

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**PREPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE
DISEÑO PARA ESFUERZOS NETOS A TENSIÓN EN
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA COMO
REFUERZO EN COLUMNAS DE
CONCRETO ARMADO**

Realizado por:

Hutchings Sierra, Luyimar Valeri Madheleine

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, Marzo de 2023

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**PREPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE INTERACCION DE
DISEÑO PARA ESFUERZOS NETOS A TENSION EN
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA COMO
REFUERZO EN COLUMNAS DE
CONCRETO ARMADO**

Prof. Daniel Cabrera
Tutor Académico

Cantaura, Marzo de 2023

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**PREPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE INTERACCION DE
DISEÑO PARA ESFUERZOS NETOS A TENSION EN
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA COMO
REFUERZO EN COLUMNAS DE
CONCRETO ARMADO**

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

APROBADO

Jurado Calificador:

Prof. Mary Medina

Jurado Principal

Prof. Jesús Alvarez

Jurado Principal

Prof. Daniel Cabrera

Tutor Académico

Cantaura, Marzo de 2023

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

Con todo el cariño dedico este trabajo de grado a mi hermosa mami cochi, y también a mi amada abuela Irama. Las amo.

Hutchings Sierra, Luyimar Valeri Madheleine

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a quienes estuvieron presentes durante todo este camino.

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre Yina Sierra por ser mi fuente de inspiración y motivación para poder superarme cada día más, y por supuesto quiero agradecerle por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi papá Luis Rojas quien con su amor y conocimiento me apoyó incondicionalmente durante todo el camino.

A mis abuelos, Irama Rosillo y Juan Sierra les agradezco no solo por estar presente aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lotes de felicidad que siempre me han causado.

A mi tía, Fiorela Sierra, por haberme alentado a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis compañeros, Daniela Figuera, Víctor Contreras y Johnny Arias, por su apoyo y compañía durante todo el camino.

A mi amiga, Lady Laura Ávila, que aunque físicamente no me acompaña, siempre está presente en mis pensamientos y en mi corazón.

Agradezco a quienes conforman la casa más alta de estudio, UDO Extensión Cantaura, por su excelente formación. A todos mis profesores quienes colaboraron en mi preparación como profesional, en especial al profesor Jhonatan Martínez y Daniel Cabrera, por el aporte de sus conocimientos, los cuales sirvieron de crecimiento personal. Y al personal administrativo por su colaboración.

Hutchings Sierra, Luyimar Valeri Madheleine

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



PREPARACIÓN DE DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE DISEÑO PARA ESFUERZOS NETOS A TENSIÓN EN ACEROS DE ALTA RESISTENCIA COMO REFUERZO EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO

Tutor:

Prof. Daniel Cabrera

Autor:

Hutchings Sierra, Luyimar Valeri Madheleine

Fecha: Marzo de 2023

RESUMEN

La investigación consistió en la presentación de Diagramas de Interacción para esfuerzos netos a tensión, incorporando aceros de alta resistencia como refuerzo en columnas de concreto armado, de acuerdo a las consideraciones expresadas en el código ACI 318-19. Se desarrolló una investigación de tipo documental y descriptiva, basada en la revisión de fuentes de carácter técnico, orientada a profundizar los conocimientos relacionados con la temática planteada. La investigación se basó en la expansión de la aplicación permisible de acero de refuerzo de alta resistencia en columnas, para estudiantes de Ingeniería Civil. Finalmente, se elaboró Diagramas de Interacción en columnas de concreto armado para evidenciar el comportamiento de las curvas entre el acero de baja y alta resistencia. Así mismo, se analizó los valores por norma permitidos para el grado de cuantía de refuerzo en la sección transversal, y observar que tanto difiere en la resistencia del objeto en estudio. Dicho esto, al incorporar diferentes refuerzos de aceros en los Diagramas de Interacción adimensionales se pudo identificar y escoger datos más confiables que generen un diseño por capacidad y mayor ductilidad en el elemento.

Palabras clave: Código ACI, Columnas, Análisis, Diseño, concreto.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESOLUCIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTOS..... | vi |
| RESUMEN..... | vii |
| ÍNDICE GENERAL..... | viii |
| ÍNDICE TABLA | xi |
| ÍNDICE FIGURAS..... | xii |
| INTRODUCCIÓN | xiii |
| CAPÍTULO I..... | 14 |
| EL PROBLEMA | 14 |
| 1.1 Planteamiento del Problema..... | 14 |
| 1.2 Objetivos..... | 17 |
| 1.2.1 Objetivo General | 17 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 17 |
| CAPÍTULO II..... | 18 |
| MARCO TEÓRICO REFERENCIAL | 18 |
| 2.1 Antecedentes..... | 18 |
| 2.2 Bases Teóricas Referenciales | 20 |
| 2.2.1 Columna..... | 20 |
| 2.2.1.1 Diagrama de Interacción | 21 |
| 2.2.2 Factores de reducción de resistencia..... | 24 |
| 2.2.3 Falla balanceada | 26 |
| 2.2.4 Límites del refuerzo..... | 26 |
| 2.2.5 Acero de refuerzo de alta resistencia | 27 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO III | 28 |
| MARCO METODOLÓGICO | 28 |
| 3.1 Tipo de Investigación..... | 28 |
| 3.2 Nivel de Investigación..... | 28 |
| 3.3 Técnicas y Herramientas a Utilizar | 29 |
| 3.3.1 Técnicas..... | 29 |
| 3.3.1.1 Revisión Documental | 29 |
| 3.3.1.2 Análisis e interpretacion del contenido..... | 30 |
| 3.3.2 Herramientas y Equipos | 30 |
| CAPÍTULO IV | 31 |
| RESULTADOS | 31 |
| 4.1 Etapas del Proyecto | 31 |
| 4.2 Requerimientos para la elaboración de los Diagramas de Interacción con acero de alta resistencia | 32 |
| 4.3 Calculo de los puntos característicos de los Diagramas de Interacción utilizando acero de alta resistencia..... | 33 |
| 4.3.1 Hojas de cálculo para el análisis y diseño de los Diagramas de Interacción..... | 34 |
| 4.4 Dibujo de los diagramas de Interacción..... | 35 |
| 4.5 Definición del grado de cuantía del acero de refuerzo en secciones transversales | 36 |
| 4.5.1 Variación de la resistencia cedente especificada del acero de refuerzo | 36 |
| 4.5.2 Variación de la resistencia cedente especificada del concreto . | 37 |
| 4.5.3 Variación de la cuantía de acero | 37 |

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| CAPÍTULO V | 38 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 38 |
| 5.1 Conclusiones | 38 |
| 5.2 Recomendaciones | 40 |
| BIBLIOGRAFÍA | 41 |
| ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO 1: CÁLCULOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO 2: DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN .. | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO 3: COMPARACIONES | ¡Error! Marcador no definido. |
| HOJAS DE METADATOS | 171 |

ÍNDICE TABLA

Tabla 1: Grados de acero según la resistencia mínima a la tracción ...27

ÍNDICE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de interacción. | 21 |
| Figura 2. Variación de Φ con la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo a tracción ϵ_t | 25 |
| Figura 3. Hoja de cálculo en Microsoft Excel para resultado de los Diagramas de Interacción. | 34 |
| Figura 4. Dibujo de las curvas que conforman un Diagramas de Interacción.. | 35 |
| Figura 5. Diagramas de Interacción con diferentes resistencias. Fuente:..... | 36 |

INTRODUCCIÓN

En la ingeniería, a la hora de construir se busca que los miembros de las estructuras de concreto reforzado se diseñen y se construyan para tener la resistencia adecuada, de acuerdo con las disposiciones de la norma. Para la investigación presentada se podrá analizar y diseñar Diagramas de Interacción incorporando aceros de alta resistencia en columnas de concreto armado, bajo los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (Código ACI 318-19).

