando dirección Y**

NIVELES	DERIVAS	CORTANTE	RIGIDEZ	VERIFICACIÓN			
		(TN)	(TN/M)				
Azotea	0.095864	315.9802	1046.39	K. inf > 70% K. Sup	K. inf > 70% K. Sup		
Nivel 04	0.089052	786.2324	2802.84	267.86%	CUMPLE		
Nivel 03	0.075535	1169.5173	4915.26	175.37%	CUMPLE		
Nivel 02	0.056839	1458.2253	8144.55	165.70%	CUMPLE		
Nivel 01	0.024457	1643.7333	15102.98	185.44%	CUMPLE	91.36%	CUMPLE

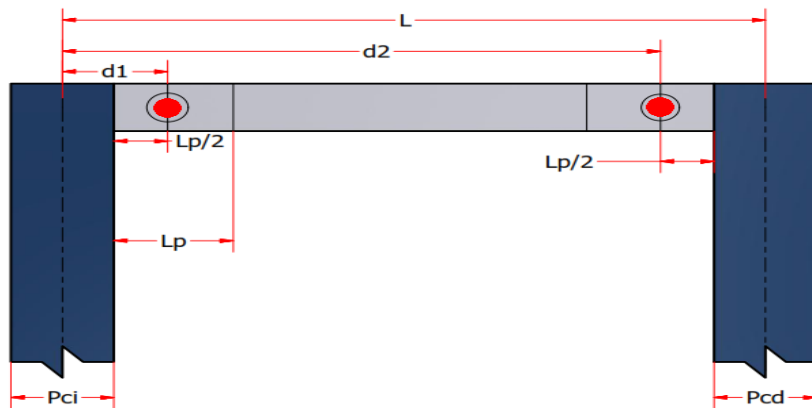
Nota: En la tabla se muestran los resultados de la evaluación de la estructura en el eje Y.

Para el análisis se asignan las rótulas plásticas a los elementos estructurales del sistema, en este caso la columna y la viga mostrada en las siguientes figuras, con el fin de ubicar el punto de fallo. En las siguientes tablas se aprecia los resultados a una distancia calculada lo cual le corresponde a cada elemento del sistema.



**Fig. 17.** Ubicación de rotula plástica en columna

Nota: En la figura se aprecia los parámetros a calcular para el elemento estructural en este caso la columna.



**Fig. 18.** Ubicación de rotula plástica en viga

Nota: En la figura se aprecia los parámetros a calcular para el elemento estructural en este caso la viga.

**Tabla XXIII**

**Distancia de rótula plástica en columna**

	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
Longitud de la columna	445	cm	14.60	ft
Diámetro del acero usado	5/8	pulg	0.05	ft
Fluencia del acero	4200	kg/cm <sup>2</sup>	59.74	ksi
<b>LONGITUD PLÁSTICA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
$L_p = 0.08L + 0.15F_y(\phi b)$	49.83	cm	1.63	ft
$L_p = 0.3F_y(\phi b)$	28.45	cm	0.93	ft
<b>MENOR VALOR</b>	<b>30.00</b>	<b>cm</b>	<b>0.93</b>	<b>ft</b>

Nota: En la tabla se muestran los valores calculados para el elemento estructural en este caso la columna.

**Tabla XXIV**

**Distancia de rótula plástica en viga**

DATOS	NOMENCLATURA	DATO	UNIDAD
1. LONGITUD DE VIGA	L	573	cm
2. LONGITUD PLASTICAS ASUMIDA EN VIGA	L <sub>p</sub>	60	cm
3a. ESPESOR DE COLUMNA	P <sub>ci</sub>	50	cm
4a. ESPESOR MEDIO DE COLUMNA (A)	P <sub>ci</sub> /2	25	cm

5a. LONGITUD PLÁSTICA MEDIA	$L_p/2$	30	cm
3b. ESPESOR DE COLUMNA (B)	$P_{ci}$	50	cm
4b. ESPESOR MEDIO DE COLUMNA (B)	$P_{ci}/2$	25	cm
5b. LONGITUD PLÁSTICA MEDIA	$L_p/2$	30	cm
6. RÓTULA PLÁSTICA	$R_p$	55	cm
7. PORCENTAJE DE RÓTULA PLÁSTICA CERCA AL EJE	$d_1$	0.10	
8. PORCENTAJE DE RÓTULA PLÁSTICA ALEJADO AL EJE	$d_2$	0.90	

Nota: En la tabla se muestran los valores calculados para el elemento estructural en este caso la viga.

