

# COMPARACIÓN ENTRE COLUMNAS DE FORMAS COMUNES Y ESPECIALES (CRUZ, L, T) SEGÚN LA NORMA BOLIVIANA 1225001

## COMPARISON BETWEEN COLUMNS OF COMMON AND SPECIAL FORMS OF CRUZ, L, T ACCORDING TO THE BOLIVIAN STANDARD 1225001

JUSTINIANO TARDÍO, J. S., QUIROZ VACA, J.C.

### RESUMEN

**E**n el mundo de la construcción, se está acostumbrado a construir edificios utilizando las columnas tradicionales: sección cuadrada y rectangular; con lo cual muchas veces el emplear este tipo de columnas trae consigo que se generen ambientes interiores perturbados por estos elementos, ya que posiblemente según el diseño, las dimensiones de las columnas no se podrían reducir para evitar esta situación mencionada. Ante esta problemática, surge la necesidad de buscar otras alternativas que eliminen ese inconveniente de “mala estética” en los ambientes de los edificios. Surge la opción de columnas de formas especiales: cruz, L y T, con la cual, debido a su forma geométrica, sería posible combinar los aspectos de estética y resistencia al mismo tiempo. Se realizó un análisis extenso de este tipo de columnas especiales, para el cual se consultó distintos materiales bibliográficos donde se tenía como tema principal este tipo de columnas, entre ellos se puede mencionar: a Marín y Güell; Arreaza y Martínez. Se determinaron distintas variables que se consideran bastante influyentes en el diseño de las columnas, entre ellas se puede mencionar la cuantía, hormigón, capacidad resistente y el costo económico. Para cada una de estas variables se logró obtener para este trabajo en particular, resultados comparativos importantes para analizar, entre los más destacados se puede mencionar: Cuantía: las columnas especiales consumen mayor cantidad de acero en cuanto a estribos, debido a su forma geométrica. Resistencia: la sección en cruz fue la que tuvo el mejor comportamiento resistente entre las columnas especiales. Costo económico: los parámetros fijados en el proyecto, las columnas especiales fueron más económicas que las columnas convencionales. En conclusión, se obtuvieron resultados positivos para las columnas especiales, ya que, según las variables en análisis, se demostró que estas columnas tienen un buen comportamiento resistente, buen control de deflexiones y derivas, así también, un costo económico razonable a invertir en los proyectos. Por lo mencionado, es posible decir que las columnas especiales son factibles para considerarse en futuros proyectos estructurales, la importancia de esta investigación es dar a conocer y brindar la mayor de información acerca de estas columnas especiales, y conseguir de esa manera la implementación en obras civiles, sea más frecuente.

### ABSTRACT

**I**n the construction world, it is customary to construct buildings using the traditional columns: square and rectangular section; with which many times the use of this type of columns brings with it the generation of interior environments disturbed by these elements, since possibly according to the design, the dimensions of the columns could not be reduced to avoid this mentioned situation. Faced with this problem, the need arises to look for other alternatives that eliminate this inconvenience of “bad aesthetics” in the environments of buildings. The option of columns of special forms arises: cross, L and T, with which, due to its geometric shape, it would be possible to combine the aesthetic and resistance aspects at the same time. An extensive analysis of this type of special columns was carried out, for which different bibliographic materials were consulted where this type of columns was the main topic, among them we can mention: Marín and Güell; Arreaza and Martínez. Different variables that are considered quite influential in the design of the columns were determined, among them we can mention the amount, concrete, resistant capacity and the economic cost. For each of these variables, it was possible to obtain important comparative results to analyze for this particular work, among the most outstanding of which we can mention: Amount: the special columns consume more steel in terms of stirrups, due to their geometric shape. Resistance: the cross section was the one that had the best resistant behavior among the special columns. Economic cost: the parameters set in the project, the special columns were cheaper than the conventional columns. In conclusion, positive results were obtained for the special columns, since, according to the variables under analysis, it was shown that these columns have a good resistant behavior, good deflection and drift control, as well as a reasonable economic cost to invest in the Projects. From the aforementioned, it is possible to say that the special columns are feasible to be considered in future structural projects, the importance of this research is to make known and provide the most information about these special columns, and thus achieve implementation in works civilians, more frequent.

