



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA APLICANDO
RIOSTRAS BRB Y COMPARACIÓN CON SISTEMA ESTRUCTURAL
CONVENCIONAL CON PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Alexis Eduardo Gálvez Quilligana

Andrea Paola Paredes Rodríguez

TUTOR: Juan Pablo Chacón Sánchez

Quito – Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alexis Eduardo Gálvez Quilligana con documento de identidad N° 1723624365 y Andrea Paola Paredes Rodríguez con documento de identidad N° 1804836714, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir o reproducir de manera total parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 15 de agosto del 2023

Atentamente,



Alexis Eduardo Gálvez Quilligana
1723624365



Andrea Paola Paredes Rodríguez
1804836714

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alexis Eduardo Gálvez Quilligana con documento de identidad N° 1723624365 y Andrea Paola Paredes Rodríguez con documento de identidad N° 1804836714, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis Sísmico de Edificaciones de mediana altura aplicando Riostras Brb y comparación con Sistema Estructural convencional con Pórtico resistente a Momento”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de agosto del 2023

Atentamente,



Alexis Eduardo Gálvez Quilligana
1723624365




Andrea Paola Paredes Rodríguez
1804836714

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Chacón Sánchez con documento de identidad N° 1720525565, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA APLICANDO RIOSTRAS BRB Y COMPARACIÓN CON SISTEMA ESTRUCTURAL CONVENCIONAL CON PÓRTECO RESISTENTE A MOMENTO, realizado por Alexis Eduardo Gálvez Quilligana con documento de identidad N° 1723624365 y Andrea Paola Paredes Rodríguez con documento de identidad N° 1804836714, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Chacón Sánchez, MSc.

1720525565

ANÁLISIS SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA APLICANDO RIOSTRAS BRB Y COMPARACIÓN CON SISTEMA ESTRUCTURAL CONVENCIONAL CON PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTO

SEISMIC ANALYSIS OF MEDIUM-RISE BUILDINGS APPLYING BRB BRACES AND COMPARISON WITH CONVENTIONAL STRUCTURAL SYSTEM WITH A MOMENT-RESISTANT FRAME

Alexis Gálvez-Quilligana¹, Andrea Paredes-Rodríguez², Juan Chacón-Sánchez³

Resumen

Entre las formas de controlar los eventos sísmicos en las estructuras y salvaguardar la vida humana se han creado elementos capaces de disminuir los daños en las edificaciones, nos centraremos en uno de los sistemas de disipadores sísmicos, como es el de Riostras de Pandeo Restringido conocido por sus siglas BRB (Buckling Restrained Braces).

El objetivo del presente artículo es obtener resultados de viabilidad en costo-beneficio al realizar una comparación entre una estructura de mediana altura (7 pisos) en concreto armado y acero estructural, para estructuras de pórtico convencional y pórtico con Riostras de Pandeo Restringido.

Para la obtención de dichos resultados inicialmente se realizó un predimensionamiento de los elementos estructurales, de acuerdo a la ubicación del proyecto y tipo de suelo se efectuó el análisis sísmico con la ayuda de normativas vigentes (NEC SE-SG, NEC SE-DS, NEC SE-AC), con la aplicación de un software comercial de análisis estructural se modeló las estructuras, con el fin de, controlar derivas y periodos de vibración, finalmente se diseñó vigas, viguetas, columnas, losas, zapatas empleando normativas vigentes (ACI-318-19, NEC-SE-HM, AISC-341-10, ACE-7-16, AISC-360-10, ASTM A36) y se dibujó los planos estructurales correspondientes a los mismo

Abstract

Among the ways of controlling seismic events in structures and safeguarding human life, elements capable of reducing damage to buildings have been created. We will focus on one of the seismic dissipation systems, the Buckling Restrained Braces (BRB).

The objective of this paper is to obtain cost-benefit feasibility results by making a comparison between a medium height structure (7 stories) in reinforced concrete and structural steel, for conventional portal frame structures and portal frame with Buckling Restrained Braces.

In order to obtain these results, a pre-dimensioning of the structural elements was initially performed, according to the location of the project and type of soil, a seismic analysis was performed with the help of current regulations (NEC SE-SG, NEC SE-DS, NEC SE-AC), with the application of a commercial structural analysis software, the structures were modeled, Finally, beams, girders, columns, slabs and footings were designed using current standards (ACI-318-19, NEC-SE-HM, AISC-341-10, ACE-7-16, AISC-360-10, ASTM A36) and the corresponding structural plans were drawn in order to obtain quantities and costs. The same procedure was applied for the BRB portal frame structure.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

³ Docente de Ingeniería Civil -Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: agalvezq@est.ups.edu.ec; aparedesr@est.ups.edu.ec; jchacon@ups.edu.ec

con el propósito, de obtener cantidades y costos. El mismo procedimiento se aplicó para la estructura de pórtico con BRB.

En cuanto a la comparación de costos totales, se obtuvo un incremento del 6 % y 2 % en las estructuras con BRB, siendo un valor irrelevante relacionado con los beneficios que otorgan al aplicar estos elementos.

Regarding the comparison of total costs, an increase of 6 % and 2 % was obtained in the structures with BRB, being an irrelevant value related to the benefits provided by the application of these elements.

Palabras Clave: Análisis sísmico, elementos estructurales, pórtico convencional, Riostras de Pandeo Restringido, software comercial de análisis estructural, viabilidad.

Keywords: Seismic analysis, structural elements, conventional portal frame, restrained buckling braces, commercial structural analysis software, feasibility.

1. Introducción

Las Riostras de Pandeo Restringido (BRB) datan su estudio por primera vez en Japón. En la década de 1980, la intención de eliminar el fallo por pandeo de elementos esbeltos condujo a un esfuerzo de colaboración entre el profesor Wada, del Instituto de Tecnología de Tokio y la empresa Nippon Steel Construction, unión que produjo como resultado el modelo actual del sistema BRB. El diseño fue inspirado por un hueso humano típico que es más grande en sus extremos con una sección reducida en el medio [1]. En algunos países de Latinoamérica como Chile, México, Perú, se encontró que hay avances significativos en el estudio y aplicación de las BRB debido a eventos sísmicos catastróficos que han ocasionado pérdidas significativas de vidas humanas e infraestructuras.

Ecuador es un país que se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, por lo que, es importante emplear nuevas alternativas innovadoras que reduzcan los daños estructurales provocados por eventos sísmicos. En la actualidad comúnmente se construyen sistemas de pórtico convencional que cubre únicamente la filosofía de diseño sísmico, que es, salvaguardar la vida humana, de tal manera que, después del evento sísmico se estime un costo elevado en reparaciones de las edificaciones, dando como mejor alternativa el derrocamiento del mismo. Con la aplicación de estas nuevas alternativas que son los disipadores de energía (BRB), la estructura presentará un mejor comportamiento ante un evento sísmico, previniendo daños irreparables, de tal forma que, el costo de reparación sea económica y su ocupación en un periodo de tiempo corto.

Las Riostras de Pandeo Restringido (BRB) son elementos estructurales que se emplean en la actualidad para resistir fuerzas sísmicas laterales, a diferencia de una diagonal de pórtico convencional que soporta correctamente las cargas en tensión, pero al ser sometido a una carga en compresión el elemento se deforma soportando una menor carga. Por otro lado, las BRB al ser sometidas a las

mismas cargas son capaces de resistir sin presentar pandeo o deformación, disipando bien la energía lo que hace que tenga un comportamiento histérico como se puede apreciar en la **Figura 1**.

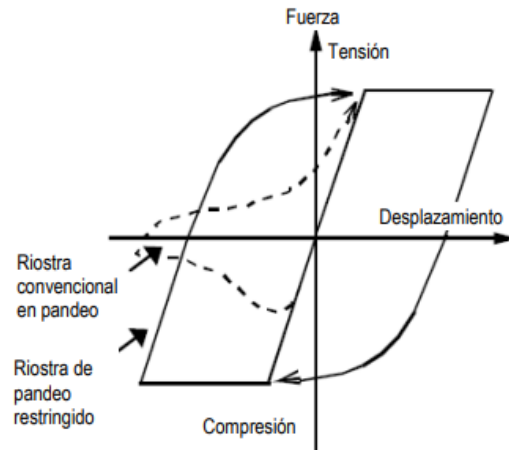


Figura 1. Comparación del comportamiento histérico entre una riostra convencional vs una BRB [2].