### 3.2. Discusión

Una de las comparaciones en resultados con respecto a otros proyectos es la edificación analizada por Huaman (2016), el cual encontró el desempeño de la edificación de la UCV-Chiclayo. El aporte que plantea es que, al emplear este tipo de análisis, aumenta significativamente el desempeño estructural debido a que identifica los lugares de falla en los elementos estructurales. Casos como en el proyecto de la edificación de la UCV-Chiclayo, expone que a pesar de las altas derivas presentes en la edificación pudo encontrar con más eficacia los lugares en donde debería reforzar los elementos que van a fallar. Los resultados obtenidos no difieren mucho respecto al desempeño encontrado en la edificación en estudio, al contrario, refuerza la importancia del aporte de este método de análisis.

Al analizar la estructura se encontraron algunas irregularidades presentes ya sea por

el sistema estructural que lo vuelve más frágil a comparación con los demás, también a la estructuración lo cual presento irregularidades en algunos sentidos de la edificación lo que lo vuelve más vulnerable a los fallos bajo eventos sísmicos. Lo que refuerza lo expuesto por Duran et al., ( 2020) sobre resaltar que una mala configuración estructural perjudica a los elementos que la conforman añadiendole muchas mas carga de lo que pueden soportar. Esto permitio que de como resultado al analizar la estructura, distorciones elevadas a lo normado en este país.

Si bien es cierto el análisis que se emplea dieron resultados poco favorables respecto a la estructura ubicandola en un nivel de desempeño de pre colapso, se rescata que gracias al procedimiento del modelado se identificaron las partes de la estructura posibles a fallar. Resaltando asi tal como lo hizo Marino et al., (2019) en su investigación que gracias al análisis estático no lineal se obtiene una mas clara y detalla respuesta sísmica de la estructura bajo elementos modifcables como lo son la columnas y vigas para este sistema. Sin embargo el control que se realiza en su investigación no serian suficientes para este sistema ya que los desplazamientos que se obtuvieron varian demasiado. Sin embargo para Aroquipa, H y Hurtado, A, (2022) en su investigación consideran que al realizar un análisis pushover, les resultara mas sencillo el reacondicionamiento de niveles que se definen en objetivos de rendimientos como lo son la ocupación inmediata y la seguridad de la vida. Pero esto solo deberia ser aplicable cuando la estructura presente bajos indice de deformación, ya que una rehabilitación para un estructura tan ductil como lo son los pórticos seria mas complicado por la falta de rigidez en sus elementos. A pesar del control en algunas edificaciones es preferible optar por cambiar el sistema estructural asegurando asi la operacionalidad total y el resguardo de vida lo cual no se presenta en los resultados arrojados en este análisis en porticos.

Al obtener una estructura tan ductil en el análisis, ubicandola en un nivel de precolapso, lo que se requiere es tener que controlar esas altas deformaciones sin exceder en lo económico. Al ser una propuesta de pre ejecución se tiene la facilidad de implementar elementos que controlen estas deformaciones tal y como lo explica Piscal y López (2019) en su investigación optando por aisladores sísmicos cumpliendo el objetivo de separar la

edificación del suelo con tal de controlar la demanda sísmica y con esto los daños excesivos en la estructura principal. Al darse un daño considerable en la estructura, el optar por los aisladores sería la mejor opción sin embargo sería poco factible para la edificación debido a que la estructura analizada no es una edificación que requiera tal gasto económico ni tampoco de muchos niveles referente a la altura. Sin embargo la opción por optar tal elemento de aislamiento sería beneficioso para proyectos de gran envergadura y ya que este análisis no solo se limita a proyectos pequeños, no es impensable el considerarlo.

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

Con respecto al objetivo específico 1, identificar los máximos desplazamientos que se producen en una edificación con sistema aporticado, se determinó que a medida que las fuerzas laterales se incrementan, los desplazamientos aumentan proporcionalmente para ambas direcciones siendo el máximo desplazamiento que se registra en la estructura con un sistema aporticado en la dirección X es de 350.922 mm y para Y es de 185.5860.

Con respecto al objetivo específico 2, estimar el punto de desempeño de una edificación con sistema aporticado vía el análisis push-over, se evaluó para diferentes niveles sísmicos en ambas direcciones, obteniendo que para un sismo frecuente (0.20g) en la dirección X el punto de desempeño está ubicado en la coordenada desplazamiento vs cortante (296.935,78.908), ubicándose en un nivel de desempeño de precolapso. Para la dirección Y con un nivel sísmico frecuente (0.20g) el punto de desempeño está ubicado en la coordenada (300.000,311.408) encontrándose fuera del rango de desempeño y concluyendo con el colapso de la estructura en esa dirección.

