

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería en Construcción**

Indicadores para discretización de solicitaciones últimas para el diseño local de elementos estructurales de concreto reforzado.

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Yazmín Méndez Brenes

Cartago, Diciembre 2019.

### CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Miguel Peralta Salas, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Mauricio Carranza Solano, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



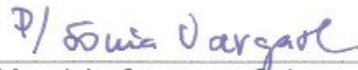
Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director



Ing. Miguel Peralta Salas.  
Profesor Guía



Ing. Ángel Navarro Mora.  
Profesor Lector



Ing. Mauricio Carranza Solano.  
Profesor Observador

**Indicadores para discretización de solicitaciones últimas para el diseño local de elementos estructurales de concreto reforzado.**

# Abstract

This project consists in the estimation of percentage indicators that allow optimizing the local design process of reinforced concrete structures, based on the analysis of different buildings. It seeks empirical values that allow to know the resistance of existing buildings, while, in the case of new buildings, their implementation may represent fewer conservative designs.

An analysis of the structural models of each project is carried out to know its conformation and last requests, in order to determine the most critical areas to make classification of the structural elements from this information, and based on statistical methods such as hypothesis tests by proportions and distribution graphs, establish relationships between the data to obtain the final product.

In general, between 40% -50% of the beams present in a building should be designed for 40% of the maximum load of the solicitation of interest; while, for the columns, about 50% -60% could be designed for 40% of the maximum load, and these structural elements would continue to fulfill their efficient and safe function, only that they would imply a lower cost.

**Keywords:**

Local design, beams, column, indicators, ranges, last requests.

# Resumen

Este proyecto consiste en la estimación de indicadores porcentuales que permitan optimizar el proceso del diseño local de estructuras de concreto reforzado, basados en el análisis de diferentes edificaciones. Se busca contar con valores empíricos que permitan conocer la sobrerresistencia que poseen los edificios ya existentes, mientras que, para el caso de edificios nuevos, su implementación puede representar diseños menos conservadores.

Se lleva a cabo un análisis de los modelos estructurales de cada proyecto para conocer su conformación y solicitaciones últimas, con la finalidad de determinar las zonas más críticas y realizar una clasificación de los elementos estructurales a partir de esta información, y tomando como base métodos estadísticos como pruebas de hipótesis por proporciones y gráficas de distribución, establecer relaciones entre los datos para obtener el producto final.

En general se tiene que entre un 40%-50% de las vigas presentes en una edificación deberían diseñarse para un 40% de la carga máxima de la solicitation de interés; mientras que, para las columnas, cerca de un 50%-60% podría diseñarse para en 40% de la carga máxima, y dichos elementos estructurales seguirían cumpliendo con su función eficiente y segura, solo que implicarían un costo menor.

**Palabras clave:**

Diseño local, vigas, columnas, indicadores, rangos, solicitaciones últimas.

# **Indicadores para discretización de solicitaciones últimas para el diseño local de elementos estructurales de concreto reforzado.**

YAZMÍN MÉNDEZ BRENES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Octubre del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco teórico .....	6
Metodología .....	12
Resultados .....	21
Análisis de los resultados .....	52
Conclusiones.....	57
Apéndices .....	59
Anexos .....	104
Referencias .....	106

# Prefacio

En Costa Rica, el incremento de la industria de la construcción es sustancial para su desarrollo socioeconómico, por lo que el diseño de elementos estructurales de concreto reforzado es de gran importancia ya que se requiere que la estructura sea capaz de desempeñar una función eficiente, segura y económica; sin embargo, dada la creciente complejidad de las obras que se ha presentado en los últimos años, se ha recurrido a la necesidad de optimizar el proceso de diseño, principalmente, con el fin de disminuir sobrecostos al tener un mayor aprovechamiento de los materiales según sus características estructurales, y con ello, evitar el sobre diseño de elementos sismorresistentes, así como alcanzar una disminución en los desechos producidos.

Se debe tener claro que normalmente en la elaboración de un diseño se toma en consideración el elemento más crítico presente en la edificación, es decir, el que tiene la mayor magnitud en las solicitaciones últimas, por lo que se realizan los diferentes diseños tomando como base dicho elemento, asegurándose que los demás componentes de la estructura serán capaces de resistir las acciones aplicadas, lo cual implica en la mayoría de las veces, una resistencia adicional respecto a la que realmente deben soportar en la estructura.

Por esta razón surge la necesidad de realizar un estudio en el cual se desea obtener datos de la estimación de indicadores que permitan optimizar los diseños, tomando como base proyectos previamente desarrollados por diferentes profesionales, son proyectos desarrollados por la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica, la cual se caracteriza por ser una oficina asesora de la Rectoría cuyo objetivo principal es contribuir al desarrollo del Tecnológico de Costa Rica, por medio de la ejecución de nuevos proyectos de edificaciones, infraestructura y modernización del espacio físico; esto se realiza para determinar si existen elementos estructurales que se han diseñado con

una capacidad mayor que la que realmente requieren para soportar la carga aplicada.

Lo que se quiere lograr con este proyecto es la estimación de indicadores porcentuales tomando como base las solicitaciones últimas de vigas y columnas, los cuales pueden funcionar como una referencia que se puede implementar en el diseño local de los elementos de concreto reforzado con el propósito de diseñar dichos elementos justamente para la carga a la que estarán expuestos.

De esta manera, se aporta a la Escuela de Ingeniería en Construcción información relevante en cuanto a la realidad con la que se realiza el diseño de estructuras, lo cual puede generar cambios importantes en la futura planificación de proyectos.

## Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría, fortaleza y entendimiento necesario durante todo el proceso, a mis padres Margarita Brenes Alfaro y Jose Manuel Méndez Molina por su amor incondicional, su apoyo, por confiar y creer siempre en mis capacidades, a mi hijo Gael Artavia Méndez por ser mi mayor motivación y ser esa luz que me enseñó que no hay que rendirse. A Johnny Artavia Navarro por el apoyo brindado y por estar siempre a mi lado, y a mis hermanos por acompañarme en cada paso y apoyarme incondicionalmente.

Quiero agradecer al Tecnológico de Costa Rica por brindarme una enseñanza de calidad, principalmente a la Escuela de Ingeniería en Construcción y profesores que la integran.

Agradezco a mi profesor guía, el Ing. Miguel Peralta Salas por darme la oportunidad de recurrir a sus conocimientos para mi orientación, por su paciencia, apoyo y consejos.

A la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica, por darme la oportunidad de desarrollar mi proyecto en dicho departamento.

# Resumen ejecutivo

Este proyecto de graduación forma parte del plan de estudios correspondiente a la carrera de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica, para optar por el grado de Licenciatura.

La finalidad de este proyecto concurrió en realizar un estudio general de ocho edificaciones desarrolladas por la Oficina de Ingeniería, con base en vigas y columnas de concreto reforzado. En primer lugar, se estudia cada uno de los edificios con el fin de conocer características importantes, cantidad y tipos de elementos por los que está conformado, así como la ubicación de estos, para ello se debe analizar los modelos realizados en SAP2000, así como los planos correspondientes.

De acuerdo con el alcance del trabajo se buscaba calcular indicadores de corte, flexión, torsión y flexo-compresión que ayuden a discretizar (separar) la cantidad de elementos por diseñar, en el diseño local de elementos de concreto reforzado. Específicamente, se realiza una discretización de los elementos, donde se obtiene la magnitud máxima de las solicitaciones tanto gravitacionales como dinámicas, y mediante rangos porcentuales establecidos por la Oficina, fue posible determinar las cargas correspondientes a dichos rangos, para ubicar posteriormente, los diferentes elementos estructurales de acuerdo con el valor de solicitación última obtenido; esto brindará a la Oficina de ingeniería una visión de la magnitud real de algunos elementos, respecto a la carga a la que estarán sometidos.

La situación económica mundial se ha caracterizado por tener un mercado cada vez más competitivo y globalizado, por lo que se han motivado técnicas de optimización estructural en los diferentes diseños. Muchas veces, la seguridad y la reducción de costos son objetivos contrapuestos en cualquier proceso de diseño, sin embargo, es posible diseñar estructuras que sean óptimas y que a la vez cumplan con los requisitos de seguridad especificados; por esta

razón, con este estudio se busca brindar indicadores porcentuales que puedan ser aplicados a futuras edificaciones que cumplan con las características que poseen las edificaciones analizadas, para realizar diseños de vigas y columnas más optimizados a partir de la magnitud máxima que se presenta en la edificación.

Mediante la utilización de pruebas de hipótesis por proporciones se pudo determinar que no hay evidencia suficiente para indicar que existen diferencias significativas respecto a las proporciones de los datos, producto del análisis individual de cada edificación, para cada uno de los elementos estructurales que la conforman, por ello, las pruebas de distribución permiten aglomerar todos los datos resultantes a través de percentiles para establecer el valor más probable de ocurrir en una situación específica, el cual, en este caso está determinado de manera integral ya que contempla todas las edificaciones.

Adicionalmente, se realizó la validación de los indicadores porcentuales mediante el rediseño de vigas y columnas de una estructura existente, respetando las normas establecidas en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-10) y documento de Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14, cuyo propósito es comprobar que el producto final de este proyecto funciona para el diseño de una estructura, con la diferencia que se pueden realizar los diseños más cercanos a la realidad que se van a enfrentar, lo cual implica una menor cantidad de material para la ejecución de dichos elementos estructurales..

Los resultados indicaron que la mayoría de los elementos estructurales estudiados pueden diseñarse para un 40% de su carga máxima, en lugar de utilizar como base el 100% de dicha carga que posee un mismo tipo de elemento. Asimismo, con la validación del método se demostró que estos indicadores cumplen con la resistencia requerida de forma satisfactoria tanto en vigas como en columnas, en los cuáles



fue posible observar la reducción de la cantidad de acero necesaria para que sean funcionales. Cabe destacar que, para el caso de las columnas a través de los diagramas de interacción, se pudo observar la reducción significativa de las solicitaciones últimas al poner en práctica los indicadores.

Es importante mencionar que incrementar el tamaño de la muestra es una de las recomendaciones con el fin de que el estudio sea más representativo desde el punto de vista estadístico, así como hacer uso de los indicadores porcentuales en una estructura ya existente, con la salvedad de variar las dimensiones lo cual implicaría a su vez, variaciones en el modelo estructural, por lo tanto, varía la dinámica de la estructura.

# Introducción

Actualmente, el conocimiento respecto al comportamiento y diseño de los miembros estructurales ha permitido avances notables en el campo de estructuras de concreto reforzado, uno de ellos son los métodos de optimización.

La optimización de estructuras para construcciones sismoresistentes, implica minimizar el costo total de la construcción. La metodología de diseño actual provee distintas formas de resolver los problemas, sin embargo, las soluciones generadas no siempre resultan las más adecuadas, debido a la cantidad de variables de diseño involucradas. Amparados en el ámbito de la confiabilidad estructural se plantean distintas formas de resolver problemas complejos, obteniendo soluciones cercanas a las óptimas.

Según Chartres, (2000), la optimización estructural moderna se basa en la formulación de un problema que busca por ejemplo la minimización de una cierta función objetivo (peso estructural, concentración de tensiones, costo), por lo que indica que es necesario la “generación de un modelo de optimización,; esto es, la definición de la estructura a través de un conjunto de variables de diseño que determinan sus propiedades, de forma que pueda realizarse su análisis mediante un determinado procedimiento de cálculo estructural y obtener así la información necesaria para el planteamiento del problema de optimización (tensiones, desplazamientos, etc.)”. Por ello, es preciso el desarrollo y aplicación de otras técnicas asociadas a la optimización estructural cuyo objetivo es simplificar la solución del problema o aportar información de mayor calidad que facilite este objetivo.

Toda estructura ingenieril debe cumplir una serie de requisitos de forma que desarrolle una prestación satisfactoria a lo largo de su vida útil, dentro de estos requisitos se tienen que se debe realizar un diseño por resistencia y un diseño por servicio, para que la estructura no

colapse o llegue a ser insegura, y que al mismo tiempo cumpla con requisitos funcionales. La resistencia de un elemento se determinaba de forma tal que excediera el valor requerido con un cierto margen, pues esto se considera como una medida de seguridad en la estructura, siempre y cuando este margen no genere mucha sobrerresistencia al elemento pues la estructura sería menos rentable.

Para la Oficina de Ingeniería es relevante realizar un estudio tomando como base proyectos ya desarrollados, con el fin de determinar la sobrerresistencia de los elementos estructurales correspondientes a vigas y columnas, y establecer una metodología que pueda optimizar dichos diseños.

El siguiente informe tiene como producto, indicadores porcentuales para solicitaciones últimas, tanto gravitacionales como dinámicas aplicables a vigas y a columnas. Se muestran las cantidades de elementos que deberían diseñarse en diferentes rangos de carga establecidos, tomando como base la magnitud máxima de solicitación última encontrada. Se busca que estos indicadores puedan ser aplicados en futuros diseños con el fin de no exceder en gran magnitud la resistencia que requiere cada elemento.

## Objetivo General

Calcular indicadores de corte, flexión, torsión, compresión y flexo-compresión que ayuden a discretizar la cantidad de elementos a diseñar en el diseño local de elementos de concreto reforzado.

## Objetivos Específicos

1. Obtener las solicitaciones últimas de vigas y columnas de concreto reforzado, obtenidas de los modelos estructurales existentes.
2. Establecer distintos rangos de solicitaciones para diferentes diseños de un mismo elemento.
3. Determinar los parámetros probabilísticos para el diseño de los elementos estructurales según el rango de solicitaciones encontrado.
4. Realizar la validación de la metodología propuesta para comprobar su utilidad, rediseñando una edificación ya existente.

# Marco teórico

## Solicitaciones últimas

Cuando se habla de solicitaciones se hace referencia al resultado final obtenido de una combinación de carga.

En este caso, el análisis se hará para solicitaciones últimas gravitacionales o estáticas y solicitaciones últimas dinámicas o sísmicas.

## Solicitaciones gravitacionales

Se conforman por la resultante combinada de cargas estáticas. Las cargas que componen este tipo de solicitaciones son las cargas permanentes y cargas temporales, donde según el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-10), las cargas permanentes son “los pesos propios de elementos constructivos, sean estos estructurales o no, tales como vigas, columnas, muros, particiones livianas, techos, etc. “mientras que la carga temporal corresponde a “la carga gravitacional adicional a la carga permanente, debida a la ocupación del edificio.” (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2010).

El Código sísmico de Costa Rica establece las siguientes combinaciones con las cuales se puede estimar las solicitaciones últimas gravitacionales que actúan sobre la estructura que pertenecen a esta clasificación:

$$CU= 1.4 CP$$

$$CU= (1.2 CP + 1.6 CT) + 1.6 CE$$

## Solicitaciones dinámicas

Implican las resultantes combinadas de cargas estáticas con cargas dinámicas las cuales actúan sobre la estructura en forma repentina, variando su magnitud y ubicación durante el transcurso del tiempo, entre ellas se encuentran la carga de viento, cargas de empuje y la carga sísmica. La carga sísmica se considera la más importante ya

que es capaz de reproducir los valores de las acciones internas causadas por la solicitación sísmica que actúa en la base del edificio o estructura.

De acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica las combinaciones últimas dinámicas que actúan sobre la estructura son las siguientes:

$$CU= 1.05 CP + f_1 CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 CP \pm CS + CE$$

La falta de un diseño cuidadoso, las fuerzas y los desplazamientos pueden concentrarse en partes de la estructura incapaces de proporcionar la resistencia o ductilidad adecuadas. El hecho de rigidizar un elemento para un tipo de carga puede incrementar las fuerzas en el elemento y cambiar el modo de falla de dúctil a frágil, por lo que la respuesta sísmica depende fuertemente de las propiedades geométricas de la estructura.

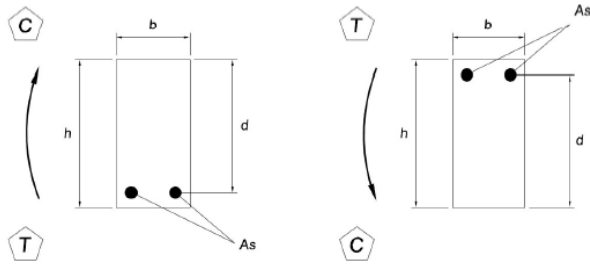
## Elementos estructurales

Se refiere a los componentes de una estructura que son capaces de brindar masa y rigidez; parámetros necesarios para la obtención de la dinámica estructural, en especial de los modos de vibración.

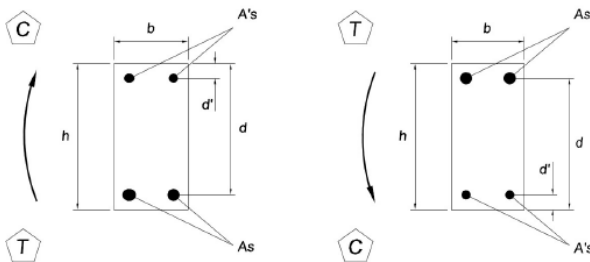
## Viga

Usualmente son miembros horizontales utilizados para soportar cargas verticales, su exigencia es torsión, flexión y cortante.

“Las cargas que actúan sobre las vigas son transversales al eje longitudinal de las mismas, son los elementos estructurales que transmiten las cargas tributarias de las losas de piso a las columnas verticales. Normalmente se cuelan de manera monolítica con las losas y están reforzadas estructuralmente en una cara, la parte más baja de tensión, o ambas caras superior e inferior.” (Alvarado, 2004)



**Figura 1:** Viga simplemente reforzada.  
**Fuente:** Chaverri, 2017.



**Figura 2:** Viga doblemente reforzada  
**Fuente:** Chaverri, 2017.

## Columna

Son miembros normalmente verticales utilizados para soportar cargas axiales, generalmente de compresión y transmite las cargas hacia la fundación. La falla de una columna representa mayor peligro para una estructura que la falla de una viga ya que afecta un área mayor y puede generar un fallo progresivo en la edificación.

La esbeltez es un aspecto que debe considerarse en el diseño de columnas, cuando se habla de columna esbelta se hace referencia a la relación del largo con respecto al ancho del elemento. Además, se debe tomar en cuenta si se trabaja con una columna arriostrada (se restringen los desplazamientos laterales), o no arriostrada (no hay restricción de desplazamientos laterales).

Para tomar en cuenta todas estas acciones en una columna esbelta, el ACI 318-14 establece el método de amplificación de momentos, que será el utilizado en este proyecto.

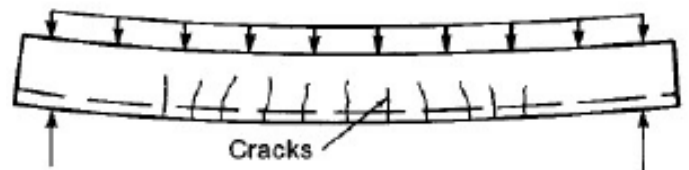
## Estructuras de concreto

Las estructuras se caracterizan porque al aplicar una carga en cualquier sitio de la estructura, produce deformaciones y esfuerzos sobre todos los elementos que conforman la misma. La determinación de las fuerzas y momentos flectores en cada punto de la estructura debido a las cargas externas se fundamenta por lo general en las teorías del análisis elástico, el cual supone que el material es elástico y obedece a la Ley de Hooke en todos los elementos, en el intervalo de carga considerado.

Con el fin de realizar los diseños para diferentes elementos estructurales se deben utilizar los métodos de resistencia última, los lineamientos del ACI-318S-14 se utilizan siempre y cuando no estén en contra de las disposiciones establecidas en el Código Sísmico de Costa Rica (2010), en caso de presentarse alguna diferencia se trabaja con lo estipulado en el CSCR (2010). Para el caso de vigas se realizará análisis por flexión, cortante y torsión, mientras que las columnas se analizarán por flexo-compresión y cortante.

## Flexión

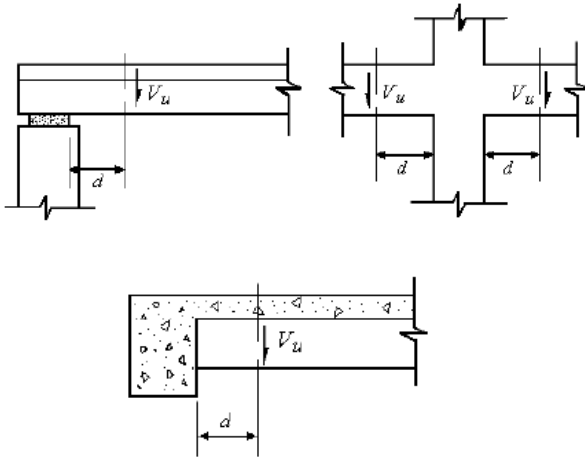
La flexión es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción, en el cual ocurre que mientras las fibras de una sección de la pieza están sometida a un esfuerzo de tracción (se alargan), las fibras de la sección opuesta se comprimen, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a flexionarse. Se debe proveer suficiente resistencia por flexión para no exceder los estados límites de falla correspondientes y al mismo tiempo, se deberá cuidar que los estados límites de servicio, como la deflexión máxima del elemento no excedan ciertos valores permisibles.



**Figura 3:** Efecto de la flexión en viga  
**Fuente:** McCormac, 2011

## Cortante

Se refiere al esfuerzo que actúa tangente a la sección. Generalmente se produce cuando se aplican fuerzas perpendiculares al elemento, haciendo que las partículas del material tiendan a desplazarse las unas sobre las otras. Los puntos sobre los que apoyan las vigas están sometidos a corte o cizallamiento.



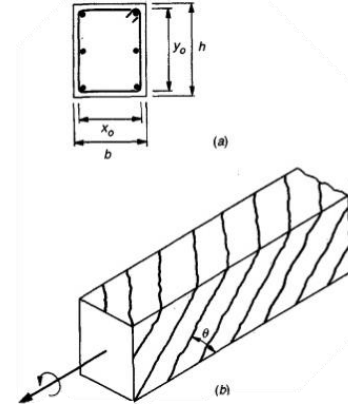
**Figura 4:** Secciones críticas para evaluación de la fuerza cortante factorizada.

**Fuente:** Alvarado, 2004

## Torsión

La torsión es la sollicitación que se presenta al aplicar una rotación sobre el eje axial de un elemento. Dichas fuerzas generan tensiones cortantes.

“Los miembros de concreto reforzado sometidos a grandes fuerzas de torsión pueden fallar repentinamente si no están provistos de refuerzos de torsión. La adición de este refuerzo de torsión no cambia la magnitud de la torsión que causa las grietas diagonales, pero impide que los miembros se rompan.” (McCormac, 2011)



**Figura 5** Viga de concreto reforzado bajo torsión

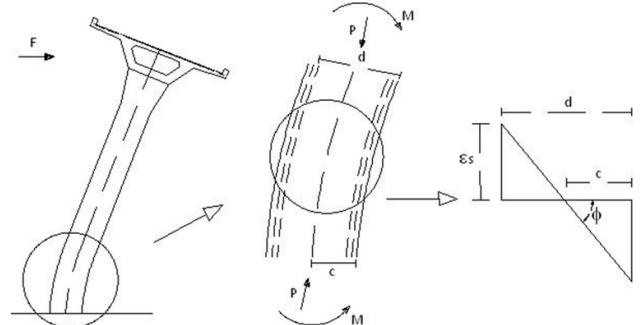
**Fuente:** Nilson A, 2001

## Flexo-compresión

Un elemento en flexocompresión se caracteriza porque la fuerza domina su comportamiento, puede estar sometido también a momentos flectores en uno o dos ejes principales

Según el CSCR-10 en su sección 8.3.1 indica que los elementos en flexo-compresión deben aplicarse a fuerzas axiales que exceden  $0.10f_c \cdot A_g$  en alguna de las combinaciones de carga en que participen las cargas sísmicas.

El diseño por flexo-compresión implica la creación de un diagrama de interacción para cada columna que se esté diseñando el cual, considera la variación de la resistencia de una columna con la combinación de fuerzas axiales y momento flector; en términos generales un “diagrama de interacción de resistencia define la carga y el momento de falla para determinada columna en el intervalo completo de excentricidades desde cero hasta infinito. Para cualquier excentricidad existe un solo par de valores de  $P_n$  y  $M_n$  que producirán un estado inminente de falla”. (Nilson, 2001).



**Figura 6** Deformación de una columna sometida a flexo-compresión.

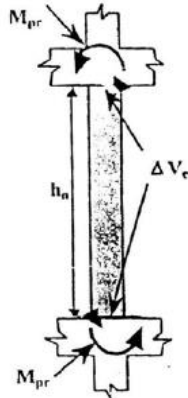
**Fuente:** Alvarado L., 2004

## Cortante y refuerzo transversal

El refuerzo transversal en las columnas tiene como propósito brindar confinamiento al núcleo de concreto de la columna y evitar que el acero longitudinal falle por pandeo ante cargas axiales relativamente altas. Además, si el refuerzo transversal tiene una separación relativamente pequeña, la carga axial que puede resistir la columna, se incrementa por la acción de confinamiento que este refuerzo brinda. Este refuerzo se puede hacer colocando aros individuales con cierto espaciamiento, cuya distancia debe ser calculada previamente.

El refuerzo transversal en la columna adquiere un papel más importante cuando la columna esté sometida a cargas laterales o fuerzas sísmicas intensas, ya que aparte del confinamiento, debe brindar una ductilidad adecuada para permitir la formación de rótulas plásticas en algunas zonas específicas de la estructura y así disipar energía durante el evento, lo que evitará el colapso general

Los requisitos del CSCR-10 para la capacidad en cortante establecen para elementos en flexión que la fuerza cortante de diseño no debe ser menor que el cortante último ( $V_u$ ) el cual resulta del análisis de la estructura, ni la correspondiente a un elemento con rótulas plásticas en sus extremos que produce una condición de doble curvatura.



**Figura 7:** Esquema para determinar la capacidad cortante de una columna

**Fuente:** Nilson A, 2001

## Análisis estadístico

Es parte del método científico que tiene como objeto la recolección, la organización, el análisis,

la interpretación y la representación de datos, la estimación de cantidades de población, el probar una hipótesis, la determinación de la exactitud en las estimaciones, cuantificación y estudio de la variación y el diseño de experimentos y reconocimientos; para finalmente tomar decisiones y resolver problemas; decisiones que implican un riesgo frente a la incertidumbre.

## Investigación cuantitativa

Se caracteriza porque en ella se obtienen y analizan datos cuantitativos sobre variables. Trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población la cual procede dicha muestra.

Una investigación cuantitativa se compone de las siguientes fases: fase conceptual, de planeación y diseño, empírica, que se refiere a la recolección de datos y preparación de estos para su análisis, fase analítica y la última es la fase de difusión, en la cual se comunican las observaciones y se realiza una aplicación de lo obtenido. (Fernández & Pértegas, 2002)

## Variables cuantitativas continuas

Son variables numéricas que surgen de un proceso determinado las cuales pueden tomar valores entre dos números enteros. Se caracteriza por producir datos que se pueden ordenar por tamaño o intensidad. (Fernández & Pértegas, 2002)

## Muestra

Es un subconjunto o parte representativo de la población que se obtiene y se usa para extraer conclusiones sobre la población. (Gutiérrez & Salazar, 2008)

## Media aritmética

La media es la medida de tendencia central utilizada con mayor frecuencia. Se determina al sumar todas las observaciones de un conjunto de datos, para luego dividir ese total entre el número

total de elementos involucrados. (Gutiérrez & Salazar, 2008)

## Desviación estándar

Mide la dispersión promedio en torno a la media aritmética, es decir, cómo fluctúan las observaciones mayores por encima de la media aritmética y cómo se distribuyen las observaciones menores por debajo de ella. (Gutiérrez & Salazar, 2008)

## Hipótesis estadística

Es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que es obtenida de la población.

A la expresión  $H_0$  se le conoce como hipótesis nula y  $H_A$  se le llama hipótesis alternativa, el nombre de hipótesis nula se deriva del hecho de que comúnmente se plantea como una igualdad, lo cual facilita el tener una distribución de probabilidad de referencia específica.

De acuerdo con Humberto Gutiérrez (2008), probar una hipótesis consiste en investigar si lo afirmado por la hipótesis nula es verdad o no. La estrategia de prueba parte del supuesto de que  $H_0$  es verdadera, y si los resultados de la investigación contradicen en forma suficiente dicho supuesto, entonces se rechaza  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa. En caso de que los resultados de la investigación no demuestren claramente la falsedad de  $H_0$ , ésta no se rechaza. Es decir, la hipótesis nula es verdadera mientras no se demuestre lo contrario.

## Riesgo de una decisión

Probar una hipótesis estadística es una decisión probabilística, por lo que existe el riesgo de cometer un error tipo I o un error tipo II. El primero ocurre cuando se rechaza  $H_0$  cuando ésta es verdadera, y el error tipo II es cuando se acepta  $H_0$  y ésta es falsa. En toda prueba de hipótesis cada tipo de error tiene una probabilidad de ocurrir. Con  $\alpha$  y  $\beta$  se denotan las probabilidades de los errores tipo I y II, respectivamente.

$\alpha = P\{\text{error tipo I}\} = \text{probabilidad de rechazar } H_0 \text{ siendo verdadera}$

$\beta = P\{\text{error tipo II}\} = \text{probabilidad de aceptar } H_0 \text{ siendo falsa}$

Utilizar  $\rho = \alpha = 0.05$  significa que por cada 100 veces independientes que se aplica el procedimiento y se rechaza  $H_0$ , se espera que, en un promedio de 95 veces, tal decisión sea la correcta.

## Estadístico de prueba

Cuando se plantea la hipótesis, es necesario tomar una muestra aleatoria de la población en estudio, el estadístico de prueba es un número calculado a partir de los datos y la hipótesis nula, cuya magnitud permite discernir si se rechaza o no la hipótesis nula  $H_0$ . Al conjunto de posibles valores del estadístico de prueba que llevan a rechazar  $H_0$ , se le llama región o intervalo de rechazo para la prueba, y a los posibles valores donde no se rechaza  $H_0$  se les llama región o intervalo de aceptación.

## Intervalo de confianza

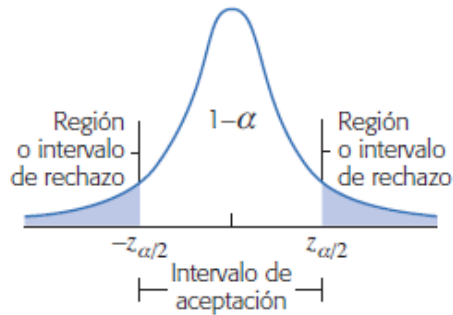
Hace referencia a una gama de valores posibles para un parámetro de la población basada en los datos de la muestra. Por ejemplo, cuando se utiliza un intervalo de confianza de un 95% significa que se puede estar 95% seguro de que la relación estadística que se está probando sucede de forma satisfactoria, en este caso la significancia sería de  $p=0.05\%$ , lo cual representa la frecuencia de ocurrencia del error de tipo I que se está dispuesto a aceptar.

Los intervalos de confianza se utilizan para hacer inferencias acerca de una o más poblaciones basándose en datos de la muestra y para cuantificar la precisión del estimado. (Gutiérrez & Salazar, 2008)

## Criterio de rechazo

En caso de que se logre probar que la hipótesis nula ( $H_0$ ) es verdad, el valor del estadístico de prueba debe caer dentro del rango de aceptación, es decir, el rango de valores más probables de su distribución asociada, por el contrario, si cae en una de las colas, es decir, fuera del rango de valores más probables, se deduce que está mal el supuesto de la hipótesis nula, por lo que  $H_0$  debe ser falsa.





**Figura 8:** Regiones de aceptación y de rechazo de una prueba de hipótesis.  
**Fuente:** Gutiérrez H. y Salazar R, 2008

## Comparación de proporciones

Respecto al proyecto que se está desarrollando lo que se busca es investigar la igualdad de las proporciones de los valores obtenidos para vigas y columnas de los diferentes proyectos, con el fin de establecer que no se presentan diferencias significativas entre cada tipo de esos elementos estructurales, es decir se requiere probar la siguiente hipótesis:

$$H_0: p_1 = p_2 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$H_A: p_1 \neq p_2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde  $p_1$  y  $p_2$  corresponden a las proporciones de las muestras que se están analizando

Al realizar la prueba de hipótesis por proporciones es importante tener en cuenta qué decisión tomar de acuerdo con el resultado obtenido de ese análisis, con el fin de saber si se acepta o no la hipótesis nula, entonces:

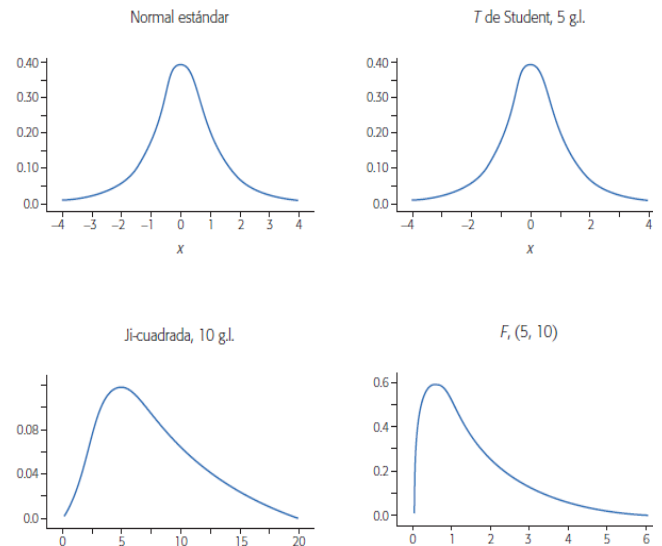
Si la probabilidad de obtener este valor, es menor que el nivel de significancia especificada ( $p=0.05\%$ ), entonces se dice que la  $H_0$  es falsa y se rechaza, pero, si la probabilidad de obtener este valor es mayor o igual al nivel de significancia especificado (ejemplo,  $p=0.05\%$ ) entonces se concluye que no hay evidencia de que la  $H_0$  es falsa y se toma como suposición correcta, por lo que se puede realizar la distribución de probabilidad.