Este Reglamento proporciona los requisitos mínimos para los materiales, el diseño, construcción y evaluación de la resistencia de miembros y sistemas de concreto estructural de cualquier estructura diseñada y construida de acuerdo con los requisitos del reglamento general de construcción. Utilizando aceros de alta resistencia de grado 80 a 100 en vez de utilizar los de grado 60, permitirán evitar en la ejecución de la obra la saturación del acero en las secciones, los retrasos y complicaciones en la construcción.

La investigación tiene por objeto desarrollar una investigación que permita obtener contenidos que establezcan criterios y conclusiones referentes a la preparación de los Diagramas de Interacción a través de la innovación de grados de aceros de alta resistencia. Por lo tanto, las herramientas obtenidas serán destinadas a enriquecer con nuevos conocimientos a estudiantes de Ingeniería Civil.

El trabajo está constituido por cinco capítulos. En el Capítulo I se establece el planteamiento del problema, que incluye a su vez el alcance y la justificación de la investigación; se señalan también el objetivo general y los objetivos específicos del estudio. El Capítulo II corresponde al marco teórico

referencial, el cual se encuentra conformado por los antecedentes y las bases teóricas que sustentan el desarrollo de la investigación.

Por otra parte, en el Capítulo III se describe la metodología adoptada en la ejecución de la investigación. El Capítulo IV incluye los resultados obtenidos y, finalmente, en el Capítulo V se plantean las conclusiones y recomendaciones inherentes al estudio realizado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Es un hecho conocido que las prácticas en la construcción están cambiando de manera significativa, por lo que, nuevas tendencias de construcción en el mercado responden a estas nuevas tecnologías, y métodos que se han transformado en torno a una realidad en constante evolución. Por esta razón, el código ACI ha tenido que adaptarse generando cambios y actualizaciones, sin afectar el comportamiento final del elemento.

Por lo dicho anteriormente, la actualización del código ACI 318-14 a la ACI 318-19, generó nuevos requerimientos y gran impacto al expandir la aplicación permisible de acero de refuerzo de alta resistencia en columnas. Al incorporar grados de aceros más elevados, se han incluido restricciones adicionales, las cuales han sido añadidas para ayudar a garantizar un desempeño más confiable de los sistemas estructurales.

A pesar de los avances, actualmente el diseño limita la resistencia de las barras de acero en la mayoría de los refuerzos usando grado 60 en vez de aceros de alta resistencia de grado 80 a 100, por lo que se observa saturación de acero en los elementos que se encuentran en etapa de ejecución, generando retraso y complicaciones en la labor de la obra.

A partir de lo ya descrito, el estudio se basará en la elaboración de Diagramas de Interacción de diseño para esfuerzos netos a tensión con aceros de alta resistencia como refuerzo en columnas de concreto armado, bajo los criterios y especificaciones de la ACI 318-19. Y a su vez, el cálculo

de los puntos característicos, los dibujos de los diagramas de diseño y la evaluación del grado de cuantía de refuerzo en la sección transversal.

En este orden de ideas, al incursionar y aplicar aceros de alta resistencia se espera lograr mayor ductilidad en la estructura. Al diseñar con este tipo de acero permite miembros estructurales más pequeños, y la descongestión de ese acero de refuerzo, mejorando los procesos constructivos. Tanto así, que generan parámetros de reducción en acero aproximadamente del 50%, con espacios más utilizables.

Por lo anterior expuesto, se tomarán como referencias la ACI 318-19, Reglamento para concreto estructural, FONDONORMA 1753-2006, Proyecto de Construcción de Obras en Concreto Estructural, COVENIN 316-2000, Norma Venezolana Barras y Rollos de Acero con Resaltes para Uso como Refuerzo Estructural, Arnal 1984, Manual para el Cálculo de Elementos de Concreto Armado para Edificaciones, y cuando sea necesario otros criterios, se citará el autor. En función de los distintos requerimientos y diferentes normativas ya mencionadas, éstas servirán de apoyo en la investigación para el tópico en estudio; analizando su teoría y aplicando sus ecuaciones

Dicho esto, todas las referencias deberán hacerse de las normas ACI (Instituto Americano del Concreto), organización que desarrolla normas y recomendaciones técnicas referentes al concreto, FONDONORMA, el Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad, Covenin, Comisión Venezolana de Normas Industriales, FVIS, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS, Sidetur, Siderúrgica del turbio S.A.

De esta manera, será de vital apoyo y contribución cada una de los criterios especificados en las normativas para el presente proyecto, de los cuales con su respectivo análisis permitirá identificar las variables requeridas

para el cálculo y ejecución de los puntos característicos en Diagramas de Interacción adimensionales. Posteriormente, al plasmar estos puntos característicos en los Diagramas, se analiza el nivel de cantidad de acero y el comportamiento que presentan las secciones transversales al incorporar diferentes refuerzos de acero, con el fin, de identificar y escoger datos más confiables que generen un diseño por capacidad en el elemento.

En efecto, la inclusión de requerimientos mínimos para el proceso de análisis y diseño de refuerzos de mayor resistencia es, sin duda alguna, una novedad dentro del campo de la Ingeniería Civil. Por lo que, los resultados que se obtengan a partir del desarrollo de la investigación permitirán establecer criterios y conclusiones referentes a la preparación de los Diagramas mediante la aplicación de aceros de alta resistencia.

Por esta razón, a pesar de existir investigaciones en nuestro país donde se aplique criterios de diseño de refuerzo en columnas, tales como la desarrollada por Martínez (2020), donde realiza un estudio comparativo entre la ACI 318-14 y la FONDONORMA 1753-2006, del acero de confinamiento para columnas de marco especiales resistentes a momentos, se han presentado aportes de otros países de la norma ACI 318-19 para aceros de alta resistencia a excepción de Venezuela, lo cual retrasa los cambios en el diseño de refuerzo de elementos de Concreto.

Cabe destacar, lo novedoso de este proyecto radica en que será la primera actualización en el país de los Diagramas de Interacción utilizando aceros de alta resistencia como refuerzo de columnas de concreto armado bajo los criterios adscritos en la ACI 318-19. Dicho esto, la recopilación, tendrá como finalidad brindar acceso a nuevos contenidos para estudiantes de Ingeniería Civil de la UDO Extensión Cantaura, o cualquier otra Institución de educación superior del país.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Preparar Diagramas de Interacción de diseño para esfuerzos netos a tensión en acero de alta resistencia como refuerzo en columnas de concreto armado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir las variables necesarias o requeridas para la elaboración de los Diagramas de Interacción, considerando los aceros de alta resistencia.
- Calcular los puntos característicos de los Diagramas de Interacción para los aceros de alta resistencia.
- Dibujar los Diagramas de Interacción adimensionales para aceros de alta resistencia.
- Definir el grado de cuantía de acero de refuerzo en secciones transversales con diferentes refuerzos de acero.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Para el siguiente trabajo se llevará a cabo una revisión bibliográfica donde se seleccionarán aportes investigativos más resaltantes relacionados con el tópico en estudio, los cuales permitirán generar un material referencial de apoyo y a su vez, cumplir los propósitos de la investigación.

Por otro lado, la investigación financiada por Pankow Foundation, (2019), demostró el comportamiento aceptable de columnas sismos resistentes especiales, reforzadas con barras ASTM A706 Grado 80 y con el equivalente al refuerzo A706 Grado 100, es decir, diseñadas con aceros de alta resistencia que permitieron soportar momentos, fuerzas axiales y cortes, bajo los criterios estipulados en la ACI 318-19 que incorporan marcos de momento especiales.

En esta investigación, tomaron construcciones realizadas recientemente con acero de refuerzo de grado 60 y fueron rediseñadas con aceros de alta resistencia a fin de generar datos de diseño comparativos y a su vez, demostrar el impacto del acero de refuerzo de alta resistencia en la práctica de diseño actual, buscando recalcar los beneficios que genera diseñar con refuerzos más resistentes.

En otro orden de ideas, García (2018), realizó una evaluación del comportamiento dúctil en columnas de concreto reforzado. A fin, de corregir el efecto de falta de ductilidad en columnas, especialmente en las zonas críticas, aplicando cuantías mínimas de refuerzo transversal, basadas en criterios experimentales y de resistencia.

