

VULNERABILIDAD SISMICA

ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACION Y RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA ANTE LAS CARGAS DE SERVICIO

Al realizar un levantamiento arquitectónico de la estructura y hacer una inspección detallada de los elementos que conforman la edificación se puede observar que esta posee un sistema estructural aporticado de concreto reforzado de alturas 2.80m y 5.25m, posee cerchas metálicas que soportan correas y teja. El objetivo de esta observación es verificar los requerimientos de carga y solicitaciones de carga a la luz de la norma NRS-10.

El estado actual de la estructura desde el punto de vista de la durabilidad por acciones de intemperismo es buena, se observa que posee buena resistencia el concreto, además no se observan barras de acero de refuerzo fuera del concreto. Adicionalmente, no se observan fisuras por acciones de sobrecargas o acciones de servicio de la estructura, la cimentación se encuentra constituida por zapatas superficiales superficial, por tal motivo y dadas las condiciones topográficas del terreno no hay amenazas por movimientos de remoción en masa o asentamientos diferenciales.

Dado que la edificación ha estado en contacto directo del sol y agua (intemperie), la mampostería y pañetes arquitectónicos se sufren de intemperismo, por lo cual se presentan suciedades en estos elementos.

ELABORCION DEL MODELO.

Inicialmente se elaboró la geometría del modelo de la estructura de la casa La Paz. La estructura deberá tener una capacidad moderada de disipación de energía, por lo que se agrupa en la categoría DMO.

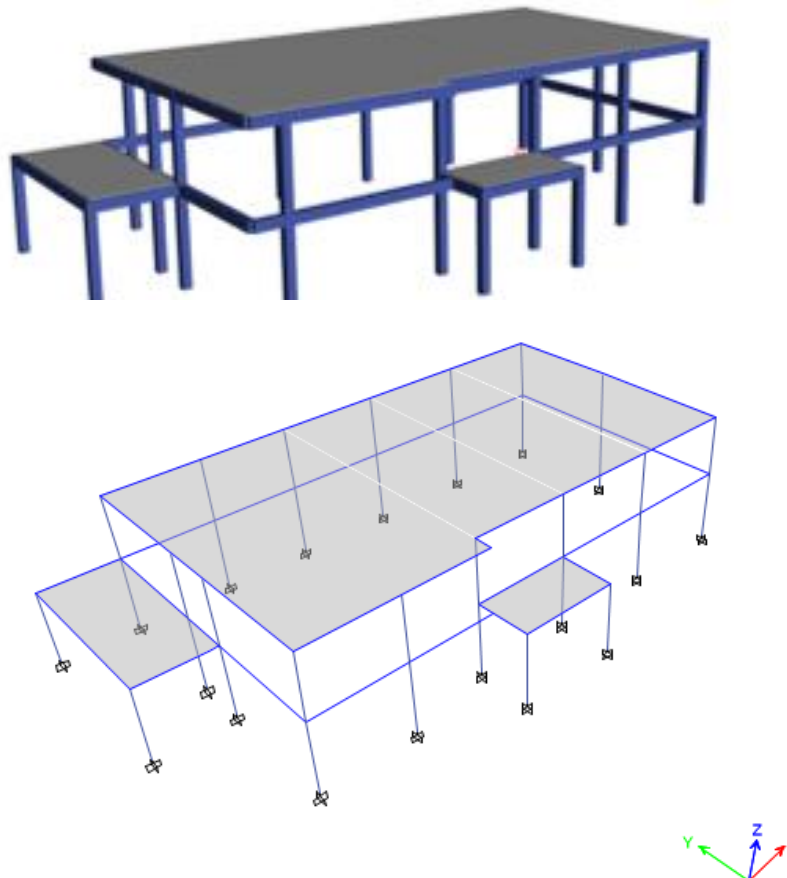
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE CÁLCULO

Para llevar a cabo el diseño estructural:

Con base en la información arquitectónica se identifica el sistema estructural más adecuado luego de una evaluación tanto en planta y altura de la estructura y uso permitido de acuerdo a la sismicidad, luego se realiza la geometría en el modelo de computador con el sistema estructural adoptado (ETABS 2015 0.0.) y se asignan propiedades de los materiales. Se identifican los usos de la edificación (cargas vivas), se hacen avalúos de carga muerta y otras solicitaciones. Se realiza el análisis sísmico, para ello se identifican características del sitio (perfil de suelo) y características sísmicas del sector de construcción, con lo anterior se determina el método de análisis y diseño sísmico, capacidad de disipación de energía de la estructura y distribución de fuerzas sísmicas en altura (estáticas o dinámicas). Se asignan las solicitaciones anteriores y combinadas como dice el código (NSR-10) se hallan los desplazamientos para el chequeo de derivas; luego se reducen los efectos sísmicos teniendo en cuenta la capacidad de disipación de energía y las irregularidades en planta y altura y ausencia de redundancia con lo que se obtienen las fuerzas de diseño. Con las fuerzas anteriores se diseñan todos los elementos estructurales para al final obtener un detallamiento que cumpla tanto requisitos de resistencia como requisitos de ductilidad y demás requisitos que exige el código.

SOLICITACIONES EQUIVALENTES, ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

Se ha realizado un análisis estructural para obtener las solicitaciones y secciones que garantizan el cumplimiento de la normativa vigente. Se realizó el siguiente modelo estructural 3D donde se puede observar con facilidad la configuración estructural de la edificación.



Para llevar a cabo el diseño estructural se utilizo como base informacion arquitectonica obtenida, con esto se identifica el sistema estructural mas adecuado luego de una evaluacion tanto en planta como en altura de la estructura ademas de el uso permitido de acuerdo a la sismicidad, luego se realiza la geometria del modelo de computadora con el modelo estructural adoptado (ETABS 2015.0.0) y se asignan las propiedades de los materiales, luego de eso se asigna el uso de la estructura (para las cargas vivas), se realizan los avaluos de carga como se puede observar a continuacion.

Asignación de Cargas al Modelo.

Para hacer un análisis al comportamiento de la estructura se debe tener en cuenta dos tipos de solicitaciones: las cargas verticales y cargas horizontales. Las cargas verticales como el peso propio de la estructura y la carga viva, y las cargas horizontales hace referencia a la acción de un eventual sismo.

