

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL EN UNA EDIFICACIÓN APORTICADA, CON SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LOSAS U-BOOT BETON, LOSA VIGACERO Y UNA CONVENCIONAL, TRUJILLO – 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Carlos Danilo Balarezo Campos  
Rodin Danny Casimiro Garcia

Asesor:

Mg. Gonzalo Hugo Díaz García

Trujillo - Perú

2022

## DEDICATORIA

Les dedicamos la tesis a nuestros padres y a nuestras familias por ser parte de nuestro apoyo diario de forma incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento está dedicado a mi familia, profesores y colegas que nos han guiado y brindado su apoyo para realizar esta investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1.1 ANTECEDENTES.....	11
1.1.2 JUSTIFICACIÓN.....	44
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Características de Vigacero</i> .....	14
<i>Tabla 2: Zonificación sísmica del Perú</i> .....	20
<i>Tabla 3: Factor del Suelo "S"</i> .....	20
<i>Tabla 4: Periodos <math>T_p</math> y <math>T</math></i> .....	20
<i>Tabla 5: Categorización de las edificaciones</i> .....	21
<i>Tabla 6: Factor de Reducción Sísmica</i> .....	22
<i>Tabla 7: Límites de deriva según el ATC - 40</i> .....	43
<i>Tabla 8: Límites de deriva según el Comité Visión 2000</i> .....	43
<i>Tabla 9: Operacionalización de la variable dependiente</i> .....	51
<i>Tabla 10: Propiedades mecánicas de los materiales</i> .....	52
<i>Tabla 11: Datos para la fórmula del predimensionamiento de columnas</i> .....	55
<i>Tabla 12: Peso en kilogramos por m<sup>2</sup> de cada espesor de losa más empleado</i> .....	56
<i>Tabla 13: Irregularidades estructurales en altura "Ia"</i> .....	60
<i>Tabla 14: Irregularidades estructurales en planta "Ip"</i> .....	61
<i>Tabla 15: Valores para el espectro de diseño NTE E030-2018 X e Y</i> .....	62
<i>Tabla 16: Tabla comparativa de la fuerza cortante con losas U Boot Beton, losa vigacero y una convencional</i> .....	62
<i>Tabla 17: Tabla comparativa de derivas máximas en dirección "X" e "Y"</i> .....	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Detalle de armado y distribución de las viguetas prefabricadas de acero vigacero.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 2: Mapa de Zonas Sísmica del Perú .....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 3: Conversión del Espectro de Respuesta a formato ADRS .....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 4: Respuesta elástica de estructuras .....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 5: Respuesta inelástica de estructuras.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 6: Curva esfuerzo - deformación del concreto no confinado .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 7: Curva esfuerzo - Deformación del concreto no confinado.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 8: Diagrama momento - curvatura típica .....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 9: Relaciones generalizadas fuerza - deformación para componentes .....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 10: Formación de rótula plástica en los extremos de viga.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 11: Mecanismo ideal de formación de rótulas plásticas en un pórtico.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 12: Secuencia del análisis Pushover.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 13: Curva de capacidad idealizada .....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 14: Tipos de ductilidad.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 15: Espectro de respuesta modificado MADRS para uso con T sec.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 16: Determinación del desplazamiento máximo estimado utilizando la iteración directa (Procedimiento A).....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 17: Sectorización de la curva de capacidad .....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 18: Diseño de investigación. ....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 19: Proceso del Análisis de Datos .....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 20: Procedimiento del desarrollo de la investigación .....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 21: Posicionamiento de las variables para el predimensionamiento de las vigas principales..</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 22: Posicionamiento de las variables para el predimensionamiento de las vigas secundarias.</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 23: Posicionamiento de los tipos de columnas para el predimensionamiento. ....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 24: Plano típico de distribución.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 25: Plano típico de distribución típico.....</i>	<i>60</i>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Carga última de la estructura.....</i>	<i>53</i>
<i>Ecuación 3: Peralte de la viga principal.....</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 4: : Ancho de la viga principal.....</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 5: Predimensionamiento de columnas.....</i>	<i>55</i>
<i>Ecuación 6: Espesor de la losa aligerada.....</i>	<i>56</i>

## RESUMEN

La presente investigación es la evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada con un sistema constructivo de losas U-Boot Beton, losa Vigacero y convencional en la ciudad de Trujillo. La metodología a emplear es de tipo no experimental aplicada porque ya existen enfoques teóricos a cerca de las variables a través de un diseño transversal. Los resultados obtenidos en la presente investigación es que la Losa U Boot Beton – Losa Vigacero respecto a costo, tiempo y seguridad en edificación es mejor que la losa aporticado convencional. Para este estudio se empleó un diseño no experimental, del tipo transversal descriptivo, en donde la población y la muestra se determinó mediante la técnica de Muestreo No Probabilístico Intencional, la técnica de observación, con la ayuda de un programa computacional para la medición de los objetivos.

Finalmente se presentó la evaluación del desempeño sísmico según los objetivos básicos de desempeño recomendados por el Comité Visión 2000. Así, se constató que el 100% de las edificaciones no cumplen con el objetivo de totalmente operacional para el sismo frecuente, el 37% cumplen con el objetivo de operacional para el sismo de servicio, el 6% cumplen con el objetivo de seguridad de vida para el sismo de diseño, y el 100% de las edificaciones no cumplen con el objetivo de prevención de colapso para el sismo máximo.

**Palabras clave:** u-Boot Beton, Vigacero, desempeño sísmico, derivas

## ABSTRACT

The present investigation is the evaluation of the structural response in a framed building with a construction system of U-Boot Beton slabs, Vigacero and conventional slabs in the city of Trujillo. The methodology to be used is of a non-experimental type applied because there are already theoretical approaches to the variables through a cross-sectional design. The results obtained in the present investigation is that the U Boot Beton Slab - Vigacero Slab with respect to cost, time and safety in construction is better than the conventional framed slab. For this study, a non-experimental design was used, of the descriptive cross-sectional type, where the population and the sample were determined by means of the Intentional Non-Probabilistic Sampling technique, the observation technique, with the help of a computer program for the measurement of the objectives.

Finally, the seismic performance evaluation was presented according to the basic performance objectives recommended by the Vision 2000 Committee. Thus, it was found that 100% of the buildings do not meet the goal of being fully operational for frequent earthquakes, 37% meet the the operational objective for the service earthquake, 6% meet the life safety objective for the design earthquake, and 100% of the buildings do not meet the collapse prevention objective for the maximum earthquake.

**Keywords** u-Boot Beton, beamsteel, earthquake performance, drifts

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.10 REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la realidad nacional nos encontramos en una crisis sin parangón, la cual nos exige a innovar y apostar por sistemas constructivos, con una respuesta estructural segura e identificando las ventajas comparativas que estas presentan. Así como en el Perú la cual se encuentra en el “Cinturón de Fuego del Pacífico” (zona altamente sísmica y volcánica), nuestro país está prácticamente ubicado sobre una falla geológica, dando lugar el encuentro de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana siendo las responsables del gran levantamiento y plegamiento geológico en Sudamérica tal como lo indica el instituto Geofísico del Perú (IGP).

Sismos pasados han causado daños, que han provocado pérdidas humanas y materiales, siendo el de mayor envergadura en 1970 en el departamento de Huaraz. En Trujillo se registraron varios eventos sísmicos, siendo el de mayor consideración el producido en el año 1919, actualmente la ciudad presenta un silencio sísmico de aproximadamente 100 años.

El reglamento nacional de Edificaciones E-030 ubica a Trujillo en la zona 4 (alta sismicidad), el factor de aceleración máxima que se encuentra en dicha zona, deja en evidencia el riesgo sísmico en dicho lugar, volviendo vulnerables a las edificaciones y sus ocupantes, ante una actividad sísmica de magnitud severa.

Según la R.N.E. E030, las nuevas edificaciones se diseñan con enfoque tradicional, pero se deja abierta la posibilidad del empleo del sistema con aislamiento. Los sismos ocasionales originan gran daño en las edificaciones diseñadas bajo la filosofía sismorresistente de dicha norma por ello se busca la opción de introducir nuevas metodologías para aumentar el nivel de seguridad de las personas y la operatividad de la estructura después de un sismo.

Para la adquisición de una vivienda con mejores condiciones de habitabilidad se deberá pagar el costo del terreno, obras de habilitación urbana y la construcción de la vivienda, siendo de esta manera muy elevado el costo final. A pesar de la política en materia de vivienda, no se ha logrado el resultado esperado, debido a

que la mayoría de los beneficiarios son las familias de estrato medio. Una de las causas principales de las familias de bajos ingresos

Gracias a estos avances se han desarrollado métodos como el tiempo. Según Campoverde (2017) menciona que “el IGP reporta en promedio entre 150 a 200 sismos percibidos por la población con intensidades mínimas de II-III (Escala de Mercalli Modificada) y magnitudes ML (Magnitud Local)  $\geq 4,0$ ”

En el transcurso de estos años el sector de la construcción está creciendo progresivamente, contribuyendo al crecimiento económico del país. Actualmente, el crecimiento anual de la población de nuestro país, radica en 1.3 % según el INEI, con lo cual se entiende la demanda y consolidación de viviendas para las familias que eligen situarse en un determinado sector.

En el sector inmobiliario se cuenta con varias alternativas de sistemas estructurales las mismas que generan rentabilidad y dinamismo en la economía nacional, una de ellas es VIGACERO® es un sistema de techo aligerado conformado por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno expandido EPS de alta densidad, que facilita la construcción de losas aligeradas (techos) de una manera más rápida y sencilla.

### 1.11 ANTECEDENTES

Para (Meza Vásquez; Martell León Prieto, 2019), presentan en su tesis de grado; indica que, de acuerdo a los resultados del análisis estructural, la construcción del edificio con el sistema Vigacero, aportó un peso total de 16.61 ton. y el sistema Techomax un peso de 17.55 ton. El presupuesto estimado para el edificio con el sistema Vigacero fue de S/. 887,400.45 y para el sistema Techomax de S/. 913,875.80. El tiempo de ejecución de las losas aligeradas con el sistema Vigacero fue de 336 días y para el sistema Techomax de 420 días. En consecuencia, la presente investigación concluye que el sistema Vigacero fue la mejor opción para la construcción de losas aligeradas en edificios multifamiliares en comparación del sistema Techomax.

Para (Rivera Granados, 2017) en su tesis describe cual es el aporte del sistema prefabricado de losa aligerada vigacero frente al sistema convencional, para una

edificación de 6 pisos en Huancayo. Su objetivo principal se centró en “comparar el nivel de aporte del sistema pre-fabricado de losa aligerada vigacero versus el sistema convencional para alcanzar mejores resultados en la construcción de losa de entrepiso” (p.3). De los resultados obtenidos, concluye que la innovación tecnológica del sistema pre-fabricado de losa aligerada vigacero, tiene mejores resultados técnicos al reducir el peso propio del sistema en un 42.86% y aumentar su capacidad resistente en un 70.27%. La versatilidad de este sistema permite también rebajar el costo directo en un 9.55%, esto es s/ 22,153.79 y además su práctica y fácil instalación le permite simplificar su proceso constructivo, reduciendo el tiempo de ejecución en 27 días.

Para (Avecilla Ríos, D. R., 2016), desarrolla su investigación y propone una alternativa estructural-constructiva frente a la necesidad de aligerar techos y entrepisos de manera segura, de fácil ejecución, con costos adecuados y pesos bajos. Utilizando programas computacionales de elementos finitos como el SAP 2000 para el análisis de los datos, y la normativa de su país, Ecuador. “Concluye que la alternativa estructural-constructiva tiene superioridad técnica y sugieren ventajas económicas del mismo, comparada con las soluciones aplicadas tradicionalmente” (p.2).

De igual forma cabe mencionar los elementos estructurales en edificaciones, que son identificadas como; cimentación, es aquel elemento estructural encargada de transmitir el peso total de la edificación al suelo de fundación, cimentación corrida, compuesta por el sobrecimiento y cimiento, recibe las cargas de los muros transmitiéndolas al suelo, teniendo una funcionalidad estructural. Se recomienda tener como profundidad en los cimientos como mínimo de un metro, platea de Cimentación, es el tipo de cimiento empleado en suelos con capacidad portante baja dado que estas transfieren las cargas uniformemente por toda su área de contacto con el suelo de fundación, zapatas, son elemento estructural de concreto armado que son las encargadas de tomar las cargas de las columnas (de menor área) y transmitiéndolas al suelo portante mediante estas (de área mayor) repartiéndose mejor estas cargas debido a presentar un área mayor. Columnas, son elementos estructurales encargados de soportar las cargas horizontales tales como los sismos y vientos, y las verticales (su propio peso), trabajando de manera a

flexo compresión como en ciertos casos también a tracción (columnas atirantadas) (Medina y Viamonte, 2016, p. 336).

Tal como los muros son elementos estructurales que permite el cierre de los espacios, que únicamente transmite cargas verticales, vigas, encargados de resistir las cargas transversales en ángulo recto teniendo en consideración el eje longitudinal de la viga, cuyo trabajo es a flexión. Encargada de recibir las cargas de las losas y transmitir las a las columnas y/o muros. Siendo sus apoyos ubicados en los extremos (Becerra y Pino, 2017, p. 126).

Además, se define como losas, un elemento estructural plano sometido a fuerzas perpendiculares a su plano (cargas muertas y vivas). Teniendo una separación horizontal de un nivel o piso de otro, sirviendo como techo para el primer nivel y como piso para el segundo nivel. Deberá garantizar aislamiento del calor y el ruido. Tiene un trabajo a flexión. Según los materiales empleados puede actuar como diafragma flexible o rígido (Solano, 2017, p. 174).

En cambio, las Losas Aligeradas Bidireccionales, de acuerdo a Daliform son estructuras que se sostienen en 4 lados ayudando a una mejor distribución de cargas, un claro ejemplo es el sistema de entrepisos U-Boot Beton; que nos brinda beneficios por utilizar materiales de polipropileno reciclado, analizados para fabricación losas y soleras de hormigón armado aligeradas. El empleo de encofrados U-Boot Beton logra permitir elaborar losas hongo, posibilitando construir el hongo en el espesor del forjado. Debido a la pata cónica elevadora, efectiva, sumergiendo los encofrados U-Boot Beton en la colada de hormigón, produce el enrejado de vigas mutuamente ortogonales, cerradas inferior y superiormente por una losa plana, elaboradas secuencialmente y en una única colada; obteniendo un ahorro considerable de acero y hormigón. U-Boot Beton logra permitir el forjado de amplias luces aptas para tolerar cargas de consideración, sin vigas. Rápido, fácil y ligero en su colocación, debido a su modularidad permitiendo al proyectista cambiar parámetros geométricos como desee, adaptándose las situaciones deseadas, logrando una mayor libertad arquitectónica (Daliform, 2015, p.21).

**Portillo, J. D. (2009)** en su investigación ensaya en un laboratorio un modelo de propuesta de losas prefabricadas de concreto armado y aligeradas con poli estireno

expandido, obteniendo resultados mejorables ante la carga máxima de 200 kg/cm<sup>2</sup> por lo que rediseña su modelo en base a la normativa de su país, Guatemala, y logra obtener mejores resultados y desempeño.

Para el caso de las viguetas pretensadas, se tomó la información del sistema de losa aligerada, para el caso de las viguetas de acero inoxidable Vigacero, de la empresa ARCOTECHO. Estas empresas cuentan con la certificación y normalización correspondiente, así como también, datos estadísticos y técnicos en comparación con el sistema de construcción convencional de losas aligeradas.

No se ha encontrado investigaciones comparativas entre ambos sistemas constructivos, por lo que, los datos de entrada que fundamentan nuestra hipótesis, están basados en las ratios obtenidos en comparación con el sistema convencional en condiciones similares. Arcotecho Perú S.A.C. (2018).