## Distribuciones de probabilidad

Relaciona el conjunto de valores posibles de “X” con la probabilidad asociada a cada uno de esos

valores, señala qué valores se espera que tome X según los supuestos asumidos, según Gutiérrez H. y Salazar R, (2008), “la distribución de probabilidad hace que lo aleatorio no sea un capricho, y modela (describe, acota) los posibles valores de un estadístico muestral”.

Las distribuciones de probabilidad que más se usan en intervalos de confianza y pruebas de hipótesis son las distribuciones: normal, T de Student, ji-cuadrada y F., para estas se toman en cuenta parámetros como la media y la desviación estándar.



**Figura 9:** Ejemplo distribuciones de probabilidad de mayor uso en estadística  
**Fuente:** Gutiérrez H. y Salazar R, 2008

# Metodología

La metodología empleada para la ejecución de este proyecto se puede dividir en cuatro etapas:

- **Etapla 1:** Estudio de las edificaciones.
- **Etapla 2:** Tratamiento de los datos obtenidos de los edificios.
- **Etapla 3:** Aplicación de métodos estadísticos.
- **Etapla 4:** Diseños para vigas y columnas y validación del método propuesto.

Cabe destacar que las etapas mencionadas se realizan en la Oficina de Ingeniería, en el Tecnológico de Costa Rica, además, los proyectos analizados fueron desarrollados por diferentes profesionales todos pertenecientes a la Oficina de Ingeniería, con el fin de que los datos que se desean obtener tengan mayor certeza y aplicación para proyecto similares.

## Etapla 1: Estudio de las edificaciones

La etapa inicial de la metodología se basa en la solicitud de los modelos estructurales y los planos de proyectos desarrollados en el Tecnológico de Costa Rica por la Oficina de Ingeniería con el fin de estudiar cada uno de ellos y determinar la cantidad de elementos que lo conforman dando énfasis a vigas y columnas.

Este proyecto toma como base ocho edificaciones de concreto reforzado de 2 a 5 niveles, constituidos por un sistema tipo dual en las direcciones longitudinal y transversal, conformados por un sistema de marcos de concreto; su tipo de ocupación es ocupación especial y se ubica en el grupo C según su importancia y riesgo de acuerdo con CSCR-10, además, todos están ubicados en la misma zona con un mismo tipo de suelo.

Los edificios estudiados corresponden a los siguientes:

- ✓ Edificio para ampliación de servicios bibliotecarios
- ✓ Extensión del edificio de Ciencias del Lenguaje
- ✓ Comedor estudiantil
- ✓ Diseño Industrial
- ✓ Edificio para la Escuela de Ingeniería en Computación
- ✓ Parqueo vehicular para la unidad de transportes
- ✓ Núcleo integrado de Química/Ambiental
- ✓ Residencias Estudiantiles.

Una vez estudiadas las diferentes edificaciones a partir de los modelos estructurales en SAP, se procede a obtener para cada uno de los edificios las solicitudes últimas correspondientes a todos los elementos estructurales de tipo viga y tipo columna para cada una de las combinaciones con las que se haya realizado el análisis estructural. Se realiza un análisis por separado para cada uno de los proyectos ejecutados en el Tecnológico de Costa Rica y posteriormente, se busca establecer relaciones entre los edificios de manera que se puedan unificar los datos.

## Etapla II: Tratamiento de los datos obtenidos de los edificios

El primer paso fue determinar los tipos de vigas y columnas presentes en cada edificio, así como la cantidad de elementos que conforman cada tipo. El siguiente proceso se debe realizar para todos los edificios, para cada uno de los tipos de vigas y columnas que se hayan determinado, pues son los elementos estructurales con los cuales se llevará a cabo el estudio.

Se debe tomar cada tipo de elemento por separado y se clasifica según las combinaciones con las cuales se haya realizado el análisis estructural, es decir, lo que se extrajo del modelo original, es importante destacar que se debe

realizar un análisis por separado de las solicitaciones últimas gravitacionales, y las solicitaciones dinámicas para determinar el comportamiento de las edificaciones si se considera o no el sismo.

Una vez que se hayan adaptado los datos como lo descrito anteriormente, para cada elemento en cada una de las combinaciones realizadas, se analizan las cargas tanto en compresión como tensión, con el fin de obtener el valor máximo de la solicitación última que es representativa para cada elemento; esto se hace ya que al extraer los datos del SAP2000 no se tiene una carga única por elemento, sino que por ser un programa de elementos finitos al realizar el análisis del modelo establecido para cada edificación, crea una cantidad de puntos a ciertas distancias pertenecientes a cada elemento con el fin de generar un análisis más exacto. Se debe tener en cuenta que para el caso de las columnas se requieren las solicitaciones correspondientes a carga axial, torsión cortantes y momentos en dirección x y dirección y, mientras que para las vigas se requieren cortante en x, torsión y momento, pues son los esfuerzos internos requeridos para la realización de los diseños.

Es necesario determinar el valor de carga máxima que representará a cada elemento en el momento de ubicarlo en los rangos porcentuales que se establecerán más adelante, por lo que se debe determinar un valor para las solicitaciones últimas gravitacionales o estáticas, y otro para las dinámicas o sísmicas, contemplando las magnitudes obtenidas para cada combinación.

El análisis consiste en lo siguiente: para las solicitaciones gravitacionales se deben estudiar las dos combinaciones de carga que se encuentran en esta categoría que corresponden a  $CU = 1.4 CP$

$$CU = (1.2 CP + 1.6 CT) + 1.6 CE$$

A partir de estas combinaciones, se elige la que tenga la mayor magnitud de tal forma que será el valor que se tomará como base para la determinación de rangos en los cuales estarán ubicados todos los elementos para ese tipo de viga o columna que se esté estudiando, (este valor funcionará como el 100%); de igual forma, para las solicitaciones dinámicas las combinaciones que se contemplan son

$$CU = 1.05 CP + f1 CT \pm CS + CE$$

$$CU = 0.95 CP \pm CS + CE$$

Con las cuales se determina la mayor magnitud que será la que se utilice como base en los

rangos para la ubicación del resto de los elementos, esto se realiza con el objetivo de identificar cuales elementos se diseñaron para dicha carga crítica y cuales requerían una carga menor de diseño; por lo tanto, todo el grupo de datos se simplifica a dos valores de carga máxima para cada solicitación última, uno gravitacional y otro dinámico.

Se establecen rangos porcentuales los cuales se aplicarán sobre el valor máximo de la solicitación última obtenida estática y dinámica. Los porcentajes de los rangos fueron dados por la Oficina de Ingeniería ya que, como cliente, requieren un estudio que cumpla con ciertos parámetros específicos y dentro de esos están los rangos, los cuales, a su vez, provienen de datos del diagrama de colores que se encuentra en el Instituto Americano de Construcción de Acero, (AISC,2016), pues consideran que es acertado la utilización de dichos valores. Los rangos son los siguientes:

- $\% = 100$
- $100 > \% \geq 90$
- $90 > \% \geq 75$
- $75 > \% \geq 40$
- $40 > \% \geq 0$

Con ayuda de estos rangos y el valor máximo de las solicitaciones obtenidas, se pueden determinar los rangos de carga pertenecientes a esos valores porcentuales por medio de una multiplicación de cada porcentaje por el valor de dicha solicitación, puesto que lo que se busca es establecer la cantidad de elementos que se encuentran en cada uno de ellos tomando como base el resumen realizado con las cargas críticas para cada elemento; al final la suma de los elementos ubicados en cada rango por solicitación (P,V2,V3,T,M2,M3) debe dar la totalidad de elementos según el tipo de viga o columna que se esté analizando.

Finalmente, el último paso de este tratamiento de datos es convertir esas cantidades de elementos ubicadas en cada rango de manera porcentual, esto se realiza como una relación entre la cantidad de elementos por rango, respecto a los elementos totales que se analizan, y con esto, es posible obtener los porcentajes de solicitaciones últimas donde queda en evidencia la carga de diseño que requerían los elementos.

### Etapa III: Aplicación de métodos estadísticos

Debido a que al realizar el tratamiento de datos descrito en la segunda etapa se generan muchos resultados con cierta variabilidad, se debe establecer una forma con la cual estos puedan ser comparables y se puedan tomar como un único resultado, con el propósito de generar valores integrales que puedan ser aplicables a un diseño para comprobar su validez, por ello, la estadística es la encargada de establecer relaciones entre datos a partir de una muestra característica.

Se decide implementar pruebas de hipótesis por proporciones, pues se ha realizado una discretización previamente y los datos con los que se desea trabajar se encuentran en forma porcentual, entonces cumple con los requisitos, además, se busca establecer que no hay diferencia significativa tanto en columnas como en vigas por lo que los datos pueden ser comparables. Para ello es necesario realizar pruebas de manera aleatoria entre datos, se realizará tanto para vigas y columnas pertenecientes a un mismo edificio, así como para comparar diferentes edificios, dichas pruebas se realizan a partir de los datos finales calculados de forma porcentual obtenidos en los rangos realizados con los valores de las solicitudes últimas.

En este caso se decide que para la prueba de hipótesis se utilizará un nivel de confianza del 95% por lo que la significancia será de 5% ( $\rho=0.05$ ). Se busca que para que la condición sea aceptada, es decir, determinar que no hay diferencia significativa, el valor " $\rho$ " resultante a la hora de analizar la proporción deberá ser mayor o igual que 0.05.

Si se quisiera determinar de manera manual, se debe recurrir a la fórmula para calcular el estadístico de prueba, y esta corresponde a la siguiente:

$$Z_o = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\sqrt{\rho^*(1 - \rho^*)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Ecuación 3

Donde:

$$\rho^* = \frac{x_1}{n_1} + \frac{x_2}{n_2}$$

Ecuación 4

$x_1$  = datos observados para la muestra 1

$x_2$  = datos observados para la muestra 2

$n_1$  = total elementos de muestra 1

$n_2$  = total elementos de muestra 1

$\rho_1$  = proporción 1

$\rho_2$  = proporción 2

$Z_o$  = es el valor estadístico

Entonces con el valor calculado de  $Z_o$  se procede a buscar en las tablas de estadística para proporciones el valor de " $\rho$ " y si ese valor es  $\geq$  que 0.05 representa que desde el punto de vista estadístico no hay una diferencia significativa por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  y se pueden tratar las proporciones como semejantes, por lo tanto, se puede decir que

$\rho_1 = \rho_2$

Para este proyecto las pruebas de hipótesis se realizan mediante el programa estadístico Minitab el cual funciona bajo la misma lógica que el método manual, con la diferencia que permite realizar la comparación de dos o más proporciones a la vez, lo que permite agilizar este proceso y determinar si existe o no diferencia significativa entre los datos. Se decide utilizar un intervalo de confianza de 95% el cual se considera a la hora de ingresar los datos que se desean comparar. Una vez realizado el análisis, el programa brinda de forma directa el valor de " $\rho$ " e indica si se puede aceptar la hipótesis nula para estas pruebas o si por el contrario, se rechaza por la existencia de diferencias entre las proporciones.

En caso de obtener que no existe diferencia significativa luego de realizar las pruebas de hipótesis por proporciones entre los diferentes edificios para el caso de vigas y columnas por separados, se procede a realizar un análisis de distribución; se quiere conocer un valor que englobe todos los resultados obtenidos hasta el momento para los elementos estructurales. Se realiza una tabla de resumen para cada uno de los rangos solicitados que contenga todos los valores de los elementos que se calcularon en la segunda etapa, esto se realiza tanto para vigas como para columnas con el fin de graficar y ver el comportamiento de la distribución que los caracteriza; para ello, es necesario determinar parámetros como la media

y la desviación estándar de cada rango, para cada solicitud de diseño, los cuales se calculan en la Ecuación 5 y en Ecuación 6 respectivamente:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n (Xi)/n$$

Ecuación 5

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 6

Al realizar la gráfica de distribución se espera que se forme una campana en la cual el percentil 50 también conocido como media es el valor más probable de suceder, por lo que al graficar cada solicitud en cada rango se debe verificar que el valor de la media coincida con el mismo.

Los valores de las medias obtenidas para cada solicitud son los que contemplan de manera integral los porcentajes para diseño de vigas y columnas, de forma estática o dinámica.

## Etapas IV: Diseños para vigas y columnas y validación del método propuesto

### 1. Diseño de vigas

#### Diseño por flexión:

- Se utiliza el momento último de diseño.
- Obtener  $\beta_1$  (definido según el  $f'c$ ) donde:

$$\beta_1 = 0.85 \quad \text{si } f'c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.85 - ((f'c - 280) / 70) \cdot 0.05 \quad \text{si } 280 < f'c < 560$$

$$\beta_1 = 0.65 \quad \text{si } f'c \geq 560$$

- Obtener d (distancia desde el eje donde se tiene la compresión hasta el acero en tensión).
- Obtener el valor de  $\rho_b$  utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho_b = 0,85 \cdot \frac{f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \frac{6300}{6300 + fy}$$

Ecuación 7

- Se obtiene la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot b}}$$

Ecuación 8

- Ahora se procede a calcular la cantidad de acero de refuerzo requerido:

$$As = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a}{fy}$$

Ecuación 9

- Utilizando la cuantía de acero determinar el valor de  $\rho$ :

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

Ecuación 10

- Se tiene a c como:

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

Ecuación 11

- Una vez obtenido el valor de c se procede a calcular (c/d) con el fin de saber si la viga es simplemente reforzada o doblemente reforzada.

Si  $c/d < 0.375$

se diseña como viga simplemente reforzada (V1R)

Si  $c/d > 0.375$

se diseña como viga doblemente reforzada (V2R)

Si se diseña como viga simplemente reforzada se debe hacer lo siguiente:

- Calcula el  $\rho_{min}$  con la siguiente ecuación:  
Si  $f'c \leq 306$

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

Ecuación 12

Si  $f'c > 306$

$$\rho_{min} = \frac{0,8 \cdot \sqrt{f'c}}{f_y}$$

Ecuación 13

- Calcular el acero mínimo:

$$As_{min} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

Ecuación 14

- Determinar el acero final que se va a colocar:

$$As \text{ por colocar} = \max \left\{ \begin{array}{l} \text{As requerido} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} \text{As min} \\ 1 \frac{1}{3} \cdot \text{As req} \end{array} \right\} \end{array} \right\}$$

Ecuación 15

- Proponer la cantidad y tipo de acero.

Si se diseña como viga doblemente reforzada se debe hacer lo siguiente:

- Se toma que  $c/d = 0.375$
- Por lo tanto, para obtener un nuevo valor de  $a$  se tiene que:

$$a = \beta_1 \cdot d \cdot 0,375$$

Ecuación 16

- Ahora se debe realizar el cálculo de la cantidad de acero requerido para el máximo momento permitido y posteriormente calcular ese momento:

$$As_1 = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a}{f_y}$$

Ecuación 17

$$Mn_1 = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot \left( \frac{d - a}{2} \right)$$

Ecuación 18

- Se procede a calcular el  $Mn_2$  de la siguiente manera:

$$Mn_2 = \frac{Mu}{\phi} - Mn_1$$

Ecuación 19

- Determinar la deformación del acero de refuerzo bajo esfuerzo de compresión:

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a}$$

Ecuación 20

Donde  $d'$  es la distancia del eje en compresión hasta el acero en compresión y  $\epsilon_{cu}$  es la falla del concreto,  $\epsilon_{cu}=0,003$

Entonces se tiene lo siguiente:

Si  $\epsilon'_s < \epsilon_y$  No fluye, por lo tanto:

$$f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s$$

Ecuación 21

Si  $\epsilon'_s > \epsilon_y$  Fluye, por lo tanto:

$$f'_s = f_y$$

Ecuación 22

- Se procede a obtener el acero en compresión:

$$A's = \frac{Mn_2}{f'_s + (d - d')}$$

Ecuación 23

- Se calcula  $As_2$  que es el acero extra por colocar en tensión para mantener el equilibrio.

$$As_2 = A's \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

Ecuación 24

- Finalmente se tiene que:

$$As_{tension} = As_1 + As_2$$

Ecuación 25

$$As_{compresion} = A$$

Ecuación 26

- Con estos datos, proponer la cantidad y tipo de acero por colocar en la viga.

### Diseño por cortante y torsión:

- Se utiliza el momento, cortante y torsor último.
- Se deben calcular los siguientes parámetros:  
Acp: Área total de la sección.  
Pcp: Perímetro total de la sección.  
Aoh: Área generada por los aros cerrados (no traslapes).  
Ph: perímetro de los aros cerrados (no traslapes).

- Obtener T umbral de la siguiente manera:

$$T_{umbral} = \phi * 0,265 * \sqrt{f'c} * \left( \frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

Ecuación 27

Si T umbral < Tu se debe considerar la torsión.

En caso de no considerar la torsión se debe hacer lo siguiente:

- Se deben calcular los valores límites de fuerza cortante:

$$Vs_{m\acute{a}x} = 2,12 \cdot \sqrt{f'c \cdot b \cdot d}$$

Ecuación 28

$$Vs_{umbral} = 1,1 \cdot \sqrt{f'c \cdot b \cdot d}$$

Ecuación 29

$$Vc_{m\acute{a}x} = 0,93 \cdot \sqrt{f'c \cdot b \cdot d}$$

Ecuación 30

- Calcular el valor de (Vu·d)/Mu, este valor debe ser 1 como máximo.
- Determinar la fuerza cortante que es soportado por el concreto de la viga de la siguiente forma:

$$Vc = \left( 0,5 \cdot \sqrt{f'c} + 175 \cdot \rho \cdot \frac{Vu \cdot d}{Mu} \right) \cdot b \cdot d$$

Ecuación 31

- Si Vc máx > Vc por lo tanto sección adecuada, si no es así, cambiar sección

- Si Vu > Vc es necesario colocar acero de refuerzo transversal (aros), sino, se colocan aros mínimos.
- Se debe calcular la fuerza soportada por el acero de la siguiente forma:

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc_{m\acute{a}x}$$

Ecuación

- Si Vs máx > Vs cumple adecuadamente.
- Si Vs umbral < Vs se debe reducir la máxima separación entre aros para controlar la formación de grietas.
- Proponer el tipo y la cantidad de acero de refuerzo necesario.
- Calcular la separación entre aros con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{As \cdot fy \cdot d}{Vs}$$

Ecuación 32

- Calcular la separación máxima recomendada la cual es la siguiente:

$$S_{m\acute{a}x} = \min(d/2 \text{ y } 60)$$

Ecuación 33

- Si S < Smáx usar S para la propuesta de distribución de aros.
- Si S > Smáx aumentar el área de acero o reducir la separación entre aros y recalculer Vs.
- Determinar Av min:

$$Av_{min} = \max\left(0,2 \sqrt{f'c} \frac{b \cdot S}{fy} \text{ y } 3,5 \frac{b \cdot S}{fy}\right)$$

Ecuación 34

- Calcular Av y comparar con Av min:

$$Av = \frac{Vs \cdot S}{fy \cdot b}$$

Ecuación 35

- Si Av > Av min Cumple  
Por lo tanto, proponer la distribución de acero.

Cuando se considera la torsión en el elemento se debe realizar lo siguiente:

- Calcular el valor de  $(V_u \cdot d)/M_u$ , este valor debe ser 1 como máximo.
- Obtener  $V_c$ :

$$V_c = \left( 0,5 \cdot \sqrt{f'c} + 175 \cdot \rho \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b \cdot d$$

Ecuación 36

$$V_c \text{ máx} = 0,93 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

Ecuación 37

- Verificar que  $V_c < V_c \text{ máx}$
- Probar la capacidad

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot ph}{1,7 \cdot A_o h^2}\right)} \leq \phi * \left(\frac{V_c}{b \cdot d} + 2 * \sqrt{f'c}\right)$$

Ecuación 38

- Si  $\phi V_c < V_u$  es necesario colocar acero de refuerzo transversal (aros).
- Calcular los siguientes valores límites y verificar si se cumplen las condiciones:

$$V_s \text{ máx} = 2,12 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

Ecuación 39

$$V_s \text{ umbral} = 1,1 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

Ecuación 40

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \text{ máx}$$

Ecuación 41

- Se debe cumplir que:  
 $V_s < V_s \text{ umbral} < V_s \text{ máx}$
- Ahora se debe realizar el cálculo del espaciamiento requerido para soportar la torsión:

$$S2R = \frac{A_e \cdot f_{yv}}{\frac{V_s}{d} + \frac{T_u}{\phi \cdot 0,85 \cdot A_o h} \cdot \tan \theta}$$

Ecuación 43

$$S_{\text{máx}} (\text{cortante}) = \min \left( \frac{d}{2} \text{ y } 60 \right)$$

Ecuación 44

**Rige la separación más pequeña**  
 $S_{\text{máx}} (\text{torsión}) = \min \left( \frac{ph}{8} \text{ y } 30 \right)$

- Determinar la cuantía de acero mínimo:

$$A_v \text{ min} = \max \left( 0,2 \sqrt{f'c} \frac{b \cdot S}{f_y} \text{ y } 3,5 \frac{b \cdot S}{f_y} \right)$$

Ecuación 45

- Cálculo del acero longitudinal:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 + A_o \cdot f_{yv} \cdot \cot \theta} \geq \frac{1,75 \cdot b}{f_{yv}}$$

Ecuación 47

$$A_{\text{long}} = \frac{A_t}{s} \cdot ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \cdot \cot^2 \theta$$

Ecuación 48

$$A_{\text{min}} = \frac{1,33 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp}}{f_{yl}} - \frac{A_t}{s} \cdot ph \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

Ecuación 49

- El acero longitudinal requerido será el mayor al comparar  $A_{\text{long}}$  y  $A_{\text{min}}$ .
- El diámetro mínimo se determina de la siguiente manera:

$$\text{Diam. mín} = \max \left( \frac{s}{24} \text{ y } 0,375 \right)$$

Ecuación **Error! Argumento de modificador**  
Donde 0.375 corresponde al diámetro de  $\#3$ .

- Finalmente se debe proponer el acero por utilizar.

## 2. Diseño de columnas

### Diseño por cortante:

- Determinar el corte que es producto de los momentos de acuerdo con lo establecido en el CSCR-10 (8.7.1).

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H}$$

Ecuación 51



Donde:

$M_{pr1}$  y  $M_{pr2}$  son momentos probables

- Si la fuerza calculada anteriormente es mayor que el cortante que actúa sobre el elemento, se debe utilizar el valor de  $V_e$ .
- Se deben calcular los valores límites de fuerza cortante.

$$V_s \text{ máx} = 2,12 \cdot \sqrt{f'c \cdot b \cdot d}$$

Ecuación 52

$$V_s^* = 1,1 \cdot \sqrt{f'c \cdot b \cdot d}$$

Ecuación 53

$$V_c \text{ máx} = 0,93 \cdot \sqrt{f'c \cdot b \cdot d}$$

Ecuación 54

- Calcular la fuerza cortante soportada por el concreto:

$$V_c = \left( 0,5 \cdot \sqrt{f'c} + 175 \cdot \rho \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b \cdot d$$

Ecuación 55

- Si  $V_u > V_c$  se debe colocar aros (refuerzo transversal). En caso de que este refuerzo no sea necesario, se debe colocar como mínimo una varilla #3 a la separación máxima.
- Calcular el cortante soportado por el acero:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \text{ máx}$$

Ecuación 56

- Si  $V_s > V_s^*$  se debe reducir la separación máxima entre aros para el control de grietas.
- Calcular la separación de aros:

$$S = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Ecuación 57

- Determinar la separación máxima recomendada de acuerdo con lo siguiente: máxima separación recomendada ( $S_{max}$ ) = el doble del valor de separación  $S_{max}$  para la región de confinamiento espacial.

- Si  $S < S_{max}$  usar  $S$  para proponer la distribución del acero.
- Si  $S > S_{max}$  aumentar el área del acero o reducir la separación entre aros y volver a calcular  $V_s$ .
- Proponer arreglo del acero.
- Especificar la región con confinamiento especial en los extremos de la columna midiendo  $L_0$  desde cada lado.  $L_0$  no puede ser menor que:

- ✓  $L/6$
- ✓ 70 cm
- ✓ 45 cm

- El área de acero para la región de confinamiento no puede ser menor que:

$$A_{sh} = \frac{0,3 \cdot S \cdot h_c \cdot f'c}{f_y h}$$

Ecuación 58

- La separación máxima para la región de confinamiento especial corresponde al menor valor entre 0,25 veces la menor dimensión o 10 cm.

#### Diseño por flexo-compresión:

- El primer paso es comprobar la relación de esbeltez:

Si

$$P_u \geq 0,1 \cdot f'c \cdot A_b$$

Ecuación 59

se puede decir que la columna es robusta y sufre flexo-compresión.

Si

$$P_u \leq 0,1 \cdot f'c \cdot A_b$$

Ecuación 60

Se puede decir que la columna es robusta y no sufre flexo-compresión.

Donde:

$P_u$ : Carga última  
 $A_b$ : Área bruta

- Si el elemento sufre flexocompresión se deben calcular los factores de

mayorización tanto para el sentido transversal como longitudinal.

- Calcular el Módulo de Elasticidad del concreto

$$E_c = 15100 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Ecuación 61

- Determinar la inercia de la columna:

$$I_{gc} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

Ecuación 62

$$I_c = 0,7 \cdot I_{gc}$$

Ecuación 63

- Determinar los siguientes valores:

$$EI = \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_y}{1 + \beta d}$$

Ecuación 64

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot lu)^2}$$

Ecuación 65

- Se calcula el factor amplificador de momentos:

$$\Sigma P_c = M_u \cdot P_c$$

Ecuación 66

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\phi \cdot \Sigma P_c}}$$

Ecuación 67

- Es necesario obtener los pares ordenados de cada columna, posteriormente; se debe implementar el factor obtenido en la Ecuación 67, multiplicando este factor por cada valor de los momentos, y con ello, obtener los nuevos pares ordenados mayorizados.
- Se debe realizar el diagrama de interacción correspondiente a cada columna, para esto se utilizó el programa de modelación de estructuras SAP2000

con el fin de obtener el diagrama exacto para cada elemento. El SAP mediante el módulo "Section Designer" permite dibujar secciones de concreto armado en el cual es posible obtener propiedades geométricas de secciones compuestas., realizar el diagrama de Interacción de columnas, conocer el diagrama de momento curvatura de una sección de concreto armado, calcular esfuerzos en una sección dadas ciertas solicitaciones.

- Los pares ordenados mayorizados se deben incluir en el diagrama de interacción con el fin de comprobar si el elemento es capaz de resistir los momentos a los que se somete.

Se tuvo que validar el método de optimización propuesto en este proyecto para comprobar si era o no funcional; para ello, se decide tomar un edificio ya existente de los que fueron utilizados para el estudio con el fin de realizar un nuevo diseño de los elementos estructurales correspondientes a vigas y columnas y comparar las diferencias que se generen entre los diseños reales y los optimizados.

Lo que se hará es tomar los porcentajes finales de solicitaciones últimas gravitacionales y dinámicas, y se aplicarán al valor de carga máxima que se tiene para determinar el valor más adecuado de la carga con la que se debe diseñar, y con esta, se harán los diseños correspondientes para verificar su cumplimiento.

Adicionalmente, se hará un cálculo global del costo generado con la implementación de esta metodología a partir de los nuevos diseños propuestos, con el fin de comparar con el presupuesto inicial de los elementos que se están rediseñando y determinar si existe algún ahorro en cuanto a materiales que pueda beneficiar el proceso constructivo.

# Resultados

## **Ubicación de los elementos estructurales según los rangos de solicitaciones últimas.**

A continuación, se muestra una discretización para cada elemento estructural, para el caso del edificio de ampliación de servicios bibliotecarios, separando las solicitaciones últimas en gravitacionales y dinámicas con el fin de encontrar la cantidad de elementos que cumple con los rangos de carga establecidos. Cabe destacar que este proceso se realizó para todas las edificaciones estudiadas cuyos resultados se pueden encontrar en el apéndice 1.

## **Edificio para ampliación de servicios bibliotecarios**

Este edificio está conformado por los siguientes elementos.

- 105 elementos de Columna tipo 1 (C1) cuya dimensión 50x50.
- 26 elementos de Columna tipo 2 (C2) cuya dimensión 40x20.
- 9 elementos de Columna tipo 3 (C3) cuya dimensión 40x15.
- 3 elementos de Columna tipo 4 (C4) cuya dimensión 55x15.
- 105 elementos de Columna tipo 1 (C1) cuya dimensión 50x50.
- 105 elementos de Viga tipo 1 (VC-1) cuya dimensión 60x30.
- 15 elementos de Viga tipo 2 (VC-2) cuya dimensión 85x40.
- 167 elementos de Viga tipo 3 (VC-3) cuya dimensión 50x30.

A continuación, se muestran los valores correspondientes al rango del 100% respecto a las columnas y vigas que conforman el edificio de la Biblioteca; cabe destacar que los demás rangos se calculan como una porción del valor presentado.

## Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 1. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de la Biblioteca correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	150919,54	3774,38	15174,52	86,46	30620,77	5604,68
C-2	8355,67	1963,14	263,59	25,9	173,39	1128,92
C-3	16166,34	1547,28	1813,87	937,07	1053,43	472,67
C-4	9819,37	3459,72	3407,94	17,68	1695,62	1785,41

**Cuadro 2. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95
100%-90%	1	0,95	1	0,95	2	1,90	2	1,90	1	0,95	1	0,95
90% - 75%	2	1,90	0	0,00	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95
75% - 40%	13	12,38	8	7,62	3	2,86	4	3,81	9	8,57	13	12,38
40% - 0%	88	83,81	95	90,48	98	93,33	97	92,38	93	88,57	89	84,76
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 3. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85
100%-90%	2	7,69	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85
90% - 75%	2	7,69	1	3,85	2	7,69	5	19,23	2	7,69	1	3,85
75% - 40%	11	42,31	0	0,00	1	3,85	5	19,23	6	23,08	0	0,00
40% - 0%	10	38,46	23	88,46	21	80,77	14	53,85	16	61,54	23	88,46
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 4. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	11,11	1	11,11	0	0,00	1	11,11	0	0,00	1	11,11
100%-90%	1	11,11	0	0,00	3	33,33	0	0,00	3	33,33	1	11,11
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	2	22,22	0	0,00	2	22,22	0	0,00
75% - 40%	3	33,33	2	22,22	1	11,11	0	0,00	1	11,11	3	33,33
40% - 0%	4	44,44	6	66,67	3	33,33	8	88,89	3	33,33	4	44,44
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 5. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33
100%-90%	1	8,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	8,33	0	0,00	0	0,00	1	8,33	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	8,33	0	0,00	0	0,00	3	25,00	0	0,00	0	0,00
40% - 0%	8	66,67	11	91,67	11	91,67	7	58,33	11	91,67	11	91,67
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 6.. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de la Biblioteca correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	15636,49	1367,05	19929,36
V-2	49909,9	1240,77	62061,84
V-3	15636,49	1367,05	19929,36

**Cuadro 7. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,95	1	0,95	1	0,95
100%-90%	2	1,90	5	4,76	1	0,95
90% - 75%	3	2,86	8	7,62	0	0,00
75% - 40%	19	18,10	3	2,86	8	7,62
40% - 0%	80	76,19	88	83,81	95	90,48
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 8. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	7,14	1	7,14	1	7,14
100%-90%	1	7,14	0	0,00	1	7,14
90% - 75%	1	7,14	3	21,43	1	7,14
75% - 40%	5	35,71	4	28,57	3	21,43
40% - 0%	6	42,86	6	42,86	8	57,14
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 9. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	0	0,00	1	1,49	1	1,49
100%-90%	2	2,99	3	4,48	1	1,49
90% - 75%	2	2,99	6	8,96	0	0,00
75% - 40%	17	25,37	3	4,48	5	7,46
40% - 0%	46	68,66	54	80,60	60	89,55
<b>TOTAL</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>

**Combinaciones con carga sísmica**

**Cuadro 10. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de la Biblioteca correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	106777,97	7040,31	10859,21	146,99	21954,48	5038,1
C-2	30638,29	2116,98	463,65	50,62	318,82	1134,03
C-3	31914,58	1674,25	2988,34	42,95	1624,97	956,59
C-4	50900,26	7272,68	3905,04	92,54	1671,57	2969,78

**Cuadro 11. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95
100%-90%	6	5,71	3	2,86	0	0,00	2	1,90	0	0,00	1	0,95
90% - 75%	4	3,81	0	0,00	6	5,71	5	4,76	3	2,86	5	4,76
75% - 40%	19	18,10	16	15,24	9	8,57	21	20,00	8	7,62	29	27,62
40% - 0%	75	71,43	85	80,95	89	84,76	76	72,38	93	88,57	69	65,71
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 12. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85	1	3,85
100%-90%	1	3,85	3	11,54	1	3,85	1	3,85	0	0,00	2	7,69
90% - 75%	5	19,23	4	15,38	2	7,69	4	15,38	3	11,54	5	19,23
75% - 40%	5	19,23	2	7,69	6	23,08	8	30,77	6	23,08	0	0,00
40% - 0%	14	53,85	16	61,54	16	61,54	12	46,15	16	61,54	18	69,23
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 13. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	11,11	1	11,11	1	11,11	1	11,11	1	11,11	1	11,11
100%-90%	1	11,11	0	0,00	1	11,11	0	0,00	3	33,33	0	0,00
90% - 75%	1	11,11	2	22,22	2	22,22	0	0,00	0	0,00	2	22,22
75% - 40%	1	11,11	1	11,11	2	22,22	3	33,33	2	22,22	2	22,22
40% - 0%	5	55,56	5	55,56	3	33,33	5	55,56	3	33,33	4	44,44
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 14. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	1	8,33	1	8,33	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	8,33	0	0,00	1	8,33	1	8,33	2	16,67	0	0,00
40% - 0%	10	83,33	11	91,67	9	75,00	9	75,00	9	75,00	11	91,67
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 15. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de la Biblioteca correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	12004,33	984,6	14760,38
V-2	34224,4	1202,36	43962,47
V-3	12004,33	984,6	14760,38

**Cuadro 16. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,95	1	0,95	1	0,95
100%-90%	3	2,86	4	3,81	2	1,90
90% - 75%	9	8,57	12	11,43	5	4,76
75% - 40%	15	14,29	23	21,90	8	7,62
40% - 0%	77	73,33	65	61,90	89	84,76
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 17. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	7,14	1	7,14	1	7,14
100%-90%	1	7,14	1	7,14	1	7,14
90% - 75%	2	14,29	2	14,29	2	14,29
75% - 40%	2	14,29	2	14,29	0	0,00
40% - 0%	8	57,14	8	57,14	10	71,43
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>	<b>14</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 18. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	0	0,00	1	1,52	1	1,49
100%-90%	1	1,49	3	4,55	2	2,99
90% - 75%	7	10,45	8	12,12	2	2,99
75% - 40%	14	20,90	15	22,73	6	8,96
40% - 0%	45	67,16	39	59,09	56	83,58
<b>TOTAL</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>

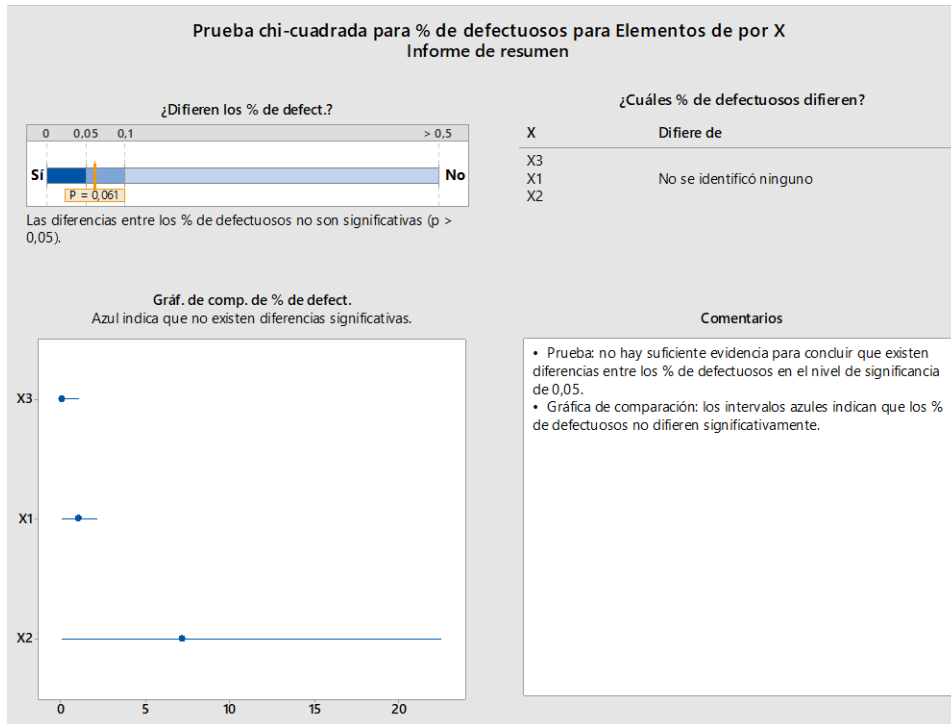
## Pruebas estadísticas

### Pruebas de hipótesis.

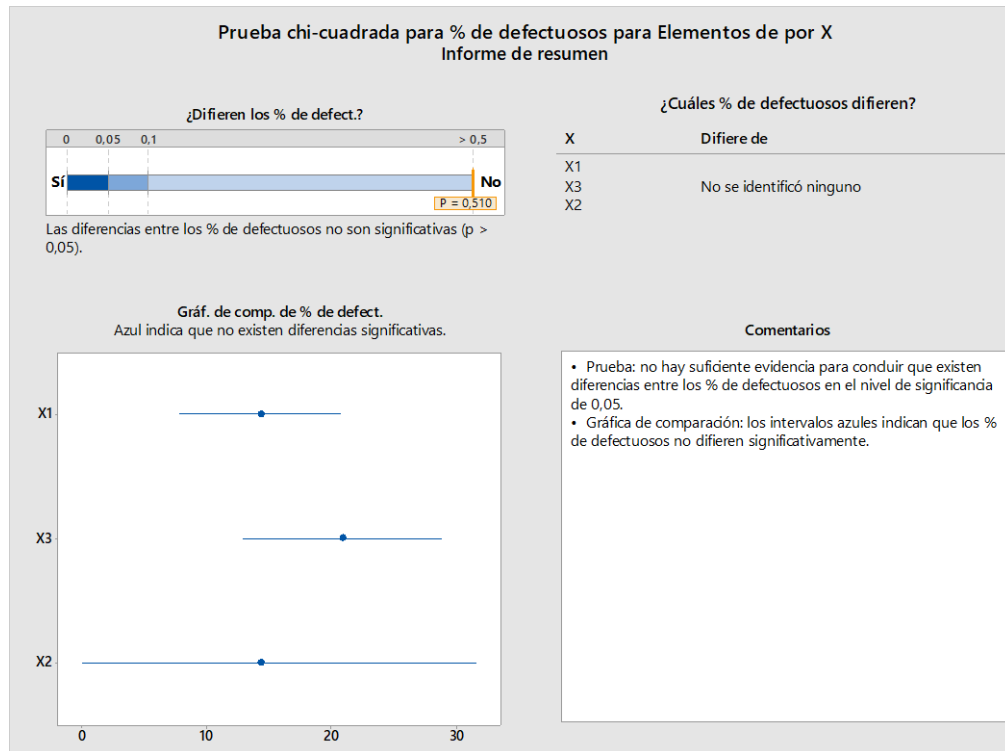
Con ayuda del programa MiniTab se realizaron las pruebas de hipótesis entre los diferentes elementos pertenecientes a una misma edificación, así como las pruebas entre las edificaciones.

En la Figura 10 se muestran un ejemplo de la prueba de hipótesis realizada a todas las columnas pertenecientes al rango del 100% del edificio de la Biblioteca.

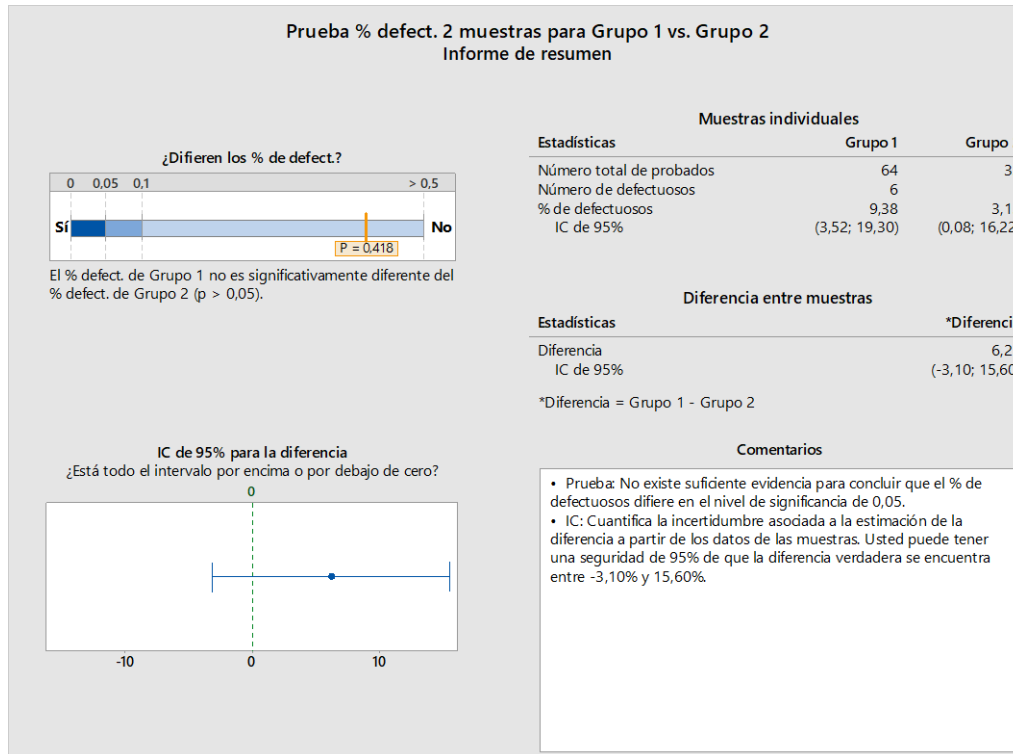




**Figura 10.** Ejemplo de pruebas de proporciones realizada a las vigas de la Biblioteca en el rango del 100%.  
**Fuente:** Minitab



**Figura 11.** Ejemplo de pruebas de proporciones realizada a las vigas de la Biblioteca en el rango de 75%-40%.  
**Fuente:** Minitab



**Figura 12:** Ejemplo de pruebas de proporciones realizada a las vigas de Ciencias de Lenguaje en el rango de 75%-40%  
**Fuente:** Minitab

Resumen de los valores obtenidos para la significancia ( $p$ ) de las pruebas de hipótesis por proporciones para las vigas y columnas de las diferentes edificaciones.

### Cuadro 19. Significancia obtenida para las vigas al analizar las edificaciones de forma individual en los rangos establecidos

Edificios	Rangos				
	100%	100% - 90%	90% - 75%	75% - 40%	40% - 0%
Biblioteca	0,061	0,369	0,253	0,510	0,385
Ciencias del lenguaje	1,000	0,152	0,362	0,418	0,196
Comedor	0,285	0,692	0,223	0,400	0,589
Diseño Industrial	0,856	0,258	0,256	0,423	0,094
Cómputo	0,369	0,665	0,251	0,075	0,125
Química	0,452	0,693	0,512	0,657	0,325
Residencias	0,123	0,667	0,552	0,639	0,251
Plataforma Parqueo	0,258	0,235	0,458	0,369	0,589

**Cuadro 20. Significancia obtenida para las columnas al analizar las edificaciones de forma individual en los rangos establecidos.**

Edificios	Rangos				
	100%	100% - 90%	90% - 75%	75% - 40%	40% - 0%
Biblioteca	0,148	0,148	0,323	0,199	0,764
Ciencias del lenguaje	0,333	0,332	0,236	0,104	0,074
Comedor	0,070	0,606	0,997	0,736	0,689
Diseño Industrial	0,738	0,412	0,369	0,215	0,853
Cómputo	1,000	0,569	0,857	0,553	0,427
Química	0,463	0,693	0,512	0,401	0,528
Residencias	0,201	0,369	0,552	0,528	0,325
Plataforma Parqueo	1,000	0,235	0,458	1,000	0,658

**Cuadro 21. Significancia obtenida al comparar las vigas entre diferentes edificaciones en los rangos establecidos.**

Edificios	Rangos		
	100%	75% - 40%	40% - 0%
Química con Residencias	0,131	0,258	0,627
Comedor con Diseño Industrial	0,236	0,265	0,589
Cómputo con Biblioteca	0,851	0,336	0,562
Ciencias del Lenguaje con Química	0,325	0,369	0,985
Comedor con Química	0,251	0,698	0,526
Diseño Industrial con Plataforma Parqueo	0,369	0,197	0,456

**Cuadro 22. Significancia obtenida al comparar las columnas entre diferentes edificaciones en los rangos establecidos.**

Edificios	100%	Rangos		
		100%	75% - 40%	40% - 0%
Biblioteca con Ciencias del Lenguaje	1,000	0,236	0,589	
Comedor con Diseño Industrial	0,451	0,369	0,195	
Cómputo con Plataforma Parqueo	0,258	0,197	0,336	
Residencias con Cómputo	0,231	0,197	0,589	
Química con Biblioteca	0,112	0,197	0,231	
Diseño Industrial con Plataforma Parqueo	0,369	0,197	0,456	

## Pruebas de distribución

Se realizan las pruebas de distribución para cada una de las solicitudes de vigas y columnas, contemplando todos los elementos de todas las edificaciones para los rangos establecidos, por ello, se muestran los datos obtenidos para el caso de las vigas; en el apéndice 2 se pueden

encontrar los resultados obtenidos para las columnas:

### Vigas

Se muestran los resultados obtenidos para las vigas tanto de las combinaciones gravitacionales como las combinaciones con carga sísmica

## Gravitacionales

**Cuadro 23. Variables para las vigas al 100% de la carga gravitacional**

VARIABLE	100%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	11,03	11,81	11,15
DESV ESTÁNDAR	11,44	12,79	11,33

**Cuadro 24. Variables para las vigas entre 100%-90% de la carga gravitacional**

VARIABLE	100% - 90%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	13,97	14,32	14,32
DESV ESTÁNDAR	17,99	16,87	16,87

**Cuadro 25. Variables para las vigas entre 90%-75% de la carga gravitacional**

VARIABLE	90% - 75%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	5,80	5,38	9,66
DESV ESTÁNDAR	11,70	10,58	13,23

**Cuadro 26. Variables para las vigas entre 75%-40% de la carga gravitacional**

VARIABLE	75% - 40%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	27,67	14,52	17,44
DESV ESTÁNDAR	18,01	14,29	16,02

**Cuadro 27. Variables para las vigas entre 40%-0% de la carga gravitacional**

VARIABLE	40% - 0%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	41,52	54,20	48,08
DESV ESTÁNDAR	28,48	27,59	28,49

## Dinámicas

**Cuadro 28. Variables para las vigas al 100% de la carga dinámica**

VARIABLE	100%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	11,36	11,02	11,15
DESV ESTÁNDAR	11,66	11,20	11,33

**Cuadro 29. Variables para las vigas entre 100%-90% de la carga dinámica.**

VARIABLE	100% - 90%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	13,14	16,65	14,25
DESV ESTÁNDAR	20,34	10,93	14,26

**Cuadro 30. Variables para las vigas entre 90%-75% de la carga dinámica**

VARIABLE	90% - 75%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	9,68	7,22	11,85
DESV ESTÁNDAR	15,56	11,78	13,34

**Cuadro 31. Variables para las vigas entre 75%-40% de la carga dinámica**

VARIABLE	75% - 40%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	28,31	18,97	21,59
DESV ESTÁNDAR	21,66	15,99	17,93

**Cuadro 32. Variables para las vigas entre 40%-0% de la carga dinámica**

VARIABLE	40% - 0%		
	V2	T	M3
PROMEDIO	37,52	56,14	41,15
DESV ESTÁNDAR	28,24	25,54	26,61

## Valores para optimizar los diseños de elementos estructurales

Luego de analizar cada tipo de elemento en las diferentes edificaciones, de manera integral se obtienen los siguientes porcentajes los cuales se pueden aplicar a la hora de iniciar con las características contempladas.

Respecto a las vigas se tiene lo siguiente:

**Cuadro 33. Indicadores para el diseño de vigas de concreto reforzado para solicitaciones gravitacionales.**

GRAVITACIONALES			
RANGO	V2	T	M3
	%	%	%
100%	10,00	12,00	11,00
100%-90%	14,00	14,00	14,00
90% - 75%	6,00	5,00	10,00
75% - 40%	28,00	15,00	17,00
40% - 0%	42,00	54,00	48,00
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Cuadro 34. Indicadores para el diseño de vigas de concreto reforzado para solicitaciones dinámicas**

DINÁMICAS			
RANGO	V2	T	M3
	%	%	%
100%	11,00	11,00	11,00
100%-90%	13,00	7,00	14,00
90% - 75%	10,00	7,00	12,00
75% - 40%	28,00	19,00	22,00
40% - 0%	38,00	56,00	41,00
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Respecto a las columnas se tiene lo siguiente:

**Cuadro 35. Indicadores para el diseño de columnas de concreto reforzado para solicitaciones gravitacionales.**

GRAVITACIONALES						
	P	V2	V3	T	M2	M3
RANGO	%	%	%	%	%	%
100%	8,00	8,00	7,00	14,00	8,00	8,00
100%-90%	6,00	5,00	5,00	6,00	4,00	4,00
90% - 75%	7,00	4,00	8,00	10,00	10,00	6,00
75% - 40%	29,00	15,00	16,00	11,00	17,00	16,00
40% - 0%	50,00	68,00	64,00	59,00	61,00	66,00
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Cuadro 36. Indicadores para el diseño de columnas de concreto reforzado para solicitaciones dinámicas.**

DINÁMICAS						
	P	V2	V3	T	M2	M3
RANGO	%	%	%	%	%	%
100%	8,00	8,00	8,00	10,00	8,00	7,00
100%-90%	5,00	6,00	7,00	8,00	6,00	6,00
90% - 75%	7,00	8,00	10,00	9,00	9,00	10,00
75% - 40%	27,00	20,00	20,00	22,00	27,00	23,00
40% - 0%	53,00	58,00	55,00	51,00	50,00	54,00
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

## Diseño de elementos estructurales

Con el fin de poner en práctica la propuesta de optimización para los diseños de vigas y columnas se decide realizar el rediseño del edificio de ampliación de servicios bibliotecarios para dichos elementos estructurales; cabe destacar que se van a conservar las dimensiones propuestas en el diseño real.

El diseño que se indica para el rango del 100% corresponde al diseño original que se muestra en planos.

## Vigas de concreto reforzado

**Cuadro 37. Diseño final de viga tipo 1 para el edificio de la Biblioteca**

VC-1							As min (cm <sup>2</sup> )	5,00
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	A's (cm <sup>2</sup> )	A's (varillas)	Aros	Cantidad de elementos	
<b>100%</b>	<b>60x30</b>	<b>12</b>	<b>6#5</b>	<b>12</b>	<b>6#5</b>	<b>#4 @ 15 cm</b>	<b>11</b>	
100% - 90%	60x30	10	4#5	11	5#4 + 2#5	#4 @ 15 cm	14	
90% - 75%	60x30	9	5#4	10	3#5 + 2#4	#4 @ 15 cm	11	
75% - 40%	60x30	6	4#4	8	4#4 + 2#3	#3 @ 15 cm	29	
40% - 0%	60x30	5	2#4 + 2#3	8	4#4 + 2#3	#3 @ 15 cm	40	
Total							<b>105</b>	

**Cuadro 38. Diseño final de viga tipo 2 para el edificio de la Biblioteca**

VC-2							As min (cm <sup>2</sup> )	10,00
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	A's (cm <sup>2</sup> )	A's (varillas)	Aros	Cantidad de elementos	
<b>100%</b>	<b>85x40</b>	<b>18</b>	<b>6#6</b>	<b>31</b>	<b>4#9 + 2#6</b>	<b>#4 @ 15 cm</b>	<b>2</b>	
100% - 90%	85x40	17	6#6	31	4#9 + 2#6	#4 @ 15 cm	2	
90% - 75%	85x40	17	5#6	25	4#8 + 2#5	#4 @ 15 cm	1	
75% - 40%	85x40	10	5#5	25	4#8 + 2#5	#3 @ 15 cm	4	
40% - 0%	85x40	10	5#5	20	4#7 + 2#5	#3 @ 15 cm	5	
Total							<b>14</b>	

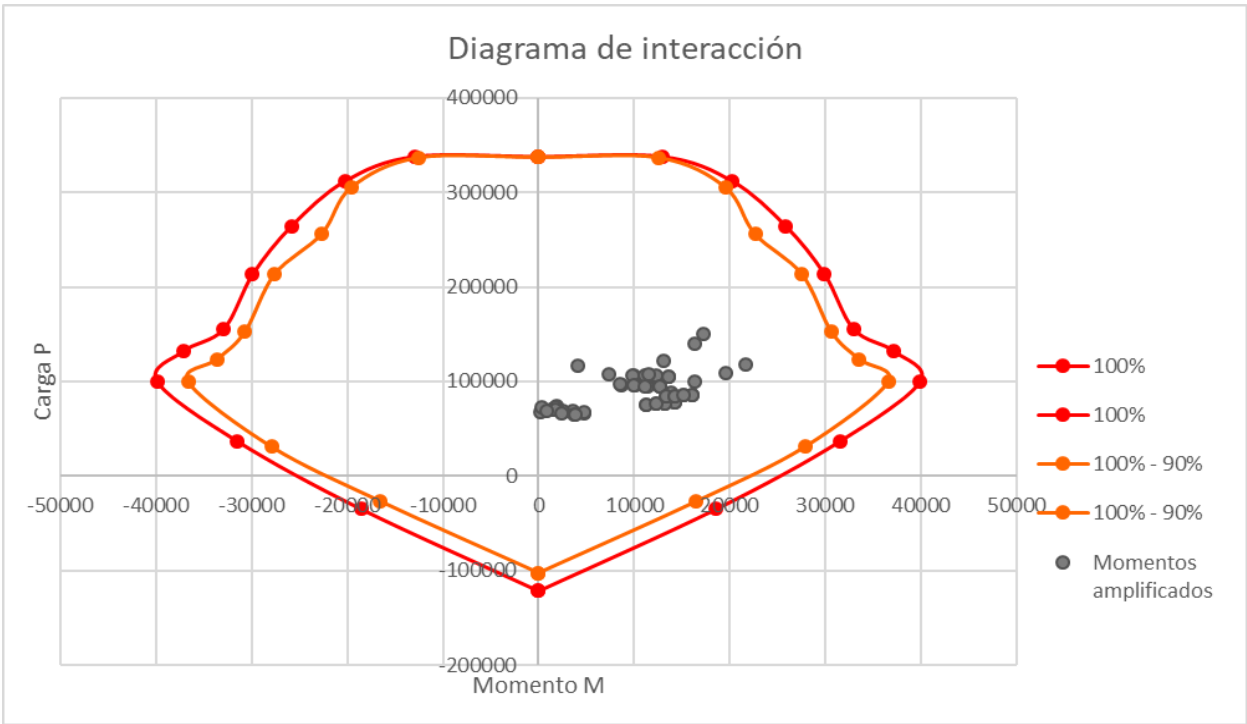
**Cuadro 39. Diseño final de viga corona para el edificio de la Biblioteca**

Viga corona							As min (cm <sup>2</sup> )	4,10
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	A's (cm <sup>2</sup> )	A's (varillas)	Aros	Cantidad de elementos	
<b>100%</b>	<b>50x30</b>	<b>6</b>	<b>3#5</b>	<b>9</b>	<b>3#5 + 2#3</b>	<b>#3 @ 10 cm</b>	<b>7</b>	
100% - 90%	50x30	6	3#5	9	3#5 + 2#3	#3 @ 10 cm	9	
90% - 75%	50x30	6	3#5	6	3#5	#3 @ 15 cm	7	
75% - 40%	50x30	6	3#5	6	2#4 + 2#3	#3 @ 15 cm	19	
40% - 0%	50x30	6	3#5	6	2#4 + 2#3	#3 @ 15 cm	25	
Total							<b>67</b>	

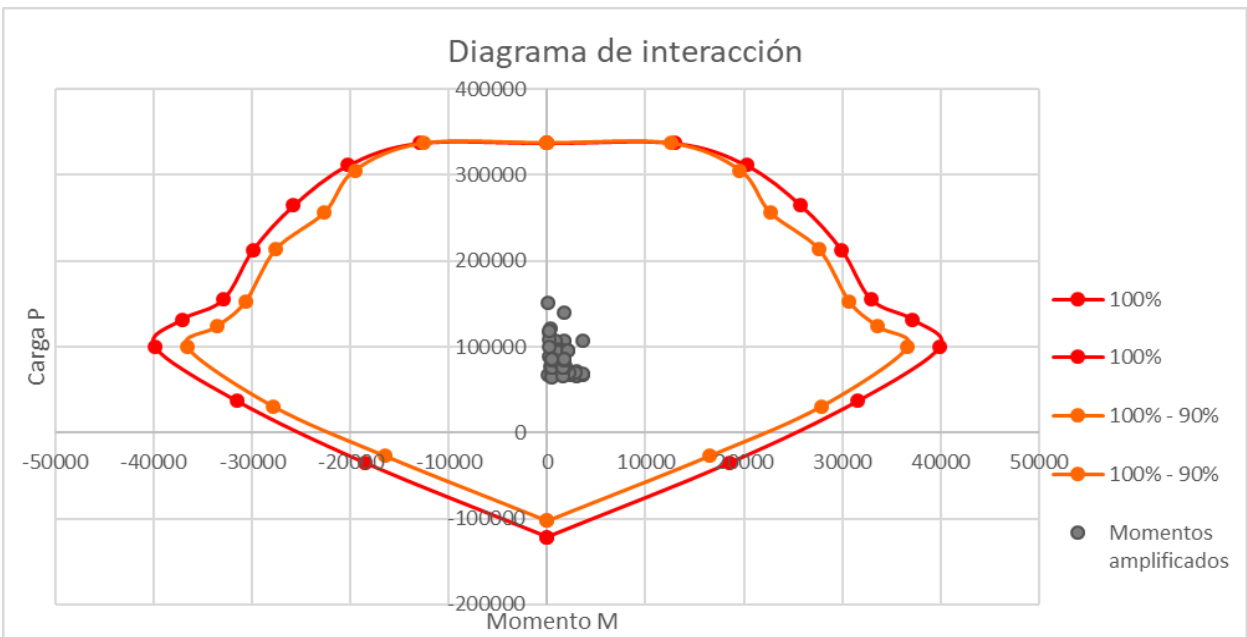
## Columnas de concreto reforzado

**Cuadro 40. Diseño final de columna tipo 1 para el edificio de la Biblioteca**

C1					
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	Aros	Cantidad de elementos
<b>100%</b>	<b>50x50</b>	<b>46</b>	<b>16#6</b>	<b>#4 @ 10 cm</b>	<b>8</b>
100% - 90%	50x50	46	16#6	#4 @ 10 cm	6
90% - 75%	50x50	40	14#6	#4 @ 10 cm	7
75% - 40%	50x50	33	8#5 + 6#6	#3 @ 10 cm	28
40% - 0%	50x50	22	11#5	#3 @ 10 cm	56
Total					<b>105</b>

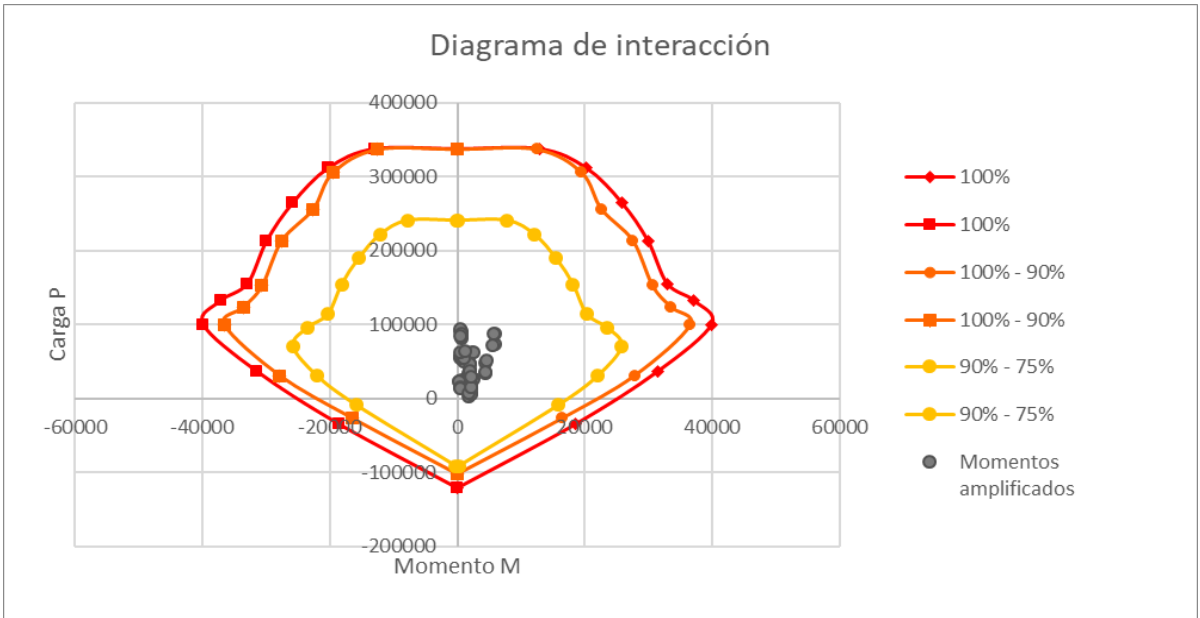


**Gráfico 1.** Diagrama de interacción columna 1 rango 100% vs 100%-90% sentido longitudinal

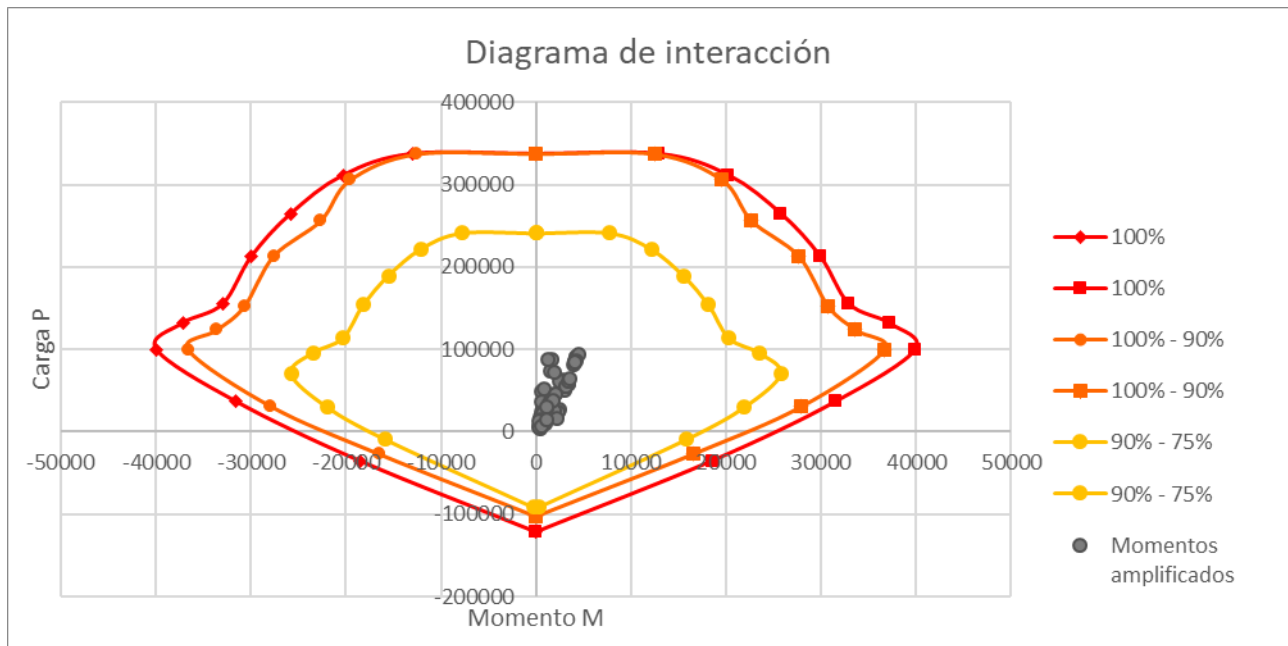


**Gráfico 2.** Diagrama de interacción columna 1 rango 100% vs 100%-90% sentido transversal

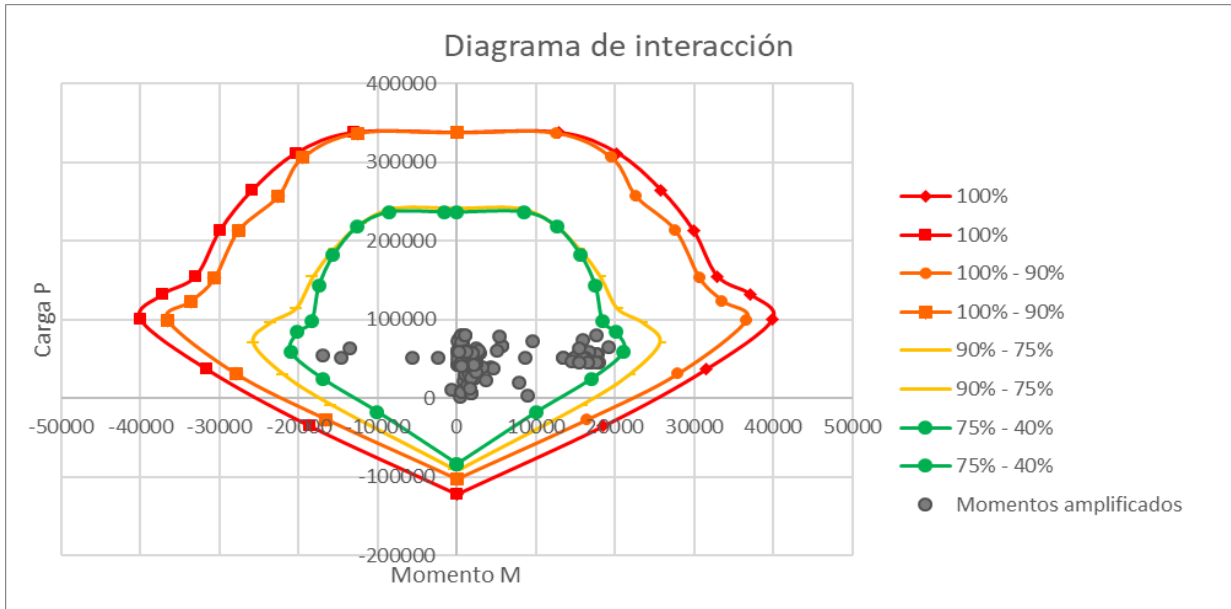




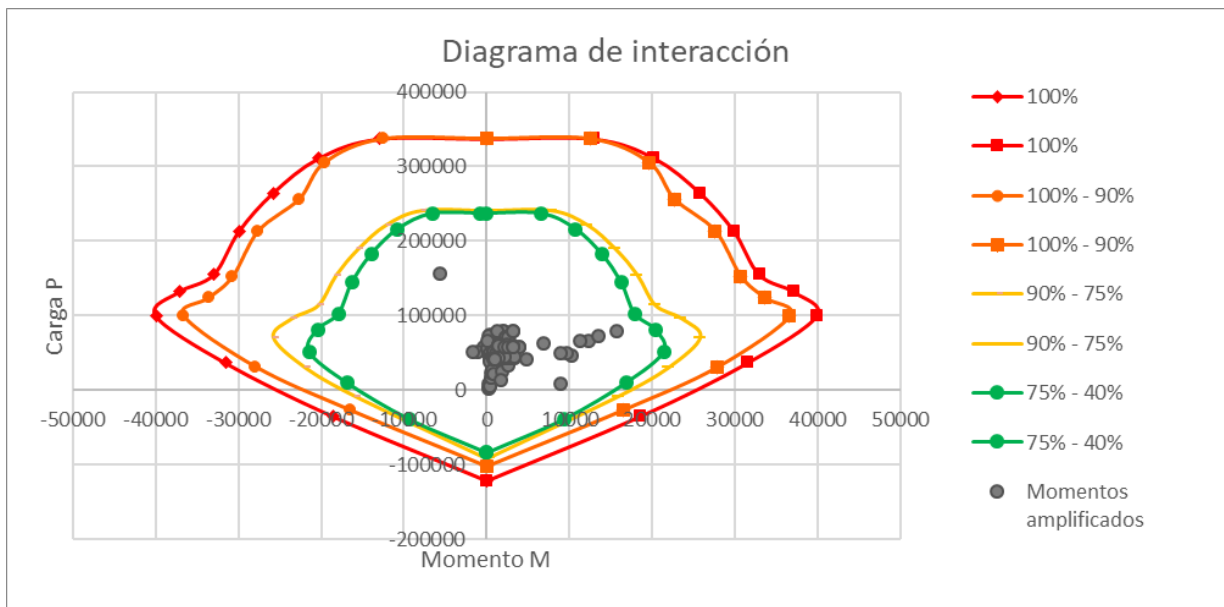
**Gráfico 3.** Diagrama de interacción columna 1 rango 90%-75% sentido longitudinal