El trabajo concluye que la elevada resistencia del concreto a la compresión, el insuficiente confinamiento y el incremento del nivel de carga axial son los factores de mayor influencia que generan baja ductilidad en el elemento. Cumpliendo los debidos requisitos, se pueden reducir las secciones alcanzando mayor resistencia a la compresión, mayor módulo de elasticidad y beneficios a nivel económico.

En contraste a lo antepuesto, Bellagio (2015), determino diagramas de interacción de secciones de concreto armado sometidas a flexión recta con sollicitación axial, basado en el código ACI 318. Donde se empleó uno de los casos más frecuentes de diseño en edificios, las secciones rectangulares con armadura simétrica, a fin de obtener límites establecidos en cuantía de refuerzo, uso de expresiones validas en la aplicación de coeficientes de reducción y deformación.

Debido al cambio reglamentario, en el trabajo se difundieron elementos para modificar procedimientos establecidos mediante el uso de las normativas más vigentes que permitieron conocer nuevos procedimientos, nomenclaturas o diagramas con el fin de facilitar herramientas de uso frecuente para contribuir a la formación de los futuros profesionales con su utilización.

Dicho esto, Suárez (2012), desarrollo un tema de investigación Métodos de Cálculo y su Incidencia en el Dimensionamiento de Columnas de Concreto Armado, donde estudio el proceso de diseño y dimensionamiento de columnas, resolviendo diversos problemas que se presentarán a lo largo del análisis.

Dicho esto, el diseño de la investigación se basó en la fuerza interna de la columna, conjuntamente debido a sus condiciones propias, también se

diseñan para flexión de tal forma que la combinación así generada se denomina flexocompresión ya que, la intención de la columna es sostener la carga y los momentos de la edificación.

A su vez, el trabajo se realizó con el fin de obtener un diseño óptimo con resultados rápidos tanto para estudiantes como para profesionales de la carrera de Ingeniería Civil, donde se centraron en realizar cálculos de columnas mejorando su tiempo, su desempeño laboral y académico, con ayuda de nuevas tecnologías eficientes. Es por ello, que el pre dimensionado de columnas consiste en determinar las dimensiones que sean capaces de resistir la compresión que se aplica sobre el elemento.

2.2 Bases Teóricas Referenciales

2.2.1 Columna

Suárez (2012), considera la columna como un elemento estructural vertical empleado para sostener la carga de la edificación. A su vez afirma, que cumple con la función de soportar el peso de la construcción y transmitir las cargas de los pisos superiores hasta la planta baja y después al suelo, a través de la cimentación. Puesto que las columnas son elementos a compresión, la falla de una columna en un lugar crítico puede causar el colapso progresivo de los pisos concurrentes y el colapso total último de estructura completa.

Por lo dicho anteriormente, al incluir aceros de alta resistencia para refuerzos en el diseño de columnas de concreto armado, se busca mejorar el desempeño del elemento lo que permite el incremento en la ductilidad, resistencias más altas que den aviso a fallas incipientes, mejorando el desempeño en la obra.

2.2.1.1 Diagrama de Interacción

Michael (2018), señala que un Diagrama de Interacción (o curva) muestra las combinaciones de momentos aceptables y capacidades axiales de un miembro estructural. Al contar con los puntos característicos de un elemento, se conocen todas las combinaciones de carga axial y momentos que pueden soportar. Por tal razón, se puede determinar la resistencia de elementos de concreto reforzado, sujetos a la acción de carga axial y momento flexionante.

En la figura 1, se observa los puntos característicos que conforman un Diagrama de Interacción, los cuales serán calculados en la investigación:

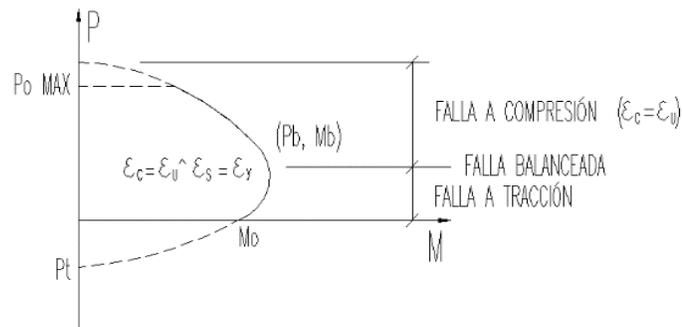


Figura 1. Diagrama de interacción. Fuente: Autor.

Por lo tanto, los diagramas de interacción son muy apropiados para estudiar las resistencias de las columnas con proporciones variables de cargas axiales y de momentos. Cualquier combinación de cargas que quede dentro de la curva es satisfactoria, mientras que una combinación que caiga fuera de la curva representa una falla. Si una columna está cargada hasta la falla con sólo una carga axial, la falla ocurrirá en el punto P_o .

Al movernos sobre la curva desde el punto (P_o), la capacidad por carga axial disminuye conforme aumenta la proporción de momento flexionante. En la parte inferior de la curva, el punto M_o representa la resistencia por flexión del miembro sometido sólo a momento, sin presencia de carga axial, y entre los puntos extremos (P_o) y (M_o), la columna falla debido a una combinación de carga axial y de flexión.

Mientras, el punto (P_b-M_b) se llama punto balanceado y representa el caso de carga balanceada, es donde en teoría ocurren simultáneamente una falla por compresión y la fluencia del acero en tensión. Las líneas punteadas horizontal indican una combinación particular de momento y carga axial que causará la falla de la columna. En la parte inferior de la curva de (P_b-M_b) a (M_o), predomina la flexión y representa el intervalo de falla a tensión. Por el contrario, desde (P_o) a (P_b-M_b) sobre la curva, la capacidad por momento de una sección aumenta conforme disminuye la carga axial.

Estos puntos característicos se calculan aplicando las siguientes ecuaciones:

- 1) Para la carga (P_o), denominada carga resistente concéntrica (axial pura), el concreto es con refuerzo longitudinal y recubrimiento y estará situado por encima de la falla balanceada (falla a compresión).

$$P_o = 0.85 \cdot f'_c (A_g - A_s) + A_s \cdot f_y \text{ Ecu. (1)}$$

- 2) Se toma los puntos característicos ($0; P_o$), para generar la curva nominal y se minoran estos valores con un factor ($\phi=0,65$), para obtener una segunda curva denominada resistente.
- 3) La carga total de la sección (P_t), falla a tracción, estará ubicado por debajo de la falla balanceada.

$$P_t = A_s \cdot f_y \text{ Ecu. (2)}$$

- 4) Se toma los puntos característicos (0; P_t), y se minoran con un factor ($\phi=0,90$).
- 5) El punto ($M_b; P_b$), correspondiente a la falla balanceada, se supone un estado de deformaciones unitarias definido por ϵ_u (0,003), y en la fibra extrema en compresión y por ϵ_y (0,002), en el acero de tensión. Este estado de deformaciones es el que tiene cuando en conjunto, el concreto alcanza su deformación máxima útil y el acero su límite de fluencia. Por lo tanto, el elemento falla de forma frágil, y este punto es utilizado como referencia para la ubicación de la falla a compresión y la falla a tracción. Dicho esto, todo punto situado por encima de la falla balanceada se encontrará dentro de una falla a compresión, lo que indica que el acero en esta zona está cediendo. En caso contrario, si por debajo está situada toda falla a tracción, indica que el acero de la zona a compresión puede o no estar cediendo. Dicho esto, para generar este punto, se comienza con el valor de la profundidad del eje neutro (c_b):

$$c_b = \frac{\epsilon_u \cdot d}{\epsilon_u + \epsilon_y} \text{ Ecu. (3)}$$

- 6) A través de relaciones de triángulos se calcula las deformaciones unitarias (ϵ) para cada uno de los refuerzos.
- 7) Utilizando cada deformación de los refuerzos, se obtiene las fuerzas por capas.
- 8) Se calcula el eje neutro:

$$a = 0,85 \cdot c_b \text{ Ecu. (4)}$$

$$c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \text{ Ecu. (5)}$$

- 9) Una vez calculado las fuerzas se procede a realizar sumatoria de fuerzas ($\sum f_x \rightarrow$) y se obtiene la carga P_b , denominada falla balanceada.
- 10) Finalmente, a través de las fuerzas por sus brazos de palancas ubicados desde el eje neutro se realiza sumatoria de momento ($\sum M^{\curvearrowright}$) y se obtiene el siguiente punto M_b , obteniendo el momento balanceado.
- 11) Se toma los puntos característicos de la falla balanceada (M_b ; P_b), y se minoran con un factor ($\phi=0,65$).
- 12) De esta manera, se pueden calcular los diferentes puntos característicos para conformar la curva resistente y de minoración, considerando en cada uno de ellos la variación de la deformación unitaria neta de tracción (ϵ_y) y los factores de minoración que generan la curva nominal. Cabe destacar, que dichos valores de minoración (ϕ) varían si se encuentran por encima o por debajo de la falla balanceada, es decir, todo valor ubicado en la zona de compresión será minorado con ($\phi= 0,65$), y por el contrario los que se ubiquen en la zona de tracción ($\phi= 0,90$).