Tabla B.4.2.1-2
Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Nota-1 — La carga viva de la cubierta no debe ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando esta tenga uso mixto, tal carga debe ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos.

Tabla B.3.4.3-1
Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectúe un análisis más detallado

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m ²) m ² de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
Oficinas	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
Educativos	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
Fábricas	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
Institucional	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías	2.0	1.6	200	160
Comercio	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
Residencial	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
Almacenamiento	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
Garajes	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Según la NSR-10, se determinan los parámetros de carga muerta y carga viva según la ocupación de la edificación. Posterior a esto, se introducen las combinaciones de carga para los elementos estructurales y las solicitaciones de servicio de entrepiso. Las combinaciones de carga fueron introducidas en el software Etabs 2015.0.0. Se incluyen los diferentes tipos de combinaciones de carga incluyendo la de sismo Según la NSR-10 en su Título B, Sección B.2.3.

Combinaciones para el chequeo de derivas:

DERX	1.0F_{sx}
DERY	1.0F_{sy}

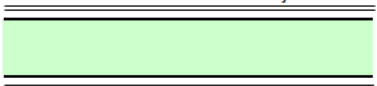
Combinaciones para el diseño de elementos estructurales:

DIS1	1.4D + 1.4F
DIS2	1.2D + 1.6L + 1.2F
DIS3	1.2D + 0.5L + 1.0E_x + 0.3E_y + 1.2F + 1.6H
DIS4	1.2D + 0.5L + 1.0E_y + 0.3E_x + 1.2F + 1.6H
DIS5	0.9D + 1.0E_x + 0.3E_y + 1.6H
DIS6	0.9D + 1.0E_y + 0.3E_x + 1.6H

Combinaciones de servicio entrepisos:

SER1	1.0D
SER2	1.0D + 1.0L + 1.0F

Se realizo un avalúo de cargas adicional para elementos como tejas, estructura metálica de sostén para la teja, la mampostería y demás cubiertas livianas.

Teja			
			
Cargas uniformemente distribuidas entrepiso		K_g/m²	KN/m²
Teja		10	0.10
Estructura metalica de cubierta		25	0.25
		35	0.35
Cargas uniformemente distribuidas entrepiso sobre vigas		K_g/m	KN/m
Mampostería bloque de arcilla		500	5.00
Cargas vivas uniformemente distribuidas		K_g/m²	KN/m²
Cubiertas livianas		50	0.50

(B.4.1. NSR-10)

Ejecución del análisis

Obtención del nivel de amenaza sísmico y los valores A_a y A_v

De acuerdo con la información del capítulo A.2 de la N.S.R.10 la edificación se encuentra en una zona donde:

El valor del coeficiente de aceleración pico efectiva es  $A_a = 0.30$

El valor del coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva es  $A_v = 0.15$

Para determinar los movimientos sísmicos de diseño del proyecto, se ha tenido en cuenta los siguientes factores:

Tipo de perfil de suelo

Para establecer el tipo del perfil de suelo se siguen los parámetros del título A.2.4 de la N.S.R.10 de acuerdo con el procedimiento establecido en el estudio geotécnico de la zona, se establece el tipo de suelo del proyecto como **Tipo de Perfil D**

Coeficiente de Diseño

De las tablas correspondientes del mismo título de la N.S.R.-10 se establecen los siguientes valores de diseño

Ubicación proyecto:	Pitalito	
Amenaza sísmica:	Alta	
Tipo de suelo:	Perfil tipo D	
Método de análisis:	Fuerza Horizontal equivalente	
Material estructural:	Concreto reforzado	
sistema de resistencia sísmica:	PRM	(A.3.5 NSR-10)
sistema de resistencia carga vertical:	PRM	(A.3.5 NSR-10)
Capacidad de disipación de energía:	Capacidad Especial DES	(A.3.5 NSR-10)
Coeficiente de capacidad de disipación de energía R:	7.0	(Tabla A.3-3 NSR-10)
Coeficiente de sobre resistencia de la estructura Ω:	2.5	
Altura de la edificación h_n:	5.25 m	
Número de pisos:	1.0	
Parámetros espectrales:		
$A_s =$	0.30	(Tabla A.2.3-2 NSR 10)
$A_v =$	0.15	(Tabla A.2.3-2 NSR 10)
$F_s =$	1.20	(Tabla A.2.4-4 NSR-10/Microzonificación)
$F_v =$	1.80	(Tabla A.2.4-4 NSR-10/Microzonificación)
$I =$	1.25	(Tabla A.2.5-1 NSR-10)
$A_d =$	0.08	
	$T_c =$	0.38
	$T_L =$	4.56
	$S_a(T \leq T_c) =$	1.13
	$S_a(T_c < T \leq T_L) =$	$0.43 / T$
	$S_a(T > T_L) =$	$1.95 / T^2$

Coefficiente de Importancia

Teniendo en cuenta el uso de la edificación, el proyecto se encuentra en el grupo que conforma las edificaciones de uso institucional, por lo tanto, el valor del coeficiente de importancia es $I = 1.25$

Período fundamental de la vivienda

Se debe tomar las instrucciones del título A.4.2.2 de la N.S.R-10 para evaluar las fuerzas sísmicas a introducir en el modelo matemático.

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Periodo fundamental y ajuste de cortante basal:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{modal}} &= 0.280 \text{ seg} & (\text{A.4.2-3 NSR-10}) \\
 T_a = C_t h_n^{\alpha} &= 0.209 \text{ seg} & \text{Convergencia} = 25.3\% \\
 T \leq C_u T_a &= 0.29 \text{ seg} & (T_{\text{modal}} \leq T_c) & (\text{A.4.2-2 NSR-10}) \\
 S_a &= 1.125 \\
 V_b = S_a g M &= 887.63 \text{ KN} = 88.76 \text{ Ton} \\
 k &= 1.00
 \end{aligned}$$

Ajuste de resultados:

(A.4.2.3 NSR-10)

$$\begin{aligned}
 V_b \text{ estático} &= 887.6 \text{ KN} & \text{Ajuste al } 90\% &= 798.9 \text{ KN} \\
 V_{bx} \text{ dinámico} &= 680.0 \text{ KN} \\
 V_{by} \text{ dinámico} &= 660.0 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