### PALABRAS CLAVE

Columnas especiales, análisis estructural, sección cruz, sección L, sección T.

### KEYWORDS

Special columns, structural analysis, cross section, L section, T section.

## INTRODUCCIÓN

Una variación de las columnas de hormigón armado tradicionales, cuadradas, rectangulares y circulares, para así analizar columnas con formas geométricas especiales, como ser las de sección en cruz, L y T.

El hecho de construir columnas con las formas tradicionales mencionadas anteriormente, muchas veces genera ambientes de mal aspecto estético, ya que en la mayoría de los casos estas columnas quedan expuestas a la vista, generando ambientes más incómodos para las personas que habitan estos lugares; por ello, se busca la solución mediante la alternativa de columnas de forma especiales las cuales se espera puedan reducir estos problemas ya mencionados.

Haciendo una retrospectiva en el pasado, es significativo mencionar a la civilización greco-romana, la cual utilizó las columnas tanto en el interior como en el exterior de los edificios, sobre todo en los pórticos, siendo los griegos quienes desarrollaron los órdenes clásicos de la arquitectura.

Las columnas, o al menos las exteriores estructurales, fueron menos importantes en la arquitectura medieval, y las formas clásicas fueron abandonadas tanto en la arquitectura bizantina como en la románica y gótica en favor de formas más flexibles, con capiteles de diferentes tipos de decoración vegetal o figurativa.

La Revolución industrial impulsó la construcción de edificaciones con pilares de acero y hormigón armado, debido a que se dio más énfasis e importancia al aporte estructural que brindan estos elementos, dejando a un lado la parte arquitectónica que era bastante buscada desde los tiempos antiguos.

Hoy en día se está en la búsqueda de fusionar estos dos aspectos, tanto el técnico como el arquitectónico, para brindar ventajas que favorezcan las dos partes que se buscan en una estructura (resistencia y estética). Enfocando en las columnas de hormigón armado, mundialmente existen varios ingenieros que han empleado el uso de columnas de formas especiales en sus diseños, tal es el caso del edificio ISSSTE 10 inaugurado en 1962 en México, que presenta columnas en forma de cruz y T.

En cuanto a la existencia de este tipo de estructuras con columnas especiales, en Santa Cruz no se ha implementado uno hasta la fecha, y una de las causas influyentes se debe a que no se brinda mucha información sobre este tipo de columnas.

El objetivo del estudio de este tipo de columnas especiales, es el de realizar un análisis comparativo entre columnas de formas comunes y estas columnas de formas especiales cruz, L y T, para determinar cuál alternativa es la más factible tanto técnica-económica y estéticamente hablando.

De esta manera, en caso de que esta alternativa nueva genere resultados favorables y seguros, se podrá ampliar las posibilidades de que más diseñadores estructurales empleen este tipo de columnas especiales en sus diseños, al ver la factibilidad y seguridad de las mismas.

Para la realización del presente trabajo, se utilizará las siguientes Normas Nacionales: NB-1225001 (Hormigón Estructural), NB-1225002 (Acciones sobre las estructuras), NB-1225003 (Acciones

de viento sobre las construcciones) y la Guía Boliviana de Diseño Sísmico (GBDS).

El análisis estructural es una parte integral de cualquier proyecto de ingeniería estructural, cuya función comienza con la predicción del comportamiento de la estructura. (Kassimali, 2015, p. 5).

Un modelo analítico es una representación simplificada, o un ideal, de una estructura real para propósitos de análisis. Su objetivo es simplificar el análisis de una estructura complicada.