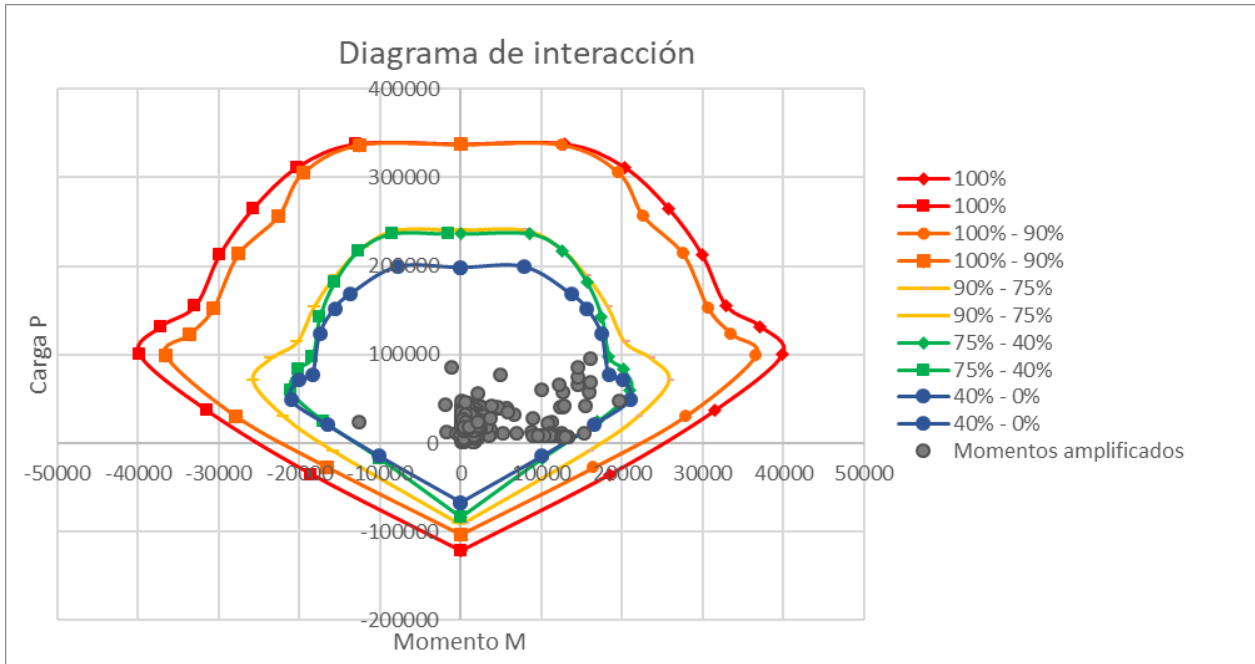
**Gráfico 4.** Diagrama de interacción columna 1 rango 90%-75% sentido transversal



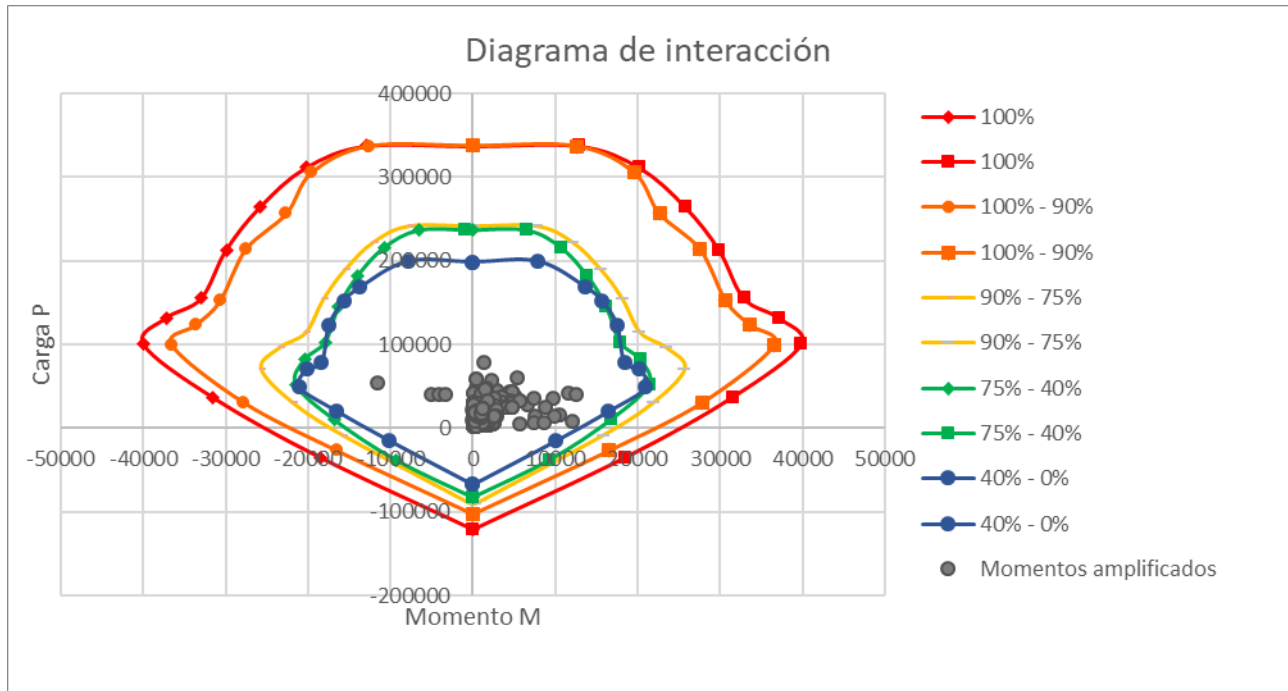
**Gráfico 5.** Diagrama de interacción columna 1 rango 75%-40% sentido longitudinal



**Gráfico 6.** Diagrama de interacción columna 1 rango 75%-40% sentido transversal



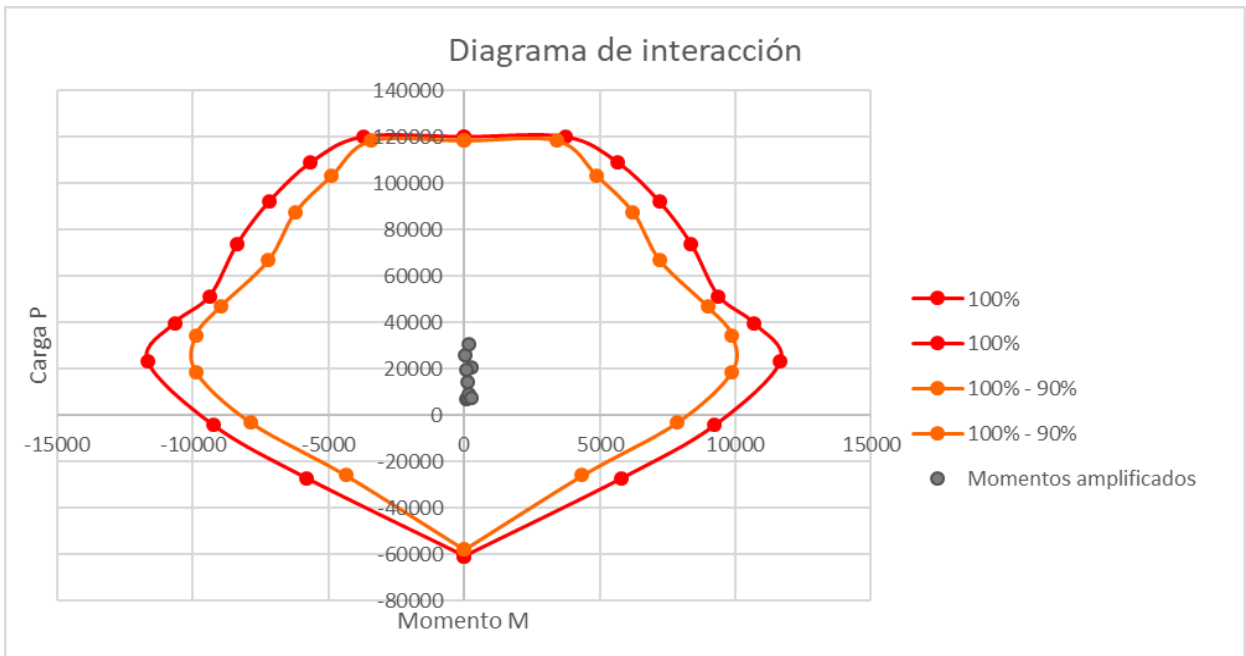
**Gráfico 7.** Diagrama de interacción columna 1 rango 40%-0% sentido longitudinal



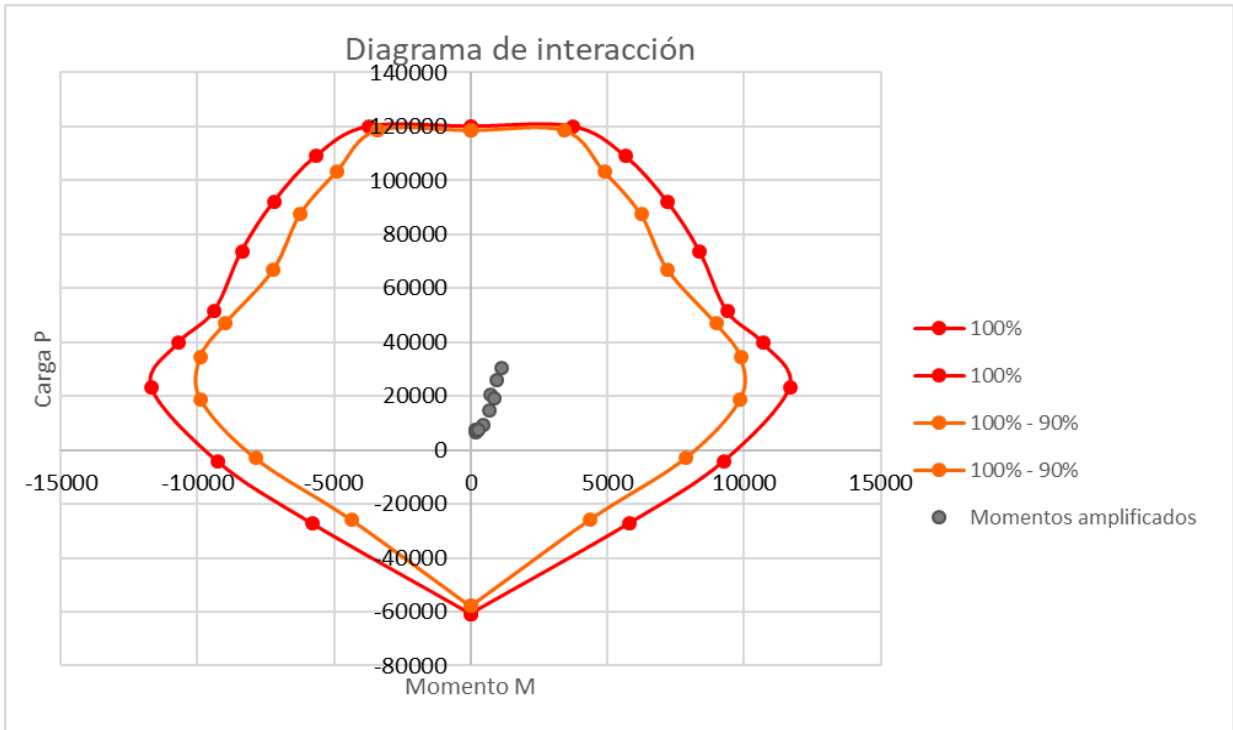
**Gráfico 8.** Diagrama de interacción columna 1 rango 40%-0% sentido transversal

**Cuadro 41. Diseño final de columna tipo 2 para el edificio de la Biblioteca**

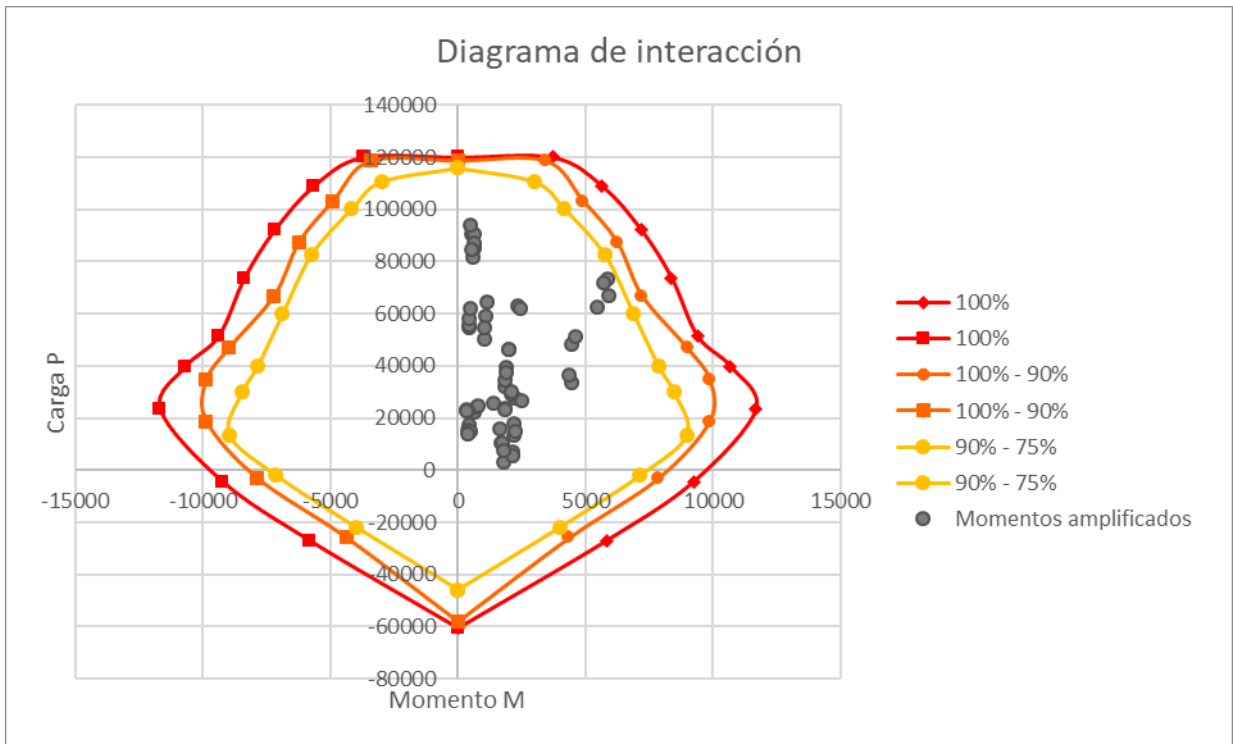
C2					
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	Aros	Cantidad de elementos
100%	40x20	16	12#4	#4 @ 15 cm	2
100% - 90%	40x20	15	12#4	#4 @ 15 cm	1
90% - 75%	40x20	13	10#4	#4 @ 15 cm	2
75% - 40%	40x20	11	6#4 + 4#3	#3 @ 15 cm	7
40% - 0%	40x20	8	10#3	#3 @ 15 cm	14
Total					26



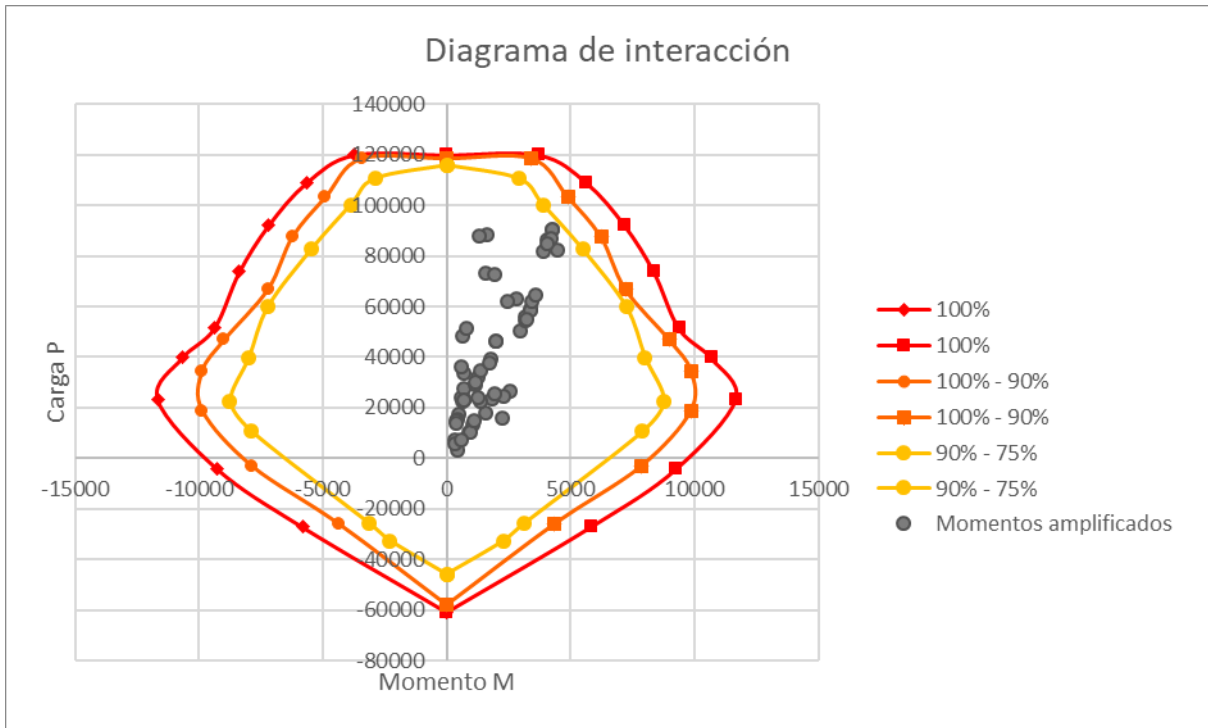
**Gráfico 9.** Diagrama de interacción columna 2 rango 100% vs 100%-90% sentido longitudinal



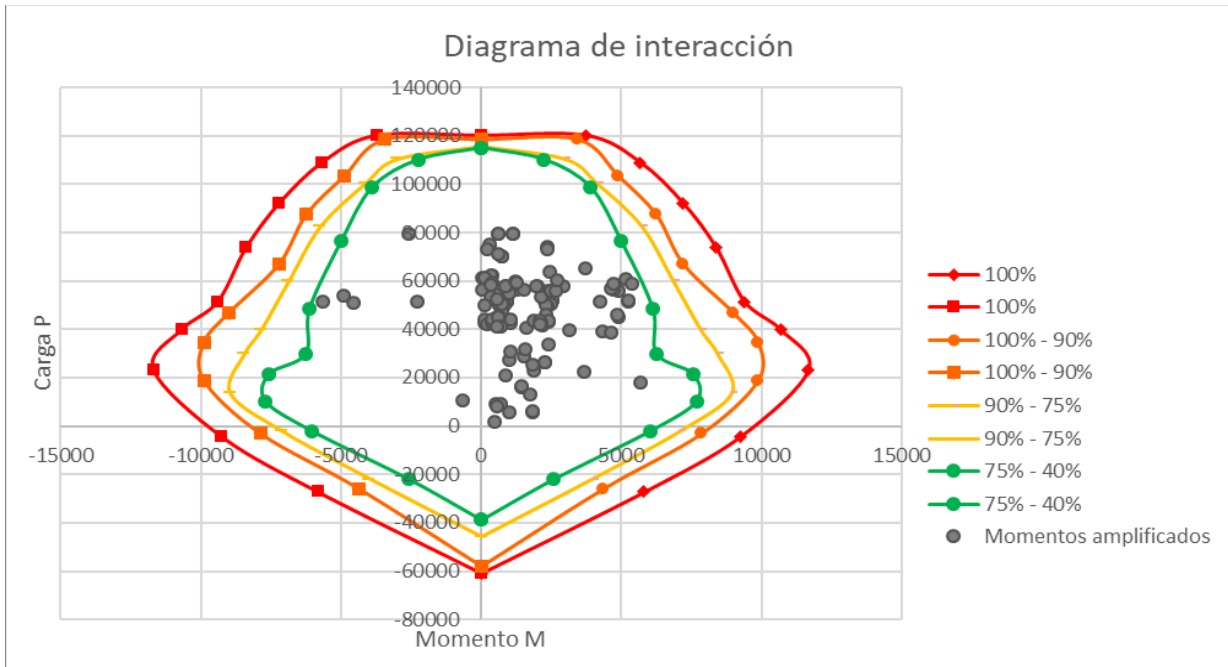
**Gráfico 10.** Diagrama de interacción columna 2 rango 100% vs 100%-90% sentido transversal



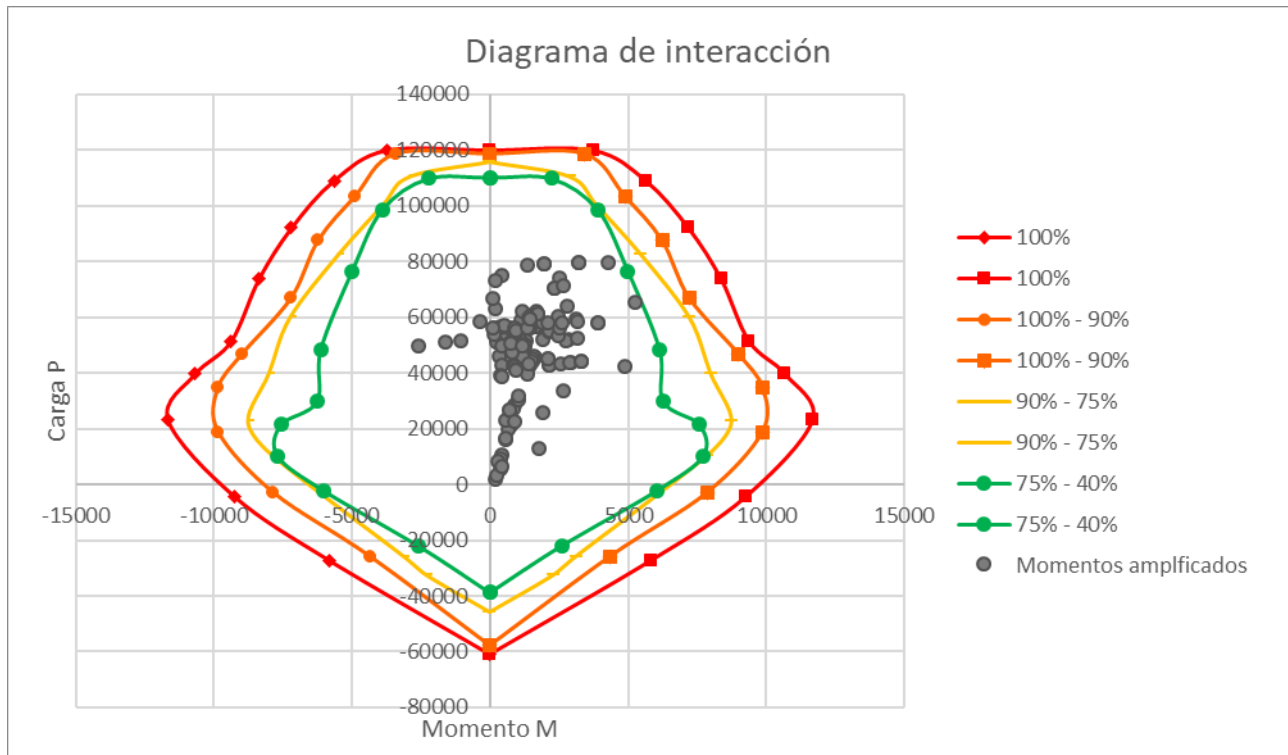
**Gráfico 11.** Diagrama de interacción columna 2 rango 90%-75% sentido longitudinal



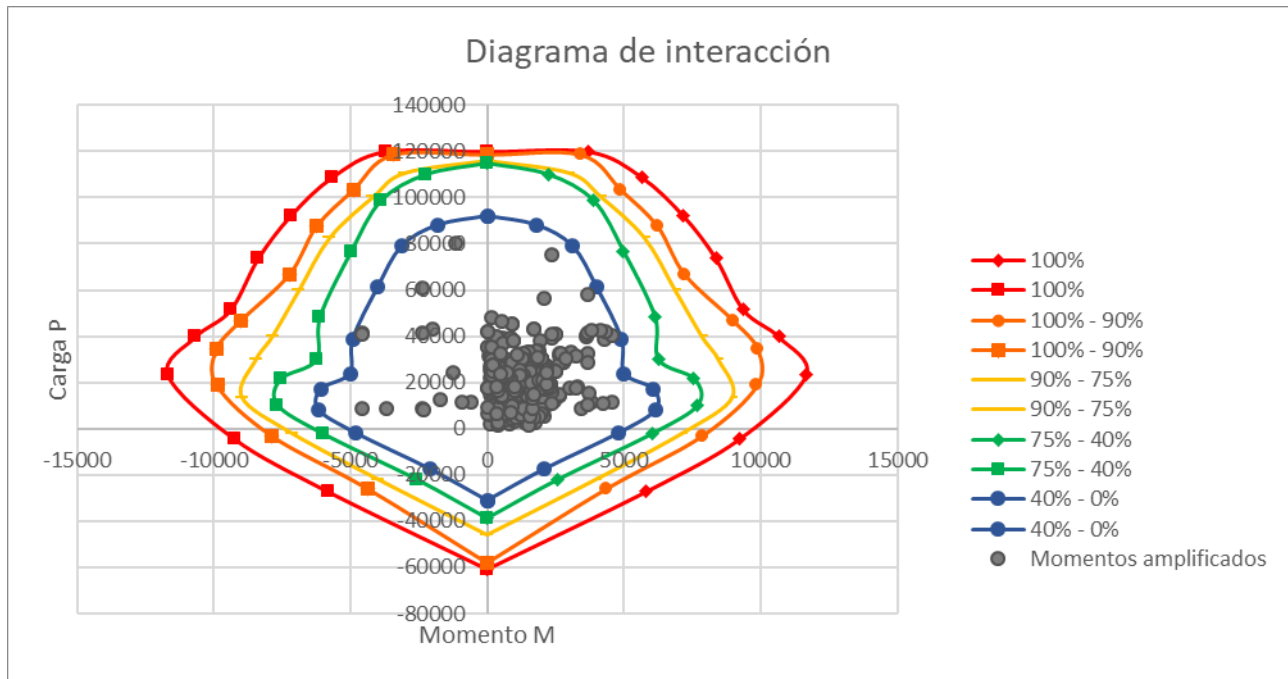
**Gráfico 12.** Diagrama de interacción columna 2 rango 90%-75% sentido transversal



**Gráfico 13.** Diagrama de interacción columna 2 rango 75%-40% sentido longitudinal



**Gráfico 14.** Diagrama de interacción columna 2 rango 75%-40% sentido transversal



**Gráfico 15.** Diagrama de interacción columna 2 rango 40%-0% sentido longitudinal

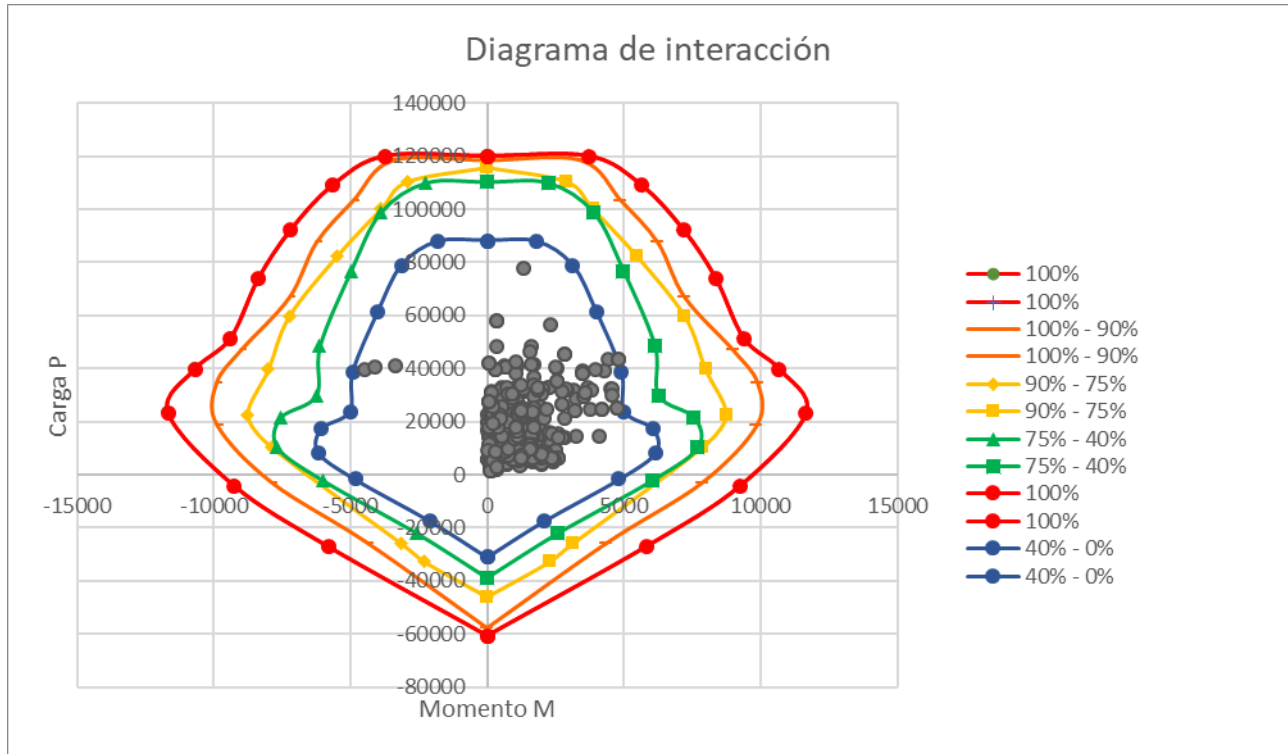
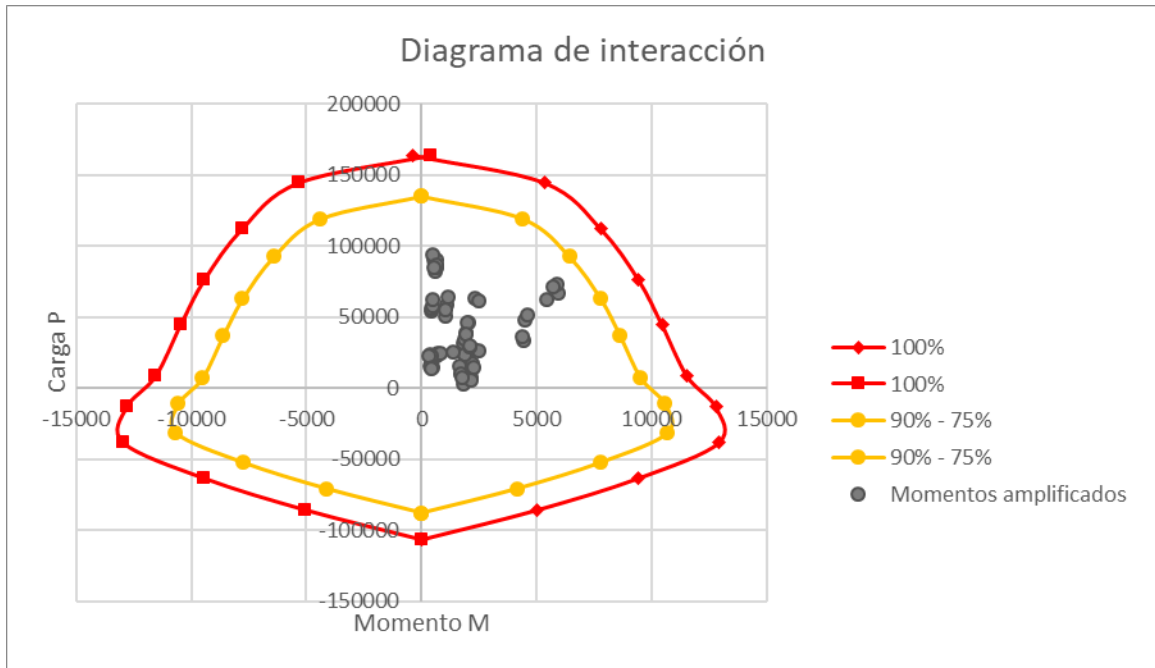


Gráfico 16. Diagrama de interacción columna 2 rango 40%-0% sentido transversal.