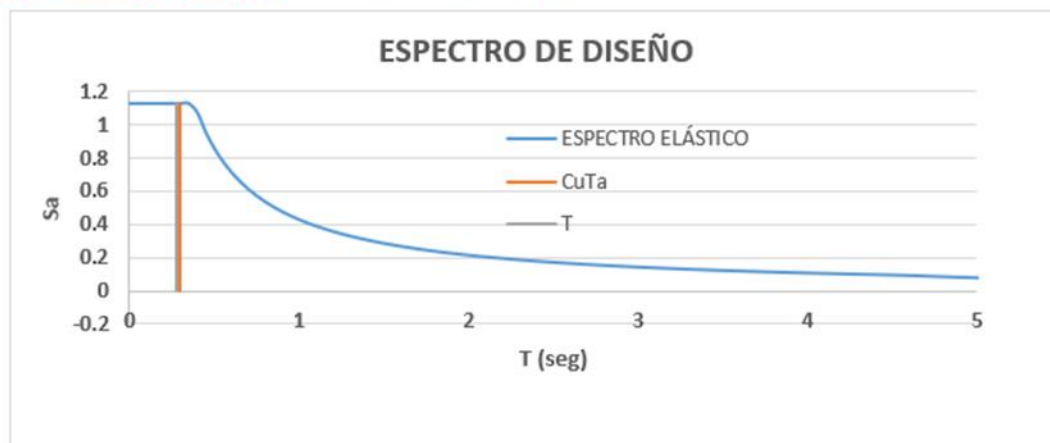
				g (mm/s²)	g*I/R
Factor de ajuste en X:	1.17	11524.77	aprox =	11525	3049
Factor de ajuste en Y:	1.21	11874.00	aprox =	11875	3142

Espectros de diseño

Definición del espectro elástico de aceleraciones de diseño a la luz de la NSR-10

Espectro elástico de diseño:

(A.2.6-1 NSR-10)



Configuración estructural:

(A.3.6 NSR-10)

	En X		En Y	
Irregularidad en planta:	$\phi_p =$	0.9	$\phi_p =$	0.9
Irregularidad en altura:	$\phi_a =$	1.0	$\phi_a =$	1.0
Ausencia de redundancia:	$\phi_r =$	0.75	$\phi_r =$	0.75
Coeficiente de capacidad de disipación de energía para diseño:				

(A.3.3.3 NSR-10)

$$R_x = \phi_p \phi_a \phi_r R_0 = 4.73$$

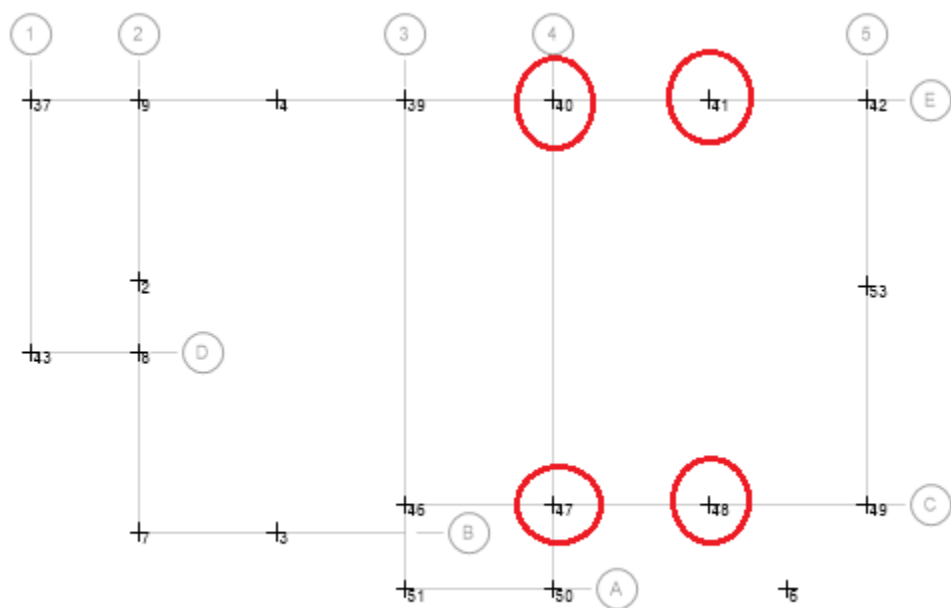
$$R_y = \phi_p \phi_a \phi_r R_0 = 4.73$$

Resultados de derivas

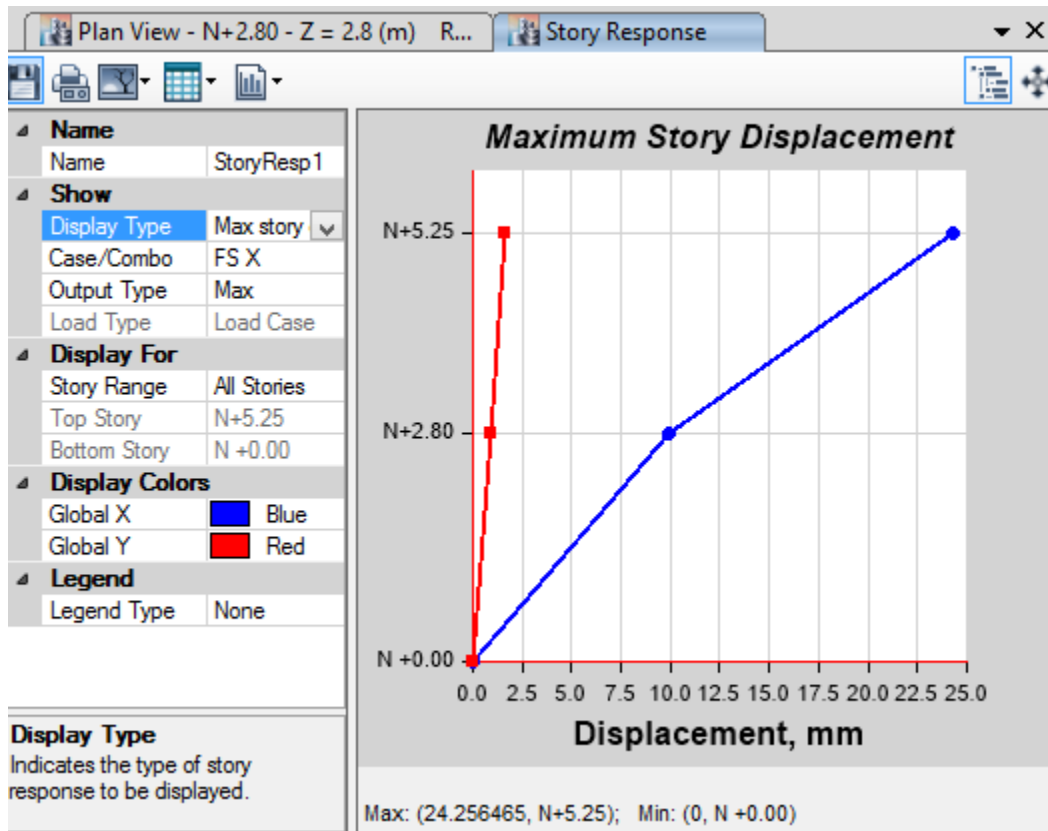
Dado que la deriva es un desplazamiento lateral que existe entre dos niveles o pisos consecutivos al aplicar fuerzas sísmicas se cómo la diferencia entre los desplazamientos de la flecha del nivel (i) y la del nivel (i-1) y luego se divide entre la altura de piso.