2.2.2 Factores de reducción de resistencia

Al generar la actualización de la ACI 318-19, incorporan en el capítulo 21 la variación de los factores de reducción de resistencia. Por lo que, MacGregor (1976); Winter (1979), afirman que los propósitos de los factores de reducción de resistencia Φ son: (1) tener en cuenta las variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones, (2) tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño, (3) reflejar la ductilidad disponible y la confiabilidad requerida para el miembro sometido a los efectos

de carga en consideración y (4) reflejar la importancia del miembro en la estructura.

La variación de estos factores (Φ) cambia junto con la deformación unitaria neta de tracción ϵ_t , donde las nuevas expresiones $\epsilon_{ty} + 0.003$ conducen a elemento con ductilidad adecuada, como se muestra en la siguiente figura:

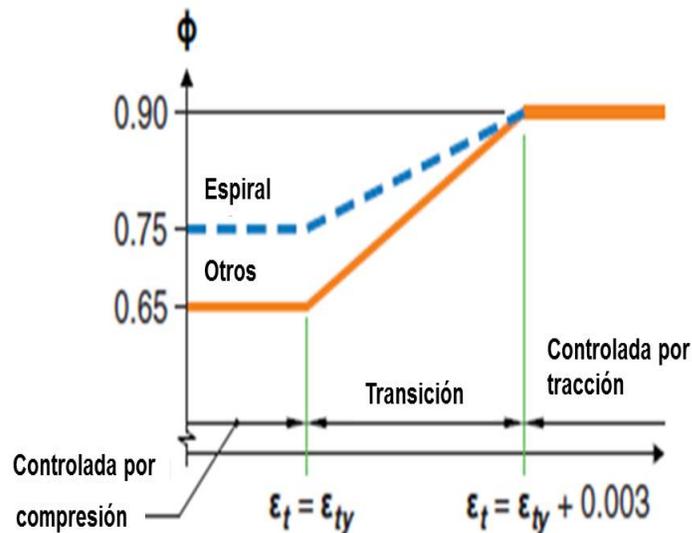


Figura 2. Variación de Φ con la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo a tracción ϵ_t . Fuente: Reglamento para Concreto Estructural (2019).

Cabe destacar, que la ACI 318-19 define la deformación unitaria neta a tracción como la deformación unitaria a tracción calculada en el refuerzo extremo a tracción en el estado de resistencia nominal, donde al incorporar aceros de alta resistencias generan nuevos valores para el uso de cada deformación:

- GR 60 $\rightarrow \epsilon_t \geq 0.00507$

- GR 80 → $\epsilon_t \geq 0.00576$
- GR 100 → $\epsilon_t \geq 0.00645$

2.2.3 Falla balanceada

Para los Diagramas de Interacción, Cáceres (2015), afirma que cada sección tiene una excentricidad única, denominada excentricidad balanceada la cual ocasiona la falla balanceada de la sección. Este punto de falla balanceada, es donde el elemento falla de forma frágil, por lo cual, será utilizado en la investigación para obtener la ubicación de la falla a compresión y la falla a tracción. Dicho esto, todo punto situado por encima de la falla balanceada se encontrará dentro de una falla a compresión, lo que indica que el acero en esta zona está cediendo. En caso contrario, por debajo está situada toda falla a tracción, indicando que el acero de la zona a compresión puede o no estar cediendo.

Por lo tanto, obtener el resultado y la ubicación de la falla balanceada al calcular los puntos característicos del Diagrama de interacción, servirá como guía para la ubicación de los demás datos situados en la zona de compresión y tracción.

2.2.4 Límites del refuerzo

La norma ACI 318-19 en el capítulo 10.6.1, establece los límites para cuantías mínima y máxima del refuerzo. Donde se expone que el refuerzo es necesario para obtener la resistencia a flexión, y para reducir los efectos de flujo plástico y retracción del concreto bajo esfuerzos de compresión permanentes, los cuales tienden a transferir la carga del concreto al refuerzo, y este aumento en el esfuerzo del refuerzo es mayor a medida que se disminuye la cuantía del refuerzo. Por lo tanto, se impuso un límite a esta

cuantía para evitar que el refuerzo llegue al nivel de fluencia bajo cargas de servicio permanentes.

De igual manera, para el refuerzo máximo se impone un límite a la cuantía para asegurar que el concreto pueda consolidarse de manera afectiva alrededor de las barras. Por lo tanto, el área de refuerzo no debe ser menor que $0,01.A_g$ ni mayor que $0,08.A_g$.

Estos límites de refuerzo que pueden ser aplicados en cualquier sección de la columna, se tomaran como como requisitos fundamentales para el diseño y aplicación de valores más confiables en los Diagramas de Interacción.

2.2.5 Acero de refuerzo de alta resistencia

FONDONORMA (1753-2006), define el acero de refuerzo como un conjunto de barras, mallas o alambres colocados dentro del concreto para resistir tensiones conjuntamente con éste. Al incorporar refuerzos de alta resistencia hasta grado 100 en la investigación, se genera una construcción no solo eficiente estructuralmente sino también en cuanto a recursos. El objeto en estudio, al utilizar este tipo de refuerzo permite generar mayor límite de fluencia y una mayor resistencia de rotura.

Tabla 1: Grados de acero según la resistencia mínima a la tracción

| GRADO DE ACERO | GRADO 40 | GRADO 60 | GRADO 80 | GRADO 100 |
|---|----------|----------|----------|-----------|
| Resistencia cedente de los aceros de refuerzo | 2800 | 4200 | 5600 | 7000 |

Fuente: Reglamento para Concreto Estructural (2019).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se considera de tipo documental, puesto que la misma está basada en un proceso donde la obtención de datos será de fuentes documentales de origen físico y digital, de trabajos investigativos, referencias de distintas normativas, las cuales permitieran llevar a cabo la ejecución de los objetivos propuestos. Para lograrlos, se implementará la bibliografía Arias (2012), donde define la investigación documental de la siguiente manera:

La investigación documental, es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. (p.27).

En este caso, como en toda investigación el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos, profundizando e indagando como influye el acero de alta resistencia al diseñar columnas de concreto armado, a través de los Diagramas de Interacción. Todo esto, se elaborará aplicando fuentes referenciales técnicas y requisitos de normativas, en especial la actualización del código ACI 318-19.

3.2 Nivel de Investigación

Para la recolección de datos es necesario saber la profundidad que aborda objeto de investigación para precisar la información del estudio. En este sentido, se puede establecer que la investigación se enfoca en el nivel descriptivo.

De acuerdo Arias (2012) define que: “La investigación descriptiva consiste de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.” (p.24)

Esta forma de investigación se dirige a observar y cuantificar al objeto en estudio con el propósito de obtener la información precisa. Con las características de la investigación descriptiva se pretende recabar información concerniente a la elaboración de los Diagramas de Interacción de Alta Resistencia, con la finalidad de mejorar los procesos constructivos.

