



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**

---

**ESCUELA DE POSTGRADO**

**“DESEMPEÑO SISMICO DEL EDIFICIO DUAL DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNASAM,  
HUARAZ - 2014”**

Tesis para optar el grado de maestro

En Ciencias e Ingeniería

Mención en Ingeniería Estructural

**MARINO DAVID VILLANUEVA LEON**

Asesor: **Mg. GONZALO M. PECHE VILLAFANE**

Huaraz – Ancash – Perú

2018





**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**

---

**ESCUELA DE POSTGRADO**

**“DESEMPEÑO SISMICO DEL EDIFICIO DUAL DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNASAM,  
HUARAZ - 2014”**

Tesis para optar el grado de maestro

En Ciencias e Ingeniería

Mención en Ingeniería Estructural

**MARINO DAVID VILLANUEVA LEON**

Asesor: **Mg. GONZALO M. PECHE VILLAFANE**

Huaraz – Ancash – Perú

2018

Nº de Registro: T0631

## MIEMBROS DEL JURADO

*Magíster:* Elio Alejandro Milla Vergara

Presidente

---

*Magíster:* Miguel Ronald Corrales Picardo

Secretario

---

*Magíster:* Gonzalo M. Peche Villafane

Vocal

---

## **ASESOR**

*Magíster:* Gonzalo M. Peche Villafane

## **AGRADECIMIENTO**

- Mi agradecimiento a los miembros de la Universidad Nacional de Ancash, por haber creado la escuela de postgrado, dando la oportunidad a los estudiantes para continuar enriqueciendo sus conocimientos y estar a la altura de los demás profesionales del mundo.

## **DEDICATORIA**

A mis padres.

A mis hermanas.

A mi esposa.

A mis hijos.

## INDICE

	<b>Página</b>
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	3
Variables.....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Desempeño sísmico del edificio dual de la FIC.....	9
2.2.2. Nivel de desempeño esencial según la recomendación del comité VISION 2000.....	29
2.3. Definición de Términos.....	48
III. METODOLOGIA.....	50
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	50
3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico.....	50
-Población.....	50
-Muestra.....	50
3.3. Instrumentos de recolección de la información.....	50
3.4. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.....	51
IV. RESULTADOS.....	53
V. DISCUSIÓN.....	85
VI. CONCLUSIONES.....	90
VII. RECOMENDACIONES.....	91
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	92
ANEXO.....	94



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Amortiguamiento para sistemas estructurales.....	19
Tabla 2.	Estados de daño y niveles de desempeño.....	32
Tabla 3.	Niveles de desempeño de la edificación.....	36
Tabla 4.	Niveles de desempeño esperado para edificaciones esenciales.....	40
Tabla 5.	Niveles de desempeño esperado para edificaciones esenciales.....	43
Tabla 6.	Niveles de desempeño esperado para edificaciones esenciales.....	45
Tabla 7.	Pesos de cargas muertas.....	58
Tabla 8.	Derivas y desplazamientos del edificio en estudio.....	61
Tabla 9.	Modos de vibración y participación de masa.....	62
Tabla 10.	Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas.....	62
Tabla 11.	Rotulación progresiva de elementos estructurales en el eje “X”	63
Tabla 12.	Rotulación progresiva de elementos estructurales en el eje “Y”	65
Tabla 13.	Rotulación progresiva de elementos estructurales en el eje “Y” a nivel de colapso.....	67
Tabla 14.	Fuerzas cortantes y desplazamientos del análisis incremental.....	69
Tabla 15.	Índices de sobre resistencia.....	69
Tabla 16.	Rotulación progresiva de elementos estructurales en el eje “Y”, comportamiento no lineal.....	71
Tabla 17.	Tabla de Fuerzas cortantes y desplazamientos del análisis incremental.....	73
Tabla 18.	Tabla de índices de sobre resistencia.....	73
Tabla 19.	Desempeño estructural en el eje X ATC 40.....	78
Tabla 20.	Matriz de desempeño según VISION 2000.....	84
Tabla 21.	Matriz de desempeño estructural eje Y, según FEMA 440.....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Patrón de desplazamientos y nudo de control de un edificio. Elaboración propia .....	13
Figura 2.	Cargas de servicio (muerta y viva) en una edificación representativa .....	13
Figura 3.	Representación Pushover y de la Curva de Capacidad.....	14
Figura 4.	Transformación de la curva de capacidad al espectro de capacidad .....	15
Figura 5.	Espectro elástico de aceleraciones de la norma peruana.....	17
Figura 6.	Espectro de demanda sísmica convertido .....	19
Figura 7.	Formación de rotulas en la curva de capacidad... ..	24
Figura 8.	Puntos notables de la ductilidad estructural disponible.....	25
Figura 9.	Desplazamiento de demanda del sismo frecuente, ocasional y raro.....	26
Figura 10.	Cortantes asociados a los sismos de demanda .....	27
Figura 11.	Punto de demanda en la curva de capacidad. ....	28
Figura 12.	Etapas en la curva capacidad .....	32
Figura 13.	Plano en planta del edificio en estudio.....	54
Figura 14.	Detalle de placas de la edificación en estudio.....	55
Figura 15.	Detalle de columnas de la edificación en estudio.....	56
Figura 16.	Vista isométrica estructural de la edificación en estudio.....	57
Figura 17.	Espectro suavizado de aceleraciones.....	59
Figura 18.	Vista isométrica de la edificación dual en estudio.....	60
Figura 19.	Desplazamiento máximo de la estructura en el eje “X” .....	63
Figura 20.	Curva de capacidad sectorizada en el eje X.....	64
Figura 21.	Desplazamiento máximo de la estructura en el eje “Y” .....	65
Figura 22.	Curva de Capacidad Pushover - Eje Y.....	66
Figura 23.	Estructura con rotulas en el nivel de colapso en el eje “X” .....	67
Figura 24.	Curva de capacidad Pushover en el eje “X” .....	68
Figura 25.	Curva de capacidad pushover sectorizada eje “X”.....	70
Figura 26.	Estructura con rotulas no llega al desplazamiento de control	70

Figura 27.	Curva de capacidad Pushover – Eje “Y”, S/Muros de corte NL.....	72
Figura 28.	Curva de capacidad pushover sectorizada eje “Y” .....	74
Figura 29.	Desempeño para el Sismo Frecuente ATC-40.....	75
Figura 30.	Desempeño para el Sismo Ocasional ATC-40.....	76
Figura 31.	Desempeño para el Sismo Raro (De diseño) ATC-40.....	77
Figura 32.	Desempeño para el Sismo Frecuente ATC-40.....	79
Figura 33.	Desempeño para Sismo Frecuente FEMA 440 linearización.....	80
Figura 34.	Desempeño para el Sismo Ocasional ATC-40.....	81
Figura 35	Desempeño para el Sismo Ocasional FEMA 440, Linearización.....	82
Figura 36	Desempeño para el Sismo Raro (De diseño) ATC-40.....	83

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se verifica el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, sometido a diferentes sismos mediante modelamiento con los métodos y las recomendaciones del comité VISION 2000 y ATC-40.

Para verificar el desempeño sísmico se comparó el espectro de capacidad con el espectro de la demanda sísmica del edificio, identificando el desplazamiento máximo o punto de desempeño, donde la capacidad y la demanda se igualan, permitiendo estimar la respuesta máxima de la edificación, la cual sirve para compararla con el nivel de desempeño esperado de la edificación.

Los resultados de la evaluación del desempeño estructural en el eje X y en el eje Y de la matriz de desempeño acorde Visión 2000 y según ATC 40, no se encontraron dentro de los márgenes recomendados.

Luego, podemos indicar que el desempeño sísmico del edificio dual de cinco pisos en estudio, no corresponde para sismos de acuerdo a la recomendación del comité VISION 2000.

**Palabras claves:** Edificio, Sismo, Desempeño, Curva de Capacidad, Espectros, Espécimen, Muestra, Desplazamiento.

## **ABSTRACT**

In the present research work, the seismic performance of the dual building of the faculty of civil engineering of the UNASAM is verified, subjected to different earthquakes through modeling with the methods and recommendations of the VISION 2000 and ATC-40 committees.

To verify the seismic performance, the capacity spectrum was compared with the seismic demand spectrum of the building, identifying the maximum displacement or performance point, where capacity and demand are equalized, allowing estimating the maximum response of the building, which serves to compare it with the level of expected performance of the building.

The results of the evaluation of the structural performance in the X axis and in the Y axis of the performance matrix according to Vision 2000 and according to ATC 40, they were not within the recommended margins.

Then, we can indicate that the seismic performance of the five-story dual-story building under study, does not correspond to earthquakes according to the recommendation of the VISION 2000 committee.

**Key words:** Building, Quake, Performance, Capacity curve, Spectra, Specimen, Sample, Displacement.

## I. INTRODUCCION

El desarrollo de la tesis comprende el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, ubicada en la ciudad de Huaraz, el pabellón de la facultad de ingeniería civil de la ciudad universitaria, estructura considerada como edificación esencial de categoría A.

La norma peruana para diseño sismo resistente E-030, está basada en criterios de protección ante un solo nivel de amenaza sísmica, haciendo necesario la evaluación del desempeño sísmico del edificio de esta categoría, para lograr este objetivo se efectúa el estudio patológico de la integridad del edificio en estudio, antigüedad, fisuras existentes, resistencia de compresión del concreto ( $f'c$ ), el estudio de suelo donde se ha cimentado, entre otros datos.

Se ubica un patrón de desplazamientos condicionado a la forma del modo más representativo, el centro de gravedad de la azotea se usa como punto para el control de los desplazamientos. Luego con el análisis de desplazamientos incrementales es cuando se alcanza la rotura de la primera rótula.

Se busca obtener la curva de capacidad de la edificación, para este se realiza un análisis estático no lineal. Dentro del análisis no lineal estático lo que más se utiliza es la técnica del pushover, también conocido con el nombre de análisis incremental de colapso.

Para obtener el punto de demanda de la edificación en estudio se emplean procedimientos que usan tanto el espectro de capacidad de la estructura como una representación de la demanda sísmica mediante espectros denominados demanda.

Mediante la comparación de las curvas de capacidad y la curva de demanda conforme la propuesta del comité VISION 2000, se determina el punto de

desempeño de la edificación que nos permite tomar decisiones ante el estado actual de la edificación.

En la edificación, existen pórticos y muros de corte que deben actuar en conjunto, sin embargo, debido a las grandes dimensiones de los muros comparados con las columnas y vigas, ocurre que los muros inician su comportamiento no lineal, cuando las vigas y columnas en su mayoría ya han cedido y están en fluencia, lo cual acelera el colapso de la edificación.

Por lo mismo se busca una combinación armoniosa y equilibrada entre muros de corte, vigas y columnas de tal modo que se logre la mayor ductilidad global posible para poder cumplir con los objetivos de desempeño esperado de la edificación.

Es necesario desarrollar el estudio del desempeño sísmico de la edificación, con el único objetivo de reducir su vulnerabilidad a través del control de daños estructurales de la edificación por el grado de importancia que posee la edificación.

## **1.1. OBJETIVOS:**

### **Objetivo general.**

Determinar el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.

### **Objetivos específicos.**

- Determinar, el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de

desempeño del sismo de servicio según la recomendación del Comité Visión 2000.

- Determinar, el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo de diseño según la recomendación del Comité Visión 2000.
- Determinar, el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo máximo según la recomendación del Comité Visión 2000.

## **1.2. HIPOTESIS:**

### **Hipótesis General.**

**H1:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.

**Ho:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.

### **Hipótesis específicas.**

**H2:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño del sismo de servicio según la recomendación del Comité Visión 2000.



**H0:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño del sismo de servicio según la recomendación del Comité Visión 2000.

**H3:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño del sismo de diseño según la recomendación del Comité Visión 2000.

**H0:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño del sismo de diseño según la recomendación del Comité Visión 2000.

**H4:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño del sismo máximo según la recomendación del Comité Visión 2000.

**H0:** El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño del sismo máximo según la recomendación del Comité Visión 2000.

### **1.3. VARIABLES:**

Variable 1. Desempeño sísmico del edificio dual de la FIC.

Variable 2. Nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.

## OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES
<b>VARIABLE 1:</b>  Desempeño sísmico del edificio dual de la FIC.	Desempeño del sismo de servicio.	Espectro de capacidad.	Fuerza cortante: $V_o$ Desplazamiento lateral: $D_t$ Conversión "ADRS" $S_d = D_t \times M^x / L^x$ $S_a = V_x M^x / L^x$
		Espectro de demanda.	Espectro de análisis $S_a = ZUCS(g/R)$ Conversión "ADRS" $S_d = S_a * g * T^2 / (4 \pi^2)$
	Desempeño del sismo de diseño.	Espectro de capacidad.	Fuerza cortante: $V_o$ Desplazamiento lateral: $D_t$ Conversión "ADRS" $S_d = D_t \times M^x / L^x$ $S_a = V_x M^x / L^x$
		Espectro de demanda.	Espectro de análisis $S_a = ZUCS(g/R)$ Conversión "ADRS" $S_d = S_a * g * T^2 / (4 \pi^2)$
	Desempeño del sismo máximo.	Espectro de capacidad.	Fuerza cortante: $V_o$ Desplazamiento lateral: $D_t$ Conversión "ADRS" $S_d = D_t \times M^x / L^x$ $S_a = V_x M^x / L^x$
		Espectro de demanda	Espectro de análisis $S_a = ZUCS(g/R)$ Conversión "ADRS" $S_d = S_a * g * T^2 / (4 \pi^2)$

<b>VARIABLE 2:</b>  Nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.	Desempeño del sismo de servicio.	Nivel del movimiento del terreno.  Recomendación de diseño de la edificación.	Sismo de servicio: $= 0.5 \cdot S_a$  Propuesta VISION 2000 1A: Operacional. 1B: Inmediata ocupación. 1C: Seguridad de vida.
	Desempeño del sismo de diseño.	Nivel del movimiento del terreno.  Recomendación de diseño de la edificación.	Sismo de diseño: $S_d = S_d$ .  Propuesta VISION 2000 1A: Operacional. 1B: Inmediata ocupación. 1C: Seguridad de vida.
	Desempeño del sismo máximo.	Nivel del movimiento del terreno.  Recomendación de diseño de la edificación.	Sismo máximo: $= 1.15 \cdot S_a$  Propuesta VISION 2000 1A: Operacional. 1B: Inmediata ocupación. 1C: Seguridad de vida.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES:

**Santana Tapia Ronald** (2012), en el trabajo de investigación, con el título de “Diseño Sísmico por Desempeño de Estructuras de Albañilería Confinada”, en la ciudad de Lima, con el objetivo de obtener la demanda sísmica en el lugar del proyecto, la capacidad estructural del edificio y, determinar los puntos de desempeño por ambos procedimientos de análisis no lineal, estático y dinámico, para verificar el diseño por desempeño. Llego a los siguientes resultados:

El diseño de la edificación con las normas peruanas E-070 y E-030 no cumple los Objetivos de desempeño en el análisis no lineal dinámico. Además, demostró que existe una relación directa entre la densidad de muros y el desarrollo de ductilidad de la estructura.

Las demandas sísmicas obtenidas con el espectro de peligro uniforme para el sismo de diseño con 7 % y 12 % de amortiguamiento, son menores a los del espectro de la norma E-030.

Los estados límite de aceptabilidad son variables, porque dependen de los niveles de comportamiento de los elementos y por ende de la capacidad de la estructura. Los valores del Drift de 0,10 % (operacional), 0,17 % (control de daño) y 0,44 % (prevención de colapso) son superados.

Para el buen desempeño sísmico y cumplimiento de los objetivos de desempeño la edificación de albañilería confinada debe tener una adecuada densidad de muros en ambas direcciones, ductilidad apropiada y

configuración estructural robusta caracterizada por simetría y regularidad en planta y elevación.

Bedón López Jorge (2013), en la tesis de maestría titulado “Evaluación del Desempeño Sísmico del Pabellón del Laboratorios Comunes en la Ciudad Universitaria de la UNASAM”. Su objetivo fue verificar si la edificación del laboratorio de la UNASAM, es segura ante un evento sísmico a nivel del desempeño sismo resistente. Llegando a los siguientes resultados:

En cuanto a los niveles de demanda sísmica en la UNASAM, mediante los espectros de respuesta de aceleraciones se lograron establecer los siguientes coeficientes de respuesta sísmica.

- Sismo ocasional:  $CA = 0,30$  y  $Cv = 0,40$
- Sismo raro:  $CA = 0,48$  y  $Cv = 0,72$
- Sismo muy raro:  $CA = 0,60$  y  $Cv = 0,980$

La capacidad de la estructura del pabellón de laboratorios comunes de la ciudad universitaria de la UNASAM, a través de los espectros de capacidad quedo establecido en: Una fuerza cortante asociada a la formación de la primera rotula cuyo valor es:  $V1 = 297$  t, y representa el 118 % de la resistencia teórica (VT).

Una fuerza contante asociada al punto de colapso (VC) equivalente a 538 t, la cual representa el 214 % del VT.

Empleando el procedimiento de la respuesta inelástica espectral de estructuras, se obtuvieron las respuestas máximas de la estructura ante cada uno de los niveles de amenaza, los cuales son:

Sismo ocasional:

- Periodo efectivo de la estructura ( $T_{ef}$ ): 0,322 s.
- Amortiguamiento efectivo ( $\beta_{ef}$ ): 10,3 %.
- Respuesta en fuerza cortante (V): 412,9 t.
- Desplazamiento en el techo ( $\Delta t$ ): 4,16 cm.

Delgadillo Alanya Julio Edwin (2005), en la tesis de maestría titulado, “Análisis no Lineal Estático de Estructuras y la Norma E-030”, en la ciudad de Lima, el objetivo es observar la utilidad del análisis no lineal estático Pushover que presenta el ATC-40 y FEMA-356, obtener y evaluar el nivel de daño producido en los elementos mediante el monitoreo de las deformaciones (giros o desplazamientos) en el nivel de desempeño de la estructura y mostrar que un análisis no lineal estático Pushover es un método para poder hallar las zonas “débiles” de una estructura. Obteniendo los siguientes resultados:

El análisis no lineal estático Pushover, es una forma mediante el cual se obtiene la secuencia de la aparición de rótulas que llevan al colapso a la estructura, utilizando la demanda sísmica dada por la norma Peruana E-030.

El análisis no lineal estático Pushover, sirve para ver la magnitud del daño, mediante el monitoreo de la deformación de desempeño (giro o desplazamiento) de los elementos.

## **2.2. BASES TEORICAS.**

### **2.2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO DEL EDIFICIO DUAL DE LA FIC.**

#### **DESEMPEÑO DEL SÍSMO DE SERVICIO.**

De acuerdo a la propuesta del ATC-40 (1996), se definen tres niveles de amenaza correspondiente a movimientos sísmicos identificados como:

**Sismo de Servicio (SS):** correspondiente a movimientos de baja a moderada intensidad, de ocurrencia frecuente, generalmente asociados con un 50% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 72 años, de manera que puede llegar a ocurrir varias veces durante la vida útil de una edificación. En base a los resultados de peligrosidad típicos de un emplazamiento determinado, este movimiento representa aproximadamente la mitad del nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicionalmente especificado en los códigos, por tratarse de sismos más frecuentes y de menor severidad.

### **Espectro de capacidad.**

En la curva de capacidad de una estructura existe una relación directa entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral del último nivel de la edificación. A un desplazamiento determinado de la estructura le corresponde una única fuerza restitutiva máxima y si dividimos esta fuerza entre la masa obtenemos un valor único de la aceleración a la que está sometida. A cada desplazamiento de la estructura le corresponde un único valor de aceleración.

Entonces podemos transformar la curva de capacidad a un nuevo formato donde se representa la aceleración de la estructura vs. su desplazamiento lateral, denominado espectro de capacidad. (Fernández y Navarro, 2006, P. 38)

**Fuerza cortante:** El patrón de acciones laterales puede ser un sistema de cargas o uno de desplazamientos para el patrón de cargas laterales la distribución de cargas puede ser uniforme, triangular, parabólica. [Bonett, 2003].

La fuerza cortante es la determina por la siguiente expresión.

$$V = (ZUCS/R)*P$$

Dónde: Z= Factor de zona.

U= Factor de uso de importancia.

C= Coeficiente de amplificación sísmica.

S= Parámetros de suelo.

R= Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas.

P= Peso total de edificación.

**Análisis Sísmico:** Se realizan dos tipos de análisis sísmico: estático y dinámico. Del análisis estático sólo se calcula la fuerza cortante basal del edificio para poder establecer el límite inferior de la fuerza cortante de diseño que se obtiene del análisis dinámico.

- **Análisis Estático:** Se utiliza este método para hallar la fuerza cortante basal con el fin de escalar los resultados del análisis dinámico siguiendo las indicaciones de la norma NTE-030.

La cortante basal se halla con la siguiente expresión según la norma técnica E.030 de diseño sismo resistente.

$$V = ZUCSP/R$$



- **Análisis Dinámico:** En el análisis dinámico se consideran tres grados de libertad en cada piso, siguiendo el modelo analizado en 3D que considera un diafragma por cada nivel.