El sistema de techo aligerado Vigacero está conformado por viguetas de acero galvanizado, los cuales soportan el peso de los casetones de poliestireno expandido y el concreto. Desarrollado para realizar losas de entresijos de manera más rápida y eficiente.

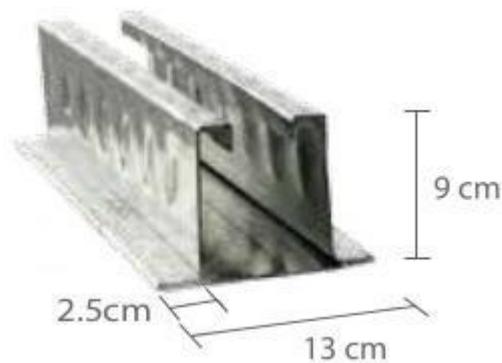
Este sistema no necesita de encofrado y apuntalamiento para luces menores a 3.00 m, y para luces mayores de 8.00 m, solo requiere un mínimo de apuntalamiento (según su último manual de instalación).

El sistema en conjunto funciona como un diafragma rígido, y donde todos sus componentes están integrados mediante adherencia mecánica.

CARACTERISTICAS DE LA VIGUETA	
Dimensiones	h = 9 cm*
	b = 13 cm* b1 = 2.5 cm*
Peso	4.80 kg/ml*
Espesor	1.5 mm*
Normas	- ASTM A 1011 - ASTM A 1008 - ASTM A 653
Fy	min 2530 kg/cm <sup>2</sup>
Luz Libre Máxima	8.00 m
Luz máxima sin puntales	3.0 m

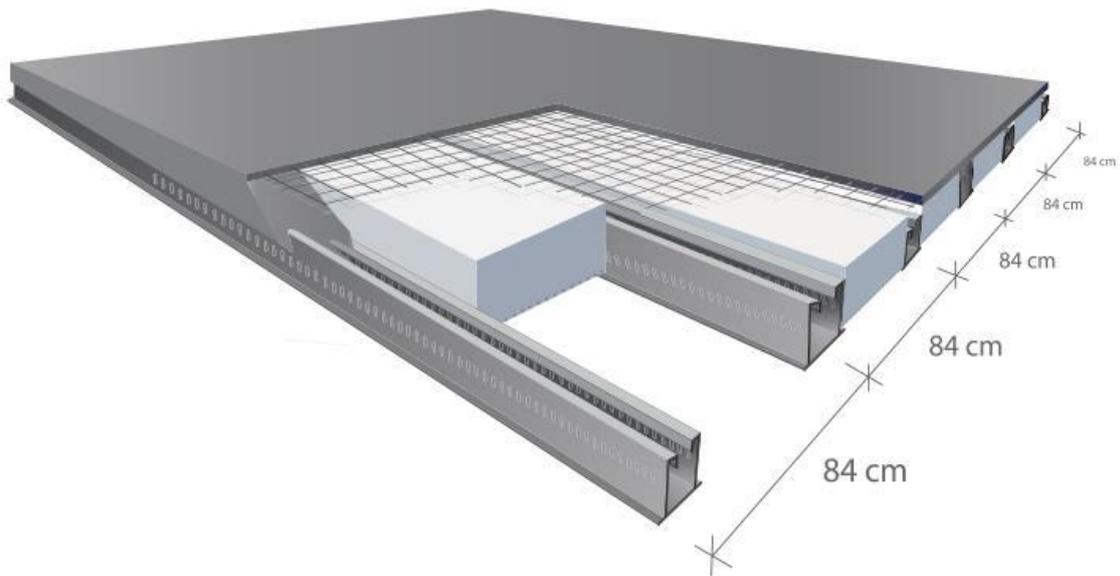
\*Valores Nominales

*Ilustración 1: Características de Vigacero*



*Ilustración 2: Medidas de Vigueta*

Para la colocación de viguetas prefabricadas de acero se debe considerar apoyar a 2,5 cm como mínimo a cada lado sobre el muro o encofrado de la viga. La distancia entre las viguetas a ejes es de 84 cm. Se requiere cortar la vigueta prefabricada de acero para realizar su empalme para el caso de vigas chatas.



*Ilustración 3: Detalle de armado y distribución de las viguetas prefabricadas de acero vigacero.*

Fuente: Adaptado del manual técnico Vigacero (s.f.)

La colocación de los casetones de poliestireno expandido se realiza colocándola en los extremos de la vigueta vigacero, luego se coloca la siguiente vigueta y se repite el procedimiento; de esta manera las viguetas sirven como guía para la colocación del siguiente casetón, y el casetón como separación entre viguetas.

La malla de temperatura se coloca en obra con varillas de 6 mm en cuadrículas de 25x25 cm. Se recomienda la colocación de separadores o tacos de concreto de 8x8x4 cm sobre la vigueta para que la malla que de separada de los casetones de EPS y embebida en la losa superior.

La instalación de las tuberías eléctricas y sanitarias se realiza generando surcos en los casetones para que estos queden embebidos, asegurando el espesor de la losa y la capa de 5 cm de espesor de losa. Para el caso de las tuberías sanitarias deben ir paralelas a las viguetas y no atravesarlas.

Para la instalación de tuberías eléctricas se considera lo siguiente:

- Ubicar los centros de luz: con pistola de calor, hacer un hueco en todo el espesor del casetón. Con un tubo dentado de 4” extraer el poliestireno expandido necesario para colocar el centro de luz.
- Amarrar el centro luz (caja octogonal) al acero de temperatura con alambre N° 8 a la altura necesaria.
- Las tuberías quedan embebidas en los casetones haciendo surcos con pistolas de calor, asegurando los 5 cm. de espesor de la capa de concreto. Así mismo, si las tuberías son de sección pequeña estas pueden colocarse sobre la malla de temperatura.

Para la instalación de tuberías sanitarias se considera lo siguiente:

Realizar un diseño sanitario a fin de que el montante horizontal de desagüe pueda ir en el centro de los casetones de EPS y que pueda colocarse sin perforar las viguetas.

La colocación de las montantes y ramales es sencilla con el uso de la pistola de aire caliente y las boquillas adecuadas: redonda para perforar y plana para realizar canales. Es conveniente realizar las perforaciones con cuidado, para que tengan la pendiente adecuada, colocar tablas y puntales debajo de los casetones a perforar, de manera que se mantengan firmes durante las labores de instalación y posterior vaciado. (SENCICO, s.f.)

Además, el informe de investigación se justificó, por las ventajas en el diseño estructural con del sistema U-BOOT BETTON, es económico, debido a la reducción significativa en el acero, concreto y encofrado en relación a una losa maciza; antisísmicas, con relación a la disminución del peso de la estructura, obteniendo una mayor esbeltez en columnas y cimientos, practico, por la sencillez

y rapidez durante su proceso de construcción, el diseño del ladrillo logra que tarrajeo en los cielos rasos no sean necesarios; flexible en su forma, permite la libertad arquitectónica de la construcción, logrando obtener hasta 12 metros de luz en igualdad de carga, bidireccional, livianos y finos, deformaciones reducidas, disminuyendo las cargas en la cimentación, y también reduciendo el número de columnas, asequible, obteniendo una reducción en los costos en cada piso debido a evitar las vigas peraltadas, realizando más pisos con igualdad de altura en edificios con gran número de niveles (Daliform, 2018, s.n.).

Debido a solicitud de grandes luces sin la presencia de grandes peraltes, las vigas se han convertido en un problema para los estructuralistas, debido a que losas aligeradas convencionales unidireccionales no cumplen las expectativas del propietario, por lo cual, es necesario buscar nuevos sistemas que cumplan con el correcto diseño estructural, conjunto con mano de obra calificada y de buena calidad para obtener una duradera edificación.

### **Fuerzas sísmicas actuantes en la estructura.**

El análisis sísmico de una estructura debe ser considerado un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Deberá utilizarse uno de los procedimientos siguientes: Análisis Estático o de fuerzas estáticas equivalentes y el Análisis Dinámico modal espectral.

#### **Método de las fuerzas estáticas equivalentes.**

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

(Reglamento Nacional Edificaciones E.030,2016, p.11).

### **La fuerza cortante en la base (Vs).**

Es la fuerza aplicada en la base de la estructura, correspondiente a efectos

inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, aplicad en la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

(Reglamento Nacional Edificaciones E.030,2016, p.12)

$$V_s = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot P}{R} \quad (Ec. 55)$$

El valor de c/r deberá considerarse menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad (Ec. 56)$$

#### a) Zonificación.

En territorio nacional se encuentra dividido en 4 zonas, basada en la distribución espacial de la sismicidad, características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral. La Figura 2 representa la zonificación sísmica del Perú.

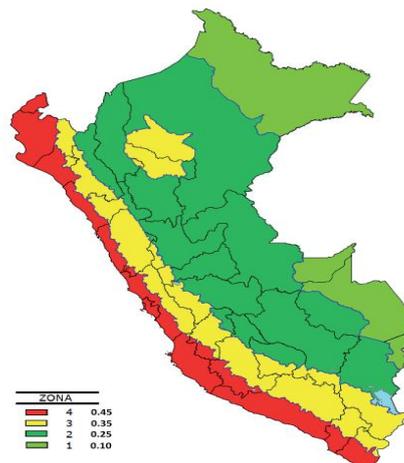


Ilustración 4: Mapa de Zonas Sísmicas del Perú

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030,2016, p.5.

#### b) Factor de sismicidad (Z).

El factor de zona se obtendrá según la Tabla 2, según la ubicación del proyecto.

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

*Ilustración 5: Zonificación sísmica del Perú*

*Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030,2016, p.5.*

(Reglamento Nacional Edificaciones E.030,2016, p.5).

### c) Perfil del Suelo

Según la Norma E.030 clasifica los perfiles de suelo de acuerdo a sus propiedades mecánicas, y de acuerdo a su zona, en la Tabla 3, se indica su valor.

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

*Ilustración 6: Factor del Suelo "S"*

*Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030,2016, p.12.*

Tabla N° 4 PERÍODOS "T <sub>p</sub> " Y "T <sub>L</sub> "				
	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>L</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

*Ilustración 7: Periodos T<sub>p</sub> y T<sub>L</sub>*

*Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030,2016, p.13.*

### d) Categoría de edificación (U).

“Es la categorización que se da a las estructuras, que dependerán de su uso e importancia (U). Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las

categorías indicadas”. (Reglamento Nacional Edificaciones E.030,2016, p.8).

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1,0
D Edificaciones Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

Ilustración 8: Categorización de las edificaciones.

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030,2016, p.7, 8.

**e) Sistemas estructurales y coeficientes básicos de reducción de las fuerzas sísmicas (R).**

“Según la clasificación que se haga de una edificación se usará un coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R). Para el diseño por resistencia última las fuerzas sísmicas internas deben combinarse con factores de carga unitarios”. (Reglamento Nacional Edificaciones E.030,2016, p.11). Según estudios realizados en el laboratorio de estructuras antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se establece un factor de reducción de las fuerzas sísmicas elásticas de  $R=2.5$ , para evaluación sísmica en el Perú. La tabla 6 muestra los factores de reducción sísmica.

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción $R_o$ (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada.</b>	<b>3</b>
<b>Madera (Por esfuerzos admisibles)</b>	<b>7</b>

Ilustración 9: Factor de Reducción Sísmica

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.030,2016, p.9.

#### f) **Peso de la Estructura para el Análisis Sísmico.**

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera (Reglamento Nacional Edificaciones E.030.2016, p.11):

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considera el 100% de la carga que puede contener.

### g) Análisis Dinámico Modal Espectral.

El análisis sísmico dinámico es la suma de los análisis modal y espectral, ya en el análisis sísmico dinámico se necesitan determinar los períodos de vibración, el número mínimo de modos de vibración, los desplazamientos laterales y las fuerzas de diseño por sismo, los cuales se obtienen por el análisis modal, los períodos de vibración y el número mínimo de modos de vibración; y por el análisis espectral, los desplazamientos laterales y las fuerzas de diseño por sismo. (Villarreal, G.,2015, Diseño sísmico de edificaciones, Perú).

### h) Modos de vibración.

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis. (Reglamento Nacional Edificaciones E.030, 2016, p.12).

### i) Aceleración Espectral.

“Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleración definido por la siguiente expresión”: (Reglamento Nacional Edificaciones E.030,2016, p.12).

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \times g$$

Donde:

$S_a$  = Aceleración espectral

$Z =$  Factor de zona

$U =$  Factor de uso

$C =$  Factor de amplificación sísmica

$S =$  Factor de suelo

$R =$  Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

$g =$  Aceleración de la gravedad

#### j) Espectros de demanda sísmica

Para propósitos de la evaluación del desempeño sísmico se han promovido los espectros de respuesta en formato ADRS (“Acceleration-Displacement Response Spectrum”,  $S_a$  vs.  $S_d$ ) que grafica en el eje de las ordenadas la aceleración espectral y en las abscisas el desplazamiento espectral, utilizado principalmente en el Método del Espectro de Capacidad.

Para realizar la conversión del espectro de pseudoaceleraciones a formato ADRS se debe calcular el valor de  $S_{di}$  para cada punto de la curva  $S_{ai}, T_i$  mediante la siguiente ecuación:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \times S_{ai} \times g \quad \text{Ecuación (07)}$$

Se ilustra el espectro de demanda según la norma E030 y ADRS.

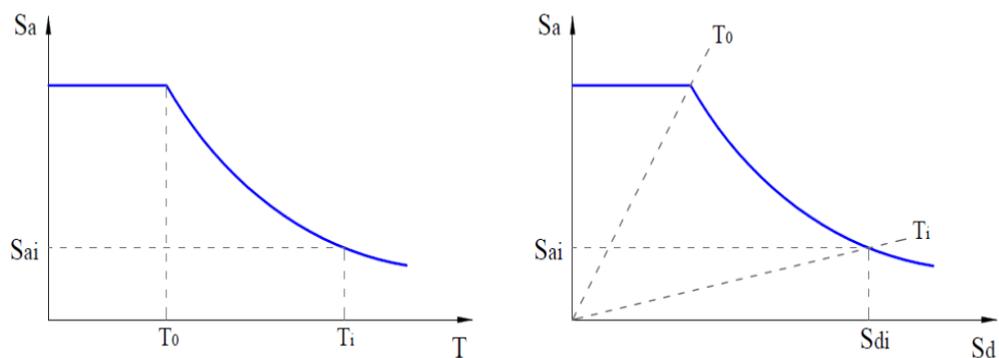


Ilustración 10: Conversión del Espectro de Respuesta a formato ADRS

Fuente: ATC-40 (1996)

#### k) Respuesta elástica de estructuras

En el método del Espectro de Capacidad se utiliza un espectro de capacidad y un espectro de demanda en formato ADRS. El punto de desempeño se obtiene de la intersección de ambos espectros. Cuando se espera que la respuesta estructural se produzca en el rango elástico, el punto de desempeño ( $d_p, a_p$ ) puede obtenerse

intersectando directamente los espectros de demanda y capacidad, según se muestra en la Figura 04.