Las riostras de pandeo restringido están formadas por una barra o núcleo de acero recubierto por una capa deslizante o antiadherente, esta barra se inserta en un tubo exterior, el que se rellena con mortero de cemento [3], como se muestra en la **Figura 2**.

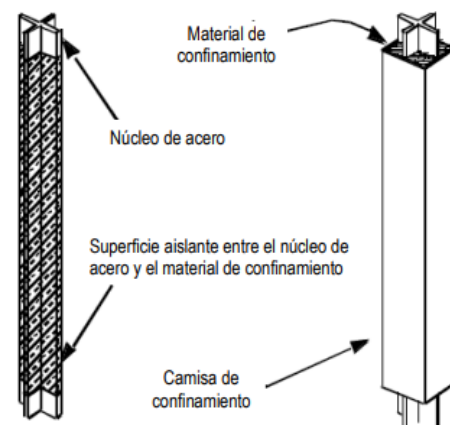


Figura 2. Composición de una riostra de pandeo restringido (BRB) [2].

Núcleo de acero: El núcleo de acero puede adoptar distintas configuraciones; las más usuales

son las secciones circular, rectangular, cuadrada o cruciforme [3].

El núcleo se divide en tres segmentos como se visualiza en la **Figura 3**.

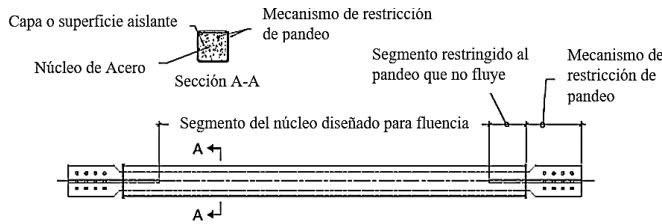


Figura 3. Componentes básicos de una riostra de pandeo restringido (BRB) [4].

- Segmento del núcleo diseñado para fluencia: el material para diseñar esta zona debe ser delgado y de baja resistencia como el acero A36 ya que, se necesitan que este elemento fluya cuando la riostra este bajo cargas cíclicas.
- Segmento restringido al pandeo que no fluye: esta zona no se diseña para fluencia. Está compuesta por una transición que suaviza los cambios bruscos de secciones evitando concentraciones de esfuerzos.
- Segmento sin restricción al pandeo que no fluye: es la zona que se ubica fuera de la camisa de confinamiento, tiene una mayor área que el segmento del literal (a) y se conecta a una placa de acero unida al marco (viga columna) a través de pernos, pasadores o soldadura.

Camisa de confinamiento: El tubo exterior de acero usualmente tiene sección circular o cuadrada [3]. La camisa de confinamiento y el material de relleno restringen el pandeo del núcleo para que la riostra soporte cargas a compresión.

Capa Antiadherente o material aislante: varios autores han estudiado el comportamiento de diferentes materiales aislantes como, por ejemplo: cauchos de variada dureza, espuma de poliestireno polietileno y grasa siliconada, entre otros [5].

El material aislante separa el material de relleno (concreto) del núcleo de acero minimizando o eliminando los esfuerzos a cortante que transmite el núcleo al concreto y también evita que se desgaste por el rozamiento.

La capa debe tener un cierto espesor y flexibilidad para permitir la dilatación lateral del núcleo (efecto Poisson) cuando es comprimido por efecto de la acción sísmica [3].

Si dicha dilatación es restringida, se produce una interacción con el mortero de relleno y se transfiere carga axial al tubo exterior, lo que resulta en un aumento de la resistencia a compresión, sin embargo, la capa antiadherente no puede ser demasiado flexible caso contrario se podría producir el pandeo global de la barra central o el pandeo local (dependiendo) [3].

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

2.1.1. Software Comercial

Para la modelación, análisis sísmico y diseño de los elementos estructurales se efectuó con software comercial de análisis estructural.

2.1.2. Descripción de la Estructura

La estructura analizada es un edificio de media altura (7 pisos) correspondiente al uso de vivienda con terraza inaccesible, ubicado en la provincia de Pichincha al norte de la ciudad de Quito, sector Calderón, alturas de entre piso; 1er Nivel :3.96 m, resto de Niveles: 2.88 m. En la **Figura 4** se puede observar la geometría en planta de la estructura.

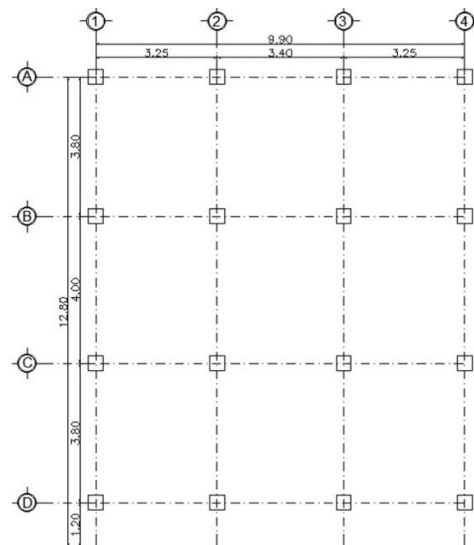


Figura 4. Geometría en planta

Para el predimensionamiento y modelamiento de la edificación se calculó la Carga Muerta por metro cuadrado con la ayuda de los planos arquitectónicos como se presenta en la **Tabla 1** y la Carga Viva dependiendo del uso y ocupación según NEC-SE-CG [6], $2 \frac{kN}{m^2}$ para uso de vivienda y $0.7 \frac{kN}{m^2}$ para uso de terraza inaccesible.

Tabla 1. Carga muerta de mampostería

Nivel s.u	W PP kN/m^2
N+3.96	4.00
N+6.84	4.00
N+9.72; 12.6; 15.48; 18,36	4.00
N+3.96	1.52

En la **Figura 5** se indica una vista en planta del lugar donde se colocó las BRB y en la **Figura 6** la configuración en elevación de las mismas.

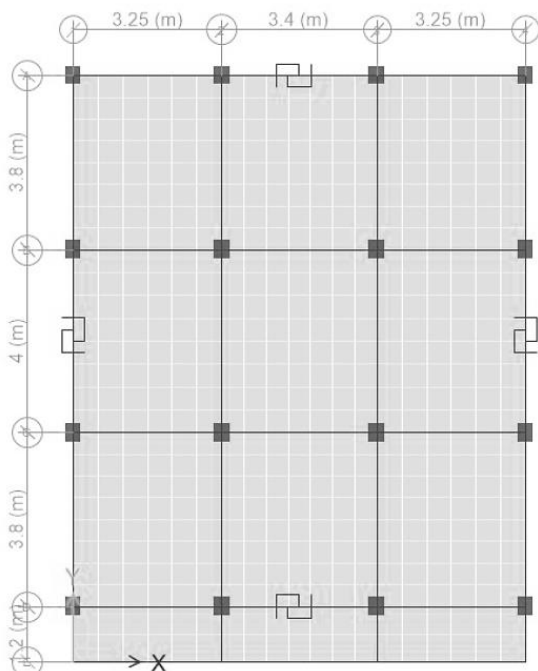


Figura 5. Ubicación de las BRB – vista en planta.

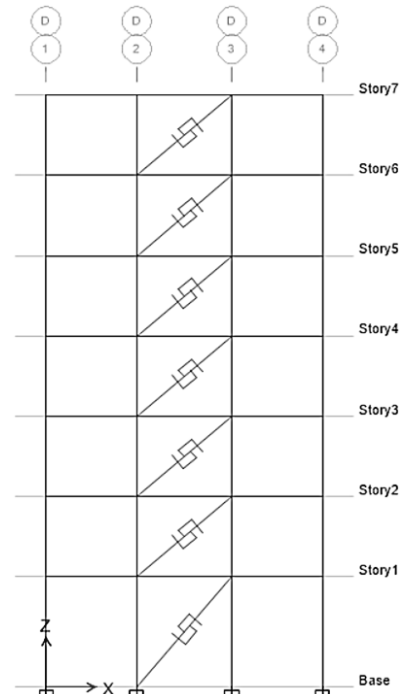


Figura 6. Configuración de las BRB – vista en elevación.

