

APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE LOS DIAGRAMAS DE
INTERACCIÓN DE COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADO DE
ACUERDO CON LA NSR-10

CARLOS ALBERTO CORAL MORA
JHONATAN ALEXIS DAZA ORDUÑA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C
2014

APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE LOS DIAGRAMAS DE
INTERACCIÓN DE COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADO DE ACUERDO
CON LA NSR-10

CARLOS ALBERTO CORAL MORA
JHONATAN ALEXIS DAZA ORDUÑA

Trabajo de grado como requisito parcial para la obtención del título de: Ingeniero
Civil

Ing. Alfonso Amezcuita Nieto
Asesor Disciplinar

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C
2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

Firma Asesor Disciplinar

Firma Asesor Metodológico

Firma del jurado

Bogotá D.C., Junio de 2014

CARTA DE REMISIÓN Y APROBACIÓN DEL ARTÍCULO, TRABAJO DE GRADO, TESINA Y/O MONOGRAFÍA

Bogotá D.C., 13 de Junio de 2014

Señores:

Departamento de Biblioteca

Universidad La Gran Colombia

Ciudad

Estimados señores:

Me dirijo a ustedes en mi calidad de Decano, con el fin de poner en su conocimiento la aprobación y entrega del trabajo de grado de los estudiantes Carlos Alberto Coral Mora y Jhonatan Alexis Daza Orduña, titulado APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE LOS DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN DE COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADO DE ACUERDO CON LA NSR-10, para optar al título de Ingeniero Civil. Por lo anterior, informo que este trabajo reúne los requisitos exigidos en el Acuerdo 004 de Mayo de 2013.

Sin otro particular,

Firma

Ing. Alfonso Amézquita Nieto

Decano Facultad de Ingeniería Civil

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE AUTORES PARA TESIS, TRABAJOS y/o
MONOGRAFIAS DE GRADO**

Bogotá D.C., 13 de Junio de 2014

Señores:

Departamento de Biblioteca

Universidad La Gran Colombia

Ciudad

Estimados señores:

Nosotros

CARLOS ALBERTO CORAL MORA, con C.C. No **1032360773** y

JHONATAN ALEXIS DAZA ORDUÑA, con C.C. No **1026557507**

Autores exclusivos del trabajo de grado titulado:

**APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE LOS DIAGRAMAS DE
INTERACCIÓN DE COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADO DE ACUERDO
CON LA NSR-10**

Para optar el título como Ingeniero Civil presentado y aprobado en el año 2013 autorizo a la Universidad La Gran Colombia obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación; conforme al art. 2, 12, 30 (modificado por el art 5 de la ley 1520/2012), y 72 de la ley 23 de de 1982, Ley 44 de 1993, art. 4 y 11 Decisión Andina 351 de 1993 art. 11, Decreto 460 de 1995, Circular No 06/2002 de la Dirección Nacional de

Derechos de Autor para las Instituciones de Educación Superior, art. 15 Ley 1520 de 2012 y demás normas generales en la materia.

AUTORIZAMOS	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la Biblioteca.	X	
2. La consulta física o electrónica según corresponda.	X	
3. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
4. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en internet.	X	
5. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la universidad para efectos de satisfacer los fines previstos. EN este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas, con las mismas limitaciones y condiciones	X	
6. La inclusión en el repositorio biblioteca digital de la Universidad la Gran Colombia	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, el presente consentimiento parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

“son propiedad de los autores los derechos morales sobre el trabajo”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables; la Universidad La Gran Colombia está obligada a RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas convenientes para garantizar su cumplimiento.

NOTA: Información Confidencial:

Esta Monografía o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. SI NO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. JUSTIFICACIÓN	8
5. MARCO REFERENCIAL	9
5.1. MARCO CONCEPTUAL	9
5.1.1. Cargas.....	9
5.1.2. Columnas	12
5.1.3. Columnas Cortas.....	14
5.2. MARCO LEGAL	33
5.2.1. Elementos en compresión contruidos monolíticamente con muros..	33
5.2.2. Elementos en compresión de sección circular equivalente	33
5.2.3. Límites de la sección.....	33
5.2.4. Diseño de las secciones transversales sometidas a cargas de flexión, ó cargas axiales	34
5.2.5. Límites del espaciamiento del refuerzo	34
5.2.6. Límites del espaciamiento del refuerzo a tracción.....	34
5.2.7. Diámetro mínimo estribos en elementos a compresión.....	35
5.2.8. Espaciamiento vertical estribos	35
5.2.9. Límites del refuerzo de elementos a compresión (columnas)	35
5.2.10. Cuantía volumétrica para refuerzo en espiral	35

6. MARCO METODOLÓGICO	37
6.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	37
6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
6.3. FASES Y ACTIVIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	37
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
8. CONCLUSIONES.....	52
9. RECOMENDACIONES	53
10. BIBLIOGRAFÍA	54

LISTAS DE IMÁGENES, TABLAS Y GRÁFICAS

Lista de Imágenes

IMAGEN 1 TIPOS DE REFUERZOS EN COLUMNAS DE CONCRETO	13
IMAGEN 2 TIPOS DE REFUERZOS EN COLUMNAS DE CONCRETO	17
IMAGEN 3 TRANSMISIÓN DE CARGAS DE LAS VIGAS Y NUDOS HACIA UNA COLUMNA	17
IMAGEN 4 COLUMNA SOMETIDA A COMPRESIÓN EXCÉNTRICA: (A) COLUMNA CARGADA; (B) DISTRIBUCIÓN DE DEFORMACIONES EN LA SECCIÓN A-A; (C) ESFUERZOS Y FUERZAS PARA LA RESISTENCIA ÚLTIMA NOMINAL	19
IMAGEN 5 COLUMNA RECTANGULAR CON REFUERZO ASIMÉTRICO	22
IMAGEN 6 DISTRIBUCIÓN FLEJES EN COLUMNAS.....	23
IMAGEN 7 A) SECCIÓN TRANSVERSAL, B) DISTRIBUCIÓN DE DEFORMACIONES, C) DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS Y FUERZAS	24
IMAGEN 8 FORMA GENERAL DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN	25
IMAGEN 9 DISTRIBUCIÓN REAL Y RECTANGULAR EQUIVALENTE DE ESFUERZOS PARA CARGA ÚLTIMA	29
IMAGEN 10 PROPIEDADES DEL SEGMENTO CIRCULAR.....	31
IMAGEN 11 INFORMACIÓN GENERAL DE ENTRADA Y PROPIEDADES MATERIALES UGCCOL-CD	42
IMAGEN 12 PESTAÑA OPCIONES DE DISEÑOS COLUMNAS RECTANGULARES O CIRCULARES UGCCOL-CD	43
IMAGEN 13 CONFIGURACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO PRINCIPAL Y TRANSVERSAL UGCCOL-CD	44
IMAGEN 14 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN NSR-10 UGCCOL-CD	45
IMAGEN 15 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN COLUMNA RECTANGULAR Y CIRCULAR SEGÚN NSR-10 UGCCOL-CD	46
IMAGEN 16 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN ADIMENSIONAL SEGÚN NSR-10 UGCCOL-CD.....	47
IMAGEN 17 RESUMEN VALORES TEÓRICOS Y DE DISEÑO CON NSR-10 UGCCOL-CD	48
IMAGEN 18 INGRESO DE DATOS Y PARÁMETROS COLUMNA CSI-COL vs UCGCOL-CD 1.0.....	49
IMAGEN 19 INGRESO DE COMBINACIONES DE CARGA CSI-COL vs UCGCOL-CD 1.0.....	50
IMAGEN 20 DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN CSI-COL vs UCGCOL-CD 1.0.....	51

Lista de Tablas

TABLA 1 VALORES MÍNIMOS ALTERNATIVOS DE CARGA MUERTA DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES CUANDO NO SE EFECTÚE UN ANÁLISIS MÁS DETALLADO.....	10
TABLA 2 CARGAS VIVAS MÍNIMAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS.....	11
TABLA 3 FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA PARA LA CARGA MÁXIMA EN COMPRESIÓN PURA	15
TABLA 4 FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA PARA LA CARGA MÁXIMA EN COMPRESIÓN PURA	30
TABLA 5 COMPARATIVO DE VALORES MÁXIMOS DE PU VS. MU DE CSI-COL Y UGCCOL-CD 1.0.....	51

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el ámbito ingenieril es de vital importancia en el diseño de estructuras, conocer el comportamiento de las columnas de concreto reforzado basado en su carga, el momento y la excentricidad que esta pueda crear, ya que con dichos parámetros se puede esbozar lo que es llamado como *diagrama de interacción*.

Debido a lo anterior y al avance globalizado de la tecnología, el diseño de columnas se ha convertido en un análisis de datos que muestra un software, el ingeniero a perdido el arte que utilizaba en sus diseños y se ha limitado a mirar unos datos y con ello esbozar una estructura. De aquí nace el fundamento de este proyecto investigativo, que el ingeniero y además el estudiante aprenda no solo a analizar datos, sino además aprenda a diseñar con base en el parámetro fundamental por el cual se rige el país, la NSR-10.

Por ello UGCCOL-CD 1.0 surge como alternativa de diseño para todo ingeniero y estudiante que quiera ampliar su conocimiento en el ámbito del diseño de concretos, ya que fruto de esta investigación el usuario encontrará una aplicación de fácil interacción y que con el poco ingreso de datos encontrará un análisis confiable y tres diagramas para evaluar la columna: un diagrama teórico, un diagrama de diseño con los parámetros de la NSR-10 y un diagrama adimensional que permite un alcance mayor de esta investigación.

UGCCOL-CD 1.0 pretende ser una ayuda de diseño y una fuerte herramienta educativa para que el diseño de columnas en concreto reforzado se siga según las exigencias de la norma y además de ello el estudiante aprenda a diseñar columnas y no a mirar valores de algún determinado software, y con esto contribuir al proceso educativo del arte de la ingeniería civil.

1. ANTECEDENTES

En el ámbito del diseño y los cálculos de estructuras en ingeniería, la automatización, optimización y simplificación de procedimientos se han convertido en un referente imperante para que dichos procesos sean más prácticos y rápidos de realizar debido a la constante globalización y aceleración de los métodos. Por tal razón los aplicativos computacionales se encuentran en auge y su uso se ha vuelto inmediato.

Actualmente existen varias aplicaciones computacionales para el área de la Ingeniería Civil, varias de ellas resultado de trabajos de investigaciones o profundizaciones sobre temas específicos, así por ejemplo ROMERO¹ propuso un aplicativo computacional en Visual Basic 5.0 para el diseño estructural metálico de columnas y elementos sometidos a esfuerzos de compresión con el fin de brindar a los usuarios una mejor comprensión del análisis y diseño este tipo de elementos metálicos, permitiéndoles analizar diferentes configuraciones de la sección recta de los elementos sometidos a fuerzas axiales y biaxiales a compresión, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del tipo de acero que conforma el elemento.

Adicionalmente cuenta con una base de datos de los perfiles metálicos comúnmente usados para este tipo de elementos facilitando su adquisición en el mercado, sumado a lo anterior orienta al usuario para que su diseño cumpla con la metodología implementada por NSR-10. Así mismo propone futuras ampliaciones de la base de datos de perfiles metálicos, implementación de ecuaciones que permitan la evaluación de conexiones entre estos, así como aquellas

¹ROMERO, Luis Gabriel. Implementación de software educativo para el diseño estructural metálico de columnas y miembros sometidos a esfuerzos de compresión. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2010. 93 p.

desarrolladas para tener en cuenta constantes de torsión y al alabeo para estos tipos de elementos estructurales.

En el ámbito internacional, RODRIGUEZ y BLANCO² hacen un análisis teórico acerca de tres autores de diferentes épocas: Jiménez Montoya (1971), Valdez Avellaneda (2000), Montoya et al. (2001) y Rodríguez (2011), quienes plantean diferentes puntos de vista sobre el cálculo de los diagramas de interacción; RODRÍGUEZ y BLANCO hacen además la respectiva comparación de la vigencia de estos cálculos de los diagramas con el código actual Cubano para el diseño de estructuras de concreto, concluyendo que los diagramas brindados por Jiménez Montoya presentan recubrimientos muy pequeños para columnas, que prácticamente no son utilizables para las condiciones cubanas; en los diagramas brindados por Valdez Avellaneda se observa, como el acero utilizado no corresponden con la Norma Cubana NC 7:2002; otro ejemplo son los brindados por Montoya que no tiene implícito el coeficiente reductor, en el caso de los ábacos brindados por Rodríguez, éstos corresponden mejor de acuerdo con las condiciones actuales de la normatividad y requisitos Cubanos, por lo que podría ser el más aplicado en el diseño de columnas de concreto reforzado.