Respecto al objetivo específico 3, analizar la capacidad estructural dado por la irregularidad de la edificación y las fuerzas laterales, se concluye que la estructura presenta irregularidades en planta en ambas direcciones, sin embargo, es regular en elevación cumpliendo con los parámetros de irregularidades por piso blando, piso débil, masa o peso.

### **4.2. Recomendaciones**



. Las recomendaciones para el objetivo específico 1, debido a que la estructura presenta distorsiones elevadas se recomienda aumentar los refuerzos en los elementos estructurales, así como las secciones y/o añadiéndoles nuevos elementos ya que es muy dúctil y está sujeta a altos desplazamientos, con la finalidad de que aporten rigidez a la estructura. También se puede optar por el confinamiento de columnas con la finalidad de lograr un aumento de capacidad de deformación y obtener menores desplazamientos y mejor control bajo efectos de las fuerzas sísmicas.

Las recomendaciones para el objetivo específico 2, debido a que los puntos de desempeños están dentro de los parámetros menos óptimos para la estructura y estos están sujetos al comportamiento del sistema estructural, se recomienda un reforzamiento estructural por medio de placas o elementos que aporten rigidez al sistema, esto origina que el punto de desempeño se mantenga dentro del rango óptimo cuyo nivel de desempeño estructural sería operacional o funcional. Otra recomendación bajo los resultados del nivel de desempeño, es señalar la estructura terminada, debido que, al ser una edificación de uso comercial y vivienda, la cantidad de gente recurrente es mayor y al tener mejor señalización da la oportunidad a una evacuación rápida bajo evento sísmico.

Las recomendaciones para el objetivo específico 3, respecto a las irregularidades que se presentan en la estructura, se recomiendan mejorar el diseño estructural teniendo en cuenta las irregularidades en planta que es lo único que presenta la estructura analizada, una mejor distribución de los elementos estructurales ayudará a que la estructura tenga un mejor comportamiento o el cambio del uso de la estructura modificando así las cargas y las masas que presenta.

## REFERENCIAS

- [1] A. Moya, «Scenario for Strong Earthquakes in the Central Valley of Costa Rica,» *Ingeniería*, pp. 29(2), 12-31, 2019.
- [2] Duran, B; Tumaboyo, O y Avsa, O, «Structural Failure Evaluation of a Substandard RC Building due to Basement Story Short-Column Damage,» *Journal of Performance of Constructed Facilities*, pp. 34(4), Article number 04020053, 2020.
- [3] E. Flores, «Evaluation of the earthquake-resistant performance of a building using Pushover Nonlinear Static Analysis: Case study,» *JOURNAL BOLIVIANO DE CIENCIAS*, pp. 17(50), 56-90, 2021.
- [4] Cagua, B; Pilatasig, J; Aguilar, R y Morales, C, «Nonlinear Behavior of Steel Frames with Concentric and Eccentric Bracing,» *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1756, p. 3245, 2023.
- [5] Marino,E; Barbagallo, F; Angiolilli, M; Belletti, B; Camata, G; Dellapina, C; Di Domenico, M; Fiorentino, G; Gregori, A; Lavorato, D; Lima, C y Martinelli, E, «Influence of nonlinear modeling on capacity assessment of RC framed structures,» *COMPADYN Proceedings*, vol. 2, nº 7, pp. 2781-2795, 2019.
- [6] Aroquipa, H y Hurtado, A, «Incremental seismic retrofitting for essential facilities using performance objectives: A case study of the 780-PRE school buildings in Peru,» *Journal of Building Engineering*, vol. 62, nº 105387, 2022.
- [7] E. Paredes, «EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE MUROS ESTRUCTURALES DE 14 NIVELES MEDIANTE ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL "PUSHOVER", TRUJILLO 2020.,» UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE - FACULTAD DE INGENIERÍA -

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, Trujillo, 2020.