1.1.3. Parámetros y Características de los Materiales

El análisis de viabilidad costo-beneficio de dicha edificación se ejecutó en concreto armado y acero estructural.

Para el predimensionamiento de los elementos estructurales, modelación y diseño se utilizó los parámetros y características de los materiales de las normativas NEC-SE-SG [6], NEC-SE-HM [7] (concreto armado) y AISC 360-10 [8], ASTM A36 [9] (acero estructural), como se observa en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Propiedad de los materiales

ESTRUCTURA CONCRETO ARMADO		
γ_m	22	kN/m^3
γ_c	24	kN/m^3
γ_{bloq}	8.5	kN/m^3
γ_s	78.5	kN/m^3
F'_c	24	MPa
F_y	420	MPa
E_c	19519.84	MPa
E_s	200000	MPa

ACERO ESTRUCTURAL A36		
F_y A36	250	MPa
E	200000	MPa
γ_s	78.5	
F_U	400	MPa

Donde:

γ_m : peso específico del mortero

γ_c : peso específico del hormigón armado

γ_{bloq} : peso específico del bloque hueco de hormigón alivianado

γ_s : peso específico del acero

F'_c : resistencia específica a la compresión del hormigón

F_y : resistencia específica a la fluencia del acero

E_c : módulo de elasticidad del hormigón

E_s : módulo de elasticidad del acero de refuerzo

F_y A36: Resistencia específica a la fluencia del acero A36

E: módulo de elasticidad del acero A36

F_U : resistencia específica ultima del acero A36

1.1.4. Descripción del suelo

En el sector de estudio, la mayor parte de su extensión está compuesto de suelos tipo arcilloso, arenoso y cangahua adquiriendo referencias de estudios realizados en el sector, se categorizó un suelo Tipo D, con una capacidad admisible del suelo de $200 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ [10].

2.2. Metodología

2.2.1. Predimensionamiento de los elementos estructurales.

Con el propósito de facilitar el proceso de predimensionamiento de vigas, columnas y losas se lo realizó para el caso más crítico, es decir donde el elemento va a estar mayormente cargado (mayor área tributaria), en vigas y columnas se planteó dos tipos centrales y de borde.

En lo que respecta al acero estructural se calculó los siguientes parámetros; en vigas y viguetas el módulo seccional plástico ($Z_{X_{req}}$); y en columnas el área requerida (A_{req}), con el propósito de elegir

las secciones de estos elementos con el manual del AISC Steel Construction [11]. Una vez obtenidas las secciones con las normativas AISC 360-10 [8] y AISC 341-10 [12] se verificó que las secciones sean compactas. Para la losa de acuerdo a la carga de servicio y máxima separación entre viguetas se optó por un panel colaborante visto en el catálogo KUBIEC [13], como se puede ver en la **Figura 7**.

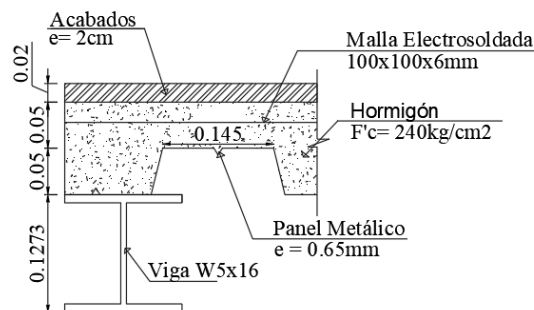


Figura 7. Esquema placa colaborante.

2.2.3. Modelación Numérica

Para la modelación numérica se optó por un software comercial de análisis estructural donde se ingresó las secciones de los elementos y parámetros de los materiales.

2.2.4. Análisis Sísmico

Conforme al tipo de suelo y sector del proyecto se llevó a cabo el análisis sísmico estático y dinámico aplicando criterios de la normativa ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS [14], de la misma manera, se verificó que cumpla con los límites establecidos de derivas, periodos de vibración y porcentaje de participación de masa.

1) Análisis sísmico estático

En el análisis sísmico estático se usó el cortante basal de diseño (V) que es la fuerza sísmica que actúa en sentido horizontal en la base de la estructura. Para su cálculo se empleó la ecuación 1 dada por la normativa NEC-SE-DS [14].

$$V = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \cdot \gamma_p \cdot \gamma_E} * W \quad (1)$$

Donde:

$S_a(T_a)$: espectro de diseño en aceleración.

ϕ_P y ϕ_E : coeficientes de regularidad en planta y elevación.

I: coeficiente de Importancia.

R: factor de reducción de resistencia sísmica.

V: cortante basal total de diseño.

W: carga sísmica reactiva.

T_a : periodo de vibración.

2) Análisis sísmico dinámico

Como se aprecia en la **Figura 8** el espectro elástico de diseño en aceleración (S_a) depende del periodo de vibración (T) de la estructura y se calcula con las ecuaciones 2 y 3 NEC-SE-DS [14].

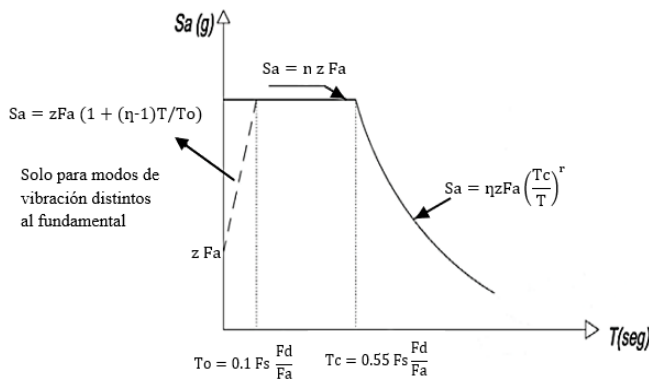


Figura 8. Espectro elástico de diseño en aceleración [13].

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c \quad (2)$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_c \quad (3)$$

Donde:

η : razón entre la aceleración espectral $S_a(T = 0.1 \text{seg})$ y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.

r : factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto

T : periodo fundamental de vibración de la estructura

T_c : periodo límite de vibración

Z : aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño

Los límites para el periodo de vibración se obtienen de las ecuaciones 4 y 5 NEC-SE-DS [14].

$$T_c = 0.55 * F_s * \left(\frac{F_d}{F_a}\right) \quad (4)$$

$$T_L = 2.4 * F_d \quad (5)$$

Donde:

F_a y F_d : factor de sitio.

F_s : factor de comportamiento inelástico del suelo.

T_c y T_L : periodo límite de vibración

Para el análisis dinámico, en el software comercial de análisis estructural se ingresa el espectro elástico reducido ecuación 7.

$$f = \frac{1}{R} \quad (6)$$

$$S_{a_{red}} = S_a(T_a) * f \quad (7)$$

Donde:

f : porcentaje de reducción de respuesta.

R : factor de reducción de resistencia sísmica.

$S_a(T_a)$: espectro elástico de diseño en aceleración.

$S_{a_{red}}$: espectro elástico de diseño en aceleración reducido.

El valor del cortante total en la base, obtenido por cualquier método de análisis dinámico no debe ser: $< 80 \%$ del cortante basal V estático (estructuras regulares) y $< 85 \%$ del cortante basal V estático (estructuras irregulares) [14].

2.2.5. Diseño de las Riostras de Pandeo Restringido (BRB)

Para el diseño de las BRB se empleó los siguientes datos obtenidos del software comercial: cortante máximo y la deformación acumulada de la estructura modelada con secciones de predimensionamiento, posteriormente se diseña para una deriva objetivo en base a los niveles de daño de la metodología HAZUS (FEMA 1999) [15], como se indica en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Niveles de daño [15].