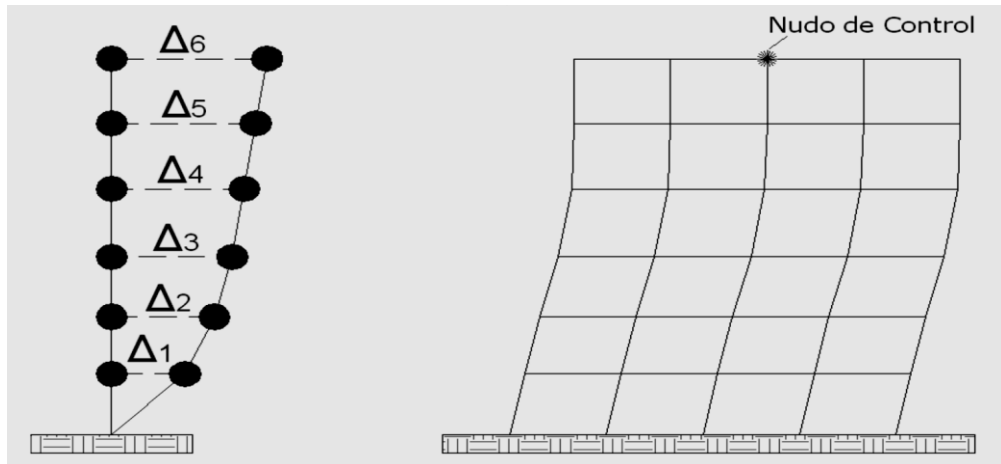
Este análisis se repite para diferentes peraltes de columnas hasta encontrar el menor valor que satisface la deriva que permitida la norma técnica E.030 de diseño sismo resistente. ( $\Delta h_e = 0.007$ ).

**Desplazamiento lateral:** Cuando se trata de un patrón de desplazamientos laterales estos corresponden a un juego de desplazamientos predeterminados que se van incrementando paulatinamente. Generalmente se usan los desplazamientos provenientes de los modos significativos de vibración [Bonett, 2003].

Consiste en someter a una estructura a varios ciclos de desplazamientos laterales en la base en ambos sentidos.

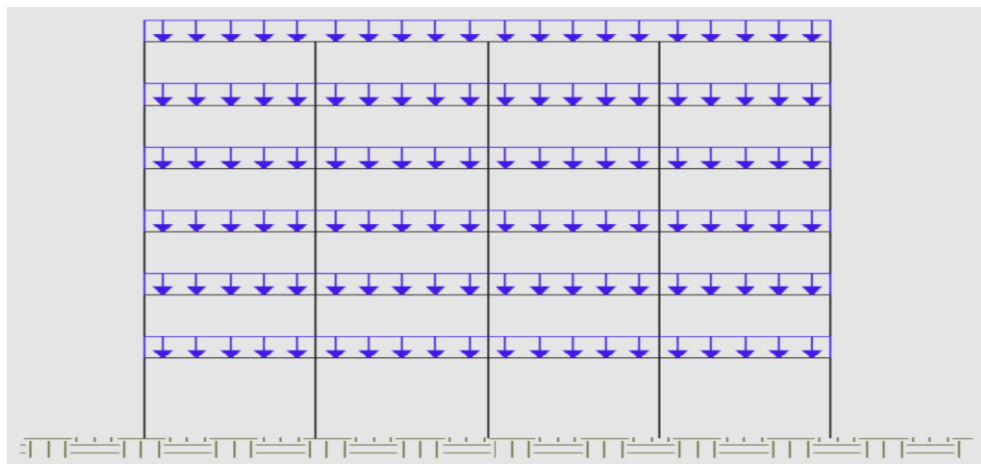
Generalmente se usan incrementos de desplazamientos, cuya forma corresponde al modo fundamental de vibración de la estructura (primer modo) en la dirección analizada.

Cuando se trata de un patrón de desplazamientos estos corresponden a un juego de desplazamientos predeterminados que se van incrementando paulatinamente. Generalmente se usan los desplazamientos provenientes de los modos significativos de vibración (Bonett, 2003)



**Figura 1. Patrón de desplazamientos y nudo de control de un edificio.**  
Fuente: Elaboración propia.

Para el control de los incrementos se usa el desplazamiento de un nudo en el último nivel de la estructura y se debe indicar un valor máximo hasta el cual incrementa el desplazamiento. Este análisis aplica al modelo estructural las cargas de servicio (muerta y viva).



**Figura 2. Cargas de servicio (muerta y viva) en una edificación representativa.**  
Fuente: Elaboración propia.

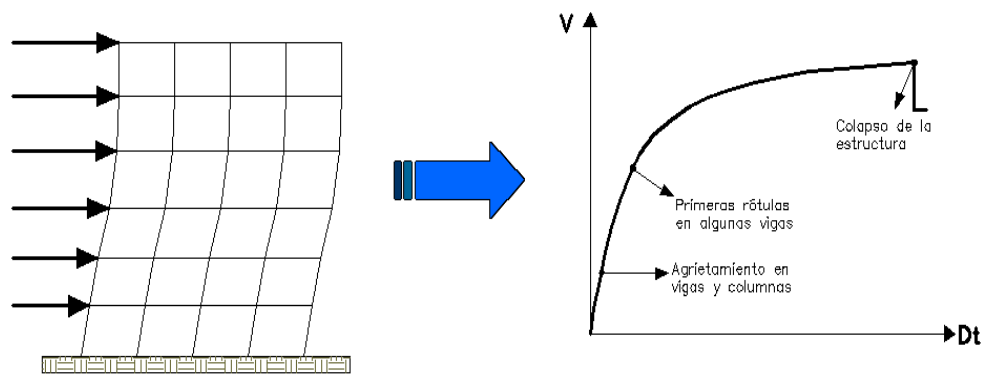
**Curva de capacidad:** Para obtener la curva que representa el comportamiento de una estructura ante acciones laterales se realiza un

análisis estático no-lineal que considera el progresivo deterioro de la estructura ante acciones laterales crecientes.

- **Análisis de acciones incrementales:** En el análisis estático no-lineal incremental (análisis “Pushover”) se somete a la estructura a un patrón de acciones laterales que se incrementan de manera mono tónica hasta alcanzar la capacidad máxima de desplazamientos de la estructura.

Durante el proceso de acciones incrementales, el desplazamiento ( $D_t$ ) en el techo va creciendo y se van registrando los valores de la fuerza cortante ( $V$ ) en la base de la edificación hasta alcanzar el desplazamiento lateral máximo especificado.

Como resultado del análisis incremental se obtiene la curva fuerza-desplazamiento ( $V$ - $D_t$ ), denominada curva de capacidad, la cual se representa en la figura 3 con algunos puntos relevantes de la misma.



**Figura 3. Representación Pushover y de la curva de capacidad.**

Fuente: Jurado y Mendoza. 2012. p. 42.

**Conversión “ADRS”:** Usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (“Acceleration- Displacement Response Spectra”) donde se representa la aceleración espectral ( $S_a$ ), respecto al desplazamiento

espectral (Sd), denominado espectro de capacidad. Para esta conversión, cada punto  $(V_{oi}, \Delta n_i)$  de la curva de capacidad corresponde a un punto  $(S_{ai}, S_{di})$  del espectro de capacidad, según:

$$SD = D_t \frac{M^*}{L^*} \qquad SA = V \frac{M^*}{L^{*2}}$$

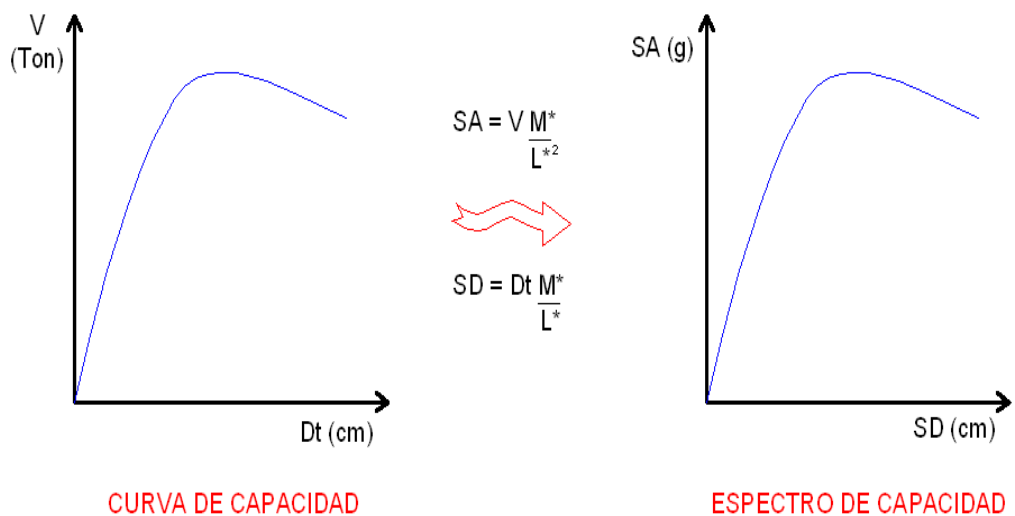
Dónde:

V : cortante en la base

Dt : desplazamiento en el techo

M\* : masa generalizada

L\* : masa participante



**Figura 4. Transformación de la curva de capacidad al espectro de capacidad.**

Jurado y Mendoza, 2012, P.39

#### **ESPECTRO DE DEMANDA.**

El espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al correspondiente desplazamiento máximo,

para un período y nivel de amortiguamiento dado. Estos valores máximos se corresponden con los valores pseudo espectrales siempre que se trate de pequeños valores del amortiguamiento.

Para propósitos de análisis y diseño se usan espectros suavizados envolventes. La figura 5 muestra el espectro elástico de pseudo-aceleraciones de la norma peruana

**Espectro de análisis:** Siguiendo las indicaciones de la norma técnica E-030 de diseño sismo resistente se emplearon el siguiente espectro:

$$S_a = ZUCS * g/R$$

Dónde: Z = Factor de zona.

U = Factor de uso de importancia.

C = Coeficiente de amplificación sísmica.

S = Parámetros de suelo.

R = Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas.

g = Peso total de la edificación.

Este espectro se expresó en dos factores: una función espectral y un factor de escala, según se indica a continuación:

Función espectral = CS.

Factor de escala = ZU\*g/R

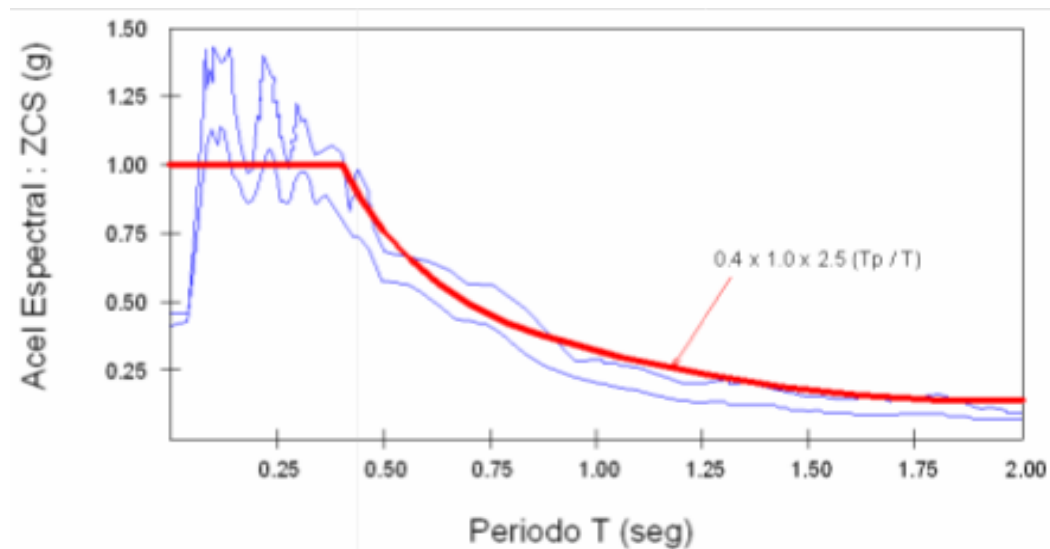
Los métodos espectrales permiten estimar la respuesta máxima de una estructura a una sollicitación sísmica representada por un espectro. Para obtener el punto de demanda se emplean procedimientos que usan tanto el

espectro de capacidad de la estructura como una representación de la demanda sísmica mediante espectros denominados demanda.

**Representación de las solicitaciones sísmicas mediante espectros de demanda,** (espectro de la Norma Peruana).

El espectro elástico de respuesta de aceleraciones de la Norma Peruana E-030 corresponde a un sismo catalogado como Sismo de Diseño.

El espectro se expresa en una función espectral ( $S_a$ ), con un porcentaje de probabilidad de excedencia en un periodo de tiempo de vida útil de la estructura y con amortiguamiento en la estructura.



**Figura 5. Espectro elástico de aceleraciones de la norma peruana.**

Fuente: Jurado y Mendoza. 2012. p. 42.

Los espectros de demanda muestran los espectros clásicos de aceleración y desplazamiento en un solo gráfico.

Los ejes horizontal y vertical corresponden a valores del desplazamiento espectral (SD) y de la aceleración espectral (SA) respectivamente. Para análisis y diseño se usan espectros suavizados envolventes.

**Conversión “ADRS”:** La demanda sísmica inicialmente se caracteriza usando el espectro de respuesta elástico de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5%, el cual debe ser transformado a un formato ADRS; es decir, de aceleración espectral ( $S_a$  como una fracción de la aceleración de gravedad  $g$ ) respecto el desplazamiento espectral ( $S_d$ ). Para dicha conversión cada punto ( $S_{a_i}, T_i$ ) del espectro de respuesta donde  $T_i$  es el período en segundos, corresponde a un punto ( $S_{a_i}, S_{d_i}$ ) del espectro de demanda, (Aguiar, 2010, P. 79).

$$S_d = T^2 \times S_a \times g / (4[\Gamma]^2)$$

Este espectro de respuesta elástico debe ser sucesivamente ajustado para un factor de amortiguamiento compatible con el nivel de deformaciones esperado. De hecho, para altos niveles de deformación se esperan importantes incrementos en la capacidad de disipar energía, más aún, si la estructura cuenta con dispositivos de disipación, en cuyo caso, la demanda sísmica inicial debe ser reducida en proporción al incremento del amortiguamiento efectivo. Para tal fin, diversas recomendaciones proponen valores de amortiguamiento característico para diferentes sistemas estructurales, como se observa en la tabla 1.

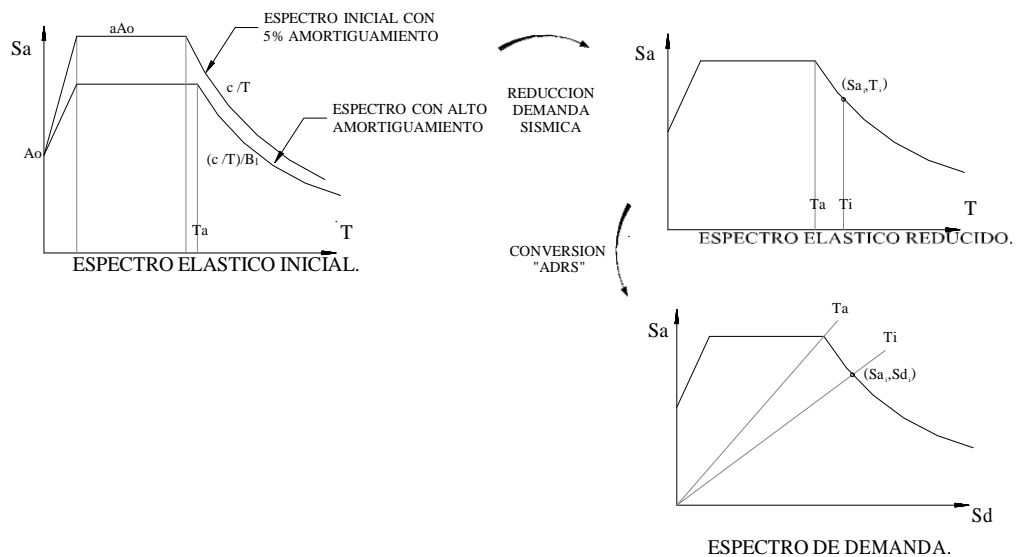
**Tabla 1. Amortiguamiento para sistemas estructurales.**

Sistema Estructural Principal	Elástico-lineal (bajo nivel de deformación)	Posterior a la cedencia (nivel de alto deformación)
Estructura metálica	3%	7%
Concreto reforzado	5%	10%
Mampostería	7%	12%
Madera	10%	15%
Sistema dual	(1)	(2)

Notas: (1) Usar un promedio ponderado en proporción a la participación relativa de cada sistema.  
 (2) Puede usarse el valor del sistema con mayor amortiguamiento.

Fuente: Freeman et al, 1984

Los factores de modificación de la respuesta elástica dependientes del amortiguamiento, los cuales deben aplicarse de manera consistente para cada nivel de movimiento del terreno especificado, se usan los factores de modificación de la respuesta elástica de (FEMA, 1996).



Espectro de demanda sísmica

**Figura 6. Espectro de demanda sísmica convertido.**

Fuente: Aguiar. 2010, P.79.



### **DESEMPEÑO DEL SÍSMO DE DISEÑO (SD):**

Correspondiente a movimientos de moderada a severa intensidad, de ocurrencia poco frecuente, generalmente asociados con un 10% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 475 años; corresponde al nivel de movimiento tradicionalmente especificado por la mayoría de los códigos de diseño para edificaciones convencionales y se espera que ocurra al menos una vez en la vida útil de una edificación.

### **ESPECTRO DE CAPACIDAD.**

En la curva de capacidad de una estructura existe una relación directa entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral del último nivel de la edificación, a un desplazamiento determinado de la estructura le corresponde una única fuerza restitutiva máxima y si dividimos esta fuerza entre la masa obtenemos un valor único de la aceleración a la que está sometida. Por ello podemos decir que a cada desplazamiento de la estructura le corresponde un único valor de aceleración.

Se transforma la curva de capacidad a un nuevo formato donde se representa la aceleración de la estructura vs. su desplazamiento lateral, denominado espectro de capacidad. (Fernández y Navarro, 2006, P. 38)

**Fuerza cortante:** El patrón de acciones laterales puede ser un sistema de cargas o uno de desplazamientos para el patrón de cargas laterales la

distribución de cargas puede ser uniforme, triangular, parabólica, etc. [Bonett, 2003].

La fuerza cortante es la determina por la siguiente expresión.

$$V = (ZUCS/R) *P.$$

**Conversión “ADRS”:** Usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (“Acceleration- Displacement Response Spectra”) donde se representa la aceleración espectral ( $S_a$ ), respecto al desplazamiento espectral ( $S_d$ ), denominado espectro de capacidad. Para esta conversión, cada punto  $(V_{o_i}, \Delta n_i)$  de la curva de capacidad, corresponde a un punto  $(S_{a_i}, S_{d_i})$  del espectro de capacidad, según:

$$SD = D_t \frac{M^*}{L^*} \qquad SA = V \frac{M^*}{L^{*2}}$$

### **ESPECTRO DE DEMANDA.**

El espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al correspondiente desplazamiento máximo, para un período y nivel de amortiguamiento dado. Estos valores máximos se corresponden con los valores pseudo espectrales siempre que se trate de pequeños valores del amortiguamiento.

Para propósitos de análisis y diseño se usan espectros suavizados envolventes de pseudo-aceleraciones de la norma peruana.

**Espectro de análisis:** Siguiendo las indicaciones de la norma técnica E-030 de diseño sismo resistente se emplearon el siguiente espectro:

$$S_a = ZUCS * g/R.$$

**Conversión “ADRS”:** La demanda sísmica inicial se caracteriza usando el espectro de respuesta elástico de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5%, el cual debe ser transformado a un formato ADRS; es decir, de aceleración espectral ( $S_a$  como una fracción de la aceleración de gravedad  $g$ ) respecto al desplazamiento espectral ( $S_d$ ). Para dicha conversión cada punto ( $S_{a_i}, T_i$ ) del espectro de respuesta donde  $T_i$  es el período en segundos, le corresponde a un punto ( $S_{a_i}, S_{d_i}$ ) del espectro de demanda, (Aguiar, 2010, P. 79):

$$S_d = T^2 \times S_a \times g / (4\pi^2)$$

#### **DESEMPEÑO DEL SISMO MAXIMO (SM).**

Correspondiente a movimientos de intensidad entre severos o muy severos, de muy rara ocurrencia, generalmente asociados con un 5% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 975 años. Se corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por los códigos de diseño para edificaciones esenciales y representa cerca de 1,25 a 1,5 veces el nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicionalmente especificados en los códigos, de allí que la mayoría asocian esta relación al factor de importancia de las

edificaciones esenciales, por tratarse de sismos menos frecuentes de mayor severidad.

### **ESPECTRO DE CAPACIDAD.**

En la curva de capacidad de una estructura existe una relación directa entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral del último nivel de la edificación, a un desplazamiento determinado de la estructura le corresponde una única fuerza restitutiva máxima y si dividimos esta fuerza entre la masa obtenemos un valor único de la aceleración a la que está sometida. Por ello podemos decir que a cada desplazamiento de la estructura le corresponde un único valor de aceleración.