Siguiendo con el ámbito internacional, existe un relevante proyecto, ZUÑIGA³, el cual consiste en un programa para el análisis y diseño de elementos de concreto reforzado, específicamente columnas y muros estructurales o de cortante. Este programa fue desarrollado en Visual Basic 6.0; su objetivo principal consiste en realizar herramientas computacionales para el análisis y diseño de columnas y

²RODRIGUEZ, Carlos y BLANCO René, Análisis de los diagramas de interacción de diferentes autores para las características de Cuba. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Cuba: Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Facultad de Ingeniería Civil, 2012. 14 p.

³ZUÑIGA, Pablo. Aplicaciones para análisis y diseño de elementos de concreto reforzado. Trabajo de grado. Costa Rica: Instituto Tecnológico De Costa Rica Escuela De Ingeniería En Construcción, 2005, 102p

muros estructurales de concreto reforzado, que además cumplan con los requisitos que establece el Código Sísmico de Costa Rica 2002.

Anexo a lo anterior, el trabajo incluye un resumen teórico para el análisis y diseño de muros y columnas de concreto reforzado, teoría que sirvió de base para el desarrollo del programa. El resultado final de este trabajo es un programa de uso sencillo pero capaz de realizar cálculos que de otra forma tomarían mucho tiempo realizar. Además, es un programa adaptado a las normativas vigentes en Costa Rica. El software incluye menús para diseño y análisis por cortante y flexo-compresión de columnas y muros estructurales de concreto reforzado, por lo cual su importancia es tan relevante para este proyecto.

A nivel local, en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad la Gran Colombia, ORTIZ⁴, propuso un aplicativo computacional denominado CMACHINE, un aplicativo para el diseño de cimentaciones para maquinas vibratorias, en el cual se establecen tres formas básicas fácilmente adaptables a la mayoría de casos presentados en la industria, la aplicación está basada en principios general para tres tipos de cimentaciones: tipo bloque para maquinas reciprocantes y de impacto y tipo pórtico, para maquinas tales como turbogeneradores, todo ello fundamentado en las norma internacional ACI, y correlacionados para que cumplan con los parámetros locales como la NSR-10 y los estándares de diseño de ECOPETROL, dando al ingeniero facilidad en el diseño de este tipo de fundaciones y siendo aplicable incluso en otros países basados en los criterios generales del diseño y la academia.

⁴ORTIZ, Daniel. Aplicativo computacional para la modelación, análisis y diseño de cimentaciones en concreto reforzado para máquinas vibratorias. Trabajo de grado. Bogotá-Colombia: Universidad la Gran Colombia, 2013, 56p

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el diseño de columnas de concreto reforzado en edificaciones existe un parámetro fundamental que permite ver su comportamiento con base en la excentricidad y mediante una serie de iteraciones; analizando diferentes valores de ésta, se puede analizar la variación de los momentos y de las cargas con respecto a la excentricidad y con ello determinar el momento y la carga última que puede cumplir una columna antes de llegar a la falla. Ese comportamiento, se puede representar mediante un diagrama, conocido como el *diagrama de interacción*, el cual va graficando a medida que varían las excentricidades, la interacción entre el momento y carga última, que puede resistir la sección.

En Colombia se conocen muy pocos aplicativos computacionales que calculen los diagramas de interacción y desactualizados bajo los parámetros de la NSR-10, por lo que actualmente este aspecto quedó relevado netamente a los programas especializados de diseño, tales como: SAP2000, ETABS, STAAD.Pro, entre otros, lo que obliga al ingeniero de diseño estructural a tener un alto grado de competencias y de manejo especializado de software, para realizar los cálculos y diagramas. Esto genera una limitante, ya que todos los ingenieros no tienen un conocimiento pertinente de cada uno de los software anteriormente mencionados, y varios diseños se hacen mediante hojas de cálculo de Excel, y a través de la experiencia y de cierta forma empírica.

Debido a la actualización de la NSR-10 y el cambio de algunos factores, constantes, parámetros y correlaciones expresadas en el título C, se hizo más riguroso el proceso de predimensionamiento y diseño, y a su vez, empezaron a quedar obsoletas dichas aplicaciones.

Debido a esto se crea una necesidad importante en que todo ingeniero estructural pueda evaluar y analizar las columnas en una estructura cualquiera, sin la necesidad de que maneje un programa especializado de diseño, o de capacitarse

en alguno de los software descritos, de tal manera que la aplicación supla la necesidad de dicho cálculo con su diagrama y pueda no solo optimizar tiempos en los predimensionamiento, análisis y diseños y hacer que estos cumplan con las especificaciones y lineamientos de la norma, sino que la rigurosidad, el profesionalismo y la ética en el cumplimiento de la norma a nivel técnico aplique y lo haga también para cualquier tipo de estructura, tanto para niveles altos de ocupabilidad o para niveles de disipación alta, o para una súper estructura privada con grandes recursos y sustentos económicos, como también que se realice para estructuras de mediana y pequeña magnitud, incluyendo las de interés social; para que en estos casos no se siga haciendo de alguna manera empírica o somera los diseños y que no cumpla con los requerimientos mínimos de resistencia que exige la NSR-10.

Con este planteamiento se pretende darle una practicidad y simplicidad al diseño estructural de las columnas de concreto reforzado, y asimismo dar un nivel de confort adecuado a cada diseño independientemente del uso que vaya a tener la estructura, para así poder garantizar el principio fundamental de la ingeniería civil, que es el salvaguardar vidas y proteger el patrimonio.

Dentro de ese orden de ideas, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo posibilitar el cálculo de los diagramas de interacción para el diseño de columnas en concreto reforzado, de acuerdo con la NSR-10, de una forma óptima, sencilla y funcional?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un aplicativo computacional que permita realizar el cálculo y obtención del diagrama de interacción de columnas de concreto reforzado de acuerdo con la NSR-10.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los modelos teórico - prácticos aplicables al cálculo de los diagramas de interacción de columnas de concreto reforzado.
- Reconocer las diferencias y cambios de la NSR-98, respecto a la actualización de la NSR-10 referente al cálculo de los diagramas de interacción de columnas de concreto reforzado.
- Analizar la representación diagramática para ilustrar la secuencia de las operaciones y variables que se realizarán en el desarrollo del aplicativo.

4. JUSTIFICACIÓN

La siguiente propuesta investigativa tiene como finalidad dar practicidad y agilidad al cálculo de los diagramas de interacción de columnas en concreto reforzado siguiendo los parámetros de la NSR-10, para con ellos obtener resultados óptimos, de forma sencilla y funcional, para también complementar los análisis mediante el uso de software especializado.

Además de este componente técnico, cabe resaltar la importancia educativa que implícitamente contiene esta propuesta, ya que al facilitar el diseño, hace que más usuarios hagan uso del aplicativo a cambio de seguir realizándolo empíricamente o de buscar o contratar una persona especializada en el manejo de los software de diseño. Adicionalmente conllevaría a que los cálculos se lleven con la rigurosidad adecuada exigida por la actualización de la NSR-10; también habría la posibilidad de que realmente cada estructura que se diseñe pueda cumplir con los parámetros sísmicos exigidos así como disipar la energía debidamente y garantice que se dé prioridad a la integridad de la persona independientemente del tipo o de la posición social en la que este; de tal manera que se cumpla el principio fundamental de la ingeniería: proteger y salvaguardar vidas.

Otro factor importante sería en el aspecto legal que los software exigen, puesto que el aplicativo que se genere será como primera medida de uso y distribución gratuita, lo que de antemano ahorraría este dispendioso proceso de conseguir las licencias para que los programas funcionen adecuadamente y haría que su alcance llegue a más ingenieros estructurales, puesto que al eliminarse este proceso legal de licencias, cada ingeniero estaría en la capacidad de hacer sus cálculos y diagramas de una manera sencilla y la cantidad y calidad de los diseños de las columnas se vería directamente beneficiado al aumentar el número de usuarios que manejen el aplicativo; puesto que habría una implicación directa e indirecta de esta sobre los cálculos de los diagramas.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentan los elementos teóricos que se deben tener en cuenta al momento de realizar el diseño y análisis de columnas en concreto, de este mismo modo la definición de los diagramas de interacción, tema referenciado en este trabajo.

5.1.1. Cargas

Las cargas que actúan sobre las estructuras pueden dividirse en tres grandes categorías: cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales. Las cargas muertas son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y fijas en posición durante la vida de la estructura. Generalmente la mayor parte de la carga muerta es el peso propio de la estructura. Ésta puede calcularse con buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material. Para edificios, los rellenos y los acabados de entrepisos, y el cielo raso pañetado se toman usualmente como cargas muertas incluyendo una consideración para cargas suspendidas tales como ductos, aparatos y accesorios de iluminación. Para puentes, las cargas muertas pueden incluir superficies de recubrimiento, andenes y barandas, y una consideración para ductos y otras cargas suspendidas.

La NSR-10 muestra en el título B los valores de carga muerta para edificios de acuerdo con su uso y a las disposiciones de los elementos no estructurales que se utilicen en el diseño tal como se muestra en la tabla 1.

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

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

Fuente: de NSR-10 tabla B.3.4.3-1⁵

Las cargas vivas consisten principalmente en cargas de ocupación en edificios y cargas de tráfico en puentes. Éstas pueden estar total o parcialmente en su sitio o no estar presentes, y pueden cambiar de ubicación. Su magnitud y distribución son inciertas en un momento dado, y sus máximas intensidades a lo largo de la vida de la estructura no se conocen con precisión. Las cargas vivas mínimas para las cuales deben diseñarse los entrepisos y cubiertas de un edificio se especifican usualmente en el código de construcción que se aplica en el lugar de construcción. La tabla 2 presenta una serie de valores de carga viva según la NSR-10, donde se incluyen valores representativos de las cargas mínimas que deben utilizarse en una amplia variedad de edificios. La tabla presenta valores de cargas vivas uniformemente distribuidas para varios tipos de ocupación; se incluyen consideraciones de impacto cuando es necesario. Estas cargas son los máximos esperados y exceden considerablemente valores promedios, para el tema de los factores de seguridad.

⁵NSR-10, Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente, Resistente, Título B – Cargas.

Además de estas cargas uniformemente distribuidas, se recomienda diseñar los entresijos para soportar en forma segura algunas cargas concentradas cuando éstas producen esfuerzos mayores. En algunos casos no pueden utilizarse las cargas vivas tabuladas. Debe considerarse específicamente el tipo de ocupación calculando tan preciso como sean posibles las cargas más probables.

Por ejemplo, las bodegas para almacenamiento pesado deben diseñarse con una carga de 12kN/m^2 , y así para cualquier tipo de estructura que se disponga; cabe mencionar además que todas las cargas concentradas importantes y con ubicación definida deben considerarse de manera específica.

Tabla 2 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m^2) m^2 de área en planta	Carga uniforme (kgf/m^2) m^2 de área en planta
<i>Reunión</i>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<i>Oficinas</i>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<i>Educativos</i>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura Estanterías	2.0 7.0	200 700
<i>Fábricas</i>	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
<i>Institucional</i>	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<i>Comercio</i>	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
<i>Residencial</i>	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
<i>Almacenamiento</i>	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
<i>Garajes</i>	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
<i>Coliseos y Estadios</i>	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Fuente de NSR-10 tabla B.4.2.1-1

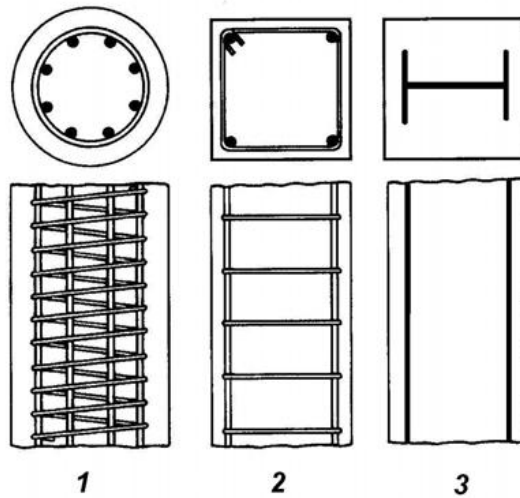
Las cargas ambientales consisten principalmente en cargas de nieve, presión y succión de viento, cargas sísmicas (fuerzas inerciales causadas por movimientos sísmicos), presiones de suelo en las porciones subterráneas de estructuras, cargas de posibles empozamientos de aguas lluvias sobre superficies planas y fuerzas causadas por cambios de temperatura. Al igual que las cargas vivas, las cargas ambientales son inciertas tanto en magnitud como en distribución.