Niveles de Daño	Valor de deriva & en el umbral del nivel de daño	
	Pre-Norma	Pos-Norma
Leve	0.0027	0.0033
Moderado	0.0043	0.0058
Severo	0.0107	0.0156
Colapso	0.0267	0.04

La deriva objetivo debe ser mayor a la deriva de piso del software comercial, si no cumple con dicha condición será necesario reforzar el nivel usando riostras de pandeo restringido (BRB). El número mínimo de BRB a colocar son 2 por piso, para evitar el pandeo a lado opuesto de la estructura.

Según la ASCE 7-16, la estructura que contenga un sistema de amortiguamiento deberá tener un sistema resistente a fuerzas sísmicas en cada dirección lateral, el cortante base sísmico utilizado para diseñar el sistema resistente a momento no debe ser menor al cortante mínimo el cual es el 75 % [16], el 25 % restante se tomará para el diseño de las BRB.

Para las ecuaciones 8 y 13, es imprescindible el cálculo de los parámetros θ y L_{wfp} , la cual se determinó a través de la geometría de los pórticos con BRB, como se indica en la **Figura 9**.

$$P_i = \frac{V_i}{\cos(\theta)} \quad (8)$$

Donde:

P_i : fuerza que va resistir cada BRB

V_i : cortante individual de la BRB por piso

θ : ángulo que forma la BRB con la horizontal

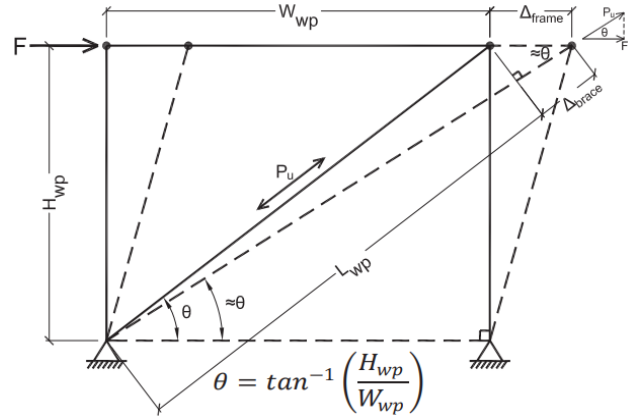


Figura 9. Colocación de la riostra de pandeo restringido (BRB) [17].

De acuerdo con la normativa AISC 341-10 se calculó el área del núcleo (A_s) mediante la ecuación 9 [12]. Con el propósito, de activar el elemento antes que se deforme el edificio, se empleó un área más grande que la calculada.

$$A_s = \frac{P_i}{\Phi * F_{ry}} \quad (9)$$

1) Diseño del núcleo

La geometría de núcleo que se optó es en forma de cruz (mayor rigidez), con la ecuación 10 se determinó la longitud (l) para cálculos posteriores.

$$A_n = 2 * (l * e) - (e^2) \quad (10)$$

Donde:

A_n : área del núcleo

l : longitud del núcleo

e : espesor del núcleo

La resistencia a tracción y compresión de las BRB se determinó a través de las ecuaciones 11 y 12 [18] respectivamente.

$$T_{MAX} = \omega * R_Y * F_Y * A_{impuesta} \quad (11)$$

$$C_{MAX} = \omega * \beta * R_Y * F_Y * A_{impuesta} \quad (12)$$

El factor de modificación de la rigidez (k_f), los factores de ajuste de la resistencia a compresión (β) y de ajuste por endurecimiento de deformación (ω) varían según el fabricante, en la siguiente

investigación se tomó valores con respecto a estudios anteriores; k_f (1.3 a 1.7), β (1.05 a 1.15) y ω (1.3 a 1.5) [19].

En la **Tabla 4** se muestran los factores de fluencia probable (R_Y) según, la NEC SE-AC [20].

Tabla 4. Valores de factor de fluencia y tensión probable [20].

Especificación ASTM	Factor de Fluencia Probable (R_Y)	Factor de Tensión Probable (R_t)
ASTM A36	1.3	1.15
ASTM A572 Gr. 50	1.1	1.25
ASTM A588 Gr. 50	1.15	1.15

La longitud total de la BRB (L_{wp}) como se puede observar en **Figura 9** se calculó mediante geometría.

La rigidez efectiva (K_{eff}) y la compresión axial máxima (P_{ye}) del núcleo son datos que se ingresan en el software comercial para el análisis sísmico y se calculó mediante las ecuaciones 13 [17] y 14 [20].

$$K_{eff} = K_f * \frac{E_S * A_{impuesta}}{L_{wp}} \quad (13)$$

$$P_{ye} = R_Y * F_Y * A_{impuesta} \quad (14)$$

La deformación axial (Δ_{brace}) y la deformación horizontal (Δ_{frame}) del BRB se calculó con las ecuaciones 15-16 [17].

$$\Delta_{brace} = \frac{P_{ye}}{K_{eff}} \quad (15)$$

$$\Delta_{frame} = \frac{\Delta_{brace}}{\cos(\theta)} \quad (16)$$

La deformación de fluencia (Δ_y) se calcula con la ecuación 17. Se usó un factor de sobre resistencia ($\omega = 2$) dispuesto en la normativa ASCE 7-16 [16].

$$\Delta_y = \delta_i * \omega \quad (17)$$

Donde:

δ_i : deformación por piso

$\Delta_y > \Delta_{frame}$: cuando dicha condición se cumple

significa que el disipador se activó antes de que el edificio se deforme.

2) Diseño Camisa de Confinamiento

Se optó por una sección cuadrada dejando una holgura de 10 mm a cada lado del núcleo con el fin de que dicho elemento pueda fluir.

La inercia de la camisa debe ser mayor a la mínima calculada con la ecuación 18 [5].

$$I_{min} = \frac{P_{brace} * (K * L_C)^2 * F_S}{\pi^2 * E_S} \quad (18)$$

Donde:

I_{min} : inercia mínima

P_{brace} : carga axial de la riostra

L_C : longitud de la camisa de confinamiento

K : factor de longitud efectiva ($K=1$ conexión pasador, $K=2$ conexión apernada)

F_S : factor de seguridad ($F_S \geq 2$)

E_S : módulo de elasticidad

3. Resultados y Discusión

En el presente capítulo se muestra los resultados del proceso que se ejecutó para la obtención de costos de las edificaciones de pórtico convencional y aplicando riostras de pandeo restringido.

3.1. Resultados de los elementos estructurales predimensionados

3.1.1. Estructura de concreto armado

(a) En la **Figura 10** se puede visualizar la geometría de la losa nervada y en la **Tabla 5** los valores correspondientes.

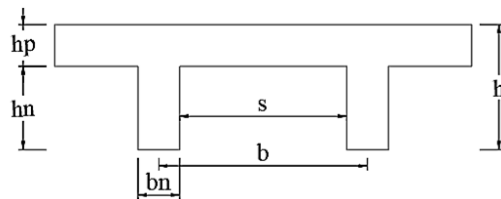


Figura 10. Geometría losa nervada.

Tabla 5. Geometría losa nervada.

GEOMETRIA LOSA NERVADA		
hp	50	mm
hn	150	mm
h	200	mm
s	400	mm
bn	100	mm
b	500	mm

(b) En la **Tabla 6** se puede observar las secciones de vigas.

Tabla 6. Secciones vigas centrales y de borde

	Piso	b	h
	s.u	mm	mm
Vigas Centrales	1 - 4	250	350
	5 - 6	250	300
	7	250	300
Vigas de Borde	1 - 4	250	300
	5 - 6	250	250
	7	250	300

(c) En la **Tabla 7** se puede observar las secciones de columnas.

Tabla 7. Secciones columnas centrales y de borde

	Piso	Ancho	Profundidad
	s.u	mm	mm
Columnas Centrales	1 - 4	450	450
	5 - 7	350	350
Columnas de Borde	1 - 4	400	400
	5 - 7	300	300

3.1.2. Estructura de acero estructural

(a) En la **Figura 11** se puede ver la geometría de placa colaborante ($e = 0.65$ mm) y en la **Tabla 8** los valores correspondientes.

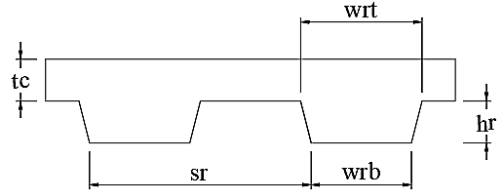


Figura 11. Geometría placa colaborante.

