PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Plan de Trabajo de Integración Curricular

Tema: ¨Estudio paramétrico del nivel de desempeño alcanzado por vigas al ser armadas con las variantes de reforzamiento indicadas en la Norma ASCE 41-17 utilizando el programa ETABS ¨

AUTOR:

Edgar Patricio Yuquilema Avila

QUITO, marzo del 2024

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 6
1.1 JUSTIFICACIÓN. 6
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 7
1.3 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS. 7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL: 7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 7
1.4 ALCANCE. 8
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. 8
2.1 FUNDAMENTOS DEL DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS 8
2.1.1. Aspectos generales: 8
2.1.2. Análisis estático de estructuras 9
2.1.3. Análisis dinámico de estructuras 11
2.1.4. Solicitaciones sísmicas 13
2.1.5. Amenaza sísmica: 14
2.1.6. Derivas y deriva máxima 17
2.2 Principios de reforzamiento de vigas según la Norma ASCE 41-17 18
2.3 Diagrama momento – rotación en vigas. 22
2.4 Niveles de Desempeño Estructural. 28
2.4.1. Nivel de Desempeño Estructural de Ocupación Inmediata (IO - S1) 29
2.4.2. Nivel de desempeño estructural de seguridad humana (LS – S3) 29
2.4.3. Nivel de Desempeño Estructural de Prevención de Colapso (CP – S5) 30
2.5 Rótulas plásticas en elementos tipo viga (longitud de la rótula plástica). 30
2.5.1. Configuraciones de rotura: 31
2.5.2. Definicion de elementos que componen la rotula plástica: 34
2.6 Descripción y funcionamiento del software ETABS. 34
2.6.1. Funcionamiento: 35
2.7 Revisión de literatura relevante sobre estudios similares. 36
3. Metodología 38
3.1 Descripción del enfoque metodológico utilizado (estudio paramétrico). 38
3.2 Definición de las variables y parámetros de estudio. 41
3.3 Detalles sobre la selección de las variantes de reforzamiento y los criterios de análisis. 44
3.4 Explicación del proceso de modelado y simulación en ETABS. 45
3.5 Plan de análisis y evaluación de resultados. 47
4. Desarrollo del Estudio 48
4.1 Proceso de modelado de las vigas en ETABS. 48

4.2 Modelos e implementación de las variantes de reforzamiento. 54
4.3 Simulación de cargas y ejecución de análisis estructural. 60
4.4 Recopilación y organización de los resultados obtenidos. 64
5. Análisis de resultados 64
5.1 Presentación y análisis de los datos obtenidos en las simulaciones. 64
5.2 Comparación del desempeño de las vigas bajo las diferentes condiciones de la tabla 10.7. 81
5.3 Interpretación de los hallazgos y discusión de su relevancia. 94
5.4 Análisis de resultados. 94
6. Conclusiones y recomendaciones. 96
6.1 Conclusiones. 96
6.2 Recomendaciones. 99
Bibliografía 99
Anexos 102

Contenido de figuras

Figura 1 Mapa del Ecuador con la sismicidad desde 1587 hasta 2020 15
Figura 2 *Amenaza sísmica y valor para el factor de zona Z, Ecuador.* 16
Figura 3 *Relación fuerza-deformación generalizada para elementos o componentes de hormigón* 19
Figura 4 *Relación momento-Curvatura.* 23
Figura 5 *Inicio de la fluencia del acero a tracción* 24
Figura 6 *Inicio de la fluencia del acero a tracción* 26
Figura 7 *Inicio del aplastamiento del concreto a compresión* 27
Figura 8 *Niveles de Desempeño Estructural* 29
Figura 9 *Configuracion de rotura dependiendo el diagrama momento-curvatura* 32
Figura 10 *Creación de la Cuadrícula* 49
Figura 11 *Dimensionar la Cuadricula.* 49
Figura 12 *Opción para definir las propiedades del material* 50
Figura 13 *Propiedades del material* 51
Figura 14 *Propiedades del Material f'c (Resistencia a la compresión del concreto)* 52
Figura 15 *Sección del elemento* 52
Figura 16 *Dimensiones de la viga* 53
Figura 17 *Reforzamiento de las vigas y su recubrimiento.* 54
Figura 18 *Creación elementos estructurales en Etabs.* 54
Figura 19 *Procedimiento en la creación de la rótula automática* 61
Figura 20 *Creación de la rótula automática con parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17.* 62
Figura 21 *Procedimiento en la creación de la rótula modificada* 62
Figura 22 *Creación de la rótula modificada con parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17.* 63
Figura 23 *Modelo 1 Caso1* 65

Figura 24 *Modelo 1 Caso2*.....66
Figura 25 *Modelo 1 Caso3*.....66
Figura 26 *Modelo 1 Caso4*.....68
Figura 27 *Modelo 1 Caso5*.....69
Figura 28 *Modelo 1 Caso6*.....70
Figura 29 *Modelo 1 Caso7*.....71
Figura 30 *Modelo 1 Caso8*.....72
Figura 31 *Modelo 2 Caso1*.....73
Figura 32 *Modelo 2 Caso2*.....74
Figura 33 *Modelo 2 Caso3*.....75
Figura 34 *Modelo 2 Caso4*.....75
Figura 35 *Modelo 2 Caso5*.....77
Figura 36 *Modelo 2 Caso6*.....77
Figura 37 *Modelo 2 Caso7*.....79
Figura 38 *Modelo 2 Caso8*.....79
Figura 39 *Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 1* 83
Figura 40 *Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 3* 84
Figura 41 *Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 1* 86
Figura 42 *Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 3* 87
Figura 43 *Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 1*.....89
Figura 44 *Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 3*.....90
Figura 45 *Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 1*.....92
Figura 46 Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 3.....93

Contenido de tablas

Tabla 1 *Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada, Ecuador.* 17
Tabla 2 *Clasificación - demanda de ductilidad para los componentes*.....20
Tabla 3 *Parámetros de modelado y criterios Numéricos de Aceptación para procedimientos no lineales de vigas de hormigón armado.* 21
Tabla 4 *Especificaciones del modelo 1 y sus diferentes casos.* 56
Tabla 5 *Especificaciones del modelo 2 y sus diferentes casos* 57
Tabla 6 *Especificaciones de reforzamiento del modelo 1 y sus diferentes casos.* 58
Tabla 7 *Especificaciones de reforzamiento del modelo 2 y sus diferentes casos.* 59
Tabla 24 *Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 1 al caso 4*82
Tabla 25 *Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 5 al caso 8*82
Tabla 26 *Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 1 al caso 4*85
Tabla 27 *Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 5 al caso 8*85
Tabla 28 *Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 1 al 4*.....88

Tabla 29 *Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 5 al 8* 88
Tabla 30 *Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 1 al 4* 91
Tabla 31 *Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 5 al 8* 91
Tabla 8 *Resultados del Modelo 1 Caso1* 102
Tabla 9 *Resultados del Modelo 1 Caso2* 102
Tabla 10 *Resultados del Modelo 1 Caso3* 103
Tabla 11 *Resultados del Modelo 1 Caso4* 103
Tabla 12 *Resultados del Modelo 1 Caso5* 104
Tabla 13 *Resultados del Modelo 1 Caso6* 105
Tabla 14 *Resultados del Modelo 1 Caso7* 106
Tabla 15 *Resultados del Modelo 1 Caso8* 107
Tabla 16 *Resultados del Modelo 2 Caso1* 108
Tabla 17 *Resultados del Modelo 2 Caso2* 109
Tabla 18 *Resultados del Modelo 2 Caso3* 110
Tabla 19 *Resultados del Modelo 2 Caso4* 111
Tabla 20 *Resultados del Modelo 2 Caso5* 112
Tabla 21 *Resultados del Modelo 2 Caso6* 113
Tabla 22 *Resultados del Modelo 2 Caso7* 114
Tabla 23 *Resultados del Modelo 2 Caso8* 115

1. INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN.

Ecuador tiene una larga historia de terremotos en el pasado. Esta es la región donde se encuentra el anillo de fuego en el Océano Pacífico, en esta zona se libera la mayor cantidad de energía en todo el mundo en forma de energía sísmica. (Farinango, 2022). Por esta razón, es necesario entender de qué forma se comportan las estructuras y sus diferentes tipos de elementos que la conforma, para nuestro estudio analizáremos las vigas, estas serán puesto a prueba bajo diferentes condiciones de reforzamiento las cuales están indicadas en la Norma ASCE 41-17.

Para el análisis estructural, la Norma ASCE 41-17 es importante, ya que nos ayuda a evaluar elementos estructurales como vigas, columnas y losas. Esta norma también es relevante para el diseño sísmico. Es por esto que es importante estudiar el funcionamiento y desempeño de las vigas con parámetros establecidos por dicha norma, ya que esto nos ayudará a comprender algunos de sus comportamientos y aplicaciones para que se las pueda implementar en proyectos reales y así garantizar la seguridad de las personas.

El poder comprender como actuara nuestra estructura y el desempeño que tendrá los elementos como son las vigas con sus diferentes tipos de geometría y reforzamiento, para lograr tomar una decisión la cual pueda mitigar los riesgos que se pueden presentar en caso de que algún evento sísmico. Para realizar este análisis en nuestros elementos se utilizará el programa ETABS el cual seguirá pautas mencionadas por la Norma ASCE 41-17

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Es importante el estudio de las vigas para entender su comportamiento según las diferentes características y casos presentado en la Norma ASCE 41-17. Esto asegura la estabilidad del edificio y ayuda a prevenir desastres, garantizando la seguridad de las personas. Asimismo, es importante utilizar el programa ETABS para realizar una evaluación adecuada de nuestros diseños, esto nos ayudara a poder tomar decisiones para tener una edificación segura. También el estudiar las vigas con los parámetros de las Norma ASCE 41-17 proporciona información valiosa para los ingenieros, para permitir diseñar elementos estructurales y mejorar la ductilidad de las edificaciones.

1.3 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el comportamiento del nivel de desempeño que alcanzan las vigas en voladizo con diferentes cuantías de reforzamiento longitudinal y transversal atendiendo a los parámetros establecidos en la Norma ASCE 41-17 y utilizando el programa ETABS como herramienta de análisis.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Comprender las especificaciones de reforzamiento para elementos tipo viga establecidas en la Norma ASCE 41-17.
- Realizar el modelado en el programa ETABS de diferentes vigas en voladizo variando dimensiones, cuantías de reforzamiento longitudinal y transversal en correspondencia con los parámetros indicados en la Norma ASCE 41-17.

- Realizar el análisis del comportamiento estructural de vigas en voladizo, así como la cuantificación del nivel de desempeño alcanzado en cada una de las variantes estudiadas y su comparación con los valores indicados en la Norma ASCE 41-17.
- Interpretar la información recopilada que será obtenida en la simulación del software y desarrollar las implicaciones prácticas de los resultados derivados del presente estudio.

1.4 ALCANCE.

Comparar el desempeño que alcanzará las vigas al ser armadas con las variantes de reforzamiento indicadas en la Norma ASCE 41-17 e interpretar los datos obtenidos en la simulación que se realizará en el programa ETABS y la importancia que tendrá en la realización del diseño estructural.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1 FUNDAMENTOS DEL DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS

2.1.1. Aspectos generales:

En los proyectos de ingeniería incluyendo al área de estructuras, se lo comienza con la identificación de las necesidades de las personas para después tomar medidas en busca de solventar esa necesidad y que las personas tengan una mejor calidad de vida.

Para la necesidad de la población de tener un sitio seguro se construyen diferentes tipos de edificaciones en donde se realizarán los diferentes tipos de estudios como son los socioeconómicos, geotécnicos, arquitectónicos, estructural, sanitarios y seguridad, estos estudios son realizados con las distintas especificaciones de su norma las cuales ofrecen garantizar la seguridad que tendrá la estructura como también su funcionamiento, economía, estética y factibilidad.

El aspecto más importante que debe tener una estructura es la seguridad de la misma, en donde lleva una gran relación con la capacidad que tendrá esa estructura para resistir cargas en donde se establecerá la solicitaciones o cargas máximas que puede presentarse durante la vida útil de la estructura para que esta pueda resistir y no tener daños excesivos o tener un colapso parcial o un colapso total.

Una de los elementos importantes que tiene un proyecto de estructuras es la implementación de modelos arquitectónicos los cuales buscan que el proyecto sea comercial mediante la estética y la armonía del edificio, sin sacrificar la comodidad para el usuario. Por otra parte, el componente estructural se rige al modelo arquitectónico por lo cual sebe limitado, esto ocasiona que los elementos estructurales como columnas, vigas y losas tengan un sitio ya establecido. Estos elementos deben ser analizados para cualquier eventualidad sean externas o naturales, las cuales son generadas por altas cargas como son las cargas laterales producidas por sismos, cargas vivas y cargas de vientos que tienen velocidades altas, todos estos fenómenos extremos se deben considerar para el diseño de una estructura.

Por otro lado, la configuración que tendrán los diferentes elementos de las edificaciones y la forma, determinan el comportamiento de la estructura incluyendo la distribución de las fuerzas sísmicas y como interactúa cada uno de sus elementos, por eso es importante tener una buena comunicación con el ingeniero estructural y el arquitecto, ya que todas las partes involucradas deben estar familiarizadas con los efectos que producirá la estructura como las característica de los materiales, geometría de los elementos, distribución de los elementos de carga y la rigidez de la estructura. Los ingenieros especializados en el diseño estructural, tienen presente como actuaran los elementos de una estructura con sus distintas especificaciones en

donde comparten responsabilidades con el arquitecto, ingeniero geotécnico y el ingeniero constructor por lo que es importantes establecer una buena comunicación.

2.1.2. Análisis estático de estructuras

La ingeniería estructural cuenta con procesos fundamentales para el análisis de una estructura como es el análisis estático, que nos sirve para evaluar las deformaciones, reacciones y fuerzas internas como fuerzas externas que tendrá nuestra estructura.

Equilibrio de fuerzas: El análisis estático se basa en el equilibrio de fuerzas, en donde las sumas vectoriales de todas las fuerzas que actuaran en un cuerpo que se encuentra en equilibrio deberá ser igual a cero. Por lo que las fuerzas internas deben ser iguales a las fuerzas externas aplicadas para que la estructura este en equilibrio.

Diagramas de cuerpo libre: Antes de comenzar a analizar una estructura, se debe dibujar un diagrama de cuerpo libre que muestre la estructura y todas las fuerzas que la afectan. Las cargas externas aplicadas, las reacciones en los apoyos y las fuerzas internas en los componentes estructurales son ejemplos de esto.

Método de secciones: este método nos sirve para el analizar de esfuerzos internos que tendrán nuestros elementos estructurales, como son columnas y vigas. Para la aplicación de este método se divide en secciones transversales a nuestros elementos y luego se aplica el equilibrio de las fuerzas para así poder determinar las fuerzas internas en cada sección de nuestro elemento.

Método de las articulaciones o nudos: este método consiste en examinar la distribución de fuerzas que actúan en los puntos de uniones en los elementos estructurales como son las

conexiones y articulaciones. Para el análisis de las fuerzas internas y reacciones se debe aplicar ecuaciones de equilibrio en las conexiones o articulaciones.

Desplazamiento: para el análisis del desplazamiento en un elemento estructural se aplica ecuaciones de equilibrio y ecuaciones de deformaciones para así resolver el sistema de ecuaciones resultante.

Reacciones en los apoyos: Las fuerzas que ejercen los apoyos sobre la estructura para mantenerla en equilibrio se conocen como reacciones en los apoyos. Estas reacciones se calculan según el principio del equilibrio de fuerzas y se distribuyen a lo largo de los puntos de apoyo de acuerdo con las condiciones de restricción.

2.1.3. Análisis dinámico de estructuras

La ingeniería estructural cuenta con un aspecto fundamental qué es el análisis dinámico en estructuras y nos ayuda a evaluar el comportamiento de las estructuras cuando están sometidas a cargas dinámicas como pueden ser vientos fuertes, terremotos y vibraciones inducidas por maquinas como los ascensores.

Ecuaciones de movimiento: estas ecuaciones del movimiento describen como se comportan de manera dinámica las estructuras, como se muestra en el análisis dinámico. Las ecuaciones son propuestas por las leyes fundamentales de la dinámica y tienen en cuenta las fuerzas externas e internas que actúan en nuestros elementos estructurales.

Los sistemas de un grado de libertad (SGL) nos ayuda a analizar estructuras complejas dividiendo los elementos en partes, lo que ayuda a tener un análisis manejable porque

dependiendo del grado de libertad tendremos diferentes ecuaciones. Estos sistemas se componen de una masa concentrada conectada a un resorte y un amortiguador, la cual simboliza la mas, elasticidad y la amortiguación de la estructura.

La frecuencia natural y la capacidad de disipar energía a través del amortiguamiento afectan la respuesta dinámica de una estructura. La frecuencia a la que una estructura vibrará libremente en ausencia de fuerzas externas se conoce como frecuencia natural, mientras que el amortiguamiento afecta la velocidad con la que las vibraciones se atenúan con el tiempo.

Modos de vibración: Las estructuras tienen varios modos de vibración, cada uno representando un patrón de movimiento vibratorio diferente. Cada modo de vibración tiene una frecuencia natural y una forma particular. Los modos de vibración y las frecuencias naturales de una estructura se pueden determinar mediante el análisis modal.

Respuesta dinámica: esto consiste en el análisis dinámico que se utiliza para predecir como actuara una estructura a cargas dinámicas, como un terremoto. Para eso se debe calcular las fuerzas internas, aceleraciones, velocidades y los desplazamientos que tendrá la estructura con relación al tiempo.