5.1.2. Columnas

Las columnas son elementos estructurales sometidos principalmente a cargas de compresión y flexión, aunque pueden estar también en tracción y flexión, además de solicitaciones de cortante y torsión. En cuanto a las solicitaciones por torsión, éstas finalmente se toman como un incremento en los esfuerzos de tracción diagonal que induce la fuerza cortante en la sección, por lo que se puede decir entonces que las solicitaciones serán las cargas axiales, momentos de flexión y fuerzas cortantes, las cuales pueden causar tracción o compresión en alguna zona interna de la sección transversal a lo largo del elemento. En términos generales se pueden diseñar y construir tres tipos de elementos a compresión (columnas) de concreto reforzado:

1. Reforzadas con barras longitudinales y espirales.
2. Reforzadas con barras longitudinales y flejes.
3. Compuestos; reforzados con perfiles de acero, con barras longitudinales o sin estas.

Imagen 1 Tipos de refuerzos en columnas de concreto



Fuente: NILSON⁶

Aquí se estudian únicamente el primer y segundo tipo. De forma similar, el aplicativo calculará secciones con barras longitudinales y refuerzo horizontal, ya sea con aros o espirales. Adicionalmente, las columnas se pueden dividir en dos categorías importantes:

- Columnas cortas (Numeral 5.1.3. de este documento)
- Columnas esbeltas (No está dentro del alcance del proyecto).

Como se acaba de indicar, las columnas en general están sometidas a cargas axiales, momentos flectores y fuerzas cortantes. Las acciones de la fuerza axial y momento de flexión se analizan de manera simultánea, ya que actúan en conjunto. El análisis de los esfuerzos en la sección transversal cambia para cada combinación de carga axial y momento de flexión. A este análisis se le llama *flexo-compresión*.

⁶NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

La resistencia de las secciones a las demandas por flexo-compresión, está dada por los aportes del concreto en compresión y de las barras longitudinales de acero en compresión y tracción; por eso, para el caso de las columnas cortas, su resistencia depende de las propiedades de los materiales, en este caso, de la resistencia del concreto y el acero, además de la geometría de la sección transversal. Aquí la relación de esbeltez de la columna es pequeña, por lo que pueden desprejarse los efectos de esbeltez.

Para las columnas esbeltas, la resistencia se ve reducida por las deflexiones laterales que pueden ocurrir en el elemento, debido a una relación de esbeltez grande. Estas deflexiones ocurren debido a que el elemento puede sufrir un pandeo (elástico o inelástico) que no solo provocan una disminución en la carga axial total que puede tomar la columna, sino también genera un incremento en la magnitud de los momentos de flexión a los que estaba sometido el elemento en un inicio.

5.1.3. Columnas Cortas

5.1.3.1. Compresión pura

Como se indicó anteriormente, la resistencia de una columna corta está dada por las propiedades de los materiales y la geometría de la sección transversal, por lo que solo se requiere conocer:

- La forma y las dimensiones de la sección transversal. Esto debe incluir la forma y área de concreto, además de la posición y cantidad de acero (área de acero).
- La resistencia del concreto y del acero.

La resistencia nominal máxima en compresión, capaz de soportar una sección de concreto reforzado, se obtiene mediante la expresión:

$$P_n = 0.85 * f'_c * A_c + A_{st} * f_y \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

P_n = Fuerza en la sección.

f_y = Resistencia a la fluencia del acero.

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

A_c = Área de concreto de la sección transversal.

A_g = Área bruta de la sección.

$$A_c = A_g - A_{st}$$

A_{st} = Área total de acero en la sección.

Para determinar la carga última o carga de diseño en compresión pura (P_u) de la sección, se deben aplicar los factores de reducción de la resistencia (ϕ). La NSR-10 establece los siguientes factores, según el tipo de refuerzo horizontal de la columna.

Tabla 3 Factores de reducción de resistencia para la carga máxima en compresión pura.

Tipo de Refuerzo Horizontal	Factor de Reducción de Resistencia (Φ)
Flejes	0.65 (C.9.3.2.2)
Espiral	0.75 (C.9.3.2.2)

Fuente: NSR-10⁷

⁷Según NSR-10, literal C.21.1.3 Factores de reducción de resistencia.

Por lo tanto, la carga axial nominal máxima, para elementos no preesforzados con refuerzo armado en estribos es:

$$\Phi P_{n(máx)} = 0.75\Phi * [0.85 * f'_c(A_g - A_{st}) * f_y A_{st} \text{ (Ec. 2) (C.10.3.6.1 NSR-10) y}$$

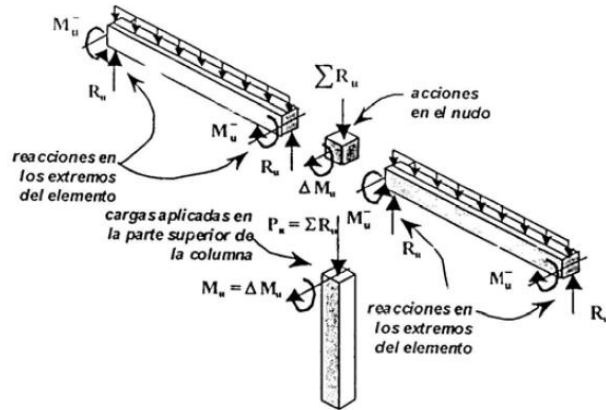
Y para columnas armadas en espirales

$$\Phi P_{n(máx)} = 0.80\Phi * [0.85 * f'_c(A_g - A_{st}) * f_y A_{st} \text{ (Ec. 3)(C.10.3.6.2 NSR-10)}$$

5.1.3.2. Flexo-Compresión

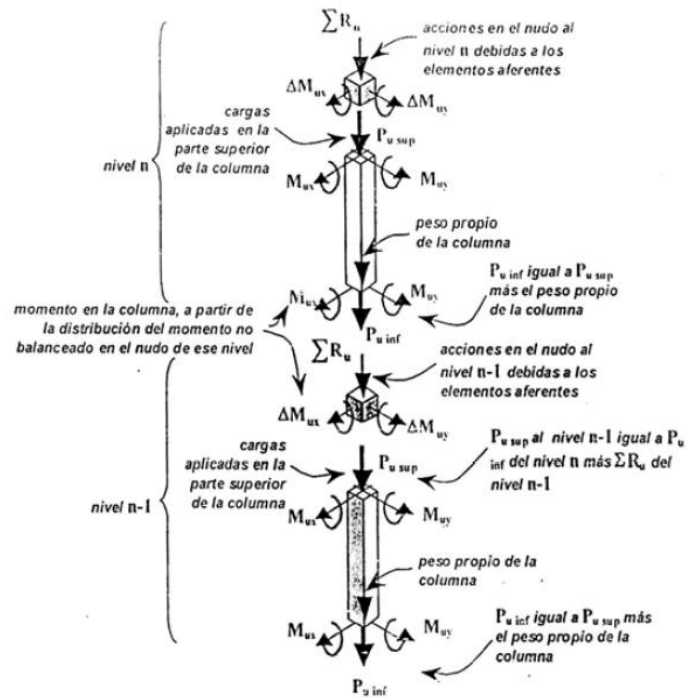
Debido a que la mayoría de los marcos o estructuras de concreto reforzado son continuos en sus uniones, en ellos se generan momentos de flexión y son transmitidos a los diferentes elementos de la estructura. Las columnas no escapan de esto, ya que las vigas transmiten el momento de flexión al nudo y este a su vez lo transmite a la columna. Además, las cargas de viento o sismo en las estructuras generan importantes momentos de flexión, que la mayoría de veces son mucho mayores que los momentos causados por las cargas gravitacionales y crean condiciones críticas imposibles de ignorar. Estos momentos de flexión actúan simultáneamente con la carga axial y, por lo tanto, la sección debe ser analizada con esta combinación de efectos. Los siguientes esquemas muestran la interacción entre los diferentes elementos de una estructura y cómo se transmiten las cargas.

Imagen 2 Tipos de refuerzos en columnas de concreto



Fuente: ACI⁸.

Imagen 3 Transmisión de cargas de las vigas y nudos hacia Una columna



Fuente: ACI⁹.

⁸ "Requisitos Esenciales para Edificios de Concreto Reforzado", ACI Internacional.

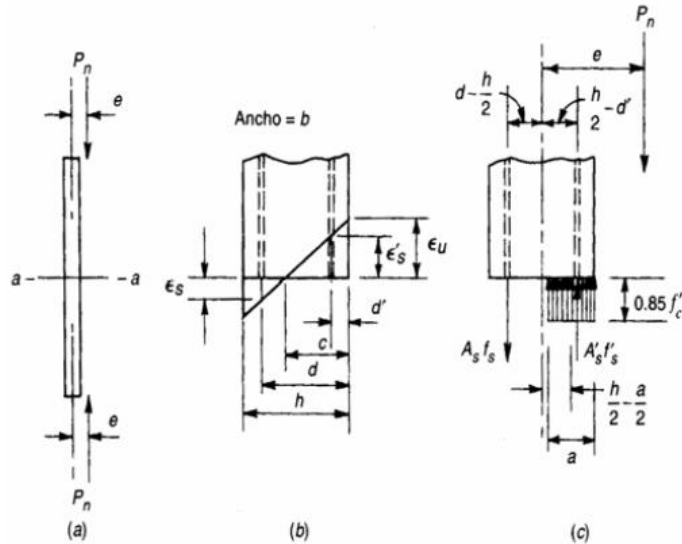
⁹ "Requisitos Esenciales para Edificios de Concreto Reforzado", ACI Internacional.

Para el análisis, se puede reemplazar la carga axial concéntrica y el momento de flexión por una carga con una excentricidad de magnitud $e = \frac{M}{P}$. En el caso de tener excentricidades pequeñas, entonces la sección completa está sometida a compresión y la falla del elemento se da por aplastamiento del concreto y la fluencia del acero en compresión. Si la excentricidad es grande, entonces alguna zona de la sección transversal puede estar en tracción y la falla puede ocurrir de alguna de las siguientes maneras:

- a) Debido al aplastamiento del concreto en compresión
- b) Por la fluencia del acero en tracción o
- c) Por la falla simultánea del concreto en compresión y la fluencia del acero en tracción, como ocurre en el caso de la falla balanceada.

El siguiente esquema muestra de forma simple las acciones externas que se pueden dar en una columna y sus fuerzas internas. Para el cálculo de la resistencia requerida y la resistencia que es capaz de brindar un determinado elemento, se hará uso de este esquema.

Imagen 4 Columna sometida a compresión excéntrica: (a) columna cargada; (b) distribución de deformaciones en la sección a-a; (c) esfuerzos y fuerzas para la resistencia última nominal.



Fuente: NILSON¹⁰

Como se indicó anteriormente las cargas externas son obtenidas previamente de un análisis estructural. El diseño y análisis de las secciones se lleva a cabo revisando el estado de esfuerzos en la sección transversal, mediante la compatibilidad de deformaciones y con la idealización de que las deformaciones varían linealmente, de manera que se obtienen fuerzas internas que desarrolla la sección y con estas se pueden obtener las cargas axiales (P) y momentos de flexión (M), que la sección puede resistir. La carga axial y el momento de flexión varían con la profundidad del eje neutro (c) desde la fibra más lejana en compresión. Los valores de P y M son graficados para obtener así los conocidos *diagramas de interacción* de momento de flexión versus carga axial de la columna.

La teoría parte de que las deformaciones en la sección transversal varían de forma lineal, según la profundidad desde la fibra extrema en compresión. Los códigos de

¹⁰NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

diseño han establecido que la máxima deformación que puede soportar el concreto de peso normal antes de fallar es $\varepsilon_c = 0.003$ (este valor puede variar hasta 0.008 pero el ACI establece para el cálculo el valor de 0,003) y el esfuerzo máximo en el concreto es de $0.85 * f'_c$. A partir de esta deformación última del concreto, se puede obtener por semejanza de triángulos la deformación en el acero, según la profundidad del eje neutro de la sección. Con esta deformación, se puede calcular el esfuerzo en el acero, tal como se indica:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c * \frac{d-c}{c} \text{ (Ec. 4)}$$

Donde:

ε_s = Deformación del acero.

ε_c = Deformación última del concreto (0,003).

d = Posición del acero medida desde la fibra extrema en compresión.

c = Profundidad del eje neutro y

$$f_s = E_s * \varepsilon_s \leq f_y \text{ (Ec. 5)}$$

Donde

f_s = Esfuerzo en el acero.