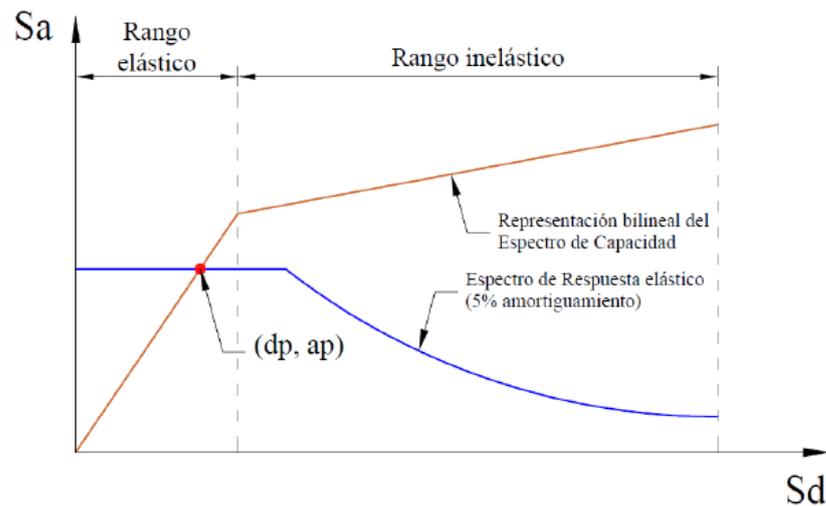


Ilustración 21: Respuesta elástica de estructuras

Fuente: ATC-40 (1996)

### I) Respuesta inelástica de estructuras

Para sismos de mayor escala se espera que el edificio incurra en el rango inelástico, formando rótulas plásticas por donde se libera energía. La demanda sísmica es función de las características dinámicas del edificio (masa, rigidez y amortiguamiento), por lo que su rigidez cambia al incursionar en el régimen inelástico.

Los espectros de demanda han sido calculados sobre estructuras con comportamiento elástico, por ello se denominan Espectros de Respuesta Elástico.

Según el ATC-40 el comportamiento inelástico de una estructura puede representarse por medio de un amortiguamiento viscoso equivalente, el mismo que depende del nivel de desplazamiento inelástico alcanzado. Así, para cada punto del tramo inelástico de la curva de capacidad se puede obtener un amortiguamiento viscoso equivalente y un nuevo espectro de demanda. En la Figura 05 se muestra la reducción del espectro de respuesta elástico para la obtención del punto de desempeño en el rango inelástico (respuesta inelástica).

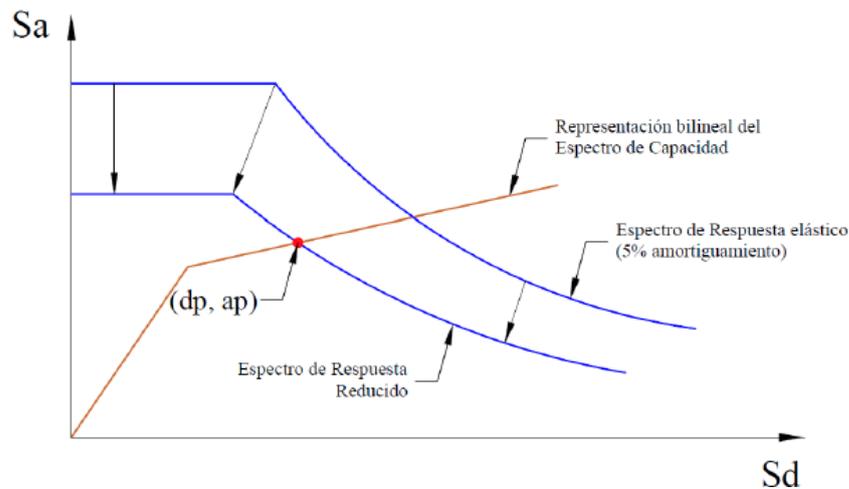


Ilustración 12: Respuesta inelástica de estructuras

Fuente: ATC-40 (1996)

### Comportamiento de edificaciones ante acciones laterales

Las cargas de gravedad son la carga principal en un edificio. Sin embargo, a medida que un edificio se vuelve más alto, debe tener la resistencia y rigidez adecuadas para resistir las cargas laterales impuestas por vientos y sismos. “Cuando la altura de un edificio aumenta, la rigidez adicional requerida para controlar la deflexión, en lugar de la resistencia de los miembros, domina el diseño” Balendra (1993).

### Curva de capacidad estructural a partir de un modelo teórico

#### Modelos de comportamiento para el concreto armado

El concreto armado es un material compuesto que consta de 2 materiales: concreto y acero de refuerzo. El concreto es un material frágil que tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tracción. Así, se le incorpora un “esqueleto” de acero para resistir adecuadamente la tracción.

El acero les confiere a los miembros ductilidad, dándole mayor capacidad de deformación antes de la falla. Así, la estructura fallará de forma dúctil y no frágil. Esta es la razón por la que muchas normas estipulan un mínimo de acero de refuerzo.

Para analizar y evaluar las estructuras de concreto armado se usan modelos simplificados de las relaciones constitutivas del acero y concreto que fueron desarrolladas de resultados experimentales.

#### Modelos esfuerzo-deformación para el concreto

Los modelos de concreto son definidos teniendo en cuenta la velocidad de aplicación de la carga, calidad de los materiales, el confinamiento. El concreto

confinado tiene un comportamiento mecánico mejor que el concreto sin confinar, no solo en esfuerzo máximo sino también en el tipo de falla, teniendo mayor ductilidad.

A continuación, se explican algunos modelos de concreto confinado y no confinado:

**a) Modelos para concreto no confinado**

- **Modelo Mander at (1990)**

El modelo propuesto por Mander (1998) está definido por una sola región que considera el confinamiento (Figura 06); y a partir de esta, haciendo las simplificaciones respectivas, se determina la curva Esfuerzo-Deformación para el concreto no confinado.

$$f_c = \frac{f'_{co} x^r}{x-1+x^r} \quad \text{Ecuación (08)}$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \quad \text{Ecuación (09)}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{co}}{\epsilon_{co}} \quad \text{Ecuación (11)}$$

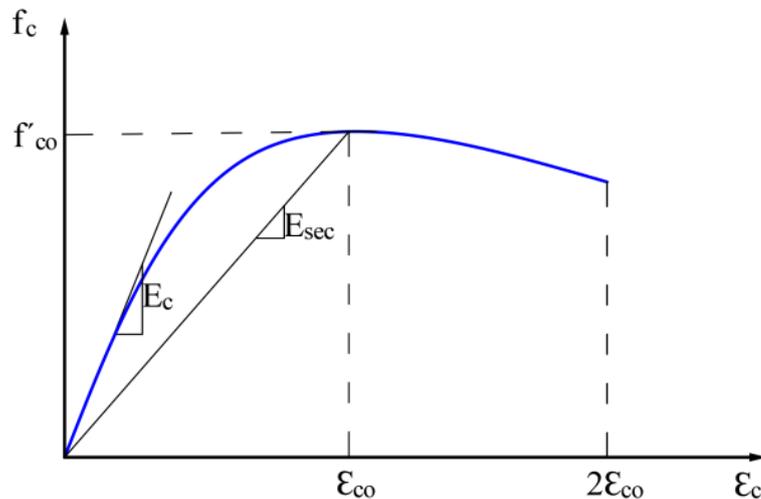


Ilustración 13: Curva esfuerzo - deformación del concreto no confinado

Fuente: Mander, Priestley & Park (1998)

Donde:

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del concreto

$\epsilon_c$  = Deformación unitaria del concreto

$f'_{co}$  = Resistencia a la compresión máxima del concreto no confinado

$\epsilon_{co}$  = Deformación unitaria máxima del concreto no confinado

$f_{cu}$  = Resistencia a la compresión última del concreto confinado

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto

$E_{sec}$  = Módulo secante del concreto no confinado esfuerzo máximo

## b) Modelos para concreto confinado

- **Modelo de Mander et al**

Este modelo se puede aplicar a elementos secciones circulares y rectangulares de diferente nivel de confinamiento. Considera que el confinamiento incrementa la deformación unitaria y la resistencia del concreto. El punto de falla  $\epsilon_{cu}, f_{cu}$  lo define la fractura del acero transversal. La resistencia máxima a compresión  $f'_{cc}$  depende del tipo de confinamiento, del esfuerzo lateral de confinamiento.

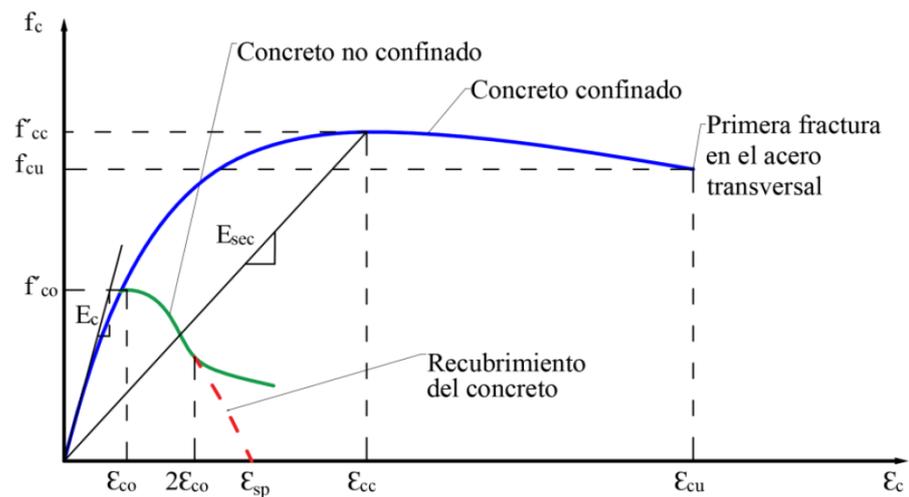


Ilustración 14: Curva esfuerzo - Deformación del concreto no confinado

Fuente: Mander, Priestley & Park (1988)

$$f_c = \frac{f'_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

$f'_{co}$  = Resistencia máxima del concreto no confinado

$\varepsilon_{co}$  = Deformación unitaria máxima del concreto no confinado

$\varepsilon_{20c}$  = Deformación unitaria en la que el recubrimiento de concreto se considera que se ha desprendido por completo y no transmite esfuerzo alguno

$f'_{cc}$  = Resistencia máxima del concreto confinado

$\varepsilon_{cc}$  = Deformación unitaria máxima del concreto confinado

$f_{cu}$  = Resistencia última del concreto confinado

$\varepsilon_{cu}$  = Deformación unitaria última del concreto confinado

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto

$E_{sec}$  = Módulo secante del concreto confinado en el esfuerzo máximo

## Modelo inelástico para secciones y elementos estructurales

### Diagrama momento-curvatura

Este diagrama representa la capacidad a flexión y su deformación por curvatura (rotación por unidad de longitud) en el rango lineal y no lineal de una sección de concreto armado.

El diagrama Momento-Curvatura ( $M - \phi$ ) brinda una idea clara de la máxima capacidad de deformación inelástica, las características de disipación de energía, y el comportamiento no lineal de la sección. Cuanta más ductilidad tenga una sección mayor será la capacidad de disipación energía del elemento y de la estructura.

El diagrama Momento-Curvatura ( $M - \phi$ ) se construye a partir de los modelos constitutivos del concreto y acero; y estudiando la sección en 3 estados:

- Estado de agrietamiento ( $\phi_A, M_A$ )
- Estado de fluencia ( $\phi_Y, M_Y$ )
- Estado de agotamiento o ultimo ( $\phi_u, M_u$ )

El momento y la curvatura en una sección de concreto armado tienen una relación lineal siempre y cuando los momentos sean menores al momento de agrietamiento ( $M_A$ ). Luego del agrietamiento la relación continua casi lineal, pero con pendiente diferente hasta que la fluencia del acero ( $M_Y$ ) o el agotamiento del concreto ( $M_U$ ) se alcance. Si primero se produce la fluencia del acero, la sección puede seguir deformándose hasta que el concreto alcanza su máximo esfuerzo ( $M_U$ ) y finalmente su máxima. Ottazzi (2011)

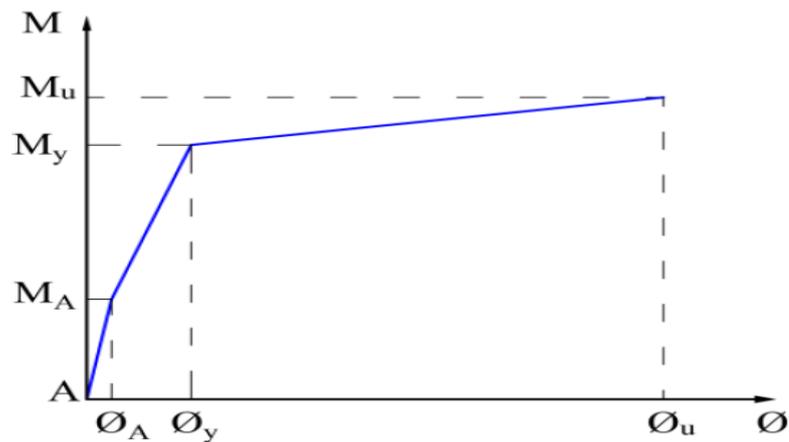


Ilustración 15: Diagrama momento - curvatura típica

Fuente: Ottazzi (2011)

### Relaciones generalizadas fuerza-deformación

Para evaluar la respuesta no lineal de la estructura se necesita conocer la respuesta de los componentes más allá del rango lineal. La respuesta de los componentes debe representarse mediante curvas que describan dicho comportamiento, con valores obtenidos mediante evidencias experimentales o tomadas a partir de las Tablas del ASCE/SEI 41-13. Estas curvas son conocidas como Relaciones Generalizadas Fuerza-Deformación.

La relación generalizada fuerza-deformación mostrada en la Figura 9, se describe mediante una respuesta lineal desde el punto A (componente sin carga) hasta un punto B de fluencia efectiva; luego una respuesta lineal con reducción de la rigidez entre los puntos B y C (0% a 10% de la pendiente elástica lineal) que representa el fenómeno de endurecimiento por deformación; posteriormente una respuesta que representa la degradación repentina de la resistencia desde el punto C (resistencia del elemento y deformación en la cual comienza una degradación significativa de la resistencia) hasta el punto D. Más allá del punto D, el elemento responde con una resistencia sustancialmente reducida hasta el punto E. Para deformaciones más allá de este último punto, la resistencia es esencialmente cero. Los valores numéricos se exponen en las Tablas del ASCE/SEI 41-13.

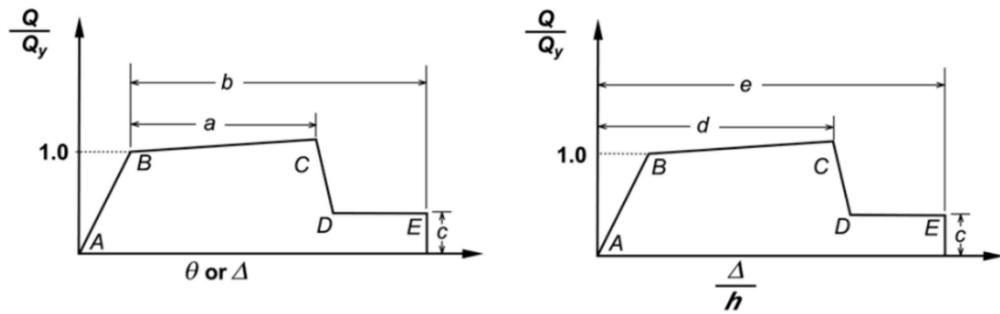


Ilustración 36: Relaciones generalizadas fuerza - deformación para componentes

Fuente: ASCE/SEI 41-13 (2014)

### Vigas

El primer parámetro está relacionado con las cuantías de acero; el segundo define si el refuerzo transversal utilizado está confinando o no a la viga y el tercero está relacionado con la fuerza cortante actuante.

- **Momento ( $M_3$ ):** Los valores de los parámetros numéricos  $a$ ,  $b$  y  $c$ , y de aceptación IO, CP y LS, que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas por flexión, son calculados según la Tabla 11 (Tabla 10-7 del ASCE/SEI 41-13, 2014). Además, se requiere conocer los valores del momento de fluencia ( $M_y$ ) del momento último ( $M_u$ ).
- **Corte ( $V_2$ ):** Para evaluar los parámetros numéricos de modelación y criterios de aceptación que definen el comportamiento no lineal por corte, se asume que las vigas actúan como elementos de acople entre muros. Los valores de los parámetros numéricos  $d$ ,  $e$  y  $c$ , y de aceptación IO, CP y LS que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas por corte son calculados según la Tabla 10-20 (ASCE/SEI 41-13, 2014). Adicionalmente, se requiere conocer los valores de la resistencia máxima a corte  $V_y$ .