- [8] N. Fuentes, «DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE CINCO NIVELES DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL "PUSHOVER",» UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, Huaraz, 2018.
- [9] J. A. Huaman, «Predicción del comportamiento sísmico por desplazamiento mediante el análisis estático no lineal en las edificaciones de la Univerisdad Cesar Vallejo - Chiclayo,» Escuela de Postgrado - Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, 2016.
- [10] Arruda, R; Lopes, B; Ferreira, M y Zingaila, T, «Influence of Shear Flexibility in Structural Shear Walls on Pushover Analysis.,» *Mechanika*, pp. 26(2), 146-152, 2020.
- [11] Snoj, J y Dolšek, M, «Pushover-based seismic risk assessment and loss estimation of masonry buildings,» *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, pp. 49(6), 567-588, 2020.
- [12] Piscal, M y López, F, «Comparación de las dos metodologías de análisis y diseño más recientes de ASCE 7, para el análisis de su posible empleo en edificaciones con aislamiento sísmico de base en Colombia,» *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*, pp. 37(1), 57-70, 2019.
- [13] S. Diaz, L. Pujades, L. Pinzón y Y. Vargas, «Un enfoque alternativo para tomar en cuenta el efecto de la direccionalidad sísmica,» *Revista ingeniería de construcción*, pp. 33(3), 279-290, 2018.
- [14] Tanganelli, M; Rotunno, T; Cardinali, V y Viti, S, «Public Housing in Florence: Seismic Assessment of Masonry Buildings,» *Procedia Structural Integrity*, vol. 11, pp. 266-273, 2018.

- [15] Venerito, M; Foti, D y Vitti, M, «On the static and dynamic behavior of a prehistoric structure typical of Apulia in Italy,» *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 480-490, 2017.
- [16] López, A; Tomás, A y Sánchez, G, «Influencia del tipo de rótula plástica en el análisis no lineal de estructuras de hormigón armado,» *Hormigón y Acero*, pp. 68(282), 107-119, 2017.
- [17] Tezcan, S; Tambe, N; Muir, C; Aguilar, R y Perucchio, R, «Nonlinear FE Analysis of the Response to Lateral Accelerations of the Triumphal Arch of the Church of Andahuaylillas, Peru,» *Structural Analysis of Historical Constructions*, vol. 18, pp. 1301-1309, 2019.
- [18] Aguilar, R; Noel, M y Ramos, L, «Integration of reverse engineering and non-linear numerical analysis for the seismic assessment of historical adobe buildings,» *Automation in Construction*, pp. 98, 1-15, 2019.
- [19] Noel, M; Moreira, S; Briceño, C; López, H y Aguilar, R, «Seismic Assessment of the Church of San Sebastian in Cusco, Peru by Means of Pushover Nonlinear Analysis,» *Structural Analysis of Historical Constructions*, vol. 18, pp. 1462-1470, 2019.
- [20] FEMA356, PRESTANDARD AND COMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS, Washington: s.n., 2000. 518, 2000.
- [21] L. A. Cristiano, «Comparación del efecto P-DELTA y la deriva en estructuras de concreto analizado en una zona de amenaza sísmica baja que cumplen los requisitos de deriva de la NSR-98,» Facultad de Ingeniería civil- Escuela de Ingeniería y Administración-Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, 2008.
- [22] E030, «Diseño Sismoresistente,» Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima, 2018.

- [23] Medina, C y Medina, S, «Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión en Estructuras Irregulares,» *Revista Politécnica*, pp. 39(2), 51-60, 2017.
- [24] García, J y Tapia, E, «Respuesta inelástica de marcos dúctiles con contraviento excéntrico,» *Ingeniería sísmica*, pp. (100), 51-70, 2019.
- [25] H. Siniesterra, «Determinación del desempeño sísmico para edificios en pórticos de concreto reforzado diseñados bajo la norma de diseño sísmo resistente C.C.C.S.R. 84,» Facultad de Ingeniería-Pontificia Universidad javeriana, Santiago de Cali, 2017.
- [26] C. Comartin, Seismic evaluation and retrofi of concrete buildings Volumen 1, ATC-40, California : Report SCC 96-01, 1996 .
- [27] R. Aguilar, «Análisis Sísmico por Desempeño,» Centro de Investigaciones Científicas- Escuela Politécnica del Ejército, Quito, 2003.
- [28] Grassi, A y Rivera, I, «Probable seismic damages in Los Andes University Hospital using the capacity spectrum method,» *Revista Ciencia e Ingeniería* , pp. 21(2), 31-35, 2000.
- [29] Aguilar, R; Mora, D; Serrano, S; Vera, D;Rodriguez, M y Paez, 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 de construcción*, pp. 32(3), 113-130, 2017.
- [30] S. Casimiro, «Desempeño sísmico de edificaciones bajo el sismo de nivel ocasional,» Sección de Posgrado-Facultad de Ingeniería Civil- Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2012.
- [31] L. Merino, «Desempeño sismoresistente del edificio 4J de la Universidad Nacional de Cajamarca,» ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE

INGENIERÍA CIVIL-FACULTAD DE INGENIERÍA-UNIVERSIDAD DE CAJAMARCA, Cajamarca, 2014.