Métodos de análisis: para el análisis dinámico en estructuras se pude realizar de varas formas como es el método de fuerza impulsora, el método de elementos finitos, el método de diferencias finitas y el método de respuesta modal en donde dependerá de la estructura cual utilizar, ya que cada análisis tiene sus ventajas y desventajas.

2.1.4. Solicitaciones sísmicas

Las fuerzas provocadas por un terremoto, también conocidas como solicitaciones sísmicas o fuerzas sísmicas, actúan sobre las estructuras y pueden causar daños o colapso. Estas solicitudes sísmicas se calculan utilizando métodos específicos de ingeniería sísmica y son esenciales para el diseño de estructuras resistentes a terremotos. (Decanini & Mollaioli, 2001). Para que soporte la estructura se debe tener en cuenta lo siguiente:

Ductilidad: Una estructura tiene ductilidad, lo que le permite absorber energía durante eventos sísmicos como terremotos. Una estructura que tiene la capacidad de deformarse plásticamente puede disipar energía a través de la deformación, lo que reduce la cantidad de energía transmitida a otras partes de la estructura y ayuda a prevenir el colapso catastrófico. Las estructuras más dúctiles pueden reducir las demandas sísmicas, como las fuerzas y los desplazamientos, en otras partes estructurales y no estructurales. Esto puede mejorar la resistencia sísmica de la estructura y reducir los daños durante un terremoto.

Resistencia: La estructura debe contar con la resistencia adecuada para poder soportar la combinación de cargas verticales y horizontales como las de viento o sismo. La resistencia del hormigón armado es buena, ya que el hormigón resiste a compresión y el acero resiste a tención por lo que hace que este elemento uno de los más utilizados en la construcción. (Wei, Li, Wu, Liu, & Fang, 2021)

Rigidez: Una estructura rígida sufrirá menos deformaciones bajo cargas aplicadas que una estructura menos rígida. La capacidad de una estructura para mantener su forma y resistir cargas sin deformarse demasiado se ve afectada por su rigidez. También, la rigidez de una estructura se compone de varias fuentes, incluida la rigidez de los materiales estructurales

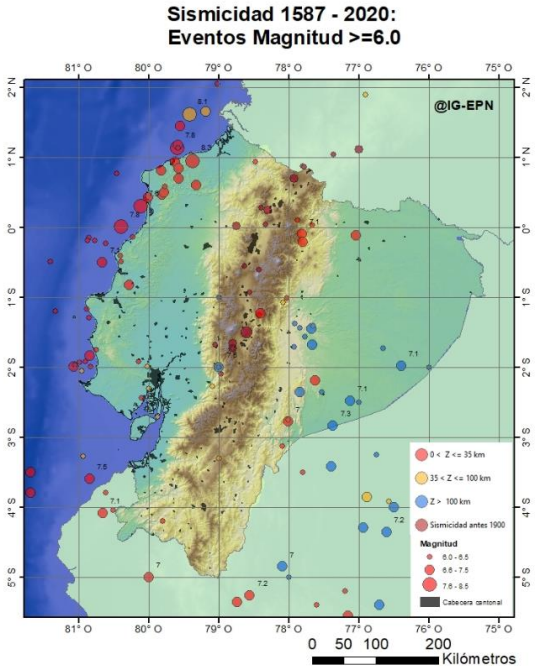
(como acero, concreto, madera, etc.), la geometría y disposición de los elementos estructurales y las conexiones entre los elementos. Pero un elemento que sea demasiado rígido puede sufrir colapsos inmediatos por lo que es necesario que el elemento tenga acero para mejorar su ductilidad.

2.1.5. Amenaza sísmica:

La amenaza sísmica se refiere al riesgo de que ocurran terremotos en una región geográfica en un período de tiempo específico. Se utilizan una serie de factores para evaluar esta amenaza, como la sismicidad histórica, la actividad sísmica actual, la ubicación de las fallas geológicas y otros datos geotécnicos y geológicos pertinentes. (Meroni & Zonno, 2000). Para el análisis de la sismicidad instrumental, requiere la revisión de los registros sísmicos y catálogos sísmicos (Fig.1) en una zona específica mediante los datos adquiridos y procesados con la ayuda de estaciones localizadas a lo largo del país (450 estaciones), las cuales están en funcionamiento para el monitoreo de la actividad volcánica y sísmica en el Ecuador, También la paleo sismología nos ayuda a buscar soluciones vinculadas con las fallas geológicas que se encuentran activas y los terremotos, dándonos información de eventos sísmicos ya pasados con sus características como la dimensión del sismo, tipo de falla geológica, el lugar del evento sísmico y las fallas que podrían o no generar terremotos. Las informaciones anteriores ayudan a estimar la probabilidad de que ocurran terremotos similares en el futuro.

FIGURA 1

MAPA DEL ECUADOR CON LA SISMICIDAD DESDE 1587 HASTA 2020



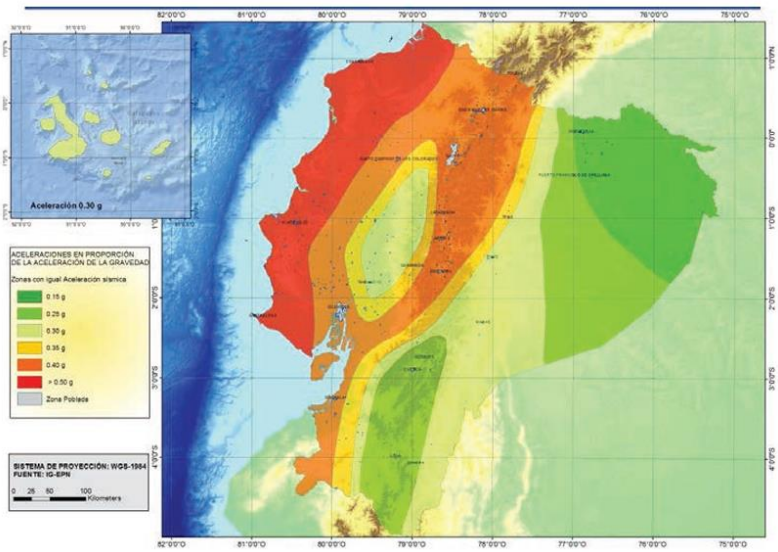
Nota: El mapa indica la sismicidad igual o mayor a 6 en magnitud desde el año 1587 al 2020, el mayor evento sísmico se presenta en la zona costera del Ecuador, ya que está relacionada a la zona de subducción y los de la sierra en la falla al interior del país. Adaptado de la sismicidad del Ecuador por Instituto Geofísico - EPN, 2022. (https://www.igepn.edu.ec/personal-sismologia/content/80-descargas). CC BY 2.0

De los eventos, el terremoto de Pedernales fue uno de los más catastróficos, este ocurrió el sábado 16 de abril del año 2016 en donde un sismo de magnitud Mw 4.8 se registró en Cojimíes a las 18H47 (hora local) el cual fue un sismo premonitor dando paso a un sismo de mayor magnitud el cual fue de Mw 7.8, en Pedernales, 11 minutos más tarde del primer terremoto. Este evento se convirtió en el más catastrófico del país en tiempos recientes causando 700 personas fallecidas, 7000 personas heridas, 22000 personas sin hogar y kilómetros de edificaciones destruidas o inhabitables, costando aproximadamente tres mil millones de dólares. (Jiménez & Moreno, 2021)

La actividad sísmica actual se refiere a los terremotos que ocurren en tiempo real en una región específica. Esto incluye el registro de terremotos recientes y el monitoreo continuo de terremotos a través de redes de estaciones sísmicas. La actividad sísmica actual puede indicar una amenaza sísmica inminente en una zona. Las áreas donde existe un alto riesgo de terremotos se conocen como zonas de peligro sísmico. Se utilizan modelos sísmicos y mapas de peligro sísmico para identificar estas áreas. Estos mapas tienen en cuenta una variedad de factores, incluida la sismicidad histórica, la actividad sísmica instrumental, la geología local y la tectónica de placas.

Figura 2

Amenaza sísmica y valor para el factor de zona Z, Ecuador.



Nota: Adaptado de las zonas con amenaza sísmica del Ecuador por la Norma NEC-SE-DS, 2015. (https://www.obraspublicas.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-nec-se-ds/). CC BY 2.0

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. (NEC-SE-DS, 2015)

Tabla 1

Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada, Ecuador.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota: Adaptado de los valores del factor Z debido a las diferentes zonas sísmicas por la Norma NEC-SE-DS, 2015. (https://www.obraspublicas.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-nec-se-ds/). CC BY 2.0

Mediante la información proporcionada por la norma NEC-SE-DS todo el territorio está considerado como amenaza sísmica alta, con las excepciones del Nororiente que está considerado como amenaza sísmica intermedia y el Litoral ecuatoriano el cual presenta una amenaza sísmica muy alta. (NEC-SE-DS, 2015)

2.1.6. Derivas y deriva máxima

La deriva máxima es el desplazamiento relativo más grande que se produce en cualquier punto de la estructura, mientras que la deriva se refiere al desplazamiento relativo entre dos puntos de la estructura. Se debe realizar primero el análisis dinámico de la estructura, donde el desplazamiento relativo máximo entre dos puntos de la estructura se determina. La deriva

máxima de este desplazamiento relativo es el porcentaje del desplazamiento lateral con respecto a la altura entre piso. Por ejemplo, si la deriva máxima es del 2%, significa que los dos puntos que se encuentra entre pisos se desplazan lateralmente un máximo de 2% de la altura que los separa. (Lejay & Pigato, 2018)

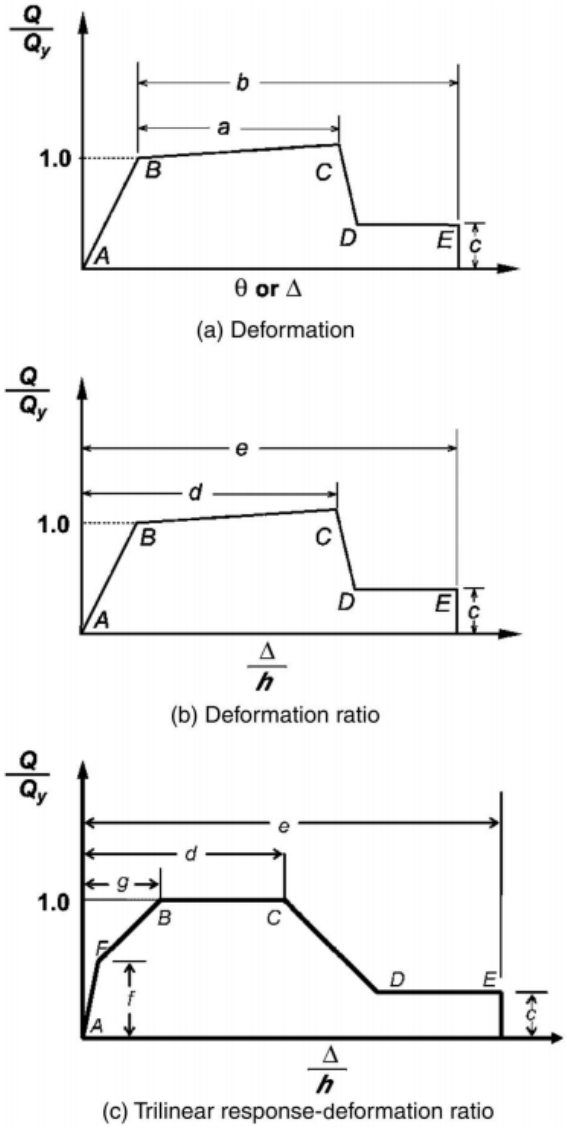
2.2 Principios de reforzamiento de vigas según la Norma ASCE 41-17

La norma ASCE 41-17 nos proporciona directrices y requisitos para la evaluación de vigas y el refuerzo que compone una edificación. El detalle en las conexiones debe ser adecuados para garantizar una transferencia efectiva de cargas y reducir los puntos débiles que podrían ser vulnerables durante un terremoto, asegurar de que las vigas estén conectadas adecuadamente a otros elementos estructurales, como columnas y losas. La importancia de evaluar la vulnerabilidad de la estructura en cada uno de sus elementos para identificar y corregir cualquier debilidad en las vigas, como fisuras, corrosión o daños previos, que puedan afectar su resistencia al terremoto. (Norma-ASCE41-17, 2017)

Según los parámetros especificados en el apartado 10.3.2.4 de la Norma ASCE 41-17, los componentes se clasifican como de bajo, moderado o elevada ductilidad.

Figura 3

Relación fuerza-deformación generalizada para elementos o componentes de hormigón



Nota: Adaptado de la relación fuerza-deformación (p.148) por la Norma ASCE 41-17, 2017, Structural Engineering Institute.

Para clasificar los componentes según su ductilidad requerida nos basaremos en la tabla 2, la cual clasifica la demanda de ductilidad de los componentes como baja, moderada o alta en función del valor máximo de la relación demanda capacidad (DCR), que se encuentra

actualmente en la sección 7.3.1.1 de la Norma ASCE 41-17. Para procedimientos no lineales, esta clasificación se basa en la ductilidad por desplazamiento.

La capacidad se refiere a la carga máxima que un elemento puede soportar antes de experimentar una falla o un colapso. Por lo tanto, es la resistencia máxima que la estructura puede ofrecer contra las fuerzas aplicadas. Las capacidades de los elementos dependerán del tipo de material y sus propiedades mecánicas, el reforzamiento longitudinal y transversal, y la forma que tendrá el elemento.

Demanda de ductilidad es la capacidad que tendrá un elemento para deformarse plásticamente en donde buscará distribuir las cargas y poder disipar la energía a la cual está sometida, a menor demanda de ductilidad la estructura puede volverse demasiado rígida, absorbiendo menos energía. Esto puede conducir a una transferencia de cargas más directa a los elementos estructurales.

Tabla 2

Clasificación - demanda de ductilidad para los componentes

Valor máximo de DCR o **Ductilidad por desplazamiento**	**Descripción**
< 2	Baja demanda de ductilidad
2 a 4	Demanda de ductilidad moderada
> 4	Alta demanda de ductilidad

Nota: Adaptado de la tabla de demanda de ductilidad (p.148) por la Norma ASCE 41-17, 2017, Structural Engineering Institute.

La tabla 3 que se muestra, ha sido obtenida de la tabla 10-7 de la norma ASCE 41-17, en donde se indica qué es una herramienta importante para los ingenieros estructurales qué se encuentran trabajando en la evaluación y el refuerzo de edificios existentes para poder mejorar su capacidad de resistir sismos al indicar reforzamientos y cuantías requeridas para hacer a los elementos estructurales más dúctiles.

Tabla 3

Parámetros de modelado y criterios Numéricos de Aceptación para procedimientos no lineales de vigas de hormigón armado.

			Modeling Parameters[a]			Acceptance Criteria[a]		
			Plastic Rotation Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle (radians)		
						Performance Level		
Conditions			*a*	*b*	*c*	IO	LS	CP
Condition i. Beams controlled by flexure[b]								
$\frac{\rho-\rho'}{\rho_{bal}}$	Transverse reinforcement[c]	$\frac{V^d}{b_w d\sqrt{f'_{cE}}}$						
≤0.0	C	≤3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤0.0	C	≥6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥0.5	C	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥0.5	C	≥6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤0.0	NC	≤3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤0.0	NC	≥6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥0.5	NC	≤3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥0.5	NC	≥6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear[b]								
Stirrup spacing ≤ *d*/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing > *d*/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span[b]								
Stirrup spacing ≤ *d*/2			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing > *d*/2			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam–column joint[b]			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

Note: f'_{cE} in lb/in.^{2} (MPa) units.
[a] Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.
[b] Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
[c] "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at ≤ *d*/3, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_s) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.
[d] *V* is the design shear force from NSP or NDP.

Nota: Adaptado de la tabla 10-7 de la norma ASCE 41-17, (p.150) por la Norma ASCE 41-17, 2017, Structural Engineering Institute.

La tabla 10-7 que nos menciona la norma establece los siguientes parámetros de evaluación como la Condición 1 que consiste en vigas controladas por flexión, la Condición 2 que consiste en vigas controladas por cizallamiento o corte, Condición 3 vigas controladas por el desarrollo o empalmes inadecuados a lo largo del tramo y por última la Condición 4 vigas controladas por inadecuado empotramiento en la unión viga-columna.

De las condiciones indicadas previamente el presente estudio se limitará a la evaluación del comportamiento de vigas controladas por flexión (condición 1) y no a las condiciones 2, 3 o 4 relacionada con los casos de vigas controlados por corte o donde existe inadecuado empalme de barras y/o empotramiento de vigas en los elementos estructurales.

En cada una de estas condiciones se tienen diferentes parámetros y criterios de aceptación que se deben considerar para realizar las diferentes evaluaciones en las vigas, como son las abreviaturas C y NC que nos indican que C es el refuerzo transversal conforme y el NC es el refuerzo transversal no conforme, también tenemos los parámetros de modelado los cuales nos dan los ángulo de rotación plástico y la relación de resistencia residual y por último tenemos los criterios de aceptación, donde se establecen distintos niveles de desempeño (IO,LS,CP) que serán explicados en el aparte 2.4 que se encuentra en el capítulo 2.