Tabla 8. Geometría placa colaborante.

GEOMETRIA PLACA COLABORANTE		
ep	0.65	mm
hr	50	mm
tc	50	mm
wrt	145	mm
wrb	120	mm
sr	333.3	mm

(b) En la **Tabla 9** se puede visualizar las secciones de viguetas y vigas.

Tabla 9. Secciones viguetas, vigas centrales y de borde.

	Piso	bf	tf	h	tw
	s.u	mm	mm	mm	mm
Vigueta (M 8x6.5)	1 - 7	57.9	4.8	203.2	3.4
Viga Central	1 - 6	154.4	11.6	162.1	8.1
	7	127	9.1	12.7	6.1
Vigas de Borde (W 5x16)	1 - 4	127	9.1	12.7	6.1

(c) En la **Tabla 10** se puede observar las secciones de columnas.

Tabla 10. Secciones columnas centrales y de borde.

	Piso	b	h	t
	s.u	mm	mm	mm
Columnas Centrales (HSS 14x14x3/8)	1 - 7	355.6	355.6	9.5
Columnas de Borde (HSS 12x12x3/8)	1 - 7	304.8	304.8	9.5

3.2. Análisis sísmico

3.2.1. Periodos de Vibración

Según la normativa NEC SE-DS [14], se determinó a partir de dos métodos, siendo así el periodo de vibración por el método 2 (T_{m2}) el rango máximo de periodo, es decir los periodos de los modos 1 y 2 obtenidos del software comercial de análisis estructural no debe sobrepasar el T_{m2} . Permitiendo el cálculo de fuerzas sísmicas que actúa sobre la estructura y su dimensionamiento como se puede ver en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Periodos de vibración.

	Métodos Control Periodos de Vibración		Periodos de vibración del modelamiento	
	T_{m1} (seg)	T_{m2} (seg)	Modo 1	Modo 2
Estructura de Concreto Armado	0.861	1.119	1.57	1.43
Estructura de Acero Estructural	0.722	0.939	1.63	1.578

El modelamiento de las edificaciones con geometría de predimensionamiento, los modos 1 y 2 sobrepasan el periodo T_{m2} , esto significa que la estructura es muy flexible y lo recomendable sería rigidizar usando muros de corte o aumentando secciones de los elementos.

3.2.2. Análisis sísmico estático y dinámico.

La zona de aceleración sísmica de nuestro proyecto es de 0.4 g perteneciente a una zona sísmica V (zona de alta peligrosidad sísmica) NEC SE-DS [14]. Una vez obtenida la zona sísmica y con el suelo tipo D se eligió los factores necesarios, establecidos en la **Tabla 12**, para el análisis sísmico estático y dinámico.

Tabla 12. Parámetros para el análisis sísmico estático y dinámico.

Variable	Valor	Unidades
I	1	s.u
R	6	s.u
z	0.4	s.u
n	2.48	s.u
Ct (C.A)	0.055	s.u
Ct (Acero)	0.073	s.u
hm	21.24	m
α (C.A)	0.9	s.u
α (Acero)	0.75	s.u
F_a	1.20	s.u
F_d	1.19	s.u
F_S	1.28	s.u
r	1.00	s.u
\emptyset_P	1	s.u
\emptyset_E	0.9	s.u

3.3 Resultados de las edificaciones de Pórtico Convencional

Como se mencionó anteriormente las edificaciones de pórtico convencional son muy flexibles, de tal manera que, para rigidizar las estructuras de concreto armado, se incrementó secciones en vigas y columnas ver **Tablas 13 y 14**; acero estructural, se incorporó diagonales y se reemplazó las secciones de columnas huecas por secciones rellenas de concreto ver **Tablas 15 y 16**.

Tabla 13. Secciones finales vigas centrales y borde.

Vigas Centrales y Borde		
Piso	b	h
s.u	mm	mm
1--4	300	450
5--6	300	400
7	250	300

Tabla 14. Secciones finales columnas centrales y borde

Columnas Centrales-Borde		
Piso	ancho	profundidad
s.u	mm	mm
1--4	400	600
5--7	300	500

Tabla 15. Secciones finales columnas centrales y de borde rellenas de concreto.

	Piso	b	h	t
	s.u	mm	mm	mm
Columnas Centrales rellenas de concreto (HSS 12x12x5/16)	1 - 7	304.8	304.8	6.4
Columnas de Borde rellenas de concreto (HSS 10x10x5/8)	1 - 7	254	254	15.9

Tabla 16. Sección de diagonales.

Diagonal Sección (200x200x4)		
b	200	mm
h	200	mm
e	4	mm

3.3.1. Resultados de Periodos de Vibración

En la **Tabla 17** se puede observar que los periodos de vibración obtenidos mediante el software comercial, de las edificaciones modificadas no exceden los límites establecidos por el T_{m2} , de tal forma que, se logró rigidizar las estructuras.

Tabla 17. Periodos de vibración de concreto armado.

	Modos	Periodo (Ta)	Dirección	Control
Estructura Concreto Armado	1	1.113	x	OK
	2	1.013	y	OK
	3	0.857	z	OK
Estructura Acero Estructural	1	0.874	x	OK
	2	0.786	y	OK
	3	0.552	z	OK

3.3.2. Porcentaje de participación de masa

Según la normativa NEC SE-DS se debe acumular al menos el 90 % de la masa total de la estructura [14]. Como se pueden ver en las **Tablas 18 y 19** en el modo 5 se logró cumplir con dicha condición, siendo así, una estructura bastante regular porque no necesitan de muchos modos para acumular masa.

Tabla 18. Análisis modal estructura de concreto armado.

M	Periodo	UX	UY	SUMX	SUMY	RZ
1	1.113	0.8113	0.0002	0.811	0.8113	0.027
2	1.013	0.0004	0.8109	0.812	0.8116	0.001
3	0.857	0.0257	0.001	0.837	0.8373	0.798
4	0.41	0.1062	6.0E-6	0.944	0.9436	0.003
5	0.349	2.6E-5	0.113	0.945	0.9436	0.0002
.
.
21	0.047	1.5E-6	0.0015	1	1	0.0001

M: modos de vibración

Tabla 19. Análisis modal estructura de acero estructural.

M	Periodo	UX	UY	SUMX	SUMY	RZ
1	0.955	0.8015	0.0001	0.802	0.0001	0.0064
2	0.86	0.0001	0.8134	0.801	0.8135	0.0003
3	0.596	0.0055	0.0003	0.807	0.8137	0.8133
4	0.307	0.1498	7.6E-6	0.957	0.8137	0.0009
5	0.279	1.1E-5	0.1458	0.957	0.9595	4.3E-5
.
.
21	0.04	0.00	6.4E-7	1	1	0.0003

M: modo de vibración

Cuando se realiza un análisis de espectro de respuesta modal, se debe usar un mínimo de tres grados de libertad dinámicos que consisten en traslación en dos direcciones ortogonales del plano y rotación torsional sobre el eje vertical en cada nivel de la estructura [16]. En el modo 1 y 2 se debe evitar rotación de manera que la fuerza ejercida por el sismo sea absorbida lateralmente por la estructura. En el caso de existir rotación la fuerza no se distribuirá uniformemente entre los elementos haciendo que las columnas exteriores trabajen más, llegando a un punto de colapso.

En las **Tablas 20 y 21** se puede visualizar que los dos primeros modos tienen un desplazamiento aproximando al 100 % y en el tercer modo una rotación más del 50 %, categorizando como una estructura ideal para el diseño.

Tabla 20. Porcentaje de participación de masa - concreto armado.

PORCENTAJE PARTICIPACIÓN DE MASA (%)			
Modo	X	Y	Z
1	96.89	0.02	2.67
2	0.05	99.85	0.09
3	3.07	0.12	79.80

Tabla 21. Porcentaje de participación de masa - acero estructural.