El modelo analítico representa, con la mayor precisión posible y práctica, el comportamiento característico de la estructura de interés para el analista, mientras se descartan muchos de los detalles de los elementos, conexiones, etc., que se espera tengan poco efecto sobre las características deseadas. (Kassimali, 2015, p. 12).

El modelo analítico seleccionado para el análisis de dos o tres dimensiones se representa por un diagrama de líneas. En este diagrama, cada elemento de la estructura se representa por una línea que coincide con su eje centroidal. La dimensión de los elementos y el tamaño de la conexión no se representa en el diagrama. (Kassimali, 2015, p. 13).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Recopilación y análisis de información:** En esta etapa se realizó una investigación profunda de toda la información relacionada a Columnas de formas especiales de sección cruz, L y T.

**Ejecución del análisis y diseño de la estructura:** Una vez determinadas todas las variables mecánicas del suelo que ingresan en el estudio de este tipo de columnas, se procede a elaborar el edificio hipotético en programas estructurales para su respectivo análisis y diseño estructural, variando su estructuración del edificio considerando las alternativas tanto de columnas tradicionales como de columnas especiales.

Para el diseño manual de las columnas se utilizó la metodología propuesta por Marín y Güell, un algoritmo del mismo se presenta en la figura 1.

La estructura será diseñada con la ayuda del programa Robot Structural, la cual presenta mayor control en el diseño de elementos, mientras que el programa ETABS fue utilizado para el análisis y comparación de los esfuerzos internos y desplazamientos de nudos, entre las alternativas presentadas anteriormente, debido a su gran versatilidad en estas áreas.

ETABS es un software innovador y revolucionario para análisis estructural y dimensionamiento de edificios, ofrece herramientas inigualables de modelado y visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados. (Computers and Structures, Inc, 2019)

Una característica de este programa es que: "proporciona un conjunto inigualable de herramientas para ingenieros de estructuras que modelan y dimensionan edificios, tanto edificios industriales de un piso, como también torres de varios pisos". (Computers and Structures, Inc, 2019)

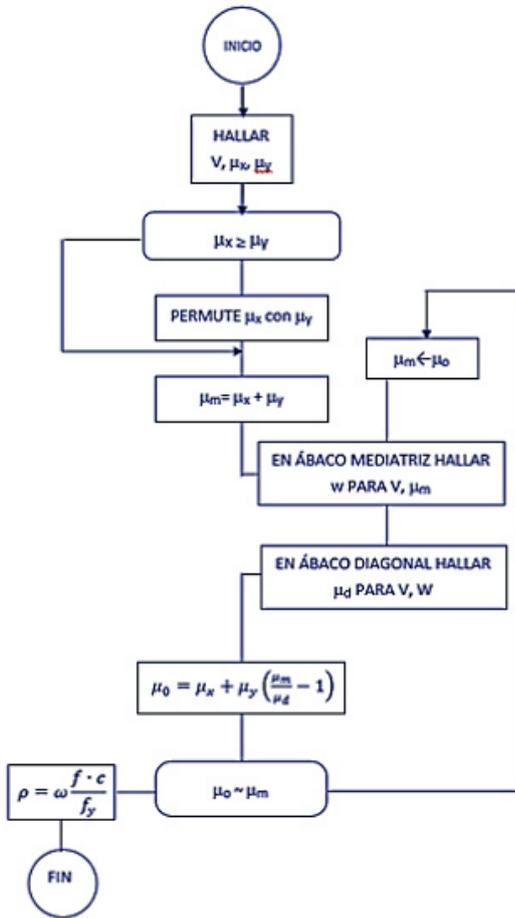


Fig.1. Metodología para el diseño de columnas (Marin, Guell)

COMPARACIÓN FINAL A partir de los resultados numéricos, tanto de manera manual como digital a través de los programas estructurales usados, se procede a realizar un profundo análisis comparativo de todas las variables más influyentes en este tipo de elementos conocidos como columnas.