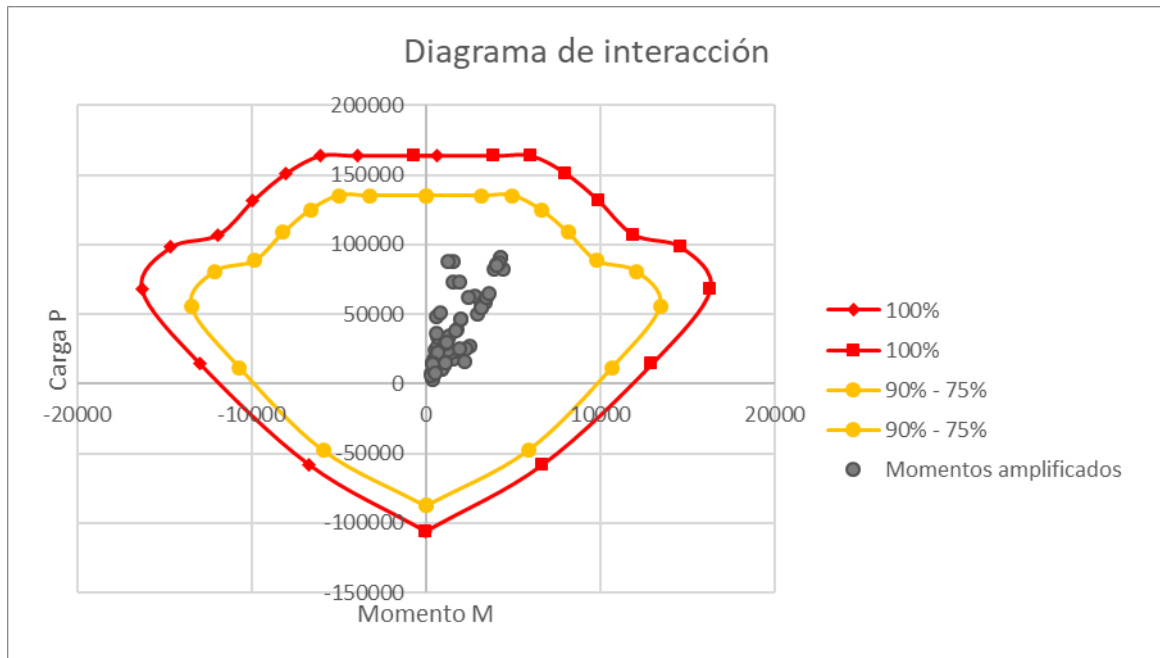
### Cuadro 42. Diseño final de columna tipo 3 para el edificio de la Biblioteca

C3					
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	Aros	Cantidad de elementos
100%	40x15	18	14#4	#4 @ 15 cm	1
90% - 75%	40x15	16	12#4	#4 @ 15 cm	1
75% - 40%	40x15	12	8#4 + 2#3	#3 @ 15 cm	2
40% - 0%	40x15	9	8#3 + 2#4	#3 @ 15 cm	5
Total					9

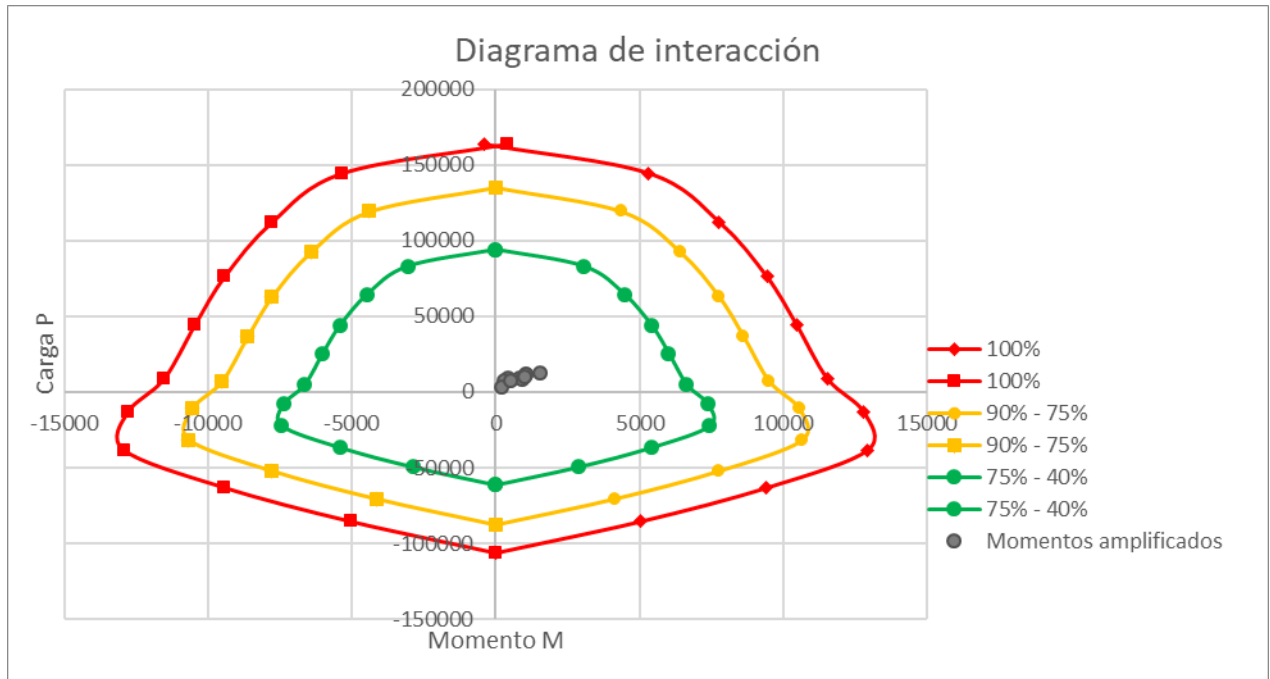




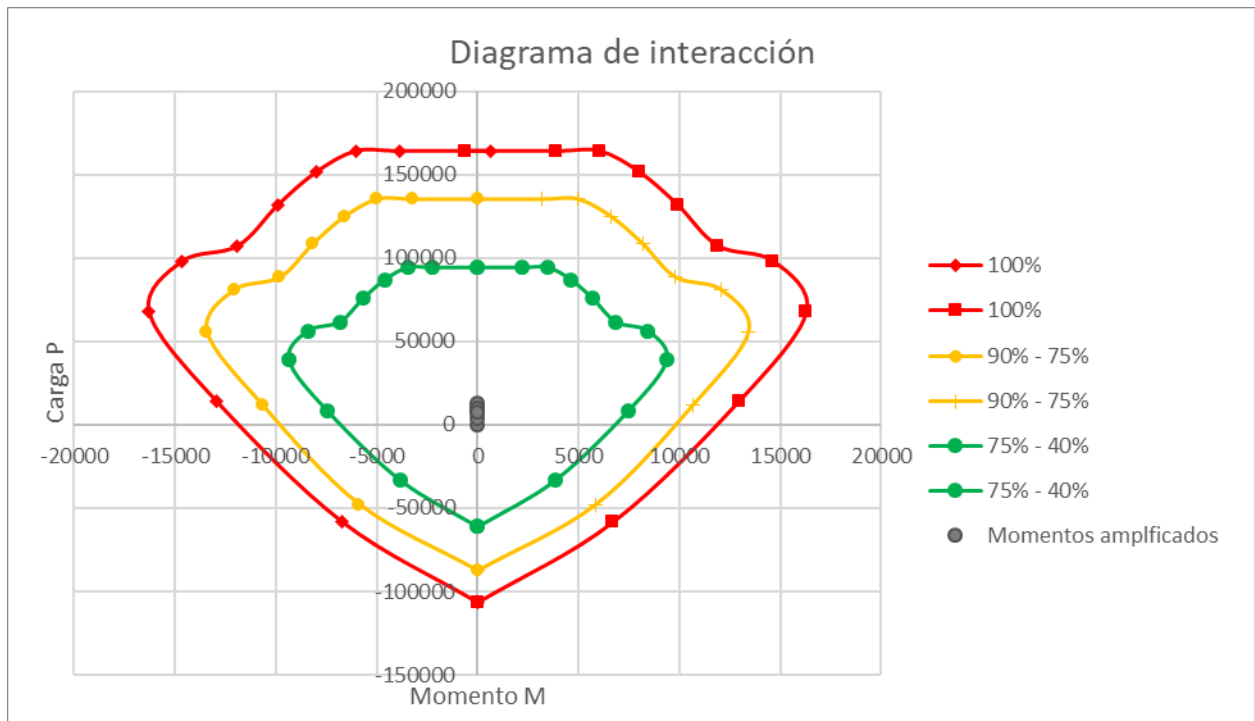
**Gráfico 17.** Diagrama de interacción columna 3 rango 90%-75% sentido longitudinal



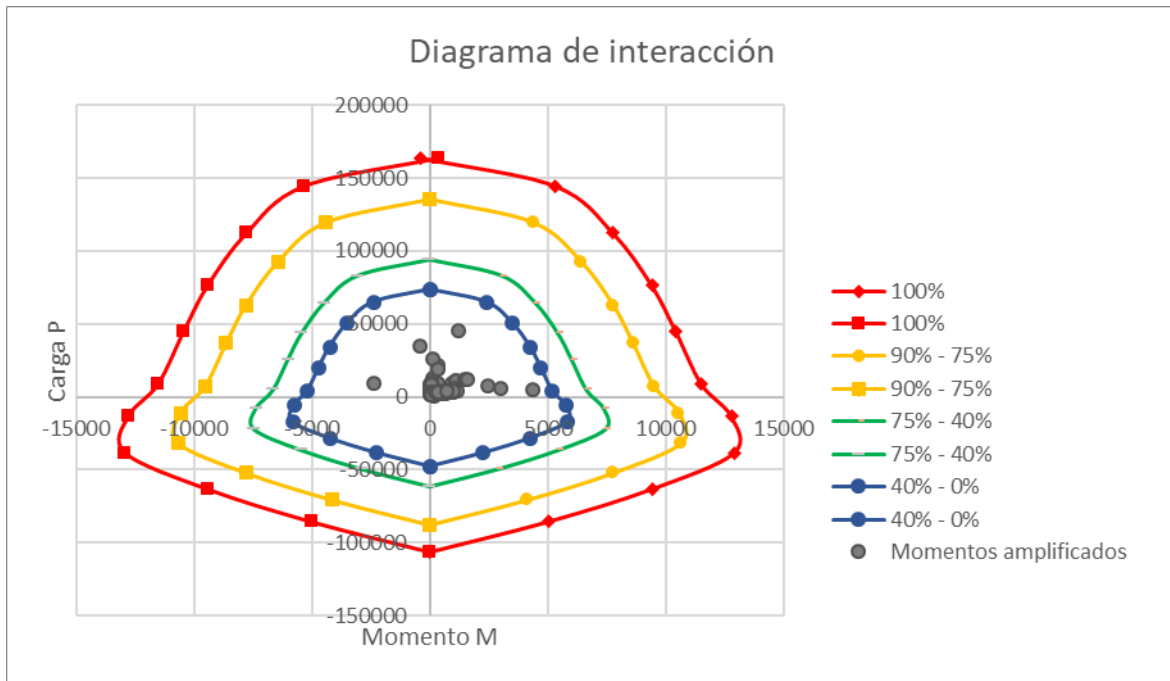
**Gráfico 18.** Diagrama de interacción columna 3 rango 90%-75% sentido transversal



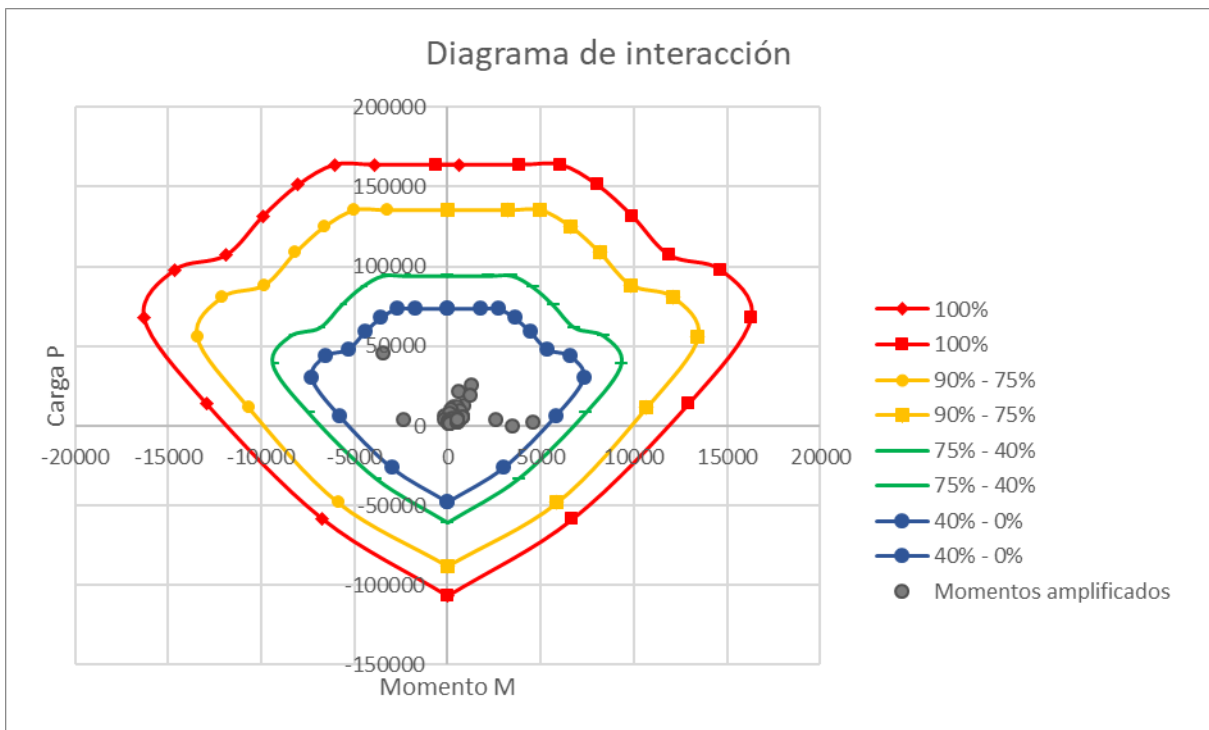
**Gráfico 19.** Diagrama de interacción columna 3 rango 75%-40% sentido longitudinal



**Gráfico 20.** Diagrama de interacción columna 3 rango 75%-40% sentido transversal



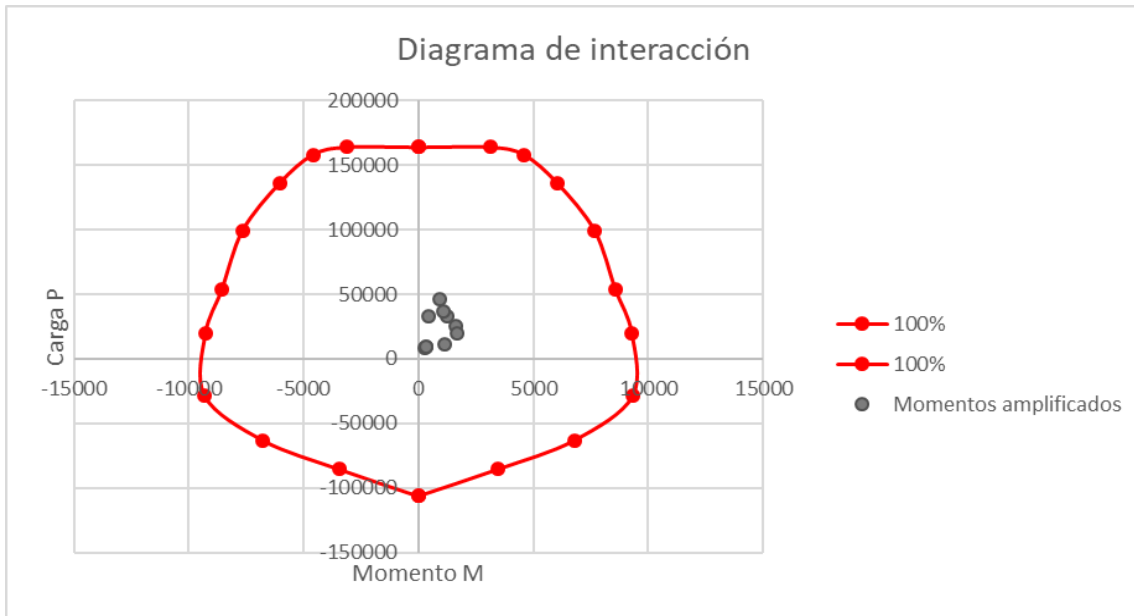
**Gráfico 21.** Diagrama de interacción columna 3 rango 40%-0% sentido longitudinal



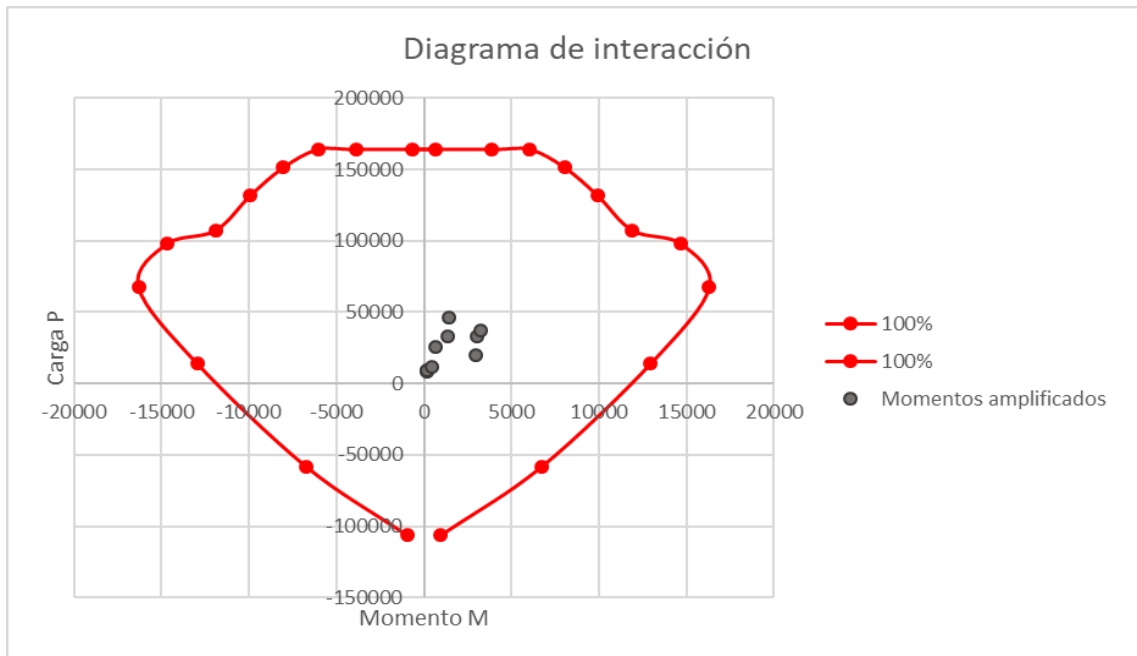
**Gráfico 22.** Diagrama de interacción columna 3 rango 40%-0% sentido transversal

**Cuadro 43. Diseño final de columna tipo 4 para el edificio de la Biblioteca**

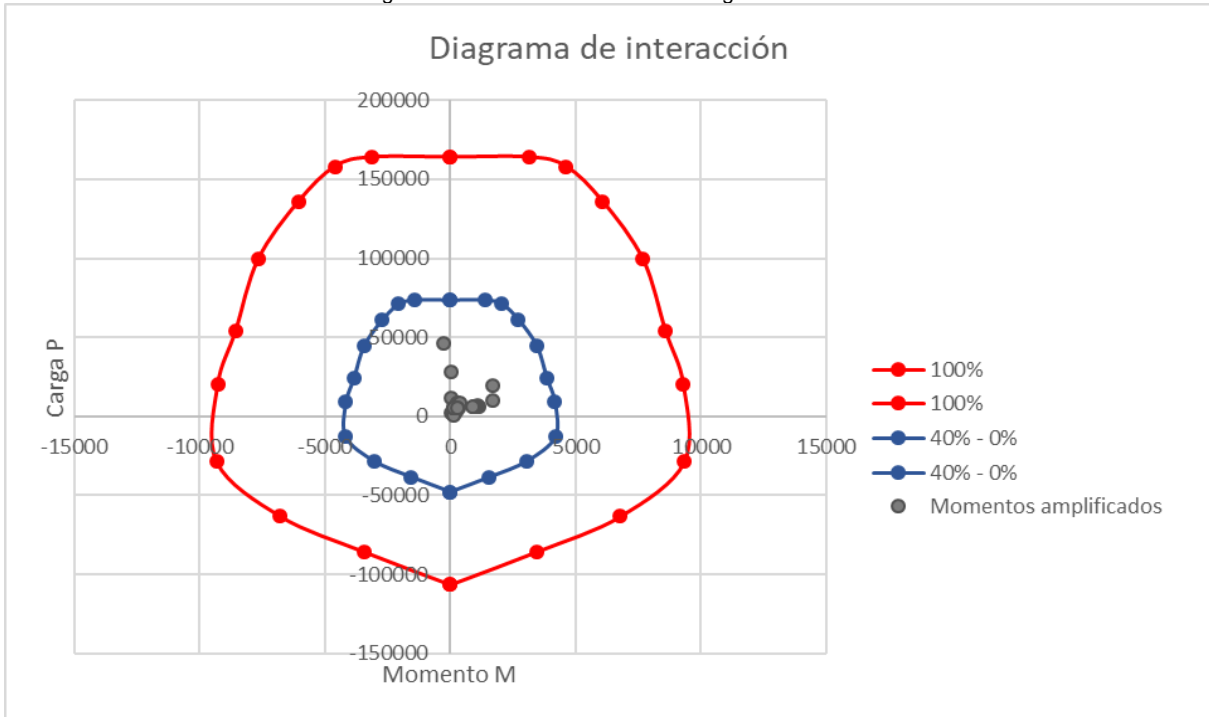
C4					
Rango	Dimensión (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	As (varillas)	Aros	Cantidad de elementos
100%	55x15	26	20#4	#4 @ 15 cm	1
40% - 0%	55x15	17	12#3 + 6#4	#3 @ 15 cm	2
Total					3



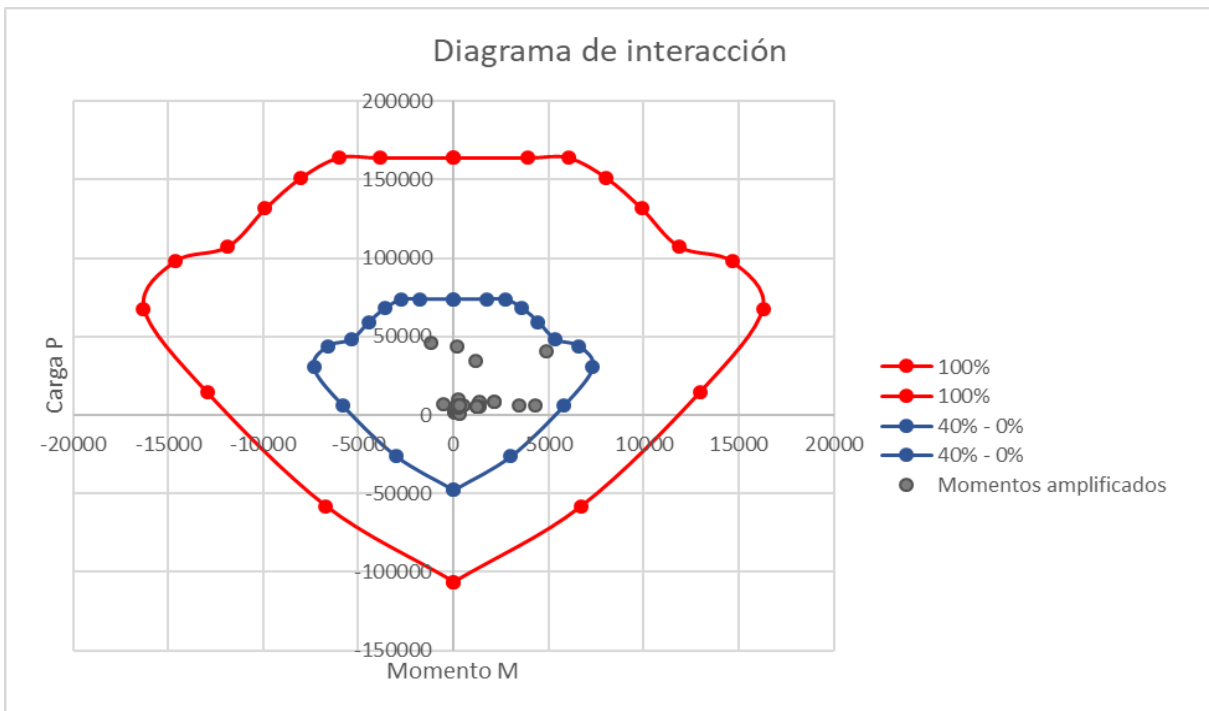
**Gráfico 23.** Diagrama de interacción columna 4 rango 100% sentido longitudinal



**Gráfico 24.** Diagrama de interacción columna 4 rango 100% sentido transversal



**Gráfico 25.** Diagrama de interacción columna 4 rango 100% vs rango 40%-0% sentido longitudinal



**Gráfico 26.** Diagrama de interacción columna 4 rango 100% vs rango 40%-0% sentido transversal

**Cuadro 44. Presupuesto de vigas y columnas de la biblioteca correspondientes al diseño original**

CÓDIGO	ACTIVIDAD	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL	CANTIDAD DE ELEMENTOS	TOTAL
	<b>Vigas</b>							
VC1-01	VC1	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,188	€125.236,52	€148.780,99	105	€15.622.003,50
VC1-02		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€5.330,64	€63.967,68		€6.716.606,40
VC1-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€90.090,00
VC2-01	VC2	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	2,244	€125.236,52	€281.030,75	14	€3.934.430,51
VC2-02		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€7.676,64	€61.413,12		€859.783,68
VC2-03		Varilla #9 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€22.069,14	€88.276,56		€1.235.871,84
VC2-04		Alambre negro	kg	1,15	€780,00	€897,00		€12.558,00
VC3-01	VC3	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,04	€125.236,52	€129.619,80	67	€8.684.526,48
VC3-02		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€5.330,64	€31.983,84		€2.142.917,28
VC3-03		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€235.170,00
VC3-04		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€57.486,00
	<b>Columnas</b>							
CO1-01	CO1	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,65	€125.236,52	€206.640,26	105	€21.697.227,09
CO1-02		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	16	€7.676,64	€122.826,24		€12.896.755,20
CO1-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€90.090,00
CO2-01	CO2	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,528	€125.236,52	€66.124,88	26	€1.719.246,95
CO2-02		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€3.414,00	€40.968,00		€1.065.168,00
CO2-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€22.308,00
CO2-01	CO3	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,396	€125.236,52	€49.593,66	9	€446.342,96
CO2-02		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	14	€3.414,00	€47.796,00		€430.164,00
CO2-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€7.722,00
CO4-01	CO4	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,91	€125.236,52	€113.652,14	3	€340.956,43
CO4-02		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	20	€3.414,00	€68.280,00		€204.840,00
CO4-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€2.574,00
<b>MONTO TOTAL</b>								<b>€78.514.838,32</b>

**Cuadro 45. Presupuesto de vigas y columnas de la biblioteca utilizando los indicadores porcentuales**

CÓDIGO	ACTIVIDAD	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL	CANTIDAD DE ELEMENTOS	TOTAL
	<b>Vigas</b>							
VC1-01	VC1 rango 100%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,188	€125.236,52	€148.780,99	11	€1.636.590,84
VC1-02		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€5.330,64	€63.967,68		€703.644,48
VC1-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€9.438,00
VC1-04	VC1 rango 100%-90%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,188	€125.236,52	€148.780,99	14	€2.082.933,80
VC1-05		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€5.330,64	€31.983,84		€447.773,76
VC1-06		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	5	€3.414,00	€17.070,00		€238.980,00
VC1-07		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€12.012,00
VC1-08	VC1 rango 90%-75%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,188	€125.236,52	€148.780,99	11	€1.636.590,84
VC1-09		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	3	€5.330,64	€15.991,92		€175.911,12
VC1-10		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	7	€3.414,00	€23.898,00		€262.878,00
VC1-11		Alambre negro	kg	1,15	€780,00	€897,00		€9.867,00
VC1-12	VC1 rango 75%-40%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,188	€125.236,52	€148.780,99	29	€4.314.648,59
VC1-13		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€3.414,00	€27.312,00		€792.048,00
VC1-14		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€101.790,00
VC1-15		Alambre negro	kg	1,15	€780,00	€897,00		€26.013,00
VC1-16	VC1 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,188	€125.236,52	€148.780,99	40	€5.951.239,43
VC1-17		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€3.414,00	€20.484,00		€819.360,00
VC1-18		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€1.755,00	€10.530,00		€421.200,00
VC1-19		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€34.320,00
VC2-01	VC2 rango 100%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	2,24	€125.236,52	€281.030,75	2	€562.061,50
VC2-02		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€7.676,64	€61.413,12		€122.826,24
VC2-03		Varilla #9 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€22.069,14	€88.276,56		€176.553,12
VC2-04		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€1.716,00
VC2-05	VC2 rango 100%-90%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	2,24	€125.236,52	€281.030,75	2	€562.061,50
VC2-06		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€7.676,64	€61.413,12		€122.826,24
VC2-07		Varilla #9 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€22.069,14	€88.276,56		€176.553,12
VC2-08		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€1.716,00
VC2-09	VC2 rango 90%-75%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	2,24	€125.236,52	€281.030,75	1	€281.030,75
VC2-10		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€5.330,64	€10.661,28		€10.661,28
VC2-11		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	5	€7.676,64	€38.383,20		€38.383,20
VC2-12		Varilla #8 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€17.437,32	€69.749,28		€69.749,28
VC2-13		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€858,00
VC2-14	VC2 rango 75%-40%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	2,24	€125.236,52	€281.030,75	4	€1.124.123,00
VC2-15		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	7	€5.330,64	€37.314,48		€149.257,92
VC2-16		Varilla #8 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€17.437,32	€69.749,28		€278.997,12
VC2-17		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€3.432,00
VC2-18	VC2 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	2,24	€125.236,52	€281.030,75	5	€1.405.153,75
VC2-19		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	7	€5.330,64	€37.314,48		€186.572,40
VC2-20		Varilla #7 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€10.448,82	€41.795,28		€208.976,40
VC2-21		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€4.290,00
VC3-01	VC3 rango 100%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,04	€125.236,52	€129.619,80	7	€907.338,59
VC3-02		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€5.330,64	€31.983,84		€223.886,88
VC3-03		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€24.570,00
VC3-04		Alambre negro	kg	1,15	€780,00	€897,00		€6.279,00
VC3-05	VC3 rango 100%-90%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,04	€125.236,52	€129.619,80	9	€1.166.578,18
VC3-06		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€5.330,64	€31.983,84		€287.854,56
VC3-07		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€31.590,00
VC3-08		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€7.722,00
VC3-09	VC3 rango 90%-75%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,04	€125.236,52	€129.619,80	7	€907.338,59
VC3-10		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€5.330,64	€31.983,84		€223.886,88
VC3-11		Alambre negro	kg	1,15	€780,00	€897,00		€6.279,00
VC3-12	VC3 rango 75%-40%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,04	€125.236,52	€129.619,80	19	€2.462.776,17
VC3-13		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€66.690,00
VC3-14		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€3.414,00	€6.828,00		€129.732,00
VC3-15		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	3	€5.330,64	€15.991,92		€303.846,48
VC3-16		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€16.302,00
VC3-17	VC3 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg/cm2	m3	1,04	€125.236,52	€129.619,80	25	€3.240.494,96
VC3-18		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€87.750,00
VC3-19		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€3.414,00	€6.828,00		€170.700,00
VC3-20		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	3	€5.330,64	€15.991,92		€399.798,00
VC3-21		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€21.450,00

	Columnas							
CO1-01	CO1 rango 100%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,65	€125.236,52	€206.640,26	8	€1.653.122,06
CO1-02		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	16	€7.676,64	€122.826,24		€982.609,92
CO1-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€6.864,00
CO1-04	CO1 rango 100%-90%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,65	€125.236,52	€206.640,26	6	€1.239.841,55
CO1-05		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	16	€7.676,64	€122.826,24		€736.957,44
CO1-06		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€5.148,00
CO1-07	CO1 rango 90%-75%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,65	€125.236,52	€206.640,26	7	€1.446.481,81
CO1-08		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	14	€7.676,64	€107.472,96		€752.310,72
CO1-09		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€6.006,00
CO1-10	CO1 rango 75%-40%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,65	€125.236,52	€206.640,26	28	€5.785.927,22
CO1-11		Varilla #6 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€7.676,64	€46.059,84		€1.289.675,52
CO1-12		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€5.330,64	€42.645,12		€1.194.063,36
CO1-13		Alambre negro	kg	1,15	€780,00	€897,00		€25.116,00
CO1-14	CO1 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	1,65	€125.236,52	€206.640,26	56	€11.571.854,45
CO1-15		Varilla #5 grado 60 x 6 metros	unidad	11	€5.330,64	€58.637,04		€3.283.674,24
CO1-16		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€48.048,00
CO2-01	CO2 rango 100%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,53	€125.236,52	€66.124,88	2	€132.249,77
CO2-02		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€3.414,00	€40.968,00		€81.936,00
CO2-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€1.716,00
CO2-04	CO2 rango 100%-90%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,53	€125.236,52	€66.124,88	1	€66.124,88
CO2-05		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€3.414,00	€40.968,00		€40.968,00
CO2-06		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€858,00
CO2-07	CO2 rango 90%-75%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,53	€125.236,52	€66.124,88	2	€132.249,77
CO2-08		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	10	€3.414,00	€34.140,00		€68.280,00
CO2-09		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€1.716,00
CO2-10	CO2 rango 75%-40%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,53	€125.236,52	€66.124,88	7	€462.874,18
CO2-11		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€3.414,00	€20.484,00		€143.388,00
CO2-12		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	4	€1.755,00	€7.020,00		€49.140,00
CO2-13		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€6.006,00
CO2-14	CO2 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,53	€125.236,52	€66.124,88	14	€925.748,36
CO2-15		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	10	€1.755,00	€17.550,00		€245.700,00
CO2-16		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€12.012,00
CO3-01	CO3 rango 100%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,40	€125.236,52	€49.593,66	1	€49.593,66
CO3-02		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	14	€3.414,00	€47.796,00		€47.796,00
CO3-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€858,00
CO3-04	CO3 rango 90%-75%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,40	€125.236,52	€49.593,66	1	€49.593,66
CO3-05		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€3.414,00	€40.968,00		€40.968,00
CO3-06		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€858,00
CO3-07	CO3 rango 75%-40%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,40	€125.236,52	€49.593,66	2	€99.187,32
CO3-08		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€1.755,00	€3.510,00		€7.020,00
CO3-09		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€3.414,00	€27.312,00		€54.624,00
CO3-10		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€1.716,00
CO3-11	CO3 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,40	€125.236,52	€49.593,66	5	€247.968,31
CO3-12		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	8	€1.755,00	€14.040,00		€70.200,00
CO3-13		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	2	€3.414,00	€6.828,00		€34.140,00
CO3-14		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€4.290,00
CO4-01	CO4 rango 100%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,91	€125.236,52	€113.652,14	1	€113.652,14
CO4-02		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	20	€3.414,00	€68.280,00		€68.280,00
CO4-03		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€858,00
CO4-04	CO4 rango 40%-0%	Concreto estructural 245 kg(cm2)	m3	0,91	€125.236,52	€113.652,14	2	€227.304,28
CO4-05		Varilla #3 grado 60 x 6 metros	unidad	12	€1.755,00	€21.060,00		€42.120,00
CO4-06		Varilla #4 grado 60 x 6 metros	unidad	6	€3.414,00	€20.484,00		€40.968,00
CO4-07		Alambre negro	kg	1,1	€780,00	€858,00		€1.716,00
<b>MONTO TOTAL</b>								<b>€69.460.279,60</b>



**Cuadro 46. Comparación de los presupuestos realizados**

<b>METODOLOGÍA</b>	<b>MONTO</b>
Costo diseño original	₡78.514.838,32
Costo utilizando indicadores porcentuales	₡69.460.279,60
AHORRO ₡	₡9.054.558,72
AHORRO %	11,53

# Análisis de los resultados

Este proyecto se realiza tomando como base modelos estructurales, así como los planos finales de edificaciones que han sido desarrolladas por la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica.