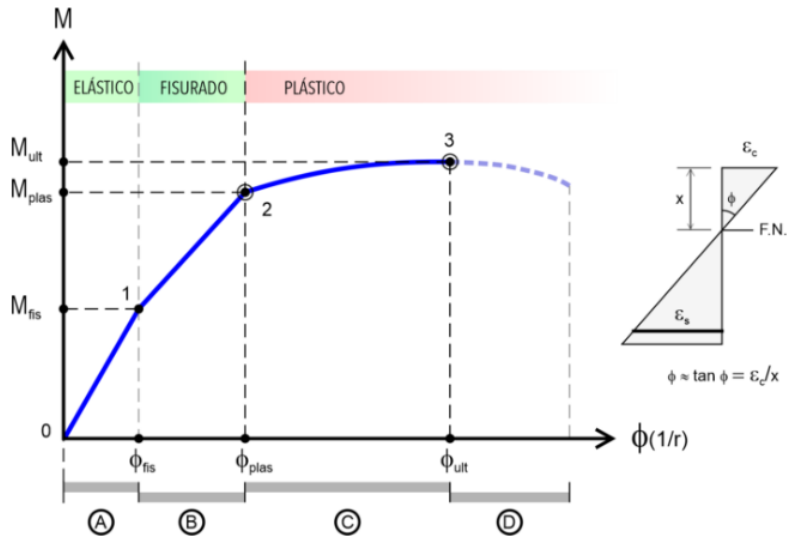
2.3 Diagrama momento – curvatura en vigas.

En la ingeniería estructural, el diagrama de momento-curvatura es una herramienta esencial para comprender el comportamiento de las vigas bajo carga, incluidas las cargas sísmicas. La resistencia y la rigidez de una viga dependerán de su geometría, configuración del armado y las propiedades de los materiales. El diagrama momento-curvatura relaciona el momento

flector vs la curvatura que tendrá la viga, esto nos ayuda a entender el comportamiento de la viga de forma no lineal. El momento flector nos indica como la sección rota o como se doblará debido a la carga aplicada, en cambio la curvatura nos muestra la deformación que tendrá nuestra viga, considerado como el radio invertido. El momento flector como también la curvatura están relacionados por la sección transversal de la viga. (Ortiz & Ledesma, 2020)

Figura 4

Relación momento-Curvatura.



Nota: Adaptado de la relación momento-curvatura por Ortiz A.- Ledesma R. (https://www.vortize.com/blog/diagramas-momento-curvatura/#:~:text=Se%20establece%20una%20correlaci%C3%B3n%20entre,ductilidad%20a%20nivel%20de%20secci%C3%B3n). CC BY 2.0

(A) – SECCIÓN NO FISURADA

Al comienzo del ciclo de carga la respuesta es perfectamente elástica y sin figuración del hormigón hasta el límite (1) en que el hormigón se fisura en su sector traccionado. Por lo tanto, en esta región la inercia de cálculo para las tensiones en la sección corresponde con la Inercia de la sección bruta. (Ortiz & Ledesma, 2020)

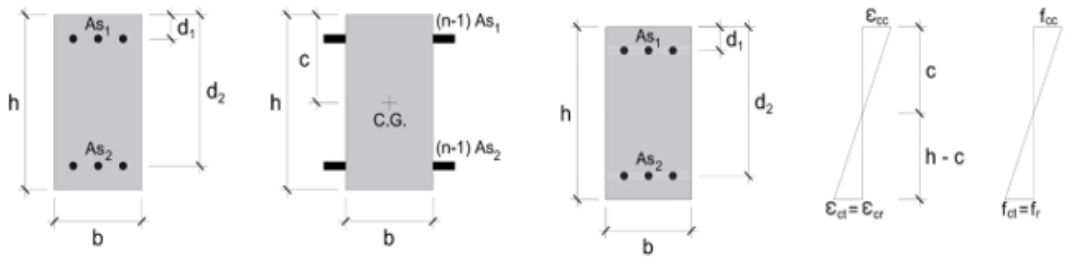
(B) – SECCIÓN FISURADA E INICIO DEL AGRIETAMIENTO

Esta región del diagrama comienza en el momento en que fisura el hormigón (1), por lo que hay una disminución de Inercia, que pasa a ser la Inercia de la sección fisurada y, por tanto, una disminución en la rigidez (módulo de Young) de la sección que se aprecia en una variación de la pendiente del tramo. La respuesta sigue siendo elástica. El límite de la región es el momento de plastificación de la armadura de acero (2). (Ortiz & Ledesma, 2020)

Para calcular el inicio del agrietamiento, el cual está conformado por el momento de agrietamiento y la curvatura por agrietamiento, se calculará mediante las siguientes fórmulas indicadas en la referencia de Erly Marvin Enriquez Quispe:

Figura 5

Inicio de la fluencia del acero a tracción



Nota: Adaptado del diagrama momento-curvatura por Erly Marvin Enriquez Quispe. (https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021).

CC BY 2.0. (Enriquez, 2018)

Ecuación 1

Momento de agrietamiento

$$Mcr = \frac{fr * I}{(h - c)}$$

Ecuación 2

Curvatura por agrietamiento

$$Øcr = \frac{\varepsilon cr}{(h - c)}$$

Nota: Adaptado del diagrama momento-curvatura por Erly Marvin Enriquez Quispe. (https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021).

CC BY 2.0. (Enriquez, 2018)

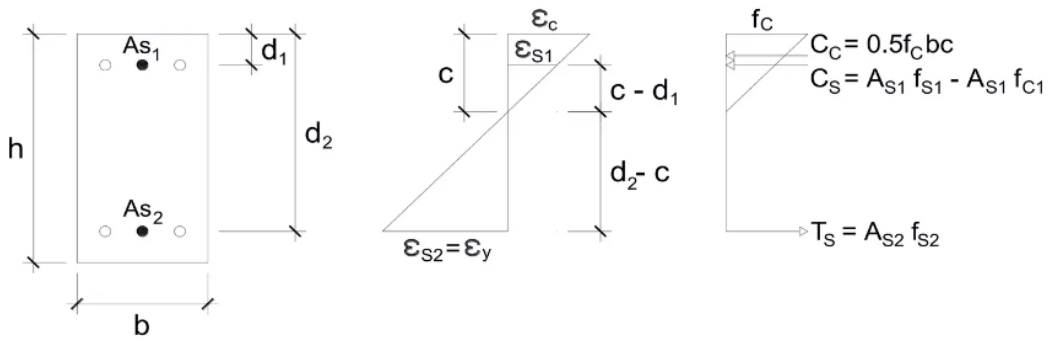
(C) – SECCIÓN PLASTIFICADA E INICIO DE LA FLUENCIA

Entramos en el rango de la deformación plástica que tendrá el acero y esta determinará el valor de ductilidad en una sección. La deformación en este tramo será permanente, formándose una rótula plástica en la sección y terminará en el valor máximo correspondiente al momento (Momento Último), se considerará que el elemento no volverá a su estado original, sin importar si la rotura es presentada debido al hormigón, acero o a ambos. (Ortiz & Ledesma, 2020)

Para calcular el inicio de la fluencia, el cual está conformado por el momento de fluencia y la curvatura de fluencia, se calculará mediante las siguientes fórmulas:

Figura 6

Inicio de la fluencia del acero a tracción



Nota: Adaptado del diagrama momento-curvatura por Erly Marvin Enriquez Quispe. (https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021).

CC BY 2.0. (Enriquez, 2018)

Ecuación 3

Momento de fluencia

$$My = Cc\left(\frac{h}{2} - \frac{c}{3}\right) + Cs\left(\frac{h}{2} - d'\right) + Ts\left(d - \frac{h}{2}\right)$$

Ecuación 4

Curvatura de fluencia

$$Øy = \frac{\varepsilon y}{(d - c)}$$

Nota: Adaptado del diagrama momento-curvatura por Erly Marvin Enriquez Quispe. (https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021).

CC BY 2.0. (Enriquez, 2018)

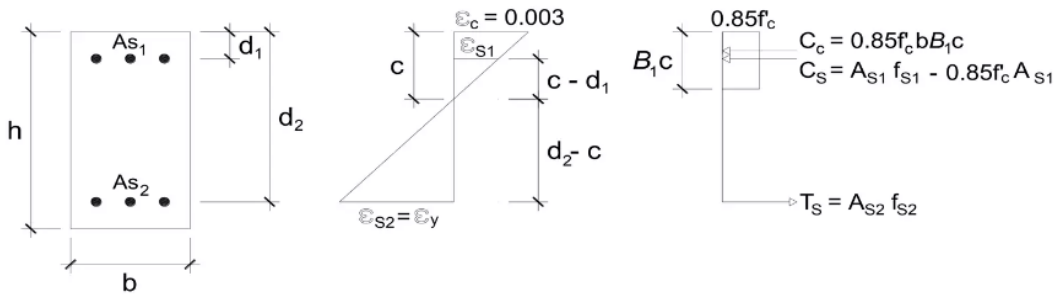
(D) – POST-ÚLTIMA (MARGINAL) O RESISTENCIA ÚLTIMA

La región de la resistencia última es el estado que tendrá nuestro elemento hasta llegar a su rotura, por lo que puede fallar por la separación de sus componentes sucediendo a ambos lados de la sección de nuestro elemento. En términos de diseño este parámetro no se le considera relevante a efecto de su resistencia, ya que se diseña con un valor menor al último. (Ortiz & Ledesma, 2020)

Para calcular la resistencia última, la cual está conformada por el momento último y la curvatura última, se calculará mediante las siguientes fórmulas:

Figura 7

Inicio del aplastamiento del concreto a compresión



Nota: Adaptado del diagrama momento-curvatura por Erly Marvin Enriquez Quispe. (https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021).

CC BY 2.0. (Enriquez, 2018)

Ecuación 5

Momento último

$$Mu = Cc\left(\frac{h}{2} - \frac{\beta 1 * c}{2}\right) + Cs\left(\frac{h}{2} - d'\right) + Ts\left(d - \frac{h}{2}\right)$$

Ecuación 6

Curvatura última

$$Øu = \frac{\varepsilon cu}{c}$$

Ecuación 7

Ductilidad de una sección sin confinar del concreto armado

$$\mu = \frac{Øu}{Øy}$$

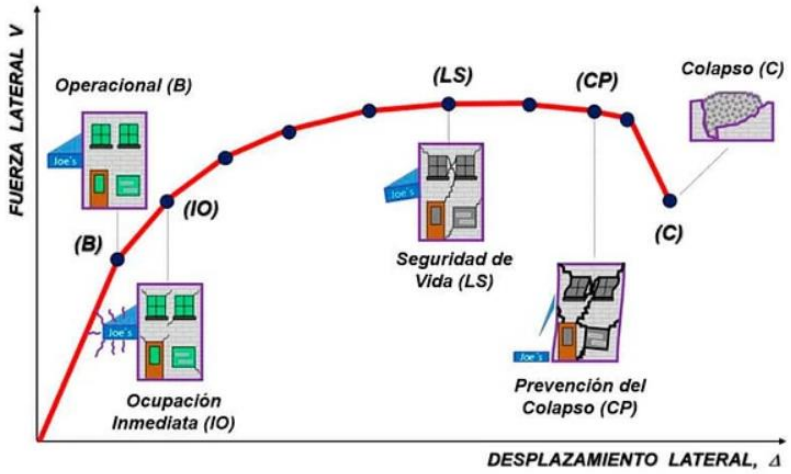
Nota: Adaptado del diagrama momento-curvatura por Erly Marvin Enriquez Quispe. (https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021). CC BY 2.0. (Enriquez, 2018)

2.4 Niveles de Desempeño Estructural.

La Norma ASCE 41-17 establece varios niveles de desempeño estructural para evaluar y clasificar la capacidad de un edificio existente para resistir cargas sísmicas. Estos niveles de desempeño sirven como base para comprender la seguridad y la funcionalidad de un edificio después de un terremoto.

Figura 8

Niveles de Desempeño Estructural



Nota: Adaptado de la revista técnica de Ingeniería y Arquitectura por Sísmica Magazine. (https://sismica-institute.com/diseno-sismico-por-desempeno/). CC BY 2.0.

2.4.1. Nivel de Desempeño Estructural de Ocupación Inmediata (IO - S1)

Se espera que una estructura que cumpla con los criterios de aceptación de esta norma para Ocupación Inmediata alcance el estado de daño posterior al terremoto en el que permanece segura para ser ocupada y esencialmente conserva su resistencia y rigidez al terremoto. Este estado de daño posterior al terremoto se conoce como Nivel de Desempeño Estructural de Ocupación Inmediata. (Norma-ASCE41-17, 2017)

2.4.2. Nivel de desempeño estructural de seguridad de vidas (LS – S3)

se define como el estado de daño posterior a un terremoto en el que una estructura tiene partes dañados, pero todavía tiene un margen de seguridad para evitar el colapso parcial o total. (Norma-ASCE41-17, 2017). La estructura después del evento tendrá que ser evaluada por un experto para saber si la estructura podrá ser habitada o no.

2.4.3. Nivel de Desempeño Estructural de Prevención de Colapso (CP – S5)

Se define como el estado de daño posterior a un terremoto en el que una estructura sufre daños en componentes y continúa soportando cargas de gravedad, pero no conserva la seguridad, ya que no cuenta con ningún margen contra el colapso. (Norma-ASCE41-17, 2017).

2.5 Rótulas plásticas en elementos tipo viga (longitud de la rótula plástica).

En el diseño estructural las rótulas plásticas funcionan en los elementos estructurales como vigas y columnas las cuales ayudan a controlar las fallas frágiles, ya que una de las características de las rotulas es disipar la energía por medio de la distribución de carga mejorando el rendimiento del elemento estructural. (Jiang, Jin, Yan, Li, & Lu, 2021)

La rótula plástica se utiliza en ingeniería estructural para modelar la parte de la viga que se comporta plásticamente bajo cargas sísmicas. La viga puede entrar en un estado plástico durante un terremoto cuando se aplica una carga alta. La viga sufre deformaciones permanentes en este estado, pero la capacidad de carga permanece constante.

La tabla 10-7 del ASCE 41-17 nos da una guía de especificaciones las cual podemos seguir en donde lo primero que se debe hacer es una correcta asignación de los refuerzos en cada viga y después se coloca las rótulas en los sitios donde se espera se alcance primero la cadencia del acero o la capacidad resistente de la sección. En el caso particular de vigas en voladizo ocurrirá en el extremo empotrado.

Las fibras sean en zona a compresión como a tracción de un elemento, si alcanza el estado plástico con ayuda de una articulación, teniendo una alta deformación en el material, esta producirá una rótula plástica. Cuando esto ocurre, se redistribuye el esfuerzo hacia los elementos que aún no han alcanzado su estado plástico. Sin embargo, es importante destacar que una vez que se forma la rótula plástica, esta será permanente, ya que los materiales que la componen se han plastificado y no se puede pasar a un estado elástico en ese momento. (Alzate & Villarraga, 2016).

También, las rótulas plásticas se pueden definir como mecanismos localizados en zonas específicas de los elementos estructurales que permiten la disipación de energía. Aparecen en el instante en que el momento al que es sometido la sección sobrepasa el momento plástico de dicha sección, el modelo de rótula plástica utiliza una relación momento curvatura, este modelo se utiliza para estimar el desplazamiento, toma en cuenta los efectos de la flexión y el deslizamiento en la zona de rótula plástica.

Para determinar los mecanismos de fractura de rótulas plásticas, el diseño de un pórtico a momento es esencial, para que los elementos puedan deformarse en varios ciclos sin perder resistencia ante las fuerzas verticales o laterales, para lograrlo se estima la demanda de deformación y se determinan los detalles necesarios empleando, para una colocación estratégica de rótulas plásticas, los efectos de cortante en las rótulas plásticas se producen por cortante en vigas donde se asume que las rótulas plásticas se forman en las caras de las juntas.

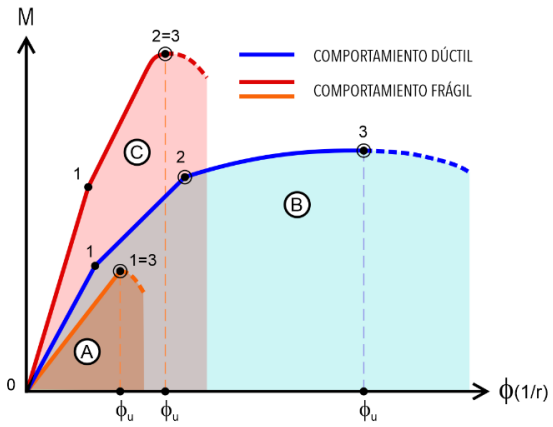
2.5.1. Configuraciones de rotura:

Dependiendo de la sección y la geometría de la viga, el diagrama momento-curvatura tiene tres puntos y tres zonas importantes que nos ayudaran a construir nuestra rotula, la zona elástica

muestra el rango que nuestra viga puede soportar sin llegar a una deformación permanente, en esta zona se presenta fisuras superficiales y su límite está determinado por el Momento de fisuración, para la zona de fisurado esta comienza en el momento de fisuración hasta el momento plástico y en esta zona la viga presenta deformaciones permanentes, en la zona plástica esta comienza en el momento plástico y termina en el momento último, en esta zona la viga corre el riesgo de colapsar y la viga sufre grandes deformaciones, estos punto y zonas se las puede apreciar en la figura 4.