## RESULTADOS

La figura 2 muestra la ubicación de las Columnas Críticas

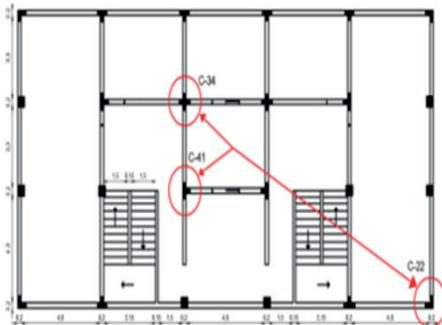


Fig. 2. Esquema de ubicación de Columnas Críticas

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se esquematizan las secciones transversales de los diferentes tipos de columnas estudiadas.

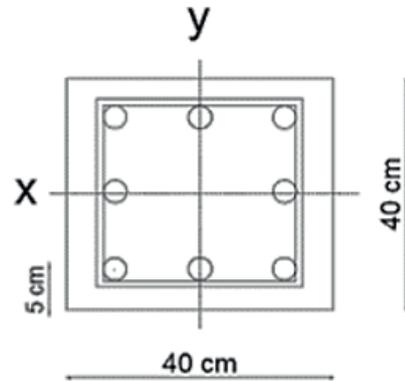


Fig. 3. Sección Transversal de Columna Cuadrada

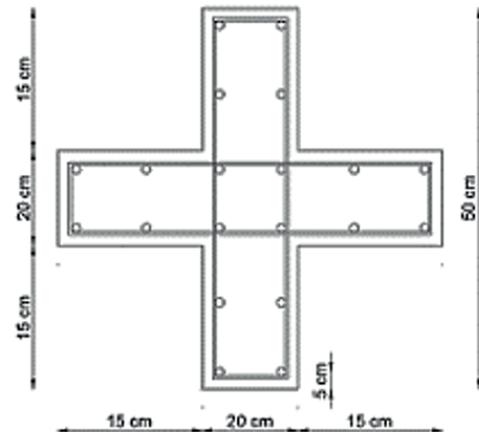


Fig 4. Sección Transversal de Columna en Cruz

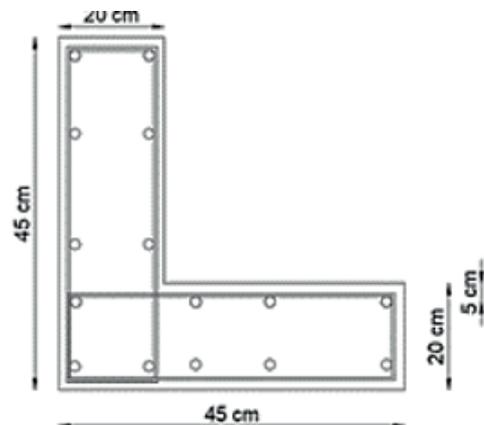


Fig 5. Sección Transversal de Columna en L

# COMPARACIÓN ENTRE COLUMNAS DE FORMAS COMUNES Y ESPECIALES (CRUZ, L, T) SEGÚN LA NORMA BOLIVIANA 1225001

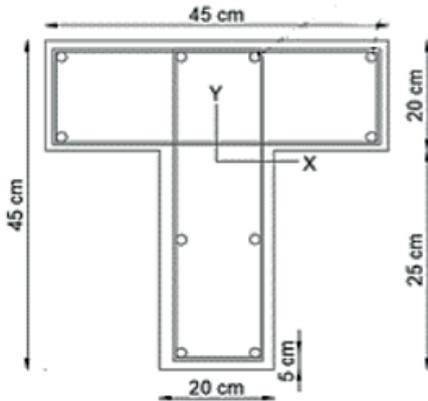


Fig. 6. Sección Transversal de Columna en T

La tabla 1. indica las Derivas máximas para las diferentes columnas seleccionadas.