El estudio final muestra un diagnóstico respecto a la sobrerresistencia que poseen ciertos elementos estructurales correspondientes a vigas y columnas, con los indicadores porcentuales obtenidos, es posible diseñar dichos elementos justamente para la carga que requieren soportar, asegurando que la estructura seguirá siendo funcional, segura y económica.

## Ubicación de los elementos estructurales según los rangos de solicitaciones últimas

En la parte inicial del proyecto lo que se hizo fue estudiar detenidamente cada una de las edificaciones para conocer los tipos y cantidades de elementos presentes en cada edificio, así como algunas de sus características principales. Como se menciona en la metodología, se procede a obtener las solicitaciones últimas de vigas y columnas del programa de modelación de estructuras SAP2000, tomando en cuenta todas las combinaciones con las que se realizó el análisis estructural.

Para obtener los indicadores finales se decide analizar por separado las combinaciones de carga gravitacional, de las combinaciones con carga sísmica, (siendo las primeras aquellas que no consideran el sismo); esto para determinar diferencias existentes entre ellos; a partir de esto se realiza una discretización en la cual se busca obtener el valor máximo de cada solicitación para cada elemento, y con ello, tomando como base los rangos brindados por la Oficina de Ingeniería correspondientes a: 100%,

100%-90%, 90%-75%, 75%-40% y 40%-0%, se establecen rangos de carga para cada edificación con los cuales se busca ubicar los elementos en dichos rangos a partir del valor de su solicitación última, según el tipo de viga y tipo de columna con el que se esté trabajando.

De esta forma la interpretación de los datos obtenidos se haría de la siguiente manera: para el caso del edificio de ampliación de servicios bibliotecarios en el Cuadro 2 se observa que respecto a la columna tipo 1 se tienen 105 elementos pertenecientes a esa categoría, donde, al analizar la carga axial (P), solo uno de ellos contiene la carga máxima es decir, el 100%, mientras que 88 elementos se encuentran en el rango de 40%-0% de la carga máxima, esto indica que esos últimos están diseñados para una carga mayor de la que realmente necesitan, este mismo proceso se ejecutó para todos los edificios para conocer la cantidades de elementos que se encontraban según los rangos establecidos

Sin embargo, se necesita determinar de una manera más uniforme el número de elementos que se sitúan en cada intervalo, se considera que al realizarlo de forma porcentual será posible establecer una relación entre todas las edificaciones para determinar un comportamiento integral de las vigas y columnas, al realizar este proceso se tiene lo siguiente: si se observa el Cuadro 2, al analizar la solicitación de cortante, un 90% de los elementos que están dentro de la categoría de columna tipo 1, pueden diseñarse para un 40%-0% de la carga máxima, un 8% de esos elementos, requieren de un 75%-40% aproximadamente, mientras que solamente un 1% aproximadamente, se deben diseñar para el 100%-90% y un 1% para el 100% de la carga crítica.

Este análisis se llevó a cabo para las ocho edificaciones en cada uno de los tipos de vigas y columnas, y de manera general, fue posible observar que el comportamiento era similar en la mayoría de los rangos, lo que

significa que el mayor porcentaje de los elementos se encontraba en el menor rango de carga establecido; esto indica que normalmente gran parte de los diseños de una edificación poseen una sobrerresistencia, lo cual, si bien es cierto, brinda mayor seguridad y resistencia a la estructura, además de funcionalidad, ya que fueron creados para soportar una carga mayor de la que realmente están sometidos, esto a su vez, podría generar sobrecostos pues el material utilizado en la elaboración de los elementos es mayor.

## Pruebas estadísticas

Se tiene la necesidad de hacer uso de la estadística ya que posibilita cuantificar la realidad, además de que estudia los métodos para recoger, organizar, resumir y organizar datos, con el fin de obtener conclusiones que se consideren válidas y tomar decisiones basadas en dicho análisis.

A partir de los resultados obtenidos de forma individual para cada edificio se debe realizar un análisis que integre todos los datos obtenidos para vigas y columnas de tal manera que puedan ser aplicados para un diseño de una edificación nueva, en este caso, se requirió hacer uso de las pruebas de hipótesis y posteriormente los gráficos de distribución.

Las pruebas de hipótesis ayudan a determinar la existencia de diferencias significativas entre los datos y con esto, se decide si se acepta o no la hipótesis nula, al inicio de estas pruebas se toma que la hipótesis nula ( $H_0$ ) es verdadera, si los resultados indican de forma clara que esta es falsa, debe ser rechazada. Para esto es preciso definir un intervalo de confianza y una significancia los cuales serán los responsables de determinar la aceptación o no de dicha hipótesis.

De acuerdo con los datos que se han obtenido mediante el proceso de discretización, se implementarán las pruebas de hipótesis por proporciones, pues lo que se busca es investigar la igualdad de las proporciones de los valores obtenidos para los elementos estructurales. Se decide utilizar un nivel de confianza del 95% lo que indica que se puede estar 95% seguro que la relación estadística que se está probando sucede satisfactoriamente, y esto implica una significancia de 0,05 ( $\alpha=0,05$ ), es decir, la frecuencia con que puede ocurrir el error tipo I,

(probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo verdadera).

Las pruebas de hipótesis por proporciones fueron realizadas mediante el programa Minitab el cual permitió realizar la comparación de todos los tipos de vigas y columnas por edificio, y posteriormente se realizaron comparaciones entre varios edificios; los datos obtenidos al analizar los edificios de forma individual se muestran en el Cuadro 19 para el caso de las vigas, mientras que para las columnas los datos obtenidos se encuentran en el Cuadro 20, cabe destacar que dichas pruebas se realizan de forma aleatoria según lo estipula el estadístico de prueba, por lo que se eligieron ciertas solicitaciones últimas para comprobar su equivalencia.

Luego de realizar las pruebas de hipótesis para todas las edificaciones se analizan los valores obtenidos; en el caso de las vigas al observar los valores de  $p$  alcanzados en los diferentes rangos, se tiene que el menor valor arrojado fue de 0,061 mientras que el mayor valor fue de  $p=1,00$ ; para el caso de las columnas se tiene que valor más pequeño fue  $p=0,074$ , y el mayor fue  $p=1,00$ ; la interpretación que se le da a estos valores es la siguiente, debido a que inicialmente se estableció una significancia de  $p=0,05$  los valores obtenidos deben ser mayor o igual a esa significancia para aceptar la hipótesis nula pues no hay evidencia que es falsa, entonces se toma como correcta; por lo tanto, teniendo en cuenta los valores generados de las pruebas de hipótesis por proporciones entre los elementos estructurales, se tiene que no hay suficiente evidencia para concluir que existen diferencias significativas entre los porcentajes comparados, en otras palabras, los porcentajes comparados no difieren significativamente por lo que se pueden trabajar de manera uniforme, debido a que  $p \geq 0,05$ .

Después de determinar que no existen diferencias importantes entre los elementos tipo viga y tipo columna que conforman un edificio, se debe analizar la posibilidad de que haya diferencias al contrastar los diferentes edificios en estudio, entonces se realizan las pruebas de hipótesis tomando elementos al azar de las diferentes construcciones en los rangos que se consideran como los más críticos, cuyos resultados se encuentran en el Cuadro 21 y en el Cuadro 22 para vigas y columnas respectivamente. En el caso de las vigas al

realizar dichas pruebas se tiene que el valor más pequeño fue de  $p=0,131$  y el valor máximo fue  $0,985$ ; para las columnas el valor más pequeño fue de  $p=0,112$  y el mayor fue  $p=1,00$ ; cómo se puede observar estos resultados son mayores que  $p=0,05$  por lo que se puede deducir que tampoco existen diferencias significativas entre los edificios que se estudiaron, es decir, la hipótesis nula se toma como correcta.

Se debe mencionar que el programa también indica que se puede estar trabajando con una muestra pequeña y efectivamente es así, se dice desde el área estadística que se tiene un tamaño de muestra pequeña cuando  $n < 30$ , y en este caso  $n=8$  por lo que es aproximadamente una tercera parte de la muestra con la que debería realizarse este estudio.

Una vez que se determina que todos los valores porcentuales obtenidos no presentan diferencias que puedan afectar el resultados de forma importante, es posible tratar todos de manera uniforme, lo cual permite realizar gráficas de distribución con el propósito de encontrar el valor más probable que puede ocurrir para cada una de las solicitaciones últimas de los elementos, es decir, se busca conocer el percentil 50 lo cual hace referencia a la media, y este valor, será el indicador que puede aplicarse a los diseños.

Del Cuadro 23 al Cuadro 32 se encuentran las distribuciones correspondientes a las vigas para carga gravitacional y sísmica en las cuales se determina el valor del percentil 50 de forma integral, pues, está contemplando todos los datos calculados para cada edificio. De igual manera, en el apéndice 2 se encuentran los valores correspondientes a las columnas, donde se muestra el valor del percentil 50, es decir, el valor más probable determinado de manera integral.

## Valores para optimizar los diseños de elementos estructurales

Luego de haber implementado los métodos estadísticos en la gama de datos de los elementos, mediante las gráficas de distribuciones se determina el valor con mayor probabilidades de ocurrir para las diferentes variables, por lo tanto, en el Cuadro 33 y en el Cuadro 34 se muestra un resumen de los

indicadores porcentuales obtenidos al examinar las solicitaciones últimas gravitacionales, y dinámicas respectivamente, para los elementos correspondientes a vigas, por ello, de acuerdo con el Cuadro 33, cuando se requiere realizar un diseño de vigas utilizando las solicitaciones gravitacionales, en relación al cortante, un 10% de las vigas deben diseñarse contemplando el 100% de la magnitud máxima de esta solicitación última, un 14% de los elementos debe diseñarse utilizando entre un 100%-90% de dicha carga; un 6% debería realizarse para un 90%-75%, pero un 28% del total de los elementos debe diseñarse para un 75%-40% de dicha solicitación, y por último, el mayor porcentaje de los elementos se encuentra en el último rangos ya que un 42% debería ser diseñado para 40%-0% del valor de esta solicitación última, dichas cantidades de elementos deben completar la cantidad de elementos totales que se desean diseñar

De igual manera al observar el Cuadro 34 respecto a las solicitaciones dinámicas, se encuentra que la mayor cantidad de elementos correspondientes a vigas debería ser diseñado para el rango de carga más pequeño, es decir, del 40%-0% de la magnitud máxima de las solicitaciones.

En el Cuadro 35 y en el Cuadro 36 se muestran, los valores obtenidos para las columnas tanto en combinaciones gravitacionales como sísmicas, se debe recalcar el comportamiento de dichos valores es similar al de las vigas, por ejemplo, en el Cuadro 36 se tiene que para realizar un diseño de columnas respecto a su carga axial utilizando las combinaciones dinámicas, un 8% de la cantidad de los elementos por diseñar debería realizarse para el 100% de la carga última, un 5% para el 100%-90% de la carga, un 7% para 90%-75%, y las mayores cantidades se encuentran en los últimos rangos donde un 27% debería diseñarse para 75%-40% de esa solicitación, mientras que para un 53% es decir, poco más de la mitad de los elementos debería contemplarse tan solo un 40%-0% de la magnitud máxima. Este análisis se realiza de igual manera con los datos del Cuadro 35 los cuales corresponden a las solicitaciones últimas gravitacionales.

En forma general, al comparar los resultados gravitacionales con los dinámicos tanto para vigas como columnas, se tiene que no se presentan variaciones significativas, pues el mayor porcentaje de elementos por diseñar se

encuentra en el menor rango de carga, mientras que, para la carga máxima, aproximadamente solamente una décima parte de los elementos son los que deberían contener dicha magnitud; además, normalmente se considera la acción del sismo en las estructuras por lo que para los diseños se contemplarían los indicadores dinámicos, sin embargo, este estudio se decidió realizar para ambos casos para identificar si existía diferencias importantes de uno respecto al otro; en este caso, lo importante sería identificar exactamente cuáles son los elementos que se ubican en cada uno de los rangos con el fin de diseñarlos de acuerdo a los que necesitan resistir.

Este estudio permite conocer que muchos de los elementos analizados poseen una sobrerresistencia pues la carga para la que fueron creados es mucho mayor de la que realmente necesitaban resistir, sin embargo, en este proyecto solamente se está tomando en cuenta valores de las solicitaciones últimas requeridas, debería contemplarse también qué tan factible resulta desde el punto de vista constructivo, realizar diferentes configuraciones para los elementos; adicionalmente, factores como la mano de obra también son de vital importancia pues esta metodología podría generar complicaciones o una inversión mayor de trabajo durante la construcción.

## **Diseño de elementos estructurales**

Como uno de los objetivos se tenía que validar la metodología propuesta, por lo que se decide tomar uno de los edificios utilizados para el estudio y realizar un rediseño de vigas y columnas para determinar diferencias respecto al diseño original. Cabe destacar que se utilizan las mismas dimensiones de los elementos originales para no alterar los modelos ni la carga permanente pues, esto implicaría un cambio en la masa de la estructura, por lo tanto, el periodo resultante sería diferente y con esto cambiaría la dinámica de la estructura. Se utilizan de igual manera, los mismos cortes basales y derivas características de la estructura.

Del Cuadro 37 al Cuadro 39 se tiene un resumen de los diseños realizados a las vigas presentes en el edificio de ampliación de servicios bibliotecarios, donde se muestra la cantidad de

elementos presentes en cada rango los cuales fueron determinados a partir de los indicadores propuestos, así como la cantidad de acero necesaria para cada una de las vigas. Se debe mencionar que fue necesario la determinación de las vigas más esforzadas con el fin de diseñar adecuadamente cada elemento según su función en la estructura.

De igual manera del Cuadro 40 al Cuadro 43 se tienen los resultados de las columnas que conforman este edificio. Para realizar este diseño fue necesario la realización de los diagramas de interacción para cada rango de solicitaciones para cada una de las columnas, pues varían considerablemente; estos diagramas fueron realizados mediante el programa SAP2000 donde es posible determinar los valores exactos que le corresponden a cada elemento según el diseño que se está realizando.

Con el fin de detectar con mayor facilidad las diferencias existentes entre los rangos respecto a las columnas, en los diagramas de interacción se utilizó una paleta de colores donde el color rojo se refiere a la carga máxima es decir, el rango correspondiente al 100% que se refiere al diseño original, el naranja corresponde al 100%-90%, el amarillo al 90%-75%, el verde al rango de 75%-40% y el azul se refiere al rango menor de solicitación última es decir, 40%-0%, esto para que sea visualmente más sencillo la comparación entre estos y observar de mejor manera las diferencias que se presentan. Al igual que en las vigas, fue necesario la determinación de los elementos que se ubican en cada rango tomando como base los indicadores porcentuales para las columnas.

Respecto al Cuadro 42 para la columna tipo 3, se puede observar que no se presenta un diseño para el rango de 100%-90% esto se debe a que no se tienen elementos que cumplan con los requisitos para este rango, de igual forma sucede con el Cuadro 43 el cual contiene un resumen del diseño para la columna tipo 4 donde solo se tiene diseños para el rango del 100% y para el de 40%-0% de la magnitud máxima de solicitación última, pues este tipo de columna solamente cuenta con tres elementos donde dos de ellos se encuentran en el menor rango, por esto, no se tienen elementos que puedan incluirse en los otros intervalos establecidos. Esto se refleja de igual manera en los diagramas de interacción correspondientes a las columnas

mencionadas donde solo se observan estos rangos en los que se realizó el diseño.

Se puede observar la reducción que se fue dando en la cantidad de acero necesario para cada uno de los elementos, lo cual indica que la aplicación de los indicadores puede ser funcional a la hora de diseñar ya que se tienen elementos que concuerdan un poco más con la carga a la que estarán sometidos en la estructura.

En el Cuadro 44 se observa la determinación del costo para los elementos tipo viga y tipo columna del edificio de la biblioteca al utilizar los diseños originales, es decir, los existentes, mientras que en el Cuadro 45 se observa el presupuesto realizado al utilizar los indicadores porcentuales en vigas y columnas para dicha edificación, cabe destacar que este presupuesto está realizado de forma general y solamente contempla los materiales que se requieren, pese a esto, en el Cuadro 46 se observa un resumen de los valores totales obtenidos en los presupuestos realizados, donde se tiene que con la aplicación de los indicadores porcentuales se genera un ahorro aproximado de \$9.054.558,72, lo que equivale a un 11,53% del monto total del costo de la realización de vigas y columnas, esto podría ser un ahorro mayor si se realizan cambios en las secciones de los elementos. Este dato es de gran importancia ya que es un dinero que favorece a los encargados del proyecto y, además, demuestra que efectivamente con esta metodología las construcciones pueden resultar más rentable desde el punto de vista económico.

# Conclusiones

- Se determinaron los indicadores porcentuales los cuales mostraron que la mayoría de los elementos estructurales estudiados en las diferentes edificaciones poseen una resistencia mayor respecto a la que necesitan.
- Se trabajó con una muestra representativa pequeña.
- El nivel de confianza establecido resultó ser adecuado para realizar las pruebas estadísticas, así como su respectiva significancia.
- Mediante las pruebas de hipótesis se pudo determinar que no existen diferencias significativas en las proporciones obtenidas tanto en vigas como en columnas de los diferentes proyectos.
- A partir de los porcentajes individuales fue posible determinar un indicador cada una de las solicitaciones últimas gravitacionales y dinámicas.
- Los gráficos de distribución permitieron obtener el valor del porcentaje más probable de la cantidad de elementos que deberían diseñarse para cada rango para las vigas se tiene que alrededor del 11% de los elementos debe diseñarse para el 100% de la carga mientras que un 40% se puede diseñar para 40% de la carga máxima, respecto a las columnas se tiene que un 8% debe diseñarse para el 100% mientras que un 50% de los elementos podría diseñarse para un 40% de la carga.
- 
- Los indicadores porcentuales obtenidos para las solicitaciones gravitacionales y para las solicitaciones dinámicas presentaron un comportamiento semejante en los diferentes rangos, se concluye que el tipo de combinación no es sensible al resultado.
- La implementación de los indicadores en el rediseño realizado a una edificación existente permitió reducir la cantidad de acero necesario en la mayoría de los elementos de acuerdo con su ubicación en los intervalos de carga definidos, para el caso de columnas el acero se redujo aproximadamente en un 25% al pasar del 100% al 40% de la carga máxima.
- Con la aplicación de los indicadores porcentuales, al realizar los rediseños de los elementos en los cuales solo hubo variación del acero de refuerzo, se logró obtener un ahorro de ₡9.054.558,72 aproximadamente lo cual representa un 11,53% del monto del presupuesto de las vigas y columnas realizadas con los diseños originales.

# Recomendaciones

- Se sugiere continuar con este estudio, incrementando el tamaño de la muestra, pues desde el punto de vista estadístico, la muestra debería ser mayor a 30 edificaciones para tener mayor certeza en los datos generados.
- Utilizar un mayor nivel de confianza en las pruebas estadísticas de manera que el margen de error sea menor en la comparación de las proporciones obtenidas.
- Realizar la validación en una estructura ya existente con la salvedad de variar las dimensiones de los elementos originales lo cual implica un nuevo modelo estructural, arquitectura diferente, es decir un nuevo análisis, con el fin de establecer diferencias.
- Realizar otro tipo de investigación donde se presenten variaciones de cantidad de niveles, tipo de suelo, tipo de ocupación, entre otros, para determinar qué tan sensible son esos parámetros.
- Se recomienda realizar un presupuesto detallado de los elementos que se diseñan con el fin de determinar qué tan viable es utilizar los indicadores porcentuales desde el punto de vista económico.
- Realizar este tipo de investigación en edificaciones construidas con otros materiales como el acero o madera para determinar su comportamiento, así como considerar otros elementos estructurales como muro y losas de fundación.



# Apéndices

**Apéndice 1. Ubicación de los elementos según el rango de carga establecido para todos los edificios.**

**Apéndice 2. Pruebas estadísticas.**

**Apéndice 3. Memoria de cálculo del diseño de los elementos estructurales para el edificio de ampliación de servicios bibliotecarios.**

## Apéndice 1. Ubicación de los elementos según el rango de carga establecido para todos los edificios.

Extensión del edificio de Ciencias del Lenguaje

Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 47. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de Ciencias del lenguaje correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	140680,75	16339,41	2302,26	77,14	4071,01	29068,22
C-2	13285,31	1304,34	503,45	103,45	470,26	484,35

**Cuadro 48. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,85	1	1,85	1	1,85	1	1,85	1	1,85	1	1,85
100%-90%	0	0,00	0	0,00	1	1,85	0	0,00	2	3,70	0	0,00
90% - 75%	1	1,85	1	1,85	2	3,70	5	9,26	2	3,70	1	1,85
75% - 40%	4	7,41	1	1,85	21	38,89	5	9,26	14	25,93	4	7,41
40% - 0%	48	88,89	51	94,44	29	53,70	43	79,63	35	64,81	48	88,89
TOTAL	54	100%	54	100%	54	100%	54	100%	54	100%	54	100%

**Cuadro 49. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33
100%-90%	1	8,33	2	16,67	0	0,00	0	0,00	1	8,33	3	25,00
90% - 75%	1	8,33	1	8,33	2	16,67	3	25,00	1	8,33	1	8,33
75% - 40%	4	33,33	7	58,33	4	33,33	3	25,00	4	33,33	6	50,00
40% - 0%	5	41,67	1	8,33	5	41,67	5	41,67	5	41,67	1	8,33
TOTAL	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%

**Cuadro 50. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de Ciencias del lenguaje correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	14003,19	1446,16	16078,86
V-2	42722,61	36,74	55040,15
V-3	2820,72	268,96	3301,73

**Cuadro 51. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,56	1	1,56	1	1,56
100%-90%	3	4,69	1	1,56	1	1,56
90% - 75%	0	0,00	3	4,69	0	0,00
75% - 40%	16	25,00	7	10,94	18	28,13
40% - 0%	44	68,75	52	81,25	44	68,75
<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 52. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	50,00	1	50,00	1	50,00
100%-90%	1	50,00	0	0,00	1	50,00
90% - 75%	0	0,00	1	50,00	0	0,00
75% - 40%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
40% - 0%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 53. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,13	1	3,13	1	3,13
100%-90%	6	18,75	0	0,00	1	3,13
90% - 75%	2	6,25	0	0,00	4	12,50
75% - 40%	14	43,75	5	15,63	9	28,13
40% - 0%	9	28,13	26	81,25	17	53,13
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>

## Combinaciones con carga sísmica

**Cuadro 54. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de Ciencias del lenguaje correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	104694,84	12170,35	8292,49	162,45	4233,59	21682,88
C-2	45896,52	5329	665,99	108,27	640,61	2063,51

**Cuadro 55. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,85	1	1,85	1	1,85	1	1,85	1	1,85	1	1,85
100%-90%	1	1,85	0	0,00	0	0,00	5	9,26	2	3,70	0	0,00
90% - 75%	1	1,85	1	1,85	0	0,00	6	11,11	4	7,41	1	1,85
75% - 40%	10	18,52	5	9,26	4	7,41	31	57,41	19	35,19	4	7,41
40% - 0%	41	75,93	47	87,04	49	90,74	11	20,37	28	51,85	48	88,89
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 56. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33
100%-90%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	2	16,67	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	8,33	1	8,33	2	16,67	1	8,33	1	8,33	2	16,67
75% - 40%	2	16,67	6	50,00	4	33,33	3	25,00	4	33,33	6	50,00
40% - 0%	7	58,33	3	25,00	4	33,33	5	41,67	6	50,00	3	25,00
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 57. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de Ciencias del lenguaje correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	11166,01	1158,15	12817,48
V-2	30911,62	112,04	40683,1
V-3	2291,52	234,84	2766,65

**Cuadro 58. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,56	1	1,56	1	1,56
100%-90%	3	4,69	3	4,69	1	1,56
90% - 75%	0	0,00	2	3,13	0	0,00
75% - 40%	19	29,69	9	14,06	21	32,81
40% - 0%	41	64,06	49	76,56	41	64,06
<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 59. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	50,00	1	50,00	1	50,00
100%-90%	1	50,00	0	0,00	1	50,00
90% - 75%	0	0,00	1	50,00	0	0,00
75% - 40%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
40% - 0%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 60. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,13	1	3,13	1	3,13
100%-90%	6	18,75	1	3,13	2	6,25
90% - 75%	3	9,38	0	0,00	4	12,50
75% - 40%	16	50,00	5	15,63	12	37,50
40% - 0%	6	18,75	25	78,13	13	40,63
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>

## Diseño Industrial

### Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 61. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de Diseño Industrial correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	19547,9	4834,16	1745,4	378,54	1580,44	3133,03
C-2	6735,37	1176,44	530,37	61,65	478,34	1009,6
C-3	2832,2	336,95	535,71	5,75	195,59	98,91
C-4	14350,4	2608,82	4018,99	85,02	2370,08	1475,03

**Cuadro 62. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00
100%-90%	0	0,00	0	0,00	1	5,00	2	10,00	0	10,00	1	5,00
90% - 75%	2	10,00	0	0,00	2	10,00	0	0,00	5	0,00	2	10,00
75% - 40%	6	30,00	1	5,00	8	40,00	2	10,00	4	10,00	4	20,00
40% - 0%	11	55,00	18	90,00	8	40,00	15	75,00	10	75,00	12	60,00
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 63. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,94	1	2,94	1	2,94	1	2,94	1	2,94	1	2,94
100%-90%	3	8,82	1	2,94	2	5,88	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	3	8,82	0	0,00	3	8,82	2	5,88	3	8,82	1	2,94
75% - 40%	16	47,06	6	17,65	4	11,76	6	17,65	2	5,88	5	14,71
40% - 0%	11	32,35	26	76,47	24	70,59	25	73,53	28	82,35	27	79,41
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 64. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00
100%-90%	1	50,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	50,00	0	0,00	0	0,00
40% - 0%	0	0,00	1	50,00	1	50,00	0	0,00	1	50,00	1	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 65. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	8,33	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	8,33
75% - 40%	4	33,33	1	8,33	0	0,00	2	16,67	1	8,33	1	8,33
40% - 0%	7	58,33	10	83,33	11	91,67	8	66,67	10	83,33	9	75,00
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 66. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de Diseño Industrial correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VCC1	2041,7	279,04	1360,25
VCC2	1969,42	117,87	1366,17
VCE	4811,77	1223,3	6522,01
VCF	6173,67	439,48	5651,54

**Cuadro 67. Cantidad de elementos de viga VCC1 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,26	1	5,26	1	5,26
100%-90%	0	0,00	1	5,26	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	5	26,32	0	0,00	8	42,11
40% - 0%	13	68,42	17	89,47	10	52,63
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 68. Cantidad de elementos de viga VCC2 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	4,55	1	4,55	1	4,55
100%-90%	4	18,18	1	4,55	3	13,64
90% - 75%	1	4,55	0	0,00	2	9,09
75% - 40%	7	31,82	0	0,00	4	18,18
40% - 0%	9	40,91	20	90,91	12	54,55
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 69. Cantidad de elementos de viga VCE encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	14,29	1	14,29	1	14,29
100%-90%	2	28,57	2	28,57	2	28,57
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	2	28,57	0	0,00	2	28,57
40% - 0%	2	28,57	4	57,14	2	28,57
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 70. Cantidad de elementos de viga VCF encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50
100%-90%	0	0,00	2	25,00	1	12,50
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	1	12,50
75% - 40%	4	50,00	1	12,50	1	12,50
40% - 0%	3	37,50	4	50,00	4	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Combinaciones con carga sísmica**

**Cuadro 71. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de Diseño Industrial correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	28805,02	4022,96	2699,11	316,73	1493,65	2597,6
C-2	9597,23	1161,11	541,45	53,66	324,89	736,28
C-3	7517,92	968,95	807,15	24,53	311,4	328,01
C-4	16643,1	2334,88	3337,84	85,44	1926,16	1781,36



**Cuadro 72. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00
100%-90%	0	0,00	0	0,00	2	10,00	2	10,00	0	0,00	1	5,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	4	20,00	0	0,00	2	10,00	3	15,00
75% - 40%	8	40,00	2	10,00	4	20,00	4	20,00	15	75,00	5	25,00
40% - 0%	11	55,00	17	85,00	9	45,00	13	65,00	2	10,00	10	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 73. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,94	1	2,94	1	2,94	1	2,94	1	2,94	1	2,94
100%-90%	2	5,88	2	5,88	3	8,82	1	2,94	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	2,94	1	2,94	5	14,71	0	0,00	3	8,82	3	8,82
75% - 40%	16	47,06	8	23,53	13	38,24	8	23,53	7	20,59	8	23,53
40% - 0%	14	41,18	22	64,71	12	35,29	24	70,59	23	67,65	22	64,71
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 74. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00
100%-90%	1	50,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	0	0,00	0	0,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00	1	50,00
40% - 0%	0	0,00	1	50,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 75. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33	1	8,33
100%-90%	1	8,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	8,33	0	0,00	0	0,00	3	25,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	3	25,00	5	41,67	3	25,00	5	41,67	3	25,00	3	25,00
40% - 0%	6	50,00	6	50,00	8	66,67	3	25,00	8	66,67	8	66,67
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 76. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de Diseño Industrial correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	1409,41	180,33	966,8
V-2	1272,7	85,41	891,06
VCE	3724,23	893,96	5121,06
VCF	4531,21	416,56	4077,89

**Cuadro 77. Cantidad de elementos de viga VCC1 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,26	1	5,26	1	5,26
100%-90%	0	0,00	1	5,26	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	5	26,32
75% - 40%	12	63,16	2	10,53	6	31,58
40% - 0%	6	31,58	15	78,95	7	36,84
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 78. Cantidad de elementos de viga VCC2 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	4,55	1	4,55	1	4,55
100%-90%	4	18,18	1	4,55	3	13,64
90% - 75%	1	4,55	2	9,09	2	9,09
75% - 40%	8	36,36	2	9,09	4	18,18
40% - 0%	8	36,36	16	72,73	12	54,55
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 79. Cantidad de elementos de viga VCE encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	14,29	1	14,29	1	14,29
100%-90%	2	28,57	2	28,57	2	28,57
90% - 75%	2	28,57	0	0,00	1	14,29
75% - 40%	0	0,00	0	0,00	1	14,29
40% - 0%	2	28,57	4	57,14	2	28,57
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 80. Cantidad de elementos de viga VCF encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50
100%-90%	0	0,00	0	0,00	1	12,50
90% - 75%	0	0,00	2	25,00	1	12,50
75% - 40%	5	62,50	2	25,00	2	25,00
40% - 0%	2	25,00	3	37,50	3	37,50
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