### Columnas

En forma similar a las vigas, hay tres controles que se deben realizar, antes de ingresar a la Tabla para encontrar los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  con los cuales se halla el diagrama momento rotación. El primer control es calcular la relación:  $\frac{P}{A_g * f'_c}$  donde  $P$  es la carga axial actuante,  $A_g$  es el área de la sección transversal de la columna y  $f'_c$  es la resistencia máxima del concreto a compresión. El segundo control tiene que ver con el confinamiento y el tercero con el cortante actuante; estos dos controles se realizan en forma similar a la de las vigas.

Si la columna está controlada por corte no se puede obtener los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

- **Flexión y axial (P – M<sub>2</sub> – M<sub>3</sub>):** Los valores de los parámetros numéricos de modelación a, b y c, y de aceptación del desempeño IO, CP y LS que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas P – M<sub>2</sub> – M<sub>3</sub> son calculados según la Tabla 12 (Tabla 10-8 del ASCE/SEI 41-13, 2014). Adicionalmente, se definen las curvas de interacción para cada tipo de sección diseñada.
- **Corte V<sub>2</sub>:** Para evaluar los parámetros numéricos de modelación que definen la rótula por corte, se asume que las columnas trabajan como elementos de acople entre muros.

Los valores de los parámetros numéricos d, e y c, y de desempeño IO, CP y LS que definen la curva constitutiva de las rótulas plásticas son calculados según la Tabla 10-20 (ASCE/SEI 41-13, 2014). Adicionalmente, se requiere conocer los valores de la resistencia máxima a corte  $V_y$ .

### Rotulas plásticas

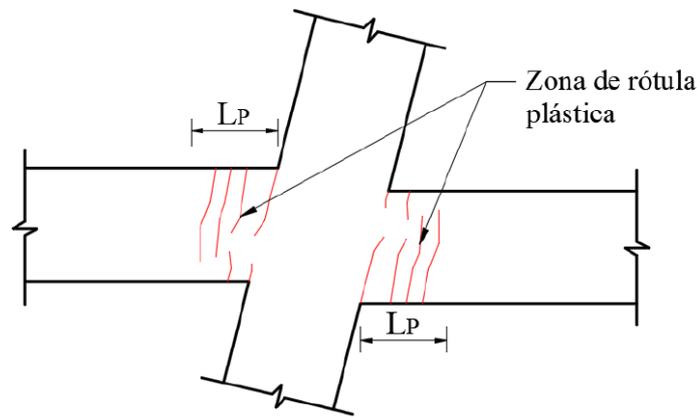
Una rótula plástica es un dispositivo de disipación de energía que permite la rotación plástica de una sección manteniendo casi constante el momento plástico. Las rótulas plásticas son necesarias para poder definir el modelo no lineal de la estructura.

Para definir las rotulas plásticas usamos la Tabla 10-7 para vigas y 10-8 para columnas de la Norma ASCE/SEI 41-13 las cuales tienen incorporadas de manera automática el programa ETABS.

### Vigas

Durante la acción sísmica el comportamiento no lineal en las vigas suele concentrarse en las zonas adyacentes a los nudos en una longitud determinada L. El daño no es uniforme sino más concentrado hacia los nudos.

Para desarrollar el modelo analítico se suele considerar una zona de daño equivalente en la cual se concentre toda la deformación inelástica. Esta zona se denomina “rótula plástica” y le corresponde una longitud “L<sub>p</sub>” (Figura 10). Una aproximación para la L<sub>p</sub> es de 0.4 a 0.5 veces el peralte del elemento (L<sub>p</sub> = 0.4d ó 0.5d) Park y Paulay (1975). Se asume que en esta longitud la curvatura es constante.



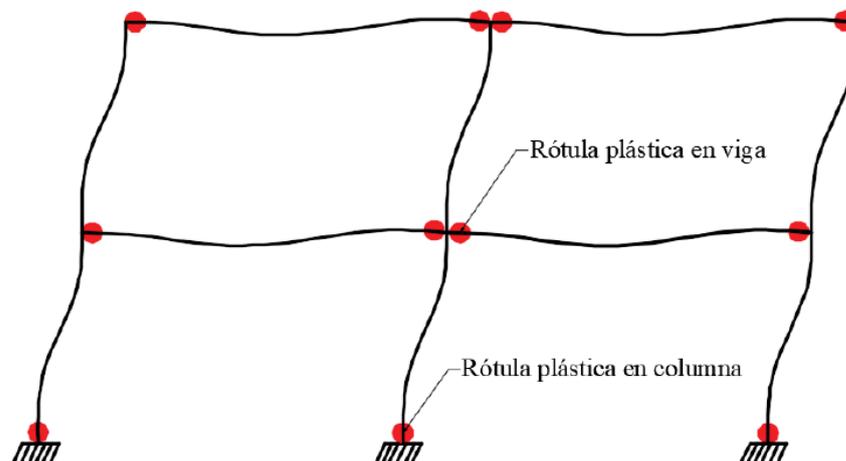
*Ilustración 47: Formación de rótula plástica en los extremos de viga*

*Fuente: Choque & Luque (2019)*

### Columnas

En columnas no solo se tiene una ductilidad (como en vigas), en este caso la ductilidad depende de la carga axial ( $P$  en compresión). Así se debe garantizar que la carga axial no sea superior a la carga axial balanceada ( $P_b$ ) para que la sección tenga falla dúctil y pueda generarse una rótula plástica.

Lo anterior da entender que se tendrá una ductilidad para cada carga axial que soporte la sección siempre y cuando se cumpla:  $P < P_b$ .



*Ilustración 58: Mecanismo ideal de formación de rótulas plásticas en un pórtico*

*Fuente: Choque & Luque (2019)*

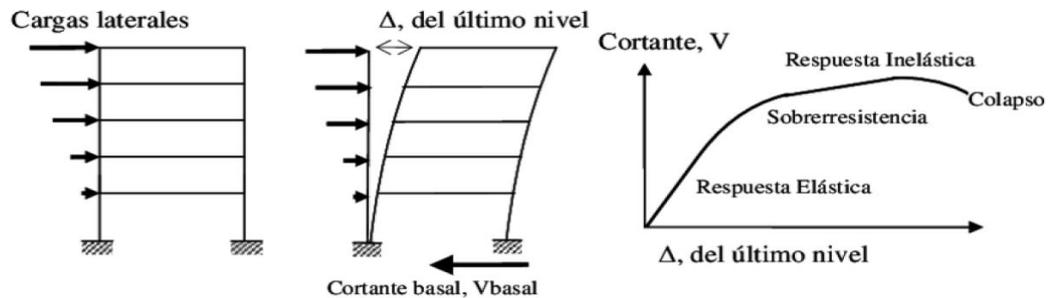
### Análisis estático no lineal (Pushover)

Es un tipo de análisis estático incremental que sirve para determinar la curva de capacidad (desplazamiento del ultimo nivel vs fuerza cortante basal) de una estructura o elemento. Se basa en la aplicación de un patrón de cargas laterales que

se van incrementando hasta alcanzar un estado límite (Punto de Desempeño) o una condición de falla.

A cada elemento estructural se le asignan rótulas plásticas en función a su tipo de falla. La aplicación del patrón de cargas laterales debe iniciar de una condición de carga gravitacional no lineal (se mantiene durante el proceso de análisis). La estructura comienza con una respuesta elástica asociada a una rigidez inicial, luego, con el incremento de las fuerzas los elementos superan su fluencia, se produce una reducción de rigidez y resistencia. Con ello la estructura consigue incursionar en el rango inelástico en proporción a su ductilidad.

Con el incremento de las cargas laterales es posible observar cómo aparecen las rótulas plásticas.



*Ilustración 69: Secuencia del análisis Pushover*

*Fuente: Arango, Paz & Duque (2009)*

#### Características del Análisis Pushover:

- Transforma un sistema de múltiples grados de libertad a un sistema equivalente de 1 grado de libertad.
- Permite determinar la curva de capacidad.
- Permite calcular y evaluar la ductilidad de una estructura.
- Permite identificar la secuencia de agrietamiento, mecanismo de falla, fluencia y falla de los elementos estructurales, los estados límites de servicios, la historia de deformaciones y cortantes en la estructura.

#### Limitaciones del Análisis Pushover

- La tasa de resistencia  $\mu_{strength}$  debe ser menor que el valor máximo  $\mu_{max}$ . Si esta relación no se cumple, debe llevarse a cabo un procedimiento de Análisis Dinámico No Lineal para confirmar su estabilidad dinámica. La tasa de resistencia  $\mu_{strength}$  es una medida de la extensión de la no linealidad, y  $\mu_{max}$  es una medida de la degradación del sistema. Las estructuras que experimentan

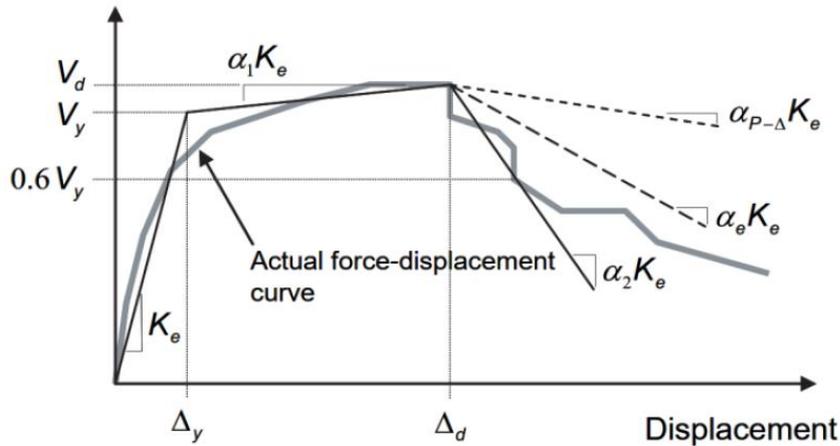
demanda no lineal superior a  $\mu_{max}$  tienen una degradación significativa.  $\mu_{strength}$  y  $\mu_{max}$  son definidos en el Método de Coeficientes.

- Los modos superiores de vibración no deben ser influyentes en la respuesta global de la estructura. Para comprobarlo, debe realizarse un primer análisis modal tomando en cuenta suficientes modos para sumar el 90% de la masa participativa, y un segundo análisis modal considerando sólo el primer modo de vibración. Si el cortante en cualquier nivel obtenido a partir del primer análisis excede en un 130% al cortante obtenido en el segundo análisis, deben considerarse significativos los modos superiores. Si fuera el caso, debe llevarse a cabo, además del Análisis Estático No Lineal (NSP), un Análisis Dinámico Lineal (LDP).

#### **Procedimiento para el análisis estático no lineal (Pushover)**

- a) Definir el modelo matemático de la estructura de la edificación incorporando las características fuerza-deformación no lineal de los elementos estructurales según las Tablas del ASCE/SEI 41-13.
- b) Definir el nodo de control, será ubicado en el centro de masa del último nivel del edificio.
- c) Aplicar el patrón de carga lateral; será proporcional a la forma del modo fundamental de la estructura e incrementada monotónicamente.
- d) Obtener la curva de capacidad registrando la fuerza de corte basal y el desplazamiento del nodo de control, así como las fuerzas y deformaciones de cada elemento para luego compararlas con sus respectivos diagramas ( $M-\theta$ ).
- e) Cada incremento de carga lateral es un análisis separado que parte del fin de la última aplicación de carga, por ello a los resultados del último análisis se debe agregar los valores de carga lateral, rotaciones, desplazamientos correspondientes al análisis previo.
- f) Obtener la curva de capacidad idealizada.

**Base shear**



*Ilustración 20: Curva de capacidad idealizada*

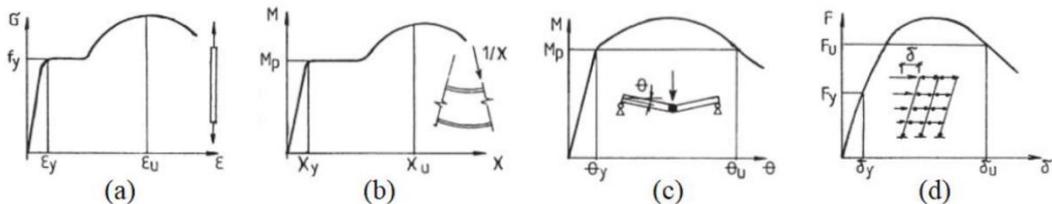
*Fuente: ASCE/SEI 41-13 (2014)*

**Curva de capacidad**

Es la curva que representa el Desplazamiento del último nivel de la estructura y la Fuerza Cortante Basal.

**Ductilidad**

Es la capacidad de deformación inelástica de una estructura o elemento estructural. Depende del sistema estructural, irregularidades y del material. El comportamiento dúctil de una sección de concreto armado se logra principalmente por la ductilidad del acero de refuerzo, permitiendo alcanzar grandes deformaciones luego de superar el límite de elasticidad. Se puede estimar la ductilidad disponible y la ductilidad demandada para un nivel de sismo específico.



*Ilustración 71: Tipos de ductilidad*

*Fuente: Gioncu & Mazzolani (2001)*

- a) Ductilidad del material o ductilidad axial:** Caracteriza a las deformaciones plásticas del propio material.
- b) Ductilidad de la sección transversal:** También llamada ductilidad de curvatura, que se refiere a las deformaciones plásticas de la sección transversal, teniendo en cuenta la interacción entre las partes que componen la sección transversal en sí.

- c) **Ductilidad del elemento:** Se consideran las propiedades del elemento. También llamada la ductilidad de rotación.
- d) **Ductilidad de la estructura:** Considera el comportamiento de toda la estructura. También llamada ductilidad de desplazamiento.

### **Metodología para estimar el punto de desempeño**

El punto de desempeño es una estimación del desplazamiento máximo esperado del techo de un edificio calculado para un sismo de diseño. Como resultado, se puede caracterizar el estado de daño asociado para la estructura y compararlo con el objetivo de desempeño deseado. Esto permite identificar las deficiencias en cada parte del edificio y abordarlas directamente con medidas correctivas cuando sea necesario.

Los Procedimientos de Análisis Dinámico No Lineal NDP (*Nonlinear Dynamic Procedure*), o análisis Tiempo-Historia, permiten estimar de manera más exacta el comportamiento no lineal de los edificios; sin embargo, su aplicación no resulta práctica. Alternativamente, se desarrollaron métodos de análisis no lineal simplificado, conocido como procedimientos de Análisis Estático No Lineal NSP (*Nonlinear Static Procedure*), como el Análisis Pushover.

Existen varios métodos que permiten estimar el punto de desempeño utilizando los resultados del Análisis Pushover, donde destacan el Método del Espectro de Capacidad y el Método de Coeficientes, cuya aplicación en los últimos 20 años han permitido su desarrollo y aceptación dentro de los estándares de evaluación sísmica por desempeño.

### **Método del espectro de capacidad**

Este método se basa en una Linealización Equivalente del Espectro de Capacidad. La suposición básica de los métodos lineales equivalentes es que el desplazamiento máximo de un sistema no lineal de 1 GDL se puede estimar a partir del desplazamiento máximo de un sistema elástico lineal de 1GDL que tiene un periodo y amortiguamiento mayor que los valores iniciales para el sistema no lineal.

El sistema elástico de 1GDL que se usa para estimar el desplazamiento inelástico máximo del sistema no lineal generalmente se denomina Sistema Equivalente o Sustituto. De manera similar, el periodo de vibración y el amortiguamiento del sistema elástico se conocen como Periodo Equivalente y Amortiguamiento Equivalente, respectivamente.