- [32] M. I. Bolaños, «Desempeño sismoresistente de edificio 4f de la Universidad Nacional de Cajamarca,» Facultad de ingeniería-Escuela académico profesional de ingeniería civil-Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2015.
- [33] Medina, R y Music, J, «Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena,» *Obras y proyectos*, pp. (23), 63-77, 2018.
- [34] SEAOC, Performance Based Seismic Engineering of Buildings, California: Visión 2000, 1995.
- [35] Allauca, L y Oue, T, «DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO APORTICADO DE CINCO PISOS DISEÑADO CON LAS NORMAS PERUANAS DE EDIFICACIONES,» FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA-PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima, 2006.
- [36] Alcántara, K y Navarte, C, «DESEMPEÑO ESTRUCTURAL APLICANDO LA NORMA ATC-40 PARA EL REFORZAMIENTO DEL PABELLON "MONOBLOCK" DEL INSTITUTO NACIONAL DE SALUD DEL NIÑO (BREÑA-LIMA),» ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL-FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA-UNIVERSIDAD SAN MARTIN DE PORRES, LIMA, 2016.
- [37] C. J. Marte, «CALIBRACIÓN DE UMBRALES DE DAÑO SÍSMICO PARA EL ANÁLISIS DE FRAGILIDAD SÍSMICA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL ("PUSH-OVER"),» Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona-UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Cataluña, 2014.

- [38] Paulay, T; Priestley, M.J.N, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, New York: John Wiley and Sons, 1992.
- [39] R. M. Calcina, «EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE ONCE PISOS UTILIZANDO ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO NO-LINEAL,» ESCUELA DE POSTGRADO-UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, TACNA, 2017.
- [40] Herrera, R; Saba, M; Mendoza, E & Ugel, R, «SEISMIC VULNERABILITY OF A FRAME BUILDING OF REINFORCED CONCRETE OF 5 LEVELS, WITH IRREGULARITY ON PLAN T AND VARIATIONS IN FLOOR DIAPHRAGM,» *Saber*, pp. 28(2), 304-311, 2016.

# ANEXOS

## Anexo 1



### UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN

FACULTAD DE INGENIERIA ARQUITECTURA Y URBANISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO DE DATOS PARA EL DESEMPEÑO SÍSMICO EN UN SISTEMA APORTICADO

Datos generales

Título de tesis :	DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL EN UN SISTEMA APORTICADO MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL
Investigador :	AGUILAR MONTEZA LUIS JOB
Fecha :	09/07/2019
Datos de la edificación :	a) Edificación conformado por porticos resistentes en ambas direcciones. b) Edificación con un número de pisos mayor a 4 niveles. c) Edificación ubicado en el departamento de Lambayeque.

Objetivo

Recopilar información para demostrar el desempeño sísmico estructural en un sistema aporticado vía análisis estático no lineal
--

Instrucciones

a) Previo análisis, determinar los parámetros sísmicos según Norma E 0.30. b) Verificar que los elementos estructurales tengan las dimensiones conforme a lo detallado en los planos. c) Corroborar que los datos obtenidos en el análisis cumplan con los parámetros normalizados. d) El análisis se hará para la parte mas elevada de la edificación.
--

A.- DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

A.1.- INDICADOR 1

DISTORSIONES MÁXIMAS				
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Distorsiones

A.2.-INDICADOR 2

EXCENRICIDADES						
Story	CENTRO DE MASA		CENTRO DE RIGIDEZ		EXCENRICIDAD	
	XCCM	YCCM	XCR	YCR	en x	en y
	m	m	m	m	m	m

A.3.-INDICADOR 3

CARGAS MONOTÓNICAS							
Story	Load Case/Combo	PESO ACUMULADO	PESO DE ENTREPISO "p"	ALTURA "H"	P*H	% DE CORTANTE =P*H/Σ	FLX=%*Vx
				Σ TOTAL=			



B.- COMPORTAMIENTO SÍSMICO

B.1.- INDICADOR 1

<b>CURVA CAPACIDAD</b>		
<b>NIVELES</b>	<b>COOR. PARA CURVA CAPACIDAD ( CORTANTE VS DESPLAZAMIENTOS )</b>	
	<b>DESPLAZAMIENTO EN mm ( EJE X )</b>	<b>CORTANTE EN tn ( EJE Y )</b>

B.2.- INDICADOR 2

<b>ESPECTRO DE DEMANDA</b>			
<b>SUELO:</b>		<b>ACELERACION ESPECTRAL</b>	<b>DESPLAZAMIENTO ESPECTRAL</b>
<b>TP</b>	<b>TL</b>	$S_{ai} = \frac{ZUCS}{R} g$	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} \cdot g$
<b>T</b>	<b>C</b>	<b>Sai</b>	<b>Sdi</b>