Además, hay que tener en cuenta que la norma NSR-10 requiere que, la deriva máxima sea menor a 1% de la altura de piso; se evalúan los desplazamientos producidos para los niveles con respecto al centro de masas y estos superan los permitidos por la norma.

Plano en planta del modelo



Desplazamientos máximos de la estructura



Derivas

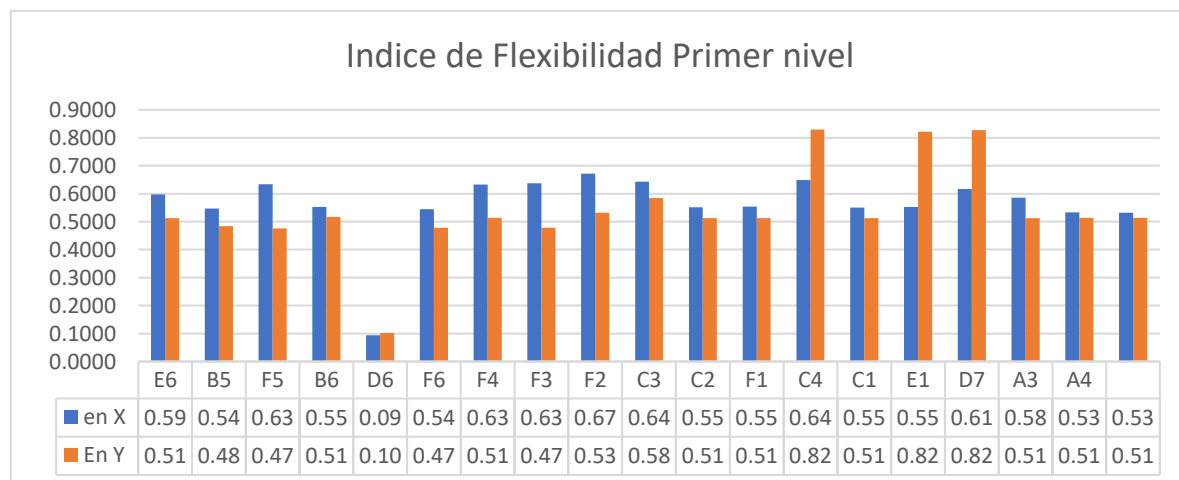
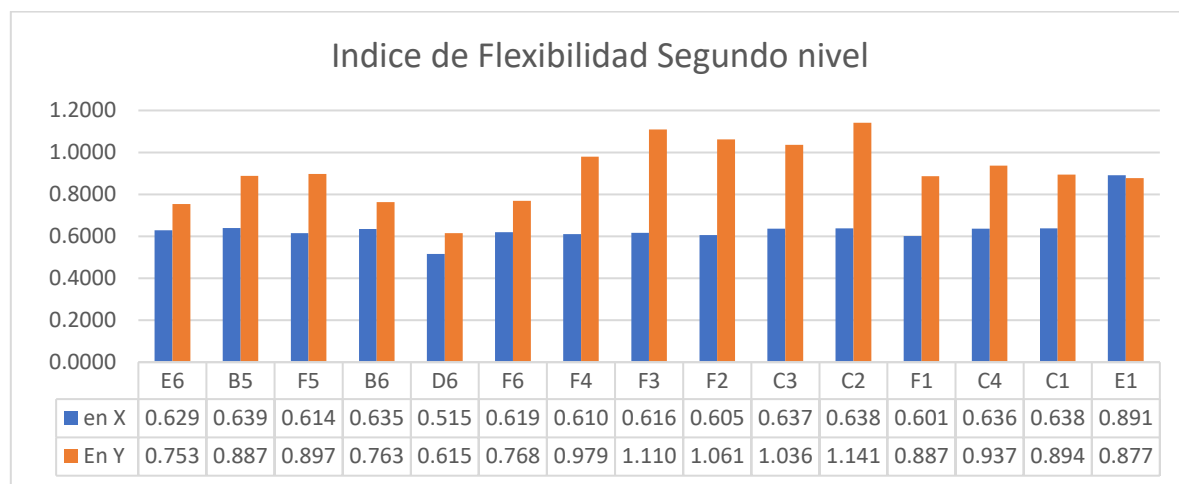
Tabla 1 Extraída del software Etabs 2015