Figura 9

Configuración de rotura dependiendo el diagrama momento-curvatura



Nota: Adaptado de la relación momento-curvatura por Ortiz A.- Ledesma R. (https://www.vortize.com/blog/diagramas-momento-curvatura/#:~:text=Se%20establece%20una%20correlaci%C3%B3n%20entre,ductilidad%20a%20nivel%20de%20secci%C3%B3n). CC BY 2.0

(A) ROTURA AGRIA. 1=3

Esta configuración de rotura se da cuando el punto de fisuración (1) coincide con la rotura (3) como se muestra en la figura 9, es decir pertenece a un Dominio 3ª. En donde se considera una situación de peligro porque la rotura en nuestro elemento se produce de manera. Esto puede suceder por que la sección a flexión del elemento tiene poco armado de lo recomendado. La forma de pasar de (A) a (B) es aumentar la cuantía de armadura al menos hasta la cuantía mínima que nos asegura evitar la rotura agria. (Ortiz & Ledesma, 2020)

(B) ROTURA DÚCTIL

Es el modo de rotura ideal de la sección, ya que rompe en dominio plástico tras una gran deformación y absorbe alta energía de deformación. El Dominios 2 y 3 considera cuantías con un armado intermedio y así logra una alta absorción de energía en las deformaciones. (Ortiz & Ledesma, 2020)

(C) ROTURA FRÁGIL 2=3

La rotula frágil es producida por la fisuración en el hormigón y nuestro elemento llega al límite elástico en el acero, esto produce que nuestro elemento se mantenga en un rango elástico sin lograr plastificar los elementos de nuestra viga. (Ortiz & Ledesma, 2020)

Este tipo de rotura correspondiente a Dominio 3, se da para altas cuantías de armadura, rompiendo la cabeza de compresión del hormigón antes que el acero. La mejor solución para pasar de (C) a (B) es aumentar el canto de la sección y/o introducir armadura de compresión. (Ortiz & Ledesma, 2020)

2.5.2. Definición de elementos que componen la rótula plástica:

2.5.2.1. Material de la viga. **-** La rótula estará compuesta por un tipo de material dependiendo la estructura, en nuestro caso la viga será de hormigón armado por lo que estará conformado de concreto y acero.

2.5.2.2. Sección transversal de la viga. **–** La longitud de la rótula plástica se verá afectada por la geometría de la sección transversal de la viga. Las rótulas plásticas serán más largas para las partes más delgadas o vulnerables.

2.5.2.3. Configuración de refuerzo. **–** El reforzamiento de la viga con barras de refuerzo o dispositivos de confinamiento puede aumentar la longitud de la rótula plástica al aumentar su resistencia y ductilidad.

2.5.2.4. Cargas y condiciones de carga. **–** La magnitud de la deformación plástica y la naturaleza de las cargas aplicadas a la viga, incluyendo las cargas sísmicas, determinarán la longitud de la rótula plástica.

2.6 Descripción y funcionamiento del software ETABS.

El software que utilizaremos para el análisis de nuestro elemento estructural es desarrollado por Computers and Structures, Inc. (CSI) se llama ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) y se utiliza ampliamente en ingeniería civil para realizar análisis y diseños de estructuras complejas.

Los ingenieros pueden analizar estructuras de edificios tanto estáticos como dinámicos con ETABS. También puede manejar una amplia gama de tipos de estructuras, desde edificios básicos hasta rascacielos complejos, gracias a su interfaz fácil de entender y sus potentes

habilidades de modelado. El programa utiliza una interfaz gráfica la cual es fácil de interactuar y permite a los usuarios modelar estructuras tridimensionales, aplicar cargas, realizar análisis y obtener resultados de manera eficiente.

2.6.1. Funcionamiento:

- **Modelado de la Estructura:** Los usuarios pueden construir modelos complejos ya que cuenta con las herramientas y ejes en tres dimensiones, logrando utilizar una amplia variedad de elementos, como vigas, columnas, losas, muros, etc. Además, ETABS permite importar modelos de otros programas de diseño asistido por computadora (CAD), como AutoCAD.
- **Definición de Propiedades:** Se definen las propiedades de los materiales, como la resistencia del concreto, el módulo de elasticidad del acero, etc., así como las propiedades geométricas de los elementos, como las secciones transversales de las vigas y las columnas, una vez que se ha creado el modelo.
- **Aplicación de Cargas:** Las cargas gravitacionales, las cargas de viento y las cargas sísmicas se las puede aplicar en el programa de acuerdo con los estándares y códigos de diseño pertinentes, ya que el programa te permite configurar dependiendo de la norma que utilice el usuario.
- **Análisis Estructural:** El análisis estructural en ETABS tiene una gran variedad de métodos de análisis como son los elementos finitos. También puede realizar análisis lineales y no lineales, estáticos y dinámicos, y análisis de respuesta espectral para cargas sísmicas.
- **Diseño de Estructuras:** El programa ETABS ofrece herramientas muy fáciles de utilizar para diseñar componentes estructurales de acuerdo a las

características de nuestro diseño estructural como son vigas y columnas. Esto incluye el diseño de componentes de acero, concreto armado y mampostería.

- **Generación de Informes y Resultados:** El software genera resultados dependiendo del análisis, los cuales incluyen fuerzas internas, desplazamientos, esfuerzos y deformaciones. Además, puede crear dibujos y diagramas para mostrar los resultados.

2.7 Revisión de literatura relevante sobre estudios similares.

- La amenaza sísmica en el Ecuador es relativamente alta por lo que es de suma importancia el elaborar estructuras estables para soportar eventos extremos como son los sismos. ¨Algunos esfuerzos se han realizado en los últimos años, dirigidos hacia la evaluación del riesgo sísmico de la ciudad, buscando alternativas viables hacia la prevención de desastres y la mitigación de futuras pérdidas por terremotos¨ (Yepéz, (2001))

- Durante el fenómeno natural de un sismo los elementos como las vigas dependerán de la capacidad a flexión de las rotulas plásticas las cuales han sido formadas, la capacidad a flexión en la rótula plástica se obtiene considerando la resistencia de los materiales y el armado de acero. (NEC-SE-HM, 2024)
- ¨ Las vigas son componentes estructurales que normalmente actúan a flexión, donde el valor de la longitud es más importante que las dimensiones de su sección¨. (Gordillo, 2016). por lo que la respuesta sísmica se ve afectada por la longitud, la altura y el ancho de la viga, así como por su ubicación dentro del

sistema estructural. Por ese motivo es esencial analizar cómo actúan las vigas en voladizo, por lo que es fundamental tener en cuenta estas características.

- El nivel de amenaza puede variar según la ubicación geográfica del edificio, las características del entorno circundante, el tipo de estructura, su función, su antigüedad y otros factores. Para reducir los riesgos y garantizar la seguridad de las personas y la propiedad, es esencial comprender el nivel de amenaza. (ATC-40, 1996)

- ¨ En su mayoría las vigas que conforman el sistema sismo resistente son vigas tipo banda, es decir tienen un espesor igual al de la losa que las contiene, de sección típica 40 cm X 30 cm. También, existen las vigas peraltadas con sección rectangular y distintas secciones las cuales pueden ser: 20 cm x 60 cm y 30 cm x 60 cm y 20 cm x 1.2 m.¨ (Torres & Vásquez, 2021). Nos indica que las dimensiones establecidas de las vigas son evaluadas con la misma norma que establecimos para nuestro trabajo, lo que diferencia es que nuestro trabajo estará orientado a el desempeño de las vigas en voladizo donde variaremos la longitud de la viga y el armado.

- ¨Los procedimientos de evaluación sísmica se basan en la estimación del desplazamiento lateral de la estructura, el uso de un procedimiento estático no lineal (NSP) como el método de coeficientes (CM) nos sirve para encontrar el punto de desempeño. Es necesario usar una metodología de evaluación por desempeño, ya que, esta permite obtener el comportamiento de una estructura ante diversos eventos sísmicos, lo que facilita reducir el riesgo y mejorar su

comportamiento, al igual que garantizar la resistencia a sismos menores sin causar Daños. ¨ (Abad & Maza, 2021). La tesis que propone Sofía Abad y Freddy Maza consiste en evaluar el desempeño de estructura para encontrar el punto de desempeño en una estructura por lo que el trabajo que se realizará se diferencia en que será orientado al estudio del desempeño de vigas en voladizo variando la cuantía de refuerzo y su longitud.

3. Metodología

3.1 Descripción del enfoque metodológico utilizado (estudio paramétrico).

A continuación, describiremos los procesos que se realizarán para obtener el estudio paramétrico que determinará cómo se comportarán los diferentes tipos de vigas que se modelarán. Estos procesos estarán relacionados con la metodología para su desarrollo.

Realización del Diagrama Momento-Curvatura: Para realizar el diagrama Momento-Curvatura utilizaremos una hoja de cálculo del programa Excel, en donde estará basado en la teoría planteada por el Ingeniero Erly Marvin Enriquez Quispe. El objetivo de realizar esta hoja de cálculo es facilitar los cálculos y poder comparar diferentes tipos de vigas con mayor exactitud. También, el realizar el diagrama momento-curvatura nos ayudará a conocer la ductilidad de la sección de la viga mediante el gráfico podremos observar las diferentes zonas antes de que llegue a fallar.

Diagrama Momento-Curvatura mediante la Norma ASCE 41-17 para la construcción de rótulas: Mediante el programa Excel se construirá una hoja de cálculo desarrollando los parámetros que nos brinda la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, la cual se puede encontrar

en la tabla 3 de este estudio. La tabla muestra condiciones que debemos evaluar, la primera consiste en que la cuantía inferior menos la cuantía superior y dividida sobre la cuantía balanceada, este resultado puede ser menor a cero o mayor a 0.5. Para la condición 2, la separación de los estribos debe ser menor que d/3, donde d es la distancia de la fibra superior de la viga hasta el centro de la varilla inferior. Si cumple esto, se le considera al refuerzo transversal conforme. También en la condición 2 se debe cumplir que la fuerza cortante debe ser mayor que (3/4) Vd., si cumple esto se le considera al refuerzo transversal conforme. Estos dos parámetros deben ser conformes para considerarlos conformes. Si uno de los dos no es conforme, se le considera al refuerzo transversal no conforme. Para la condición 3 la fuerza Vd (corte de diseño) dividida para el ancho y multiplicado por d y por la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto, este valor podrá ser menor a 0.25 o mayor a 0.5, a continuación, se muestra las condiciones mediante fórmulas.

Condición 1: $\frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \leq 0$ o $\frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \geq 0.5$

Condición2: $Vs \geq (3/4)*Vd$ si cumple conforme

S(cm)Separación $\leq$ d/3 si cumple conforme

Condición 3: $\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \leq 0.25$ o $\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \geq 0.5$

Variables:

ρ: Cuantía de Acero superior donde tendremos tracción

ρ': Cuantía de Acero inferior donde tendremos compresión

ρbal: Cuantía de Acero balanceado

Vs: Resistencia al corte del Acero

Vd: Corte actuante mayorado o de Diseño

bw: Ancho de la viga

d: Peralte efectivo

f'ce: Resistencia a la compresión del concreto

Realizando esta hoja de cálculo podremos construir el diagrama momento curvatura con los parámetros establecidos en la norma. Esto nos ayudará a determinar el momento en la cadencia, el momento último y la ductilidad de la viga a través de los valores de rotación que alcanza la viga en cada uno de esos estados para ser implementados en el programa ETABS.

Distintos modelos de vigas en voladizo: en este proceso se realizará las distintas modelaciones en donde se variará los componentes de la viga como sus dimensiones, en donde se busca simular los distintos casos que presenta la tabla 10.7 de la norma ASCE 41-17, podremos variar su armado y sus dimensiones como el ancho y la altura.

Modelado en ETABS: para la modelación de las distintas vigas en voladizo se implementará el programa ETABS en donde se tendrá presente 3 casos, el primero consiste en analizar la viga sin considerar rótula plástica, en el segundo caso se considerará la rótula plástica mediante el análisis automático del programa y, por último, el tercer caso se considerará la rótula plástica utilizando un método personalizado en el cual se cargarán los datos obtenidos mediante la tabla 10.7 de la norma ASCE 41-17. En la modelación cabe recalcar que se tendrá en cuenta la geometría de la viga, aplicación de carga, especificaciones del material y el armado que tendrá cada viga.

Simulación y análisis: Para cada combinación de parámetros establecidos en la modelación, se realizan simulaciones numéricas en ETABS. Los resultados, como deformaciones, momentos, capacidades de carga y ductilidad, se registran y analizan durante estas simulaciones con el objetivo de observar sus comportamientos a los distintos casos ya mencionados anteriormente.

Evaluación del Desempeño: Se utilizan los criterios de la norma ASCE 41-17 para evaluar el desempeño de cada viga reforzada conjuntamente con los distintos casos de su modelación, los cuales ya fueron mencionados anteriormente, y observar las diferencias que tienen con relación a sus componentes.

3.2 Definición de las variables y parámetros de estudio.

Las variables y parámetros que se mencionarán a continuación están dadas por la norma ASCE 41-17 y la teoría que engloban al diagrama momento-curvatura.

f'c: resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm^2)

fy: fluencia del acero (kgf/cm^2)

Es: módulo de elasticidad del acero (kgf/cm^2)

As: área de acero en tracción (cm^2)

A's: área de acero en compresión (cm^2)

b o bw: base (ancho de la viga) (cm)

h: peralte bruto (altura) (cm)

d: peralte efectivo de acero a tracción (cm)

d': peralte efectivo del acero a compresión (cm)

εcu: deformación unitaria última del concreto

Ec: módulo de elasticidad del concreto (kgf/cm2)

n: relación de módulos

c: profundidad del eje neutro (cm)

I: momento de inercia de la sección (cm4)

fr: esfuerzo de agrietamiento del concreto (kgf/cm2)

Mcr: momento de agrietamiento (tonf-m)

εcr: deformación de agrietamiento del concreto a tracción (mm/mm)

Øcr: curvatura por agrietamiento

εy: deformación de fluencia del acero (cm/cm)

εc: deformación de agrietamiento del concreto a tracción.

ε's: deformación del acero a compresión

fc: esfuerzo del concreto a la compresión no confinado (kgf/cm2)

f's: esfuerzo del acero a compresión (kgf/cm2)

f"c1: esfuerzo del concreto en la fibra del acero a compresión (kgf/cm2)

Cc: Fuerza de compresión del concreto (kgf)

Cs: Fuerza de compresión del acero (kgf)

Ts: Fuerza de tracción del acero (kgf)

My: Momento de fluencia (tonf-m)

Øy: Curvatura de fluencia

β1: Factor del bloque rectangular de esfuerzos

b1: coeficientes de la cuadrática

b2: coeficientes de la cuadrática

b3: coeficientes de la cuadrática

Mu: Momento último (tonf-m)

Øu: Curvatura última

μ: Ductilidad de una sección de concreto armado sin confinar

a: profundidad del bloque a compresión

Φ DI: Diámetro de las varillas inferiores

Φ DS: Diámetro de las varillas superiores

N: Número de varillas inferiores

N': Número de varillas superiores

ρi: Cuantía de Acero superior

ρs: Cuantía de Acero inferior

ρt: Cuantía de Acero total

At: área de acero total

C: Refuerzo Transversal Conforme

NC: Refuerzo Transversal No Conforme

ρ: Cuantía de Acero superior donde tendremos tracción

ρ': Cuantía de Acero inferior donde tendremos compresión

ρbal: Cuantía de Acero balanceado

Vs: Resistencia al corte del Acero (tonf)

Vd: Corte actuante mayorado o de Diseño (tonf)

d: Peralte efectivo de acero a tracción (cm)

f'ce: Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm^2)

e: Diámetro de Estribos (cm)

r: Recubrimiento (cm)

L: Longitud de la viga (m)

P: Carga aplicada a la viga (tonf) para alcanzar por flexión la cadencia del acero.

Msr: Momento calculado sin rotula (tonf-m)

δsr: Deformación calculado sin rotula (mm)

Mrg: Momento calculado con rotula genérica (tonf-m)

δrg: Deformación calculado con rotula genérica (mm)

Mrm: Momento calculado con rotula modificada (tonf-m)

δrm: Deformación calculado con rotula modificada (mm)

3.3 Detalles sobre la selección de las variantes de reforzamiento y los criterios de análisis.

Para la selección de las diferentes variantes de reforzamiento que tendrán nuestras vigas, dependeremos de la norma ASCE 41-17, en donde asignaremos los diferentes reforzamientos con el objetivo de que pueda cumplir con las condiciones que propone la tabla 10.7, la cual tiene 8 casos distintos, en donde serán analizados mediante las condiciones ya mencionadas en el literal 3.1. Estas variantes de reforzamiento estarán variando el armado que tendrá la viga, las dimensiones de la viga como son el ancho y la altura, el espaciamiento que tendrán las barras, la cantidad de acero que tendrá y la configuración del armado.

Las variantes de reforzamiento que se establecerán deberán abarcar una gran capacidad de carga y niveles de deformación para poder evaluar su desempeño bajo diferentes tipos de cargas. Para permitir una evaluación completa del comportamiento estructural, se pueden elegir variantes que proporcionen diferentes niveles de resistencia y ductilidad.

Para el análisis de las distintas variantes que tendremos en las diferentes vigas, se deberá realizar un análisis utilizando el programa ETABS, el cual es muy preciso para evaluar los

efectos que tendrá nuestra viga. Estos valores serán comparados con las diferentes configuraciones que estaremos analizando para observar su comportamiento.

3.4 Explicación del proceso de modelado y simulación en ETABS.

Creación del modelo estructural:

- Se define primero la geometría de la estructura como la base y altura de las distintas vigas que serán objeto de estudio.
- Se definen las propiedades del material que estarán presentes en nuestras vigas, como es el concreto y el acero de refuerzo.
- Se coloca las restricciones de apoyo en un lado de las vigas sabiendo que estaremos simulando una viga en voladizo.