E_s = Módulo de elasticidad del acero.

f_y = Resistencia a la fluencia del acero.

Una vez conocidas las deformaciones y los esfuerzos en los materiales, se puede calcular la resistencia a la compresión y flexión de la sección transversal,

aplicando las ecuaciones de la estática $\Sigma F = 0, \Sigma M = 0$, de lo cual se obtiene que para el caso de una columna rectangular con acero en compresión y en tracción:

$$P_n = 0.85 * f'_c * a * b + (A'_s * f'_s) \pm A_s * f_s \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde

P_n = Carga axial nominal que resiste la sección analizada para una profundidad del eje neutro c .

a = Profundidad del bloque equivalente de esfuerzos rectangulares ($a = \beta_1 * c$).

b = Ancho de la columna.

A'_s = Área del acero en compresión.

f'_s = Resistencia a la fluencia del acero a compresión.

$$M_n = 0.85 * f'_c * a * b * \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) \pm A'_s * f'_s * \left(\frac{h}{2} - d'\right) \pm A_s * f_s * \left(d - \frac{h}{2}\right) (\text{Ec. 7})$$

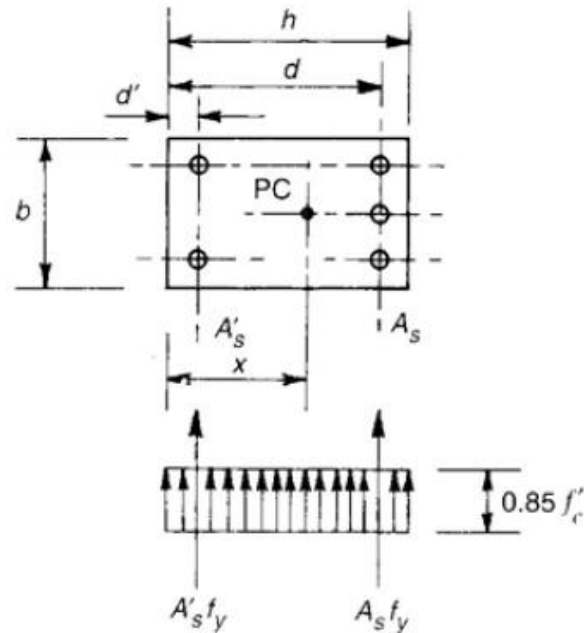
Donde:

h = Altura de la sección transversal.

5.1.3.3. Refuerzo Asimétrico

Mediante estas fórmulas y con algunas pequeñas variaciones, se puede realizar el análisis para columnas con otras formas de sección transversal y con mayores cantidades o capas de acero. En el caso de que el esfuerzo no sea simétrico; entonces se debe calcular el centroide plástico de la sección (X_p) y debe ser sustituido por $\frac{h}{2}$ en la ecuación anterior. La fórmula para el cálculo del centroide plástico de una sección rectangular con dos capas de acero se obtiene mediante:

Imagen 5 Columna rectangular con refuerzo asimétrico.



Fuente: NILSON¹¹.

$$X_p = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot h / 2 + A'_s \cdot f_y \cdot d + A'_s \cdot f'_s \cdot d}{0.85 \cdot f'_c \cdot h \cdot b + A_s \cdot f_y + A'_s \cdot f'_s} \quad (\text{Ec. 8})$$

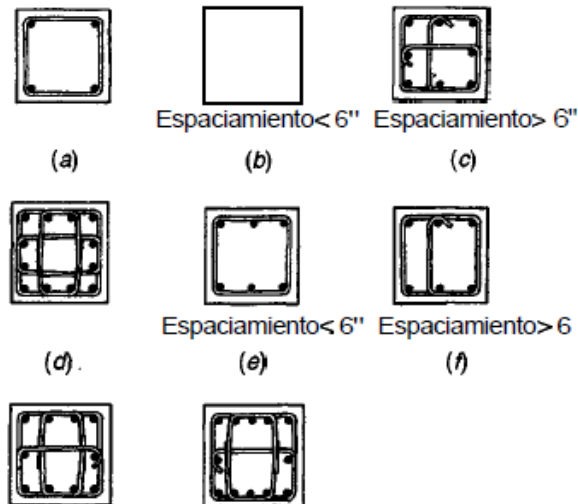
5.1.3.4. Refuerzo Distribuido

Para columnas sometidas a grandes momentos flectores, es más económico concentrar todo, o la mayor parte del acero, a lo largo de las caras exteriores paralelas al eje de flexión; es decir cuando el número de barras longitudinales en las columnas es mayor de cuatro (4), como se aprecia en la imagen 6d a 6h. De otra parte, para excentricidades pequeñas en las cuales la compresión axial prevalece y cuando se necesita una sección transversal pequeña, a menudo es favorable colocar el acero distribuido uniformemente alrededor del perímetro de cada cara de la columna (imágenes 6a a 6d).

¹¹NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

En este caso, debe prestarse especial atención a las barras intermedias, es decir, a aquellas que no están colocadas a lo largo de las dos caras sometidas a los mayores esfuerzos, esto debido a que cuando se alcanza la carga última, los esfuerzos para las barras intermedias son en general inferiores al valor de fluencia, aún cuando las barras a lo largo de una o de las dos caras externas pueden estar en fluencia. Al igual que antes, puede construirse un diagrama de interacción de resistencia. La selección consecutiva de valores para la distancia al eje neutro resulta en un conjunto de pares de valores de P_n y M , cada uno correspondiente a una excentricidad particular en la carga.

Imagen 6 Distribución flejes en columnas.

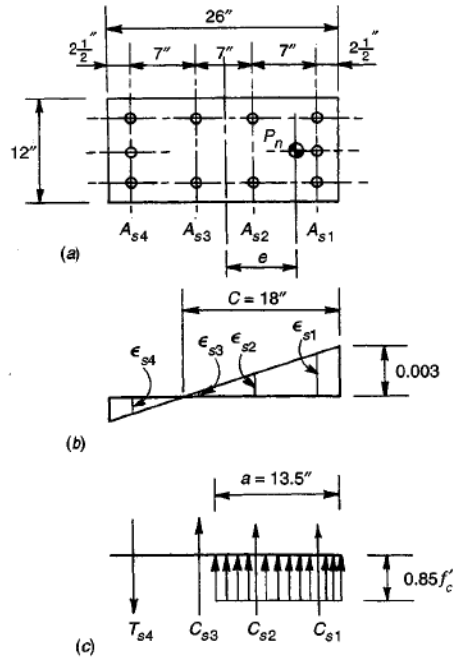


Fuente: NILSON¹².

Cabe resaltar que para el cálculo de estas líneas de deformación en las varillas se utilizan procedimientos geométricos, como la semejanza de triángulos y luego sumatorias hasta encontrar valores de deformación, resistencia entre otros, como se muestra en la imagen 7.

¹²NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

Imagen 7 a) Sección Transversal, b) Distribución de deformaciones, c) Distribución de esfuerzos y fuerzas.



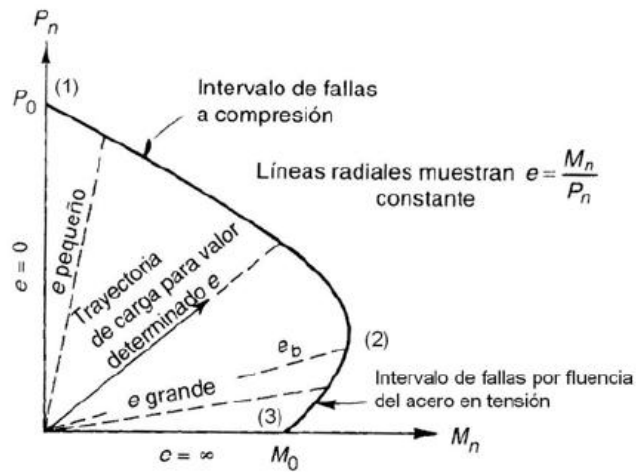
Fuente: NILSON¹³.

5.1.3.5. Diagramas de Interacción

El análisis y el diseño en flexo-compresión para columnas se realizan mediante la construcción de diagramas de interacción de carga axial y momento de flexión, para lo cual se utilizan las fórmulas planteadas anteriormente y se varía la profundidad del eje neutro (c) para obtener varios puntos (M, P). Las gráficas de momento de flexión versus carga axial tiene la forma que se muestra en la siguiente figura, además tienen algunos puntos particulares que se explican a continuación.

¹³NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

Imagen 8 Forma general del diagrama de interacción



Fuente: NILSON¹⁴.

Los puntos particulares de estas gráficas son:

1. Punto de carga axial pura ($0, P_0$), la cual se calcula con la fórmula dada en la sección de Compresión Pura
2. Falla balanceada, que se determina calculando la profundidad del eje neutro, con la cual el concreto alcanza su deformación última máxima, mientras que el acero extremo en tracción alcanza la primera fluencia (M_b, P_b).
3. Un punto de flexión pura ($M_0, 0$).
4. Punto de tracción pura ($0, -P$).

Para calcular la falla balanceada se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_b = d * \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \text{ (Ec. 9)}$$

¹⁴NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

Donde:

C_b = Profundidad del eje neutro para que ocurra la falla balanceada.

ε_y = La deformación en la primera fluencia del acero, obtenida como $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$.

Este valor de C_b es sustituido en las ecuaciones de P_n y M_n para flexo-compresión y se obtiene P_b y M_b . El punto cercano a la flexión pura se puede obtener por aproximaciones sucesivas o calculando la resistencia al momento de la sección sin que actúe una carga axial. Y finalmente, el punto en tracción pura se obtiene mediante la resistencia únicamente del acero, ya que se sabe que el concreto no es capaz de resistir esfuerzos de tracción, lo que significa que:

$$P_n = A_s * f_y \text{ (Ec. 10)}$$

Las fórmulas presentadas anteriormente para el cálculo de la carga axial y el momento flector que puede resistir una sección, son valores nominales de resistencia, que pueden ser modificados por los factores de reducción de la resistencia para obtener las cargas últimas que puede soportar la sección. La NSR-10 establece los siguientes factores de reducción de la resistencia (ϕ) para el concreto reforzado:

- Secciones controladas por tracción: 0.90
- Secciones controladas por compresión:
 - Elementos con refuerzo en espiral: 0.75
 - Otros elementos reforzados: 0.65
- Aplastamiento: 0.65

Adicionalmente la NSR-10 en el título C establece que para elementos en flexo-compresión, el factor de reducción de resistencia puede variar según la deformación del acero extremo en tracción como se indica a continuación:

“Para secciones en las cuales la deformación unitaria neta a la tracción en el acero extremo en tracción en el estado de resistencia nominal ε_t , se encuentra entre los límites definidos para secciones controladas por tracción, se permite que Φ aumente linealmente desde el valor correspondiente a las secciones controladas por compresión hasta 0.90, en la medida que ε_t , aumente desde el límite de deformación unitaria controlado por compresión hasta 0.005¹⁵”.

Esto implica realizar una interpolación para calcular el valor del factor de reducción de la resistencia a partir de la deformación calculada para el acero extremo en tracción, dicha interpolación es:

- Para el caso de columnas con refuerzo transversal en flejes o estribos

$$0.65 \leq \Phi = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_y}{0.005 - \varepsilon_y} * (0.90 - 0.65) + 0.65 \leq 0.90 \text{ (Ec. 11)}$$

- Y para el caso de columnas con refuerzo transversal en espiral

$$0.75 \leq \Phi = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_y}{0.005 - \varepsilon_y} * (0.90 - 0.75) + 0.75 \leq 0.90 \text{ (Ec. 12)}$$

5.1.3.6. Distribución rectangular equivalente de esfuerzos

Debido a la complejidad de la literatura para los análisis de compresión y tracción y la difícil visualización de las bases físicas para los métodos y fórmulas de diseño, que dan por ello malas interpretaciones al diseñador, se optó mediante un artificio conceptual, formular de otro modo el análisis de la resistencia de elementos de concreto reforzado, pero de mejor visualización y aplicación.

La forma geométrica real de la distribución de esfuerzos de compresión en el concreto varía considerablemente, y no se requiere conocer la forma exacta siempre y cuando se conozcan:

¹⁵Según NSR-10, literal C.9.3.2.2 Secciones controladas por compresión.

- La magnitud C de la resultante de los esfuerzos a compresión en el concreto y
- La localización de la resultante.