Story	Load Case/Combo	Label	Item	Drift	X m	Y m	Z m
N+5.25	Dead	7	Max Drift X	3.3E-05	-6.2	10.53	5.25
N+5.25	Dead	9	Max Drift Y	7E-05	-6.2	21.73	5.25
N+5.25	FS X 1	53	Max Drift X	0.005836	12.66	16.9	5.25
N+5.25	FS X 1	49	Max Drift Y	0.000329	12.65	11.24	5.25
N+5.25	FS X 2	53	Max Drift X	0.005797	12.66	16.9	5.25
N+5.25	FS X 2	42	Max Drift Y	0.000341	12.66	21.73	5.25
N+5.25	FS Y 1	9	Max Drift X	0.001392	-6.2	21.73	5.25
N+5.25	FS Y 1	41	Max Drift Y	0.009858	8.6	21.73	5.25
N+5.25	FS Y 2	9	Max Drift X	0.000902	-6.2	21.73	5.25
N+5.25	FS Y 2	40	Max Drift Y	0.008985	4.53	21.73	5.25
N+2.80	Dead	39	Max Drift Y	1.7E-05	0.69	21.73	2.8
N+2.80	FS X 1	53	Max Drift X	0.003557	12.66	16.9	2.8
N+2.80	FS X 1	43	Max Drift Y	0.00031	-9	15.18	2.8
N+2.80	FS X 2	53	Max Drift X	0.003535	12.66	16.9	2.8
N+2.80	FS X 2	53	Max Drift Y	0.000286	12.66	16.9	2.8
N+2.80	FS Y 1	42	Max Drift X	0.000551	12.66	21.73	2.8
N+2.80	FS Y 1	42	Max Drift Y	0.008119	12.66	21.73	2.8
N+2.80	FS Y 2	42	Max Drift X	0.000129	12.66	21.73	2.8

Story	Load Case/Combo	Label	Item	Drift	X m	Y m	Z m
N+2.80	FS Y 2	42	Max Drift Y	0.007213	12.66	21.73	2.8

Índice de Flexibilidad

El índice de flexibilidad es el rango de movimiento que tiene la estructura para desplazarse sin causar daño a los elementos estructurales. Para calcular este valor se tiene en cuenta que el proyecto o estructura tiene dos niveles y alturas distintas por lo cual se hace necesario calcular los desplazamientos por elemento.



Índice Flexibilidad			
Nivel	Promedio	Máximo	Mínimo
Segundo	0.77	1.14	0.51
primero	0.55	0.8	0.09

Donde se define el índice de flexibilidad de la estructura como el máximo índice de piso **If= 1.14**, donde este valor significa que la estructura se desplaza 14% más de lo permitido por la norma (no chequea derivas), Se recomienda intervenir con un reforzamiento estructural con columnas encamisadas o muros de carga, haciendo contraprestación a su eje débil “y” para compensar los desplazamientos.

Índices de sobre esfuerzo

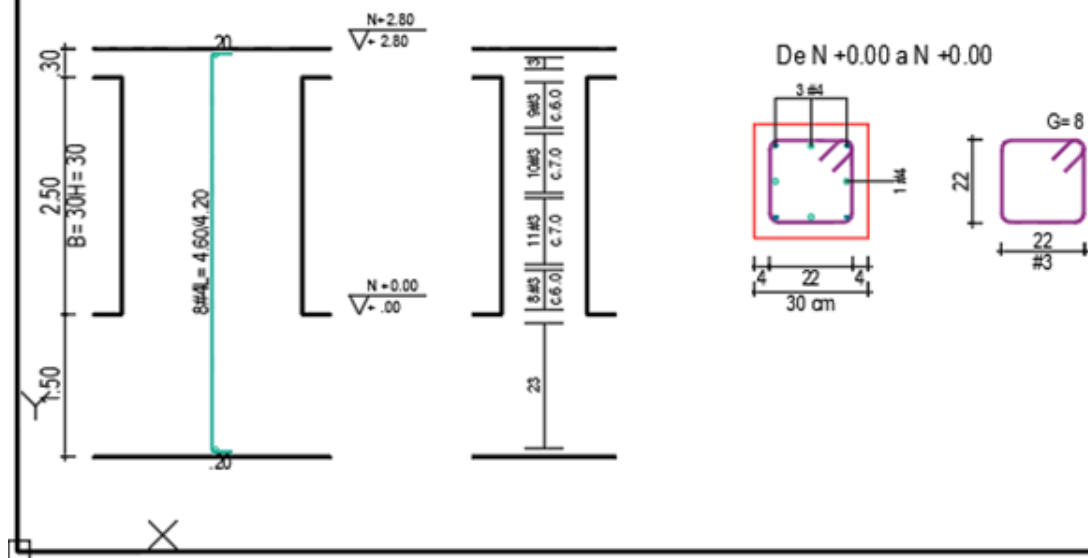
El índice de sobre esfuerzo se determina según la nsr-10 como el cociente entre las solicitaciones mayoradas y la resistencia efectiva del elemento, para evaluar resistencia de los elementos para soportar cargas sin colapsar.

Para calcular este parámetro o índice primero se evalúa la estructura con respecto a calidad de diseño y estado de la edificación, para extraer los coeficientes ϕ_c y ϕ_e , para el caso del proyecto se califica como “**Buena** “donde ambos coeficientes equivalen a 1.0 **según la NSR-10 Tabla A-10.4-1.**

Para el diseño de vigas según la envolvente, se determina que cumple con la cuantía mínima para edificaciones en zona de amenaza sísmica **ALTA**, y disipación de energía especial **DES**, la cual para su refuerzo longitudinal es 2#5 tanto arriba como abajo y separación de estribos o flejes a 0.075 m.

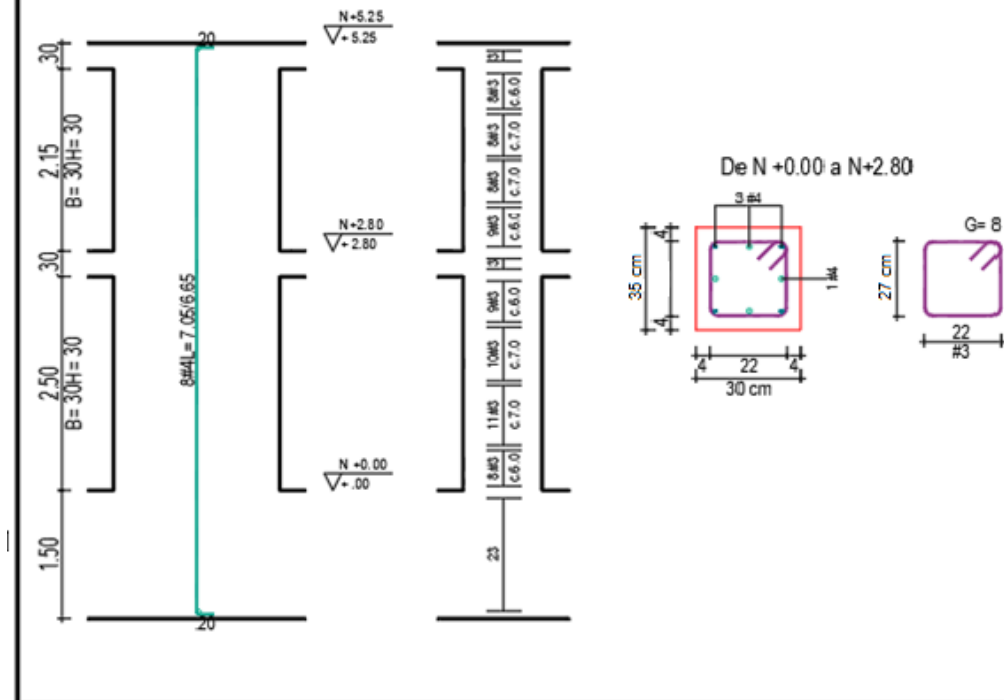
Se realiza los detalles de lo elementos columnas y se tipifican.