Detallado de las vigas:

- Se coloca en las propiedades del material el área de acero a tracción y a compresión para simular el reforzamiento de los distintos casos de nuestra viga.

Asignación de Propiedades del Material y Refuerzo:

- Se asignan la resistencia a la compresión y tracción del concreto. también la resistencia y módulo de elasticidad del acero de refuerzo en los distintos casos.

Definición de Cargas y Restricciones:

- Se aplicarán cargas estáticas para observar los momentos de empotramiento, la deformación o flecha máxima, momento último, ductilidad y desempeño que es capaz de desarrollar la sección.
- La restricción en el extremo de nuestros diferentes casos de modelación se considerará como una viga empotrada la cual no tendrá desplazamiento ni rotaciones en ningún eje en ese punto en específico ya que se quiere simular una viga en voladizo.

Configuración de análisis y simulación:

- Se determina el tipo de rótula a utilizar como puede ser una generada por el mismo programa o una creada por el usuario, la cual se puede modificar con parámetros realistas atendiendo a la Norma ASCE 41-17 y el diagrama momento-curvatura.

Ejecución del análisis:

- Para cada combinación de parámetros que se definen en el estudio paramétrico, se utiliza el análisis en ETABS.
- Las deformaciones, momentos, desplazamientos y capacidades de carga de las vigas se registran y almacenan durante el análisis.

Interpretación de Resultados:

- Los resultados del análisis se utilizan para evaluar el desempeño y el comportamiento de las vigas según los distintos casos propuestos por la Norma ASCE 41-17.
- Los resultados se comparan con los criterios y desempeño que se especifica en la Norma ASCE 41-17 para determinar si las vigas cumplen con los requisitos de resistencia y ductilidad.

3.5 Plan de análisis y evaluación de resultados.

Para el análisis de los resultados se tomarán en cuenta varios parámetros, los cuales nos guiarán para que los resultados sean entendibles y poder analizar de mejor manera el fenómeno que provoca cada uno de nuestros modelos. A continuación, se presentarán los parámetros a tener en cuenta para el análisis de resultados.

Preparación de Datos:

- Una revisión detallada de los resultados de las simulaciones de ETABS para cada combinación de variantes de refuerzo.
- Para facilitar el análisis, es esencial comparar, organizar y estructurar los datos mediante una tabla que sea explicada correctamente.

Análisis Cualitativo:

- Evaluación visual de modelos estructurales para identificar patrones de comportamiento, como zonas de concentración de tensiones, deformaciones significativas o fallas potenciales.

Análisis Cuantitativo:

- Compara las capacidades de carga última, las deformaciones máximas, los desplazamientos laterales máximos y la ductilidad de las vigas reforzadas.

Validación con Normativa:

- Verificar que los resultados cumplan con los requisitos de desempeño y diseño de la Norma ASCE 41-17.
- Identificando las variantes de refuerzo que cumplen con los requisitos de seguridad y ductilidad establecidos en la norma.

Identificación de Variantes Óptimas:

- Seleccionando las variantes de refuerzo que brinden la mejor capacidad de carga, deformaciones controladas y ductilidad.

Documentación y Presentación de Resultados:

- Elaborar un cuadro técnico detallado que explique los hallazgos del estudio paramétrico, incluyendo una descripción de los datos obtenidos, el análisis realizado y las diferencias que tendrán los distintos modelos.
- Preparar presentaciones visuales para comunicar los resultados del estudio a los interesados y tomadores de decisiones.

4. Desarrollo del Estudio

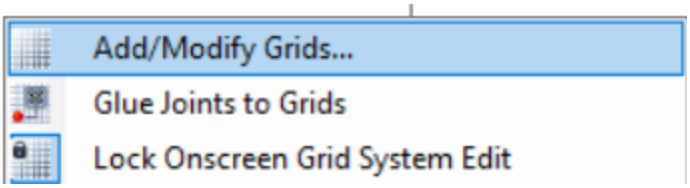
4.1 Proceso de modelado de las vigas en ETABS.

Para realizar el proceso de modelación de los diferentes tipos de viga tomaremos en cuenta los parámetros y pasos recomendados por el manual ETABS v19.1. En donde principalmente es necesario definir las propiedades de los materiales y la dimensión de las vigas. A continuación, mostraremos los pasos que se realizaron para la modelación de la viga:

1. Construir la grid: que es la cuadrícula en donde servirá de guía para modelar nuestras vigas, para eso damos clip derecho y damos en la opción Add/Modify Grids como se muestra en la imagen

Figura 10

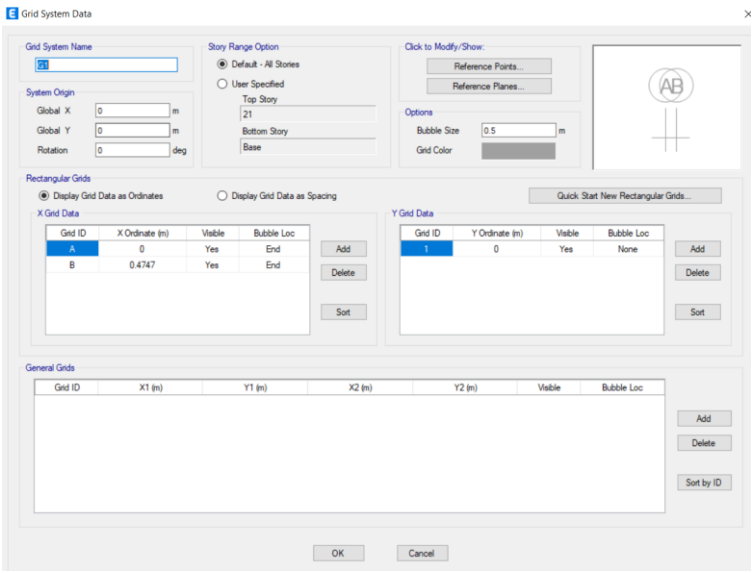
Creación de la Cuadrícula



Entrando en la opción Add/Modify Grids nos sale un cuadro con opciones para crear las diferentes líneas y pisos que necesitaremos en el eje X, Y y Z, Mediante la creación de la cuadrícula podremos poner la longitud que tendrá nuestra viga. A continuación, mostraremos una imagen con la creación de la cuadrícula.

Figura 11

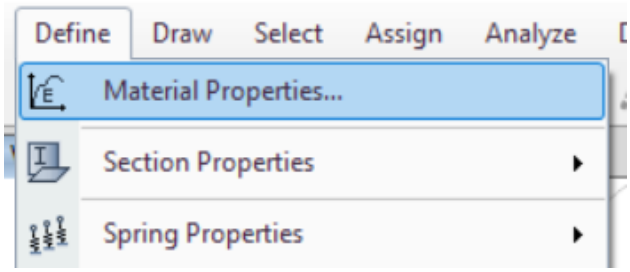
Dimensionar la Cuadricula.



2. Propiedades del Material: para realizar este parámetro nos dirigimos a la opción Define y damos en la opción Material Properties (Figura 12)

Figura 12

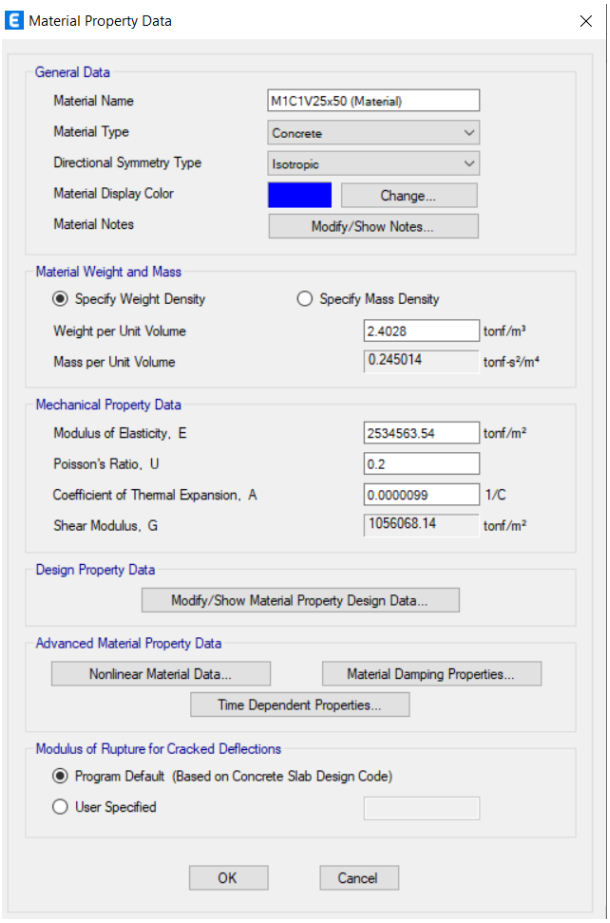
Opción para definir las propiedades del material



Entrando en la opción para definir las propiedades del material nos sale una ventana en donde podemos elegir materiales ya creados o crear nuestro propio material con sus propiedades. Elegimos crear nuestro propio material y nos sale otra ventana con parámetros a poder modificar (Figura 13).

Figura 13

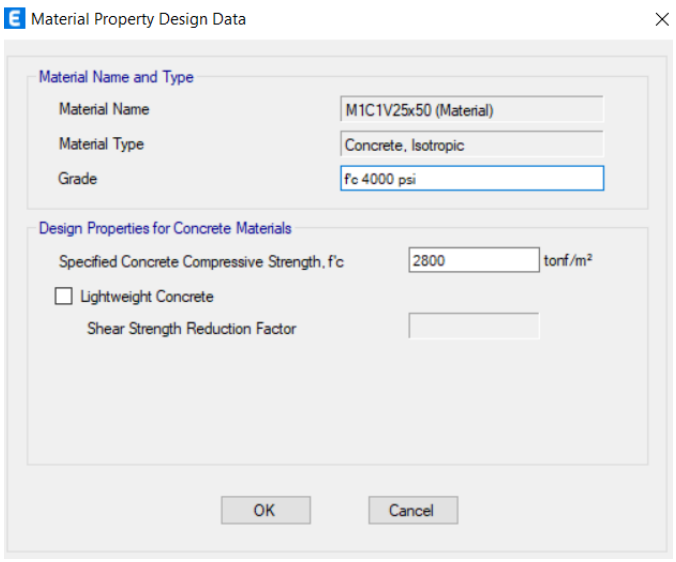
Propiedades del material



En la opción (Modify/Show Material Propesty Design Data) nos saldrá otra ventana en donde podremos cambiar el f’c (Resistencia a la compresión del concreto) de nuestra viga. (Figura 14)

Figura 14

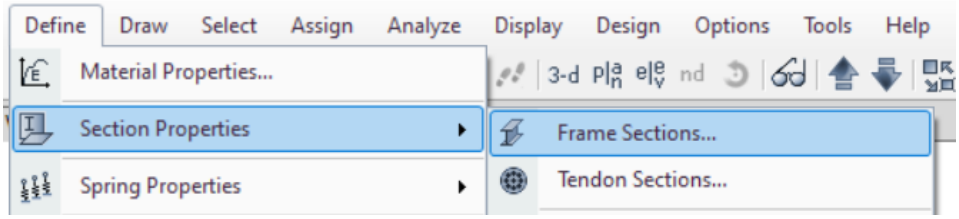
Propiedades del Material f'c (Resistencia a la compresión del concreto)



3. Dimensión de la viga: para las dimensiones entraremos en la opción Define y en Section Properties, por último, Frame Sections como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

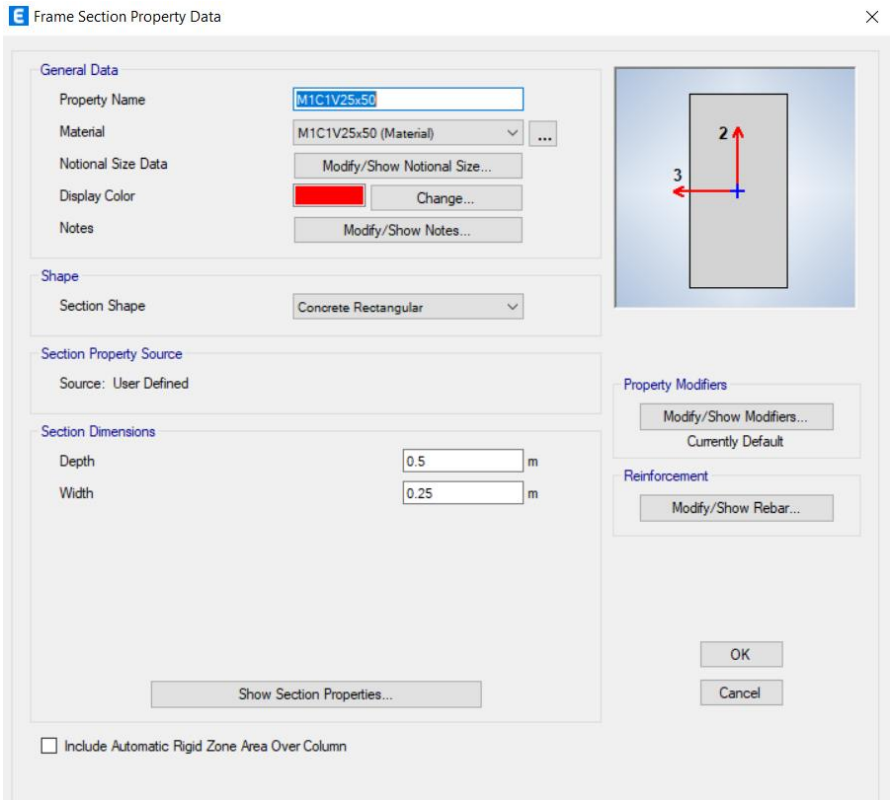
Sección del elemento



Entrando en la opción Frame Sections, nos saldrá una ventana con diferentes secciones en donde elegiremos la de concreto rectangular y después podremos poner las dimensiones de nuestra viga, las propiedades del material que ya creamos, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

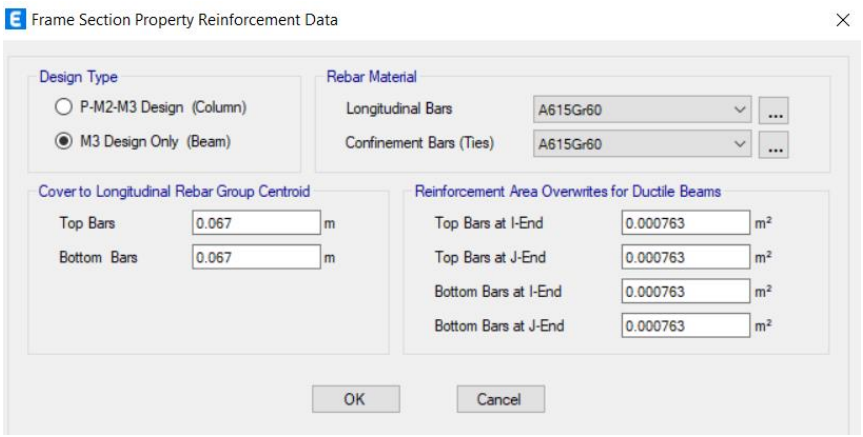
Dimensiones de la viga



Como estaremos modelando diferentes vigas con sus diferentes armados, es necesario modificar las propiedades de reforzamiento y esto lo podemos hacer entrando en la opción Reinforcement de la Figura 16. Después nos saldrá una ventana en donde podremos elegir la opción de viga, cambiar el recubrimiento y las áreas de acero a tracción y compresión. (Figura17).

Figura 17

Reforzamiento de las vigas y su recubrimiento.



4. Dibujar la viga: Por último, dibujamos la viga por medio de la opción Quick Draw Beams/Columns (Figura 18), seleccionamos nuestro material ya creado anteriormente y marcamos en la cuadrícula para finalmente crear nuestra viga.

Figura 18

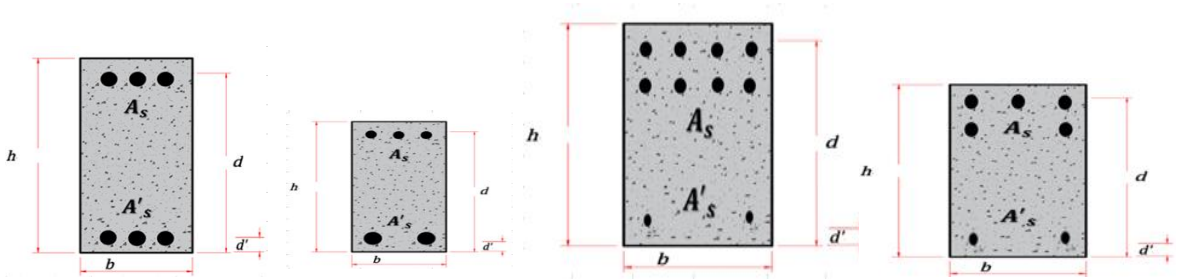
Creación elementos estructurales en Etabs.



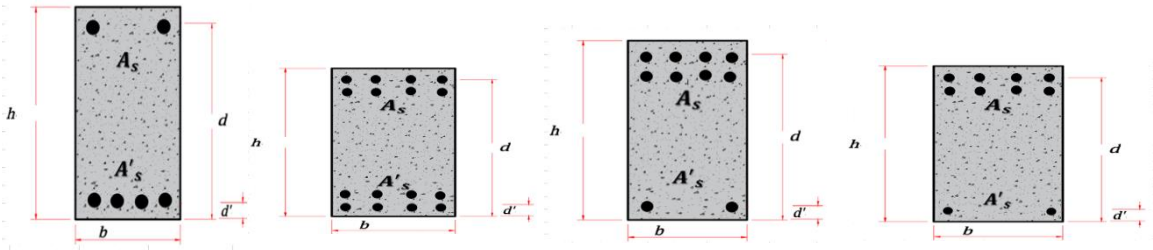
4.2 Modelos e implementación de las variantes de reforzamiento.