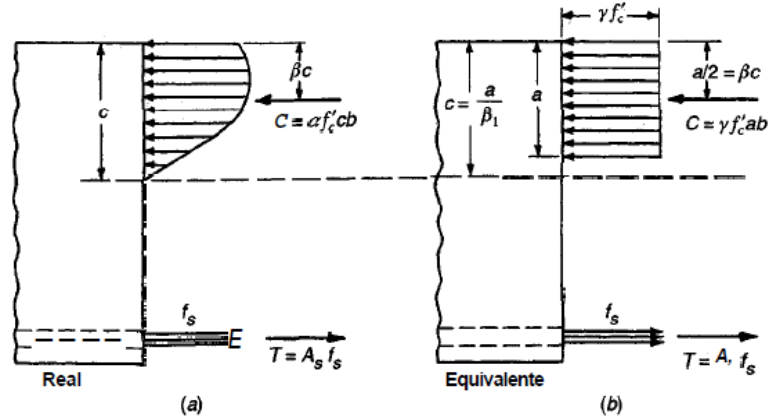
Con base en lo anterior y a partir de resultados de investigaciones experimentales se obtuvieron los valores que se denomina como α y β ; C.S. Whitney fue quien hizo inicialmente la propuesta y que actualmente es la utilizada a nivel mundial. En la imagen 9 se puede observar que la distribución real de esfuerzos se reemplaza por una distribución equivalente con forma rectangular simple, la intensidad $\gamma f'_c$ de este esfuerzo constante equivalente, y su profundidad $a = \beta_1 C$, se pueden calcular a partir de que:

1. La fuerza total a compresión C .
2. Su ubicación, es decir, su distancia desde la fibra superior, sean las mismas, tanto para la distribución equivalente rectangular como para la distribución de esfuerzos.

Obteniendo como primer resultado:

$$C = \alpha f'_c cb = \gamma f'_c ab \text{ A partir de lo cual se obtiene } \gamma = \alpha \frac{c}{a}$$

Imagen 9 Distribución real y rectangular equivalente de esfuerzos para carga última.



Fuente: NILSON¹⁶.

Con $a = \beta_1 c$, da $y = \frac{\alpha}{\beta_1}$. La segunda condición requiere simplemente que la fuerza C en el bloque rectangular equivalente de esfuerzos este localizada a la misma distancia βc tanto desde la fibra superior como en la distribución real, por ende se concluye que $\beta_1 = 2\beta$. Por lo que se podría resumir la resultante a compresión como:

$$C = 0.85 f'_c ab \text{ (Ec. 13)}$$

Para concretos normales de resistencia hasta 28 MPa; valores que se toman de la ACI, extraídos de Nilson¹⁷, como se muestra en la tabla 4. Ya para finalizar en términos matemáticos la relación entre β_1 y f'_c se puede expresar mediante:

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{f'_c - 28}{7} \geq 0.65 \text{ (Ec. 14)}$$

¹⁶NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

¹⁷NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

Tabla 4 Factores de reducción de resistencia para la carga máxima en compresión pura.

PARÁMETROS DEL BLOQUE DE ESFUERZOS EN EL CONCRETO					
MPa	≤28	35	42	49	≤56
α	0.72	0.68	0.64	0.60	0.56
β	0.425	0.40	0.375	0.35	0.325
$\beta_1 = 2\beta$	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
$\gamma = \alpha/\beta_1$	0.85	0.85	0.85	0.86	0.86

Fuente: NILSON¹⁸

Cabe resaltar que los criterios de falla son los mismos de antes: fluencia del acero para $f_s = f_y$ o aplastamiento del concreto para $\epsilon_c = 0.003$. Puesto que el bloque rectangular de esfuerzos se visualiza fácilmente y sus propiedades geométricas son sencillas en extremo, muchos cálculos se llevan a cabo en forma directa.

5.1.3.7. Columnas Circulares

Debido a la complejidad de los cálculos matemáticos para el análisis de este tipo de columnas, se ha optado por incluir diversos métodos que simplifiquen las consideraciones geométricas para las columnas circulares. Por ello diversos autores entre ellos HASSOUN y AL-MANASSER¹⁹ proponen trabajar los cálculos del diagrama con las mismas bases de las columnas rectangulares, pero con una ligera variación en el cálculo de la resultante a compresión, que será explicada con detenimiento más adelante.

Para los valores de la carga balanceada P_b y el momento balanceado M_b , de secciones circulares pueden ser determinados usando las ecuaciones de equilibrio, como se hizo las secciones rectangulares. Las barras en la sección circular son arregladas de tal modo que su distancia al eje del centroide plástico varíe, dependiendo del número de barras de la sección.

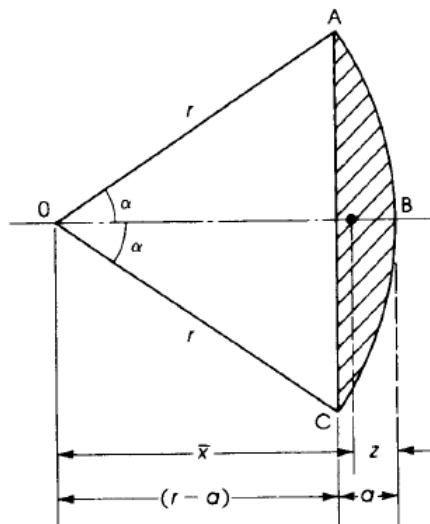
¹⁸NILSON, Arthur H., Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición, McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.

¹⁹HASSOUN, Nadim; AL-MANASSER, Akthem. Structural Concrete Theory and Design, Colombia: John Wiley & Sons, INC. Cuarta edición, 2008.

El principal problema es buscar la profundidad del bloque a compresión a y el de esfuerzos en las barras de refuerzo. Para ello los autores tomaron el modelo trigonométrico del segmento de una circunferencia que se ajusta a la geometría de la columna circular, con ello plantearon la primera ecuación de este segmento, la del área del segmento circular:

$$\text{Área Segmento} = r^2(\alpha - \sin\alpha * \cos\alpha) \text{ (Ec. 15)}$$

Imagen 10 Propiedades del segmento circular.



Fuente: HASSOUN²⁰.

Para los valores de α , hay que entrar a ver las propiedades del segmento circular, tal como se muestra en la imagen 10, α en realidad es la distancia entre las barras longitudinales de refuerzo, luego se calcula el centroide del segmento y con esto hallamos todas las relaciones del segmento mediante las siguientes expresiones:

²⁰HASSOUN, Nadim; AL-MANASSER, Akthem. Structural Concrete Theory and Design, Colombia: John Wiley & Sons, INC. Cuarta edición, 2008..

Para hallar el centroide

$$\bar{x} = \frac{2}{3} \frac{(r \sin^3 \alpha)}{(\alpha - \sin \alpha \cos \alpha)} \text{ (Ec. 16)}$$

Para hallar la distancia de la cara externa del concreto a el centroide

$$Z = r - \bar{x} \text{ (Ec. 17)}$$

Y finalmente para el ángulo y las relaciones del seno y del coseno

$$\cos \alpha = \left(1 - \frac{a}{r}\right) \text{ (Ec. 18)}$$

Donde a sigue siendo como en las columnas rectangulares la distancia del bloque equivalente de Whitney. Finalmente con estas propiedades del segmento se calcula el área expresada en la (Ec. 15) y con este valor se obtiene el valor de la resultante a compresión que estará dada por:

$$C_c = 0.85 * f'c * \text{Área segmento} \text{ (Ec. 19)}$$

Ya obteniendo el valor de la resultante a compresión C_c los cálculos restantes del diagrama de interacción se procede de la misma forma que en las columnas rectangulares hasta encontrar los valores de P y M .

5.2. MARCO LEGAL

5.2.1. Elementos en compresión contruidos monolíticamente con muros

En el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10 C.10.8.2) se establece que los límites exteriores de la sección transversal efectiva de un elemento en compresión con espirales o estribos, construido monolíticamente con un muro o pilar de concreto, no deben tomarse a más de 40 mm fuera de la espiral o estribos de dicho elemento²¹.

5.2.2. Elementos en compresión de sección circular equivalente

En el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10 C.10.8.3) se establece que en lugar de utilizar el área bruta para el diseño de un elemento sometido a compresión de sección transversal cuadrada, octogonal o de otra forma geométrica, se permite utilizar una sección circular con diámetro igual a la menor dimensión lateral de la sección real. El área bruta considerada, las cuantías requeridas de refuerzo y la resistencia de diseño deben basarse en dicha sección circular²².

5.2.3. Límites de la sección

En el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10 C.10.8.4) se establece que para un elemento a compresión que tenga una sección transversal mayor que la requerida por las consideraciones de carga, se permite emplear un área efectiva reducida A_g , no menor que la mitad del área total, con el fin de determinar el refuerzo mínimo y la resistencia. Esta disposición no se aplica en elementos (pórticos resistentes a momento o muros estructurales) con

²¹ Tomado de la NSR-10 literal C.10.8.2

²² Tomado de la NSR-10 literal C.10.8.3

capacidad de disipación de energía moderada (DMO) o especial (DES) diseñados de acuerdo con el Capítulo C.21 de la NSR-10.

5.2.4. Diseño de las secciones transversales sometidas a cargas de flexión, ó cargas axiales

En el Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10 C.10.3.1). Se establece que el diseño de las secciones transversales sometidas a cargas de flexión, ó cargas axiales, o a la combinación de ambas (flexo-compresión) debe basarse en el equilibrio y la compatibilidad de deformaciones, utilizando las hipótesis de la (NSR-10 Literal C.10.2). Suposiciones de diseño²³.

5.2.5. Limites del espaciamiento del refuerzo

En la NSR-10, literal C.7.6.3., se especifica la distancia mínima libre entre barras para elementos reforzados en espirales o estribos, la cual no debe ser mayor de $1.5d_b$, ni de 40mm.

5.2.6. Limites del espaciamiento del refuerzo a tracción

En el literal C.10.6.4 de la NSR-10 se especifica que el espaciamiento del refuerzo más cercano a una superficie en tracción, s , no debe ser mayor que el dado por:

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2.5C_c \text{ (Ec. 20) (Ec. C.10-4)}$$

Pero no mayor que $300(280/f_s)$, donde C_c es la menor distancia desde la superficie del refuerzo o acero preesforzado a la cara en tracción. Si al refuerzo más cercano a la cara en tracción extrema corresponde a una sola barra o un solo

²³Tomado de la NSR-10 literal C.10.3.1

alambre, el valor de s a utilizar en la ecuación (C.10-4) es el ancho de la cara en tracción extrema.

5.2.7. Diámetro mínimo estribos en elementos a compresión

En la NSR-10, literal C.7.10.5.1. se especifica que todas las barras deben estar confinadas por medio de estribos transversales transversales "de por lo menos diámetro No. 3 (3/8") ó 10M (10 mm), para barras longitudinales No. 10 (1-1/4") ó 32M (32 mm) o menores; y diámetro No. 4 (1/2") ó 12M (12 mm) como mínimo, para barras longitudinales No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm), No. 14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4") ó 55M (55 mm) y paquetes de barras. En estructuras de capacidad de disipación de energía mínima (DMI) se permiten estribos de barra N° (1/4") ó 6M(6 mm) cuando las columnas soportan únicamente uno o dos pisos²⁴".

5.2.8. Espaciamiento vertical estribos

En C.7.10.5.2 se determina el espaciamiento vertical de los estribos, que no debe exceder 16 diámetros de barra longitudinal, 48 diámetros de barra o alambre de los estribos, o la menor dimensión del elemento sometido a compresión.

5.2.9. Límites del refuerzo de elementos a compresión (columnas)

En C.10.9.1 se especifica que el área de refuerzo longitudinal A_{st} para elementos a compresión no debe ser menor que $0.01A_g$ ni mayor que $0.04A_g$.

5.2.10. Cuantía volumétrica para refuerzo en espiral

En C.10.9.3 se da el valor mínimo de la cuantía volumétrica ρ_s para refuerzo en espiral en columnas, dado por:

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ (Ec. 21) (Ec. C.10-5)}$$

²⁴Tomado de la NSR-10 literal C.7.10.5.1

Donde el valor de f_{yt} a usar en la ecuación C.10-5 no debe ser mayor de 700 MPa. Para f_{yt} mayor de 420 MPa, no debe usarse empalmes por traslapo de acuerdo con C.7.10.4.5 (a).

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

Puesto que la investigación que se desarrolla se fundamenta en modelos matemáticos y físicos universales tanto teóricos como experimentales, esta investigación tendrá un enfoque cuantitativo.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Debido a la relación entre el enfoque metodológico de la investigación y que mediante este se pretende dar solución a un problema de la practica ingenieril la investigación es de tipo proyectiva.

6.3. FASES Y ACTIVIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

Fase 1: Identificación de los modelos teórico - prácticos aplicables a el cálculo de los diagramas de interacción de columnas de concreto reforzado.