3.3 Técnicas y Herramientas a Utilizar

3.3.1 Técnicas

3.3.1.1 Revisión Documental

Mediante la revisión, análisis y recolección de datos, se utilizarán diversas fuentes para abordar el presente trabajo. Las cuales se utilizarán en función de un buen desempeño de la investigación, para la preparación de los Diagramas de Interacción en columnas de concreto armado. Dicho esto, se tomará como referencia las siguientes normativas:

- ACI (318-19) Reglamento para concreto estructural
- FONDONORMA (1753-2006), Proyecto de Construcción de Obras en Concreto Estructural.
- COVENIN (316-2000), Norma Venezolana Barras y Rollos de Acero con Resaltes para Uso como Refuerzo Estructural.
- Arnal (1984), Manual para el Cálculo de Columnas de Concreto Armado para Edificaciones.

3.3.1.2 Análisis e interpretación del contenido

En esta etapa se examina la información para luego ordenar, manipular y resumir los datos obtenidos, a fin de establecer criterios y conclusiones referentes a los cambios establecidos por la ACI 318-19 para el diseño de los Diagramas de Interacción mediante el uso de aceros más elevados, considerando nuevas restricciones confiables que permiten garantizar el desempeño dúctil de los sistemas estructurales.

3.3.2 Herramientas y Equipos

Durante la recolección del material documental, se utilizaron tanto herramientas y equipos con el fin de ayudar y proporcionar una mayor facilidad para la realización de la investigación:

- Laptop COMPA core2 duo.
- Calculadora Casio FX-570ES Plus.
- Memoria portátil de almacenamiento (pendrive) 4.0 Gigabytes.
- Microsoft Word
- Microsoft Excel.
- Software de AutoCAD 2016.
- Herramientas básicas: hojas, lápices, bolígrafos, borradores, entre otros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Etapas del Proyecto

Para el avance de la investigación, primeramente se realizó una búsqueda bibliográfica, reuniendo críticamente toda la información a utilizar. Se exploraron archivos técnicos, fuentes electrónicas, manuales de diseño, y normas, específicamente el código “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)”, “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural (FONDONORMA 1753-2006)”, con sus respectivos comentarios, “Norma Venezolana Barras y Rollos de Acero con Resaltes para Uso como Refuerzo Estructural COVENIN (316-2000)”, y “Manual para el Cálculo de Columnas de Concreto Armado para Edificaciones Arnal (1984)”. Por consiguiente, con lo establecido en las normativas se procedió a la descripción de los requisitos para el de diseño de los Diagramas de Interacción de alta resistencia en columnas de concreto armado.

Consecutivamente, se procedió al cálculo de los diferentes puntos característicos que conforman el Diagrama de Interacción, aplicando las condiciones y expresiones necesarias para obtener valores que se acerquen a un diseño por capacidad, mediante hojas de cálculo.

Posteriormente, con los resultados de los momentos y cargas obtenidas de las expresiones aplicadas en el cálculo de los diagramas de Interacción se procedió a plasmar los puntos característicos considerando sus factores de minoración, de igual forma utilizando como herramienta las hojas de Microsoft Excel

Así mismo, se precisó el grado de cuantía de acero de refuerzo requerido en secciones transversales. Por lo tanto, se diversificaron los diferentes refuerzos de acero considerando los límites descritos en las normativas, con el fin de observar las diversificaciones en las curvas que conforman los Diagramas de Interacción, ocasionadas por las variaciones en el grado de acero, en la resistencia del concreto y en la del acero.

4.2 Requerimientos para la elaboración de los Diagramas de Interacción con acero de alta resistencia

Los “Requisitos de Reglamento para concreto estructural” ACI 318-19, abarca la actualización de diversos puntos referentes al análisis, cubre sistemas estructurales y diseño, construcción para resistencia, funcionamiento y durabilidad. Los principales objetivos de esta reorganización fueron presentar todos los requisitos de diseño, haciendo referencia a los cambios más notables, y mayores exigencias en los requisitos de confinamiento en losas, muros y columnas.

A partir de lo ya descrito, es notable para la investigación la incorporación de nuevos valores y parámetros para el control de deformaciones unitarias a tensión. A su vez, el uso de aceros de alta resistencia hasta grado 100, permite fallas más dúctiles que mejoran el diseño y los procesos constructivos, sin que afecte el comportamiento final del elemento.

En este mismo sentido, el reglamento se redacta en un formato que permite su adopción sin necesidad de introducir cambios en su redacción, lo que facilita la comprensión desde el punto de vista de los diseñadores, siendo así, la ACI uno de los reglamentos de mayor influencia y una de las

principales fuentes de información técnica relacionada con el manejo del concreto.

4.3 Cálculo de los puntos característicos de los Diagramas de Interacción utilizando acero de alta resistencia

Ejecutando la teoría y normativas analizadas, se procedió a calcular los puntos característicos que conforman el Diagrama de interacción. Para su diseño se consideró las deformaciones del acero y el concreto, la resistencia, recubrimiento, área de acero y factores de minoración. Dicho esto, se examinó los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19), el capítulo 21 expone los criterios de “Variación de los Factores de Reducción de Resistencia”, así mismo, en el capítulo 10.6.1, establece los “Límites para Cuantías Mínima y Máxima del Refuerzo”, para obtener el refuerzo necesario y adecuado, a su vez, el capítulo 20 describe el “Acero de Refuerzo de Alta Resistencia”, donde se proporciona los grados de acero según la Resistencia mínima a la tracción.

Dicho esto, con la información recopilada se diseñó la hoja de cálculo adecuada para la aplicación de las expresiones requeridas en cada punto característico. De igual manera, en el “**Anexo 1 parte A**” correspondiente a los cálculos, se manifiestan las expresiones utilizadas en la hoja de cálculo. A su vez, en el “**Anexo 1 parte C**” se realizó el cálculo del acero que requiere la columna para obtener el diagrama de interacción, considerando los diferentes refuerzos de acero y sus límites especificados en el Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19).

4.3.1 Hojas de cálculo para el análisis y diseño de los Diagramas de Interacción

Bajo la herramienta Microsoft Excel, se diseñó hojas de cálculo para facilitar el resultado que generan las curvas que conforman un Diagrama de Interacción. El ejemplo diseñado, refleja los resultados de los diferentes momentos y cargas que conforman los puntos característicos del Diagrama.