Son 4 Columnas

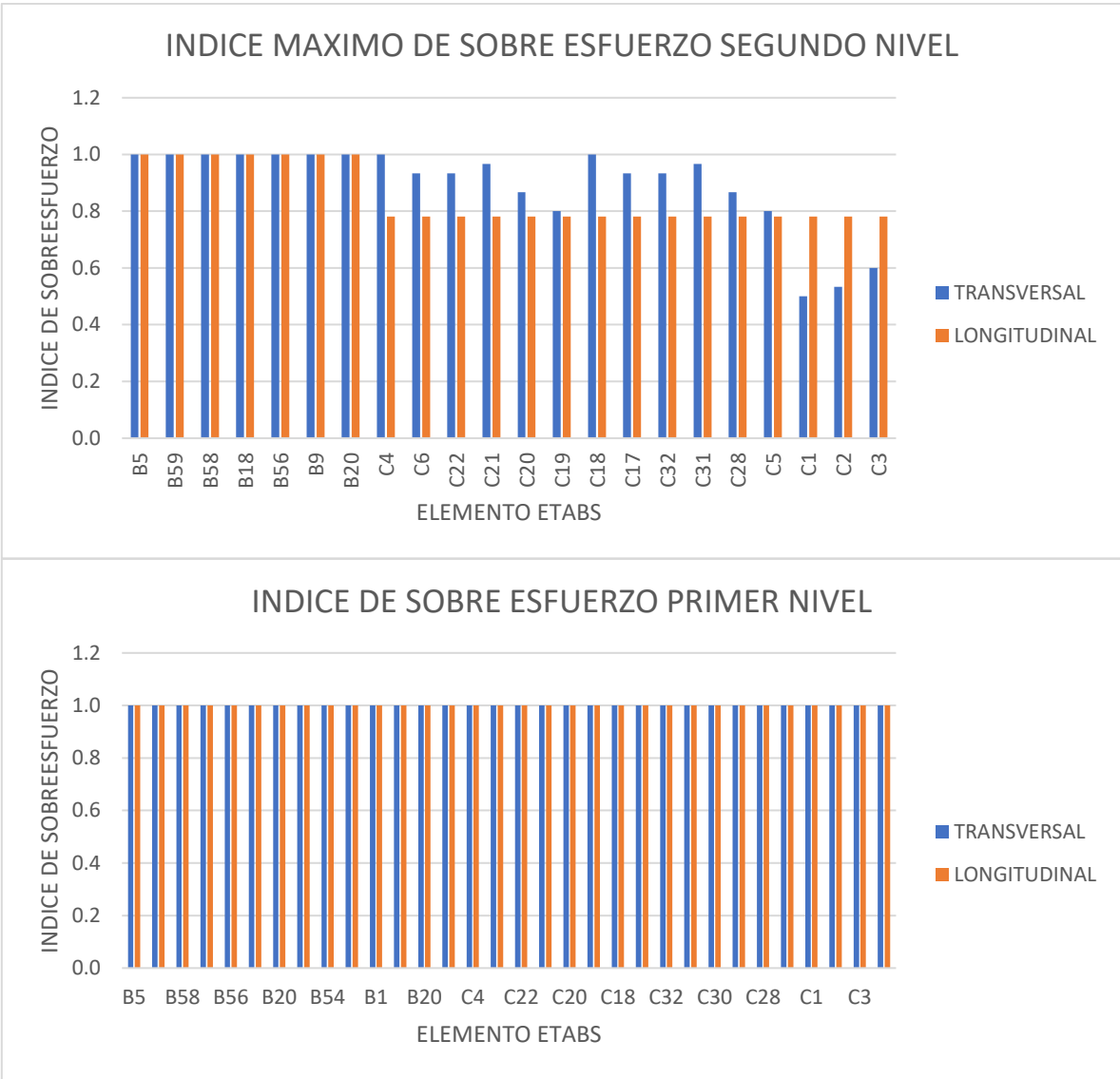


C1,C2,C3,C4,C5,C6,C28,C22,C31,C21,C32,C20,C17,C18,C19

Son 15 Columnas



Con el anterior análisis, se obtienen los despieces adjuntos que muestran el acero requerido. Para cada una de las secciones y su futuro reforzamiento.