Actividades:

- a) Estudio de antecedentes teóricos y prácticos.
- b) Identificación de los modelos teóricos y prácticos aplicables al desarrollo de los diagramas de interacción de columnas rectangulares y circulares cortas.
- c) Documentar a manera de resumen los modelos matemáticos y teóricos que se utilizarán para el desarrollo del aplicativo.

Fase 2: Reconocimiento de las diferencias y cambios de la NSR-98, respecto a la actualización de la NSR-10 referente al cálculo de los diagramas de interacción de columnas de concreto reforzado.

Actividades:

- a) Estudio de la normativa referente a los diagramas de interacción de columnas en concreto reforzado.
- b) Análisis y documentación de las diferencias encontradas del diseño de los diagramas de interacción para columnas en concreto reforzado, entre la norma NSR-98 y la NSR-10.
- c) Comprobación de los cambios junto a las normas internacionales, en este caso un paralelo entre la NSR-10 y la ACI-318-08 para garantizar la certeza de los cambios entre normas.

Fase 3: Ilustrar la secuencia de las operaciones y variables que se realizarán en el desarrollo del aplicativo para el estudio analítico de la representación diagramática, y así determinar las alternativas de diseño y escoger una que se ajuste a la normativa y parámetros requeridos en el diseño de diagramas de interacción de columnas rectangulares y circulares cortas en concreto reforzado.

Actividades:

- a) Realizar las ilustraciones diagramáticas referentes al aplicativo.
- b) Analizar la diagramación y alternativas de diseño.
- c) Realizar los formularios y módulos requeridos para la interfaz con el usuario final del aplicativo.
- d) Desarrollar la programación en el módulo de Visual Basic de Excel cumpliendo con la normativa y la activación de los formularios, botones, textos, etc.

Fase 4: Análisis y comparativos de los resultados obtenidos de los modelos teórico-prácticos, de la diagramación, de la programación junto con modelos matemáticos manuales, de otros autores y de otras aplicaciones, para un consolidación de análisis y conclusiones pertinentes y amplias.

Actividades:

- a) Realizar un comparativo de los datos obtenidos desde otras aplicaciones y en forma manual, cumpliendo con las mismas normas y especificaciones, para analizar los resultados de este, respecto a la aplicación desarrollada.
- b) Analizar los resultados.
- c) Documentar las conclusiones obtenidas.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como primera medida se decidió por nombrar el aplicativo de columnas como UGCCOL-CD, cuyo objetivo primordial es el análisis de los diagramas de interacción de columnas rectangulares y circulares cortas, basado principalmente en autores internacionales y actualizando dicha literatura con los requisitos mostrados en las normas NSR-10 y su equivalente la ACI-318-08.

Básicamente, la aplicación se basa en los modelos de Nilson (1997), McCormac (2001) y McGregor (1997) para toda la parte de las columnas rectangulares cortas y Hassoun (2008), enfocado a las columnas circulares cortas; para las columnas rectangulares en general se basa en el método del bloque equivalente para en análisis de sus deformaciones y zonas de tracción, compresión y falla balanceada con los cuales se obtiene el diagrama a partir de iteraciones entre esas tres zonas. Para las columnas circulares aplica un procedimiento adicional geometría analítica para la disposición de las barras y en análisis de la parte a compresión y la resultante a compresión del concreto, pero para los principios de las zonas de tracción, compresión y falla balanceada trabaja de igual forma que las columnas rectangulares.

Vale la pena aclarar que para el diseño de columnas esbeltas se pueden utilizar los diagramas de interacción, puesto que el efecto de esbeltez lo que hace es aumentar el momento flector manteniendo la carga axial, lo que implica que sí se mantiene la carga axial y el momento se aumenta (por razón al momento secundario introducido por la esbeltez), el efecto es que se aumenta la cuantía comparativamente a la que se obtiene si se diseña sin esbeltez.

Por la vigencia, efectividad, sencillez y exactitud en los cálculos de los métodos anteriormente demostrados es que se justifica la escogencia de estos para el análisis y funcionamiento de UGCCOL-CD, todo ello aplicado y actualizado, tanto con valores, dimensiones mínimas de columnas, y factores de coeficientes de

reducción de la NSR-10, como los coeficientes de β_1 , según la resistencia del concreto tal como se expresa en la ACI-318-08.

Cabe resaltar que dentro del alcance de la investigación no se estudiaron efectos de esbeltez en las columnas, ni flexión biaxial, ni diseño a cortante, por lo que se hará su respectiva recomendación en este documento; Además, se supone que los elementos por analizar o diseñar son prismas rectos. Esto significa que la sección transversal del elemento se mantiene constante en toda su altura. Otra limitación del aplicativo es el sistema de unidades, ya que este está configurado únicamente para el sistema internacional (kN, m), por ende el diseñador o estudiante deberá hacer las conversiones pertinentes si desea trabajar en otras unidades. A pesar de ello UGCCOL-CD da una opción al usuario de tomar los diagramas de una forma adimensional lo cual generaliza más los análisis y da un grado mayor de aplicación. Sin embargo pese a dichas limitaciones, se considera a esta herramienta una novedosa y fácil aplicación que con el poco ingreso de información arroja datos certeros y precisos y permite hacer un importante análisis sobre el comportamiento de las columnas a la hora de diseñar.

Académica y profesionalmente es una buena instrumento para el diseño sismorresistente de columnas cortas de concreto reforzado puesto que posee instrucciones para las personas con poca experiencia y que además se considera una herramienta que ayuda para a el usuario en el aprendizaje de diseño de columnas y análisis de flexo compresión.

En conclusión UGCCOL-CD diseña dos tipos de columnas cortas: Rectangulares y circulares, mediante métodos geométricos y analíticos de los modelos descritos anteriormente y a través de ellos se especifican detalles básicos como geometría, propiedades de los materiales, calidad del acero y del concreto, y complejos como: disposición de las barras, análisis de deformaciones, esfuerzos, resultante a compresión, diagramas de interacción nominales, de diseño y adimensionales para un análisis más profundo de las mismas. Debido a lo expuesto UGCCOL-CD

puede dividirse en 5 principales partes (numerales A al E) tal como se describirá a continuación y adicionalmente contará con un breve comparativo de resultados (numeral F) entre un programa existente desactualizado con la ACI-318-02 versus el aplicativo actualizado a la ACI-3108-08 (NSR-10).

A. Información General:

En esta parte inicial del aplicativo se ve de una manera muy simple y con una interfaz sencilla y agradable al usuario, donde como primera medida aparece el nombre del proyecto, y las propiedades básicas de los materiales a utilizar: concreto y acero, en donde se escogerán los tipos de estos y por defecto el aplicativo mostrará los módulos de elasticidad y su resistencia, tal como se muestra en la imagen 11.

Imagen 11 Información general de entrada y propiedades materiales UGCCOL-CD

Propiedades del Concreto		Propiedades barras de refuerzo (Rebar)	
Tipo de Concreto:	<input type="text" value="f'c = 28000 KN/m2"/>	Tipo de Rebar:	<input type="text" value="Grado 60"/>
Concreto F'c:	<input type="text" value="28'000"/> KN/m ²	Rebar Fy:	<input type="text" value="400'000"/> KN/m ²
Concreto Ec:	<input type="text"/> KN/m ²	Rebar Ey:	<input type="text" value="200'000'000"/> KN/m ²

Fuente: Propia.

B. Distribución y configuración del acero de refuerzo:

En este segundo segmento se va a interactuar con la mayor parte del diseño de la columna, puesto que después de ingresar los primeros datos aparecerán las dos

opciones principales, la primera de columnas rectangulares con estribos y la segunda de circulares con espirales (imagen 12).

Imagen 12 Pestaña opciones de diseños columnas rectangulares o circulares UGCCOL-CD

Dimensiones de la columna

Rectangular

Circular

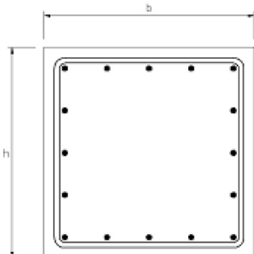
b: m

h: m

Recubrimiento: m

Rebar longitudinal:

Rebar transversal:



Dimensiones de la columna

Rectangular

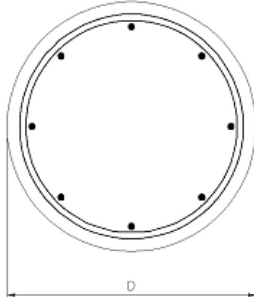
Circular

Diametro (D): m

Recubrimiento: m

Rebar longitudinal:

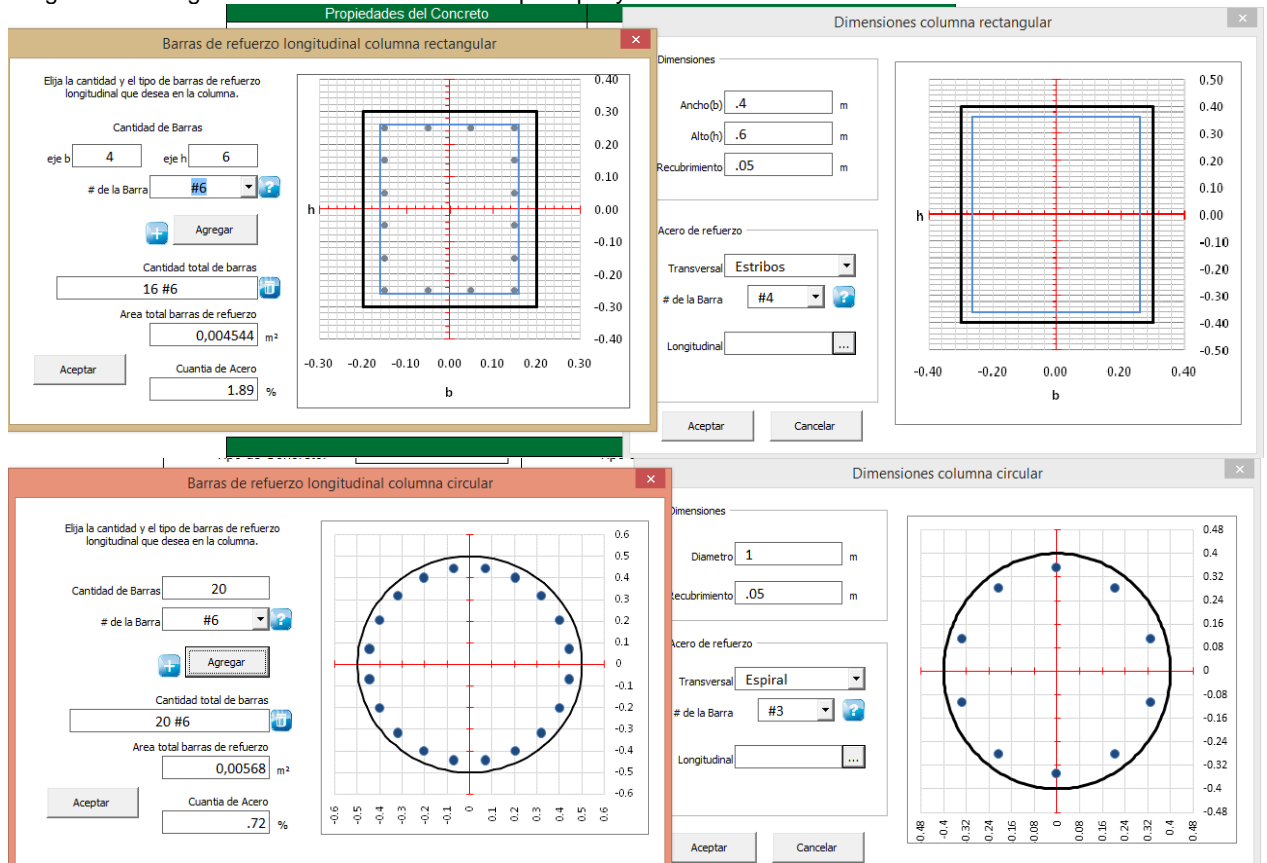
Rebar transversal:



Fuente: Propia.

Posteriormente en una nueva ventana se ingresarán las dimensiones de la columna además del recubrimiento, para luego en la pestaña de acero de refuerzo ingresar la cantidad de barras deseada, para que el aplicativo calcule la cantidad total de barras, el área de las mismas y la cuantía de acero que debe cumplir de acuerdo a la NSR-10, luego al salir a la ventana anterior solo resta escoger el tipo de refuerzo transversal, ya sea flejes o estribos y espiral, para que el aplicativo siga con los cálculos pertinentes, tal como se ve en la imagen 13.