| COMPORTAMIENTO DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-------------|--------------------|--------------------|---------|----------|----------|---------|----------|--------|----------|-----------|--------|------------|----------|----------|
| REFUERZO EN LAS 4 CARAS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DATOS DE LA SECCION | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | h= | 55 | cm | f'c= | 210 | Kgf/cm2 | Ascapa2= | 38,885 | | | | | | | | |
| | Y.h= | 45 | | Grado de Acero= | 40 | Psi | Ascapa3= | 38,885 | | | | | | | | |
| | Y= | 0,8182 | | fy= | 4200 | Kgf/cm2 | Ascapa4= | 46,662 | | | | | | | | |
| | d= | 50 | cm | DiametroAs= | 0,875 | pulgada | eu= | 0,003 | | | | | | | | |
| | r= | 5 | cm | DiametroAs= | 2,222 | cm | ey= | 0,002 | | | | | | | | |
| | b= | 40 | cm | N° Cabillas total= | 44 | cm | Es= | 2100000 | | | | | | | | |
| | d1= | 5 | cm | Astotal= | 171,094 | cm | | | | | | | | | | |
| | d2= | 15 | cm | n° Cabillas capa1= | 12 | cabilla | | | | | | | | | | |
| | d3= | 7,5 | cm | n° Cabillas capa2= | 10 | cabilla | | | | | | | | | | |
| | d4= | 7,5 | cm | n° Cabillas capa3= | 10 | cabilla | | | | | | | | | | |
| d5= | 15 | cm | n° Cabillas capa4= | 12 | cabilla | | | | | | | | | | | |
| d6= | 5 | cm | Ascapa1= | 46,662 | cm | | | | | | | | | | | |
| DETERMINACION DEL DIAGRAMA DE INTERACCION | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipos de fallas | cb | es1 | es2 | es3 | es4 | f1 | f2 | f3 | f4 | a | c | Pcarga | Φ | ΦP | Mmomento | ΦM |
| Po | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1080,755 | 0,65 | 702,4904 | 0 | 0 |
| B1 | 42,85714 | 0,0027 | 0,0016 | 0,00055 | 0,0005 | 195,9804 | 130,65 | 44,912 | 48,9951 | 36,43 | 260,1 | 492,827 | 0,61 | 300,6243 | 92,4391 | 56,3878 |
| B2 | 37,5 | 0,0026 | 0,0014 | 0,0002 | 0,001 | 195,9804 | 114,32 | 16,332 | 97,9902 | 31,88 | 227,5875 | 423,568 | 0,62 | 262,6121 | 102,2572 | 63,3995 |
| B3 | 33,33333 | 0,0026 | 0,0012 | 0,00015 | 0,0015 | 195,9804 | 97,99 | 12,249 | 146,9853 | 28,33 | 202,300 | 337,037 | 0,63 | 212,3330 | 112,4085 | 70,8174 |
| Blanceada | 30,00 | 0,0025 | 0,001 | 0,0005 | 0,002 | 195,9804 | 81,659 | 40,829 | 195,9804 | 25,50 | 182,070 | 222,899 | 0,65 | 144,8845 | 124,2331 | 80,7515 |
| Pto1 | 27,27 | 0,0025 | 0,0008 | 0,00085 | 0,0025 | 195,9804 | 65,327 | 69,41 | 195,9804 | 23,18 | 165,518 | 161,435 | 0,68 | 109,7760 | 124,6289 | 84,7476 |
| Pto2 | 25,00 | 0,0024 | 0,0006 | 0,0012 | 0,003 | 195,9804 | 48,995 | 97,99 | 195,9804 | 21,25 | 151,725 | 102,730 | 0,72 | 73,9655 | 124,8187 | 89,8694 |
| Ptotransicion | 23,077 | 0,0024 | 0,0004 | 0,00155 | 0,0035 | 195,9804 | 32,663 | 126,57 | 195,9804 | 19,615 | 140,054 | 46,147 | 0,7705 | 35,5559 | 124,9125 | 96,2451 |
| Pit1 | 21,429 | 0,0023 | 0,0002 | 0,0019 | 0,004 | 195,9804 | 16,332 | 155,15 | 195,9804 | 18,214 | 130,050 | -8,769 | 0,82 | -7,1909 | 124,9723 | 102,4773 |
| Pit2 | 20,500 | 0,0023 | 7,32E-05 | 0,002212 | 0,0045 | 195,9804 | 5,975 | 163,32 | 195,9804 | 17,425 | 124,415 | -32,927 | 0,85 | -27,9884 | 124,2625 | 105,6231 |
| Limtransicion | 18,750 | 0,0022 | 0,0002 | 0,0026 | 0,005 | 195,9804 | 16,332 | 163,32 | 195,9804 | 15,938 | 113,794 | -65,855 | 0,9 | -59,2695 | 123,8902 | 111,5012 |
| Lim1 | 17,000 | 0,0021 | 0,0005 | 0,0030 | 0,0055 | 195,9804 | 40,829 | 163,32 | 195,9804 | 14,450 | 103,173 | -100,973 | 0,9 | -90,8759 | 124,4205 | 111,9784 |
| Lim2 | 16,000 | 0,0021 | 0,00071 | 0,0034 | 0,006 | 195,9804 | 57,641 | 163,32 | 195,9804 | 13,600 | 97,104 | -123,854 | 0,9 | -111,4689 | 124,8636 | 112,3772 |
| Lim3 | 15,000 | 0,0020 | 0,00093 | 0,003714 | 0,0065 | 195,9804 | 75,826 | 163,32 | 195,9804 | 12,750 | 91,035 | -148,108 | 0,9 | -133,2970 | 125,3580 | 112,8222 |
| Po-Mo | 14,9 | 0,00199 | 0,00199 | 0,004047 | 0,007 | 195,3227 | 162,77 | 163,32 | 195,9804 | 12,665 | 90,428 | -236,316 | 0,9 | -212,6840 | 131,6410 | 118,4768 |
| Po1 | 12,000 | 0,00175 | 0,00306 | 0,004539 | 0,0075 | 171,4829 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 10,2 | 72,828 | -278,304 | 0,9 | -250,4732 | 123,4903 | 111,1412 |
| Po2 | 11,000 | 0,00164 | 0,00338 | 0,004923 | 0,008 | 160,3476 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 9,35 | 66,759 | -295,508 | 0,9 | -265,9570 | 119,9091 | 107,9182 |
| Po3 | 10,000 | 0,00150 | 0,00372 | 0,0053 | 0,0085 | 146,9853 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 8,5 | 60,690 | -314,939 | 0,9 | -283,4452 | 115,7753 | 104,1977 |
| Po4 | 9,000 | 0,001333333 | 0,00406 | 0,0057 | 0,009 | 130,6536 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 7,65 | 54,621 | -337,340 | 0,9 | -303,6058 | 110,9217 | 99,8295 |
| Po5 | 8,000 | 0,0011 | 0,00441 | 0,0061 | 0,0095 | 110,2390 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 6,8 | 48,552 | -363,823 | 0,9 | -327,4411 | 105,0979 | 94,5881 |
| Po6 | 7,000 | 0,0009 | 0,00477 | 0,0065 | 0,010 | 83,9916 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 5,95 | 42,483 | -396,140 | 0,9 | -356,5258 | 97,9102 | 88,1192 |
| Po7 | 6,000 | 0,0005 | 0,00733 | 0,0099 | 0,015 | 48,9951 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 5,1 | 36,414 | -437,205 | 0,9 | -393,4848 | 88,7023 | 79,8321 |
| Po8 | 5,000 | 0 | 0,01000 | 0,0133 | 0,020 | 0,0000 | 163,32 | 163,32 | 195,9804 | 4,25 | 30,345 | -492,269 | 0,9 | -443,0425 | 76,2932 | 68,6639 |
| Pt | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -718,5948 | 0,9 | -646,73532 | 0 | 0 |

Figura 3. Hoja de cálculo en Microsoft Excel para resultado de los Diagramas de Interacción.
Fuente: Autor.

4.4 Dibujo de los diagramas de Interacción

En función de observar de manera detallada el resultado de los puntos característicos obtenidos, se ilustró las curvas de los Diagramas de Interacción utilizando hojas de cálculos realizadas en Microsoft Excel, las cuales de forma precisa ilustran el comportamiento de las curvas minoradas y resistente, permitiendo así de esta forma evidenciar y comparar variaciones en las curvas ocasionadas por los valores incorporados en las expresiones a utilizar. De esta manera, se expondrá en el **“Anexo 2”** las curvas minoradas y las resistentes de los Diagramas de Interacción de concreto armado con acero de alta resistencia, obtenidos de la hoja de Excel. Así mismo, en el **“Anexo 1 parte B”**, se muestra el diagrama de Interacción correspondiente al ejercicio planteado en el anexo 1 parte A.