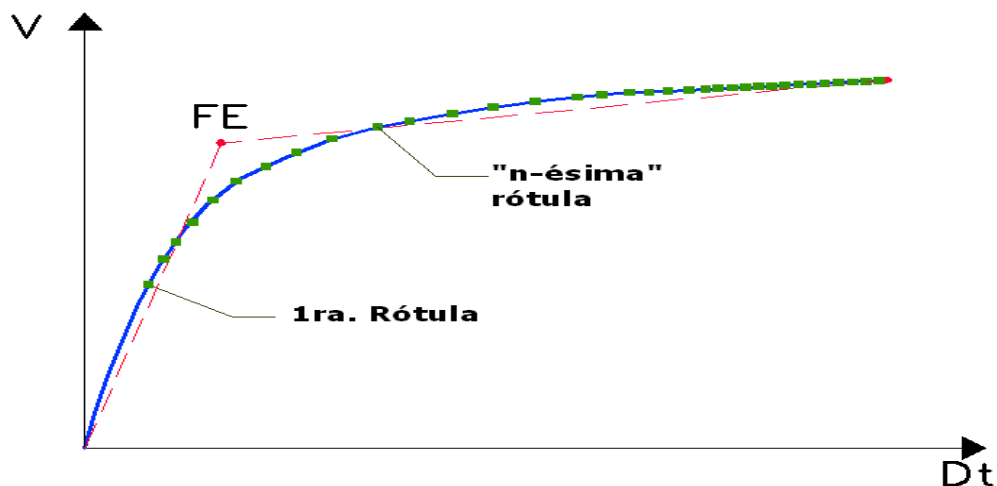
Entonces podemos transformar la curva de capacidad a un nuevo formato donde se representa la aceleración de la estructura vs. Su desplazamiento lateral, denominado espectro de capacidad. (Fernández y Navarro, 2006, P: 38)

**Fuerza cortante.** - El patrón de acciones laterales puede ser un sistema de cargas o uno de desplazamientos para el patrón de cargas laterales la distribución de cargas puede ser uniforme, triangular, parabólica, etc. [Bonett, 2003].

La fuerza cortante es la determina por la siguiente expresión.

$$V = (ZUCS/R) *P.$$

**Fluencia Efectiva y Modelo Bilineal:** En un análisis de desplazamiento incremental la formación de la primera rotula se reconoce como el inicio del comportamiento no lineal, pero generalmente este evento no está asociado a un cambio significativo e inmediato en la rigidez y resistencia lateral, es decir, no se genera un cambio importante en la pendiente de la curva de capacidad. Es necesario entonces hallar un punto de fluencia en el cual se haya producido un cambio importante en el comportamiento del edificio y por lo tanto en la pendiente de la curva de capacidad, dicho punto se denomina “fluencia efectiva”.



**Figura 7. Formación de rotulas en la curva de capacidad.**

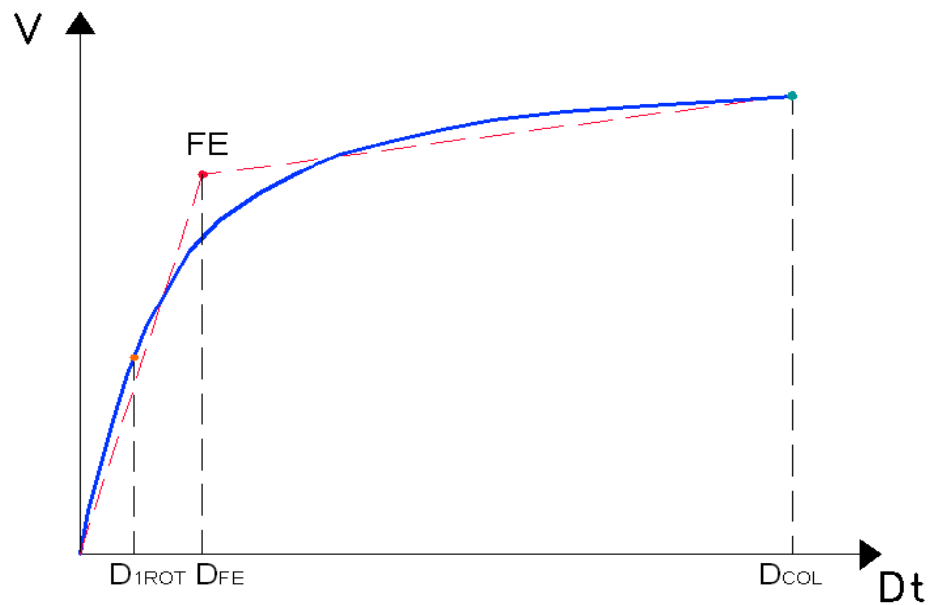
Fernández y Navarro. 2006. p. 20.

Conforme se forman más rótulas paulatinamente, va cambiando la rigidez lateral del edificio hasta que se hace notorio el cambio y la estructura tiene una rigidez lateral significativamente menor, existen diferentes criterios para determinar el punto de fluencia efectiva.

**Ductilidad:** La ductilidad es la capacidad de deformación más allá del límite elástico que posee un elemento estructural:

**Ductilidad Disponible:** La ductilidad disponible de la estructura puede estimarse comparando el desplazamiento de colapso (DCOL) respecto al desplazamiento asociado a la formación de la primera rótula (D1ROT) o a la fluencia efectiva (DEF). Dichos puntos se observan en la figura 8.

Dónde:  $\mu_{COL/1ROT} = (DCOL) / (D1ROT)$

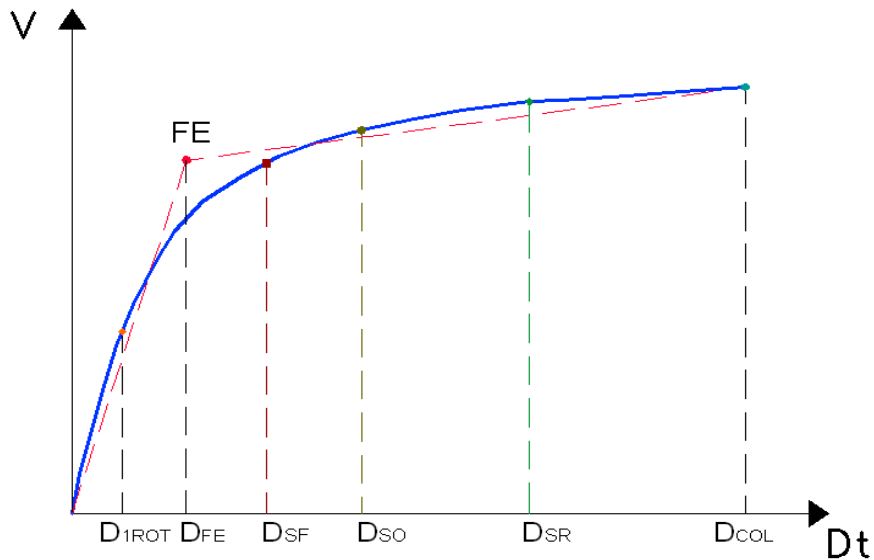


**Figura 8. Puntos notables de la ductilidad estructural disponible.**

Fuente: Allauca. 2006. P, 25.

**Ductilidad Demandada:** En la curva de capacidad existen algunos puntos que representan la respuesta de la edificación a un determinado terremoto o a ciertos valores de la deriva global del edificio. Consideraremos como puntos de interés a los del Sismo Frecuente, el Sismo Ocasional y el Sismo Raro; y los asociados a las derivas de 7 0/00, 10 0/00 y 20 0/00, mostrados en la figura 9. En el caso de los elementos, puede estimarse la ductilidad demandada asociada a cada uno de los puntos de interés de la curva de capacidad.

La demanda de ductilidad en los elementos se define entonces como el cociente entre la curvatura asociada a los puntos de interés de la estructura y la curvatura de fluencia efectiva del elemento.



**Figura 9. Desplazamiento de demanda del sismo frecuente, ocasional y raro.**

Fuente: Allauca. 2003. P, 26.

Para cada uno de estos puntos es posible estimar la ductilidad demandada como el cociente de desplazamientos de la curva de capacidad, pudiendo considerar como divisor el desplazamiento asociado a la primera rótula o al del punto de fluencia efectiva.

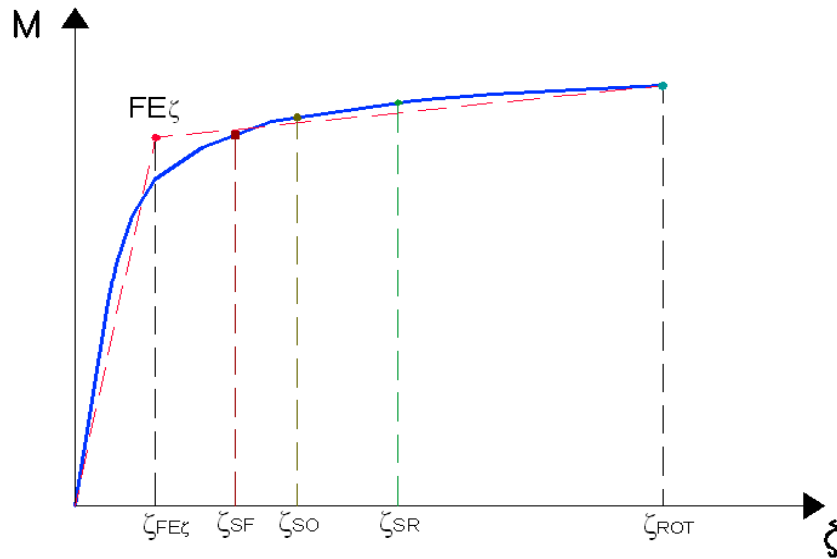
$$M(SF, SO, SR) / 1rot = D(SF, SO, SR) / D(1rot)$$

**Sobre resistencia:** Al incremento de capacidad más allá del límite elástico se conoce como sobre resistencia estructural.

En la figura 10, se muestra la curva referida a la sobre resistencia estructural. La sobre resistencia estructural se cuantifica como el cociente de la fuerza asociada a los puntos de interés (Sismo Frecuente, Ocasional y Raro, y

derivas de 7 0/00, 10 0/00 y 20 0/00) y un divisor que puede ser la fuerza cortante de diseño (VD), cortante asociada a la primera rótula (VIROT) o la cortante de la fluencia efectiva (VFE).

$$SR = V / (VD).$$



**Figura 10. Cortantes asociados a los sismos de demanda.**

Fuente: Jurado y Mendoza. 2012. p.35.

**Conversión “ADRS”:** Usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (“Acceleration- Displacement Response Spectra”) donde se representa la aceleración espectral (Sa), respecto al desplazamiento espectral (Sd), denominado espectro de capacidad. Para esta conversión, cada punto  $(V_{oi}, \Delta_{ni})$  de la curva de capacidad, corresponde a un punto  $(S_{ai}, S_{di})$  del espectro de capacidad, según:

$$SD = D_r \frac{M^*}{L^*} \qquad SA = V \frac{M^*}{L^{*2}}$$

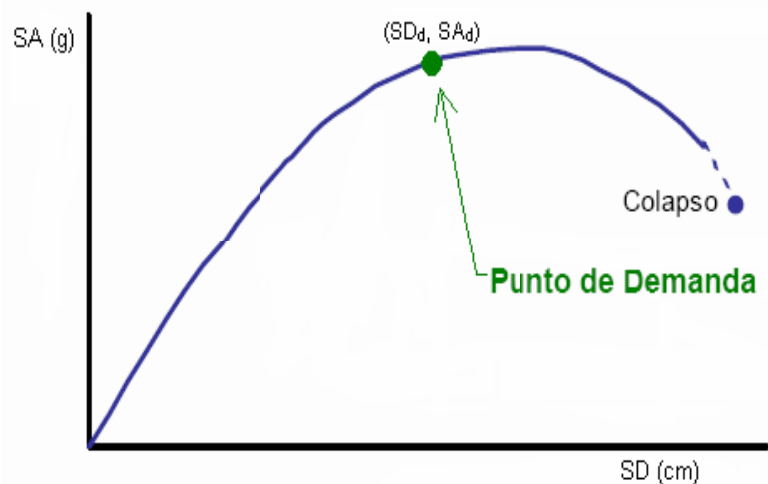


### ESPECTRO DE DEMANDA:

El espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al correspondiente desplazamiento máximo, para un período y nivel de amortiguamiento dado. Estos valores máximos se corresponden con los valores pseudo espectrales siempre que se trate de pequeños valores del amortiguamiento.

Para propósitos de análisis y diseño se usan espectros suavizados envolventes de pseudo-aceleraciones de la norma peruana.

**Punto de demanda:** El punto de demanda representa la respuesta máxima de la estructura ( $SD_d$ ,  $SA_d$ ) sometido a un determinado sismo, como se ilustra en la figura 11, en el espectro de capacidad los valores de ( $SD_d$  y  $SA_d$ ) se ubican en algún lugar de la curva.



**Figura 11. Punto de demanda en la curva de capacidad.**

Fuente: Fernández y Navarro. 2006. p. 34.

**Espectro de análisis:** Siguiendo las indicaciones de la norma técnica E-030 de diseño sísmo resistente se emplearon el siguiente espectro:

$$S_a = ZUCS * g/R.$$

**Conversión “ADRS”:** La demanda sísmica inicial se caracteriza usando el espectro de respuesta elástico de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5%, el cual debe ser transformado a un formato ADRS; es decir, de aceleración espectral ( $S_a$  como una fracción de la aceleración de gravedad  $g$ ) respecto el desplazamiento espectral ( $S_d$ ). Para dicha conversión cada punto ( $S_{a_i}, T_i$ ) del espectro de respuesta, donde  $T_i$  es el período en segundos, corresponde a un punto ( $S_{a_i}, S_{d_i}$ ) del espectro de demanda, según:

$$S_d = T^2 \times S_a \times g / (4 \pi^2).$$

### **2.2.2. NIVEL DE DESEMPEÑO ESENCIAL SEGÚN LA RECOMENDACIÓN DEL COMITÉ VISION 2000.**

**Nivel de desempeño:** El nivel de desempeño describe un estado límite de daño, representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (ATC-40, 1996).

Es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como de los elementos no estructurales y su contenido, relacionado con la función de la edificación. Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de

significación pública (impacto en ocupantes, usuarios) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes (extensión del deterioro, degradación de elementos estructurales o no estructurales) (SEAOC, 1995).

**Propuesta Comité VISION 2000:**

Según la Propuesta del Comité VISION 2000 (1995). Define cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores:

**Totalmente Operacional:** Nivel de desempeño en el cual no ocurren daños. Las consecuencias sobre los usuarios de las instalaciones son despreciables. La edificación permanece totalmente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

**Operacional:** Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños ligeros en elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación que debería permanecer disponible para cumplir con sus funciones normales inmediatamente después del sismo, aunque los daños en elementos no estructurales y contenido, puede interrumpir parcialmente algunas funciones. En general, se requieren algunas reparaciones menores.

**Seguridad:** Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación. Degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema. Interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación de las vías de escape de la edificación. Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio probablemente requerirá reparaciones importantes.

**Pre-Colapso:** Nivel de desempeño en el cual la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso estructural. Interrupción de servicios y vías de escape. La edificación es completamente insegura para sus ocupantes y la extensión de las reparaciones puede resultar no factible técnica o económicamente.

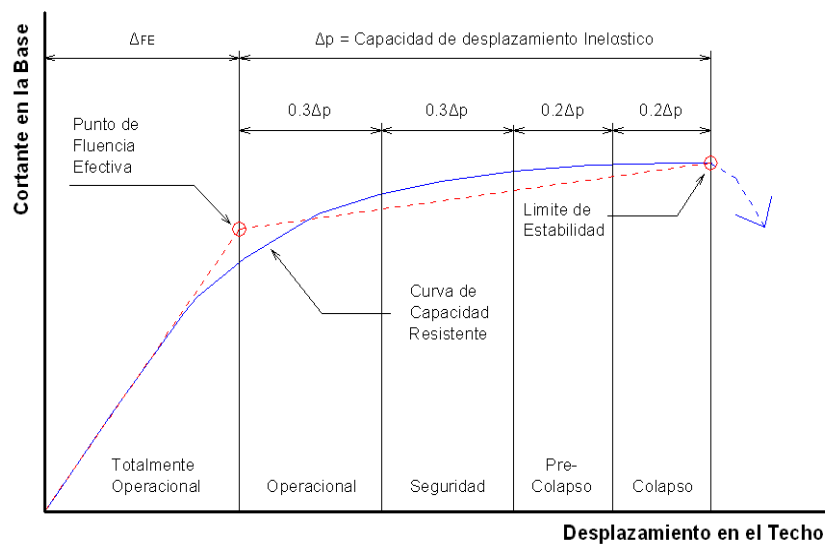
En el presente trabajo, se incluye una descripción de los niveles permisibles o tolerables de daño asociados a los cuatro niveles de desempeño indicados, para los diferentes sistemas y sub-sistemas del edificio, los componentes del sistema resistente a cargas verticales y laterales, así como los componentes secundarios y no estructurales (arquitectónicos, eléctricos, mecánicos), La tabla 2 resume algunas de los principales niveles de desempeño y su relación con los estados de daños.

**Tabla. 2. Estados de daño y niveles de desempeño.**

Estado de daño	Nivel de Desempeño	Características principales
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
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.

El Comité VISION 2000 propone dividir la curva de capacidad en sectores asociados a estos niveles de desempeño. La curva se simplifica en un modelo bilineal, dividiendo el tramo inelástico de la edificación en cuatro sectores asociados a los niveles de desempeño correspondientes.



**Figura 12. Etapas en la curva capacidad.**

Fuente: Jurado y Mendoza, 2012, P. 49.

#### **Propuesta ATC-40.**

Según la propuesta del ATC-40 (1996), especifica separadamente el nivel de desempeño para la estructura y el nivel de desempeño para los componentes no estructurales de manera que su combinación conduce a la definición del nivel de desempeño de la edificación:

**Nivel de desempeño para la estructura:** Describen los posibles estados de daño sobre la estructura. Para tal fin, se definen tres estados de daño discretos o límites: inmediata ocupación, seguridad y estabilidad estructural, y dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada, los cuales se designan con la abreviación SP-n, (“structural Performance”, donde n es un número).

**SP-1.** Inmediata ocupación: el sistema resistente a cargas verticales y laterales permanece prácticamente inalterado, puede haber ocurrido daño estructural muy limitado, el peligro a la vida es despreciable y la edificación se mantiene funcionando en su totalidad.

**SP-2.** Daño controlado: corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de inmediata ocupación y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que sean afectados.

**SP-3.** Seguridad: puede haber ocurrido daño significativo en la estructura, sin embargo, la mayoría de los elementos estructurales se mantienen. Amenaza a la vida de los ocupantes interiores y exteriores e incluso, puede haber afectados. Costos elevados asociados a las reparaciones estructurales.

**SP-4.** Seguridad limitada: corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de seguridad y estabilidad estructural, con alto peligro para los ocupantes.

**SP-5.** Estabilidad estructural: corresponde a un estado de daño en el cual el sistema estructural está en el límite de experimentar un colapso parcial o total. Han sucedido daños sustanciales, con una significativa degradación de rigidez y resistencia del sistema resistente a cargas laterales, aun cuando los componentes del sistema resistente a cargas verticales mantengan la capacidad suficiente para evitar el colapso. Existe un elevado peligro para ocupantes y transeúntes, así como un peligro elevado en caso de réplicas. Estas edificaciones requieren reparaciones estructurales significativas.

**SP-6.** No considerado: no corresponde con un nivel de desempeño de la estructura, sino con una condición en la cual sólo se incluye una evaluación sísmica de los componentes no estructurales. Se limita a considerar el desempeño de los elementos no estructurales.

**Nivel de desempeño para los componentes no estructurales:** Describen los posibles estados de daño de los componentes no estructurales. Para tal fin, se definen cuatro estados de daño: operacional, inmediata ocupación, seguridad y amenaza, los cuales se designan con la abreviación NP-n (“Nonstructural Performance”, donde n designa una letra).

**NP-A.** Operacional: después del sismo, los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen sin daño y funcionando. Todos los

equipos y maquinarias deben permanecer operativos, aunque algunos servicios externos no estén del todo disponibles.

**NP-B.** Inmediata ocupación: los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen en su sitio, con pequeñas interrupciones que no comprometen o limitan su funcionamiento. Se mantiene un estado de seguridad para los ocupantes.

**NP-C.** Seguridad: contempla considerable daño en sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso o interrupción de los mismos que pueda atentar seriamente contra los ocupantes. No debería haber fallo en los componentes peligrosos, sin embargo, el equipamiento y las maquinarias pueden quedar fuera de servicio. Puede haber algunos afectados, el peligro a la vida por los daños en componentes no estructurales es bajo.

**NP-D.** Amenaza: incluye importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso de los grandes y pesados elementos que pongan en peligro a grupos de personas. El peligro a la vida por los daños en componentes no estructurales es alto.