Imagen 13 Configuración del acero de refuerzo principal y transversal UGCCOL-CD



Fuente: Propia.

C. Combinaciones de Carga:

En este apartado se encuentran las combinaciones de carga ultima que se pueden ingresar al aplicativo, ya sean las que el diseñador y/o estudiante según crea pertinentes ingresar para los análisis respectivos (Imagen 14) mediante el botón de Ingresar Carga y el aplicativo las incluirá para ser mostradas y con ello ver si la columna cumple o no las solicitaciones ingresadas. Con esa carga más desfavorable es que el aplicativo hace los respectivos análisis. En esta parte se considera que culmina el ingreso de datos para el usuario y los pasos siguientes son de recolección de información y análisis de resultados. Adicionalmente al ingreso de cargas y momento el aplicativo trae una interfaz práctica para que el

usuario si desea elimine o una carga o todo el listado, para que sea más académica la forma de aprendizaje.

Imagen 14 Combinaciones de Carga según NSR-10 UGCCOL-CD

The image shows a software interface titled "Combinaciones de Carga". It has two input fields: "Carga Pu:" with the value "750" and unit "KN", and "Momeno Mu:" with the value "400" and unit "KN*m". There are two buttons: "Añadir" (Add) and "Limpiar" (Clear). Below the inputs is a table with three rows of load combinations. The table has columns for "Combinación", "Carga Pu (KN)", and "Momeno Mu (KN*m)". The "Limpiar" button has two radio buttons: "Todo" (selected) and "Último Registro". Below the table is a "Calcular" (Calculate) button.

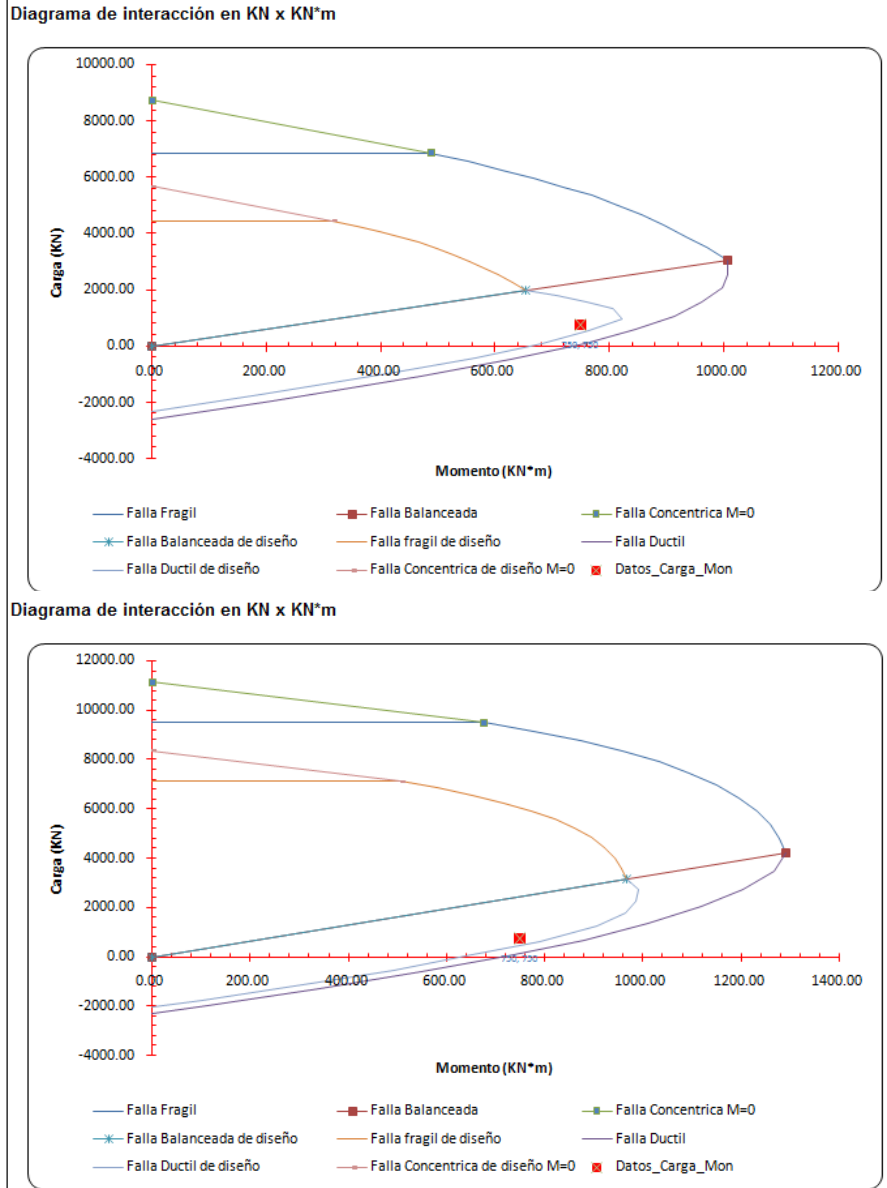
Combinación	Carga Pu (KN)	Momeno Mu (KN*m)
Combinación 1	8500	4000
Combinación 2	5000	2500
Combinación 3	750	400

Fuente: Propia.

D. Cálculo del Diagrama de Interacción:

Mediante el botón "calcular" de la imagen 14 el aplicativo calculará el diagrama de interacción de la columna diseñada en los pasos anteriores y con base en él, el diseñador o estudiante podrá saber si su columna cumple con las solicitaciones últimas y además con los requerimientos establecidos por la NSR-10, ya que el diagrama presenta una primera curva pequeña dentro de una curva más grande, esa curva es la de diseño, con la que el diseñador entrega sus memorias de cálculo, y con los coeficiente, factores y parámetros actualizados de la norma, y la curva más grande es la teórica, la que en realidad resiste la columna sin ser afectada por ningún coeficiente, ni factor de reducción de resistencia, dicho diagrama tiene la forma que muestra la imagen 15.

Imagen 15 Diagrama de interacción columna rectangular y circular según NSR-10 UGCCOL-CD

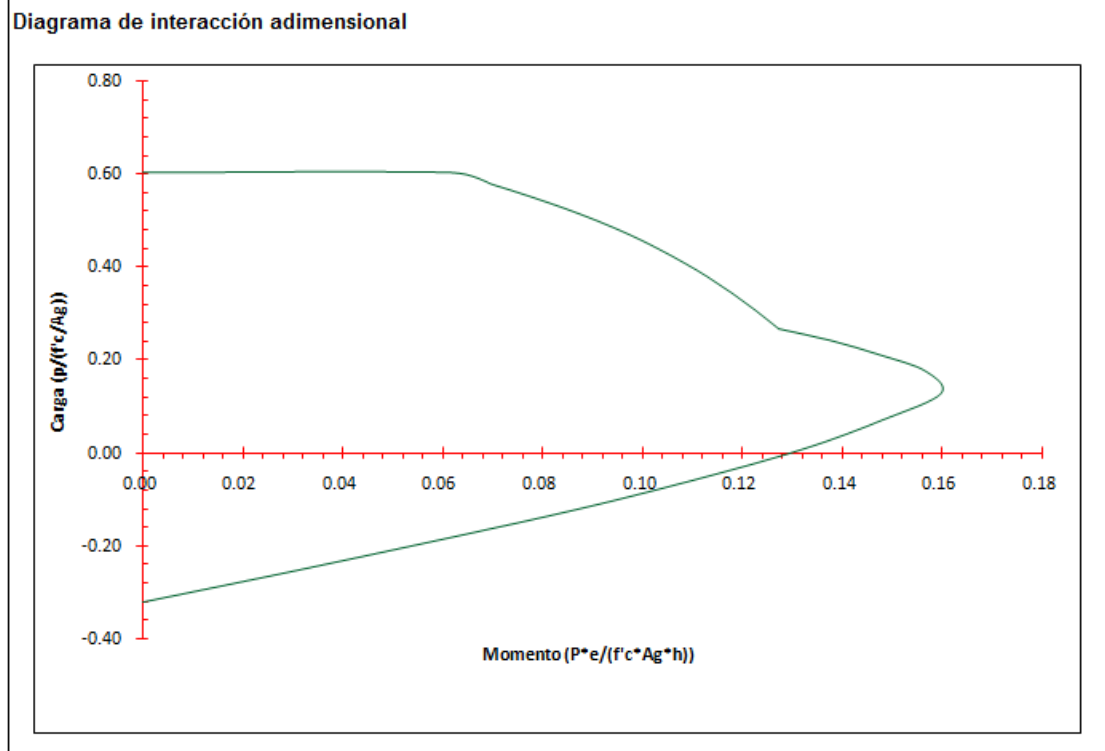


Fuente: Propia.

Además de los diagramas típicos de interacción que muestra el aplicativo, este da una opción adicional de ver el diagrama de diseño adimensional, el cual es muy práctico para cualquier tipo de elementos estructural de concreto reforzado, puesto que con valores adimensionales de momento se puede entrar sobre las abscisas,

y encontrar el valor respectivo de carga que puede resistir la columna; como se ve en la imagen 16, adicionalmente, el aplicativo como paso final da un resumen de los valores más importantes teóricos y de diseño que el usuario debe tener en cuenta para su diseño estructural (Imagen 17).

Imagen 16 Diagrama de interacción adimensional según NSR-10 UGCCOL-CD



Fuente: Propia.

Imagen 17 Resumen valores teóricos y de diseño con NSR-10 UGCCOL-CD

Análisis de resultados		
Resultados máximos de la columna teóricos		
	Carga (KN)	Momento (KN*m)
Carga concentrada	8737.61	0
Falla frágil	6846.25	488.64
Falla balanceada	3039.00	1006.92
Falla Ductil	-2600.64	0
Resultados de diseño con factores de reducción de resistencia aplicando la NSR-10		
	Carga (KN)	Momento (KN*m)
Carga concentrada	5679.45	0
Falla frágil	4450.06	317.62
Falla balanceada	1975.35	654.50
Falla Ductil	-2340.58	0

Fuente: Propia.

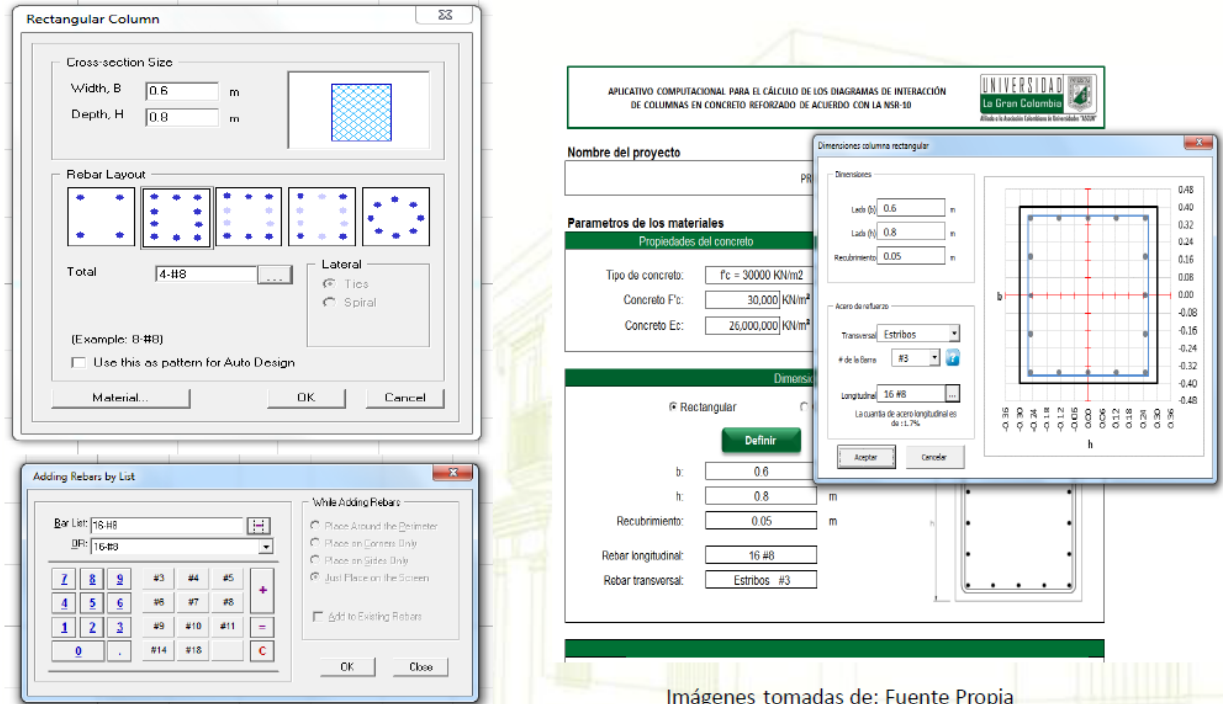
E. Guardar diseño, nuevo diseño, imprimir informe.