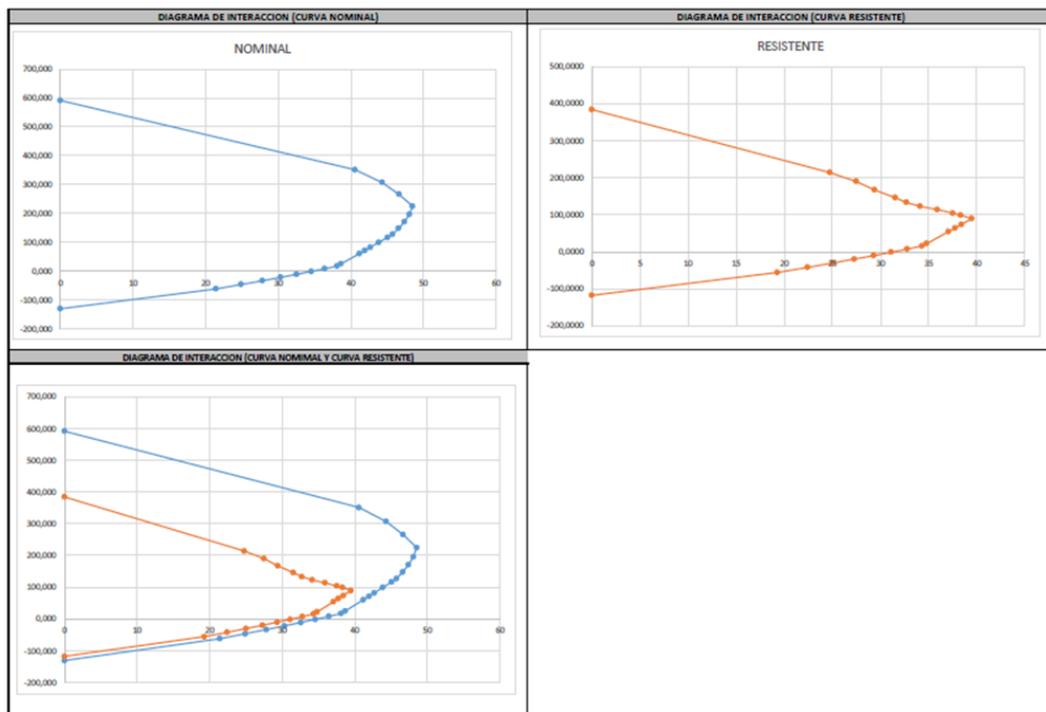


Figura 4. Dibujo de las curvas que conforman un Diagramas de Interacción. Fuente: Autor.

4.5 Definición del grado de cuantía del acero de refuerzo en secciones transversales

Una vez realizado el diseño de la columna, dentro de la hoja de cálculo se podrá evidenciar de manera detallada el comportamiento de las curvas, bajo los lineamientos establecidos en la ACI 319-19. Dicho esto, para obtener valores más conservadores, se estudiará la conducta al variar las cuantías de acero desde el mínimo al máximo, las resistencias específicas del acero y el concreto y las deformaciones del elemento.

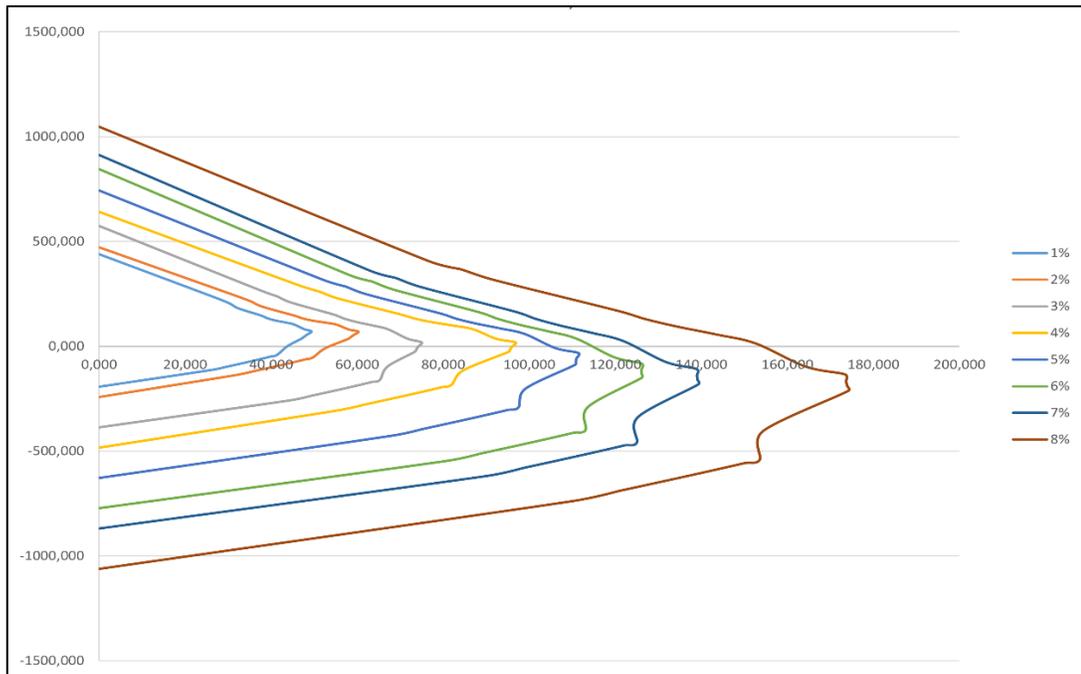


Figura 5. Diagramas de Interacción con diferentes resistencias. Fuente: Autor.

4.5.1 Variación de la resistencia cedente especificada del acero de refuerzo

Al combinar las resistencias mínimas a la tracción, establecidos en el capítulo 20.2.1.3 de la ACI 318-19, se puede evidenciar de manera detallada

la diferencia entre las curvas a medida que se va aumentando la resistencia desde el grado °40 hasta el grado °100. De esta manera, se pudo estudiar el comportamiento de las curvas en compresión y tracción, sus diferencias en resistencias y el porcentaje entre distancias. Esto se evidencia también, a través de gráficos que se exponen en **“Anexo 3 parte A”**.

4.5.2 Variación de la resistencia cedente especificada del concreto

La variación de la resistencia del concreto para valores desde 210kgf/cm² hasta 550kgf/cm², se realizó con el fin de detallar el comportamiento de la columna a medida que se variara su resistencia. De este modo, se pudo observar que tanto soporta la estructura al recibir el incremento de la resistencia. Este incremento en porcentaje, se ilustra en el **“Anexo 3 parte B”**.

4.5.3 Variación de la cuantía de acero

En el capítulo 10.6.1 de la ACI 318-19 se establece los valores mínimos y máximos para realizar el diseño de la cuantía de acero. De esta manera, se aplicó valores que van desde 1% al 8% del área de la sección, con el fin de escoger el mejor diseño que permita excelentes procesos constructivos en la etapa de diseño. Dicho esto, se representó en total ocho curvas, las cuales se caracterizan por tener cada una su comportamiento, permitiendo estar al tanto si el diseño en la sección del elemento aporta mayor ductilidad. Este diagrama de interacción con diferentes cuantías de acero se observa en el **“Anexo 3 parte C”**.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez cumplidos los objetivos planteados para el desarrollo de la investigación, y establecidos los parámetros de diseño de los Diagramas de Interacción en concreto armado a través de los criterios expuestos en la ACI 318-19, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los alcances correspondientes a los requisitos de límites de cuantía para el diseño señalados en el capítulo 10 de la norma ACI 318-19 se utilizan como disposición para ser aplicados conjuntamente con el resto de la norma.
- Los requisitos de diseño están integrados en todo el articulado para edificaciones de concreto armado. De igual forma, la incorporación de manera innovadora de los grados de acero de alta resistencia establecidos en el capítulo 20.
- Se incorporó en el diseño de los diagramas la variación de los factores de reducción de resistencia (ϕ) junto a la deformación unitaria neta de tracción (ϵ_t), descritos en el capítulo 21 de la ACI 318-19. Concluyendo que estos nuevos valores permitieron mejorar el comportamiento de la gráfica y a su vez.
- Al analizar el recubrimiento mínimo de protección del acero de refuerzo para un miembro estructural implementado por la ACI 318-19, las tolerancias en su ejecución forman parte de los requisitos que mejoran la integridad de la estructura.
- Al usar grados de acero de alta resistencia notoriamente la gráfica aumento de tamaño conforme se aumenta la resistencia. A su vez, las

curvas en el área de tracción arrojaron mayores distancias que las situadas en la zona de compresión.