Para una correcta comparación de los casos que nos presenta la Norma ASCE 41-17 mediante la tabla 10.7, se realizará a continuación 2 modelos de cada uno de esos casos, estos modelos variarán en sus dimensiones y la distribución de su armado. A continuación, presentaremos los modelos con sus características:

Modelo 1

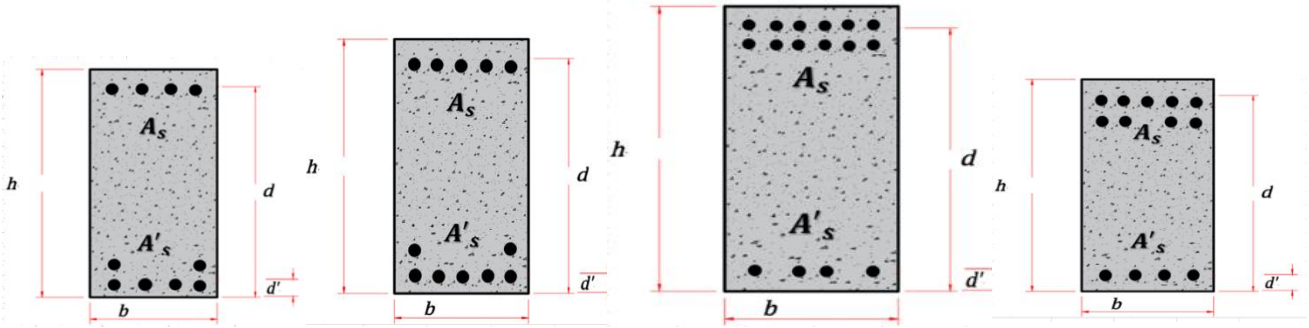


Caso1 Caso2 Caso3 Caso4

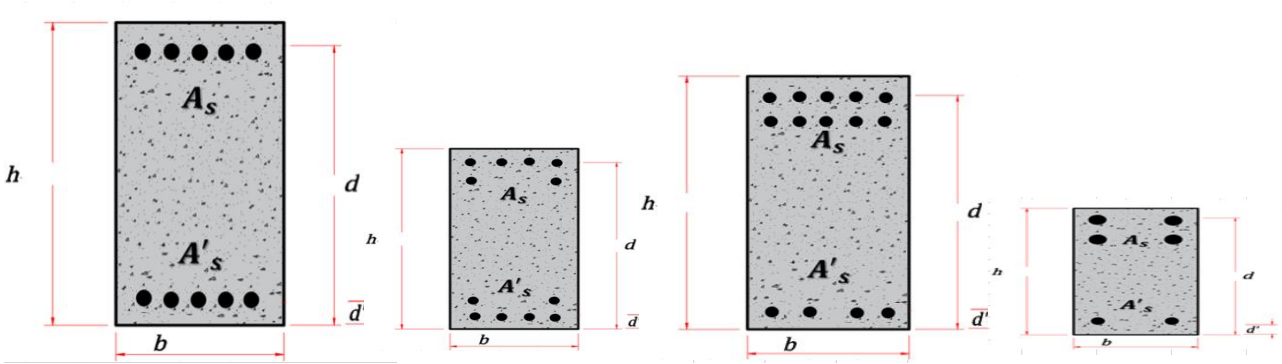


Caso5 Caso6 Caso7 Caso8

Modelo 2



Caso1 Caso2 Caso3 Caso4



Caso5 Caso6 Caso7 Caso8

Datos de los distintos modelos:

Tabla 4

Especificaciones del modelo 1 y sus diferentes casos.

Datos de los distintos Casos en el Modelo 1									
Modelo 1	f'c (kgf/cm2)	fy (kgf/cm2)	Es (kgf/cm2)	As (cm2)	A's (cm2)	b o bw (cm)	h (cm)	d (cm)	d' (cm)
Caso1	280	4200	2.00E+06	7.63	7.63	25	50	43.3	6.7
Caso2	210	4200	2.00E+06	4.62	5.09	25	30	23.5	6.7
Caso3	210	4200	2.00E+06	25.13	2.26	40	60	52.2	6.4
Caso4	210	4200	2.00E+06	15.71	2.26	35	40	32.2	6.4
Caso5	210	4200	2.00E+06	4.02	8.04	30	60	53.4	6.6
Caso6	210	4200	2.00E+06	16.08	16.08	30	40	32.4	6.6
Caso7	240	4200	2.00E+06	20.36	4.02	30	50	42.3	6.6
Caso8	210	4200	2.00E+06	16.08	4.02	30	40	32.4	6.6

Tabla 5

Especificaciones del modelo 2 y sus diferentes casos

Datos de los distintos Casos en el Modelo 2									
Modelo 2	f'c (kgf/cm2)	fy (kgf/cm2)	Es (kgf/cm2)	As (cm2)	A's (cm2)	b o bw (cm)	h (cm)	d (cm)	d' (cm)
Caso1	280	4200	2.00E+06	10.18	15.27	30	60	53.3	6.7
Caso2	210	4200	2.00E+06	12.72	17.81	40	65	58.3	6.7
Caso3	210	4200	2.00E+06	37.7	6.16	45	70	62.2	6.5
Caso4	210	4200	2.00E+06	22.9	4.52	40	50	42.3	6.4
Caso5	210	4200	2.00E+06	10.5	10.5	40	80	73.4	6.6
Caso6	210	4200	2.00E+06	8.04	12.06	30	40	32.4	6.6
Caso7	210	4200	2.00E+06	31.42	8.04	40	60	52.2	6.6
Caso8	210	4200	2.00E+06	12.57	4.02	25	25	17.2	6.6

Datos de las variantes de reforzamiento:

Tabla 6

Especificaciones de reforzamiento del modelo 1 y sus diferentes casos

.

Datos de las variantes de reforzamiento en distintos Casos en el Modelo 1								
Modelo 1	Φ DS (cm)	Φ DI (cm)	N	N'	e (cm)	r (cm)	L (m)	P (tnf)
Caso1	1.8	1.8	3	3	0.8	5	0.50113	25
Caso2	1.4	1.8	3	2	0.8	5	0.21363	19
Caso3	2	1.2	8	2	0.8	5	1.38156	35
Caso4	2	1.2	5	2	0.8	5	0.5123	36
Caso5	1.6	1.6	2	4	0.8	5	0.56016	15
Caso6	1.6	1.6	8	8	0.8	5	0.62389	30
Caso7	1.8	1.6	8	2	0.8	5	1.56801	20
Caso8	1.6	1.6	8	2	0.8	5	0.62683	30

Tabla 7

Especificaciones de reforzamiento del modelo 2 y sus diferentes casos.

Datos de las variantes de reforzamiento en distintos Casos en el Modelo 2								
Modelo 2	Φ DS (cm)	Φ DI (cm)	N	N'	e (cm)	r (cm)	L (m)	P (tnf)
Caso1	1.8	1.8	4	6	0.8	5	0.51785	40
Caso2	1.8	1.8	5	7	0.8	5	0.37868	75
Caso3	2	1.4	12	4	0.8	5	1.56724	55
Caso4	1.8	1.2	9	4	0.8	5	0.64511	55
Caso5	1.6	1.6	5	5	0.8	5	0.63918	45
Caso6	1.6	1.6	6	6	0.8	5	0.47475	30
Caso7	2	1.6	10	4	0.8	5	1.99874	30
Caso8	2	1.6	4	2	0.8	5	0.53113	14

Variables:

f'c: resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm^2)

fy: fluencia del acero (kgf/cm^2)

Es: módulo de elasticidad del acero (kgf/cm^2)

As: área de acero en tracción (cm^2)

A's: área de acero en compresión (cm^2)

b o bw: base (ancho de la viga) (cm)

h: peralte bruto (altura) (cm)

d: peralte efectivo de acero a tracción (cm)

d': peralte efectivo del acero a compresión (cm)

Φ DI: Diámetro de las varillas inferiores

Φ DS: Diámetro de las varillas superiores

N: Número de varillas inferiores

N': Número de varillas superiores

e: Diámetro de Estribos (cm)

r: Recubrimiento (cm)

L: Longitud de la viga (m)

P: Carga aplicada a la viga (tonf) para alcanzar por flexión la cadencia del acero.

4.3 Simulación de cargas y ejecución de análisis estructural.

Realizando el modelado de las diversas vigas en voladiza mediante el programa ETABS como anteriormente ya se explicó el procedimiento, tenemos que tener en cuenta las cargas a que estarán sometidas nuestras vigas, como también la construcción de la rótula para así poder examinar su comportamiento.

Para las cargas que se implementarán en nuestros modelos será una carga puntual en el extremo de la viga en voladizo en donde sé ira variando, logrando conseguir diferentes deformaciones y momentos en nuestra viga en voladizo. Tenemos que tener en cuenta que analizaremos de tres forma nuestra viga, la primera forma es cuando se encuentra sin ningún tipo de rótula, en donde la carga se la considerara que actúa en una viga de comportamiento lineal y elástico, en la segunda forma a nuestra viga se le generara una rótula automática que el programa ETABS coloca por defecto, la cual está basada en la Norma ASCE 41-17, en la segunda forma se considerará que las cargas actúan en una viga que posee un comportamiento no lineal, para la última forma, a nuestra viga se le pondrá una rótula modifica la cual está elaborada mediante

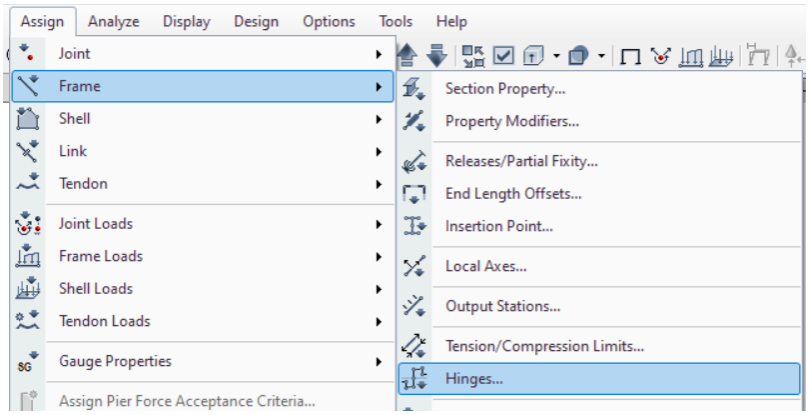
los parámetros que muestra la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, en esta última forma se considera que la cargas actúan en una viga que posee un comportamiento no lineal.

Proceso de la creación de rótulas mediante el programa ETABS:

- Rotula Automática: para la creación de la rótula automática seleccionamos nuestro elemento que será nuestra viga y nos dirigimos a la opción Assign después a frame y por ultimo Hinges (Figura 19).

Figura 19

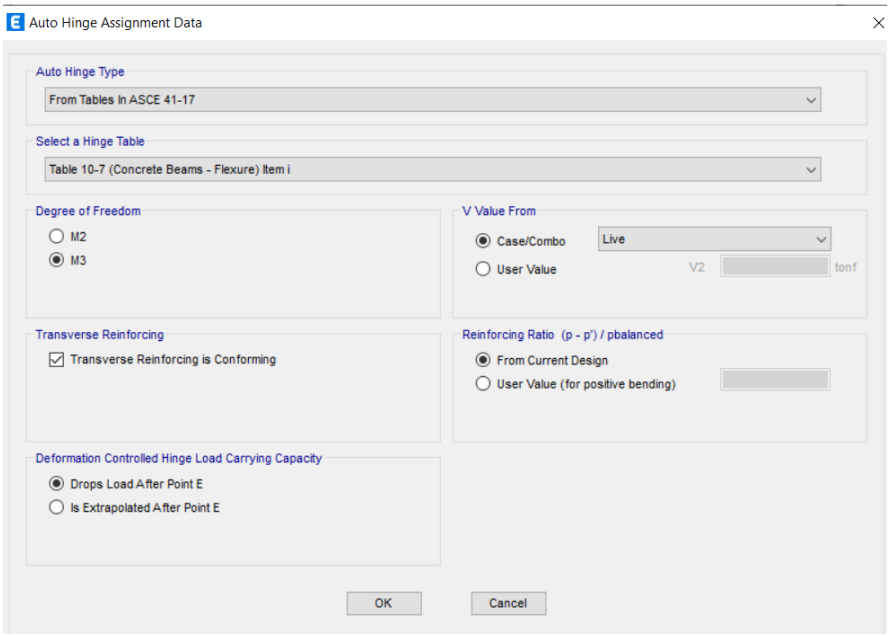
Procedimiento en la creación de la rótula automática



Marcando la opción Hingers se nos mostrará una ventana para crear una nueva rótula automática, eligiendo esa opción se nos aparecerá otra ventana la cual nos preguntara características de nuestra rótula como su carga, si es conforme o no conforme, si queremos extrapolar después del punto final que es el E y varios parámetros más que se relacionan a la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17. (Figura 20)

Figura 20

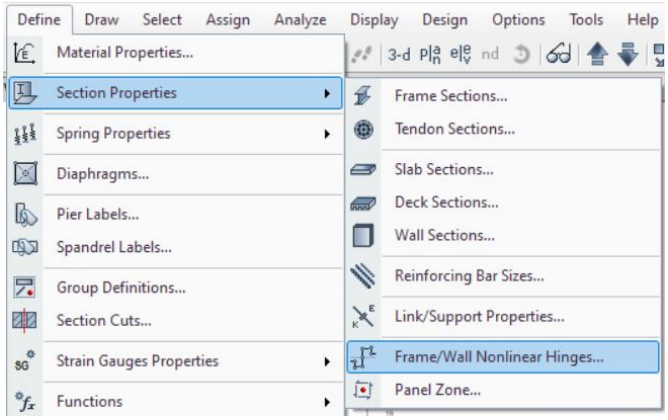
Creación de la rótula automática con parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17.



- Rotula Modificada: se genera dirigiéndonos a la sección Define, después a Section Properties y por último Frame/Wall Nonlinear Hinges. (Figura 21)

Figura 21

Procedimiento en la creación de la rótula modificada

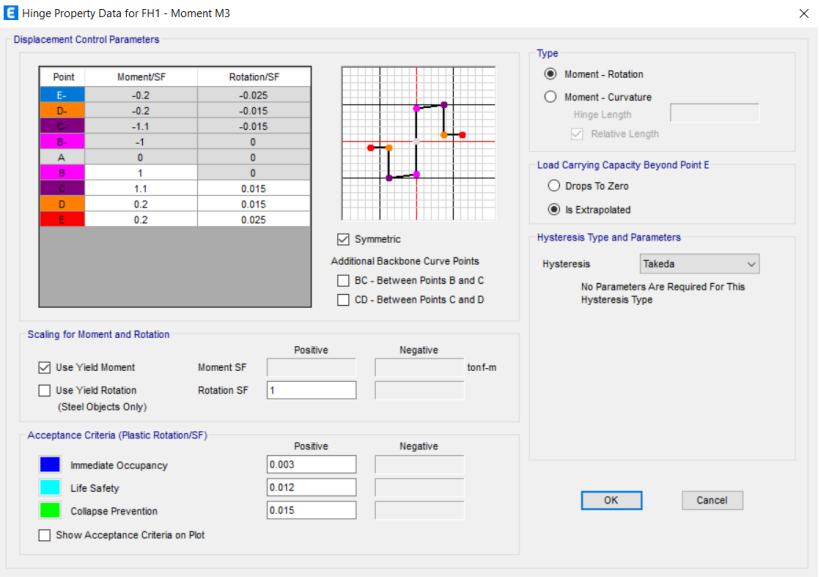


Después de entrar a la opción Frame/Wall Nonlinear Hinges, se nos presentará una ventana para crear una nueva propiedad, damos clip en añadir y nos aparece otra ventana con opciones para modificar, entonces elegimos momento M3 y

modificamos nuestra tabla con los datos ya calculada con ayuda de los parámetros que muestra la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17. (Figura 22.)

Figura 22

Creación de la rótula modificada con parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17.



Ejecución del análisis estructural: para concluir con el programa ETABS ejecutaremos el análisis estructural en donde tendremos presente que en la forma en donde no se considera rótula plástica, se le tomará de forma lineal y en las otras dos formas, que si consideran la formación de rótulas se le tomará de forma no lineal. Con el análisis lo que queremos lograr es conseguir los valores de las deformaciones que tendrá nuestra viga con sus respectivos momentos. Ya teniendo la información de las 3 formas de análisis examinaremos que tan precisa son y cómo se diferencia la rótula automática de la rótula modificada.

4.4 Recopilación y organización de los resultados obtenidos.

Se mostrará los resultados obtenido mediante el programa ETABS en donde se muestra la carga que se aplicó a nuestra viga y sus resultados en su deformación y momento que se generó con dicha carga en las diferentes formas ya mencionadas anteriormente. Para eso se armó unas tablas las cuales se encuentra en la parte de anexos que se establece desde la tabla 8 hasta la tabla 23, hay también se encontrara la describirían de las variables que contendrán dichas tablas.