PORCENTAJE PARTICIPACIÓN DE MASA (%)			
Modo	X	Y	Z
1	99.29	0.01	0.64
2	0.01	99.96	0.03
3	0.72	0.04	81.33

3.3.3. Control de Derivas

La deriva inelástica (ΔM) debe ser menor que la deriva inelástica máxima (ΔM_{max}) dispuesta por la normativa NEC SE-DS [14] **Figura 11 y 12**.

$$\Delta M_{max} = 0.02 \text{ [14].}$$

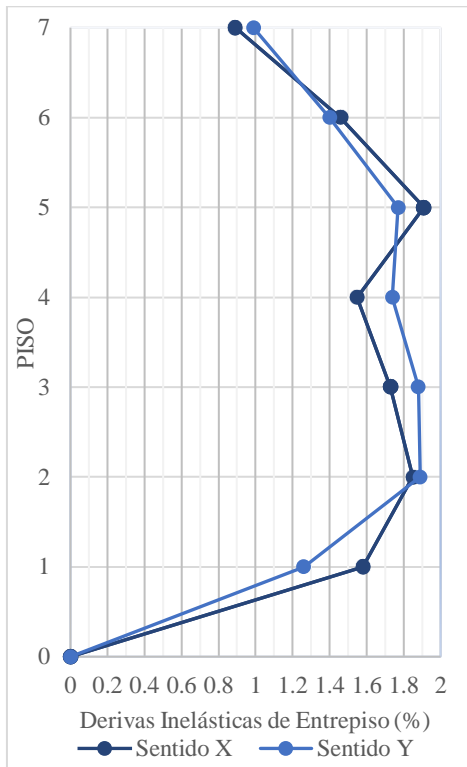


Figura 11. Control de derivas sentido x-y - concreto armado

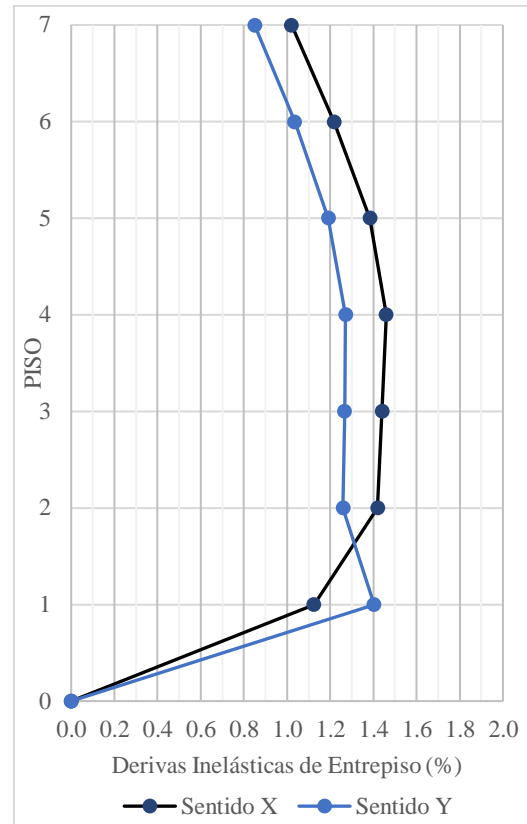


Figura 12. Control de derivas sentido x-y - acero estructural.

3.4. Estructura con Riostras de Pandeo Restringido (BRB)

Para el cálculo de la geometría inicial de los elementos estructurales y diseño del espectro elástico se realizó el mismo procedimiento de las edificaciones de pórtico convencional.

3.4.1. Resultados del Diseño de Riostras de Pandeo Restringido (BRB)

Con el fin de diseñar el núcleo y camisa de confinamiento de las BRB se siguió el procedimiento indicado anteriormente en la metodología. En las **Tablas 22 y 23** se puede visualizar dicho diseño de la estructura de concreto armado y las **Tablas 24 y 25** de acero estructural.

Tabla 22. Diseño de las BRB-sentido X.

Datos generales			Diseño núcleo								Diseño Camisa de Confinamiento				
Piso	deriva objetivo	deriva piso	N°	A _{imp}	e	l	K _{eff}	P _{ye}	Δ _{brace}	Δ _{frame}	Δ _y	b _c	e _c	I _{min}	I _c
s.u	s.u	s.u	u	mm ²	mm	mm	kN/m	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm ⁴	mm ⁴
7	0.0033	0.0029	2	600	3	101.5	40397	194	4.8	3.7	16.6	150	3	1049244	6355692
6	0.0033	0.0051	2	600	3	101.5	40397	194	4.8	3.7	29.2	150	3	2291598	6355692
5	0.0033	0.0063	2	600	3	101.5	40397	194	4.8	3.7	36.4	150	3	3259012	6355692
4	0.0033	0.0055	2	800	3	134.8	53862	258	4.8	3.7	31.8	200	3	4015430	15294292
3	0.0033	0.0060	2	800	3	134.8	53862	258	4.8	3.7	34.3	200	3	4551310	15294292
2	0.0033	0.0060	2	800	3	134.8	53862	258	4.8	3.7	34.6	200	3	4871451	15294292
1	0.0033	0.0042	2	1000	3	168.2	57478	323	5.6	3.7	33.1	200	3	6887202	15294292

Tabla 23. Diseño de las BRB-sentido Y.

Datos generales			Diseño núcleo								Diseño Camisa de Confinamiento				
Piso	deriva objetivo	deriva piso	N°	A _{imp}	e	l	K _{eff}	P _{ye}	Δ _{brace}	Δ _{frame}	Δ _y	b _c	e _c	I _{min}	I _c
s.u	s.u	s.u	u	mm ²	mm	mm	kN/m	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm ⁴	mm ⁴
7	0.0033	0.0031	2	500	3	84.8	30433	161	5.30	4.30	17.91	150	3	1195616	6355692
6	0.0033	0.0054	2	500	3	84.8	30433	161	5.30	4.30	31.38	150	3	2597119	6355692
5	0.0033	0.0068	2	500	3	84.8	30433	161	5.30	4.30	39.31	150	3	3675688	6355692
4	0.0033	0.0061	2	800	3	134.8	48692	258	5.30	4.30	34.96	200	3	4507125	15294292
3	0.0033	0.0065	2	800	3	134.8	48692	258	5.30	4.30	37.35	200	3	5085697	15294292
2	0.0033	0.0065	2	800	3	134.8	48692	258	5.30	4.30	37.23	200	3	5423063	15294292
1	0.0033	0.0043	2	900	3	151.5	47969	290	6.05	4.30	34.42	200	3	7268080	15294292

Tabla 24. Diseño de las BRB-sentido X.

Datos generales			Diseño del núcleo								Diseño Camisa de Confinamiento				
Piso	deriva objetivo	deriva piso	N°	A _{imp}	e	l	K _{eff}	P _{ye}	Δ _{brace}	Δ _{frame}	Δ _y	b _c	e _c	I _{min}	I _c
s.u	s.u	s.u	u	mm ²	mm	mm	kN/m	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm ⁴	mm ⁴
7	0.0033	0.004	2	300	3	51.50	21544.82	96.80	4.49	3.43	21.23	100	4	296184.32	2363392
6	0.0033	0.004	2	300	3	51.50	21544.82	96.80	4.49	3.43	24.27	100	4	573568.37	2363392
5	0.0033	0.005	2	300	3	51.50	21544.82	96.80	4.49	3.43	28.19	100	4	807441.09	2363392
4	0.0033	0.005	2	300	3	51.50	21544.82	96.80	4.49	3.43	31.23	100	4	997803.13	2363392
3	0.0033	0.006	2	300	3	51.50	21544.82	96.80	4.49	3.43	31.96	100	4	1144653.21	2363392
2	0.0033	0.005	2	300	3	51.50	21544.82	96.80	4.49	3.43	28.69	100	4	1247992.60	2363392
1	0.0033	0.003	2	300	3	51.50	18393.10	96.80	5.26	3.43	20.93	100	4	1797431.63	2363392

Tabla 25. Diseño de las BRB-sentido Y.