**NP-E.** No considerado: no corresponde con un nivel de desempeño de los componentes no estructurales, sino con una condición en la cual sólo se incluye una evaluación sísmica de los componentes estructurales. Se limita a considerar el desempeño de los elementos estructurales.

**Nivel de desempeño de la edificación:** Describen los posibles estados de daño para la edificación, estos niveles de desempeño se obtienen de la apropiada combinación de los niveles de desempeño de la estructura y de



los componentes no estructurales. En la Tabla 3, muestra las posibles combinaciones donde se han destacado e identificado los cuatro niveles de desempeño de edificaciones más comúnmente referenciados; operacional (1-A), inmediata ocupación (1- B), seguridad (3-C) y estabilidad estructural (5-E), así como otros niveles de desempeño posibles (2-A, 2-B, etc.). La designación NR corresponde a niveles de desempeño no recomendables en el sentido que no deben ser considerados en la evaluación.

**Tabla 3. Niveles de desempeño de la edificación.**

	SP-1 Inmediata Ocupación	SP-2 Daño Controlado (rango)	SP-3 Seguir- dad	SP-4 Seguri- dad limitada (rango)	SP-5 Estabili- dad Estructu- ral	SP-6 No considera- do
NP-A Operacional	<b>1-A Operacional</b>	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B mediata Ocupación	<b>1-B Inmediata Ocupación</b>	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C seguridad	1-C	2-C	<b>3-C Segurid ad</b>	4-C	5-C	6-C
NP-D Amenaza	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	<b>5-E Estabili- dad Estructu- ral</b>	No Aplica- ble

Fuente: ATC-40, 1996.

Estos niveles de desempeño están asociados a la siguiente descripción:

**1-A. Operacional:** se relaciona básicamente con la funcionalidad. Los daños en componentes estructurales son limitados. Los sistemas y elementos no estructurales permanecen funcionando. Cualquier reparación requerida no

perturba ninguna función. Se mantiene la seguridad de los ocupantes. Se mantienen las funciones de los servicios de la edificación, incluso cuando los externos a la misma no estén disponibles.

**1-B.** Inmediata ocupación: corresponde al criterio más usado para edificaciones esenciales. Los espacios de la edificación, los sistemas y los equipamientos permanecen utilizables. Se mantienen en funcionamiento los servicios primarios. Quizás algunos servicios secundarios presenten pequeñas interrupciones de fácil e inmediata reparación. Se mantiene la seguridad de los ocupantes.

**3-C.** Seguridad vital: corresponde a un estado de daños que presenta una baja probabilidad de atentar contra la vida. Constituye el nivel de desempeño de la edificación que se espera alcanzar con la aplicación de los actuales códigos sísmicos; es decir, que se corresponde a un desempeño equivalente al que se obtendría con la aplicación sistemática de los códigos actuales de diseño sísmico. Se caracteriza por presentar daños limitados en los componentes estructurales y el eventual fallo o volcamiento de los componentes no estructurales, con posibilidad inclusive de fallo en algún elemento peligrosos y en alguno de los elementos primarios (servicios de agua, electricidad y otros) y secundarios (acabados, fachadas y otros), siempre que no atente contra la vida de los usuarios.

**5-E.** Estabilidad estructural: para este estado de daño prácticamente no queda reserva alguna del sistema resistente a carga lateral que permita soportar una réplica, sólo se mantiene cierta capacidad del sistema resistente a cargas verticales para mantener la estabilidad de la estructura, de manera que

el peligro para la vida es muy alto. El nivel de daño estructural implica que no se requiere la revisión de los componentes no estructurales. El peligro de los ocupantes y transeúntes por el colapso o falla de componente no estructurales exige el desalojo de la edificación.

### **DESEMPEÑO DEL SISMO DE SERVICIO.**

Es la respuesta estructural correspondiente a movimientos de baja a moderada intensidad de ocurrencia frecuente, de manera que puede llegar a ocurrir varias veces durante la vida útil de una edificación.

El desempeño esperado de la edificación describe un comportamiento sísmico que pueden considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades (ATC-40, 1996).

Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño esperado, seleccionando diferentes niveles de desempeño de la edificación para cada uno de los niveles de movimientos especificados. Su selección debe estar basada en las características de ocupación de la edificación, la importancia de la función de sus instalaciones, las consideraciones económicas relacionadas con los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, la importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural (SEAOC, 1995).

### **NIVEL DEL MOVIMIENTO DE TERRENO:**

De acuerdo a la propuesta del ATC-40 (1996) se definen tres niveles de amenaza correspondiente a movimientos sísmicos identificados como la primera:

**Sismo de Servicio ( $SS = 0.5 * Sa$ );** correspondiente a movimientos de baja a moderada intensidad de ocurrencia frecuente, generalmente asociados con un 50% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 72 años, de manera que puede llegar a ocurrir varias veces durante la vida útil de una edificación. En base a los resultados de peligrosidad típicos de un emplazamiento determinado, este movimiento representa aproximadamente la mitad del nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicionalmente especificado en los códigos, por tratarse de sismos más frecuentes y de menor severidad. (Aguilar, 2010, P. 72)

### **RECOMENDACIÓN DE DISEÑO DE LA EDIFICACION:**

Es importante destacar el hecho de que hoy se dispone de metodologías, herramientas y tecnología para lograr que una edificación se diseñe y se construya de forma que cumpla los requerimientos de desempeño más restrictivos y exigentes, por lo que resulta impostergable la necesidad de definir en las edificaciones esenciales, los objetivos de diseño o los niveles de desempeño esperado de la edificación compatibles con los niveles de importancia de estas instalaciones y que el

diseño basado en el desempeño sísmico constituye el camino apropiado para su implementación. (Aguiar, 2010, P.74).

Utilizando como base el formato contenido en la propuesta del ATC-40 (1996), la Tabla 4, presenta una equivalencia de los niveles de desempeño esperados para edificaciones esenciales, establecidos por las principales guías de diseño de este tipo de instalaciones. En particular se hace referencia a las recomendaciones contenidas en:

- Propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) para instalaciones esenciales.
- Propuesta de los códigos de diseño sísmico del llamado “Triservices” (DOD, 1986).
- Título 24 – Hospitales, de la Comisión de Edificaciones del Estado de California, (CBSC, 1995).
- Disposiciones particulares para el diseño sísmico de los “Veterans Administration, Hospital” (VA, 1986).

**Tabla 4. Niveles de desempeño esperado para edificaciones esenciales.**

Nivel del movimiento Del terreno	Recomendaciones de diseño.			
	Visión 2000	Triservices Essential	California Hosp/Essent.	VA Hospital
Servicio (SS)	1A	1B		

Fuente: Aguiar, 2010. P.73.

Este nivel de desempeño está asociado a la siguiente descripción:

**1-A. Operacional:** se relaciona básicamente con la funcionalidad. Los daños en componentes estructurales son limitados. Los sistemas y elementos no estructurales permanecen funcionando. Cualquier reparación requerida no perturba ninguna función. Se mantiene la seguridad de los ocupantes. Se mantienen las funciones de los servicios de la edificación, incluso cuando los externos a la misma no estén disponibles.

### **DESEMPEÑO DEL SISMO DE DISEÑO:**

Es la respuesta estructural correspondiente a movimientos de moderada a severa intensidad, de ocurrencia poco frecuente, corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por la mayoría de los códigos de diseño para edificaciones convencionales y se espera que ocurra al menos una vez en la vida útil de una edificación.

### **NIVEL DEL MOVIMIENTO DE TERRENO:**

De acuerdo a la propuesta del ATC-40 (1996) se definen tres niveles de amenaza correspondiente a movimientos sísmicos identificados como la segunda:

**Sismo de Diseño (SD):** correspondiente a movimientos de moderada a severa intensidad, de ocurrencia poco frecuente, generalmente asociados con un 10% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 475 años. Se corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por la mayoría de los códigos de diseño para edificaciones convencionales y se espera que

ocurra al menos una vez en la vida útil de una edificación. (Aguiar, 2010, P.72)

### **RECOMENDACIÓN DE DISEÑO DE LA EDIFICACION:**

Es importante destacar el hecho de que hoy se dispone de metodologías, herramientas y tecnología para lograr que una edificación se diseñe y se construya de forma que cumpla los requerimientos de desempeño más restrictivos y exigentes, por lo que resulta impostergable la necesidad de definir en las edificaciones esenciales, los objetivos de diseño o los niveles de desempeño esperado de la edificación compatibles con los niveles de importancia de estas instalaciones y que el diseño basado en el desempeño sísmico constituye el camino apropiado para su implementación. (Aguiar, 2010, P. 74)

Utilizando como base el formato contenido en la propuesta del ATC-40 (1996), la Tabla 5, presenta una equivalencia de los niveles de desempeño esperados para edificaciones esenciales, establecidos por las principales guías de diseño de este tipo de instalaciones. En particular se hace referencia a las recomendaciones contenidas en:

- Propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) para instalaciones esenciales.
- Propuesta de los códigos de diseño sísmico del llamado “Triservices” (DOD, 1986).
- Título 24 – Hospitales, de la Comisión de Edificaciones del Estado de California, (CBSC, 1995).

- Disposiciones particulares para el diseño sísmico de los “Veterans Administration, Hospital” (VA, 1986).

**Tabla 5. Niveles de desempeño esperado para edificaciones esenciales.**

Nivel del movimiento Del terreno	Recomendaciones de diseño.			
	Visión 2000	Triservices Essential	California Hosp/Essent.	VA Hospital
Diseño	1B		1B	

Fuente: Aguiar, 2010. P.73.

**1-B. Inmediata ocupación:** corresponde al criterio más usado para edificaciones esenciales. Los espacios de la edificación, los sistemas y los equipamientos permanecen utilizables. Se mantienen en funcionamiento los servicios primarios. Quizás algunos servicios secundarios presenten pequeñas interrupciones de fácil e inmediata reparación. Se mantiene la seguridad de los ocupantes. (Aguiar, 2010, P.70)

**DESEMPEÑO DEL SISMO MAXIMO:**

Es la respuesta estructural correspondiente a movimientos de intensidad entre severos o muy severos, de muy rara ocurrencia, corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por los códigos de diseño para edificaciones esenciales, de allí que la mayoría asocian esta relación al factor de importancia de las edificaciones esenciales, por tratarse de sismos menos frecuentes de mayor severidad.



### **NIVEL DEL MOVIMIENTO DE TERRENO:**

De acuerdo a la propuesta del ATC-40 (1996) se definen tres niveles de amenaza correspondiente a movimientos sísmicos identificados como la tercera:

**Sismo Máximo ( $SM = 1.5 * Sa$ ):** correspondiente a movimientos de intensidad entre severos o muy severos, de muy rara ocurrencia, generalmente asociados con un 5% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años, con un período medio de retorno de aproximadamente 975 años. Se corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por los códigos de diseño para edificaciones esenciales y representa cerca de 1.25 a 1.5 veces el nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicionalmente especificados en los códigos, de allí que la mayoría asocian esta relación al factor de importancia de las edificaciones esenciales, por tratarse de sismos menos frecuentes de mayor severidad. (Aguiar, 2010, P.72)

### **RECOMENDACIÓN DE DISEÑO DE LA EDIFICACION:**

Es importante destacar el hecho de que hoy se dispone de metodologías, herramientas y tecnología para lograr que una edificación se diseñe y se construya de forma que cumpla los requerimientos de desempeño más restrictivos y exigentes, por lo que resulta impostergable la necesidad de definir en las edificaciones esenciales, los objetivos de diseño o los niveles de desempeño esperado de la edificación compatibles con los niveles de importancia de estas instalaciones y que el diseño basado en el

desempeño sísmico constituye el camino apropiado para su implementación.  
(Aguar, 2010, P.74)

Utilizando como base el formato contenido en la propuesta del ATC-40 (1996), la Tabla 6, presenta una equivalencia de los niveles de desempeño esperados para edificaciones esenciales, establecidos por las principales guías de diseño de este tipo de instalaciones. En particular se hace referencia a las recomendaciones contenidas en:

- Propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) para instalaciones esenciales.
- Propuesta de los códigos de diseño sísmico del llamado “Triservices” (DOD, 1986).
- Título 24 – Hospitales, de la Comisión de Edificaciones del Estado de California, (CBSC, 1995).
- Disposiciones particulares para el diseño sísmico de los “Veterans Administration, Hospital” (VA, 1986).

**Tabla 6. Niveles de desempeño esperado para edificaciones esenciales.**

Nivel del movimiento Del terreno	Recomendaciones de diseño.			
	Visión 2000	Triservices Essential	California Hosp/Essent.	VA Hospital
Máximo(SM)	3C	3C	5E	1 <sup>a</sup>

Fuente: Aguar, 2010. P.73.

**3-C. Seguridad vital:** corresponde a un estado de daños que presenta una baja probabilidad de atentar contra la vida. Constituye el nivel de desempeño de la edificación que se espera alcanzar con la aplicación de los actuales

códigos sísmicos; es decir, que se corresponde a un desempeño equivalente al que se obtendría con la aplicación sistemática de los códigos actuales de diseño sísmico. Se caracteriza por presentar daños limitados en los componentes estructurales y el eventual fallo o volcamiento de los componentes no estructurales, con posibilidad inclusive de fallo en algún elemento peligroso y en alguno de los elementos primarios (servicios de agua, electricidad, otros) y secundarios (acabados, fachadas, otros), siempre que no atente contra la vida de los usuarios. (Aguilar, 2010, P.70)

**El nivel de desempeño esperado de la edificación:** Se establece una vez identificados el límite de daños tolerables en una edificación y los niveles de movimientos del terreno debido a sismos.

Para el ATC-40 (1996), la decisión sobre el nivel de desempeño esperado para una edificación depende básicamente de consideraciones funcionales, políticas, económicas (de costos), de preservación. Existe una amplia variedad de combinaciones, atendiendo a las características particulares de uso, función e importancia de cada edificación.

### **INTERVENCION EN LAS EDIFICACIONES:**

**Intervención estructural:** La intervención estructural consiste en la implementación de medidas estructurales y garantizar un nivel de desempeño a nivel estructural adecuado ante un sismo.

Las estrategias de reforzamiento suelen implementarse a través de la inserción de elementos adicionales como muros de corte, contrafuertes,

pórticos, pórticos arriostrados, arrostramiento de pórticos, muros de relleno en pórticos, reforzamiento de diafragmas, reforzamiento de columnas y vigas, incorporación de elementos de confinamiento, incorporación de elementos de aislamiento de base, utilización de unidades de disipación de energía, modificación de la rigidez local de elementos, incorporación de soportes adicionales y reducción de masa.

**Intervención no estructural:** Consiste en la implementación de todas aquellas medidas sobre el sistema, los elementos y los componentes no estructurales, necesarias para garantizar su adecuado desempeño ante un sismo.

Las medidas de mitigación destacan la remoción y/o reubicación de elementos peligrosos, la restricción de la movilización de ciertos objetos, el uso apropiado de anclajes, de acoples flexibles y de soportes, la sustitución o modificación de objetos que representen peligro, el aislamiento de objetos, la fijación sobre todo de estanterías y otros elementos altos, el refuerzo de elementos, la redundancia de materiales esenciales, la rápida respuesta y reparación.

**Intervención funcional:** La intervención funcional debe estar orientada a identificar las deficiencias funcionales de la instalación en casos de emergencia y hacer las adecuaciones necesarias, en algunos casos, pueden implicar variaciones en los diseños y distribuciones de áreas, de manera que permitan mitigar y prevenir colapsos funcionales.

Exige la intervención de todo un equipo multidisciplinario en el que participe personal especializado, ingenieros, arquitectos, planificadores y otros, con el

fin de lograr una adecuación eficiente de la planta física, usos, servicios, accesos y áreas exteriores.

Desde el punto de vista funcional, entre las medidas más importantes destacan la señalización de servicios, rutas de evacuación y escape, de equipos de emergencia, tanto en el interior de la edificación como en el exterior y los alrededores, la existencia de un plan de emergencia efectivo y probado, la permanente disponibilidad de las salidas de emergencia, la práctica de simulacros de actuación en caso de sismos, información sobre las acciones a tomar, equipamiento básico para atención de primeros auxilios y de comunicación, sistemas de alarma, redundancia en equipos y servicios vitales, entre otros, (Aguiar, 2010).

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.**

**Concreto Armado:** Concreto que tiene armadura de refuerzo en una cantidad igual o mayor que la requerida en la norma y en el que ambos materiales actúan juntos para resistir esfuerzos. (RNC, 1997. P.357).

**Carga de Servicio:** Carga prevista en el análisis durante la vida de la estructura. (RNC, 1997. P.357).

**Carga Factorizada o Carga Amplificada o Carga Última:** Carga multiplicada por factores de carga apropiados, utilizada en el diseño por resistencia a carga última o resistencia. (RNC, 1997. P.357).

**Carga Muerta o Carga Permanente o Peso Muerto:** Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos

soportados por la edificación, incluyendo el peso propio, que se supone sean permanentes. (RNC, 1997. P.357).

**Carga Viva:** Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos movibles soportado por la edificación. (RNC, 1997. P.357).

**Cargas de Sismo:** Fuerza evaluada según la Norma de Diseño Sismo Resistente del Reglamento Nacional de Construcciones para estimar la acción sísmica sobre una estructura. (RNC, 1997. P.357).

**Columna:** Elemento estructural que se usa principalmente para resistir carga axial de compresión y que tiene una altura de por lo menos 3 veces su dimensión lateral menor. (RNC, 1997. P.357).

**Muro de Corte:** Elemento estructural usado básicamente para proporcionar rigidez lateral y absorber porcentajes importantes del cortante horizontal sísmico. (RNC, 1997. P.357).

**Viga:** Elemento estructural que trabaja fundamentalmente a flexión. (RNC, 1997. P.357).

**Losa:** Elemento estructural de espesor reducido respecto a sus otras dimensiones usado como techo o piso, generalmente horizontal y armado en una o dos direcciones según el tipo de apoyo existente en su contorno.

Usado también como diafragma rígido para mantener la unidad de la estructura frente a cargas horizontales de sismo. (RNC, 1997. P.357).

### **III. METODOLOGIA**

#### **3.1. Tipos y diseño de investigación.**

##### **Tipo de la investigación.**

Es del tipo descriptivo, porque evalúa el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM.

##### **Diseño de la investigación.**

Es correlativa transversal; es correlativa, al existir relación entre los conceptos y las variables del edificio dual y el desempeño sísmico, al analizar los datos obtenidos de la muestra. Es transversal porque los datos son obtenidos en un mismo momento.

#### **3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico**

##### **Población y muestra.**

La población y la muestra es la misma por tratarse del estudio de un caso, que es el edificio dual de la FIC de la UNASAM.

#### **3.3. Instrumentos de recolección de la información.**

**Entrevistas:** las entrevistas fueron hechas al ingeniero residente de la obra a los especialistas en ingeniería estructural, dedicados al diseño en edificación dual de cinco o más pisos en la ciudad de Huaraz, para obtener información y datos necesarios del proceso constructivo, antigüedad de la edificación, entre otros.

**Observación:** a través de vistas fotográficas insitu de la edificación en estudio, se recopilarán datos técnicos de las estructuras en sus diferentes niveles de construcción, y obtener datos patológicos.

**Ensayos:** se consiguió resultado de las pruebas de laboratorio efectuados durante la ejecución de la edificación en estudio, diseño de mezclas para la dosificación del concreto en las diferentes calidades del concreto, pruebas de compresión del concreto, estudio de suelos, resultados de la densidad de campo, entre otros.

**Análisis documental:** se conseguidos planos de replanteo, fotografías y otros documentos del proceso constructivo de la estructura en estudio, con el fin de su análisis.

#### **3.4. Plan de procesamiento y análisis de la información.**

Se verificaron las propiedades mecánicas de la edificación existente como: resistencia de compresión del concreto ( $f'c$ ), de las columnas y vigas, con los datos obtenidos de los planos de replanteo.

Se efectuó el estudio patológico de la integridad del edificio en estudio, antigüedad, fisuras.

Se verifico el estudio de suelo, datos utilizados, el módulo de balasto y capacidad portante del suelo, que sirvieron para graficar la curva espectro ( $S_a$ ) versus desplazamiento ( $S_d$ ).

Se determinó la demanda a la que está sometida la edificación, conforme la propuesta del comité VISION 2000.



Se efectuó el análisis no lineal estático de la edificación en estudio utilizando método Pushover con la finalidad de determinar la curva de capacidad de la edificación conocida como fuerza cortante basal ( $V$ ) versus desplazamiento lateral del edificio en el último nivel ( $\Delta_r$ ).

Se efectuó la comparación de las curvas de capacidad y demanda con la finalidad de determinar el punto de desempeño de la edificación dual de cinco pisos.

Se verifico los programas de computación, los más difundidos el Sap-2000, Etabs, Ram Perform y Ruamoko. Se usó el programa más utilizado y sencillo, el programa SAP 2000 en su versión 15, para Windows. Este programa representa el comportamiento no lineal de los elementos unidimensionales mediante rótulas concentradas (hinges) y también permite incorporar el comportamiento no lineal de otros elementos como paneles de corte mediante conexiones inelásticas entre nudos.