Ya para finalizar el aplicativo en su parte superior derecha tendrá un botón múltiple que permitirá interactuar al usuario con las opciones: abrir un nuevo archivo, guardar el que tiene en ejecución, imprimir un informe que genera un plus adicional al poder documentar todos los diseños pertinentes que el diseñador crea pertinente.

F. Comparativo entre programa existente versus UGCCOL-CD.

A continuación se mostrará una breve comparación y análisis de los datos finales arrojados tanto de un programa que calcula los diagramas, aunque desactualizado con la ACI-318-02 versus el producto final de UGCCOL-CD 1.0 actualizado con la ACI-318-08, que es la norma correspondiente a la NSR-10 Colombiana, como primera medida se procedió en ambos aplicativos a ingresar los parámetros generales de una columna escogida arbitrariamente, tales como: la geometría, resistencia del concreto y del acero y su configuración de refuerzos, tanto transversal como longitudinal, es decir todas las propiedades de la columna, tal como se muestra en la imagen 18. Cabe resaltar que la columna escogida tiene 0.60m x 0.80m de sección transversal, $f'c = 30000 \text{ kN/m}^2$, $f_y = 420000 \text{ kN/m}^2$, estribos #3 y 16 barras #8 de refuerzo longitudinal.

Imagen 18 Ingreso de datos y parámetros columna CSI-COL vs UGCOL-CD 1.0



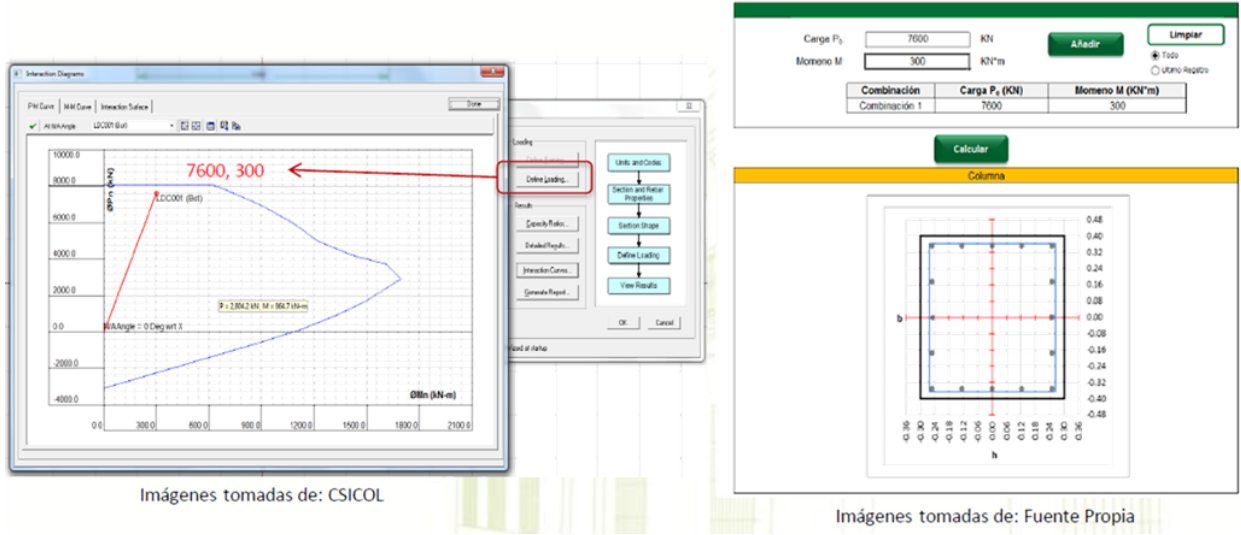
Imágenes tomadas de: CSICOL

Imágenes tomadas de: Fuente Propia

Fuente: Propia.

Una vez ingresados todos los datos anteriormente nombrados, se procede con las combinaciones de carga, que como se ve en la imagen 19 se optó por una combinación únicamente de $P_u = 7600 \text{ kN}$ y $M_u = 300 \text{ kN}\cdot\text{m}$ y con ello ingresado se finaliza el ingreso de datos, se sigue con el respectivo cálculo de los diagramas de interacción para obtener el comportamiento de la columna.

Imagen 19 Ingreso de combinaciones de carga CSI-COL vs UGCOL-CD 1.0



Fuente: Propia.

Como resultado final de ambos aplicativos tenemos los diagramas de interacción como se ven en la imagen 20; CSI-COL muestra únicamente el diagrama de diseño, mientras UGCOL-CD 1.0 muestra el de diseño y el teórico, de entrada se ve que los diagramas de UGCOL-CD 1.0 dan en general menores valores que los de CSI-COL, esto debido a la actualización de la ACI-318-08 respecto de la ACI-318-02 en lo que concierne a los factores de reducción de resistencia que fueron reducidos para mejorar el comportamiento de las columnas.

Imagen 20 Diagramas de interacción CSI-COL vs UGCOL-CD 1.0

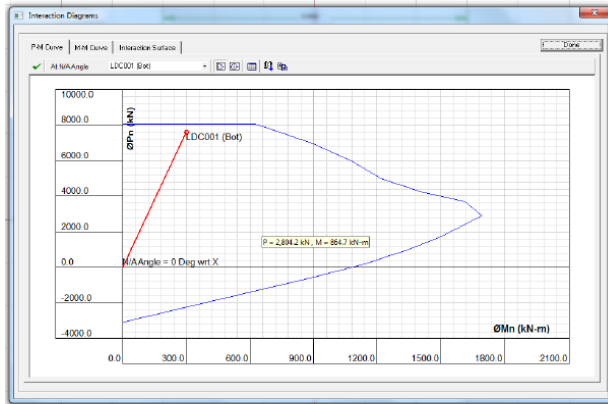


Imagen tomada de: CSICOL

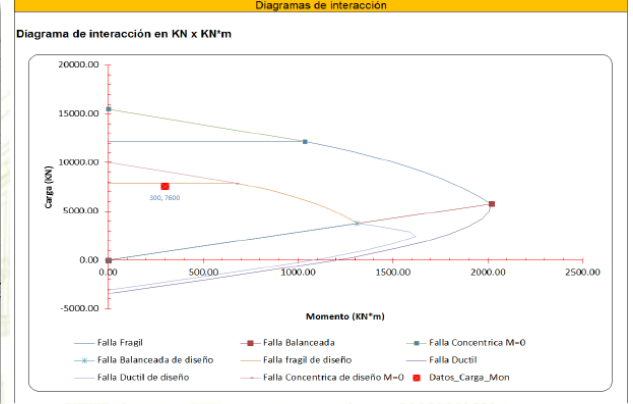


Imagen tomada de: Fuente Propia

Fuente: Propia.

Como resultado final aproximado se ven que los valores máximos de resistencia de diseño de la columna son:

Tabla 5 Comparativo de valores máximos de P_u vs. M_u de CSI-COL y UGCCOL-CD 1.0.

Valores de diseño	CSI COL	UGCCOL-CD 1.0
P_u (kN)	3000	2000
M_u (kN*m)	1750	1600
Carga concéntrica (kN)	10200	10100
Falla Dúctil (kN)	-3100	-3084
P Falla Balanceada (kN)	1400	1312
M Falla Balanceada (kN.m)	4100	3756

Fuente: Propia

Se evidencia a pesar de la diferencia entre normas ACI por los factores de reducción de resistencia, que los valores arrojados por UGCCOL-CD 1.0, dan muy cercanos a los de CSI-COL, pero por debajo de ellos, lo que confirma que los factores redujeron la resistencia de las columnas para garantizar un mejor comportamiento de las mismas, y se concluye además que el aplicativo cumple con los lineamientos y parámetros establecidos y es una poderosa herramienta de diseño y de aprendizaje académico para usar por cualquier estudiante o profesional que desee diseñar columnas de concreto reforzado.

8. CONCLUSIONES

- Se identificó que el modelo teórico más práctico para el cálculo de los diagramas de interacción es el modelo trigonométrico mediante la compatibilidad de deformaciones y las relaciones de triángulos semejantes para el tema del cálculo de la carga y el momento.
- Se reconocieron los principales cambios de la NSR-98 a las NSR-10, constatando que el cambio directo más representativo para el diseño de columnas es el de los factores de reducción de resistencia, puesto que la resistencia en las mismas se vio afectada en un 10% de la resistencia de diseño.
- UGCCOL-CD 1.0 surge como propuesta de aplicativo computacional para posibilitar la modelación, análisis y diseño de columnas cortas de concreto reforzado, mediante los métodos de Nilson (1997), McCormac (2001) y McGregor (1997) para columnas rectangulares cortas y Hassoun (2008), para circulares cortas; el aplicativo pretende ser una herramienta que proporcione a estudiantes y profesionales en ingeniería civil soluciones preliminares y/o definitivas para el análisis y diseño de columnas con los estándares y parámetros permitidos por la NSR-10, de forma óptima, rápida y ágil, y ante todo segura.

9. RECOMENDACIONES

- Es conveniente para futuras investigaciones ampliar el alcance del aplicativo incluyendo toda la sección de columnas esbeltas y el análisis de segundo orden de las mismas, de tal suerte que el usuario tenga un mayor campo de aplicación y de análisis sobre todas las condiciones pertinentes para las columnas.
- Para garantizar un aplicativo que abarque todo el diseño de columnas en concreto reforzado, es pertinente que se estudie y posteriormente se actualice el aplicativo con: el análisis biaxial, diseño a cortante y diseño transversal de estribos, para analizar la columna de una manera más aproximada a la realidad.
- Es de vital importancia que al utilizar UGCCOL-CD 1.0 el usuario tenga claro las recomendaciones dadas anteriormente y la teoría básica del diseño de columnas de concreto reforzado, para no incurrir en posibles errores al ejecutar el análisis y diseño mediante el aplicativo.
- Es pertinente que el usuario final compruebe los valores obtenidos mediante UGCCOL-CD 1.0, con los software especializados y demás ayudas posibles, ya que solo así el diseñador obtendrá la agilidad y el criterio necesarios para el diseño de columnas, además de ser una muy buena herramienta profesional y académica de todo ingeniero.

10. BIBLIOGRAFÍA

- **ACI 318, Comité Internacional.** Requisitos De Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318-08). USA: American Concrete Institute, 2005.
- **AIS, Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica.** Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., Colombia: Comisión Asesora Permanente Para El Régimen De Construcción Sismo Resistente, 2010. Creada por la ley 400 de 1997.
- **HASSOUN, Nadim; AL-MANASSER, Akthem.** Structural Concrete Theory and Design, Colombia: John Wiley & Sons, INC. Cuarta edición, 2008.
- **MACGREGOR, James G.** Reinforced Concrete, Mechanics and Design. Colombia: Prentice Hall International Series In Civil Engineering and Engineering Mechanics, Tercera edición, 1997.
- **MCCORMAC, Jack.** Diseño de Concreto Reforzado. Colombia: Alpha omega Grupo Editor S.A. de C.V., Octava edición, 2008.
- **MORÁN, Karla.** Análisis del Comportamiento de Columnas de Puentes de Concreto Reforzado a través de Diagramas de Interacción y Relaciones Momento-Curvatura. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), 2012.
- **NILSON, Arthur H.** Diseño De Estructuras De Concreto. Colombia: Mac Graw Hill, Duodécima edición, 2001.
- Programa para el cálculo del diagrama de interacción de columnas de concreto reforzado. Colombia: s.n., Septiembre de 1990.
- **RODRIGUEZ BUCARELLY, Carlos.** Visual basic 6.0, orientado a base de datos, Colombia: Edgar Hilario Sánchez Impresor. Segunda edición, 2008.
- **RODRIGUEZ, Carlos y BLANCO, René.** Análisis de los diagramas de interacción de diferentes autores para las características de cuba. Trabajo de grado Ingeniero Civil. s.l., Cuba: Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Facultad de Ingeniería Civil, 2012.

- **ROMERO, Luis Gabriel.** Implementación de software educativo para el diseño estructural metálico de columnas y miembros sometidos a esfuerzos de compresión. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, 2010.
- **SEGURA FRANCO, Jorge Ignacio.** Estructuras De Concreto I. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Séptima Edición, Facultad de Ingeniería, 2011.
- **ZÚÑIGA, PABLO.** Aplicaciones para análisis y diseño de elementos de concreto reforzado. Costa Rica : Instituto Tecnológico De Costa Rica Escuela De Ingeniería En Construcción, 2005