B.3.- INDICADOR 3

<b>PUNTO DE DESEMPEÑO</b>			
<b>REPRESENTACIÓN BILINEAL DE LA CURVA CAPACIDAD</b>			
<b>DATOS A OBTENER</b>		<b>RIGIDEZ LATERAL EFECTIVA</b>	<b>DESPLAZAMIENTO DE CEDENCIA</b>
<b>Cortante basal de cedencia</b>			
<b>Desplazamiento para un C.B de cedencia</b>			

B.4.- INDICADOR 4

<b>NIVEL DEL SISMO</b>	<b>NIVELES DE DESEMPEÑO</b>			
	<b>OPERACIONAL</b>	<b>FUNCIONAL</b>	<b>SEGURIDAD DE VIDA</b>	<b>PRE-COLAPSO</b>
<b>FRECUENTE 0.2g</b>				
<b>OCASIONAL 0.25g</b>				
<b>RARO 0.40g</b>				
<b>MUY RARO 0.50g</b>				

C.- CAPACIDAD ESTRUCTURAL

C.1.- INDICADOR 1

<b>IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA</b>
--

**IRREGULARIDAD TORSIONAL**

DESPLAZAMIENTOS EN X (m)				Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M.	VERIFICACION
Nivel	Load Case	Max Drift	Centro Masa		

DESPLAZAMIENTOS EN Y (m)				Si: Max Desplaz > 1.2*Des C.M.	VERIFICACION
Nivel	Load Case	Max Drift	Centro Masa		

**IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA**

DESPLAZAMIENTOS EN X (m)				Si: Max Desplaz > 1.5*Des C.M.	VERIFICACION
Nivel	Load Case	Max Extremo	Centro Masa		

DESPLAZAMIENTOS EN Y (m)				Si: Max Desplaz > 1.5*Des C.M.	VERIFICACION
Nivel	Load Case	Max Extremo	Centro Masa		

**IRREGULARIDAD POR ESQUINAS ENTRANTES**

EN LA DIRECCION X		VERIFICACION

EN LA DIRECCION Y		VERIFICACION

**IRREGULARIDAD POR DISCONTINUIDAD DEL DIAFRAGMA**

AREA TOTAL	m2	Si: $A_{ABERTURAS} > 0.50 \cdot A_{TOTAL}$	VERIFICACION
ABERTURAS	m2		

**IRREGULARIDAD POR SISTEMAS NO PARALELOS**

EN LA DIRECCION X		VERIFICACION

EN LA DIRECCION Y		VERIFICACION

**IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ELEVACIÓN**

**IRREGULARIDAD EN ALTURA**

**IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ - PISO BLANDO**

DERIVAS X				

DERIVAS Y				

**IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA - PISO DEBIL**

TABLE: Story Forces								
Story	Rad Case/Com	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m

TABLE: Story Forces								
Story	Rad Case/Com	Location	P	VX	VY	T	MX	MY
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m

VERIFICACION DE CORTANTE EN DIRECCION "X"

PISO	VX	FACTOR

VERIFICACION DE CORTANTE EN DIRECCION "Y"

PISO	VY	FACTOR


**IRREGULARIDAD EXTREMA DE RIGIDEZ**

VERIFICACION DE DERIVA EN X				VERIFICACION DE DERIVA EN Y				
PISO	Drift	FACTOR > 1.6	FACTOR >1.4	PISO	Drift	FACTOR > 1.6	FACTOR >1.4	FACTOR >1.4

**IRREGULARIDAD EXTREMA DE RESISTENCIA**

VERIFICACION DE CORTANTE EN DIRECCION "X"

PISO	VX	FACTOR

VERIFICACION DE CORTANTE EN DIRECCION "Y"

PISO	VY	FACTOR

**IRREGULARIDAD DE MASA O PESO**

TABLE: Story Forces

Story	Load Case/Combo	Location	P	PESO POR PISO	FACTOR
			tonf	tonf	

**IRREGULARIDAD GEOMETRIA VERTICAL**

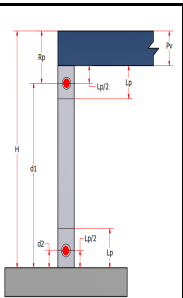
**DISCONTINUIDAD EN LOS SISTEMAS RESISTENTES**

**C.3.- INDICADOR 3 UBICACIÓN DE ROTULAS PLASTICAS**

**I. Rótula Plástica en columnas**

	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
Longitud de la columna		cm		ft
Diametro del acero usado		pulg		ft
Fuercia del acero		kg/cm2		ksi