Datos generales			Diseño núcleo								Diseño Camisa de Confinamiento				
Piso	deriva objetivo	deriva piso	N°	A _{imp}	e	l	K _{eff}	P _{ye}	Δ _{brace}	Δ _{frame}	Δ _y	b _c	e _c	I _{min}	I _c
s.u	s.u	s.u	u	mm ²	mm	mm	kN/m	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm ⁴	mm ⁴
7	0.0033	0.004	2	300	3	51.5	19476.8	96.8	4.97	4.03	24.6	100	4	362419	2363392
6	0.0033	0.005	2	300	3	51.5	19476.8	96.8	4.97	4.03	27.8	100	4	701834	2363392
5	0.0033	0.005	2	300	3	51.5	19476.8	96.8	4.97	4.03	31.5	100	4	988008	2363392
4	0.0033	0.006	2	300	3	51.5	19476.8	96.8	4.97	4.03	34.2	100	4	1220940	2363392
3	0.0033	0.006	2	300	3	51.5	19476.8	96.8	4.97	4.03	34.4	100	4	1400630	2363392
2	0.0033	0.005	2	300	3	51.5	19476.8	96.8	4.97	4.03	30.2	100	4	1527079	2363392
1	0.0033	0.003	2	300	3	51.5	17055.6	96.8	4.97	4.03	21.4	100	4	2090388	2363392

3.4.2. Secciones de los elementos Estructurales Finales

En la **Tabla 26 a 28** se muestra las secciones finales de los elementos estructurales, dando como resultado cambios en su geometría en comparación con las de pórtico convencional, debido a que las diagonales BRB contribuyen con la rigidez estructural.

Tabla 26. Secciones vigas – concreto armado.

Vigas Centrales y Borde		
Piso	b	h
s.u	mm	mm
1--4	300	400
5--6	300	400
7	250	300

Tabla 27. Secciones columnas – concreto armado.

Columnas Centrales y Borde		
Piso	ancho	profundidad
s.u	mm	mm
1--4	400	450
5--7	350	400

Tabla 28. Secciones columnas centrales y de borde - acero estructural.

	Piso	b	h	t
	s.u	mm	mm	mm
Columnas Centrales (HSS 16x16x1/2)	1 - 7	406	406	12.7
Columnas de Borde (HSS 12x12x1/2)	1 - 7	304.8	304.8	12.7

3.4.3. Resultado de periodos de vibración

Los periodos de vibración obtenidos no sobrepasan al rango máximo Tm2, como se puede ver en la **Tablas 29**.

Tabla 29. Periodos de vibración – concreto armado.

	Modos	Periodo (T _a)	Dirección	Control
Estructura Concreto Armado con BRB	1	0.959	x	OK
	2	0.948	y	OK
	3	0.685	z	OK
Estructura Acero Estructural con BRB	1	0.924	x	OK
	2	0.912	y	OK
	3	0.64	z	OK

3.4.4. Porcentaje de participación modal

El porcentaje de participación de masa en el modo 5 es mayor al 90 % como se aprecia en las **Tablas 30 y 31**.

Tabla 30. Análisis modal – concreto armado.

Modo	Periodo	UX	UY	SUMX	SUMY	RZ
1	0.959	0.83	0	0.831	0.0031	0.0165
2	0.948	0	0.84	0.834	0.8424	1.3E-6
3	0.685	0.02	0	0.849	0.8425	0.8324
4	0.326	0.1	0	0.951	0.8447	0.002
5	0.323	0	0.11	0.954	0.9501	2E-5
.
21	0.05	0	0	1	1	0.0008

Tabla 31. Análisis modal - acero estructural.

Modo	Periodo	UX	UY	SUMX	SUY	RZ
1	0.924	0.79	0.01	0.789	0.01	0.0123
2	0.912	0.01	0.8	0.801	0.81	5.5E-6
3	0.64	0.01	0	0.812	0.81	0.821
4	0.281	0.11	0	0.927	0.82	0.0017
5	0.279	0	0.11	0.930	0.93	3.5E-6
.
21	0.029	0.0001	4.7E-6	1	1	0.0004

En los modos 1 y 2 presenta menos el 5 % de rotación y el modo 3 mayor al 50 %, dando como resultado una estructura idónea para el diseño, como se puede ver en **Tablas 32 y 33**.

Tabla 32. Porcentaje de participación de masa - concreto armado.

PORCENTAJE PARTICIPACIÓN DE MASA (%)			
Modo	X	Y	Z
1	97.80	0.37	1.65
2	0.38	99.63	0.00
3	1.84	0.01	83.24

Tabla 33. Porcentaje de participación de masa - acero estructural.

PORCENTAJE PARTICIPACIÓN DE MASA (%)			
Modo	X	Y	Z
1	97.17	2	1.23
2	1.62	98	0.0005522
3	1.40	0	82.1

3.4.5. Resultado de Derivas

Cumple con la deriva máxima establecida por la normativa, como se aprecia en las **Figuras 13 a 14**.

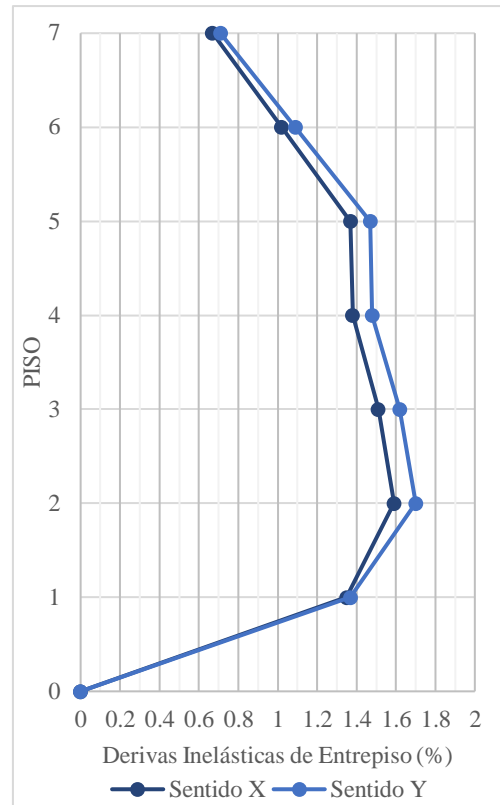


Figura 13. Derivas en sentido x-y - concreto armado

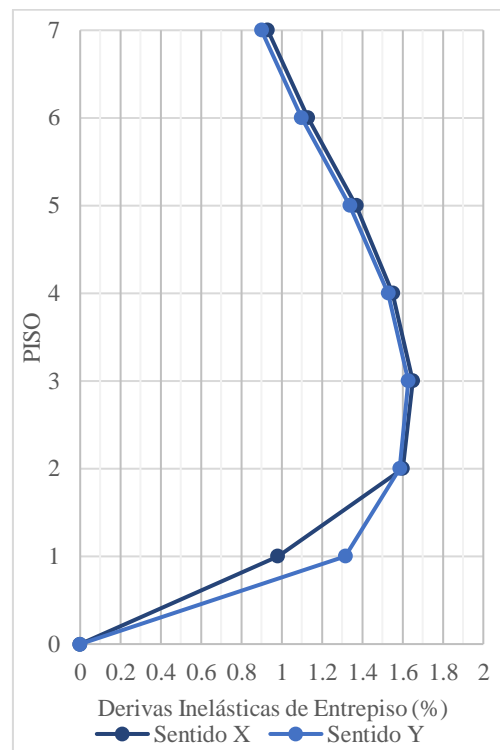


Figura 14. Derivas en sentido x-y – acero estructural

3.5. Resultado de Cantidades de obra y Cuantificación de Costos.

Una vez que se han cumplido los requisitos del análisis sísmico, se continuó con el diseño y dibujo de planos de los elementos estructurales, con el objetivo de, obtener la cuantificación de cantidades de obra y costos de las edificaciones como se puede apreciar en la **Tabla 34 y Figura 15**.

Tabla 42. Costo total de la estructura de concreto armado y acero estructural de pórtico convencional y con BRB.