Sobreesfuerzo		
Nivel	Promedio	Máximo
Segundo	0.87	1
primero	1	1

Vulnerabilidad sísmica

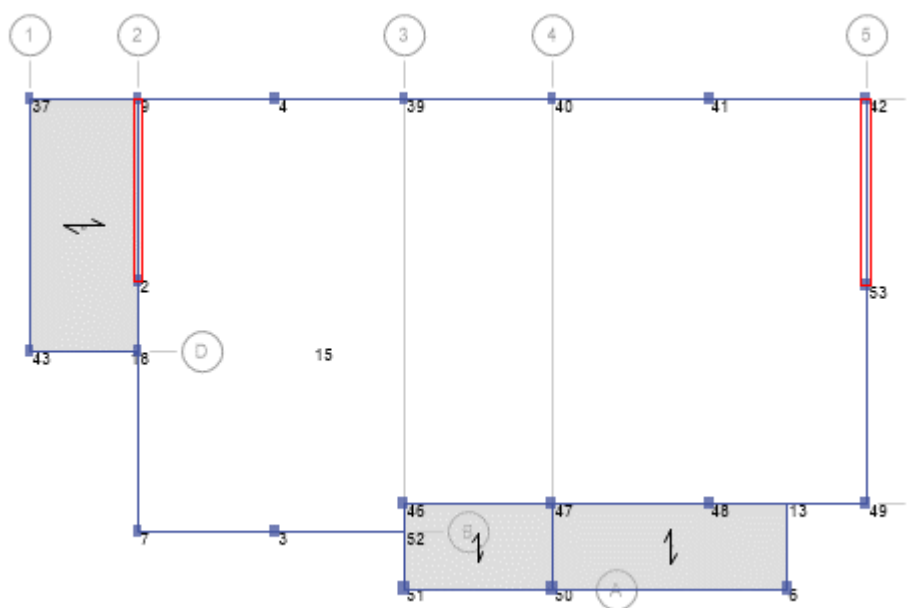
Los resultados obtenidos de resistencia con el índice de sobre esfuerzo y rigidez por el índice de flexibilidad responden al cómo se encuentra o funciona la estructura, teniendo en cuenta que el índice de sobre esfuerzo sobre pasa los limites permitido por la norma NSR-10, es superior a 1.0, se requiere una modificación en la estructura para reducir estos valores y tener un mejor resultado o comportamiento estructural.

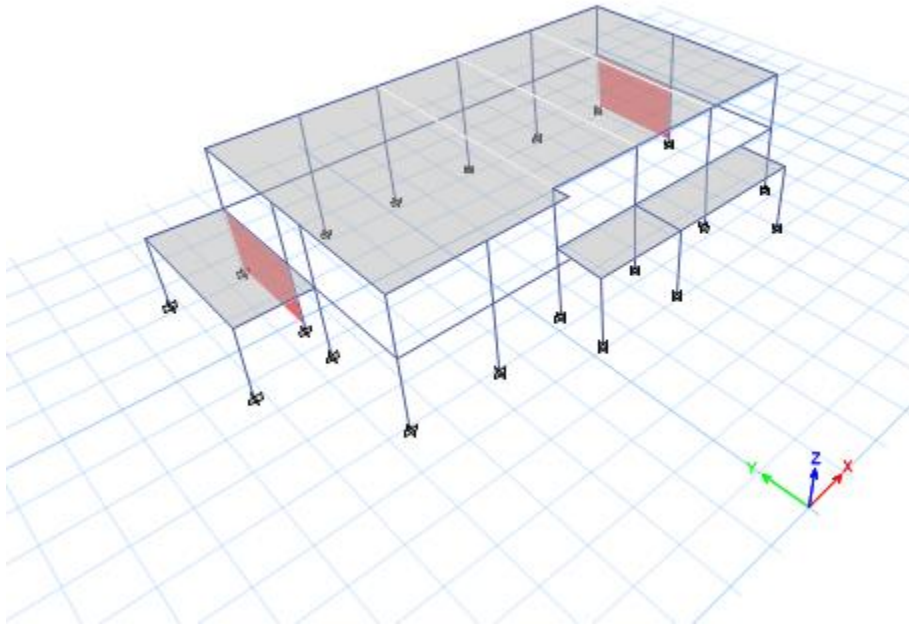
INDICE DE FLEXIBILIDAD	INDICE DE SOBRESFUERZO	%RIGIDEZ	RESISTENCIA
1.14	1.00	0.88	1.00

De acuerdo a la hipotesis de falla, se puede suponer que tendria inicio en el segundo nivel ya que presenta la mayor deriva y perdida en su capacidad para no colapsar ante fuerzas sismicas, daño de elementos no estructurales.

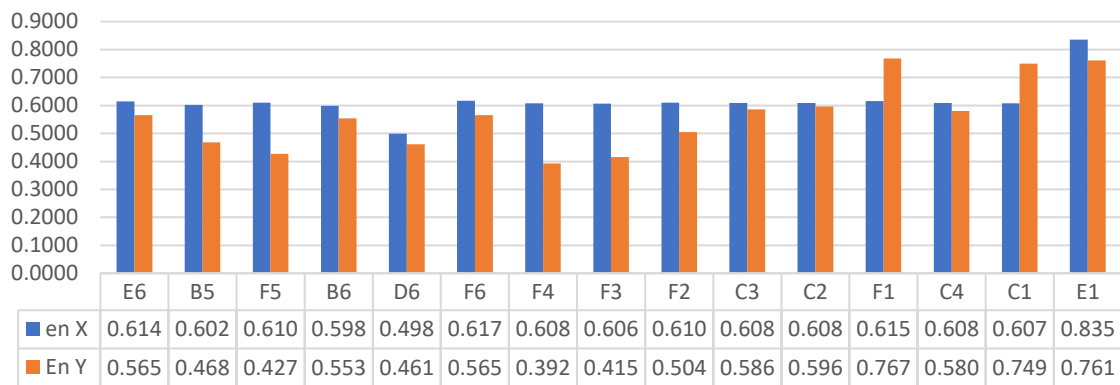
INTERVENCION 1

Se propone la construccion de muros de carga, para rigidizar la estructura y hacer contraparte a los movimientos horizontales o sismo en Y .