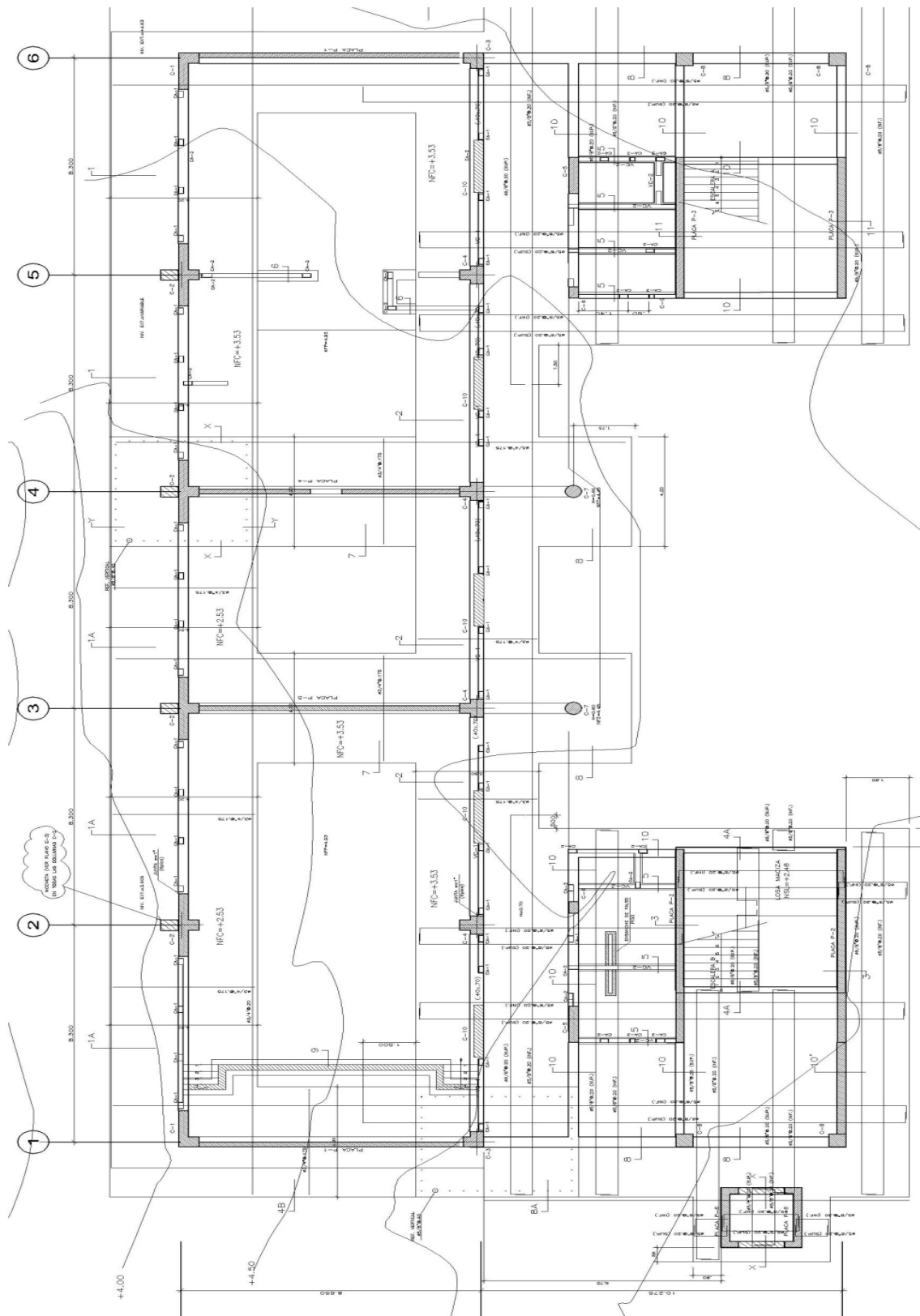
## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DUAL DE LA FIC.**

#### **El edificio estudiado.**

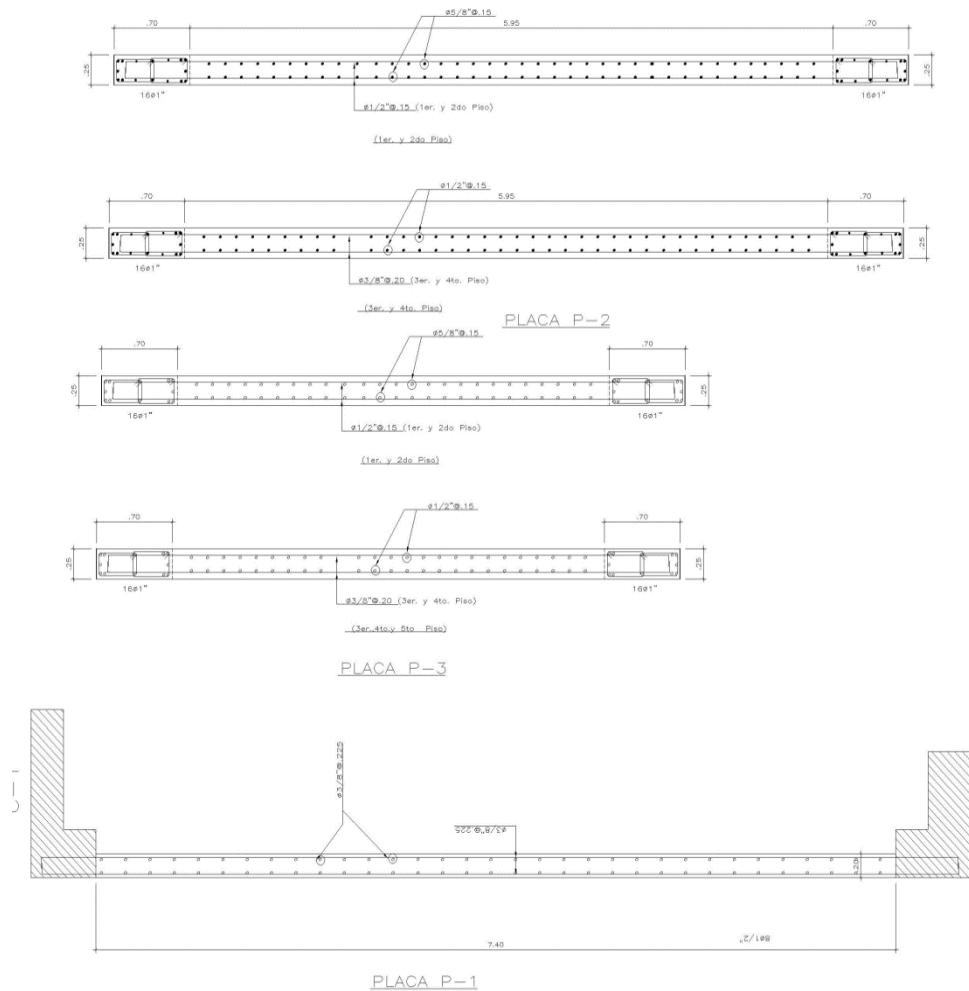
El edificio estudiado se ubica en la ciudad universitaria de Shancayan en el distrito de Independencia de la provincia de Huaraz. La altura de entrepisos para el primer nivel y los pisos restantes es de 3,50 m.

La primera planta está destinada a oficinas para el personal docente y auditorium, el segundo nivel está destinado para biblioteca, oficinas y sala de reuniones de docentes, el tercer nivel está destinado para aulas y laboratorio, el cuarto nivel destinado a aulas y taller de trabajo, el quinto y último nivel netamente para aulas de clase. Esto hace un área total de 656 m<sup>2</sup> por planta como se muestra en la figura 13.



**Figura 13. Plano en planta del edificio en estudio.**  
 Fuente: UNASAM.

La estructura del edificio en estudio está conformada por pórticos y placas de concreto armado de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , y acero de  $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Cada entrepiso cuenta con placas de 25 cm de espesor, con vigas de diferentes secciones y áreas como se muestra en el plano de detalle de columnas y vigas. El valor del peralte corresponde a la dimensión mínima necesaria para satisfacer el límite de deriva lateral indicado en la norma técnica E.030 de diseño sismo resistente ( $0,007= \Delta h_e$ ) (SENCICO, 2003)



**Figura 14. Detalle de placas de la edificación.**  
Fuente: UNASAM.

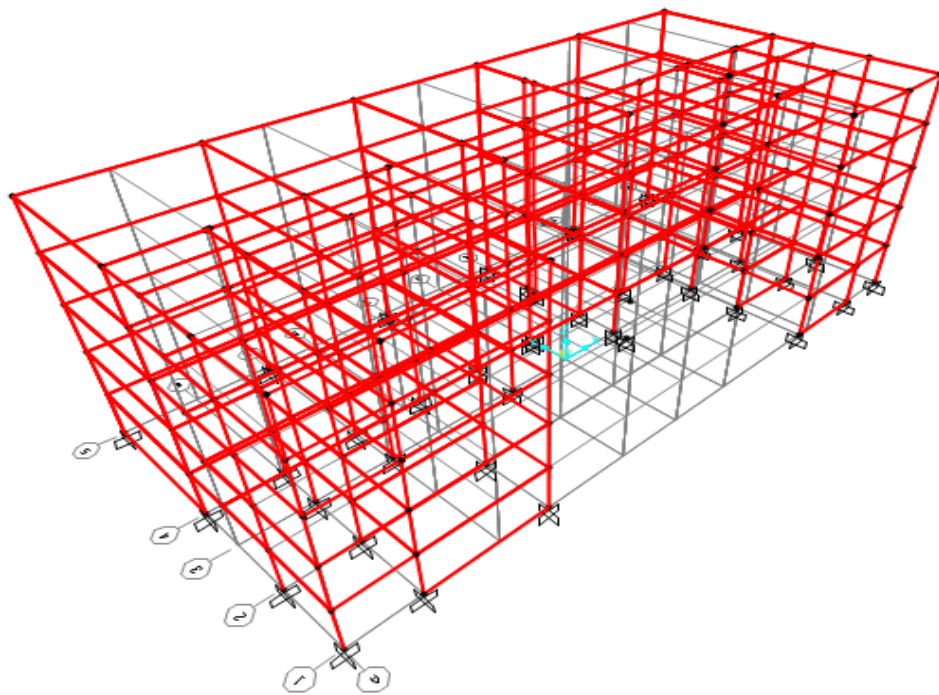
CUADRO DE COLUMNAS

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
<p>PRIMER NIVEL Y SEGUNDO NIVEL</p>										
<p>TERCER NIVEL Y CUARTO Y QUINTO NIVEL</p>										

Figura 15. Detalle de columnas de la edificación en estudio.  
Fuente: UNASAM.

#### 4.2. Análisis elástico para propósitos de evaluar el comportamiento dinámico de la estructura.

Para el análisis elástico se desarrolló un modelo considerando elementos unidimensionales con deformaciones por flexión, cortante y axial. Además, en cada nivel se consideró un diafragma con 3 grados de libertad. Utilizando este modelo se desarrolló el análisis por solicitaciones de gravedad y sismo. La figura muestra el modelo desarrollado con el programa SAP.



**Figura 16. Vista isométrica estructural de la edificación en estudio.**  
Fuente: elaborado a partir del SAP 2000.

#### 4.2.1. Análisis por cargas de gravedad.

En el análisis por cargas de gravedad se consideraron las cargas muertas además del peso de los elementos estructurales, el peso de las losas, el piso terminado y la tabiquería con los valores mostrados en la tabla.

**Tabla. 7. Pesos de cargas muertas.**

Cargas Muertas	Piso Típico (Ton/m <sup>2</sup> )	Azotea (Ton/m <sup>2</sup> )
Peso Losa Aligerado t = 25cm	0,350	0,350
Peso Piso + Techo terminado	0,10	0,10
Peso Tabiquería	0,10	0,10
$\Sigma$ cargas	0,550	0,550

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Análisis Sísmico Modal Espectral.

Se realizaron dos tipos de análisis sísmico: estático y dinámico. Del análisis estático sólo se calculó la fuerza cortante basal del edificio para poder establecer el límite inferior de la cortante de diseño que se obtuvo del análisis dinámico.

- **Análisis Dinámico.**

En el análisis dinámico se consideran tres grados de libertad en cada piso. Mediante este análisis se verifica el dimensionamiento de los elementos resistentes a cargas laterales con fines de verificar si satisface la deriva permitida por la norma técnica de diseño sismo resistente ( $0,007 = \Delta / h_e$ ) (NTE E-030).

- **Espectro de análisis:**

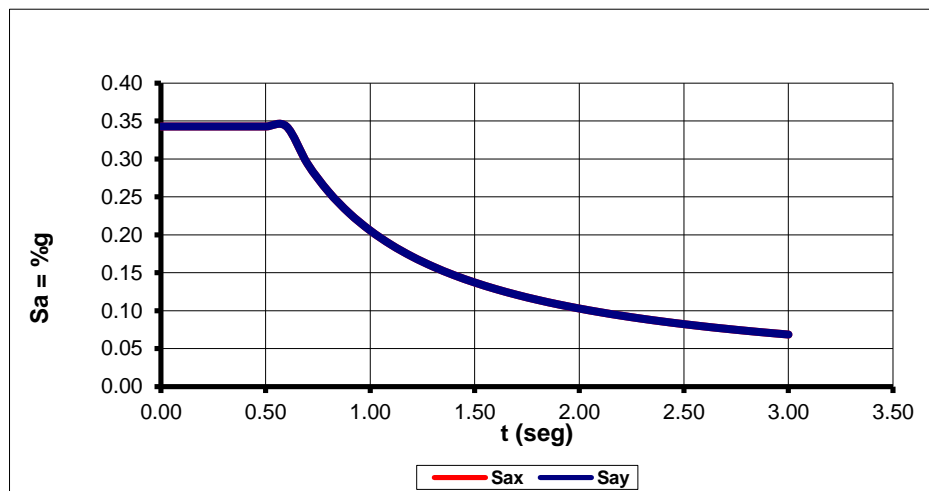
Siguiendo las indicaciones de la norma técnica E-030 de diseño sísmo resistente se empleó el siguiente espectro:

**Parámetros sísmicos:**

<b>Z</b>	0,4	Zona 3			
<b>U</b>	1,5	Universidad (A)		0.5CV para peso sísmico	
<b>S</b>	1,2	<b>T<sub>p</sub></b>	0,6	S2 Suelo intermedio.	
<b>C</b>	Coef. Sísmico	Estructura Irregular		Regular	Irregular
<b>R<sub>x</sub></b>	7	Dual		1	0,75
<b>R<sub>y</sub></b>	7	Dual		<b>F</b>	<b>0,75</b>

$$S_a = ZUCS * g / R$$

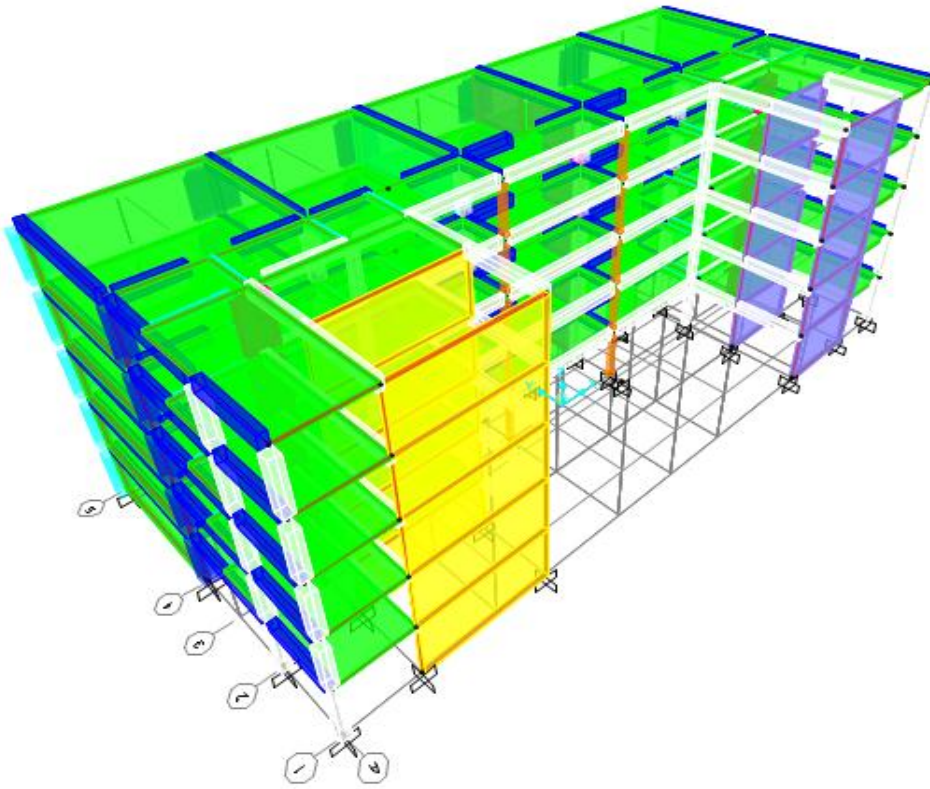
Este espectro se presenta a continuación:



**Figura 17. Espectro suavizado de aceleraciones.**

Fuente: NTE. E.030.





**Figura 18. Vista isométrica de la edificación dual en estudio.**  
Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

- **Resultados de desplazamientos del análisis dinámico.**

Para la estructuración de la edificación se hallaron los siguientes resultados de desplazamientos, que se muestran en la siguiente tabla, ubicados en el centro de masa de cada piso, habiéndose calculado las derivas en los mismos puntos.

En la tabla No 8 se muestran las derivas elásticas y las derivas inelásticas de la edificación en estudio.

**Tabla 8. Derivas y desplazamientos del edificio en estudio.**

Story	Load Case / Com-bo	Label	H (m)	U1 (m)	U2 (m)	Drel (m)	Deriva e	Deriva i Deriva e x 0.75 x R
								5,2500
NIVEL 1	DERI-VA X	CM 1	3,50	0,00089	0,00005	0,00089	0,00025	<b>0,0013</b>
NIVEL 2	DERI-VA X	CM 2	3,50	0,00239	0,00012	0,00150	0,00043	<b>0,0022</b>
NIVEL 3	DERI-VA X	CM 3	3,50	0,00406	0,00020	0,00168	0,00048	<b>0,0025</b>
NIVEL 4	DERI-VA X	CM 4	3,50	0,00566	0,00028	0,00160	0,00046	<b>0,0024</b>
NIVEL 5	DERI-VA X	CM 5	3,50	0,00704	0,00035	0,00138	0,00039	<b>0,0021</b>
NIVEL 1	DERI-VA Y	CM 1	3,50	0,00002	0,00074	0,00074	0,00021	<b>0,0011</b>
NIVEL 2	DERI-VA Y	CM 2	3,50	0,00005	0,00180	0,00105	0,00030	<b>0,0016</b>
NIVEL 3	DERI-VA Y	CM 3	3,50	0,00009	0,00292	0,00112	0,00032	<b>0,0017</b>
NIVEL 4	DERI-VA Y	CM 4	3,50	0,00012	0,00401	0,00109	0,00031	<b>0,0016</b>
NIVEL 5	DERI-VA Y	CM 5	3,50	0,00015	0,00497	0,00096	0,00027	<b>0,0014</b>

Fuente: Elaboración propia.

- **Resultados de participación de masa.**

Para el cálculo de las características vibratorias de la edificación, debido a su configuración es adecuado utilizar el método de Vectores Ritz, considerando el aporte principalmente de las aceleraciones sísmicas horizontales, obteniendo buenos resultados, que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Modos de vibración y participación de masa.**

Case	Mode	Periodo	UX	UY	Sum UX	Sum UY
		Sec				
Mode	1	0,260143	<b>66,502%</b>	0,017%	66,502%	0,017%
Mode	2	0,207105	0,055%	<b>75,578%</b>	66,557%	75,594%
Mode	3	0,187576	<b>8,157%</b>	0,111%	74,715%	75,706%
Mode	4	0,073172	<b>14,351%</b>	0,006%	89,065%	75,712%
Mode	5	0,065468	0,004%	<b>18,103%</b>	89,069%	93,815%
Mode	6	0,039962	<b>8,892%</b>	0,010%	<b>97,961%</b>	<b>93,825%</b>
Mode	7	0,035736	0,020%	<b>5,403%</b>	97,981%	99,228%

Fuente: Elaboración propia.