El método inicia con la generación de la curva de capacidad (Pushover) para la estructura. Luego, los resultados son convertidos a formato ADRS, usando las propiedades dinámicas del sistema. La demanda sísmica también debe convertirse

al mismo formato. El periodo puede representarse como una línea radial desde el origen.

Este método asume que el amortiguamiento equivalente del sistema es proporcional al área encerrada por el espectro de capacidad. El periodo equivalente se asume como el periodo secante en el que la demanda sísmica (reducida por el amortiguamiento equivalente) interseca con el espectro de capacidad. Dado que el periodo y el amortiguamiento equivalente están en función del desplazamiento, la solución para determinar el desplazamiento inelástico máximo (Punto de Desempeño) es iterativo.

### Procedimiento propuesto por el FEMA 440

El FEMA 440 realizó una evaluación del método propuesto en el ATC-40 y presenta un Procedimiento de Linealización Equivalente Mejorado (*Improved Equivalent Linearization Procedure*). El objetivo es estimar la respuesta máxima de desplazamiento de un sistema no lineal con un sistema lineal “equivalente” utilizando un periodo efectivo  $T_{eff}$ , y un amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . Estos parámetros son función de las características de la curva de capacidad, el periodo y amortiguamiento inicial del sistema, y la demanda de ductilidad  $\mu$ .

El método se mantiene similar al presentado en el ATC-40. El FEMA 440, en el Capítulo 6, presenta 3 procedimientos (A, B y C) para determinar el punto de desempeño.

### Parámetros básicos de linealización equivalente

Los parámetros lineales equivalentes óptimos ( $T_{eff}$  y  $\beta_{eff}$ ) se determinan a través de un análisis estadístico que minimiza, de manera rigurosa, las ocurrencias extremas de la diferencia (es decir, el error) entre la respuesta máxima de un sistema inelástico real y su contraparte lineal equivalente. Estos parámetros son:

**a. Amortiguamiento efectivo:** Los valores del amortiguamiento viscoso efectivo están en función de la ductilidad global de la estructura  $\mu$ , expresados como un porcentaje del amortiguamiento crítico, para todos los tipos de modelo histérico y valores de  $\alpha$  que se calculan con las siguientes expresiones:

$$\text{Para } 1.0 < \mu < 4.0: \quad B_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad \text{Ecuación (30)}$$

$$\text{Para } 4.0 < \mu < 6.5: \quad B_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad \text{Ecuación (31)}$$

$$\text{Para } > 6.5: \quad B_{eff} = E \left[ \frac{F(\mu-1)-1}{[F(\mu-1)-1]^2} \right] \left( \frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad \text{Ecuación (32)}$$

Los valores de los coeficientes  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  y  $F$  se dan en la Tabla 6-1 del FEMA 440.

Las siguientes ecuaciones aproximadas para el valor de  $\beta_{eff}$  han sido optimizadas para su aplicación a cualquier curva de capacidad, independientemente del tipo de modelo histórico o valor de  $\alpha$  utilizado para el estudio:

$$\text{Para } 1.0 < \mu < 4.0: \quad B_{eff} = 4.9(\mu - 1)^2 + 1.1(\mu - 1)^3 + \beta_o \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$\text{Para } 4.0 < \mu < 6.5: \quad B_{eff} = 14.0 + 0.32(\mu - 1) + \beta_o \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$\text{Para } > 6.5: \quad B_{eff} = 19 \left[ \frac{0.64(\mu-1)-1}{[0.64(\mu-1)-1]^2} \right] \left( \frac{T_{eff}}{T_o} \right)^2 + \beta_o \quad \text{Ecuación (35)}$$

**b. Periodo efectivo:** Los valores del periodo efectivo para todos los tipos de modelo histérico y valores de  $\alpha$  se calculan con las siguientes expresiones:

$$\text{Para } 1.0 < \mu < 4.0: \quad T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_o \quad \text{Ecuación (36)}$$

$$\text{Para } 4.0 < \mu < 6.5: \quad T_{eff} = [I + J(\mu - 1) + 1]T_o \quad \text{Ecuación (37)}$$

$$\text{Para } > 6.5: \quad T_{eff} = \left\{ K \left[ \sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+L(\mu-2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_o \quad \text{Ecuación (38)}$$

Los valores de los coeficientes  $G$ ,  $H$ ,  $I$ ,  $J$ ,  $K$  y  $L$  se dan en la Tabla 6-2 del FEMA 440.

Las siguientes ecuaciones para el valor de  $T_{eff}$  han sido optimizadas para su aplicación a cualquier espectro de capacidad, independientemente del tipo de modelo histórico o valor de  $\alpha$ :

$$\text{Para } 1.0 < \mu < 4.0: \quad T_{eff} = [0.20(\mu - 1)^2 + 0.038(\mu - 1)^3 + 1]T_o \quad \text{Ecuación (39)}$$

$$\text{Para } 4.0 < \mu < 6.5: \quad T_{eff} = [0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1]T_o \quad \text{Ecuación (40)}$$

$$\text{Para } > 6.5: \quad T_{eff} = \left\{ 0.89 \left[ \sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.05(\mu-2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_o \quad \text{Ecuación (41)}$$

Estas expresiones sólo aplican para  $T_o=0.2$  a 2 seg.

**c. Espectro de Respuesta Aceleración-Desplazamiento Modificado (MADRS) para uso con Periodos Secantes**

Al utilizar las ecuaciones de periodo y amortiguamiento efectivo, se obtiene un desplazamiento máximo que coincide con la intersección de una línea radial

del periodo efectivo en la demanda en formato ADRS para el amortiguamiento efectivo, como se muestra en la Figura 15.

El periodo efectivo  $T_{eff}$  a partir del procedimiento mejorado, generalmente es más corto que el periodo secante  $T_{sec}$  definido en el punto de la curva de capacidad correspondiente al desplazamiento máximo  $d_{max}$ . La aceleración  $a_{eff}$  no es significativa ya que la máxima aceleración real  $a_{max}$  debe estar sobre la curva de capacidad y coincidir con el desplazamiento máximo  $d_{max}$ .

Al multiplicar las ordenadas de la demanda con amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$  por el factor de modificación  $M$  (en formato ADRS), obtenemos la curva de demanda ADRS modificada (MADRS), la cual interseca la curva de capacidad en el punto de desempeño. El factor de modificación se calcula como:

$$M = \frac{a_{max}}{a_{eff}} \quad \text{Ecuación (42)}$$

Dado que los valores de aceleración están relacionados directamente con los periodos correspondientes,  $M$  puede calcularse como:

$$M = \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right)^2 = \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 \left(\frac{T_0}{T_{sec}}\right)^2 \quad \text{Ecuación (43)}$$

Donde:  $\left(\frac{T_0}{T_{sec}}\right)^2 = \frac{1+\alpha(\mu-1)}{\mu} \quad \text{Ecuación (44)}$

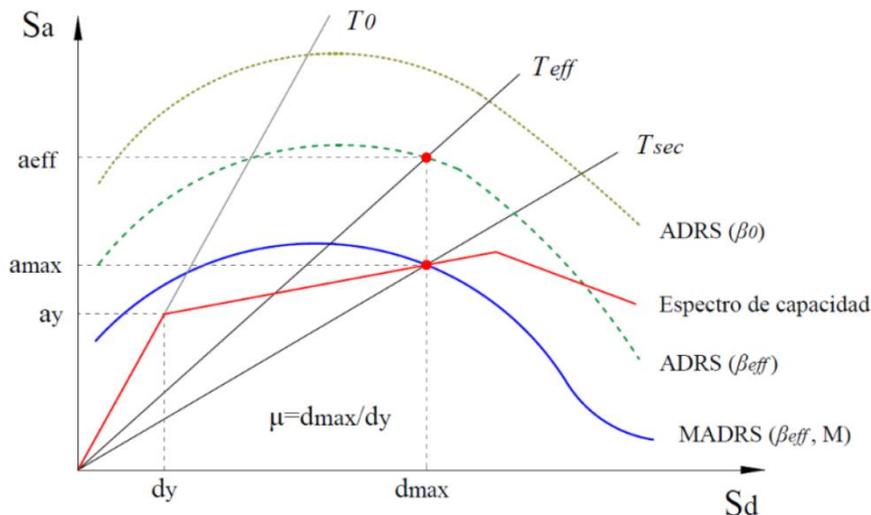


Ilustración 82: Espectro de respuesta modificado MADRS para uso con  $T_{sec}$

Fuente: FEMA 440 (2005)

### Reducción Espectral para el Amortiguamiento Efectivo $\beta_{eff}$

Los procedimientos de linealización equivalente requieren el uso de factores de reducción espectral para ajustar el espectro de respuesta inicial al nivel apropiado

de amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . Estos factores están en función del coeficiente de amortiguación efectiva  $B$ . La ordenada espectral reducida será igual a:

$$(S_a)\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \quad \text{Ecuación (45)}$$

Hay muchas opciones en los procedimientos actuales para determinar  $B$ . Sin embargo, se recomienda usar la siguiente expresión:

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta_{eff}(\text{en } \%)} \quad \text{Ecuación (46)}$$

### Procedimiento A del Método del Espectro de Capacidad según el FEMA 440

Dado que  $\beta_{eff}$  y  $T_{eff}$  están en función de  $\mu$ , el cálculo del máximo desplazamiento utilizando la linealización equivalente no es directo y requiere un procedimiento de solución gráfico o iterativo. A continuación, se detalla el Procedimiento A, o de Iteración Directa. En este procedimiento, la iteración se realiza para converger directamente al punto de desempeño. Los espectros de demanda ADRS generados para los diversos valores de  $\beta_{eff}$  no se modifican para intersectar el espectro de capacidad.

- ✓ Seleccionar un espectro de demanda sísmica de interés con un amortiguamiento inicial  $\beta_0=5\%$  (espectro de respuesta elástico).
- ✓ Convertir dicho espectro a formato ADRS según el ATC-40 (Demanda ADRS inicial)
- ✓ Generar la curva de capacidad de la estructura a ser analizada, dada como Cortante vs Desplazamiento en el techo y convertirla al formato ADRS según el ATC-40.
- ✓ Seleccionar un punto de desempeño inicial (aceleración máxima  $a_{pi}$ , y desplazamiento  $d_{pi}$ ). Este puede estimarse con la aproximación de desplazamientos iguales.
- ✓ Desarrollar la representación bilineal del espectro de capacidad según el ATC-40. Este define el periodo inicial  $T_0$ , el desplazamiento y la aceleración de fluencia  $d_y$ ,  $a_y$ .
- ✓ Para la representación bilineal desarrollada en el paso anterior, calcular los valores de rigidez post-elástica  $\alpha$ , y ductilidad  $\mu$ , como sigue:

$$\alpha = \frac{\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}}{\frac{a_y}{d_y}} \quad \text{Ecuación (47)}$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad \text{Ecuación (48)}$$

- ✓ Utilizando los valores de  $\alpha$  y  $\mu$  obtenidos, calcular los correspondientes  $\beta_{eff}$  y  $T_{eff}$ .
- ✓ Con el valor calculado de  $\beta_{eff}$  (del paso anterior), ajustar la Demanda ADRS inicial a  $\beta_{eff}$ .
- ✓ Determinar el desplazamiento máximo estimado  $d_i$ , usando la intersección del periodo efectivo radial, con la demanda ADRS para  $\beta_{eff}$ . La aceleración máxima estimada  $a_i$ , es la correspondiente a  $d_i$  sobre la curva de capacidad (ver Figura 16).
- ✓ Comparar el desplazamiento máximo estimado  $d_i$ , con el asumido inicialmente (o previo). Si está dentro de la tolerancia aceptable, el punto de desempeño corresponde a  $a_i$  y  $d_i$ . Caso contrario, repetir el proceso desde el paso 4, utilizando  $a_i$  y  $d_i$ .

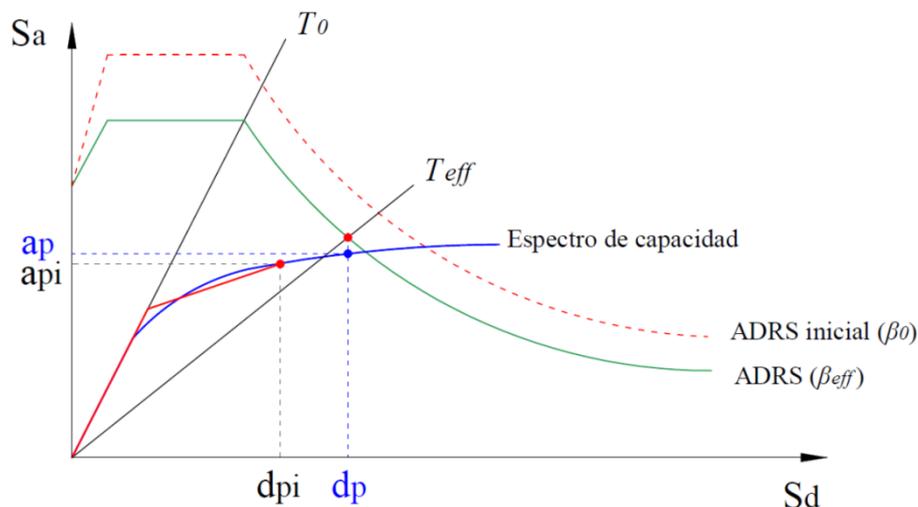


Ilustración 93: Determinación del desplazamiento máximo estimado utilizando la iteración directa (Procedimiento A)

Fuente: (FEMA 440, 2005)

### Evaluación del desempeño sísmico y criterios de aceptación

Para determinar si un edificio cumple con un objetivo de desempeño, las respuestas obtenidas del análisis Pushover, en el punto de desempeño, se comparan con límites apropiados para los niveles de desempeño, que constituyen los criterios de aceptación para el edificio.

### Límites de aceptabilidad global del edificio

- a) Cargas de gravedad:** La capacidad frente a cargas de gravedad de la estructura debe permanecer intacta para un desempeño aceptable en cualquier nivel. Cuando un elemento pierde capacidad para soportar cargas de gravedad, la estructura debe ser capaz de redistribuir dicha carga a otros elementos del sistema.
- b) Cargas laterales:** La resistencia frente a cargas laterales de la estructura, incluyendo la resistencia frente a las cargas de gravedad que actúan a través de los desplazamientos laterales (efecto  $P-\Delta$ ), no debe degradarse más del 20% de la resistencia máxima de la estructura.
- c) Desplazamientos laterales:** Los desplazamientos en el punto de desempeño se deben verificar con los límites establecidos según el nivel de desempeño.

El ATC-40 establece límites de deriva total (elástica+inelástica) y de deriva inelástica:

Deriva límite de entrepiso	Nivel de desempeño			
	Ocupación inmediata	Control de daño	Seguridad de vida	Estabilidad estructural
Deriva total máxima	0.01	0.01 – 0.02	0.02	0.33
Deriva inelástica máxima	0.005	0.005 – 0.015	Sin límite	Sin límite

*Ilustración 104: Límites de deriva según el ATC - 40*

Fuente: ATC-40 (1996)

Donde  $V_i$  es el cortante total, y  $P_i$  es la carga de gravedad total en el piso  $i$ .