Tabla 1. Derivas Máximas de las Columnas propuestas

| Ubicación | Tipo         | Deriva Máxima (X) | Deriva Máxima (Y) |
|-----------|--------------|-------------------|-------------------|
| C-41      | Cuadrada     | 0.00904           | 0.01060           |
|           | Sección T    | 0.00922           | 0.01088           |
| C-34      | Cuadrada     | 0.00968           | 0.01060           |
|           | Sección Cruz | 0.00990           | 0.01088           |
| C-22      | Cuadrada     | 0.00830           | 0.01069           |
|           | Sección L    | 0.00842           | 0.01097           |

Se verificará si las derivas máximas calculadas cumplen con la deriva máxima admisible dada por la Guía Boliviana de Diseño Sísmico (GBDS). Para una Deriva máxima admisible 0,01 todas las columnas propuestas cumplen con la verificación en X y la verificación en Y sobrepasa con valor despreciable.

La tabla 2 muestra los valores de la flexión Uniaxial de los diferentes tipos de columnas propuestas.

Tabla 2. Flexión Uniaxial de los diferentes diseños de columnas.

| Columna                 | C-34   |          | C-22  |          | C-41   |          |
|-------------------------|--------|----------|-------|----------|--------|----------|
|                         | Cruz   | Cuadrada | L     | Cuadrada | T      | Cuadrada |
| Sección                 |        |          |       |          |        |          |
| $\rho$ (%)              | 1      | 1        | 1     | 1        | 2.24   | 1.54     |
| Área (cm <sup>2</sup> ) | 1600   | 1600     | 1400  | 1600     | 1400   | 1600     |
| Pu (KN)                 | 1400,6 | 1353.4   | 693.7 | 707.22   | 1481.1 | 1692.2   |
| Mu (KN.m)               | 99.76  | -101,5   | -72,6 | -70,53   | -92,12 | 102.12   |
| $\phi$ Pn (KN)          | 1479.6 | 1484.3   | 986.3 | 1284.4   | 1583.3 | 1790.2   |
| $\phi$ Mn (KN.m)        | 105.4  | 111.5    | 103.2 | 128.24   | 98.52  | 108.08   |
| Relación de capacidad   | 0.95   | 0.91     | 0.7   | 0.55     | 0.93   | 0.94     |
| As (cm <sup>2</sup> )   | 16     | 16       | 14    | 16       | 31.36  | 24.64    |

Se reportan en la tabla 3. los valores para las columnas en cruz, en L y cuadrada de la Flexión Desviada.

Tabla. 3. Flexión Desviada de los diferentes diseños de columnas.

| Columna                 | C-34    |          | C-22   |          |
|-------------------------|---------|----------|--------|----------|
|                         | Cruz    | Cuadrada | L      | Cuadrada |
| $\rho$ (%)              | 0,597   | 0,84     | 1      | 1        |
| Área (cm <sup>2</sup> ) | 1600    | 1600     | 1400   | 1600     |
| Pu (KN)                 | 1400,56 | 1353.4   | 693.67 | 707.22   |
| Mx (KN.m)               | 99.76   | -2.09    | -72,6  | -70,53   |
| My (KN.m)               | -2,45   | -101,46  | -72,6  | -70,53   |
| As (cm <sup>2</sup> )   | 9.552   | 13.44    | 7.084  | --       |

La tabla 4. Muestra el detalle final de las Cuanías.

Tabla. 4. Detalle final de Cuanías

| Cuanías                                 | Columnas | Especiales | Cuadradas |
|---|----------|------------|-----------|
|   | 1%       |            | 80        |
| 1% < $\rho$ ≤ 1,5%                      |          | 57         | 4         |
| ≤2%                                     |          | 2          | 3         |
| ≤3%                                     |          | 5          | 2         |
| $\rho < 4\%$                            |          | 1          | -         |
| Total As longitudinal (kg)              |          | 6977       | 7086.6    |
| Estribos (Cantidad)                     |          | 3535       | 2355      |
| Estribos (Kg)                           |          | 873.44     | 695.39    |
| Total As (kg)                           |          | 7850.4     | 7782      |
| Densidad de armado (kg/m <sup>3</sup> ) |          | 146.56     | 134.61    |

La tabla 5 expone las cantidades de los materiales de la estructura.