- **Relación fuerzas cortantes dinámicas y cortantes estáticas:**

**Tabla 10. Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas.**

Cortante basal:

Spec	Mode	Dir	VdinX	VdinY
SX	All	All	<b>896,01</b>	<b>25,61</b>
SY	All	All	<b>25,48</b>	<b>99,64</b>

t

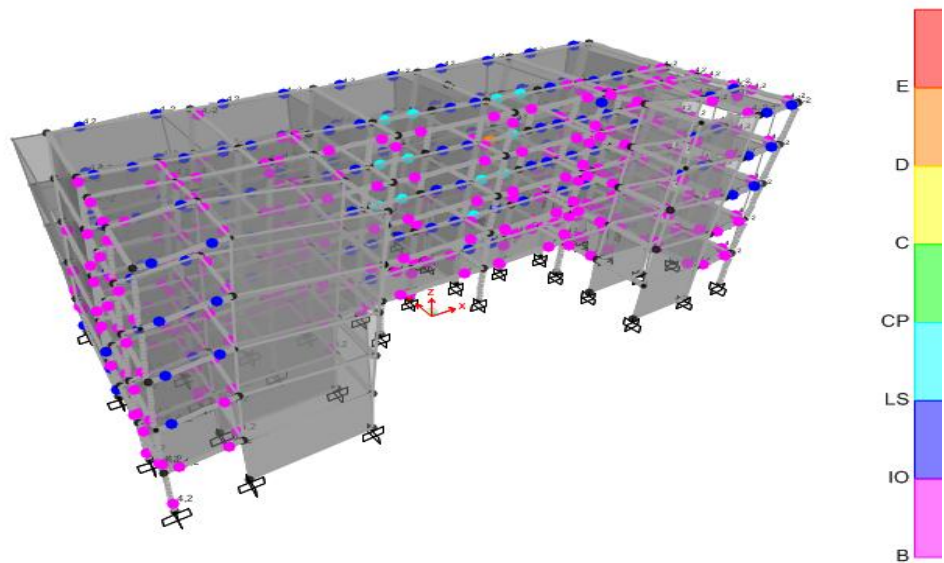
t

Sa(g) X e Y	PESO SÍSMICO	Vest X	Vest Y	Factor X	Factor Y
<b>0,3429</b>	<b>3828,58</b>	<b>1312,8</b>	<b>1312,82</b>	<b>1,32</b>	<b>1,18</b>

Fuente: Elaboración propia.

- **Curva de Capacidad Resistente en el Eje X Sin considerar el Comportamiento No Lineal de los Muros de Corte:**

A continuación, presenta el estado final para el eje X según las condiciones de análisis dado:



**Figura 19. Desplazamiento máximo de la estructura en el eje “X”.**

Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

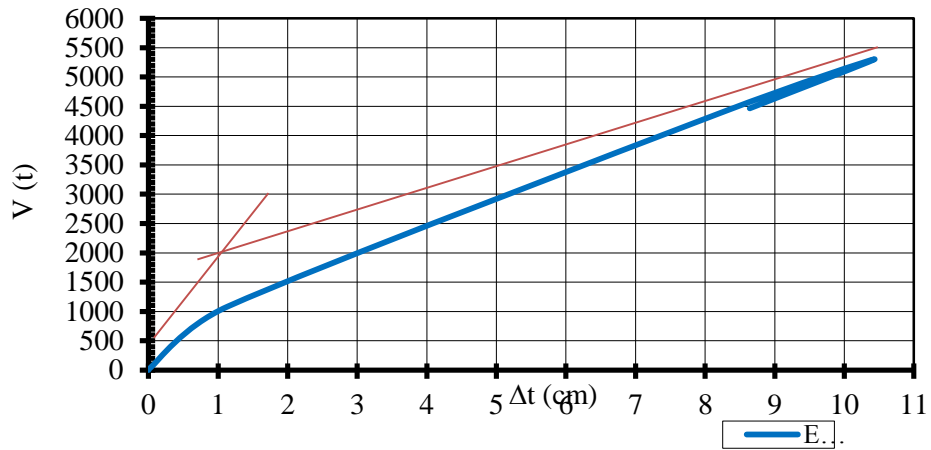
El modelo tiene 880 rótulas, el desplazamiento máximo obtenido para el eje X es de 10,43cm y luego se produce un retroceso lo cual indica la pérdida de rigidez global o inestabilidad, no está llegando al desplazamiento de control.

A continuación, se presenta los resultados del análisis incremental, donde se puede contabilizar la rotulación progresiva de los elementos estructurales.

**Tabla 11. Rotulación progresiva de elementos estructurales eje “X”.**

TABLE: Pushover Curve - PUSHX											
Paso	$\Delta t$	V	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	cm	Tonf									
0	0	0	879	1	0	0	0	0	0	0	880
1	0.04	55.06	877	3	0	0	0	0	0	0	880
2	1.13	1080.88	700	180	0	0	0	0	0	0	880
3	8.22	4388.19	416	371	93	0	0	0	0	0	880
4	10.43	5305.09	379	367	121	12	0	0	1	0	880
5	8.64	4464.87	379	362	126	12	0	0	1	0	880

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 20. Curva de capacidad sectorizada en el eje X.**

Fuente: Elaboración propia.

La ductilidad global será:

$$u = 10,434/1,05 = 9,94$$

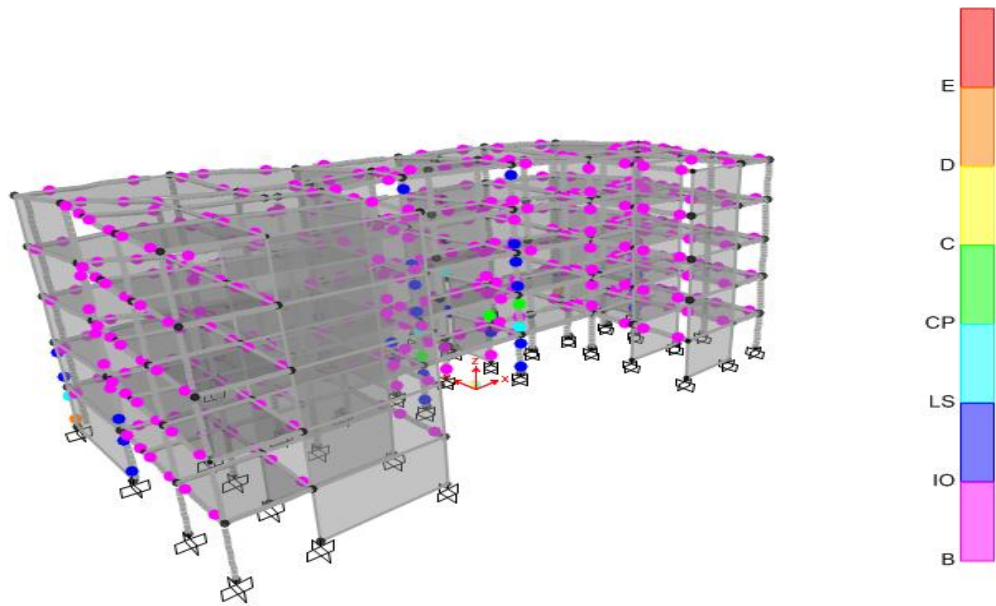
El factor de reducción para estructuras de periodo corto se puede estimar como:

$$R_u = \sqrt{2u - 1} = 4,34$$

Valor menor al inicialmente considerado para el diseño en la norma E-030 ( $R=7*0,75=5,25$ ), por lo que se podría decir que la estructura tiene menor capacidad de deformación que la supuesta inicialmente.

- **Curva de capacidad resistente en el eje Y sin considerar el comportamiento no lineal de los muros de corte:**

A continuación, presenta el estado final para el eje Y según las condiciones de análisis dado:



**Figura 21. Desplazamiento máximo de la estructura en el eje “Y”.**  
Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

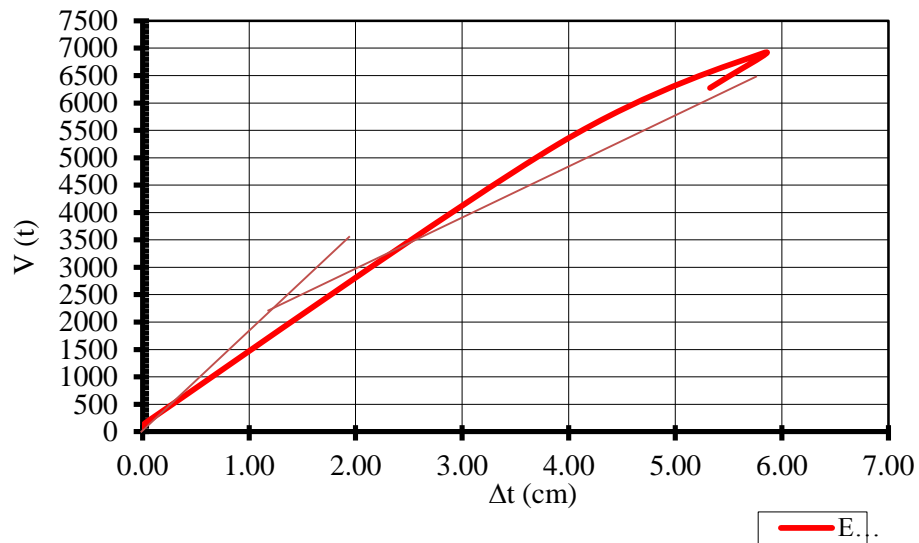
El modelo tiene 880 rótulas, el desplazamiento máximo obtenido para el eje Y es de 5,80cm y luego se produce un retroceso lo cual indica la pérdida de rigidez global o inestabilidad, no está llegando al desplazamiento de control.

A continuación, se presenta los resultados del análisis incremental, donde se puede contabilizar la rotulación progresiva de los elementos estructurales.

**Tabla 12. Rotulación progresiva de elementos estructurales eje “Y”.**

TABLE: Pushover Curve - PUSHY											
Paso	$\Delta t$	V	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	cm	Tonf									
0	-0.05	0	879	1	0	0	0	0	0	0	880
1	0.05	187.46	878	2	0	0	0	0	0	0	880
2	3.9	5240.55	507	369	4	0	0	0	0	0	880
3	5.8	6894.66	443	421	14	1	0	0	1	0	880
4	5.33	6273.83	440	399	29	4	4	0	4	0	880

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 22. Curva de Capacidad Pushover - Eje Y.**

Fuente: Elaboración propia.

La ductilidad global será:

$$u = 5,80/1,50 = 3,87$$

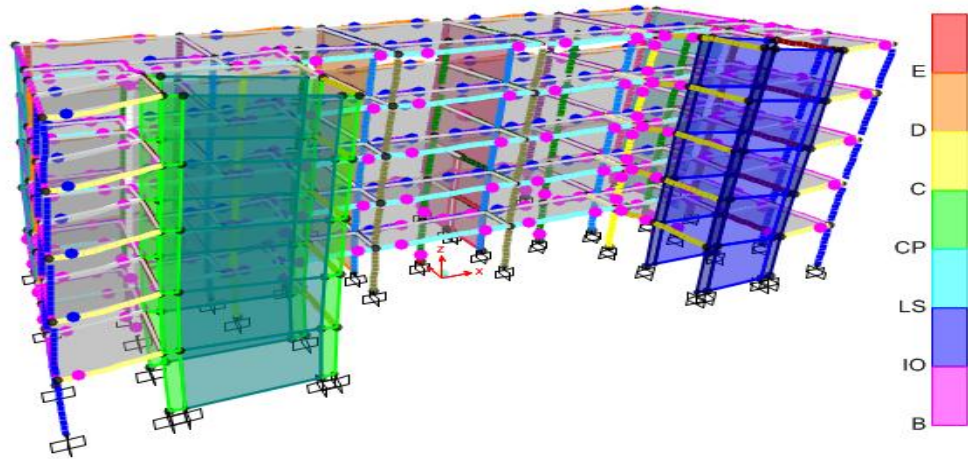
El factor de reducción se puede estimar para estructuras de periodo corto como:

$$R_u = \sqrt{2u - 1} = 2,59$$

Valor mucho menor al inicialmente considerado para el diseño en la Norma E-030 ( $R=7*0,75=5,25$ ), por lo que se podría decir que la estructura tiene menor capacidad de deformación que la supuesta inicialmente.

- **Curva de capacidad resistente en el eje X considerando el comportamiento no lineal de los muros de corte:**

A continuación, presenta el estado final para el eje X según las condiciones de análisis dado:



**Figura 23. Estructura con rotulas en el nivel de colapso en el eje “X”.**  
Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

El modelo tiene 880 rótulas, el desplazamiento máximo obtenido para el eje X es de 6,78 cm hasta que se produce rótulas en el nivel de colapso.

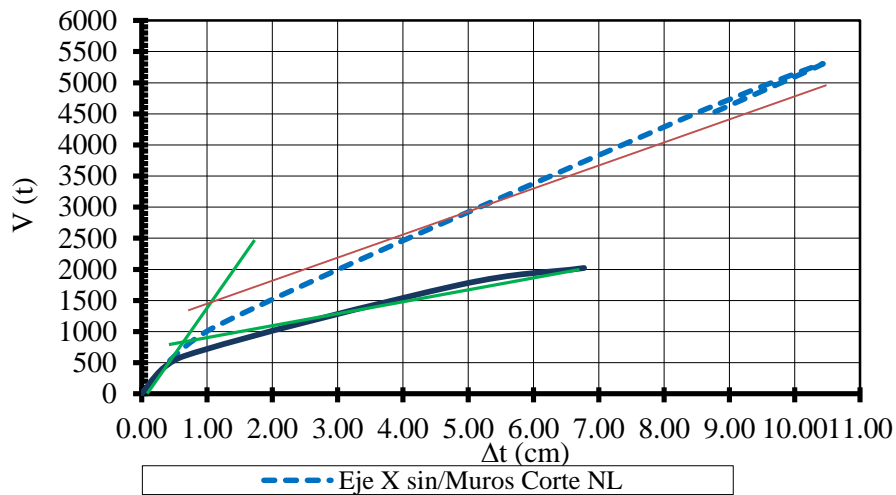
**Tabla 13. Rotulación progresiva de elementos estructurales en el eje “Y” a nivel de colapso.**

TABLE: Pushover Curve - PUSHX											
Paso	$\Delta t$	V	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	cm	Tonf									
0	0	0	877	3	0	0	0	0	0	0	880
1	0.04	48.87	875	5	0	0	0	0	0	0	880
2	0.64	603.69	794	86	0	0	0	0	0	0	880
3	4.84	1744.9	551	320	9	0	0	0	0	0	880
4	6.78	2021.92	513	314	53	0	0	0	0	0	880

Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se presenta los resultados del análisis incremental, donde se puede contabilizar la rotulación progresiva de los elementos estructurales.



**Figura 24. Curva de capacidad Pushover en el eje “X”.**  
Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

La ductilidad global será:

$$u = 6,78/0,70 = 9,68$$

El factor de reducción para estructuras de periodo corto se puede estimar como:

$$R_u = \sqrt{2u - 1} = 4,28$$

Valor menor al inicialmente considerado para el diseño en la Norma E-030 ( $R=7*0,75=5,25$ ), por lo que se podría decir que la estructura tiene menor capacidad de deformación que la supuesta inicialmente. Los puntos más importantes de la curva de capacidad resistente en el eje X se detallan a continuación:

**Tabla 14. Fuerzas cortantes y desplazamientos del análisis incremental.**

Dirección	Puntos importantes	Resultados			
		c/Muros de Corte NL		s/Muros de Corte NL	
		V (t)	D (cm)	V (t)	D (cm)
X	Diseño	896,01	0,704	896,01	0,704
	1ra rótula	500	0,42	900	0,9
	Fluencia efectiva	900	0,7	1500	1,05
	Colapso	2021,72	6,78	5305,09	10,43

Fuente: Elaboración propia.

- **Sobre resistencia.**

En base a los puntos de interés, se calcularon los coeficientes de sobre resistencia mostrada en la tabla siguiente:

**Tabla 15. Índices de sobre resistencia.**

Dirección	Propiedad	c/Muros de Corte NL	s/Muros de Corte NL
Respecto a V de diseño	SR <sub>1rót/D</sub>	0,56	1,00
	SR <sub>FE/D</sub>	1,00	1,67
	SR <sub>COL/D</sub>	2,26	5,92
Respecto a V de la 1ra rótula	SR <sub>FE/1rot</sub>	1,80	1,67
	SR <sub>Col/rot</sub>	4,04	5,89

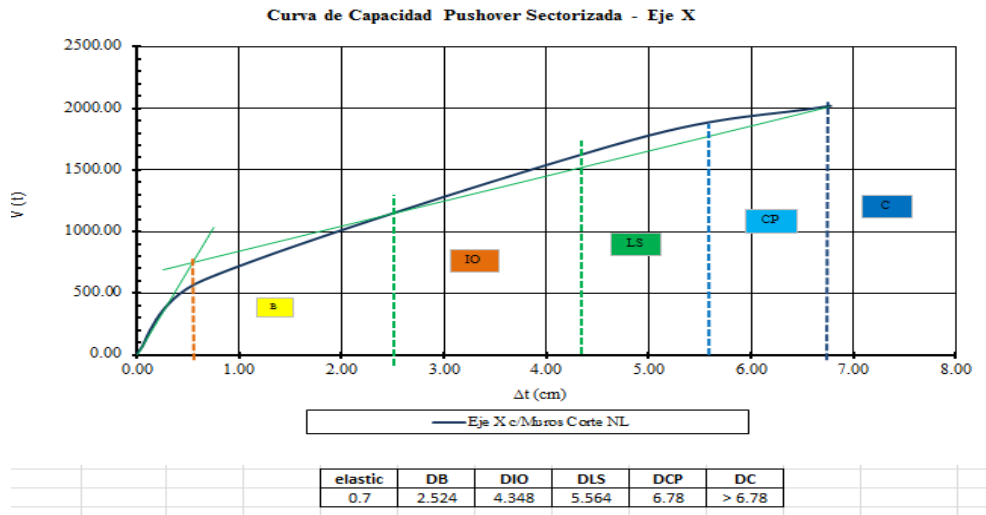
Fuente: Elaboración propia.

- **Demandas asociadas a eventos sísmicos.**

Se presenta los valores de fuerza y desplazamiento asociados a los niveles de comportamiento estructural y no estructural.

La deriva máxima de la estructura para el último punto de la curva de capacidad es 4,74 ‰, lo cual indica que la estructura no tiene la capacidad de deformación requerida para deformarse durante el peligro que

representa un sismo frecuente. Se considera que la estructura tiene baja ductilidad local, por lo mismo los elementos fluyen rápidamente.

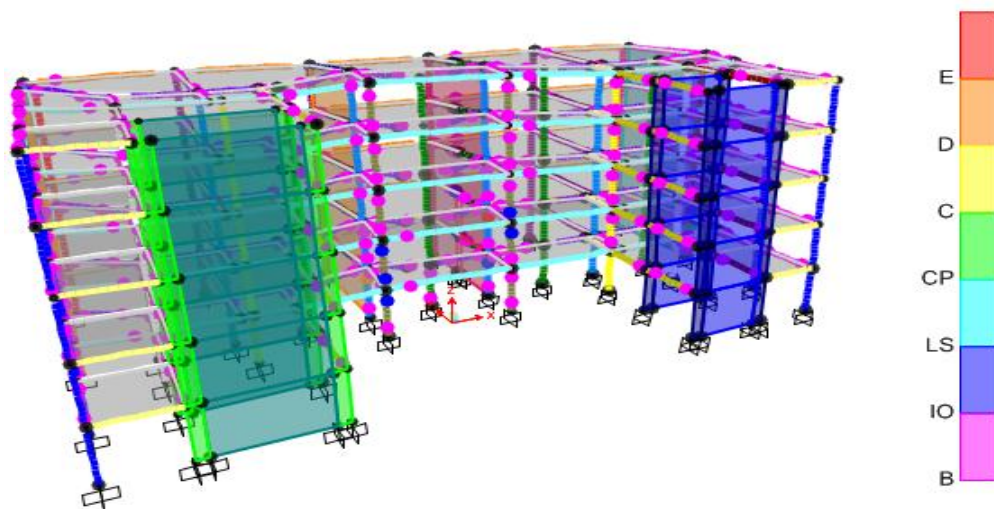


**Figura 25. Curva de capacidad pushover sectorizada eje “X”.**

Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

- **Curva de capacidad resistente en el eje Y considerando el comportamiento no lineal de los muros de corte:**

A continuación, presenta el estado final para el eje Y según las condiciones de análisis dado:



**Figura 26. Estructura con rotulas no llega al desplazamiento de control.**

Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

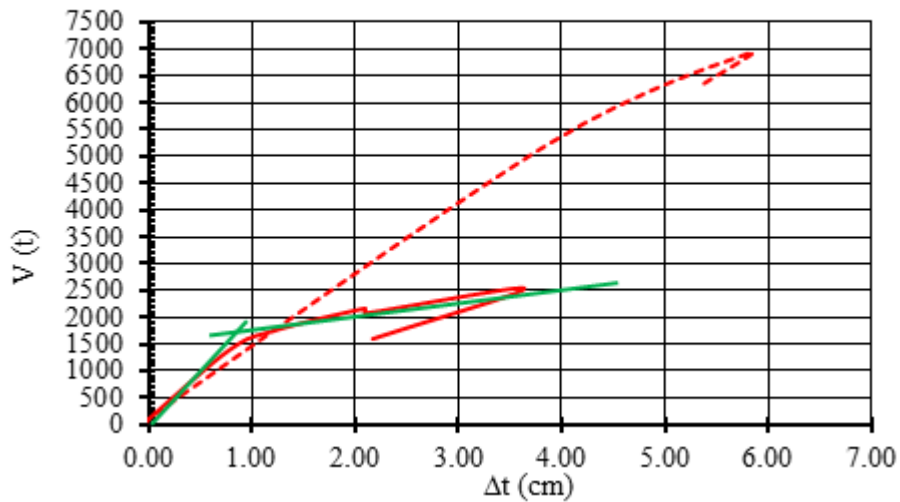
El modelo tiene 880 rótulas, el desplazamiento máximo obtenido para el eje Y es de 3,64cm y luego se produce un retroceso lo cual indica la pérdida de rigidez global o inestabilidad, no llegando al desplazamiento de control.