El Comité Visión 2000 también establece derivas límite para sus niveles de desempeño:

Deriva	Nivel de desempeño				
	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso	Colapso
Permisible	< 0.002	< 0.005	< 0.015	< 0.025	> 0.025
Permanente	Despreciable	Despreciable	< 0.005	< 0.025	> 0.025

*Ilustración 115: Límites de deriva según el Comité Visión 2000*

Fuente: Propuesta del Comité VISIÓN 2000 (SEAOC, 1995)

El Comité Visión 2000 establece una sectorización de la curva de capacidad de la estructura para calificar el nivel de desempeño:

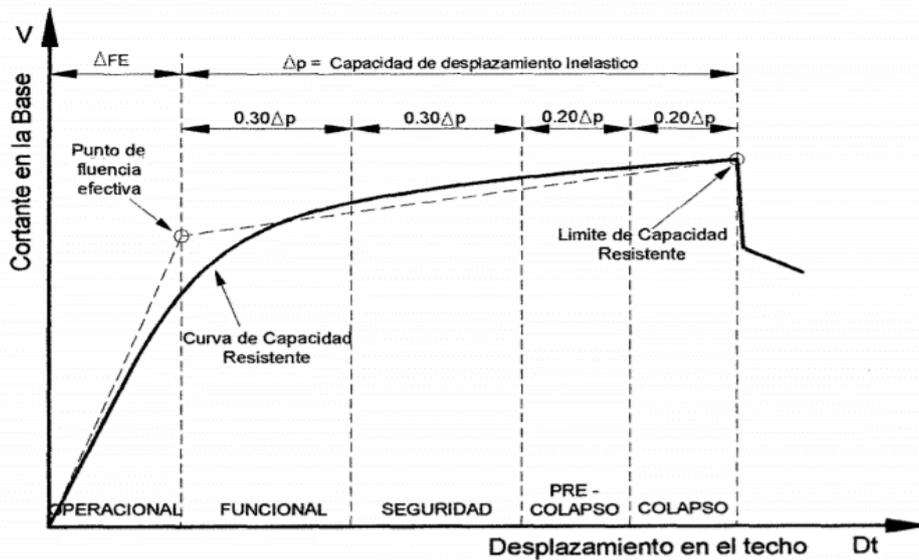


Ilustración 126: Sectorización de la curva de capacidad

Fuente: Propuesta del Comité VISIÓN 2000 (SEAOC, 1995).

## 1.12 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de infraestructura adecuada en la de ciudad de Trujillo adecuada a las exigencias de amplitud y espacios, en esta coyuntura es notorio, la misma que se puede realizar mediante una evaluación de la respuesta estructural a nivel de losas en el sistema estructural más económica y con un proceso constructivo sencillo como lo es, un sistema aporticado; y debido al espacio y alcance de nuestra investigación, nos encontramos en un nivel de riesgo sísmico, con un tipo de suelo intermedio, dentro del ámbito de una estructura de concreto armado y evaluado con el programa computacional especializado en estructuras de edificaciones.

Por lo antes expuesto se presenta esta investigación como la “Evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada, con sistema constructivo de losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional, Trujillo – 2022”.

## **Formulación del problema**

¿Cuál es el resultado de la evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada, con sistema constructivo de losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional, Trujillo – 2022?

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar la evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada, con sistema constructivo de losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional, Trujillo – 2022.

#### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Modelar y lograr un diseño y pre-dimensionamiento de elementos estructurales, de una edificación con sistema estructural aporticado modelo.
- Obtener el Análisis Estático No Lineal “Pushover” (AENL) y un Análisis Dinámico No Lineal (ADNL).
- Encontrar el desplazamiento máximo (ADNL) y el punto de desempeño (AENL) que tendrá el edificio, con los diferentes sistemas constructivos de entresijos.
- Determinar la respuesta estructural de cada una de las edificaciones según las variantes del sistema constructivo de las losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional.

### **1.2. HIPÓTESIS**

- Mediante la evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada, con sistema constructivo de losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional, nos ayudará a determinar las opciones estructurales más eficientes ante las solicitaciones de cargas.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo no experimental porque no se manipula y de acuerdo al fin que persigue: APLICADA; porque ya existe enfoques teóricos a cerca de las variables.

Así como también se utiliza el tipo sustantivo: Descriptivo, que nos permitirá describir las dimensiones y por ende nos ayudará a la explicación de dicha variable, para el mejor entendimiento del problema de investigación. Por lo tanto, el diseño de investigación es transversal ya que es la recolección de datos con el propósito de describir las variables y analizar su comportamiento en un mismo tiempo.



*Ilustración 137: Diseño de investigación.*

*Fuente: Elaboración propia*

#### 2.1.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación en este proyecto de investigación es de tipo Aplicada debido a que busca aplicar los fundamentos de la sismorresistencia, en los procesos que se desarrollan en cada área de conocimiento para brindar algunas técnicas y herramientas que ayuden al buen desarrollo de las actividades.

El presente estudio de investigación arriba hasta un nivel explicativo; porque los estudios correlacionales tienden a explicar el comportamiento de los fenómenos, así mismo siempre tienden a llegar a una explicación o sustentación

#### 2.1.3. Tipo de acuerdo al fin que persigue.

Investigación aplicada, porque está dirigida a la solución de problemas prácticos y específicos del conocimiento adquirido con la idea de consolidar el saber para resolver una situación.

#### 2.1.4. Tipo de acuerdo al diseño.

El presente trabajo de investigación se utilizó el Diseño de Investigación No Experimental: Transversal Descriptivo, explicativo: No experimental porque no se pueden manipular variables ni asignar aleatoriamente a la unidad de análisis, transversal porque la medición de variables se da en un momento dado; descriptivo porque nos permite describir las variables de estudio.

## 2.2. Población y muestra

### 2.2.1. POBLACIÓN

La población para la presente investigación está constituida un edificio aporticado de 4 niveles.

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. (Arias, 2012, p.81)

### 2.2.2. MUESTRA

La técnica de muestreo es no probabilística ya que los elementos de la población se seleccionarán por conveniencia, por lo que no hay necesidad de calcular la muestra.

“Las muestras no probabilísticas, también llamadas “muestras dirigidas”, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización” (Hernández, et al., 2014, p.189).

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

### 2.3.1. Técnicas de recolección de datos

La información necesaria para elaborar la presente investigación corresponde al Expediente Técnico de la edificación, al cual se tiene acceso; y principalmente a elementos de relevancia, en este caso: planos de construcción (planos de replanteo), especificaciones técnicas y características de materiales empleados, así como las características de la fundación.

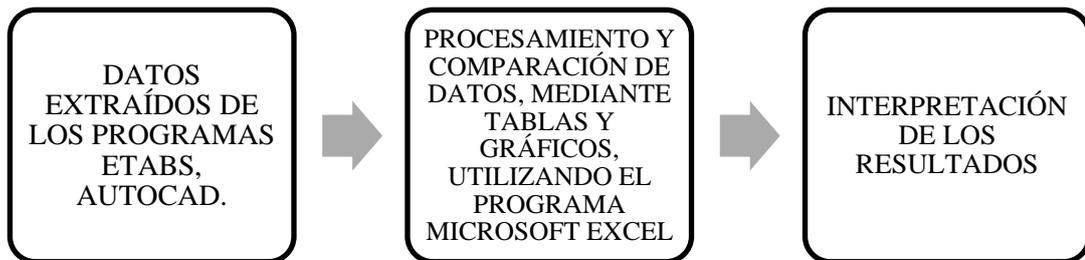
Se considera como técnicas directas de recolección de información: la observación y medición, los cuales permitieron elaborar los planos de construcción del proyecto, en cuanto a verificación y en otros casos a cambios realizados en obra; también acerca de los materiales y demás elementos utilizados según especificaciones técnicas.

### 2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Para evaluar el comportamiento del sistema estructural del edificio de 4 niveles, se utilizarán formatos técnicos desarrollados en Microsoft Excel. El primero se denomina “ficha de observación” que básicamente permitió cotejar las medidas de los elementos estructurales de la edificación con los planos de construcción, al cual se tiene acceso; principalmente a elementos de relevancia, en este caso: planos de arquitectura, planos de estructuras, especificaciones técnicas y características de materiales empleados, así como las características de la cimentación. Con la “ficha de gabinete” se examinan los datos recopilados para realizar el metrado de cargas de la edificación y el respectivo análisis sismorresistente (estático) según la Norma E.30, con el fin de efectuar el análisis estático no lineal con el programa computacional ETABS V.16, el cual requiere el ingreso de datos e información descrita según las especificaciones técnicas y así determinar el nivel de desempeño de la estructura; las que serán alineadas a la norma E030 en su anexo 2. En resumen, el protocolo empleado será de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificación III.2

Edificaciones, en los artículos R.N.E. E.020 Cargas, R.N.E. E.050 Suelos y Cimentación, R.N.E. E.060 Concreto Armado, R.N.E. E.070 Albañilería.

Finalmente se procederá a realizar la interpretación de los resultados obtenidos, para luego realizar las discusiones y conclusiones respectivas.



*Ilustración 148: Proceso del Análisis de Datos*

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.4. Procedimiento

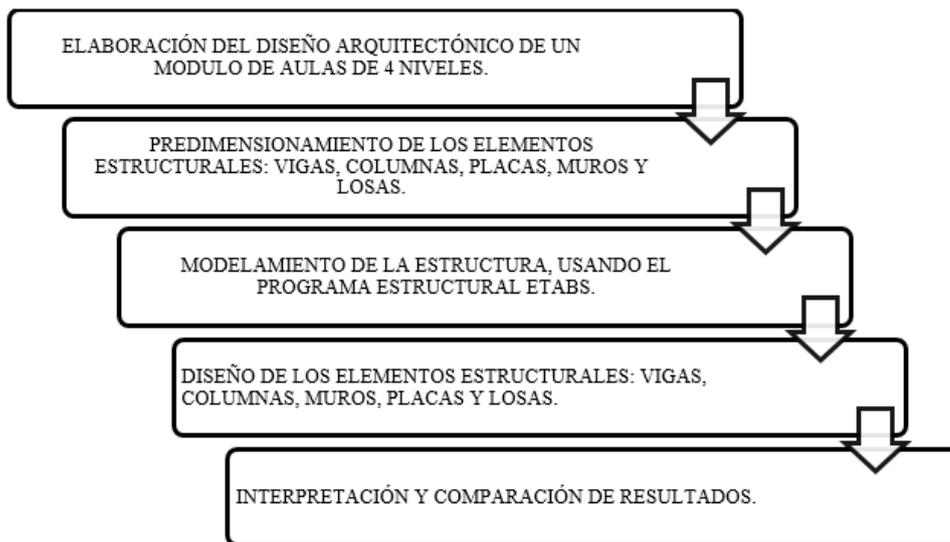
Se contemplan dos etapas en el procedimiento de recolección de datos.

Previa a la aplicación de la técnica diseñada.

- Revisión de los objetivos propuestos
- Revisión de las variables y sus dimensiones
- Consideraciones en torno a la población objeto del instrumento.

Propia al instrumento que se aplicará

- Selección del instrumento a aplicarse.
- Elaboración del instrumento.
- Aplicación del instrumento.
- Presentación de los resultados.
- Análisis de sus resultados.
- Interpretación y comparación de resultados.



*Ilustración 159: Procedimiento del desarrollo de la investigación*

Fuente: Elaboración Propia.

#### 2.4.1. Aspectos Éticos

La presente tesis ha sido desarrollada completamente por mi persona, la información empleada que ha contribuido a este trabajo de investigación ha sido referenciada según la norma APA.

#### 2.4.2. SELECCIÓN DE VARIABLES

**Variable:** Evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada.

### 2.4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<i>Evaluación de la respuesta estructural en una edificación aporticada</i>	<i>Consiste en la selección de apropiados esquemas de evaluación que permitan el dimensionado detallado de los componentes estructurales, no estructurales se realiza a partir de un adecuado balance entre las funciones propias que un material puede cumplir, a partir de sus características naturales específicas, sus capacidades mecánicas y el menor costo que puede conseguirse.</i>	<i>Estos procedimientos, en primer lugar, deben dar una estimación adecuada en términos de rigidez estructural, resistencia, ductilidad y disipación de energía. Diseñará una estructura aporticado modelo utilizando entresijos con el sistema U-boot Beton, Vigaacero y se comparará con el diseño estructural utilizando el sistema de entresijos convencional.</i>	<i>Espectro Sísmico</i>	<i>Espectro de demanda Sísmica. Espectro de Capacidad.</i>	NOMINAL
			<i>Análisis Estructural</i>	<i>Modelamiento Momento Flector Esfuerzo Axial Esfuerzo por Corte Esfuerzo por torsion</i>	NOMINAL
			<i>Respuesta estructural</i>	<i>Irregularidad en Planta. Irregularidad en Altura. Curva de capacidad. Punto de desempeño de la edificación.</i>	NOMINAL

Ilustración 30: Operacionalización de la variable dependiente

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### Predimensionamiento de los Elementos Estructurales

#### Propiedades de los materiales

En la Tabla 10 se muestran las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la elaboración del modelo matemático. Estos son concretos, acero y albañilería.

Propiedades del concreto		
Resistencia a la compresión	$f'_c$	280 kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_c$	2.40 tonf/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	250,998.01 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de poisson	$\mu$	0.20
Propiedades del acero		
Esfuerzo de fluencia	$f_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_a$	7.85 tonf/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_a$	2'0000000 tonf/m <sup>2</sup>
Propiedades de la albañilería		
Resistencia a la compresión de la albañilería	$f'_m$	35 kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_m$	1.80 tonf/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	$E_m$	175000 tonf/m <sup>2</sup>
Módulo de poisson	$\mu$	0.25

*Ilustración 161: Propiedad mecánicas de los materiales*

*Fuente: Elaboración propia*

#### Cargas de diseño

Para la evaluación estructural del edificio se asignaron las siguientes cargas uniformes de acuerdo a la Norma E.020.

#### Cargas por peso propio

Son cargas provenientes del peso de los materiales, tabiquería fija y otros elementos que forman parte de la edificación y se consideran permanentes.

- Peso propio elementos de concreto armado : 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Peso propio elementos de albañilería : 1800 kg/m<sup>3</sup>
- Peso propio del mortero : 2000 kg/m<sup>3</sup>
- Peso propio de losa aligerada (h=0.25m) : 350 kg/m<sup>2</sup>
- Peso propio de piso terminado : 100 kg/m<sup>2</sup>
- Peso tabiquería (h=1.00m, e=0.15m) : 275 kg/m
- Peso tabiquería (h=1.80m, e=0.15m) : 495 kg/m

### Cargas vivas

Son cargas que provienen de los pesos no permanentes en la estructura, que incluyen a los ocupantes, materiales, equipos, muebles, etc.

- Sobrecarga en colegios : 250 kg/m<sup>2</sup>
- Sobrecarga en corredores y escaletas : 400 kg/m<sup>2</sup>
- Sobrecarga en azotea : 100 kg/m<sup>2</sup>

### Predimensionamiento de Vigas

Para el predimensionamiento de las vigas principales y secundarias, se determinará mediante las ecuaciones que se describirán en cada proceso.

#### Vigas Principales

Se tomará en cuenta la longitud nominal y el ancho tributario más crítico o el más desfavorable perpendicular al sentido de la losa.

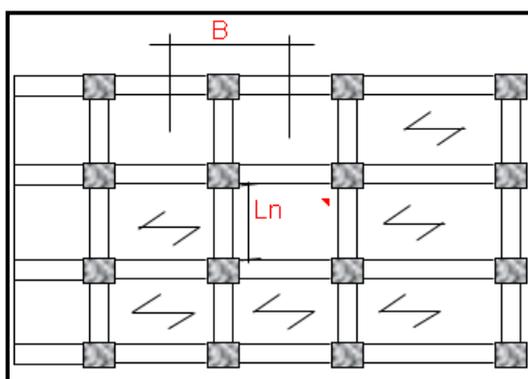


Ilustración 172: Posicionamiento de las variables para el predimensionamiento de las vigas principales

Fuente: Elaboración Propia.