Tabla. 5. Materiales de estructura

| Material      | Hormigón Armado (m <sup>3</sup> ) |                  | Encofrado (p <sup>2</sup> ) |                  |                 |
|---------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|
|               | Por columna                       | Total estructura | Por columna                 | Total estructura |                 |
| Alternativa 1 | Sección Cruz                      | 0.4              | 4.78                        | 55.38            | 662.41          |
|               | Sección L                         | 0.35             | 8.37                        | 48.44            | 1,158.63        |
|               | Sección T                         | 0.35             | 21.28                       | 48.44            | 2,945.01        |
|               | Cuadrada                          | 0.4              | 19.14                       | 43.05            | 2,059.78        |
|               |                                   | Total = 53.57    |                             | Total = 6,825.83 |                 |
| Alternativa 2 | Cuadrada                          | 0.4              | 57.81                       | 43.05            | 6,222.40        |
|               |                                   |                  | Total = 57,81               |                  | Total = 6,222.4 |

## DISCUSIÓN

En la tabla 2. se comparan directamente aquellas columnas que se encuentren en la misma posición. Habiéndose aclarado lo anterior, se puede observar que en la columna C-34, la que tuvo un mejor comportamiento fue la sección cuadrada, esto se lo verifica con la relación de capacidad, ya que mientras más alejado este valor a 1, tiene mayor capacidad.

De igual manera en la columna C-22, la sección cuadrada tuvo una mayor distancia de efectividad respecto de la sección L, esto se debe en mayor medida a que las áreas de las secciones son distintas, siendo menor la cantidad de hormigón que tiene la sección L.

Por último para la columna C-41, la cual es la más solicitada en cuanto a carga axial, se ve un incremento de cuantía necesaria para ambas secciones en análisis, la cuantía colocada fue la que sugiere el programa Robot Structural. En esta ocasión la sección T tuvo una mayor cuantía debido a su menor área de concreto que posee, pero en los resultados obtenidos obtuvo por poco una mejor relación de capacidad que la sección cuadrada.

Con base en los resultados de la tabla 3, se dedujo que en la columna C-34, la que resulta tener mayor capacidad resistente fue la de sección en cruz, mientras que para la columna C-22, tuvo un mejor resultado la columna de sección cuadrada, la cual el resultado dio cero, debido a que el punto de la solicitación actuante cayó dentro de la curva de cuantía igual a cero, que representa que la sección es capaz de resistir dichas solicitaciones sin necesidad de colocar acero.

Se debe considerar que la sección en L presentó una menor área respecto de la cuadrada; por lo tanto, para contrarrestar dicha diferencia de fuerza debido al aporte del concreto a la resistencia, se verá la necesidad de colocar mayor cuantía, tal como se vio en los resultados.

Sobre la base de los datos mostrados en la tabla 4, a pesar de que la alternativa de columnas cuadradas contaba con un número bastante reducido de columnas que sobrepasaban la cuantía del 1%, se puede ver que en términos del total de acero longitudinal (kg), dio mayor cantidad de acero en comparación que la alternativa de columnas especiales, esto se debe a que al tener mayor área las columnas cuadradas, esto exige un mayor número de barras de acero para obtener la cuantía del 1%.

En la tabla 5, puede observar que a pesar de que la alternativa de columnas especiales tiene un menor volumen de hormigón debido al diseño estructural planteado en un inicio, esta presenta una mayor área de encofrado necesario que el de las columnas convencionales. Esto se debe a las formas geométricas propias de las columnas especiales, las cuales, a pesar de tener menor área de hormigón, se necesita mayor cantidad de elementos encofrantes para encerrar cada perímetro de la sección propia.