Estructura Descripción	Concreto Armado pórtico convencional		Concreto Armado con BRB		Acero Estructural pórtico convencional		Acero Estructural con BRB	
	Cantidad	Costo (\$)	Cantidad	Costo (\$)	Cantidad	Costo (\$)	Cantidad	Costo (\$)
Hormigón f'c=24MPa	275 m ³	\$38,497.25	246 m ³	\$34,437.54	132.18 m ³	\$18,504.37	98.35 m ³	\$13,768.25
Hormigón simple en Replantillo f'c=18Mpa	5 m ³	\$599.95	4 m ³	\$479.96	5.13 m ³	\$615.46	2.30 m ³	\$275.79
Bloque alivianamiento (200x150x400) mm	5443 u	\$3,864.53	5443 u	\$3,864.53	-	-	-	-
Acero de refuerzo fy=240Mpa	39296 kg	\$77,020.16	36409 kg	\$71,361.64	5001.51 kg	\$9,802.96	304.499 kg	\$596.82
Malla electrosoldada (100x100x5) mm (MALLA R-196)	999 m ²	\$6,703.29	1013 m ²	\$6,797.23	1009.56 m ²	\$6,774.10	954.26 m ²	\$6,403.05
Acero Estructural A-36, INC. Montaje con Grúa	-	-	-	-	65534.07 kg	\$215,607.1	68171.27 kg	\$224,283.48
Nova losa Galvan.50 ESP:0.65	-	-	-	-	861.576 m ²	\$9,809.04	908.29 m ²	\$10,340.84
Riostras de Pandeo Restringido (BRB)	-	-	28 u	\$17,688.49	-	-	28 u	\$10,932.74
COSTO TOTAL		\$126,685.18		\$134,629.39		\$261,113.01		\$266,600.98

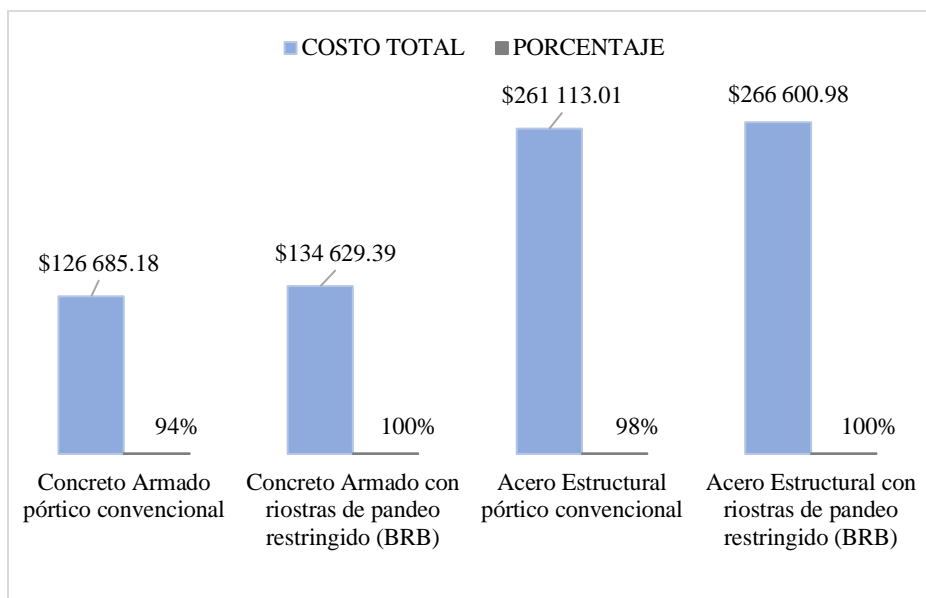


Figura 15. Costo y porcentaje de las Estructuras

4. Conclusiones

Se pudo constatar que al emplear las BRB se vio afectado directamente los periodos de vibración y derivas de piso de las estructuras, de tal manera que, estos elementos contribuyeron con la rigidización de las mismas, dando como resultado secciones de vigas y columnas más livianas comparadas con la de pórtico convencional, por ende, una menor carga para el diseño de las zapatas en la cual se obtuvo dimensiones más pequeñas.

En cuanto a los costos totales de las estructuras de pórtico convencional y con Riostras de Pando Restringido; en concreto armado y acero estructural se obtuvo una diferencia del 6 % y 2 % respectivamente, dando como resultado un porcentaje irrelevante en comparación a los beneficios que deriva al estar usando este tipo de disipador.

Al momento de calcular las BRB, se diseñó para una deriva objetivo (nivel de daño leve), la

cual asegura que después del evento sísmico la ocupación de las edificaciones sea de forma inmediata, siendo uno de los beneficios, ya que, el costo de reparación sería el mínimo comparado con las estructuras de pórtico convencional que únicamente se diseñan para salvaguardar la vida humana.

Para el diseño de las BRB, se impuso áreas mayores a las calculadas, con el propósito que el disipador se active antes que el edificio se deforme, de esta manera, se asegura que los daños provocados por el sismo solo afecten a los disipadores, reduciendo los costos en reparaciones después del evento.

Se pudo concluir que, una BRB tiene más capacidad a compresión que a tensión al contrario de una diagonal convencional, la cual no soportan cargas a compresión haciendo que el elemento falle por pando lateral.

Referencias

- [1] S. Hussain, P. V. Benschoten, M. A. Satari y S. Lin, "Buckling Restrained Braced Frames (BRBF) Structures: Analysis, Design and Approvals Issues," in *Proceedings of the 75th SEAOC Annual Convention*, Long Beach, 2006.
- [2] P. Clark, I Aiken, K Kasai "Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices," PROCEEDINGS, 68th ANNUAL CONVENTION, SANTA BARBARA, CALIFORNIA STRUCTURAL ENGINEERS ASSOCIATION OF CALIFORNIA, OCTOBER 1999.
- [3] F. J. Crisafulli, "Diseño sismoresistente de construcciones de acero," ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ACERO, Argentina 2018.
- [4] W. A. López, R. Sabelli, "*Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames*," Structural steel educational council technical information & product service, Jul. 2004
- [5] R. A. Cancelado, "Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostramiento de pandeo restringido," Tesis Magister, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2012.
- [6] Norma ecuatoriana de la construcción, "NEC-SE-CG Cargas (no sísmicas)" *Normativa ecuatoriana de la construcción*, 2015, [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>
- [7] Norma ecuatoriana de la construcción, "NEC-SE-HM Estructuras de Hormigón Armado " *Normativa ecuatoriana de la construcción*, 2015, [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- [8] American Institute of Steel Construction, "Seismic Provisions for Structural Steel Building (ANSI/AISC 360-10)", Am Steel Inst Steel, Chicago, 2010.
- [9] ASTM, "Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings," 2018, doi:10.1520/E2126-11R18.2.
- [10] R. M. Amanta, "Mapa de microzonificación geotécnica en subsuelo de la parroquia de Calderón, Distrito Metropolitano de Quito, a escala 1:65 000," Trabajo de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Feb. 2020.
- [11] *Steel Construction Manual*, American Institute of Steel Construction Inc., United States of America, 3ra Ed, 2005.
- [12] American Institute of Steel Construction, "Seismic Provisions for Structural Steel Building (ANSI/AISC 341-10)", Am Steel Inst Steel, Chicago, 2010.
- [13] *Placa colabroante Kubilosa KUBIEC*, Placa colabroante Kubilosa KUBIEC, pp. 2-3, 2023.
- [14] Norma ecuatoriana de la construcción, "NEC-SE-DS Peligro sísmico" *Normativa ecuatoriana de la construcción*, 2015, [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [15] *Earthquake Loss Estimation Methodology. Technical Manual*, Earthquake Loss Estimation Methodology, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, 2003.
- [16] *ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, ASCE Standard, 2016.

- [17] *CoreBrace superior seismic performance*, CoreBrace superior seismic performance, pp 1-2, 2020.
- [18] American Institute of Steel Construction, "Seismic Provisions for Structural Steel Building (ANSI/AISC 341-16)", Am Steel Inst Steel, Chicago, 2016.
- [19] R. A. Kersting, L. A. Fahnestock y W. A. López, "Seismic Design of Steel Buckling Restrained Braced Frames," NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 11, NIST GCR 15-917-34, Sep. 2015.
- [20] Norma ecuatoriana de la construcción, "NEC-SE-AC Estructuras de Acero" Normativa ecuatoriana de la construcción, 2015, [Online].
Available:
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/9.-NEC-SE-AC-Estructuras-de-Acero.pdf>