- Hallar la carga última de la estructura:

Ecuación 1: Carga última de la estructura.

$$W_u = 1.4 WD + 1.7 WL$$

- Hallar el coeficiente  $\beta$ :

Ecuación 2: Coeficiente  $\beta$

$$\beta = \frac{4}{\sqrt{W_u}}$$

- Hallar el peralte o altura de viga principal:

Ecuación 2: Peralte de la viga principal.

$$h = \frac{Ln}{\beta}$$

- Hallar el ancho o base de viga principal:

Ecuación 3: : Ancho de la viga principal.

$$b = \frac{B}{20}$$

Vigas Secundarias

Se tomará en cuenta la longitud nominal y el ancho tributario más crítico o el más desfavorable paralelo al sentido de la losa.

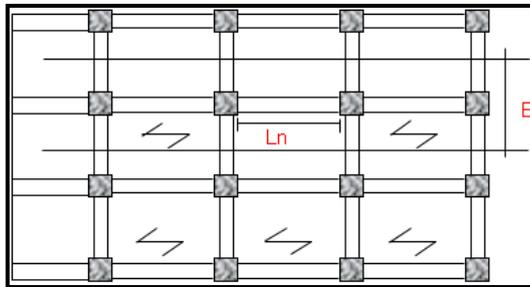


Ilustración 183: Posicionamiento de las variables para el predimensionamiento de las vigas secundarias.

Fuente: Elaboración Propia.

- Hallar la carga ultima de la estructura:

$$Wu = 1.4 WD + 1.7 WL$$

- Hallar el coeficiente  $\beta$ :

$$\beta = 4\sqrt{Wu}$$

- Hallar el peralte o altura de viga secundaria:

$$h = \frac{Ln}{\beta}$$

- Hallar el ancho o base de viga secundaria:

$$b = \frac{B}{20}$$

### Predimensionamiento de Columnas

Para predimensionar las columnas, se tomarán en cuenta los siguientes procedimientos y las siguientes formulas:

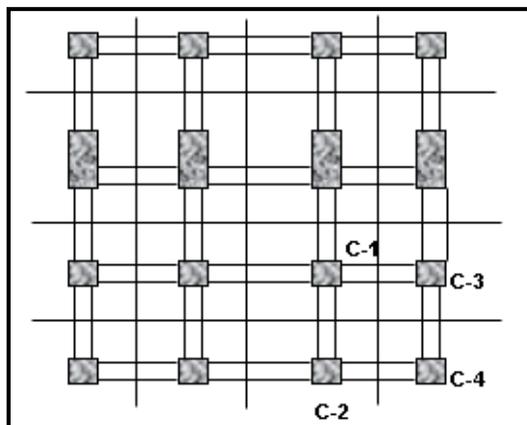


Ilustración 194: Posicionamiento de los tipos de columnas para el predimensionamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el procedimiento se necesitará las fórmulas de la siguiente tabla:

TIPOS DE COLUMNAS		P	n
C-1 (para los primeros pisos)	columna interior	1.10PG	0.3
C-1 (para los 4 ultimos pisos)	columna interior	1.10PG	0.25
C-2 , C-3	columna extrema	1.25PG	0.25
C-4	columna de esquina	1.50PG	0.2

Ilustración 205: Datos para la formua del predimensionamiento de columnas.

Fuente: Elaboración Propia.

Para calcular las dimensiones de las columnas se usarán las siguientes formulas:

Ecuación 4: Predimensionamiento de columnas.

$$bt = \frac{PG \cdot P}{n \cdot f'c}$$

PG: Peso total de cargas de gravedad.

P: Factor tabla.

n: Valor dependiendo del tipo de columna.

f'c: Resistencia de compresión del concreto.

bt: Área de la sección de la columna.

### Predimensionamiento de Losas

#### Losa Aligerada

También llamado losas de una dirección, resultan ser económicas hasta luces entre 6m. a 7m., para luces mayores se recomienda utilizar losas nervadas.

Para el predimensionamiento de la losa aligerada y poder hallar el espesor de la losa se tendrá en cuenta la luz mayor y se procederá a reemplazar en la siguiente formula:

*Ecuación 5: Espesor de la losa aligerada.*

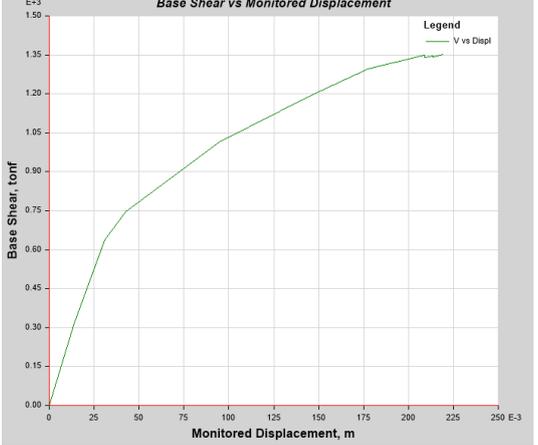
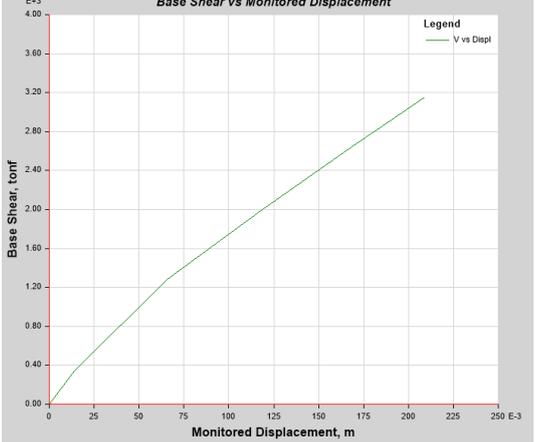
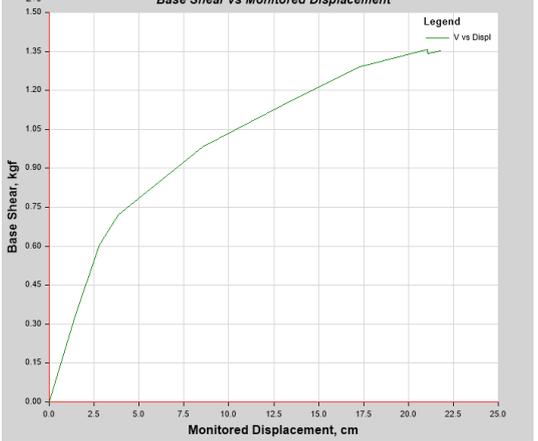
$$e = \frac{L}{25}$$

Para cálculos sencillos se procedió a realizar un cuadro detallado del espesor con su peso en kilogramos por m2 que ejerce en la losa.

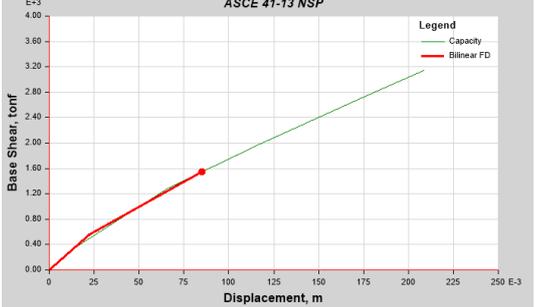
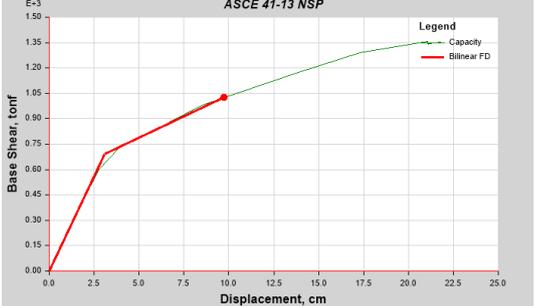
e = (CM)	S/C= (KG/M2)
17	280
20	300
25	350
30	420
35	475

*Ilustración 216: Peso en kilogramos por m2 de cada espesor de losa más empleado*

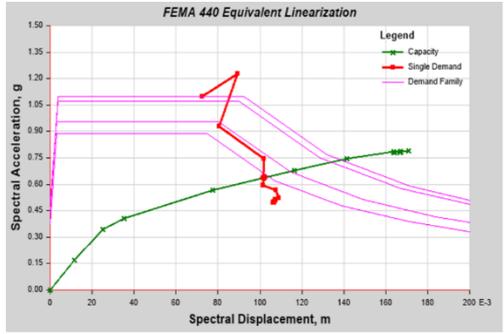
**Análisis Estático No Lineal “Pushover” (AENL)**

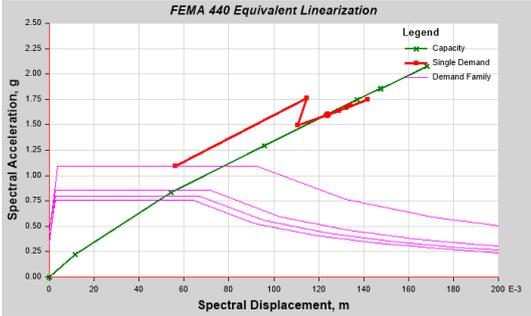
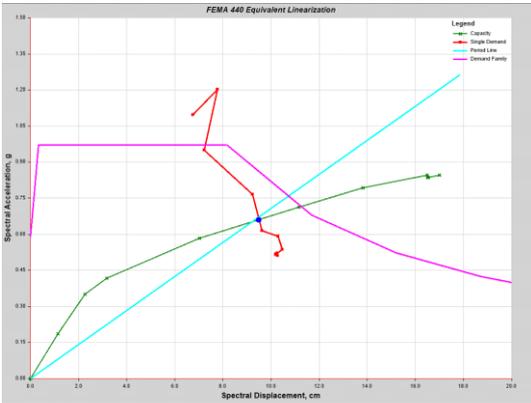
Tipo de losa	Curva Pushover – Cortante en la base vs Desplazamiento	Punto y fuerza máxima de la curva Pushover
Losa u-Boot Beton		<p>El desplazamiento máximo es de 0.218927 m., para una fuerza de 1350.4767 tonf.</p>
Losa Vigacero		<p>El desplazamiento máximo es de 0.208679 m., para una fuerza de 3145.4762 tonf.</p>
Losa convencional 1		<p>El desplazamiento máximo es de 0.21735 m., para una fuerza de 1353,068 tonf.</p>

**Curva Pushover - Desplazamiento ASCE 41-13**

Tipo de losa	Curva Pushover - Desplazamiento ASCE 41-13	Punto y desplazamiento - ASCE 41-13
Losa u-Boot Beton		El desplazamiento máximo es de 10.6934 cm., para una fuerza de 1056.5341 tonf.
Losa Vigacero		El desplazamiento máximo es de 8.4969 cm., para una fuerza de 1542.5512 tonf.
Losa convencional		El desplazamiento máximo es de 9.7458 cm., para una fuerza de 1025.0953 tonf.

**Desplazamiento máximo (ADNL) y el punto de desempeño (AENL) que tendrá el edificio, con los diferentes sistemas constructivos de entrepisos.**

Tipo de losa	Curva Pushover	Punto de performance
Losa u-Boot Beton		Cortante: 1124.3209 tonf
		Desplazamiento: 12.6026 cm
		Sa: 0.636415
		Sd: 10.1708 cm
		Ratio de ductilidad: 4.180088
		Amortiguación efectiva: 0.1936
Factor de modificación: 1.219538		

Losa Vigacero		Cortante: 2436.7892 tonf
		Desplazamiento: 15.2758 cm
		Sa: 1.600009
		Sd: 12.3703 cm
		Ratio de ductilidad: 5.265747
Amortiguación efectiva: 0.2037		
Factor de modificación: 2.241238		
Losa convencional		Cortante: 1097.26196 tonf
		Desplazamiento: 11.7532 cm
		Sa: 0.660971
		Sd: 9.5075 cm
		Ratio de ductilidad: 3.896343
Amortiguación efectiva: 0.1859		
Factor de modificación: 1.179662		

Determinar la respuesta estructural de cada una de las edificaciones según las variantes del sistema constructivo de las losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional.

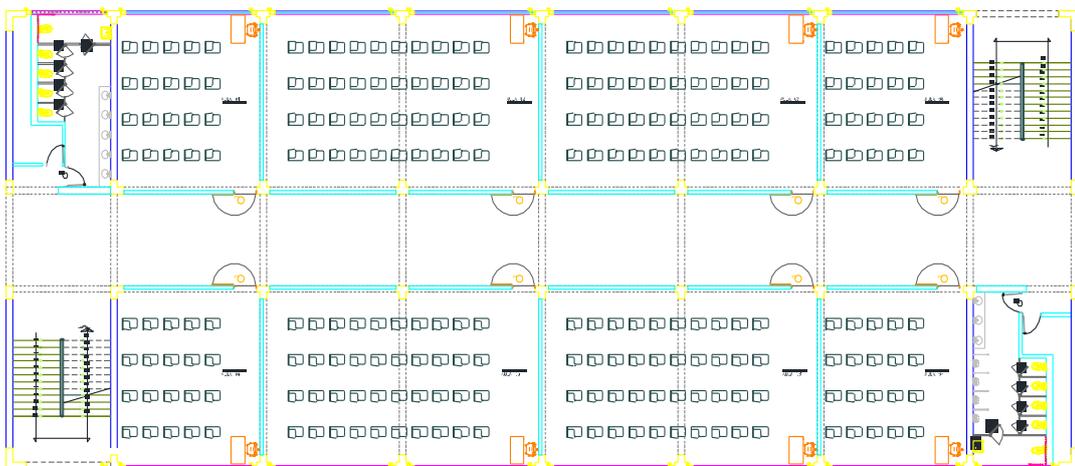


Ilustración 37: Plano típico de distribución

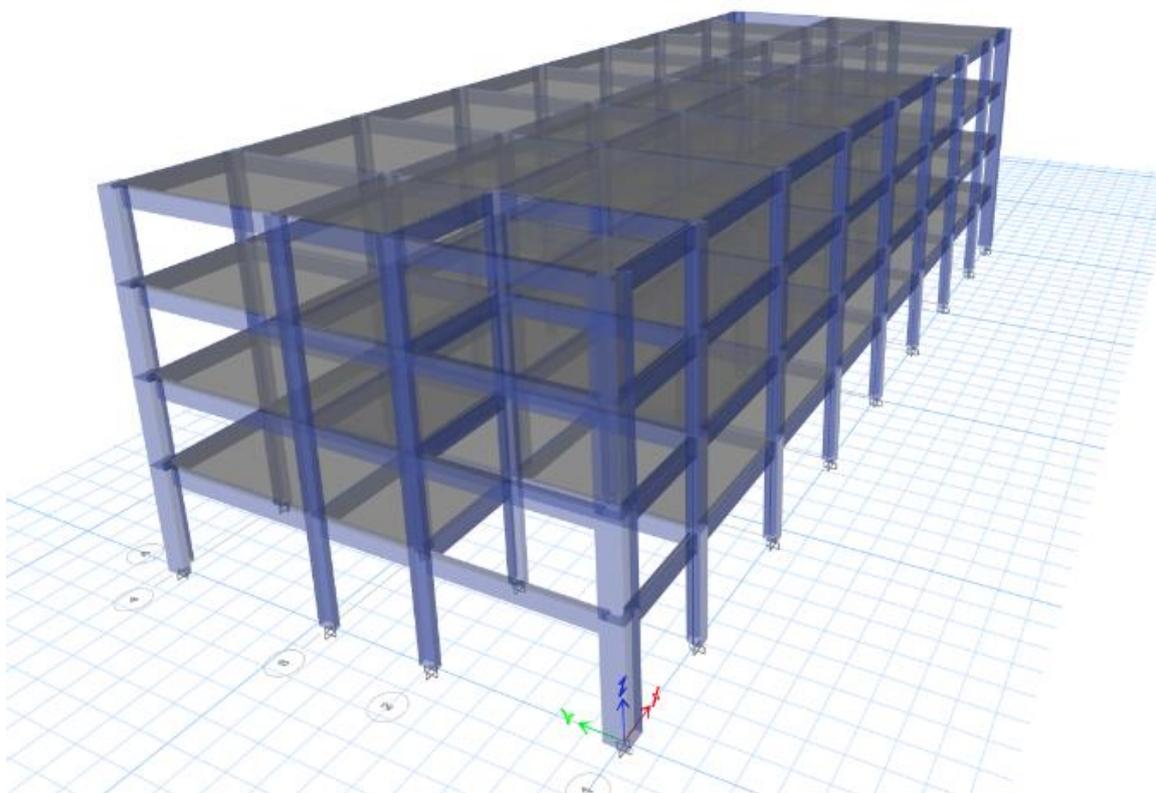


Ilustración 228: Plano típico de distribución típico

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA "Ia"	Irregular		"Ia" X-X	"Ia" Y-Y
	X-X	Y-Y		
Irregularidad de Rigidez - Piso Blando	No	No	1.00	1.00
Irregularidad de Resistencia - Piso Débil	No	No	1.00	1.00
Irregularidad Extrema de Resistencia	No	No	1.00	1.00
Irregularidad Extrema de Rigidez	No	No	1.00	1.00
Irregularidad de Masa o Peso	No	No	1.00	1.00
Irregularidad Geométrica Vertical	No	No	1.00	1.00
Discontinuidad en los Sistema Resistentes	No	No	1.00	1.00
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	No	No	1.00	1.00
Tener en cuenta las restricciones	Se toma el valor menor		<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Ilustración 239: Irregularidades estructurales en altura "Ia"