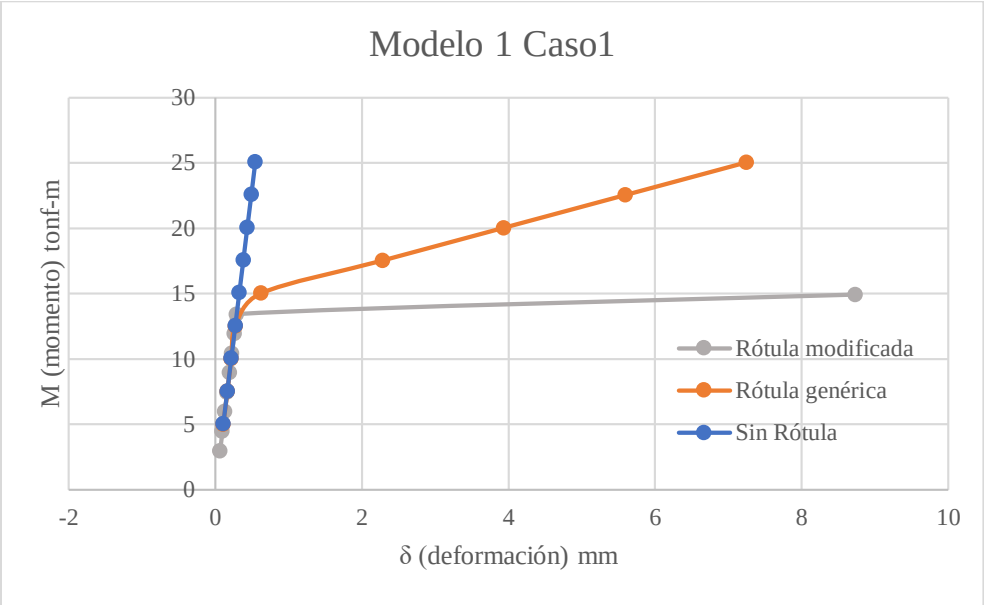
5. Análisis de resultados

5.1 Presentación y análisis de los datos obtenidos en las simulaciones.

Con la información obtenida mediante el programa ETABS realizaremos unas gráficas que nos ayudarán a observar cómo se comportan las diferentes vigas detalladas en el anexo desde la tabla 8 hasta la tabla 23. Lo primordial es analizar el comportamiento de la viga al ser sometido a una rótula automática y una rótula modificada. A continuación, presentaremos unas imágenes las cuales son de los distintos casos previamente mencionados, en esta imagen se observa cómo actúa la viga sin rótula, con una rótula automática y la construcción de una rótula modificada según los valores de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17.

Figura 23

Modelo 1 Caso1



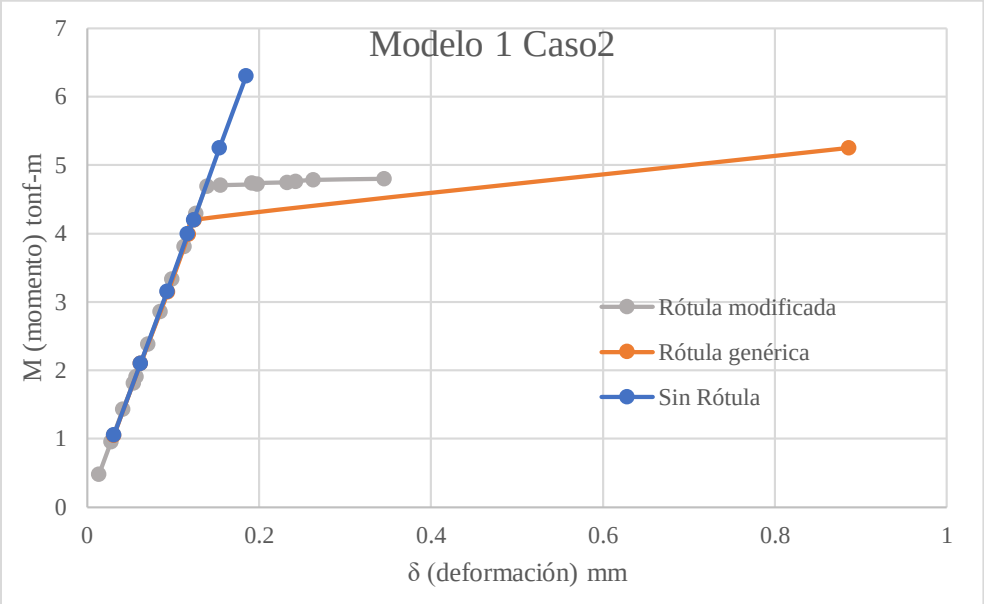
En el caso 1 del modelo 1 podemos observar que en el modelo elástico (sin rótula) existe una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión o flecha en la viga, esto nos indica que no existe un valor máximo o limitación en el valor de momento que puede ser aplicado. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que no se respeta el valor máximo de momento que se puede desarrollar en la viga, como son los momentos de cedencia y el momento último, superado por el doble de su valor a altas deformaciones. En el caso del modelo con rótula con propiedades impuestas denominado rótula modificada, en este caso el momento máximo no es superado y se corresponde con el comportamiento que se espera que ocurra en una rótula cuando se incursiona en el rango plástico.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico y esto se debe a que no se ha alcanzado el momento cedente, pero una vez superado el momento cedente, en el caso sin rótula o lineal el momento sigue creciendo con la deflexión, en el caso de rótula genérica, aun cuando es un modelo plástico el programa impone valores que en algunos casos puede superar por decenas los valores de momento cedente o último, y en el caso

de rótula modificada se tiene control de los valores máximos a momento que pueden ser desarrollados, así como los valores de deformación o rotación que pueden producirse en la viga al imponer los valores de a, b y c indicados en la Tabla ASCE 41-17.

Figura 24

Modelo 1 Caso2



En el caso 2 del modelo 1 podemos observar que la rótula genérica presenta deformaciones muy grandes a medida que se aumenta la carga, por lo que hace que el momento también aumente, en cambio la rótula modificada llega a una cierta carga en donde comienza a deformarse de manera leve a comparación de la rótula modificada y el momento comienza a subir muy poco por lo cual su recta se mantiene casi horizontal o con muy poca pendiente.

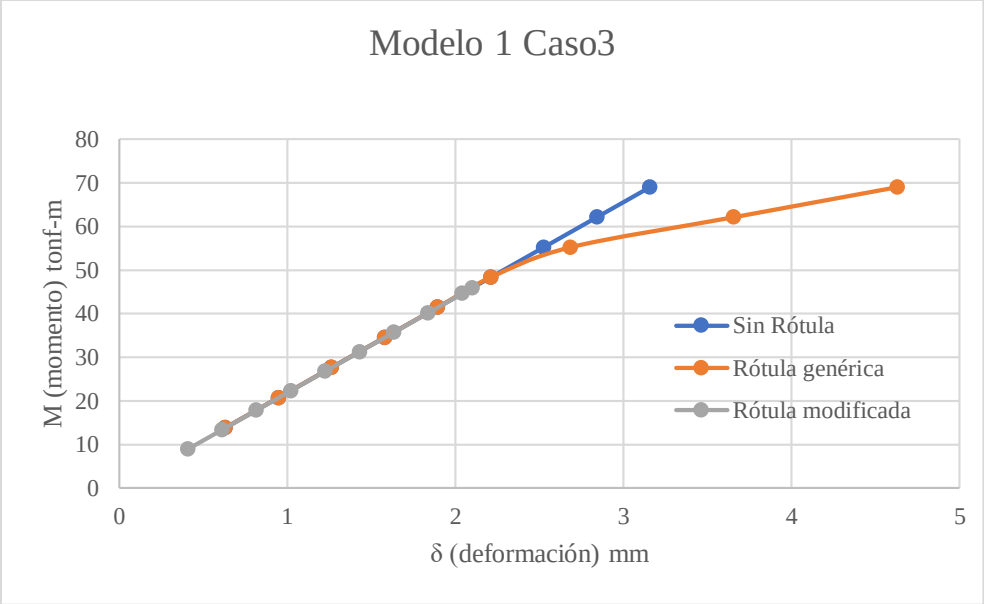
En el modelo elástico (sin rótula), se tiene una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión en la viga, esto nos indica que no tiene un valor máximo en el valor de momento que puede ser aplicado. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que al superar el momento de cedencia la deflexión incrementa significativamente a diferencia de los otros casos

de análisis. En el caso del modelo con rótula con propiedades impuestas denominado rótula modificada, en este caso el momento de cedencia no es superado con las mismas cargas que se aplicó a los otros casos lo cual optamos por cargarle con una mayor carga para analizar su comportamiento, lo cual nos indica que supera el momento cedente con un incremento pequeño y su deflexión comienza a incrementar, este comportamiento es el esperado en una rótula cuando se incursiona en el rango plástico.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico y esto se debe a que no se ha alcanzado el momento cedente, después de pasar el rango elástico observamos diferentes comportamientos de los tres casos como en la rótula genérica que su deflexión aumenta drásticamente y la rótula modificada su deflexión aumenta moderadamente.

Figura 25

Modelo 1 Caso3



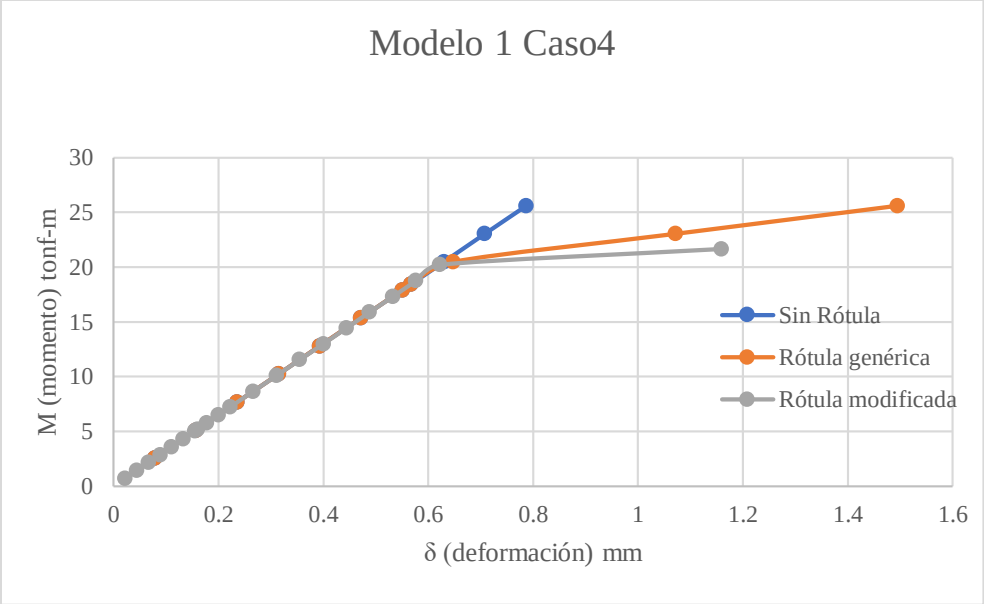
En el caso 3 del modelo 1 podemos observar que la rótula genérica presenta mayor deformación a partir de un momento de 55 tonf-m, antes de eso se comporta similar a la rótula modificada.

En el modelo elástico considerado sin rótula, se conserva una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión en la viga. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que al superar el momento de cedencia la deflexión incrementa significativamente. En el caso de la rótula modificada, el momento de cedencia no es superado por lo cual la deflexión o deformación de la viga no es crítica.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico y esto se debe a que no se ha alcanzado el momento cedente, después de pasar el rango elástico observamos diferentes comportamientos de los tres casos como en la rótula genérica que su deflexión aumenta drásticamente y la rótula modificada que en este caso se mantiene en el rango elástico.

Figura 26

Modelo 1 Caso4



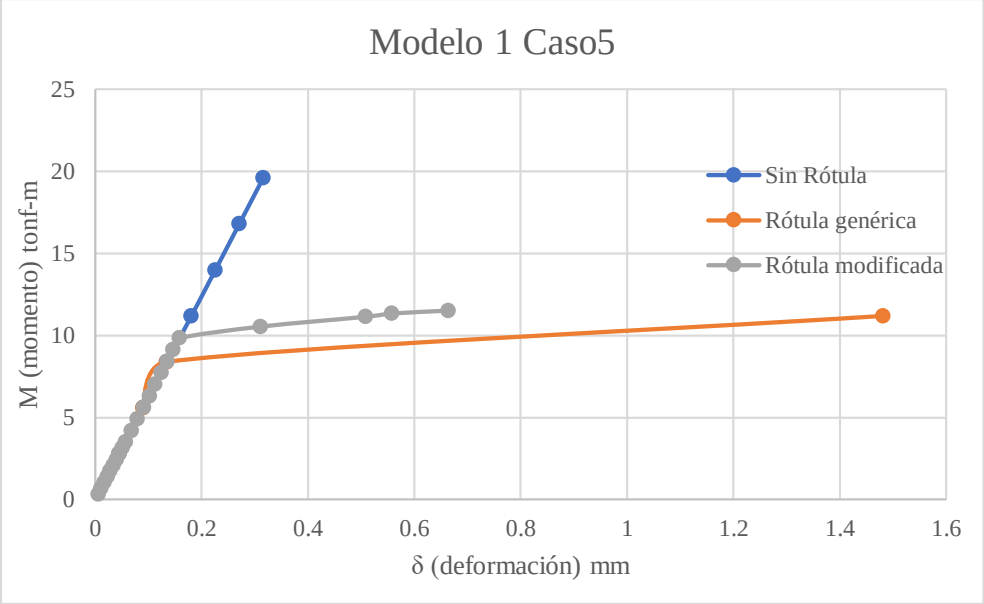
En el caso 4 del modelo 1 podemos observar que la rótula modificada genera deformaciones consideradas similares a la rótula genérica, con la diferencia de que en la rótula modificada se deforma con un momento aproximado de 23 tonf-m, tomando la tendencia de situarse de

manera horizontal que significa que su momento va a subir ligeramente, pero tendrá mayores deformaciones.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico y esto se debe a que no se ha alcanzado el momento cedente, después de pasar el rango elástico observamos diferentes comportamientos de los tres casos como en la rótula genérica que su deflexión aumenta drásticamente y la rótula modificada que su deflexión aumenta drásticamente con la diferencia que necesita mayor carga que los otros casos.

Figura 27

Modelo 1 Caso5



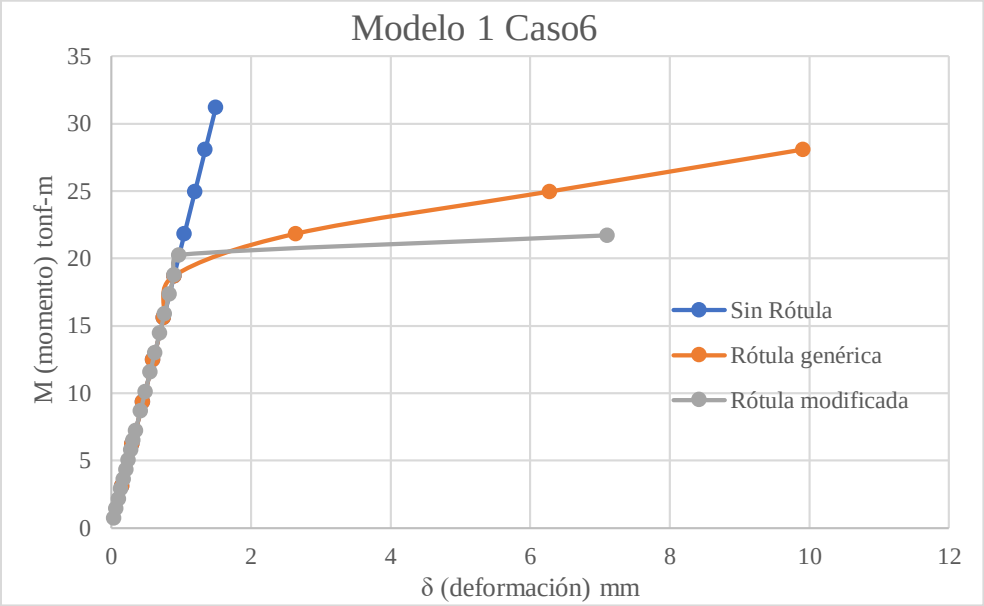
En el caso 5 del modelo 1 podemos observar que la rótula genérica genera deformaciones mayores a la rótula modificada, ya que la rótula genérica presenta un salto significativo en su deformación cuando alcanza un momento de 11.20 tonf-m.

En el modelo sin rótula, se conserva una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión en la viga. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que al superar el momento de cedencia la deflexión incrementa significativamente. En el caso de la rótula modificada, el

momento de cedencia es superado, solo si se aplica una mayor carga a diferencia de los otros casos, al superar el momento de cedencia podemos observar que la deformación o deflexión aumentan moderadamente a comparación de la rótula genérica.