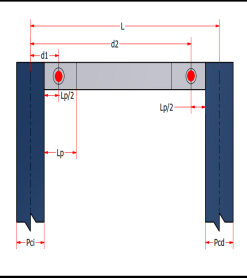
LONGITUD PLÁSTICA	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
$L_p = 0.08L + 0.15F_y(\phi b)$		cm		ft
$L_p = 0.3F_y(\phi b)$		cm		ft
MENOR VALOR		cm		ft



UBICACIÓN DE RÓTULA PLÁSTICA EN COLUMNAS			
DATOS	NOMENCLATURA	DATO	UNIDAD
1. LONGITUD PLÁSTICA MEDIA	$L_p/2$		
2. PERALTE DE VIGA	$P_v$		
3. RÓTULA PLÁSTICA SUPERIOR	$R_p$		
4. PORCENTAJE DE RÓTULA PLÁSTICA SUPERIOR	$d_1$		
5. PORCENTAJE DE RÓTULA PLÁSTICA INFERIOR	$d_2$		

## II. Rótula Plástica en vigas

UBICACIÓN DE RÓTULA PLÁSTICA EN VIGAS			
DATOS	NOMENCLATURA	DATO	UNIDAD
1. LONGITUD DE VIGA	$L$		
2. LONGITUD PLÁSTICA ASUMIDA EN VIGA	$L_p$		
3. ESPESOR DE COLUMNA	$P_{ci}$		
4. ESPESOR MEDIO DE COLUMNA	$P_{ci}/2$		
5. LONGITUD PLÁSTICA MEDIA	$L_p/2$		
6. RÓTULA PLÁSTICA	$R_p$		
7. PORCENTAJE DE RÓTULA PLÁSTICA CERCA AL EJE	$d_1$		
8. PORCENTAJE DE RÓTULA PLÁSTICA ALEJADO AL EJE	$d_2$		



Anexo 2

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	<b>DISTORCIONES, DERIVAS O DRIF</b>	
	$\Delta_i^1 = \frac{\delta_i^T \cdot \delta_{i-1}^T}{h_n}$	<p>Donde:</p> <p><math>\delta_i^T =</math> Distorsión inelástico</p> <p><math>h_n =</math> altura</p>
	<b>EXCENRICIDAD</b>	
	<p><b>CENTRO DE RIGIDEZ</b></p> $Y_{CR} = \frac{\sum K_{xi} \cdot Y_i}{\sum K_{xi}}$ $X_{CR} = \frac{\sum K_{yi} \cdot X_i}{\sum K_{yi}}$	<p>Donde:</p> <p><math>K_i =</math> Rigidez</p> <p><math>X_i =</math> Distancia en dirección x</p> <p><math>Y_i =</math> Distancia en dirección y</p> <p><math>X_{CR} =</math> Centro de rigidez en x</p> <p><math>Y_{CR} =</math> Centro de rigidez en y</p>
	<p><b>CENTRO DE CARGA</b></p> $X_{cqi} = \frac{\sum_{j=i}^N F_{yj} \cdot X_{cmj}}{Q_{yi}}$ $Y_{cqi} = \frac{\sum_{j=i}^N F_{xj} \cdot Y_{cmj}}{Q_{xi}}$	<p>Donde:</p> <p><math>F_x =</math> Fuerzas laterales eje x</p> <p><math>X_{cm} =</math> Dist. al centro de masa en x</p> <p><math>F_y =</math> Fuerzas laterales eje y</p> <p><math>Y_{cm} =</math> Dist. al centro de masa en y</p> <p><math>Q_i =</math> Fuerza cortante</p>
	<p><b>EXCENRICIDAD ESTRUCTURAL</b></p> <p><math>e_{struc_x} = X_{CR} - X_{cqi}</math></p> <p><math>e_{struc_y} = Y_{CR} - Y_{cqi}</math></p>	<p><b>EXCENRICIDAD ACCIDENTAL</b></p> <p><math>e_{acc_x} = 5\% \cdot L_x</math></p> <p><math>e_{acc_y} = 5\% \cdot L_y</math></p>
	<p><b>EXCENRICIDAD TOTAL</b></p> <p><math>e_x =  e_{struc_x}  - e_{acc_x}</math></p> <p><math>e_y =  e_{struc_y}  - e_{acc_y}</math></p>	
	<b>FUERZAS MONOTÓNICAS</b>	
<p><math>F_i = \alpha_i \cdot V</math></p> $\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_i(h_i)^k}$	<p>Donde:</p> <p><math>F_i =</math> Fuerzas sismica horizontales</p> <p>n = número de pisos</p> <p>k = Exponente relacionado con el periodo T</p> <p>V = Cortante basal</p> <p>P = cargas por nivel</p>	