Se debe aclarar que una variable bastante influyente en estos resultados fue la cantidad de hormigón de las columnas, la cual fue menor para las columnas especiales en forma de T y L. El cálculo de los demás elementos estructurales se los realiza para la alternativa de columnas especiales, elaborándose los planos constructivos a través del programa Robot Structural.

Un análisis de precios unitarios, las columnas especiales fueron más costosas que las cuadradas, mientras que en el presupuesto total del ítem de las columnas, la alternativa de columnas cuadradas resultó más onerosa con un 2.10% de diferencia, debido a su mayor cantidad de hormigón que presentaba.

Esta condición se dio debido a que se busca igualar las inercias en ambas alternativas, logrando conseguir esta condición con una menor cantidad de hormigón para las columnas especiales, con lo cual se ve reflejado en un porcentaje de ahorro significativo en el presupuesto final.

De acuerdo al aspecto técnico, ambas alternativas tuvieron un buen comportamiento estructural, resumiéndose los siguientes factores importantes:

**Cuantía:** La alternativa de columnas especiales necesita menor cantidad de acero longitudinal, mientras que, en cuanto a los estribos, fue la alternativa de columnas cuadradas la que requiere menor cantidad, para la cual, considerando el total de acero requerido, la alternativa de columnas cuadradas presenta ligeramente una menor cantidad de acero total requerido.

**Encofrado:** En este aspecto la alternativa de columnas cuadradas tuvo un mayor ahorro económico, debido a que requiere menor cantidad de encofrado debido a su menor variación de superficies a encofrar, a diferencia de las columnas especiales.

**Hormigón:** Como ya se mencionó con anterioridad, las columnas especiales presentaron una ventaja en cuanto a la cantidad de hormigón empleado, la cual fue menor a comparación de la usada para las columnas cuadradas.

Finalmente se debe mencionar el aspecto estético, que sin lugar a duda se lleva una amplia ventaja la alternativa de columnas especiales, debido a que se logra conseguir ambientes menos interrumpidos por columnas, y una mejor vista para las personas, consiguiendo al mismo tiempo una estructura que brinde seguridad y calidad en cuanto a los aspectos de resistencia y costos.

## REFERENCIAS

- ARTHUR, N. (2001). Diseño de Estructuras de concreto (Duodécima ed.). (E. Ariza, Ed.) Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- BARRERA, R. (2013). Diseño Sísmico de estructuras mixtas. COMPUTERS AND STRUCTURES, Inc. (7 de abril de 2019). CSI ETABS.
- CUEVAS, G. (2005). Aspectos fundamentales del concreto reforzado. México: Limusa.
- FRATELLI, M. G. (1993). Suelos, Fundaciones y Muros. Caracas.
- GRANDI, R. (2018). Guía Boliviana de Diseño Sísmico (Vol. 3.0). Bolivia.
- HARMSSEN, T. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado (Tercera ed.). Perú: Fondo Editorial.
- KASSIMALI, A. (2015). Análisis Estructural. México: ISBN.
- LEET, K., & UANG, C.-M. (2006). Fundamentos de análisis estructural (Segunda ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- MARÍN, J., & GUELL, A. (1984). Manual para el cálculo de columnas de concreto armado. Venezuela: FUNVISIS.
- RODRÍGUEZ, W. (2018). Ingeniería Geotécnica, Suelos y Cimentaciones.
- UNIDAD SECTORIAL DE NORMALIZACIÓN, Convenio IBNORCA-CADECOCRUZ. (2012). Norma Boliviana 1225001-1. Bolivia.
- ARREAZA, C. y MARTÍNEZ, V. (2010). Diseño de diagramas de interacción para columnas en concreto armado en forma de cruz simétrica. (Tesis de pregrado). Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/365019338/Tesis-de-Concreto>.
- ACOSTA, A. y CEDOLIN, R. (2012). Diseño de diagramas de interacción para columnas en concreto armado en forma de T asimétrica. (Tesis de pregrado). Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/375419378/Tesis-de-Concreto>.