Comedor estudiantil

Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 81. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de Comedor estudiantil correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	97575,02	17463,12	6953,71	1665,13	17787,26	18860,89
C-2	9430,13	1699,8	688,39	94,22	225,49	783,49
C-3	9819,37	3459,72	3407,94	17,68	1695,62	1785,41

**Cuadro 82 Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,28	2	2,56	1	1,28	1	1,28	1	1,28	1	1,28
100%-90%	6	7,69	0	0,00	1	1,28	0	0,00	1	1,28	2	2,56
90% - 75%	2	2,56	0	0,00	1	1,28	0	0,00	0	0,00	3	3,85
75% - 40%	14	17,95	4	5,13	16	20,51	0	0,00	19	24,36	13	16,67
40% - 0%	55	70,51	72	92,31	59	75,64	77	98,72	57	73,08	59	75,64
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 83. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67
100%-90%	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	0	0,00
90% - 75%	3	20,00	1	6,67	1	6,67	2	13,33	4	26,67	1	6,67
75% - 40%	4	26,67	2	13,33	2	13,33	5	33,33	3	20,00	3	20,00
40% - 0%	6	40,00	10	66,67	10	66,67	6	40,00	6	40,00	10	66,67
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 84. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	1	20,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	20,00	0	0,00	0	0,00	1	20,00	1	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	20,00	0	0,00	0	0,00	3	60,00	3	0,00	0	0,00
40% - 0%	1	20,00	4	80,00	4	80,00	0	0,00	0	80,00	4	80,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 85. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de Comedor estudiantil correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VC-1	33293,04	3642,82	38820,04
VC-2	11833,63	802,49	14503,53
VC-3	1898,23	579,87	1671,05
VC-4	25770,02	6972,01	71681,99
VC-5	3736,22	293,37	1443,75

**Cuadro 86. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,86	1	2,86	1	2,86
100%-90%	2	5,71	0	0,00	4	11,43
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	4	11,43
75% - 40%	14	40,00	4	11,43	10	28,57
40% - 0%	18	51,43	30	85,71	16	45,71
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 87. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	0	0,00	1	3,23	1	3,23
100%-90%	1	3,23	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	1	3,23	0	0,00
75% - 40%	6	19,35	3	9,68	4	12,90
40% - 0%	24	77,42	26	83,87	26	83,87
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 88. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	11,11	1	11,11	1	11,11
100%-90%	0	0,00	1	11,11	1	11,11
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	1	11,11
75% - 40%	4	44,44	0	0,00	1	11,11
40% - 0%	4	44,44	7	77,78	5	55,56
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 89. Cantidad de elementos de viga tipo 4 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	2	40,00	0	0,00	2	40,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	2	40,00	1	20,00	2	40,00
40% - 0%	0	0,00	3	60,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 90. Cantidad de elementos de viga tipo 5 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	20,00	1	20,00	1	20,00
40% - 0%	3	60,00	3	60,00	3	60,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Combinaciones con carga sísmica**

**Cuadro 91. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de Comedor estudiantil correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	67202,35	29983,01	13502,66	1320,84	13740,76	20493,93
C-2	31580,74	4622,85	3081,78	207,77	750,38	1692,48
C-3	50900,26	7272,68	3905,04	92,54	1671,57	2969,78

**Cuadro 92. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,28	1	1,28	1	1,28	1	1,28	1	1,28	1	1,28
100%-90%	6	7,69	1	1,28	1	1,28	0	0,00	1	1,28	1	1,28
90% - 75%	4	5,13	0	0,00	1	1,28	0	0,00	2	2,56	0	0,00
75% - 40%	12	15,38	3	3,85	2	2,56	1	1,28	20	25,64	17	21,79
40% - 0%	55	70,51	73	93,59	73	93,59	76	97,44	54	69,23	59	75,64
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 93. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67	1	6,67
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	6,67	1	6,67	1	6,67	0	0,00	1	6,67	3	20,00
75% - 40%	5	33,33	3	20,00	0	0,00	4	26,67	3	20,00	1	6,67
40% - 0%	8	53,33	10	66,67	13	86,67	10	66,67	10	66,67	10	66,67
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 94. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	1	20,00	1	20,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	20,00	0	0,00	1	20,00	1	20,00	2	40,00	0	0,00
40% - 0%	3	60,00	4	80,00	2	40,00	2	40,00	2	40,00	4	80,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 95. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de Comedor estudiantil correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VC-1	22280,89	2995,37	28082,3
VC-2	15040,75	907,25	9457,66
VC-3	5454,03	402,41	1467,27
VC-4	18269,65	5451,89	50146,07
VC-5	5387,44	972,21	3461,16

**Cuadro 96. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,86	1	2,86	1	2,86
100%-90%	2	5,71	0	0,00	4	11,43
90% - 75%	1	2,86	0	0,00	5	14,29
75% - 40%	15	42,86	4	11,43	10	28,57
40% - 0%	16	45,71	30	85,71	15	42,86
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>	<b>35</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 97. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	0	0,00	1	3,23	1	3,23
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	2	6,45	0	0,00
75% - 40%	2	6,45	4	12,90	4	12,90
40% - 0%	29	93,55	24	77,42	26	83,87
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 98. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	11,11	1	11,11	1	11,11
100%-90%	0	0,00	0	0,00	3	33,33
90% - 75%	0	0,00	3	33,33	1	11,11
75% - 40%	0	0,00	0	0,00	1	11,11
40% - 0%	8	88,89	5	55,56	3	33,33
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 99. Cantidad de elementos de viga tipo 4 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	2	40,00	0	0,00	2	40,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	2	40,00	1	20,00	2	40,00
40% - 0%	0	0,00	3	60,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 100. Cantidad de elementos de viga tipo 5 encontrados en los rangos establecidos**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	1	20,00	0	0,00	1	20,00
90% - 75%	2	40,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	20,00	1	20,00	3	60,00
40% - 0%	0	0,00	3	60,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Edificio para la Escuela de Ingeniería en Computación

Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 101. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de la Escuela de Computación correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	376749,85	27454,85	13824,04	1485,45	34184,43	53628,81
C-2	69499,14	8015,8	1648,69	448	2513,24	3491,83
C-3	53841,95	6761,18	6195,95	82,44	2485,92	1484,18
C-4	36818,76	155,17	104,5	200,24	262,35	22064,21



**Cuadro 102. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,03	1	1,03	1	1,03	1	1,03	1	1,03	1	1,03
100%-90%	3	3,09	3	3,09	0	0,00	1	1,03	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	4	4,12	2	2,06	3	3,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	16	16,49	18	18,56	33	34,02	6	6,19	9	9,28	20	20,62
40% - 0%	73	75,26	73	75,26	60	61,86	89	91,75	87	89,69	76	78,35
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 103. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,61	1	1,61	1	1,61	1	1,61	1	1,61	1	1,61
100%-90%	0	0,00	4	6,45	3	4,84	2	3,23	1	1,61	2	3,23
90% - 75%	1	1,61	9	14,52	1	1,61	2	3,23	2	3,23	5	8,06
75% - 40%	17	27,42	17	27,42	1	1,61	0	0,00	1	1,61	17	27,42
40% - 0%	43	69,35	31	50,00	56	90,32	57	91,94	57	91,94	37	59,68
<b>TOTAL</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 104. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88
100%-90%	0	0,00	0	0,00	3	17,65	1	5,88	3	17,65	0	0,00
90% - 75%	1	5,88	1	5,88	0	0,00	0	0,00	2	11,76	4	23,53
75% - 40%	3	17,65	3	17,65	2	11,76	5	29,41	0	0,00	2	11,76
40% - 0%	12	70,59	12	70,59	11	64,71	10	58,82	11	64,71	10	58,82
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 105. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	0	0,00	1	20,00	1	20,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	1	20,00	0	0,00	1	20,00	0	0,00	2	40,00	0	0,00
75% - 40%	2	40,00	2	40,00	1	20,00	0	0,00	1	20,00	0	0,00
40% - 0%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	4	80,00	1	20,00	4	80,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 106. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de la Escuela de Computación correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	1449,03	194,62	1716,63
VC-1	38758,91	6368,31	82239,81
VC-2	38221,76	7920,37	58069,62
VC-3	7391,81	5702,17	6918,8
VC-4	3229,16	361,88	1646,82

**Cuadro 107. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,50	1	2,50	1	2,50
100%-90%	8	20,00	0	0,00	5	12,50
90% - 75%	20	50,00	1	2,50	8	20,00
75% - 40%	11	27,50	21	52,50	21	52,50
40% - 0%	0	0,00	17	42,50	5	12,50
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 108. Cantidad de elementos de viga tipo VC-1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,05	1	1,05	1	1,05
100%-90%	3	3,16	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	11	11,58	1	1,05	7	7,37
75% - 40%	25	26,32	16	16,84	29	30,53
40% - 0%	55	57,89	77	81,05	58	61,05
<b>TOTAL</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 109. Cantidad de elementos de viga tipo VC-2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,714	1	0,71	1	0,71
100%-90%	11	7,857	1	0,71	9	6,43
90% - 75%	11	7,857	7	5,00	13	9,29
75% - 40%	17	12,143	13	9,29	13	9,29
40% - 0%	100	71,429	118	84,29	104	74,29
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>	<b>100%</b>	<b>140</b>	<b>100%</b>	<b>140</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 110. Cantidad de elementos de viga tipo VC-3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,33	1	3,33	1	3,33
100%-90%	3	10,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	2	6,67	0	0,00	2	6,67
75% - 40%	6	20,00	4	13,33	8	26,67
40% - 0%	18	60,00	25	83,33	19	63,33
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 111. Cantidad de elementos de viga tipo VC-4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	16,67	1	16,67	1	16,67
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	16,67	0	0,00	0	0,00
40% - 0%	4	66,67	5	83,33	5	83,33
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>

### Combinaciones con carga sísmica

**Cuadro 112. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de la Escuela de Computación correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	327458,85	32746,26	23634,99	1595,56	26688,59	47035,62
C-2	116808,42	13634,65	1410,81	359,35	2121,42	5675,96
C-3	141861,58	8043,76	13092,09	324,89	5992,75	2765,25
C-4	50309,66	1558,71	214,16	6,84	455,97	3316,35

**Cuadro 113. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,03	1	1,03	1	1,03	1	1,03	1	1,03	1	1,03
100%-90%	1	1,03	0	0,00	0	0,00	1	1,03	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	4	4,12	4	4,12	0	0,00	2	2,06	2	2,06	0	0,00
75% - 40%	36	37,11	9	9,28	19	19,59	11	11,34	22	22,68	42	43,30
40% - 0%	55	56,70	83	85,57	77	79,38	82	84,54	72	74,23	54	55,67
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>	<b>97</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 114. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,61	1	1,61	1	1,61	1	1,61	1	1,61	1	1,61
100%-90%	1	1,61	4	6,45	5	8,06	5	8,06	0	0,00	4	6,45
90% - 75%	1	1,61	5	8,06	5	8,06	3	4,84	3	4,84	4	6,45
75% - 40%	14	22,58	40	64,52	16	25,81	17	27,42	14	22,58	39	62,90
40% - 0%	45	72,58	12	19,35	35	56,45	36	58,06	44	70,97	14	22,58
<b>TOTAL</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 115. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88
100%-90%	0	0,00	1	5,88	2	11,76	1	5,88	1	5,88	2	11,76
90% - 75%	0	0,00	1	5,88	2	11,76	1	5,88	3	17,65	0	0,00
75% - 40%	5	29,41	7	41,18	3	17,65	3	17,65	3	17,65	6	35,29
40% - 0%	11	64,71	7	41,18	9	52,94	11	64,71	9	52,94	8	47,06
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 116. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00
100%-90%	0	0,00	2	40,00	1	20,00	2	40,00	1	20,00	2	40,00
90% - 75%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00
75% - 40%	1	20,00	1	20,00	1	20,00	0	0,00	1	20,00	1	20,00
40% - 0%	2	40,00	0	0,00	1	20,00	1	20,00	1	20,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 117. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de la Escuela de Computación correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	2085,32	288,36	2803,18
VC-1	30852,95	5547,16	71446,34
VC-2	32602,25	6741,05	47304,44
VC-3	11176,04	4387,43	12078,72
VC-4	2813,43	417,32	1850,81

**Cuadro 118. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,50	1	2,50	1	2,50
100%-90%	3	7,50	3	7,50	3	7,50
90% - 75%	4	10,00	6	15,00	2	5,00
75% - 40%	32	80,00	19	47,50	24	60,00
40% - 0%	0	0,00	11	27,50	10	25,00
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 119. Cantidad de elementos de viga tipo VC-1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,05	1	1,05	1	1,05
100%-90%	6	6,32	1	1,05	0	0,00
90% - 75%	9	9,47	1	1,05	7	7,37
75% - 40%	43	45,26	25	26,32	31	32,63
40% - 0%	36	37,89	67	70,53	56	58,95
<b>TOTAL</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>	<b>95</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 120. Cantidad de elementos de viga tipo VC-2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,71	1	0,71	1	0,71
100%-90%	2	1,43	0	0,00	12	8,57
90% - 75%	22	15,71	10	7,14	9	6,43
75% - 40%	57	40,71	23	16,43	36	25,71
40% - 0%	58	41,43	106	75,71	82	58,57
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>	<b>100%</b>	<b>140</b>	<b>100%</b>	<b>140</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 121 Cantidad de elementos de viga tipo VC-3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,33	1	3,33	1	3,33
100%-90%	1	3,33	0	0,00	2	6,67
90% - 75%	1	3,33	0	0,00	2	6,67
75% - 40%	11	36,67	17	56,67	7	23,33
40% - 0%	16	53,33	12	40,00	18	60,00
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 122. Cantidad de elementos de viga tipo VC-4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	16,67	1	16,67	1	16,67
100%-90%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	1	16,67	0	0,00	1	16,67
40% - 0%	4	66,67	5	83,33	4	66,67
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>

Núcleo integrado de Química/Ambiental

Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 123. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de Núcleo integrado de Química/Ambiental correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	163856,84	9601,36	9329,37	538,07	18777,89	20313,05
C-2	34429,94	2377,18	4976,2	656,71	2527,03	2262,71
C-3	15914,14	2746,56	1710,92	39,14	1616	1563,06
C-4	35555,1	6733,83	3266,88	205,74	2196,16	4934,94

**Cuadro 124. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,86	1	0,86	1	0,86	1	0,86	1	0,86	1	0,86
100%-90%	0	0,00	4	3,45	3	2,59	1	0,86	3	2,59	4	3,45
90% - 75%	1	0,86	3	2,59	0	0,00	0	0,00	1	0,86	0	0,00
75% - 40%	21	18,10	23	19,83	20	17,24	8	6,90	11	9,48	22	18,97
40% - 0%	93	80,17	85	73,28	92	79,31	106	91,38	100	86,21	89	76,72
<b>TOTAL</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 125. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,79	1	1,79	1	1,79	1	1,79	1	1,79	1	1,79
100%-90%	0	0,00	1	1,79	0	0,00	2	3,57	0	0,00	1	1,79
90% - 75%	0	0,00	1	1,79	1	1,79	1	1,79	2	3,57	2	3,57
75% - 40%	11	19,64	2	3,57	2	3,57	0	0,00	7	12,50	0	0,00
40% - 0%	44	78,57	51	91,07	52	92,86	52	92,86	46	82,14	52	92,86
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 126. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25
100%-90%	0	0,00	2	12,50	0	0,00	1	6,25	0	0,00	2	12,50
90% - 75%	3	18,75	1	6,25	1	6,25	5	31,25	1	6,25	1	6,25
75% - 40%	9	56,25	0	0,00	1	6,25	1	6,25	0	0,00	0	0,00
40% - 0%	3	18,75	12	75,00	13	81,25	8	50,00	14	87,50	12	75,00
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 127. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,70	1	2,70	1	2,70	1	2,70	1	2,70	1	2,70
100%-90%	1	2,70	4	10,81	0	0,00	1	2,70	0	0,00	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	3	8,11	1	2,70	1	2,70	5	13,51	7	18,92
75% - 40%	12	32,43	4	10,81	5	13,51	1	2,70	3	8,11	4	10,81
40% - 0%	23	62,16	25	67,57	30	81,08	33	89,19	28	75,68	25	67,57
<b>TOTAL</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 128. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de Núcleo integrado de Química/Ambiental correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VC-1	35591,76	5055,63	45433,66
VC-2	22140,94	1727,81	20318,7
VC-3	28631,08	89,9	42317,85
VCC-1	4742,74	1198,69	5655,79
VCC-2	2236,32	83,46	988,86

**Cuadro 129. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,81	1	0,81	1	0,81
100%-90%	2	1,61	1	0,81	2	1,61
90% - 75%	0	0,00	4	3,23	0	0,00
75% - 40%	6	4,84	3	2,42	12	9,68
40% - 0%	115	92,74	115	92,74	109	87,90
<b>TOTAL</b>	<b>124</b>	<b>100%</b>	<b>124</b>	<b>100%</b>	<b>124</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 130. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	2	1,01	2	1,01	2	1,01
100%-90%	4	2,01	5	2,51	5	2,51
90% - 75%	8	4,02	9	4,52	11	5,53
75% - 40%	35	17,59	38	19,10	40	20,10
40% - 0%	150	75,38	145	72,86	141	70,85
<b>TOTAL</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 131. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	6,67	1	6,67	1	6,67
100%-90%	5	33,33	1	6,67	5	33,33
90% - 75%	3	20,00	2	13,33	3	20,00
75% - 40%	3	20,00	6	40,00	0	0,00
40% - 0%	3	20,00	5	33,33	6	40,00
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>



**Cuadro 132. Cantidad de elementos de viga tipo VCC-1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	4,17	1	4,17	1	4,17
100%-90%	0	0,00	0	0,00	7	29,17
90% - 75%	2	8,33	0	0,00	1	4,17
75% - 40%	16	66,67	0	0,00	6	25,00
40% - 0%	5	20,83	23	95,83	9	37,50
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 133. Cantidad de elementos de viga tipo VCC-2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	16,67	1	16,67	1	16,67
100%-90%	3	50,00	2	33,33	2	33,33
90% - 75%	0	0,00	1	16,67	1	16,67
75% - 40%	1	16,67	1	16,67	1	16,67
40% - 0%	1	16,67	1	16,67	1	16,67
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>

### Combinaciones con carga sísmica

**Cuadro 134. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de Núcleo integrado de Química/Ambiental correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	245862,26	12479,03	18183,62	993,27	20564,89	17268,03
C-2	87673,52	2925,3	6824,22	510,48	3790,42	1813,59
C-3	47009,07	3256,73	3208,99	89,87	2022,61	1867,06
C-4	64455,09	5727,5	5721,42	237,17	3592,96	5613,38

**Cuadro 135. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,86	1	0,86	1	0,86	1	0,86	1	0,86	1	0,86
100%-90%	1	0,86	1	0,86	1	0,86	0	0,00	4	3,45	2	1,72
90% - 75%	1	0,86	4	3,45	4	3,45	1	0,86	1	0,86	8	6,90
75% - 40%	18	15,52	29	25,00	17	14,66	22	18,97	35	30,17	37	31,90
40% - 0%	95	81,90	81	69,83	93	80,17	92	79,31	75	64,66	68	58,62
<b>TOTAL</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 136. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,79	1	1,79	1	1,79	1	1,79	1	1,79	1	1,79
100%-90%	0	0,00	3	5,36	1	1,79	2	3,57	2	3,57	1	1,79
90% - 75%	1	1,79	2	3,57	2	3,57	1	1,79	1	1,79	1	1,79
75% - 40%	12	21,43	13	23,21	3	5,36	0	0,00	15	26,79	9	16,07
40% - 0%	42	75,00	37	66,07	49	87,50	52	92,86	37	66,07	44	78,57
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>	<b>56</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 137. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25
100%-90%	0	0,00	2	12,50	0	0,00	0	0,00	1	6,25	2	12,50
90% - 75%	1	6,25	1	6,25	1	6,25	1	6,25	2	12,50	1	6,25
75% - 40%	4	25,00	3	18,75	7	43,75	6	37,50	3	18,75	2	12,50
40% - 0%	10	62,50	9	56,25	7	43,75	8	50,00	9	56,25	10	62,50
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 138. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	2,70	1	2,70	1	2,70	1	2,70	1	2,70	1	2,70
100%-90%	1	2,70	4	10,81	0	0,00	1	2,70	0	0,00	2	5,41
90% - 75%	3	8,11	6	16,22	2	5,41	0	0,00	2	5,41	0	0,00
75% - 40%	10	27,03	14	37,84	12	32,43	3	8,11	23	62,16	11	29,73
40% - 0%	22	59,46	12	32,43	22	59,46	32	86,49	11	29,73	23	62,16
<b>TOTAL</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 139. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de Núcleo integrado de Química/Ambiental correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
VC-1	26800,08	5288,56	37302,54
VC-2	21135,26	1483,75	17299,11
VC-3	19618,97	639,99	29975,4
VCC-1	9096,8	860,39	9793,31
VCC-2	4249,92	89,33	2023,4

**Cuadro 140. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,81	1	0,81	1	0,81
100%-90%	2	1,61	1	0,81	2	1,61
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	0	0,00
75% - 40%	31	25,00	9	7,26	32	25,81
40% - 0%	90	72,58	113	91,13	89	71,77
<b>TOTAL</b>	<b>124</b>	<b>100%</b>	<b>124</b>	<b>100%</b>	<b>124</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 141. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	2	1,01	2	1,01	2	1,01
100%-90%	6	3,02	6	3,02	7	3,52
90% - 75%	9	4,52	11	5,53	13	6,53
75% - 40%	35	17,59	40	20,10	40	20,10
40% - 0%	147	73,87	140	70,35	137	68,84
<b>TOTAL</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 142. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	6,67	1	6,67	1	6,67
100%-90%	8	53,33	1	6,67	6	40,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	2	13,33
75% - 40%	3	20,00	1	6,67	0	0,00
40% - 0%	3	20,00	12	80,00	6	40,00
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 143. Cantidad de elementos de viga tipo VCC-1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	4,17	1	4,17	1	4,17
100%-90%	0	0,00	0	0,00	2	8,33
90% - 75%	2	8,33	0	0,00	1	4,17
75% - 40%	6	25,00	0	0,00	12	50,00
40% - 0%	15	62,50	23	95,83	8	33,33
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 144. Cantidad de elementos de viga tipo VCC-2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	16,67	1	16,67	1	16,67
100%-90%	2	33,33	2	33,33	1	16,67
90% - 75%	1	16,67	2	33,33	2	33,33
75% - 40%	2	33,33	1	16,67	1	16,67
40% - 0%	0	0,00	0	0,00	1	16,67
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>

Parqueo vehicular para la unidad de transportes.

**Combinaciones de carga gravitacional**

**Cuadro 145. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de Parqueo vehicular correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	68525,26	1895,81	1371,64	283,23	3289,12	6757,59
C-2	100860,97	826,02	1858,95	3,1	6531,95	2691,17

**Cuadro 146. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00
100%-90%	1	5,00	2	10,00	1	5,00	0	0,00	1	5,00	2	10,00
90% - 75%	3	15,00	1	5,00	3	15,00	1	5,00	4	20,00	1	5,00
75% - 40%	4	20,00	4	20,00	6	30,00	0	0,00	8	40,00	3	15,00
40% - 0%	11	55,00	12	60,00	9	45,00	18	90,00	6	30,00	13	65,00
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 147. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	10,00	1	10,00	1	10,00	10	100,00	1	10,00	1	10,00
100%-90%	1	10,00	1	10,00	1	10,00	0	0,00	1	10,00	0	0,00
90% - 75%	3	30,00	2	20,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	30,00
75% - 40%	3	30,00	2	20,00	3	30,00	0	0,00	2	20,00	2	20,00
40% - 0%	2	20,00	4	40,00	5	50,00	0	0,00	6	60,00	4	40,00
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 148. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de Parqueo vehicular correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	2162,24	262,75	3100,18
V-2	25208,6	1123,19	36385

**Cuadro 149. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50
100%-90%	5	62,50	0	0,00	2	25,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	3	37,50
75% - 40%	2	25,00	0	0,00	2	25,00
40% - 0%	0	0,00	7	87,50	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 150. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,23	1	3,23	1	3,23
100%-90%	7	22,58	1	3,23	4	12,90
90% - 75%	4	12,90	0	0,00	5	16,13
75% - 40%	12	38,71	4	12,90	11	35,48
40% - 0%	7	22,58	25	80,65	10	32,26
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>

**Combinaciones con carga sísmica**

**Cuadro 151. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de Parqueo vehicular correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	58366,01	9654,26	9340,08	356,84	24918,49	25788,72
C-2	80290,09	9751,69	9007,19	356,84	23586	26157,48

**Cuadro 152. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00	1	5,00
100%-90%	1	5,00	3	15,00	4	20,00	1	5,00	4	20,00	3	15,00
90% - 75%	3	15,00	4	20,00	4	20,00	0	0,00	5	25,00	4	20,00
75% - 40%	5	25,00	2	10,00	1	5,00	12	60,00	0	0,00	2	10,00
40% - 0%	10	50,00	10	50,00	10	50,00	6	30,00	10	50,00	10	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 153. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	10,00	1	10,00	1	10,00	0	0,00	1	10,00	1	10,00
100%-90%	1	10,00	2	20,00	6	60,00	0	0,00	7	70,00	2	20,00
90% - 75%	4	40,00	6	60,00	3	30,00	0	0,00	2	20,00	6	60,00
75% - 40%	3	30,00	1	10,00	0	0,00	10	100,00	0	0,00	1	10,00
40% - 0%	1	10,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 154. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de Parqueo vehicular correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	1963,24	412,19	3964,61
V-2	23337,43	1011,39	41667,84

**Cuadro 155. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50
100%-90%	7	87,50	0	0,00	2	25,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	5	62,50
75% - 40%	0	0,00	5	62,50	0	0,00
40% - 0%	0	0,00	2	25,00	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 156. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,23	1	3,23	1	3,23
100%-90%	5	16,13	1	3,23	4	12,90
90% - 75%	12	38,71	0	0,00	7	22,58
75% - 40%	6	19,35	4	12,90	16	51,61
40% - 0%	7	22,58	25	80,65	3	9,68
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>

## Residencias Estudiantiles.

### Combinaciones de carga gravitacional

**Cuadro 157. Combinaciones de carga gravitacional para las columnas de Residencias estudiantiles correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	12319,88	274,41	54,45	4,42	95	586,84
C-2	60729,39	304,85	6164,36	11,58	10825,29	493,88
C-3	38988,45	227,04	4639,76	4,21	8963,86	380,2
C-4	27284,2	1941,34	107,79	7,37	225,95	3292,14
C-5	95782,53	2230,47	2802,78	68,17	4579,39	2245,41

**Cuadro 158. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50	2	25,00	1	12,50	1	12,50
100%-90%	0	0,00	0	0,00	2	25,00	2	25,00	1	12,50	0	0,00
90% - 75%	1	12,50	0	0,00	2	25,00	2	25,00	3	37,50	0	0,00
75% - 40%	4	50,00	2	25,00	1	12,50	0	0,00	3	37,50	2	25,00
40% - 0%	2	25,00	5	62,50	2	25,00	2	25,00	0	0,00	5	62,50
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 159. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,13	1	3,13	1	3,13	8	25,00	1	3,13	1	3,13
100%-90%	0	0,00	1	3,13	2	6,25	8	25,00	1	3,13	1	3,13
90% - 75%	2	6,25	2	6,25	5	15,63	8	25,00	7	21,88	3	9,38
75% - 40%	14	43,75	8	25,00	12	37,50	0	0,00	15	46,88	10	31,25
40% - 0%	15	46,88	20	62,50	12	37,50	8	25,00	8	25,00	17	53,13
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>



**Cuadro 160. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50	2	25,00	1	12,50	1	12,50
100%-90%	0	0,00	1	12,50	0	0,00	2	25,00	0	0,00	1	12,50
90% - 75%	1	12,50	0	0,00	3	37,50	2	25,00	4	50,00	0	0,00
75% - 40%	3	37,50	2	25,00	2	25,00	0	0,00	3	37,50	2	25,00
40% - 0%	3	37,50	4	50,00	2	25,00	2	25,00	0	0,00	4	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 161. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	4,17	1	4,17	1	4,17	6	25,00	1	4,17	1	4,17
100%-90%	2	8,33	1	4,17	0	0,00	6	25,00	0	0,00	1	4,17
90% - 75%	1	4,17	4	16,67	3	12,50	6	25,00	1	4,17	2	8,33
75% - 40%	12	50,00	4	16,67	2	8,33	0	0,00	5	20,83	11	45,83
40% - 0%	8	33,33	14	58,33	18	75,00	6	25,00	17	70,83	9	37,50
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 162. Cantidad de elementos de columna tipo 5 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89
100%-90%	0	0,00	1	0,89	1	0,89	0	0,00	1	0,89	2	1,79
90% - 75%	0	0,00	2	1,79	0	0,00	2	1,79	1	0,89	3	2,68
75% - 40%	7	6,25	5	4,46	13	11,61	5	4,46	14	12,50	11	9,82
40% - 0%	104	92,86	103	91,96	97	86,61	104	92,86	95	84,82	95	84,82
<b>TOTAL</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 163. Combinaciones de carga gravitacional para las vigas de Residencias estudiantiles correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	3136,87	243,79	4644,4
V-2	13019,91	3131,99	14888,53
V-3	9725,28	435,31	4637,95

**Cuadro 164. Cantidad de elementos de viga tipo1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	11,11	1	11,11	1	11,11
100%-90%	5	55,56	1	11,11	5	55,56
90% - 75%	0	0,00	3	33,33	0	0,00
75% - 40%	0	0,00	1	11,11	0	0,00
40% - 0%	3	33,33	3	33,33	3	33,33
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 165. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,44	1	0,44	1	0,44
100%-90%	20	8,85	18	7,96	15	6,64
90% - 75%	25	11,06	20	8,85	14	6,19
75% - 40%	40	17,70	42	18,58	35	15,49
40% - 0%	140	61,95	145	64,16	161	71,24
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 166. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,52	1	1,52	1	1,52
100%-90%	1	1,52	1	1,52	0	0,00
90% - 75%	0	0,00	0	0,00	2	3,03
75% - 40%	2	3,03	16	24,24	7	10,61
40% - 0%	62	93,94	48	72,73	56	84,85
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>

## Combinaciones con carga sísmica

**Cuadro 167. Combinaciones con carga sísmica para las columnas de Residencias estudiantiles correspondientes al rango del 100%**

Elemento	P (kgf)	V2 (kgf)	V3 (kgf)	T (kgf-m)	M2 (kgf-m)	M3 (kgf-m)
C-1	9528,95	210,28	36,52	2,81	64,28	463,65
C-2	45648,03	208,13	4299,27	7,37	7579,18	336,65
C-3	27753,54	160,75	3211,32	2,68	6579,71	268,09
C-4	21042,65	1332,86	78,69	4,69	164,76	2250,46
C-5	69597,65	1775,29	2004,56	44,58	3275,23	1578,46

**Cuadro 168. Cantidad de elementos de columna tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50	2	25,00	1	12,50	1	12,50
100%-90%	0	0,00	0	0,00	2	25,00	2	25,00	1	12,50	0	0,00
90% - 75%	1	12,50	0	0,00	2	25,00	2	25,00	3	37,50	0	0,00
75% - 40%	4	50,00	2	25,00	1	12,50	0	0,00	3	37,50	2	25,00
40% - 0%	2	25,00	5	62,50	2	25,00	2	25,00	0	0,00	5	62,50
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 169. Cantidad de elementos de columna tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	3,13	1	3,13	1	3,13	8	25,00	1	3,13	1	3,13
100%-90%	1	3,13	2	6,25	3	9,38	8	25,00	1	3,13	2	6,25
90% - 75%	1	3,13	1	3,13	3	9,38	8	25,00	7	21,88	2	6,25
75% - 40%	16	50,00	8	25,00	13	40,63	0	0,00	15	46,88	9	28,13
40% - 0%	13	40,63	20	62,50	12	37,50	8	25,00	8	25,00	18	56,25
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 170. Cantidad de elementos de columna tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	12,50	1	12,50	1	12,50	2	25,00	1	12,50	1	12,50
100%-90%	0	0,00	1	12,50	0	0,00	2	25,00	0	0,00	1	12,50
90% - 75%	1	12,50	0	0,00	3	37,50	2	25,00	3	37,50	1	12,50
75% - 40%	3	37,50	2	25,00	2	25,00	0	0,00	4	50,00	1	12,50
40% - 0%	3	37,50	4	50,00	2	25,00	2	25,00	0	0,00	4	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 171. Cantidad de elementos de columna tipo 4 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	4,17	1	4,17	1	4,17	6	25,00	1	4,17	1	4,17
100%-90%	3	12,50	1	4,17	0	0,00	6	25,00	0	0,00	1	4,17
90% - 75%	0	0,00	4	16,67	1	4,17	6	25,00	1	4,17	3	12,50
75% - 40%	12	50,00	5	20,83	5	20,83	0	0,00	5	20,83	10	41,67
40% - 0%	8	33,33	13	54,17	17	70,83	6	25,00	17	70,83	9	37,50
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 172. Cantidad de elementos de columna tipo 5 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	P		V2		V3		T		M2		M3	
	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89
100%-90%	0	0,00	0	0,00	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89
90% - 75%	0	0,00	2	1,79	0	0,00	1	0,89	1	0,89	0	0,00
75% - 40%	8	7,14	4	3,57	13	11,61	8	7,14	13	11,61	14	12,50
40% - 0%	103	91,96	105	93,75	97	86,61	101	90,18	96	85,71	96	85,71
<b>TOTAL</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>	<b>112</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 173. Combinaciones con carga sísmica para las vigas de Residencias estudiantiles correspondientes al rango del 100%**

Elemento	V2 (kgf)	T (kgf-m)	M3 (kgf-m)
V-1	1820,78	166,17	2650,56
V-2	9136,83	1789,44	10662,02
V-3	7426,61	305,16	3483,91

**Cuadro 174. Cantidad de elementos de viga tipo 1 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	11,11	1	11,11	1	11,11
100%-90%	5	55,56	1	11,11	2	22,22
90% - 75%	0	0,00	1	11,11	3	33,33
75% - 40%	0	0,00	3	33,33	0	0,00
40% - 0%	3	33,33	3	33,33	3	33,33
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 175. Cantidad de elementos de viga tipo 2 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	0,44	1	0,44	1	0,44
100%-90%	14	6,19	10	4,42	13	5,75
90% - 75%	26	11,50	22	9,73	18	7,96
75% - 40%	78	34,51	75	33,19	66	29,20
40% - 0%	107	47,35	118	52,21	128	56,64
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 176. Cantidad de elementos de viga tipo 3 encontrados en los rangos establecidos.**

RANGO	V2		T		M3	
	un	%	un	%	un	%
100%	1	1,52	1	1,52	1	1,52
100%-90%	1	1,52	1	1,52	1	1,52
90% - 75%	0	0,00	1	1,52	1	1,52
75% - 40%	2	3,03	15	22,73	6	9,09
40% - 0%	62	93,94	48	72,73	57	86,36
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>	<b>66</b>	<b>100%</b>

## Apéndice 2. Pruebas estadísticas.

Gráficos de distribución correspondientes a las columnas.