- Al estudiar las curvas, fue notorio que el acero en tracción gobernó la resistencia, por lo tanto, la columna está trabajando a tracción y el acero aporta más. Esto significa que es confiable utilizar aceros de alta resistencias.
- Al variar las resistencias del concreto ($f'c$), aumento su valor tanto en el momento aplicado como en la carga a resistir la columna. Donde la resistencia de concreto sigue siendo la misma a comparación que la resistencia del acero que aporta y gobierna más.
- El acero a tracción al ser superior trabaja más que el concreto ya que se está agrietando, y esa área trabaja más. Dicho esto, según el uso del elemento se debe realizar la combinación de resistencia para un óptimo diseño.
- Se incorporo los límites de la cuantía de acero establecidos en el ACI 318-19, desde 1% hasta el 8% del área de la sección. Lo que permitió, diseñar elementos que soporte mayor resistencia.
- Se pudo apreciar que al actualizar las normativas se obtuvo valores más discretos, permitiendo estar más del lado de la seguridad.
- Se concluyó, que utilizar acero de alta resistencia representa una visión de innovación que permite detallar en que elementos se debe hacer uso de aceros. Esto se establece en la ACI 318-19 en el capítulo 20
- El acero de alta resistencia, busca abrir una nueva oportunidad para diseñar y construir con un diseño por capacidad que logre evitar la saturación de acero en la etapa de diseño y mejorar los procesos constructivos.

5.2 Recomendaciones

- Implementar los criterios y normativas de diseño actualizadas, con el fin de obtener valores apegados al diseño por capacidad.
- Estudiantes de Ingeniería Civil de la UDO Extensión Cantaura, utilizar el diseño de los diagramas de interacción para fortalecer sus conocimientos y a su vez generar diseños constructivos óptimos.
- Inclusión de nuevas investigaciones de estudiantes, que permita ampliar el contenido de aceros de alta resistencia en columnas de concreto armado.
- Seguir ampliando la investigación para obtener el balance entre el diseño con acero de alta resistencia y el concreto armado.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14). Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-14)*. Michigan: Autor.
- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19). Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-19)*. Michigan: Autor.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. 6ta Edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Arnal, E. (1984). *Manual para el Cálculo de Elementos de Concreto Armado para Edificaciones*. Caracas, Venezuela: Fundación “Juan José Aguerrevere”, Fondo Editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela
- Bellagio (2015), *Diagramas de Interacción para el Dimensionamiento de Secciones de Hormigón Armado Sometidas a Flexión Recta con Solicitación Axial*.
<https://www.ucasal.edu.ar/htm/ingenieria/cuadernos/archivos/4-p22>
 Bellagio.pdf
- Cáceres, (2015). *Análisis y Diseño de Columnas*.
https://www.academia.edu/37035565/ANALISIS_Y_DISE%C3%91O_DE_COLUMNAS
- Comisión Venezolana de Normas Industriales, (316:2000). *Norma Venezolana Barras y Rollos de Acero con Resaltes para Uso como Refuerzo Estructural*. Caracas: COVENIN
- Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad, (1753-2006). *Proyecto de Construcción de obras en Concreto Estructural*. Caracas: FONDONORMA.
- García (2018), *Comportamiento Dúctil en Columnas de Concreto Reforzado*.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/1813/181358509004/html/index.html>
- McCormac, (2011). *Diseño de concreto reforzado*. 8va edición. México: Alfaomega.

- MacGregor, J. G., (1976). "Safety and Limit States Design for Reinforced Concrete," Canadian Journal of Civil Engineering, V. 3, No. 4, Dec., pp. 484-513. doi: 10.1139/176-055
- Martínez (2020), *Comparación de los Criterios de Diseño de Refuerzo de Confinamiento en Columnas de Porticos Especiales Resistentes a Momento para Acción Sísmica entre el Código ACI 318-14 y el Documento FONDONORMA 1753-2006*. Proyecto de Trabajo de Grado como requisito parcial para optar al título **Especialista en Ingeniería Estructural**. Anzoategui, Venezuela.
- Michael, (2018). *Column Interaction Curve Explained*. <https://skyciv.com/es/technical/what-is-an-interaction-curve/>
- Pankow Foundation (2019), *El impacto del acero de refuerzo de alta resistencia en la práctica de diseño actual*<https://www.pankow-foundation.org/-01-13-impact..of-high-strength..reinforcing-steel-on-current-design-practice>
- Socrate (2011). *Principios de análisis estructural en resistencia de los materiales*. Recuperado 6 de agosto de 2016 de: <http://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-101-introduction-to-civil-and-environmental-engineering-design-i-fall-2006/>
- Suarez, C. (2012). *Métodos de cálculo y su incidencia en el dimensionamiento de columnas de concreto armado*. Trabajo estructurado de manera independiente. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Winter, G., (1979). "Safety and Serviceability Provisions in the ACI Building Code," *Concrete Design: U.S. and European Practices, SP-59*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 35-49. doi: 10.14359/17764

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

| | |
|------------------|---|
| Título | “Preparación de Diagramas de Interacción de Diseño para Esfuerzos Netos a Tensión en Aceros de Alta Resistencia como Refuerzo en columnas de concreto armado’.” |
| Subtítulo | |

Autor(es)

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|------------------------------------|------------------------------|---|
| Hutchings Luyimar Madheleine | Sierra, Valeri | CVLAC 26.237.854 |
| | | e-mail Luyimarhutsierra @gmail.com |
| | | e-mail |
| | | CVLAC |
| | | e-mail |
| | | e-mail |

Palabras o frases claves:

| |
|------------|
| código ACI |
| Columnas |
| análisis |
| Diseño |
| concreto |
| |
| |
| |

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área | Subárea |
|-------------------------------|------------------|
| Ingeniería y Ciencia Aplicada | Ingeniería Civil |
| | |
| | |

Resumen (abstract):

Resumen

La investigación consistió en la presentación de Diagramas de Interacción para esfuerzos netos a tensión, incorporando aceros de alta resistencia como refuerzo en columnas de concreto armado, de acuerdo a las consideraciones expresadas en el código ACI 318-19. Se desarrolló una investigación de tipo documental y descriptiva, basada en la revisión de fuentes de carácter técnico, orientada a profundizar los conocimientos relacionados con la temática planteada. La investigación se basó en la expansión de la aplicación permisible de acero de refuerzo de alta resistencia en columnas, para estudiantes de Ingeniería Civil. Finalmente, se elaboró Diagramas de Interacción en columnas de concreto armado para evidenciar el comportamiento de las curvas entre el acero de baja y alta resistencia. Así mismo, se analizó los valores por norma permitidos para el grado de cuantía de refuerzo en la sección transversal, y observar que tanto difiere en la resistencia del objeto en estudio. Dicho esto, al incorporar diferentes refuerzos de aceros en los Diagramas de Interacción adimensionales se pudo identificar y escoger datos más confiables que generen un diseño por capacidad y mayor ductilidad en el elemento.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

| Apellidos y Nombres | ROL / Código CVLAC / e-mail | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------|--|----|---|----|---|----|--|--|--|
| Cabrera, Daniel | ROL | CA | | AS | X | TU | | JU | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | CVLAC | 17.421.606 | | | | | | | | | |
| | e-mail | Danieldjc1986@gmail.com | | | | | | | | | |
| | e-mail | | | | | | | | | | |
| Medina, Mary | ROL | CA | | AS | | TU | X | JU | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | CVLAC | 14.804.614 | | | | | | | | | |
| | e-mail | Marymedina2930@gmail.com | | | | | | | | | |
| | e-mail | | | | | | | | | | |
| Álvarez, Jesús | ROL | CA | | AS | | TU | X | JU | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | CVLAC | 4.510.362 | | | | | | | | | |
| | e-mail | Alexcar2005@gmail.com | | | | | | | | | |
| | e-mail | | | | | | | | | | |

Fecha de discusión y aprobación:

| Año | Mes | Día |
|------|-----|-----|
| 2023 | 03 | 14 |

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

| Nombre de archivo | Tipo MIME |
|--------------------------|-------------------------|
| PG-LuyimarH.doc | Application/word |
| | |
| | |
| | |
| | |

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Extensión Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLANOS CUNVELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Nimio López
AUTOR

Prof. Luciano Mella
TUTOR