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS	ESPECTRO CAPACIDAD ( Sa vs Sd )															
	$Sa = \frac{V/w}{\alpha_1} ; \alpha_1 = \frac{L^*{}^2}{M^*} \cdot \frac{1}{M_t}$ $Sd = \alpha_2 \Delta_{techo} ; \alpha_2 = \frac{1}{L^*/M^*}$	<p>Donde:</p> <p><math>V</math> = Cortante basal  <math>W</math> = Peso total de la edificación  <math>\Delta_{techo}</math> = Des. Total en el techo relativo a la base  <math>\alpha_1</math> = Masa efectiva, normalizada por la masa total, <math>M_t</math>  <math>\alpha_2</math> = Es la inversa del F.P.M  <math>L^*</math> = Masa participante = <math>\sum M_i \phi_i</math>  <math>M^*</math> = Masa generalizada = <math>\sum M_i \phi_i^2</math>  <math>\phi_i</math> = Amplitud del modo 1 en el nivel i  <math>M_i</math> = Masa del nivel i  <math>M_t</math> = Masa total de la estructura  <math>N</math> = Numero de pisos</p>														
	ESPECTRO DE DEMANDA ( Sa vs Sd )															
	$S_{ai} = \frac{ZUCS}{R} g$	<p>Donde:</p> <p><math>Z</math> = Factor de zona  <math>U</math> = Factor de uso  <math>C</math> = Factor de amplificación sísmica  <math>S</math> = Factor de suelo  <math>R</math> = Coeficiente de reducción de fuerza sísmica  <math>g</math> = Factor de la gravedad</p>														
	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g$	<p>Donde:</p> <p><math>g</math> : Aceleración de la gravedad  <math>T_i</math> = Periodo  <math>S_a</math> = Aceleración espectral</p>														
	REPRESENTACION BILINEAL DE LA CURVA CAPACIDAD															
$K_e^i = \frac{0.6V_y^i}{D_{0.6}^i}$ $D_y^i = \frac{V_y^i}{K_e^i}$	<p>Donde:</p> <p><math>K_e^i</math> = Rigidez lateral efectiva de la estructura  <math>D_{0.6}^i</math> = Desp. Correspondiente a un C. Basal igual a <math>0.60V_y^i</math>  <math>V_y^i</math> = Cortante basal de cedencia  <math>D_y^i</math> = Desplazamiento de cedencia</p>															
PUNTO DE DESEMPEÑO																
$R_a = \frac{3.21 - 0.68Ln \left( \frac{0.637k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \right) + 0.05}{2.12}$ $R_v = \frac{2.31 - 0.41Ln \left( \frac{0.637k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \right) + 0.05}{1.65}$	<p>Donde:</p> <p><math>R_a</math> y <math>R_v</math> = Factores de reducción espectral</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">VALORES MINIMOS</th> </tr> <tr> <th>T.COMP. ESTRUCT</th> <th>SRa</th> <th>SRv</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0.33</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.44</td> <td>0.56</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.56</td> <td>0.67</td> </tr> </tbody> </table>	VALORES MINIMOS			T.COMP. ESTRUCT	SRa	SRv	A	0.33	0.50	B	0.44	0.56	C	0.56	0.67
VALORES MINIMOS																
T.COMP. ESTRUCT	SRa	SRv														
A	0.33	0.50														
B	0.44	0.56														
C	0.56	0.67														

FACTORES DE IRREGULARIDADES			
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	IRREGULARIDAD EN ALTURA	FACTOR	
	Piso Blando	0.75	
	Piso Débil	0.75	
	I.De extrame Rigidez	0.50	
	I.De extrame Resistencia	0.50	
	I. De masa o peso	0.90	
	I. Geométrica Vertical	0.90	
	Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	0.80	
	Discont. extrema en los Sistemas Resistentes	0.60	
	IRREGULARIDAD EN PLANTA		FACTOR
	Irregularidad Torsional	0.75	
	Irregularidad Torsional Externa	0.60	
	Esquinas Entrantes	0.90	
	Discontinuidad del Diafragma	0.85	
	Sistema no Paralelos	0.90	
	UBICACIÓN DE LAS ROTULAS PLASTICAS		
	$Lp = 0.08L + 0.15Fy(\emptyset b)$	Donde:	
	$Lp = 0.3Fy(\emptyset b)$	Lp = Longitud plastica	
		Fy = Fluencia del acero	
		$\emptyset$ = diametro de barra	