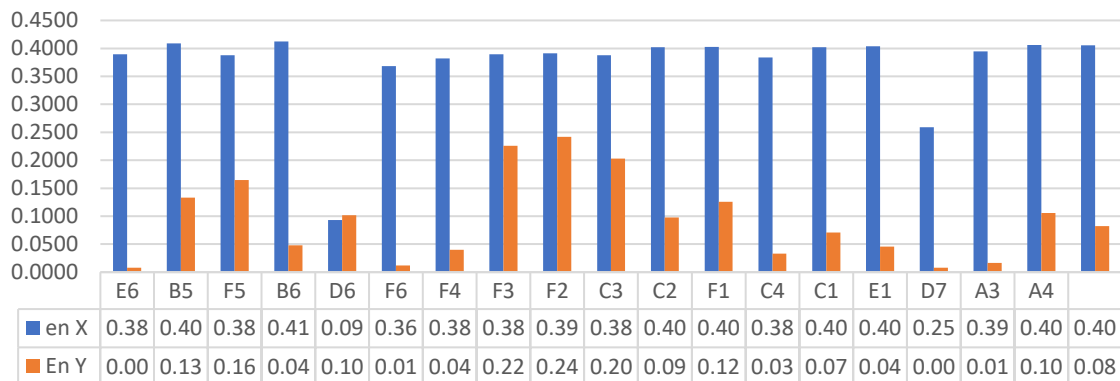




Indice de Flexibilidad Segundo nivel



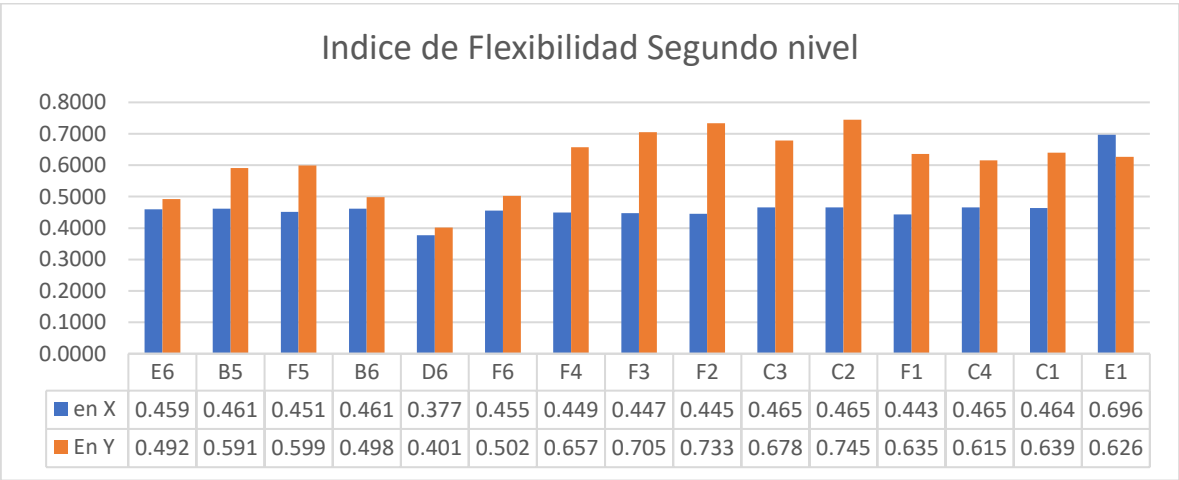
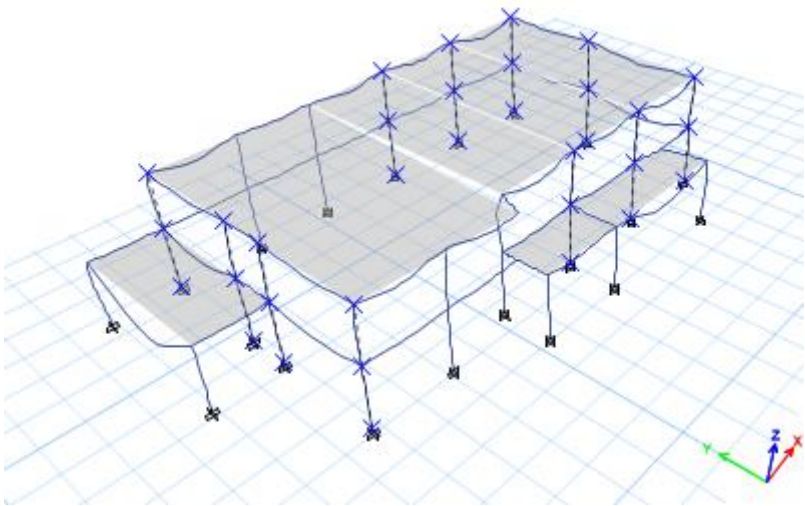
Indice de Flexibilidad Primer nivel

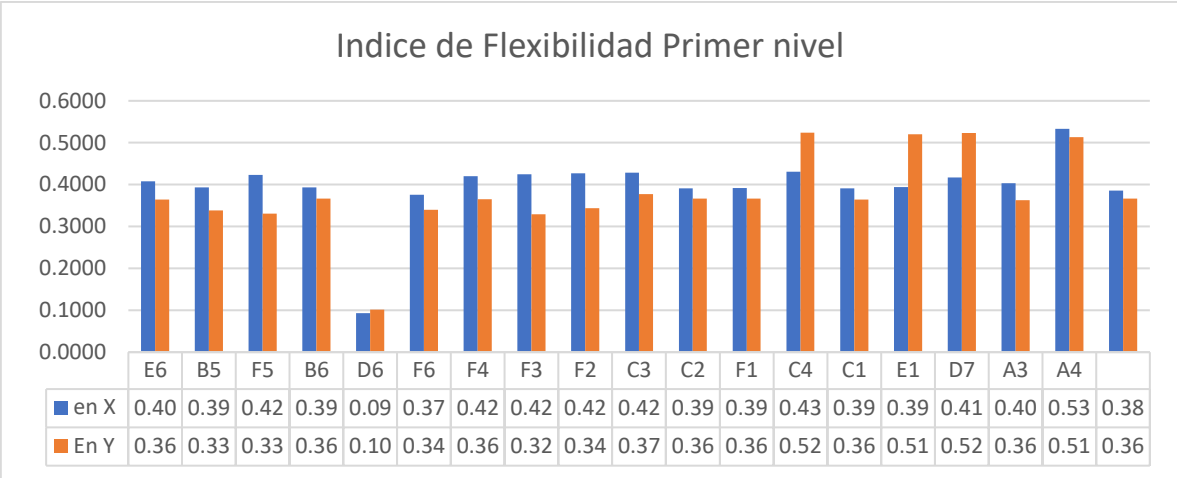


Índice Flexibilidad			
Segundo	0.59	0.84	0.52
primero	0.23	0.41	0.01

Intervencion 2

Se propone la reforzamiento con encamisado de columnas 38*33 cm, para rigidizar la estructura y hacer contraparte a los movimientos horizontales o sismo en Y .





Encamisado de columnas Índice Flexibilidad			
Segundo	0.54	0.78	0.38
primero	0.39	0.52	0.09