Fuente: Elaboración propia

Irregular	"Ip" X-X	"Ip" Y-Y
-----------	----------	----------

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA "Ip"		X-X	Y-Y		
Irregularidad Torsional		No	No	1.00	1.00
Irregularidad Torsional Extrema		No	No	1.00	1.00
Esquinas Entrantes		No	No	1.00	1.00
Discontinuidad de Diafragma		No	No	1.00	1.00
Sistemas no Paralelos		No	No	1.00	1.00
Tener en cuenta las restricciones		Se toma el valor menor		<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Ilustración 40: Irregularidades estructurales en planta "Ip"

Fuente: Elaboración propia

DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.45	R <sub>o</sub>	8	8
U	1.50	I <sub>a</sub>	1.00	1.00
S	1.10	I <sub>p</sub>	1.00	1.00
T <sub>P</sub>	1.00	R	8	8
T <sub>L</sub>	1.60	g		9.81

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

T (seg)	ZUCSg/Rx	ZUCSg/Ry	T (seg)	ZUCSg/Rx	ZUCSg/Ry
0.00	2.276	2.276	0.90	2.276	2.276
0.02	2.276	2.276	0.95	2.276	2.276
0.04	2.276	2.276	1.00	2.276	2.276
0.06	2.276	2.276	1.10	2.069	2.069
0.08	2.276	2.276	1.20	1.897	1.897
0.10	2.276	2.276	1.30	1.751	1.751
0.12	2.276	2.276	1.40	1.626	1.626
0.14	2.276	2.276	1.50	1.517	1.517
0.16	2.276	2.276	1.60	1.423	1.423
0.18	2.276	2.276	1.70	1.260	1.260
0.20	2.276	2.276	1.80	1.124	1.124
0.25	2.276	2.276	1.90	1.009	1.009
0.30	2.276	2.276	2.00	0.910	0.910
0.35	2.276	2.276	2.25	0.719	0.719
0.40	2.276	2.276	2.50	0.583	0.583
0.45	2.276	2.276	2.75	0.482	0.482

0.50	2.276	2.276	3.00	0.405	0.405
0.55	2.276	2.276	4.00	0.228	0.228
0.60	2.276	2.276	5.00	0.146	0.146
0.65	2.276	2.276	6.00	0.101	0.101
0.70	2.276	2.276	7.00	0.074	0.074
0.75	2.276	2.276	8.00	0.057	0.057
0.80	2.276	2.276	9.00	0.045	0.045
0.85	2.276	2.276	10.00	0.036	0.036

*Ilustración 24: Valores para el espectro de diseño NTE E030-2018 X e Y*

*Fuente: Elaboración propia*

FUERZA CORTANTE EN LA BASE		
TIPO DE SISTEMA	X-X (Tn)	Y-Y (Tn)
Losas u-Boot Beton	402.5769	402.5769
Losa Vigacero	343.8415	343.8415
Losa convencional	377.0186	377.0186

*Ilustración 42: Tabla comparativa de la fuerza cortante con losas U Boot Beton, losa vigacero y una convencional.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

NIVELES DE PISO	Losas u-Boot Beton		Losa Vigacero		Losa convencional	
	<i>Deriva</i> XX	<i>Deriva</i> . YY	<i>Deriva</i> XX	<i>Deriva</i> YY	<i>Deriva</i> XX	<i>Deriva</i> YY
4TO PISO	0.000720868	0.000778225	0.00053673	0.00064220	0.00067281	0.00072656
3ER PISO	0.001247475	0.001298639	0.00094385	0.00107850	0.00116649	0.00121443
2DO PISO	0.001696888	0.001713419	0.00130040	0.00142752	0.00158820	0.00160372
1ER PISO	0.001667866	0.001527814	0.00134056	0.00127796	0.00156181	0.00143067
< 0.007	<b>CONFORME</b>	<b>CONFORME</b>	<b>CONFORME</b>	<b>CONFORME</b>	<b>CONFORME</b>	<b>CONFORME</b>

*Ilustración 253: Tabla comparativa de derivas máximas en dirección "X" e "Y"*

*Fuente: Elaboración Propia.*

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

La estructura no presenta continuidad en la dimensión en planta, La norma asigna un factor de irregularidad tanto en altura y en planta para reforzar la resistencia al diseño, permitiendo resistir las discontinuidades físicas consideradas en la edificación. (Norma E030-Diseño Sismorresistente, 2019).

Para el diseño edificación aporticada, con sistema constructivo de losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional, se evaluó mediante un modelamiento estructural y se ha manteniendo su uso estructural. Por lo que se observó de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones en el apartado que, con este porcentaje, el concreto elaborado aún sigue siendo estructural. (Yépez Cruzado, J., 2020).

De los resultados obtenidos de los periodos de vibración y las derivas máximas de entrepiso en ambas direcciones, se logra cumplir con lo que establece la norma E030. El diseño losas u-Boot Beton y una convencional, logra disminuir estos valores obtenidos de igual manera que el diseño de la losa Vigacero, esto demuestra que las estructuras analizadas presentan mayor rigidez lateral y una disminución en el periodo de vibración.

En la gráfica \*\* se muestra una comparación de la cortante basal de los tres tipos de losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional, permite una disminución del 8.69% en dirección X-X y un 8.80% en dirección Y-Y de la cortante basal a comparación del diseño constructivo Losa Vigacero, que logra una reducción del 9.22% en dirección X-X y un 8.59% en dirección Y-Y de la cortante basal del análisis patrón.

Según el sistema de entresijos U-boot Beton presenta ventajas comparativas notables con respecto al sistema de entresijos convencional según el método empleado, mediante el software ETABS se realizó un análisis completo de la estructura, teniendo como ventaja proporcionando los cálculos matemáticos exactos a diferencia de análisis manuales evitando los errores humanos en el cálculo, logrando con el uso del programa obtener un análisis elástico-lineal, el cual determina la resistencia de los segmentos que son sometidos a diferentes esfuerzos multiplicándola por diferentes factores de carga a fin de simular el peso y fuerzas considerando en el diseño grados de seguridad, a su vez los métodos de análisis límite el cual también se logra verificar los elementos y el grado de resistencia hasta el punto de llegar al colapso de la edificación, observando este proceso por medio de un análisis estructural plástico identificando su plasticidad hasta el fallo de los elementos.

De acuerdo al método de modelamiento el sistema de entresijos U-Boot Beton y el sistema convencional, el U-boot Beton en el modelado se logró verificar la presencia de un mejor comportamiento frente a momentos y cortantes, debido a brindar mayor rigidez actuando como un diafragma horizontal en losas de entre piso, favoreciendo a la estructura frente al comportamiento de fuerzas horizontales como sismos y vientos, contando con un peso para H=25 de 1,644 KG con dimensiones abarcando una dimensión de 52 cm x 52 cm, las cuales cuentan con interconexiones rígidas de 15 cm, las cuales brindaron la bidireccionalidad y mejor distribución de cargas hacia las columnas, para evitar de esa manera fallos por cortante.

Análisis técnico y económico de un nuevo sistema de losas aligeradas utilizando viguetas metálicas de plancha delgada y bloques de EPS para oficinas Quingua Díaz, Darwin y Reyes Soto, Alex. El material empleado de la misma forma que el ladrillo pandereta brinda función de relleno, aligerando el peso de la estructura con

dimensiones de bloques de EPS de 15 x 60 x 100 cm un peso de unidad de 1.518 KG, presentado este un 7.6 % más ligero pero requerir mayor cantidad de acero horizontales debido a la dimensiones que presentan los bloques, requiriendo mayor cantidad de acero para poder soportar y distribuir las cargas, debido a que estos bloques tienen funcionalidad únicamente de relleno, sin brindar ninguna propiedad estructural, sin aportar ningún tipo de resistencia frente a fuerzas horizontales como los sismo descartando de esta manera la función de diafragma rígido horizontal.

Dicho esto, se logra adicionar por Sangeethavani, en el libro Recent Innovations and Technological Development in Civil Engineering. The Gandhigram Rural Institute, el cual nombra ciertas ventajas y desventajas de los recientes tecnologías empleadas en la construcción, logrando identificar diferencias entra el U-Boot Beton frente al EPS de polietileno, es que esta última necesariamente debe añadirse un sistema que permita protegerle del fuego para aumentar su durabilidad, teniendo también problemas en la acústica entre pisos y la mala adherencias de algunos materiales como yeso y morteros, teniendo el U-Boot Beton un diseño y textura de su superficie la predisposición a una mejor adherencia de los morteros, presentando una mejor acústica y mayor resistencia al fuego, con respecto a las características presentadas Quingua Díaz, Darwin y Reyes Soto, Alex y el empleo de EPS de polietileno.

## 4.2 Conclusiones

Se realizó el predimensionamiento de los elementos estructurales de la estructura aporticada de un módulo educativo de 4 niveles. Utilizando los siguientes elementos estructurales: vigas, columnas y de las losas u-Boot Beton, losa Vigacero y una convencional de espesores de 25 y 30 cm respectivamente, con cada especificación establecida por cada diseño.

Se llevó a cabo el análisis sísmico estático y sísmico dinámico de la estructura de sistema aporticado, utilizando el Concreto Convencional de  $280\text{kg/cm}^2$ , cumpliendo los requisitos establecidos por la Norma E030 – Diseño Sismorresistente, lo que brinda seguridad y validez a los datos obtenidos de los diseños aplicados a la estructura aporticada.

Se determinó y verificó los desplazamientos máximos y derivas de entrepiso, que cumplan con el límite permitido por la norma E030. El parámetro establecido por la norma para estructuras de concreto armado es de 0.007. (Ver tabla 100 - Derivas máximas en dirección “X” e “Y”).

Como conclusión final tenemos que el diseño constructivo con el uso losas u-Boot Beton, es el más adecuado, ya que permite reducir el peso de la edificación en mayor eficacia y el diseño constructivo losa Vigacero y convencional de losas aligeradas, permite reducir notablemente en las derivas y un aumento en la ductilidad de la edificación. Cada diseño constructivo aplicado en la presente investigación, presentan sus propias características y ventajas, logrando mejorar al diseño constructivo convencional, generalmente usado.

## REFERENCIAS

- Arcotecho Perú S.A.C. (2018). “Manual Técnico Vigacero”. Obtenido de [https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018\\_web.pdf](https://vigacero.pe/wp-content/uploads/2018/10/Manual-T%C3%A9cnico-Vigacero-2018_web.pdf)
- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. (6ª Edición). Caracas: Editorial Episteme.
- AMERICAN Society of Civil Engineers, (USA). ASCE/SEI 7, de 2010: Minimum. Design Loads for Buildings and Other Structures. Virginia: ASCE, 2010,658pp.
- ARRIAGADA, Jaime. Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional). Tesis (grado de Ingeniero Civil). Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2005, 259pp.
- Avecilla, R. D. (2016). Alternativa estructural - constructiva de entresijos y techos de hormigón armado con bloques de poliestireno expandido (Tesis Pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca – Ecuador.
- BECERRA, Kevin y PINO, Luis. Comparación de la influencia de las cargas de 3 tipos de tabiquería y losa aligerada en el diseño estructural de una vivienda multifamiliar de 06 pisos, en el distrito de Surco. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2017, 126 pp. [Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2020].
- Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2015, 121pp.
- COMITÉ ACI 318. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. Michigan-USA, Farmington Hills, 2014.
- Chopra, ANIL K. (2014). Dinámica de estructuras. Cuarta edición. México: Pearson.

Choque & Luque (2019). Análisis estático no lineal y evaluación del desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles diseñado con la norma E.030. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

DALIFORM GROUP SRL, Encofrado no recuperable para estructuras aligeradas de cemento armado coladas en la obra.

Díaz, A. (2015). Determinación de la vulnerabilidad sísmica de la casona Espinach – ex palacio municipal de la ciudad de Cajamarca. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

HERNANDEZ, Robert, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la Investigación [en línea]. 5a ed. Mexico: Mcgraw-HILL, Interamericana Editores, S.A., 2010.

INDECI. (2017). Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw.

Mc Cormac, Jack y Brown, Russell. Diseño de Concreto Reforzado. Octava Edición. México: Alfaomega.

MEDINA, Julissa y VIAMONTE, Gabriela. Análisis y diseño estructural de la institución educativa Juana Cervantes de Bolognesi – Arequipa. Tesis (Ingeniero Civil). Arequipa, Peru: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente, 2016, 336 pp.

MEZA, Cecilia y MARTELL, Leon. Evaluación técnica y económica, entre los sistemas pre fabricados de losa con viguetas vigacero y losa con viguetas pre tensadas en un edificio multifamiliar en el distrito de surquillo. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2019, 369p.

MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). NTP E.030, de 2019: Diseño Sismo Resistente. Lima: MVCS, 2019,32pp.

Mercado & Sabogal (2016). Análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas de concreto reforzado en la ciudad de Cartagena caso estudio: edificio Concasa y Banco del Estado. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Morales, J. (2015). Nivel de riesgo sísmico en la I.E. San Marcos provincia San Marcos – 2014. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

NTE E.020. (2006). Norma E.020 Cargas. Lima: SENCICO

NTE E.030. (2018). R.M. N°355-2018-VIVIENDA que modifica la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

NTE E.060. (2009). Norma E.060 Concreto Armado. Lima: SENCICO.

NTE E.70. (2006). Norma E.070 Albañilería. Lima: SENCICO.

Portillo, R. J. (2009). Análisis, evaluación y rediseño de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poli estireno expandido, ensaya en un laboratorio un modelo de propuesta de losas prefabricadas de concreto armado y aligeradas con poli estireno expandido (Tesis Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

REGLAMENTO Nacional de Edificaciones (Perú). E.020 Cargas - Metrado de cargas. Lima: ICG, 2019, Capítulos 2-3.

REGLAMENTO Nacional de Edificaciones (Perú). E.050 Suelos y Cimentaciones Lima: ICG, 2019.

REGLAMENTO Nacional de Edificaciones (Perú). E.060 - Concreto Armado. Lima: ICG, 2019, Pág. 53.

RIVERA GRANADOS, Diego análisis comparativo del sistema pre-fabricado de losa aligerada vigacero vs el sistema convencional de una edificación de 6 pisos en Huancayo, 2016. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2017, 173p.