Al igual que en las vigas, fue necesario realizar los gráficos de distribución para conocer los valores más probables que pueden presentarse en las diferentes solicitaciones, a continuación, se muestran parte de los datos que fueron necesarios para la realización de los gráficos, así como algunos ejemplos de estos

**Cuadro 177..Variables para las columnas al 100% de la carga gravitacional**

VARIABLE	100%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	7,59	1,19	7,21	13,78	7,21	7,59
DESV ESTÁNDAR	9,68	2,93	9,76	20,23	9,76	9,68

**Cuadro 178. Variables para las columnas al 100% de la carga dinámica**

VARIABLE	100%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	39,59	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
DESV ESTÁNDAR	122,44	2,93	2,93	2,93	2,93	2,93

**Cuadro 179. Variables para las columnas al 100%-90% de la carga gravitacional**

VARIABLE	100%-90%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	5,69	4,59	5,24	6,18	3,84	3,59
DESV ESTÁNDAR	9,85	5,57	8,40	9,17	7,17	5,67

**Cuadro 180. Variables para las columnas al 100%-90% de la carga dinámica**

VARIABLE	100%-90%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	5,03	5,96	6,94	8,16	6,34	5,50
DESV ESTÁNDAR	9,48	8,54	12,41	11,07	14,55	8,57

**Cuadro 181. Variables para las columnas al 90%-75% de la carga gravitacional**

VARIABLE	90%-75%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	7,48	4,48	7,59	9,61	10,27	6,14
DESV ESTÁNDAR	7,82	5,51	9,15	10,81	12,68	7,55

**Cuadro 182. Variables para las columnas al 90%-75% de la carga dinámica**

VARIABLE	90%-75%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	7,20	8,35	10,72	8,98	9,43	9,55
DESV ESTÁNDAR	8,75	12,27	10,01	10,07	10,67	12,47

**Cuadro 183. Variables para las columnas al 75%-40% de la carga gravitacional**

VARIABLE	75%-40%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	28,54	15,01	15,98	11,24	16,72	16,40
DESV ESTÁNDAR	15,07	13,38	13,02	15,78	13,49	13,63

**Cuadro 184. Variables para las columnas al 75%-40% de la carga dinámica**

VARIABLE	75%-40%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	26,66	19,59	20,25	21,86	27,22	23,07
DESV ESTÁNDAR	13,85	15,50	13,21	23,34	17,20	15,78

**Cuadro 185. Variables para las columnas al 40%-0% de la carga gravitacional**

VARIABLE	40%-0%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	50,02	68,49	63,69	59,39	61,19	66,28
DESV ESTÁNDAR	24,74	21,43	22,88	32,37	27,29	19,52

**Cuadro 186. Variables para las columnas al 40%-0% de la carga dinámica**

VARIABLE	40%-0%					
	P	V2	V3	T	M2	M3
PROMEDIO	53,04	58,33	55,16	49,67	49,28	53,84
DESV ESTÁNDAR	20,95	25,30	27,37	28,03	28,03	25,05

### Apéndice 3. Memoria de cálculo del diseño de los elementos estructurales para el edificio de ampliación de servicios bibliotecarios.

A continuación, se muestra un ejemplo de diseño realizado para vigas y columnas del edificio de ampliación de servicios bibliotecarios utilizando los indicadores porcentuales, cabe destacar que se mostrarán los cálculos para un rango de un solo elemento, pero se debe tener en cuenta que fueron realizados en todos los rangos de carga

#### Diseño de viga VC-1 Rango 100%-90%

FLEXIÓN

Cantidad de vigas: 14

Cargas	
Mu:	1893289 kg-cm
Dimensiones	
(alto) h:	60 cm
d:	56 cm
d':	4 cm
(ancho) b:	30 cm
Características	
fc:	245 kg/cm <sup>2</sup>
fy:	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Recubrimiento:	4,0 cm
γ concreto:	2400 kg/m <sup>3</sup>
Cálculos	
β:	0,85
Φ:	0,9
ρ balanceado:	0,0252875
ρ real:	0,00565
a:	6,38 cm
As req:	9,48 cm <sup>2</sup>
c:	7,50 cm
<b>As mínimo:</b>	<b>5,01 cm<sup>2</sup></b>

As por colocar	9,48 cm <sup>2</sup>
Propuesta de acero	
As final	
No.	#5
A barra:	2,00 cm <sup>2</sup>
Diámetro barra:	1,59 cm
Cantidad:	4
No.	#5
A barra:	2,00 cm <sup>2</sup>
Diámetro barra:	1,59 cm
Cantidad:	0
As1 por colocar:	10,00 cm <sup>2</sup>
Cumple	
A's compresión	2,37 cm <sup>2</sup>
No.	#4
A barra:	1,29 cm <sup>2</sup>
Diámetro barra:	1,27 cm
Cantidad:	4
As por colocar:	5,16 cm <sup>2</sup>
Cumple	
Total As:	20,45 cm <sup>2</sup>

#### TORSIÓN Y CORTANTE

Cantidad de columnas:

Mu:	1893289 kg-cm
Vu:	14855 kg
Tu:	129870 kg-cm
fyv:	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Acp:	1800 cm <sup>2</sup>
Pcp:	180 cm
Aoh:	1217 cm <sup>2</sup>
Ph:	143 cm
T umbral:	57053 kg-cm
Se considera la torsión	

<b>CUANDO CONSIDERA TORSIÓN</b>	
$\rho$ :	0,000000
$\Phi$	0,75
$V_c$ :	13148 kg
$V_c$ , máx:	24455 kg
$V_c < V_c$ , máx:	Cumple
$\Phi \cdot V_c$ :	9861 kg
$V_u \cdot d / \mu < 1$ :	0,439
Sección crítica:	11,51 kg/cm <sup>2</sup>
Valor límite sección crítica:	29,35 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Sección de concreto adecuada</b>	
$V_u < \Phi \cdot V_c$ :	<b>Colocar aros</b>
Valores límites	
$V_s$ , máx:	57852 kg
$V_s$ umbral:	28926 kg
$V_s$ :	4649 kg
$V_s < V_s$ umbral $< V_s$ máx:	Cumple
<b>Varillas</b>	
No.	#4
A barra:	1,29 cm <sup>2</sup>
Diámetro barra:	1,27 cm
<b>Cant. Ramas:</b>	<b>2</b>
S2R:	43,28 cm
S max: Cortante	28,00 cm
S max: Torsión	17,87 cm
<b>Separación máxima final:</b>	<b>15,00 cm</b>
<b>Av, mín:</b>	<b>0,38 cm<sup>2</sup></b>
<b>Ae:</b>	<b>2,58 cm<sup>2</sup></b>
$A_e > A_v$ mín:	Cumple
<b>ACERO LONGITUDINAL</b>	
At/S:	0,01992
$1.75 \cdot b / f_{yv}$ :	0,01250
A long:	2,85 cm <sup>2</sup>
<b>Al, mín:</b>	<b>5,22 cm<sup>2</sup></b>
<b>A long requerido:</b>	<b>5,22 cm<sup>2</sup></b>

S máx:	30 cm
Diámetro barra mínimo:	0,63 cm
No.	#5
A barra:	2,00 cm <sup>2</sup>
Diámetro barra:	1,59 cm
Cantidad:	2
No.	#4
A barra:	1,29 cm <sup>2</sup>
Diámetro barra:	1,27 cm
Cantidad:	1
<b>As por colocar:</b>	<b>5,29 cm<sup>2</sup></b>
Cumple con el requerido	

## Diseño de columna 1

Rango 40%-0%

CORTANTE

Cantidad de columnas: 56

MATERIALES		COLUMNA	
Concreto		Sección	
$f_c$ :	245 kg/cm <sup>2</sup>	b:	50 cm
$E_c$ :	236352 kg/cm <sup>2</sup>	d=h:	50 cm
$\epsilon_c$ :	0,003 cm/cm	Ag:	2500,00 cm <sup>2</sup>
$\beta_1$ :	0,85 cm	Recubrimiento	4,0 cm
Acero		h <sub>cp</sub> :	3617,35 cm
$f_y$ :	4200 kg/cm <sup>2</sup>	$\mu_u$ :	548862 kg-cm
$E_s$ :	2100000 kg/cm <sup>2</sup>	$V_u$ :	2714,80 kg
$\epsilon_y$ :	0,0020 cm/cm	$T_u$ :	3675 kg-cm
		$P_u$ :	26694 kg
		Mpr1:	548862 kg-cm
		Mpr2:	125953 kg-cm
		H:	50,0 cm
		Lu:	400,0 cm



DISEÑO CORTANTE	
<b>Determinar espacio de confinamiento</b>	
Ve:	13496,290000
V:	13496,29
Vs, máx:	86088,62 kg
Vs*:	43044,31 kg
Vc, máx:	36392,01 kg
Vu*d/Mu:	0,247
Aros mínimos	
Vs:	-32772 kg
<b>No reducir S máx a la mitad</b>	
Para:	#4
A barra:	1,29 cm <sup>2</sup>
S:	16,53 cm
S máx:	140 cm
<b>S propuesto:</b>	<b>17 cm</b>
<b>Av,min:</b>	<b>0,69 cm<sup>2</sup></b>
<b>Av:</b>	<b>2,58 cm<sup>2</sup></b>
Cumple	
<b>Acero para la región de confinamiento</b>	
Para:	#3
A barra:	0,71 cm <sup>2</sup>
S:	9,10 cm
S máx:	10 cm
<b>Ash min:</b>	<b>0,26 cm<sup>2</sup></b>
<b>Av:</b>	<b>1,56 cm<sup>2</sup></b>
Cumple	
<b>As longitudinal</b>	

		Cantidad		As (cm <sup>2</sup> )	d (cm)
		#5			
Extremas	As 1	3		5,94	4 cm
	As 2	2		3,96	15
Intermedias	As 3			0	25
	As 4	2		3,96	39
Extremas	As 5	4		7,92	46,0
			<b>As tot</b>	<b>21,78</b>	

Pares ordenados columna 1

Columna		
	Pu	Mux
	Muy	
	31856,95	1110,69
	1198,89	
	32910,39	1467,95
	1102,99	
	31052,20	2689,67
	714,66	
	27574,49	1353,94
	1711,41	
	24278,77	361,28
	1757,33	
	13211,76	196,08
	287,71	
	12319,67	1696,81
	251,99	
	13801,85	159,65
	318,47	
	13826,17	879,73
	310,35	
	12400,73	1598,00
	224,91	
	9648,13	1343,29
	121,41	
	9672,44	380,81
	119,18	
	17278,77	580,37
	224,45	
	15846,58	619,80
	273,91	
	12261,63	2410,44
	148,57	
	11085,14	1628,01
	87,12	
	11323,78	579,27
	95,84	
	13057,10	1112,91
	177,65	
	14304,16	1463,42
	239,06	
	15242,01	367,74
	291,79	
	15480,65	680,99
	300,51	
	43255,46	1960,77
	4354,66	
	38909,80	5565,10
	4196,17	
	39156,68	5566,52
	3431,92	

## FLEXOCOMPRESIÓN

FLEXOCOMPRESIÓN	
<b>Relación esbeltez</b>	
Pu:	26694 kg
0,1*fc*Ab	6125 kg
<b>Esbelta, sufre flexo compresión</b>	

Pu	Mux	Muy
40563,59	3567,03	2447,97
39481,89	847,17	3892,19
43287,97	1682,15	4723,66
33038,55	3001,63	3611,30
32634,71	303,43	2249,86
32088,26	1142,12	3094,17
31947,26	1133,82	3770,20
32164,71	326,49	4503,28
17033,86	1227,86	1261,08
17612,79	1829,54	1146,87
15219,68	2125,90	1214,65
14808,23	2117,10	769,20
14013,33	919,51	1701,19
12625,27	278,92	1163,64
12213,82	264,92	718,19
13420,17	1407,96	231,65
12641,84	872,87	216,34
48332,80	19271,48	350,15
58033,79	27584,72	366,12
58033,79	27584,72	366,12
41946,86	19331,27	41,69
41685,72	18346,29	1661,39
41365,33	17493,21	1608,84
40930,88	16492,40	601,20
40878,89	16487,65	221,75
41512,42	18330,46	1042,37
41192,03	17477,37	1094,93
18914,77	2224,90	1576,61
18914,77	2224,90	1576,61
18211,30	3265,03	1485,66
15749,40	2260,44	539,82
13806,51	1202,97	577,36
11644,91	285,77	1145,03
11735,00	416,88	1597,75
16049,70	1823,39	2055,32
14106,81	753,06	2088,94
32682,40	515,89	550,68
40599,57	500,37	652,58
40599,57	515,89	652,58
28378,59	1929,98	517,10

Pu	Mux	Muy
28432,49	326,22	250,98
28471,08	1098,69	260,81
28511,32	2731,18	421,77
28507,22	2733,97	549,89
28418,83	311,87	678,06
28457,41	1107,99	687,90
19200,30	124,63	69,84
22074,09	112,47	69,28
22074,09	124,63	69,84
16028,78	1669,24	49,54
16161,87	607,68	103,33
16230,53	379,57	98,83
16282,10	1479,43	61,11
16257,65	1505,13	42,93
16080,35	533,84	55,54
16149,01	465,25	60,05
13143,55	1574,57	323,38
14682,07	1891,29	401,88
14682,07	1891,29	401,88
32813,66	1732,29	1045,66
24561,40	771,28	537,22
10260,87	2195,14	532,77
11278,23	3763,21	482,65
15169,78	3683,39	127,34
11719,01	505,24	1065,82
10533,97	1929,11	717,12
31497,30	287,29	168,96
39848,37	350,49	313,37
39848,37	350,49	313,37
27707,71	2573,04	132,59
27635,77	956,16	363,93
27598,35	456,08	359,33
27569,92	2076,95	226,19
27582,97	2082,80	118,33
27679,29	936,68	73,07
27641,86	477,16	77,67
17343,32	1190,85	28,64

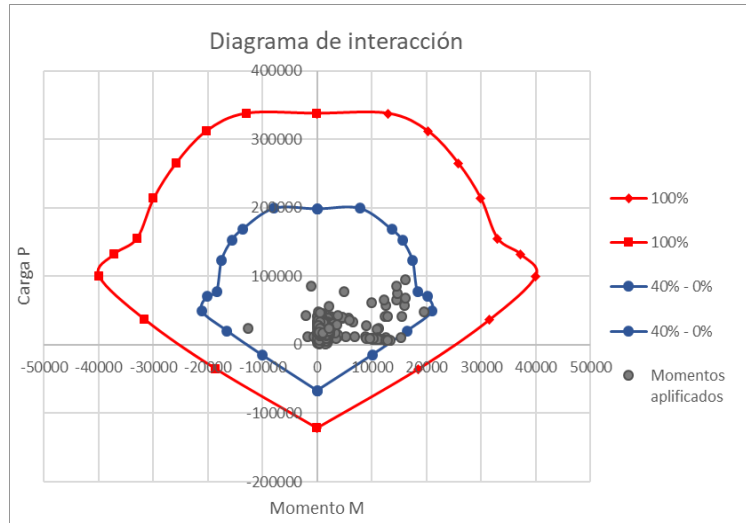
Longitudinal	
$\Sigma P_u$ total	532198,09
$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	250,00
$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	238.751,96
l <sub>gc</sub> :	520833,3333
l <sub>g</sub>	364583,3333
$\beta d$	0
EI (kg*cm <sup>2</sup> )	34817994654 kg/cm <sup>2</sup>
k	1,20
Luz libre (cm)	400,00 cm
P <sub>c</sub> (kg)	1491492,33 kg
# Mu	30
$\Sigma P_c$ (kg)	44.744.769,96
$\phi$	0,75
$\phi * \Sigma P_c$ (kg)	33558577,47
$\phi * \Sigma P_c$ (ton)	33558,57747
$\delta$	1,016
Transversal	
$\Sigma P_u$ total	532198,09
$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	250,00
$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	238.751,96
l <sub>gc</sub> :	520833,33
l <sub>g</sub>	364583,3333
$\beta d$	0
EI (kg*cm <sup>2</sup> )	34817994654 kg/cm <sup>2</sup>
k	1,20
Luz libre (cm)	400,00 cm
P <sub>c</sub> (kg)	1491492,33 kg
# Mu	30
$\Sigma P_c$ (kg)	44.744.769,96
$\phi$	0,75
$\phi * \Sigma P_c$ (kg)	33558577,47
$\phi * \Sigma P_c$ (ton)	33558,57747
$\delta$	1,016

Ahora se tienen los momentos mayorizados

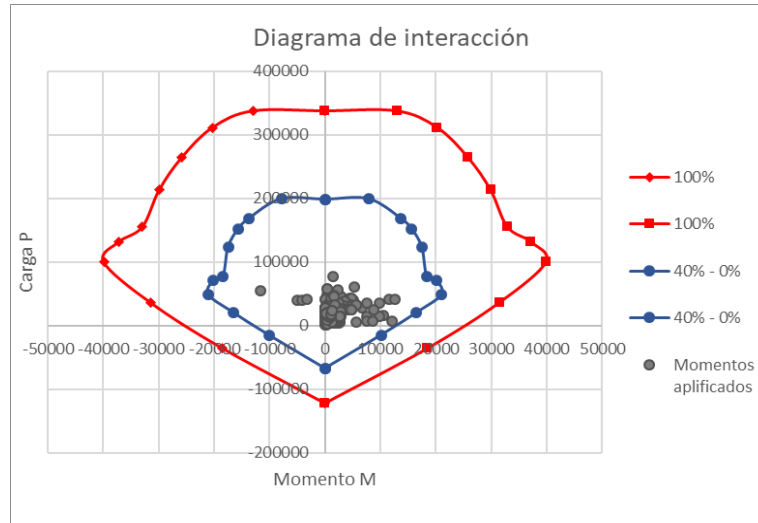
Pu	Mux	Muy
32910,39	1491,61	1120,76
31052,20	2733,01	726,18
27574,49	1375,76	1738,99
24278,77	367,10	1785,65
13211,76	199,24	292,35
12319,67	1724,15	256,05
13801,85	162,22	323,60
13826,17	893,91	315,35
12400,73	1623,75	228,53
9648,13	1364,94	123,37
9672,44	386,95	121,10
17278,77	589,72	228,07
15846,58	629,79	278,32
12261,63	2449,28	150,96
11085,14	1654,24	88,52
15480,65	691,96	305,35
43255,46	1992,37	4424,83
38909,80	5654,78	4263,79
40563,59	3624,51	2487,42
39481,89	860,82	3954,91
43287,97	1709,26	4799,78
33038,55	3050,00	3669,49
32634,71	308,32	2286,11
32088,26	1160,52	3144,03
31947,26	1152,09	3830,95
32164,71	331,75	4575,85
17033,86	1247,65	1281,40
17612,79	1859,02	1165,35
15219,68	2160,16	1234,22
14808,23	2151,22	781,60
14013,33	934,33	1728,60
12625,27	283,41	1182,39
12213,82	269,19	729,76
13420,17	1430,65	235,38
12641,84	886,94	219,83
48332,80	19582,03	355,79
58033,79	28029,23	372,02

Pu	Mux	Muy
48332,80	19582,03	355,79
58033,79	28029,23	372,02
58033,79	28029,23	372,02
41946,86	19642,78	42,36
41685,72	18641,93	1688,16
41365,33	17775,10	1634,77
40930,88	16758,16	610,89
40878,89	16753,34	225,32
41512,42	18625,84	1059,17
41192,03	17759,01	1112,57
18914,77	2260,75	1602,02
18914,77	2260,75	1602,02
18211,30	3317,64	1509,60
15749,40	2296,87	548,52
13806,51	1222,36	586,66
11644,91	290,37	1163,48
11735,00	423,60	1623,50
16049,70	1852,77	2088,44
14106,81	765,20	2122,60
32682,40	524,20	559,55
40599,57	508,43	663,10
40599,57	524,20	663,10
28432,49	331,48	255,02
28471,08	1116,39	265,01
28511,32	2775,19	428,57
28507,22	2778,03	558,75
28418,83	316,90	688,99
28457,41	1125,84	698,99
19200,30	126,64	70,97
22074,09	114,28	70,40
22074,09	126,64	70,97
16028,78	1696,14	50,34
16161,87	617,47	105,00
16230,53	385,69	100,42
16282,10	1503,27	62,09
16257,65	1529,38	43,62
16080,35	542,44	56,43

Pu	Mux	Muy
16149,01	472,75	61,02
13143,55	1599,94	328,59
14682,07	1921,77	408,36
14682,07	1921,77	408,36
32813,66	1760,20	1062,51
24561,40	783,71	545,88
10260,87	2230,51	541,36
11278,23	3823,85	490,43
15169,78	3742,75	129,39
11719,01	513,38	1082,99
10533,97	1960,20	728,68
31497,30	291,92	171,68
39848,37	356,14	318,42
39848,37	356,14	318,42
27707,71	2614,50	134,73
27635,77	971,57	369,79
27598,35	463,43	365,12
27569,92	2110,42	229,83
27582,97	2116,36	120,24
27679,29	951,77	74,25
27641,86	484,85	78,92
17343,32	1210,04	29,10



**Gráfico 27.** Diagrama de interacción sentido longitudinal  
**Fuente:** Elaboración propia



**Gráfico 28.** Diagrama de interacción sentido transversal  
**Fuente:** Elaboración propia

# Anexos

A continuación, se mostrará el modelo del SAP2000 para el edificio de la biblioteca, así como las cargas que fueron extraídas para la columna 3.

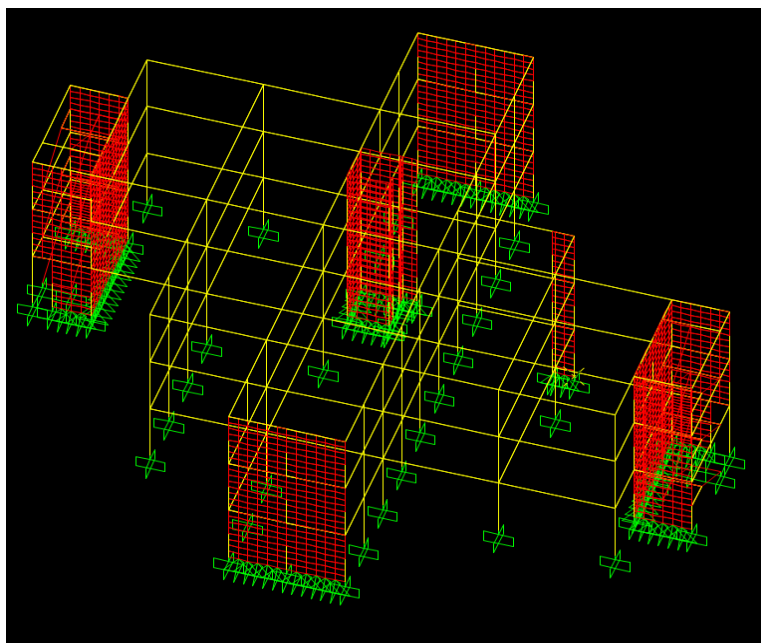


Figura 13: Modelo estructural del edificio de ampliación de servicios bibliotecarios.  
Fuente: SAP2000

GRAVITACIONALES												
Frame	Combinación 1.4CM						Combinación 1.2CM+1.6CV					
	P	V2	V3	T	M2	M3	P	V2	V3	T	M2	M3
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
88	13407,24	382,33	1479,31	4,01	818,53	244,49	15356,71	435,03	1652,73	4,72	908,48	274,64
89	8005,25	381,23	63,64	8,81	15,98	152,38	8547,92	429,09	70,69	10,15	18,11	172,33
91	13027,03	218,15	1339,19	4,02	740,86	229,01	16166,34	329,73	1720,95	4,84	959,03	324,66
185	9686,21	276,72	1543,18	3,79	895,86	219,17	11288,78	318,08	1813,87	4,63	1053,43	252,88
186	5839,98	249,04	47,99	4,48	14,04	105,16	6356,8	282,12	54,87	4,83	15,75	119,52
188	9182,07	546,41	1385	3,49	800,53	354,29	11471,74	693,85	1776,17	4,22	1030,27	459,97
282	3928,82	227,04	1273,96	3,78	777,21	143,75	277,81	1547,28	4,79	937,07	171,52	0
283	2680,29	63,38	22	1,49	9,25	27,53	2936,14	69,7	25,77	1,22	10,48	31,02
285	3484,23	500,13	1257,94	4,62	758,46	359,14	5428,41	653,97	1627,91	5,22	978,53	472,67

DINÁMICAS												
Frame	Combinación 1.05CM+0.5CV-1CSy-0.3CSx						Combinación 1.05CM+0.5CV-1CSy+0.3CSx					
	P	V2	V3	T	M2	M3	P	V2	V3	T	M2	M3
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
88	31019,94	1159,59	2289,89	5,2	1239,75	704,6	20497,23	555,97	1831,81	9,76	976,01	267,05
89	12497,47	476,15	380,24	35,68	450,92	247,84	22068,11	1086,24	252,66	42,95	313,49	378,03
91	12865,81	735,15	2988,34	9,83	1624,97	512,9	13928,96	444,37	2841,76	11,71	1588,31	382,37
185	7417,56	280,29	727,99	9,18	316,84	149,01	4659,75	375,72	489,05	13,45	187,06	159,51
186	6398,39	398,53	90,79	6,84	83,39	183,86	9095,05	359,35	169,7	2,28	69,02	172,02
188	12269,11	688,79	2551,05	23,24	1470,66	507,27	12783,8	437,84	2589,75	20,5	1498,48	390,55
282	3366,93	154,4	389,85	10,97	265,47	89,07	3890,96	199,93	567,28	16,05	366,85	97,35
283	2817,19	38,95	74,4	12,54	49,07	33,4	2641,73	59,9	132,09	6,32	50,95	33,08
285	3157,4	434,5	1736,12	19,57	1016,51	325,37	3773,3	420,11	1888,89	16,42	1106,65	332,73

DINÁMICAS												
Frame	Combinación 1.05CM+0.5CV-1CSx-0.3CSy						Combinación 1.05CM+0.5CV-1CSx+0.3CSy					
	P	V2	V3	T	M2	M3	P	V2	V3	T	M2	M3
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
88	31216,3	1674,25	1638,08	15	874,93	956,59	20861,9	1371,94	1880,42	18,98	959,27	735,03
89	6317,45	594,96	320,46	10,54	341,42	511,1	12768,59	867,15	148,93	14,27	110,12	543,68
91	21802,1	1410,84	1947,25	15,68	1002,92	811,58	31914,58	1286,57	928,15	13,01	433,08	663,26
185	9002,95	428,67	682,19	5,34	369,47	174,37	9129,34	380,74	1422,84	11,18	786,12	100,12
186	2621,19	324,75	106,36	14,04	57,58	134,75	2150,02	286,39	137,1	14	65,65	128,87
188	8508,52	796,56	1562,59	12,1	894,55	507,24	9277,45	697,51	754,04	8,76	428,56	390,49
282	2661,96	150,63	616,29	3,24	393,17	101,75	2581,72	177,2	987,8	9,86	604,01	119,87
283	2658,15	198,26	53,13	13,62	55,12	115,86	2346,37	235,95	104,75	10,13	60,27	127,61
285	2376,49	464,02	1069,8	11,5	638,27	311,04	2323,04	474,94	651,43	5,42	404,21	306,13

DINÁMICAS												
Frame	Combinación 1.05CM+0.5CV+1CSy-0.3CSx						Combinación 1.05CM+0.5CV+1CSy+0.3CSx					
	P	V2	V3	T	M2	M3	P	V2	V3	T	M2	M3
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
88	11430,94	187,18	2893,34	12,8	1535,56	231,83	14140,28	591,54	2793,38	4,64	1520	471,48
89	9129,16	450,44	215,86	28,12	320,06	123,39	3075,4	178,93	343,45	20,85	457,5	269,44
91	30891,59	320,9	1864,91	10,54	1003,88	152,37	19902,23	438,01	1750,78	7,33	1037,2	385,82
185	11736,01	168,58	2467,79	15,81	1400,54	209,89	11821,71	301,08	2622,81	12,28	1510,55	332,07
186	1613,21	208,25	118,2	6,71	60,61	71,5	3206,02	90,58	98	2,28	79,95	39,83
188	7365,17	522,7	589,27	17,73	268,95	279,13	3754,87	387,86	419,4	20,47	194,83	224,84
282	3099,47	230,86	1628,23	14,56	968,26	149,48	3623,49	250,29	1805,66	11,4	1069,64	156,74
283	1855,31	164,59	97,67	5,13	46,49	72,19	1670,89	65,73	52,72	11,35	43,83	24,61
285	2979,24	470,89	341,57	13,98	236,3	308,99	3595,14	456,5	494,33	17,12	326,45	316,36

DINÁMICAS												
Frame	Combinación 1.05CM+0.5CV+1CSx-0.3CSy						Combinación 1.05CM+0.5CV+1CSx+0.3CSy					
	P	V2	V3	T	M2	M3	P	V2	V3	T	M2	M3
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
88	5673,69	803,89	579,01	15,95	397,84	501,91	14336,65	1106,19	1547,2	11,97	907,37	723,47
89	25707,54	1502,95	254,49	29,11	116,7	798,32	19256,4	1230,75	298,34	9,97	347,99	765,74
91	14951,95	933,96	1458,64	14,18	880,72	536,19	5717,49	1058,23	547,72	13,18	435,69	684,5
185	7266,42	595,94	1198,89	13,36	736,14	362,45	9415,01	573,55	1939,55	7,67	1152,79	414,22
186	10180	194,15	188,6	6,66	80,45	95,28	8413,29	105,87	133,48	6,7	72,38	79,21
188	10224,14	263,04	1691,6	12,8	987,29	242,85	7515,46	280,69	883,05	14,84	521,31	205,31
282	4408,7	239,27	1207,7	13,95	731,1	166,19	4328,46	241,94	1579,22	7,98	941,94	182,27
283	2073,28	131,26	139,17	7,93	68,45	81,68	1761,5	93,57	87,55	12,42	63,3	69,93
285	4429,5	416,06	1579,02	12,12	938,75	335,6	4376,05	426,98	1160,66	16,65	704,69	330,68

# Referencias

- Alvarado, L. (Octubre de 2004). *DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR: <http://ri.ues.edu.sv/4581/1/Dise%C3%B1o%20de%20elementos%20estructurales%20en%20edificios%20de%20concreto%20reforzado.pdf>
- American Concrete Institute. (2014). *Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14*. Costa Rica .
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. (7 de Julio de 2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. Obtenido de <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf>
- Barragué, . L.c . (8 de julio 2011). *Los métodos probabilistas de seguridad estructural*. Obtenido de [https://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11\\_0545\\_0554.3283.pdf](https://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11_0545_0554.3283.pdf)
- Brown, J. M.-R. (2011). *Diseño de concreto reforzado* (Octava ed.). México: Alfaomega.
- Chartres, B. (2000). *Desarrollo histórico de la optimización estructural* .
- Chaverri, A. (Cartago de 2017). *Axial y flexión*. Obtenido de Material didáctico Estructuras de concreto.
- Chaverri, A.( 2017). *Flexocompresión* Material didáctico Estructuras de concreto. Cartago
- Chaverri, A.( 2017). *Tensión diagonal*. Material didáctico Estructuras de concreto. Cartago
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica* (Cuarta ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Fernández, P., & Pértegas, D. (27 de Mayo de 2002). *Investigación cuantitativa y cualitativa*. Obtenido de Complejo Universitario Juan Canalejo: [https://www.fisterra.com/gestor/upload/guias/cuanti\\_cuali2.pdf](https://www.fisterra.com/gestor/upload/guias/cuanti_cuali2.pdf)
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda ed.). México: Mc Graw Hill.
- McCormac, J. & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A
- Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto* (12 ed.). Colombia: Mc Graw Hill.