A continuación, se presenta los resultados del análisis incremental, donde se puede contabilizar la rotulación progresiva de los elementos estructurales.

**Tabla 16. Rotulación progresiva de elementos estructurales en el eje “Y” comportamiento no lineal.**

TABLE: Pushover Curve - PUSHY											
Paso	$\Delta t$	V	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	cm	Tonf									
0	-0.05	0	877	3	0	0	0	0	0	0	880
1	0.05	189.47	876	4	0	0	0	0	0	0	880
2	0.79	1398.65	794	86	0	0	0	0	0	0	880
3	1.22	1755.02	720	160	0	0	0	0	0	0	880
4	2.1	2165.62	614	265	0	0	0	0	1	0	880
5	2.1	2075.07	607	270	1	0	1	0	1	0	880
6	3.64	2536.48	521	345	10	0	1	0	2	1	880
7	2.17	1597.12	518	348	10	0	1	0	2	1	880

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 27. Curva de capacidad Pushover–Eje Y S/Muros de corte NL.**  
Fuente SAP 2000.

La ductilidad global será:

$$u = 3,64/1,1 = 3,31$$

El factor de reducción se puede estimar para estructuras de periodo corto como:

$$R_u = \sqrt{2u - 1} = 2,37$$

Valor mucho menor al inicialmente considerado para el diseño en la Norma E-030 ( $R=7*0,75=5,25$ ), por lo que se podría decir que la estructura tiene menor capacidad de deformación que la supuesta inicialmente. Los puntos más importantes de la curva de capacidad resistente en el eje Y se detallan a continuación:

**Tabla 17. Tabla de Fuerzas cortantes y desplazamientos del análisis Incremental.**

Dirección	Puntos importantes	Resultados			
		c/Muros de Corte NL		s/Muros de Corte NL	
		V (t)	D (cm)	V (t)	D (cm)
Y	Diseño	997,64	0,5	997,64	0,5
	1ra rótula	1368,65	0,79	2000	1,45
	Fluencia efectiva	1900	1,1	2500	1,52
	Colapso	2536,58	3,64	6894,66	5,8

Fuente: Elaboración propia.

- **Sobre resistencia.**

En base a los puntos de interés, se calcularon los cocientes de sobre resistencias mostradas en la tabla siguiente:

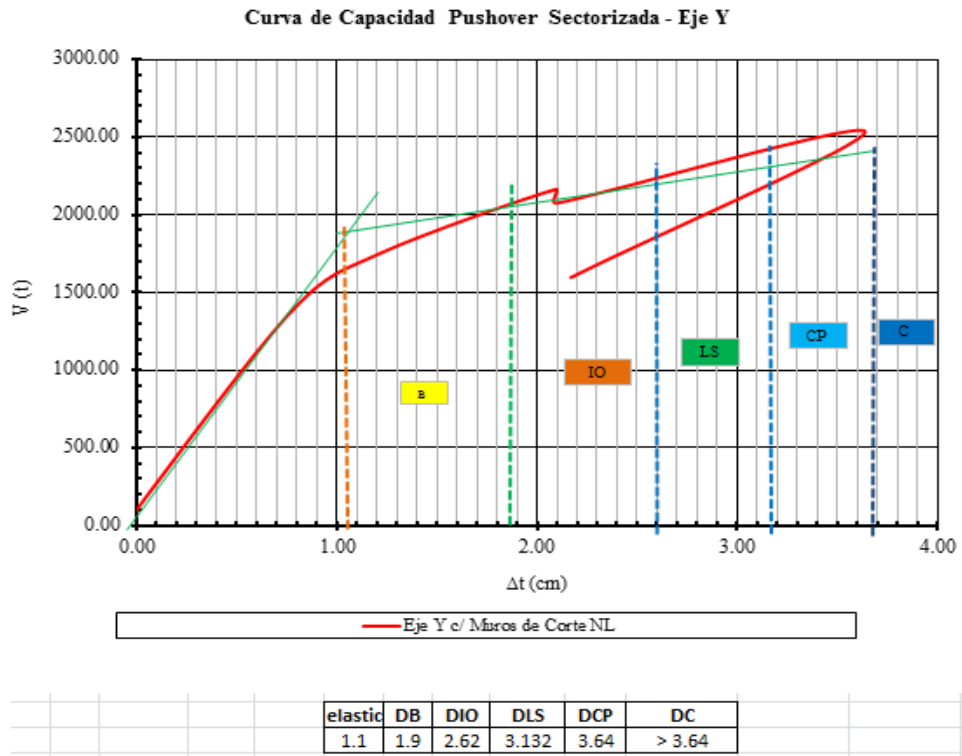
**Tabla 18. Tabla de índices de sobre resistencia.**

Dirección	Propiedad	c/Muros de Corte NL	s/Muros de Corte NL
Respecto a V de diseño	SR <sub>1rót/D</sub>	1,37	2,00
	SR <sub>FE/D</sub>	1,90	2,51
	SR <sub>COL/D</sub>	2,54	6,91
Respecto a V de la 1ra rótula	SR <sub>FE/1rot</sub>	1,39	1,25
	SR <sub>Col/rot</sub>	1,85	3,45

Fuente: Elaboración propia.

- **Niveles de Desempeño Asociados.**

Se presenta la Curva de Capacidad Sectorizada considerando los niveles de desempeño propuestos por el Comité Visión 2000.



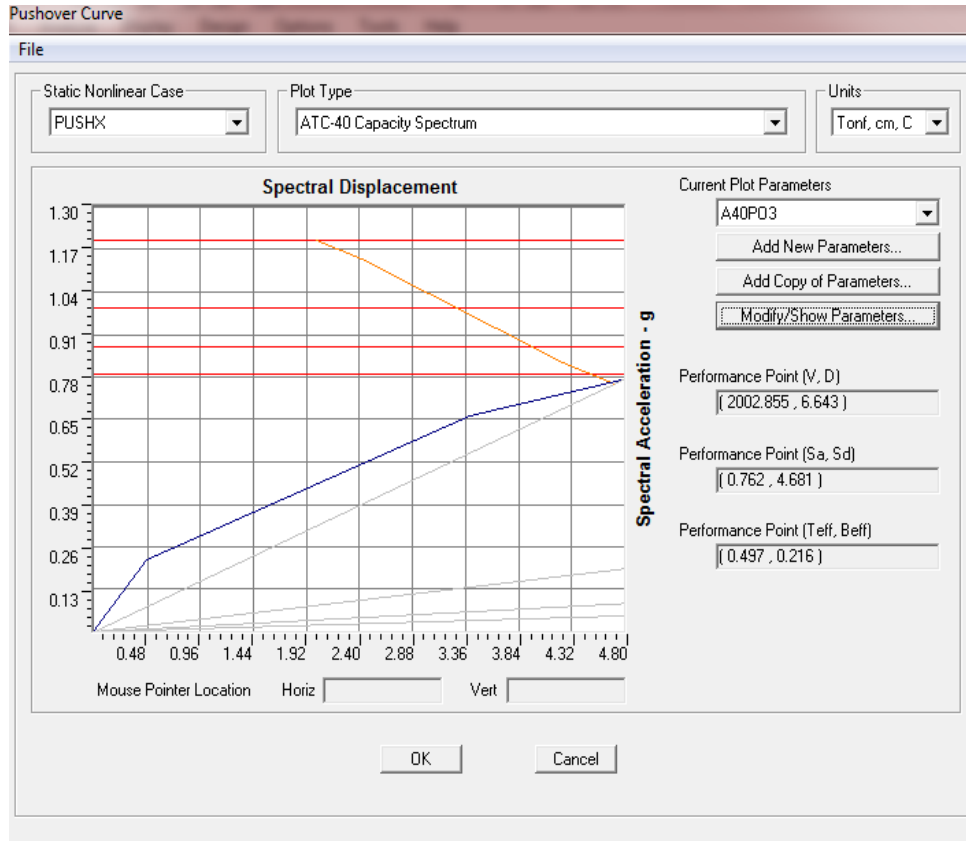
**Figura 28. Curva de capacidad Pushover sectorizada eje “Y”.**

Fuente: Elaborado a partir de SAP 2000.

El efecto de acortamiento de la Curva de Capacidad se produciría debido a que la estructura tiene baja ductilidad local en vigas y columnas, por lo mismo los elementos fluyen rápidamente y aceleran el mecanismo de colapso.

#### **4.2.4. Desempeño estructural del eje X.**

El desempeño estructural se verifica de acuerdo al uso que se le da actualmente a la estructura como edificación esencial (Tipo A) ya que es utilizado como local de aulas universitarias, por lo mismo se pretende conocer su desempeño ante diferentes niveles de demanda.



**Figura 29. Desempeño para el Sismo Frecuente ATC-40.**

Fuente: elaborado con SAP 2000.

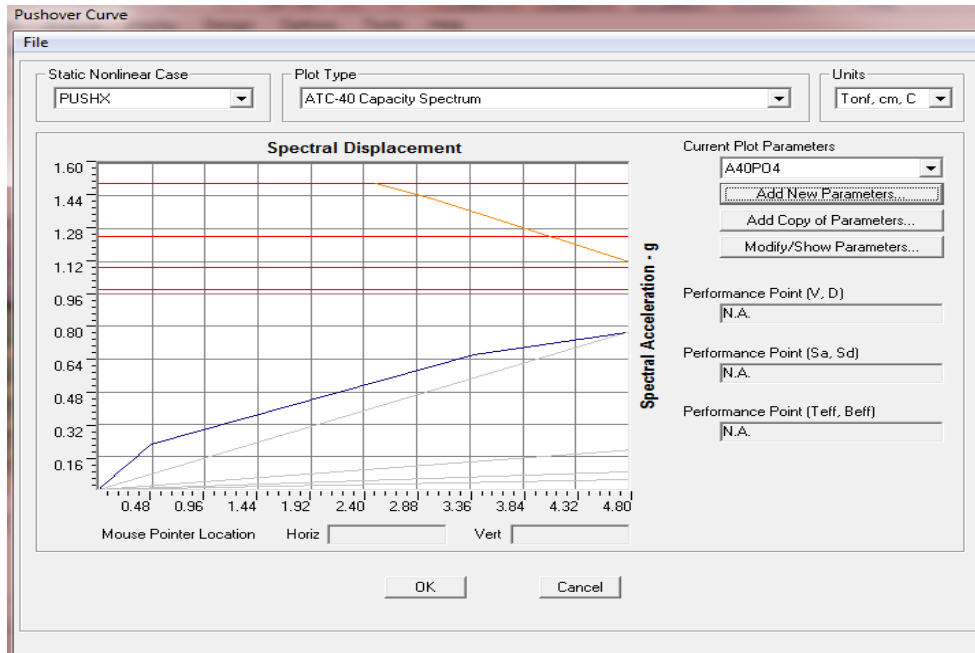
Punto de desempeño:  $\Delta t=6,643\text{cm}$ ,  $V=2002,855\text{t}$

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} = 6,64/0,70 = 9,49 < 9,68 \dots \text{OK!}$

Desempeño estructural: CP (Prevención de Colapso).

Resultado: la estructura si cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.





**Figura 30. Desempeño para el Sismo Ocasional ATC-40.**

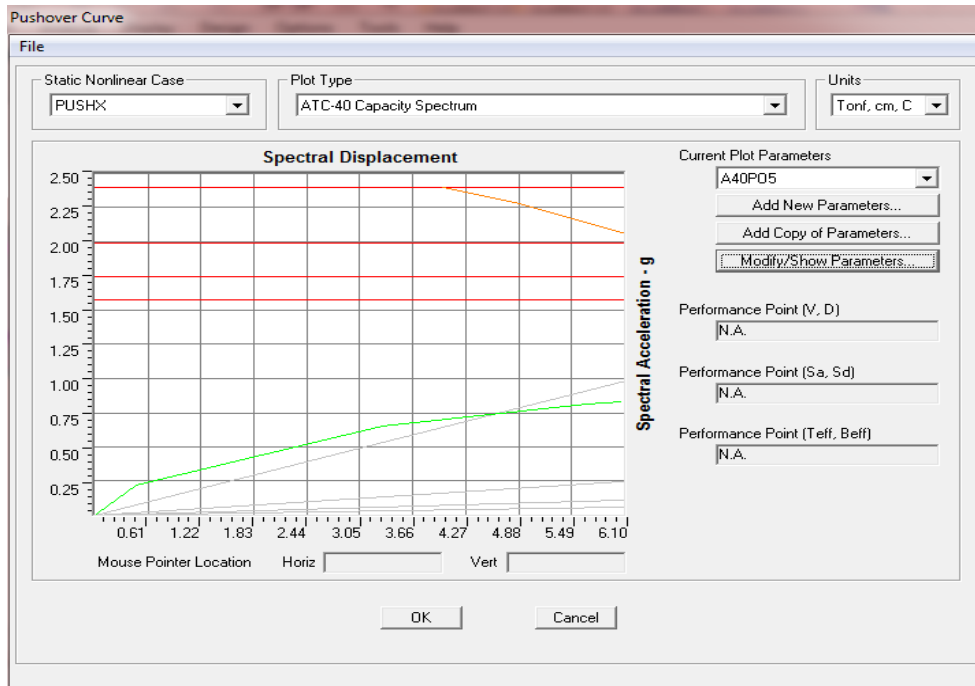
Fuente: elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño: FUERA DE LA CURVA.

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} \gg 9,68... \text{ ¡NO CUMPLE!}$

Desempeño estructural: C (Colapso).

Resultado: la estructura no cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.



**Figura 31. Desempeño para el Sismo Raro (De diseño) ATC-40.**  
Fuente: Elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño: FUERA DE LA CURVA.

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} \gg 9,68 \dots$  ¡NO CUMPLE!

Desempeño estructural: C (Colapso).

Resultado: la estructura no cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.

- **Matriz de Desempeño acorde Visión 2000:**

**Tabla 19. Desempeño estructural en el Eje X. ATC 40.**

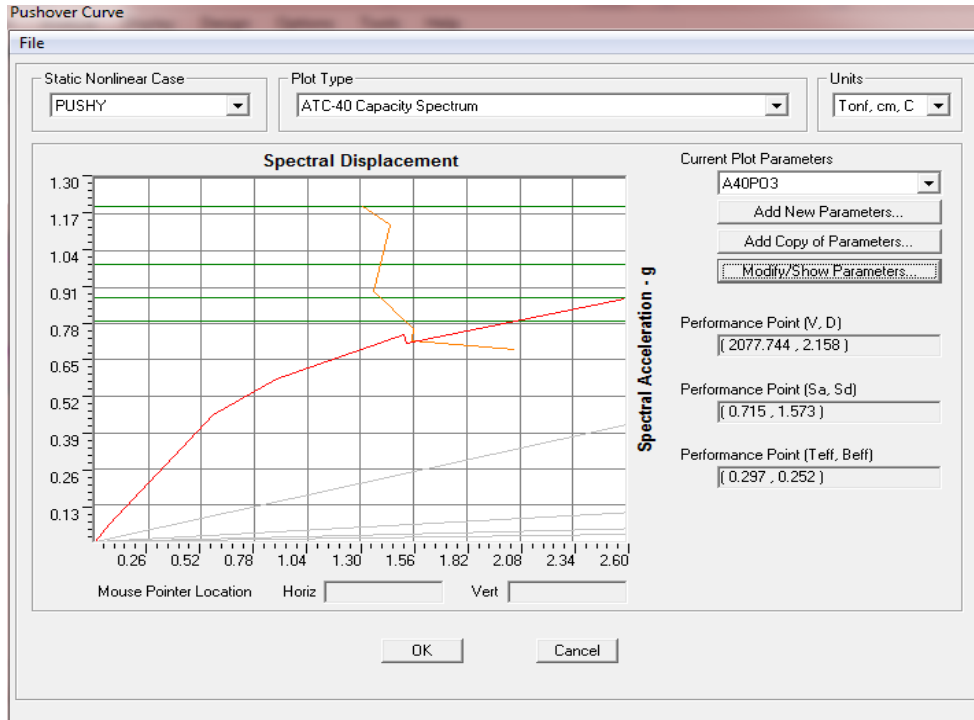
Sismo de Análisis	Operacional B	Inmediatamente Ocupacional IO	Seguridad de Vida LS	Prevención de Colapso CP	Colapso C
Frecuente					
Ocasional					
Raro					
Muy Raro					

Fuente: Elaboración propia.

Resultado de la evaluación del desempeño estructural en el eje X: la estructura no cumple con el desempeño objetivo para una edificación esencial acorde a lo propuesto por el Comité Visión 2000.

#### **4.2.4. Desempeño Estructural del Eje Y.**

El desempeño estructural se verifica de acuerdo al uso que se le da actualmente a la estructura como edificación esencial (Tipo A) ya que es utilizado como local de aulas universitarias, por lo mismo se pretende conocer su desempeño ante diferentes niveles de demanda.



**Figura 32. Desempeño para el Sismo Frecuente ATC-40.**

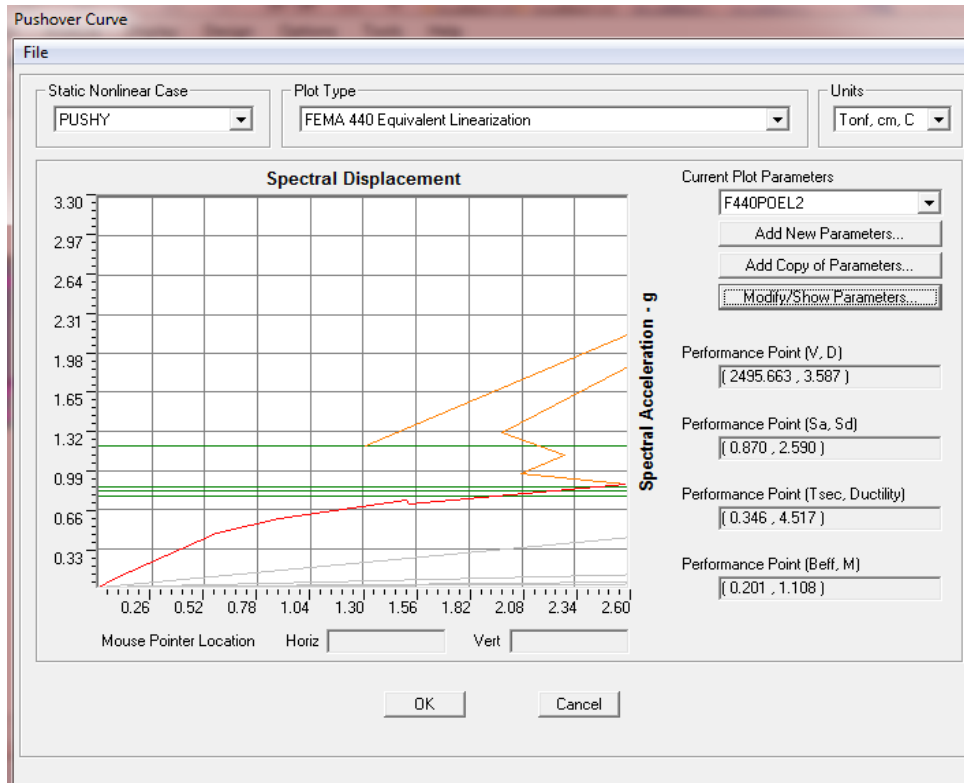
Fuente: Elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño:  $\Delta t=2,158\text{cm}$ ,  $V=2077,74\text{t}$

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} = 1,96 < 3,31\dots$  ¡OK!

Desempeño estructural: IO (Inmediatamente Operativo).

Resultado: la estructura si cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.



**Figura 33. Desempeño para Sismo Frecuente FEMA 440 Linearización.**

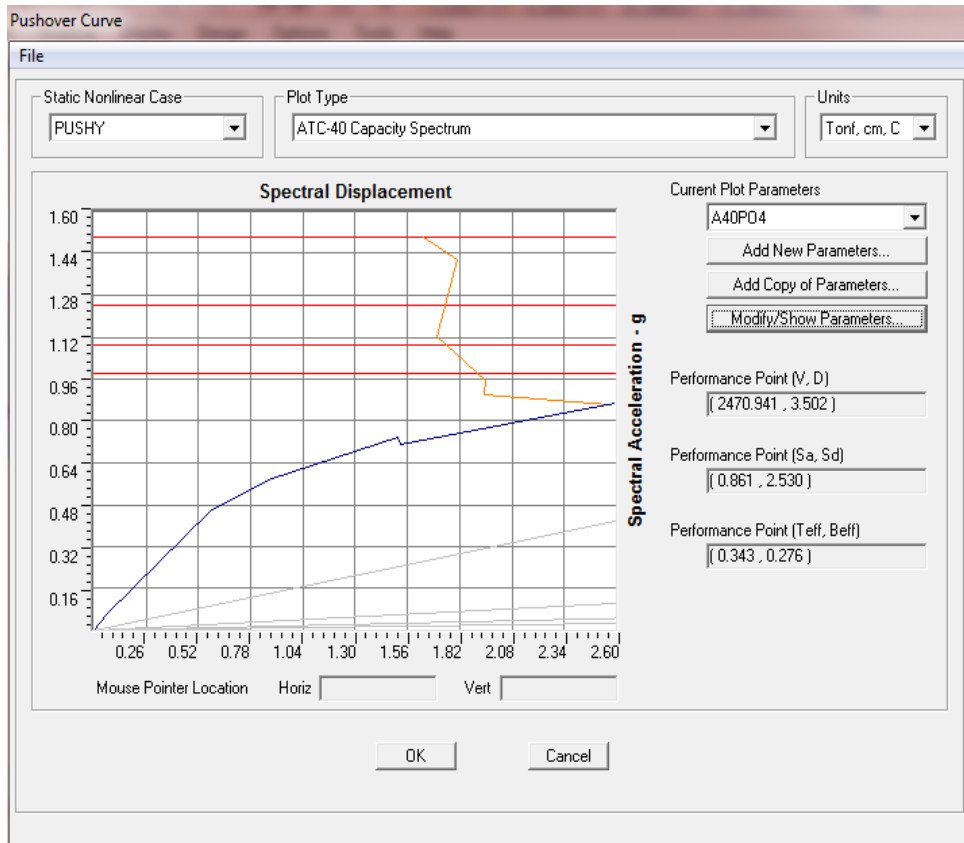
Fuente: Elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño:  $\Delta t=3,59$ ,  $V=2,495.66t$

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} = 4,52 > 3,31 \dots$ ; NO CUMPLE!

Desempeño estructural: CP (Prevención de Colapso).

Resultado: la estructura no cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.



**Figura 34. Desempeño para el Sismo Ocasional ATC-40.**

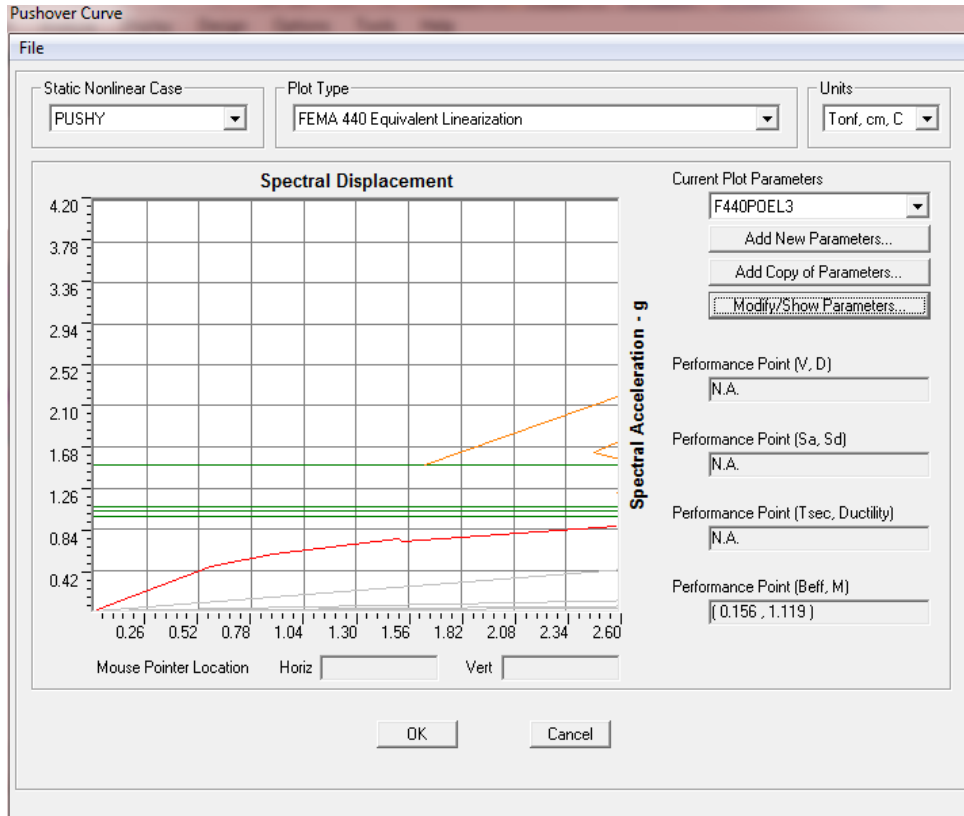
Fuente: Elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño:  $\Delta t=3,50\text{cm}$ ,  $V=2,470.94\text{t}$

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} = 3,18 < 3,30 \dots \text{¡OK!}$

Desempeño estructural: CP (Prevención de Colapso).

Resultado: la estructura no cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.



**Figura 35. Desempeño para el Sismo Ocasional FEMA 440, Linearización.**

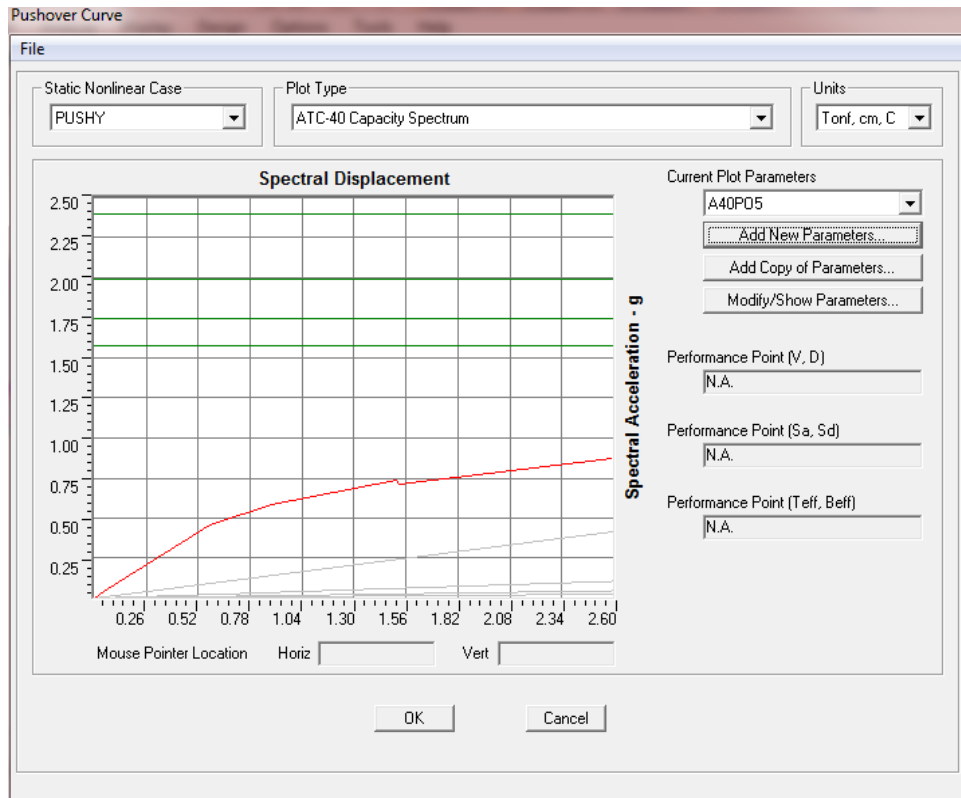
Fuente: Elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño: FUERA DE LA CURVA.

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} \gg 3,31 \dots$  ¡NO CUMPLE!

Desempeño estructural: C (Colapso).

Resultado: la estructura no cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.



**Figura 36. Desempeño para el Sismo Raro (De diseño). ATC-40.**  
Fuente: Elaborado con SAP 2000.

Punto de desempeño: FUERA DE LA CURVA.

Demanda de ductilidad:  $u_{dSF} \gg 3,31 \dots$  ¡NO CUMPLE!

Desempeño estructural: C (Colapso).

Resultado: la estructura no cumple con el desempeño esperado conforme a lo propuesto por el Comité Visión 2000.

- **Matriz de Desempeño acorde Visión 2000:**

Resultado de la evaluación del desempeño estructural en el eje Y:

La estructura no cumple con el desempeño objetivo para una edificación esencial acorde a lo propuesto por el Comité Visión 2000, como se observa en la tabla 20 y 21.



**Tabla 20. Matriz de desempeño estructural en el eje “Y” según Comité Visión 2000.**

<b>Desempeño Estructural Eje Y - ATC 40</b>					
Sismo de Análisis	Operacional	Inmediata Ocupacional	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso	Colapso
	B	IO	LS	CP	C
Frecuente					
Ocasional					
Raro					
Muy Raro					

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21. Matriz de desempeño estructural en el eje “Y” según Flema 440.**

<b>Desempeño Estructural Eje Y - FEMA 440</b>					
Sismo de Análisis	Operacional	Inmediata Ocupacional	Seguridad de Vida	Prevención de Colapso	Colapso
	B	IO	LS	CP	C
Frecuente					
Ocasional					
Raro					
Muy Raro					
	Objetivo				
	Desempeño Eje Y				

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSION

En la presente investigación, ocurre que los muros inician su comportamiento no lineal, cuando las vigas y columnas en su mayoría ya han cedido y están en fluencia, lo cual acelera el colapso del edificio, debido a que no existe una relación geométrica armoniosa en la configuración estructural y ductilidad entre vigas columnas y placas. Concordante con Santana (2012), pues hace presente que, para el buen desempeño sísmico y cumplimiento del desempeño de una edificación de albañilería confinada debe tener una adecuada densidad de muros en ambas direcciones, ductilidad apropiada y configuración estructural robusta caracterizada por simetría y regularidad en planta y elevación.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del desempeño estructural en el eje “X” la estructura no cumple con el desempeño objetivo para una edificación esencial acorde a lo propuesto por el Comité VISION 2000; Coincidente con Santana (2012), hace presente que, del resultado del análisis no lineal dinámico, el diseño de la edificación con las normas peruanas E-070 y E-030 no cumple los objetivos de desempeño.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del desempeño estructural en el eje “Y” la estructura no cumplen con el desempeño objetivo para una edificación esencial acorde a lo propuesto por el Comité VISION 2000. Al igual que Santana (2012), hace presente que, del resultado del análisis no lineal dinámico, el diseño de la edificación con las normas peruanas E-070 y E-030 no cumple los objetivos de desempeño.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del desempeño de la estructura no cumplen con el desempeño objetivo para una edificación esencial acorde a lo propuesto por el Comité VISION 2000. Coincidiendo con Santana (2012), que hace presente, los estados límite de aceptabilidad son variables, porque dependen de los niveles de comportamiento de los elementos y por ende de la capacidad de la estructura. Los valores del drift de 0,10 % (operacional), 0,17 % (control de daño) y 0,44 % (prevención de colapso) son superados.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del desempeño estructural en el eje "X" para sismo frecuente el punto de desempeño se encuentra en  $\Delta t=6,643\text{cm}$ ,  $V= 2,002,855\text{ t}$ , y el desempeño estructural es CP (prevención de colapso). No concuerda con Bedón (2013), que hace presente que, empleando el procedimiento de la respuesta inelástica espectral de estructuras, se obtuvo la respuesta máxima de la estructura ante la amenaza del sismo ocasional en fuerza cortante (V): 412,9 t. y desplazamiento en el techo ( $\Delta t$ ): 4,16 cm.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del desempeño estructural en el eje "X" para sismo ocasional el punto de desempeño se encuentra fuera de la curva y el desempeño estructural es (colapso). Pues no concuerda con Bedón (2013), hace presente que, empleando el procedimiento de la respuesta inelástica espectral de estructuras, se obtuvo la respuesta máxima de la estructura ante la amenaza del sismo ocasional en fuerza cortante (V): 412,9 t. y desplazamiento en el techo ( $\Delta t$ ): 4,16 cm.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del desempeño estructural en el eje "X" para sismo raro el punto de desempeño se

encuentra fuera de la curva y el desempeño estructural es (colapso). No coincide con Bedon (2013), hace presente que, empleando el procedimiento de la respuesta inelástica espectral de estructuras, se obtuvo la respuesta máxima de la estructura ante la amenaza sismo ocasional en fuerza cortante (V): 412,9 t. y desplazamiento en el techo ( $\Delta t$ ): 4,16 cm.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del análisis incremental donde se puede contabilizar la rotulación progresiva de los elementos estructurales, el desplazamiento máximo obtenido en el eje "X" es 10,43 cm. Y luego empieza la pérdida de rigidez. Concordante con Delgadillo (2005), hace presente que, empleando el procedimiento del análisis no lineal estático Pushover, es una forma mediante el cual se obtiene la secuencia de la aparición de rótulas que llevan al colapso a la estructura, utilizando la demanda sísmica dada por la norma peruana E-030 se calcula el nivel de daño ocurrido.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del análisis incremental donde se puede contabilizar la rotulación progresiva de los elementos estructurales, el desplazamiento máximo obtenido en el eje "Y" es 3,64 cm. Y luego empieza la pérdida de rigidez. Similar a Delgadillo (2005), hace presente que, empleando el procedimiento del análisis no lineal estático Pushover, es una forma mediante el cual se obtiene la secuencia de la aparición de rótulas que llevan al colapso a la estructura, utilizando la demanda sísmica dada por la norma peruana E-030 se calcula el nivel de daño ocurrido.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación de la curva de capacidad resistente en el eje "X" considerando el comportamiento no lineal de los muros de corte tiene 880 rótulas, el desplazamiento máximo en el eje X es de 6.78 cm. hasta que se produce rotulas en el nivel de colapso. Pues

coincidiendo con Delgadillo (2005), que hace presente, el análisis no lineal estático Pushover, sirve para ver la magnitud del daño, mediante el monitoreo de la deformación de desempeño (giro o desplazamiento) de los elementos, y calificar los daños.

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del sismo frecuente el desempeño estructural es (prevención de colapso), para sismo ocasional y raro el desempeño estructural es (colapso). No concuerda con Visión 2000, el cual hace presente que, empleando el cuadro de matriz de desempeño para sismo ocasional el desempeño estructural es (operacional), para sismo raro el desempeño estructural es (inmediatamente operacional) y para sismo muy raro el desempeño estructural es (seguridad de vida)

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación del sismo frecuente el desempeño estructural es (prevención de colapso), para sismo ocasional y raro el desempeño estructural es (colapso). No coincide con Visión 2000, donde hace presente que, empleando el cuadro de matriz de desempeño para sismo ocasional el desempeño estructural es (operacional), para sismo raro el desempeño estructural es (inmediatamente operacional) y para sismo muy raro el desempeño estructural es (seguridad de vida)

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación en el eje “Y” del sismo frecuente el desempeño estructural es (inmediatamente ocupacional), para sismo ocasional el desempeño estructural es (prevención de colapso) y para sismo raro el desempeño estructural es (colapso). No coincide con ATC 40, el cual hace presente que, empleando el cuadro de matriz de desempeño para sismo ocasional el desempeño estructural es (operacional), para sismo raro el

desempeño estructural es (inmediatamente operacional) y para sismo muy raro el desempeño estructural es (seguridad de vida).

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la evaluación en el eje “Y” del sismo frecuente el desempeño estructural es (prevención de colapso), para sismo ocasional el desempeño estructural es (colapso) y para sismo raro el desempeño estructural es (colapso). No concuerda con FEMA 440, hace presente que, empleando el cuadro de matriz de desempeño para sismo ocasional el desempeño estructural es (operacional), para sismo raro el desempeño estructural es (inmediatamente operacional) y para sismo muy raro el desempeño estructural es (seguridad de vida).

En la presente investigación, ocurre que los resultados de la entrevista a la pregunta ¿hasta qué nivel de movimiento de terreno soportaría el pabellón de la FIC? El ingeniero Bedón afirma, por tener una fundación de terreno arcilloso y con presencia de nivel freático superficial sería sismo de diseño. Coincidente con el ingeniero Olaza quien afirma, soportaría movimiento sísmico de diseño, pero para sismos máximos tendría problemas por estar en suelo blando. Coincidente con el ingeniero Peche quien afirma un sismo de diseño.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño para edificio esencial a nivel de la recomendación del Comité Visión 2000.
2. El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño para sismo de servicio a nivel de la recomendación del Comité Visión 2000.
3. El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño para sismo de diseño a nivel de la recomendación del Comité Visión 2000.
4. El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, no cumple con el nivel de desempeño para sismo máximo a nivel de la recomendación del Comité Visión 2000.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda tomar en cuenta para diseños de edificaciones posteriores a este trabajo una combinación armoniosa y equilibrada de las secciones entre muros de corte, vigas y columnas, de tal modo que se logre mayor ductilidad global posible para poder cumplir con los objetivos de desempeño esperado de acuerdo a la recomendación del comité VISION 2000.

Se recomienda desarrollar un estudio de pre dimensionamiento con procedimientos que busquen una relación geométrica de áreas entre placas, vigas y columnas para una relación equilibrada, de tal modo se consiga una mejor ductilidad global para las edificaciones.

Posterior a este trabajo de investigación, se recomienda desarrollar estudios similares utilizando los programas como el ETABS, RAM PERFORM, RUAMOKO, CANY y PERFORM 3D.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUIAR, R., (2010). “*Análisis sísmico por desempeño*”, CEINCI – ESPE. Quito: Ediespe.
- ATC- 40. (1996). “*Seismic evaluation and retrofit of concrete*”. Volume I. state of California.
- ALLAUCA, YVAN., (2006). “*Desempeño Sísmico de un Edificio Aporticado de cinco Pisos Diseñado con las Normas Peruanas de Edificación*”, Facultad de Ciencias e Ingeniería, PUCP. Lima.
- BONETT, R., (2003). “*Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*”. Obtenido el 18 de mayo del 2005 en: <http://WWW.tdx.cesca.es/TDX-1222103-092523/#documentos>
- CAPECO., (1997). “*Reglamento Nacional de Construcciones*”. Decima sexta edición. CC editores.
- DELGADILLO, J., (2005). “*Análisis no lineal estático de estructuras y la norma E-030*”. Lima –Perú.
- JURADO, C., Y MENDOZA, M., (2012). “*Desempeño sísmico de un edificio aporticado de 5 pisos diseñado con el reglamento nacional de edificaciones, pero aceptando una deriva máxima de 1%*”. Pontificia Universidad Católica, Facultad de ciencias e ingeniería, Perú.
- NAVARRO, C., Y FERNÁNDEZ, J., (2006). “*Desempeño sísmico de un edificio aporticado de seis pisos diseñado con las normas peruanas*”

*de edificaciones*”. Pontificia Universidad Católica, Facultad de ciencias e ingeniería, Perú.

- RNE., (2006). “*Reglamento Nacional de edificaciones*”. Ministerio de vivienda construcción y saneamiento. Primera edición. Lima-Perú.
- SANTANA, R., (2012). “*Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada*”. Universidad nacional de Ingeniería. Lima - Perú.
- SEAOC. (1995). “*A Framework for Performance Based Design*”. Vision 2000 Committee. Structural Engineers Association of California.
- SENCICO. (2003). “*Norma técnica de edificaciones NTE-E. 030 Diseño sísmico resistente*”. Servicio Nacional de normalización, Capacitación e investigación para la industria de la construcción. Lima.

## **ANEXO**

### Anexo 01: Matriz de Consistencia Lógica

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>Problema General</b> ¿ Cómo es el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Determinar el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000</p>	<p><b>Hipótesis General</b> El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>	<p><b>VARIABLE 1:</b>  Desempeño sísmico del edificio dual de la FIC.</p> <p><b>VARIABLE 2:</b>  Nivel de desempeño esencial según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>	<p><b>Tipo de la investigación.</b> Es del tipo descriptivo <b>Diseño de la investigación.</b> Es transversal porque los datos son obtenidos en un mismo momento.</p> <p><b>Población y muestra.</b> La población y la muestra es la misma por tratarse del estudio de un caso, que es el edificio dual de la FIC de la UNASAM.</p> <p>Los instrumentos de recolección de datos: fichas textuales y de ensayos; cuestionario.</p> <p>Los datos se procesarán con Excel y el software estadístico SPSS Los resultados se presentarán en tablas y gráficos. Los resultados serán analizados por su estructura porcentual</p>
<p>a) ¿Cómo es desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo de servicio según la recomendación del Comité Visión 2000.?</p>	<p>a) Determinar, el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo de servicio según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>	<p>a) El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño del sismo de servicio según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>		
<p>b) ¿ Cómo es el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo de diseño según la recomendación del Comité Visión 2000?</p>	<p>b) Determinar, el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo de diseño según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>	<p>b) El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño del sismo de diseño según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>		
<p>c) ¿ Cómo es el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo máximo según la recomendación del Comité Visión 2000?</p>	<p>c) Determinar, el desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, para el nivel de desempeño del sismo máximo según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>	<p>c) El desempeño sísmico del edificio dual de la facultad de ingeniería civil de la UNASAM, Huaraz – 2014, cumple con el nivel de desempeño del sismo máximo según la recomendación del Comité Visión 2000.</p>		