Figura 28

Modelo 1 Caso6



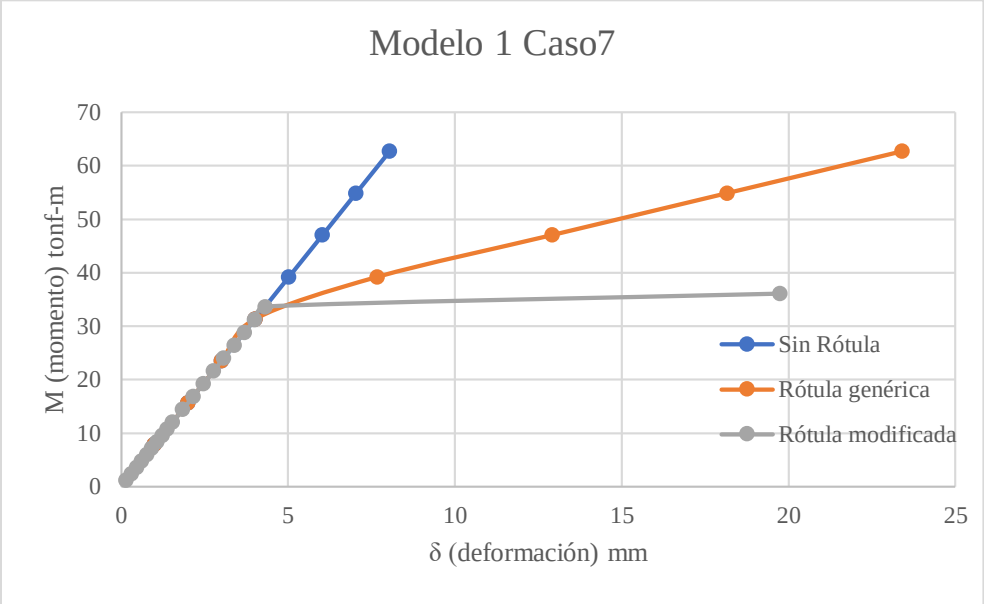
En el caso 6 del modelo 1 podemos observar que la rótula genérica genera deformaciones mayores a la rótula modificada y que la rótula modificada tiende a comportarse de manera más horizontal que la rótula genérica, la cual tiende a seguir subiendo con el momento y su deformación.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico y esto se debe a que no se ha alcanzado el momento cedente, pero una vez superado el momento cedente, las tres formas actúan de diferente manera, en el caso sin rótula el momento sigue creciendo con la deflexión, en el caso de rótula genérica, aun cuando es un modelo plástico el programa impone valores que en algunos casos puede superar por decenas los valores de

momento cedente o último, y en el caso de rótula modificada se tiene control de los valores máximos a momento que pueden ser desarrollados, así como los valores de deformación o rotación que pueden producirse en la viga al imponer los valores de a, b y c indicados en la Tabla ASCE 41-17.

Figura 29

Modelo 1 Caso7

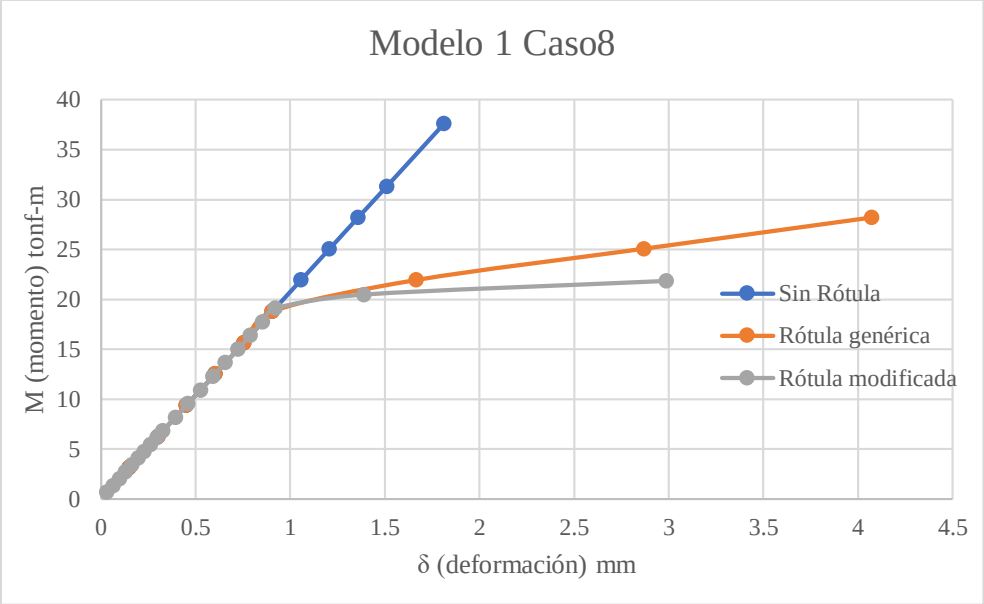


En el caso 7 del modelo 1 podemos observar que la rótula genérica presenta mayor capacidad a flexión a partir de un momento de 31 ton-m, antes de eso se comporta similar a la rótula modificada.

En el modelo sin rótula, se conserva una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión en la viga. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que al superar el momento de cedencia la deflexión incrementa significativamente. En el caso de la rótula modificada, el momento de cedencia es superado, solo si se aplica una mayor carga a diferencia de los otros casos, al superar el momento de cedencia podemos observar que la deformación o deflexión aumentan.

Figura 30

Modelo 1 Caso8

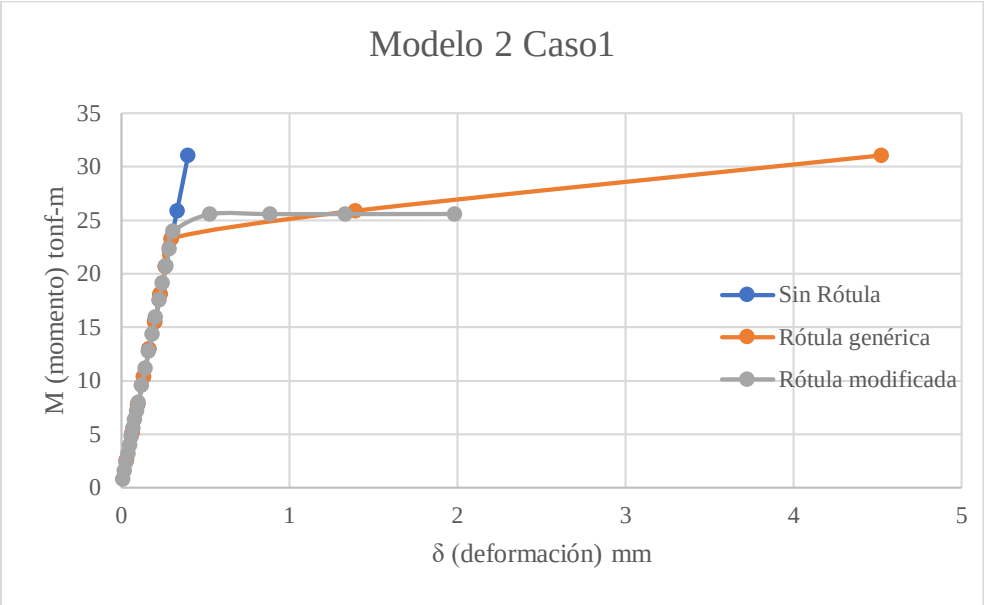


En el caso 8 del modelo 1 podemos observar que la rótula genérica genera capacidades a flexión mayores a la rótula modificada, pero antes del momento 20 tonf-m las dos actuaban de la misma manera.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico, porque no se ha alcanzado el momento cedente, después de pasar el rango elástico observamos diferentes comportamientos de los tres casos como en la rótula genérica que su deflexión aumenta drásticamente y la rótula modificada que su deflexión aumenta con la diferencia que necesita mayor carga que los otros casos y su recta se mantiene con una tendencia horizontal y una inclinación baja.

Figura 31

Modelo 2 Caso1

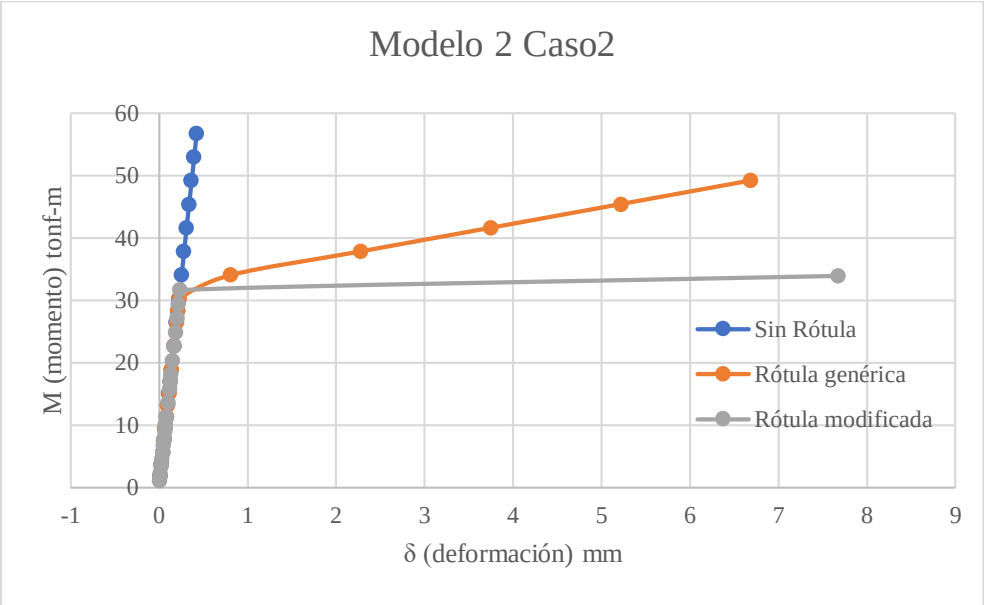


En el caso 1 del modelo 2 podemos observar que la rótula modificada actúa de manera similar a la rótula genérica hasta llegar a un momento de 22.5 tonf-m y la rótula modificada tiene deformaciones menores que la rótula genérica.

En el modelo sin rótula, se conserva una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión en la viga. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que al superar el momento de cadencia la deflexión incrementa significativamente. En el caso de la rótula modificada, el momento de cedencia es superado, solo si se aplica una mayor carga a diferencia de los otros casos, al superar el momento de cedencia podemos observar que la deformación o deflexión aumentan formando una recta horizontal en la gráfica.

Figura 32

Modelo 2 Caso2

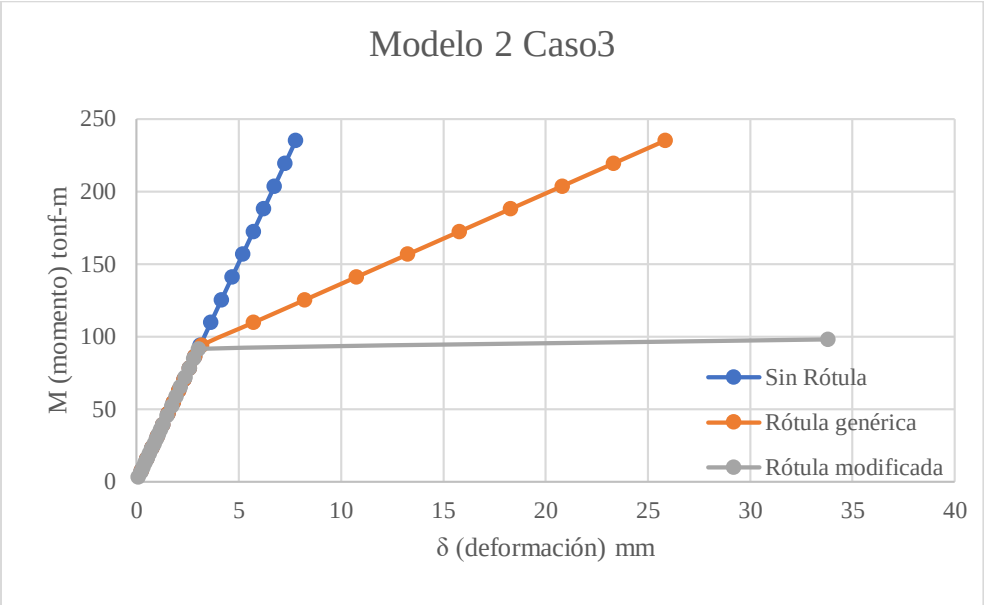


En el caso 2 del modelo 2 podemos observar que la rótula modificada tiene una deformación excesiva a diferencia de la rótula genérica y se mantiene con una tendencia de forma horizontal que significa que los valores de momento no variarán significativamente, en cambio la rótula genérica tiene una mayor pendiente en su grafico lo cual nos indica que seguirá subiendo el momento.

Las tres formas de análisis de nuestra viga muestran una semejanza en el rango elástico, porque no se ha alcanzado el momento cedente, después de pasar el rango elástico observamos diferentes comportamiento de los tres casos como en la rótula genérica que su deflexión aumenta drásticamente y la rótula modificada que su deflexión aumenta con la diferencia que necesita mayor carga que los otros casos y su recta se mantiene con una tendencia horizontal y una inclinación baja, por lo que se tiene un control de los valores máximos a momento que pueden ser desarrollados, así como los valores de deformación

Figura 33

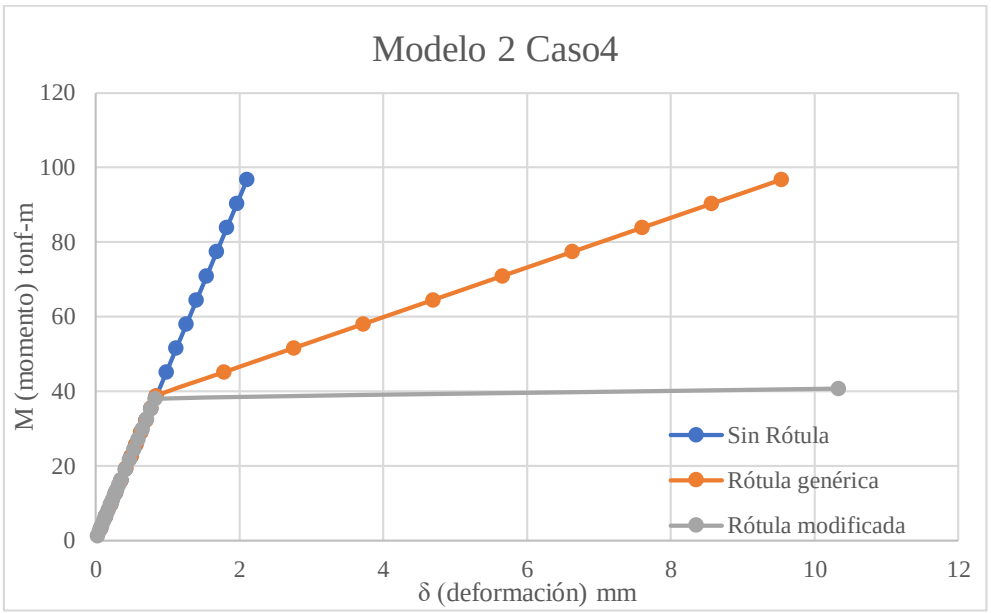
Modelo 2 Caso3



En el caso 3 del modelo 2 podemos observar que en el modelo elástico (sin rótula) existe una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión o flecha en la viga, esto nos indica que no existe un valor máximo o limitación en el valor de momento que puede ser aplicado. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que no se respeta el valor máximo de momento que se puede desarrollar en la viga, como son los momentos de cedencia y el momento último, superado por el doble de su valor a altas deformaciones. En el caso del modelo con rótula con propiedades impuestas denominado rótula modificada, en este caso el momento máximo no es superado y se corresponde con el comportamiento que se espera que ocurra en una rótula cuando se incursiona en el rango plástico. Los tres casos son similares en el rango elástico y comienzan a variar cuando se supera el momento cedente.

Figura 34

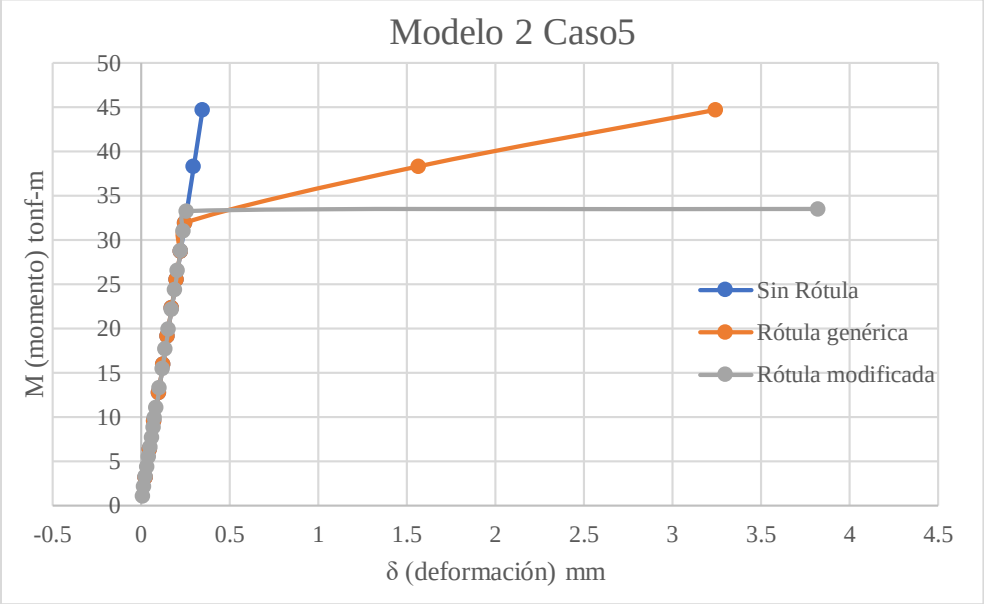
Modelo 2 Caso4



En el caso 4 del modelo 2 podemos observar que como la rótula generada por el programa al principio se mantiene con las deformaciones bajas, pero cuando llega a un momento de 40 tonf-m, la capacidad a flexión aumenta con la deformación a diferencia de la rótula modificada donde se mantiene constante el momento cedente con grandes deformaciones.

Figura 35

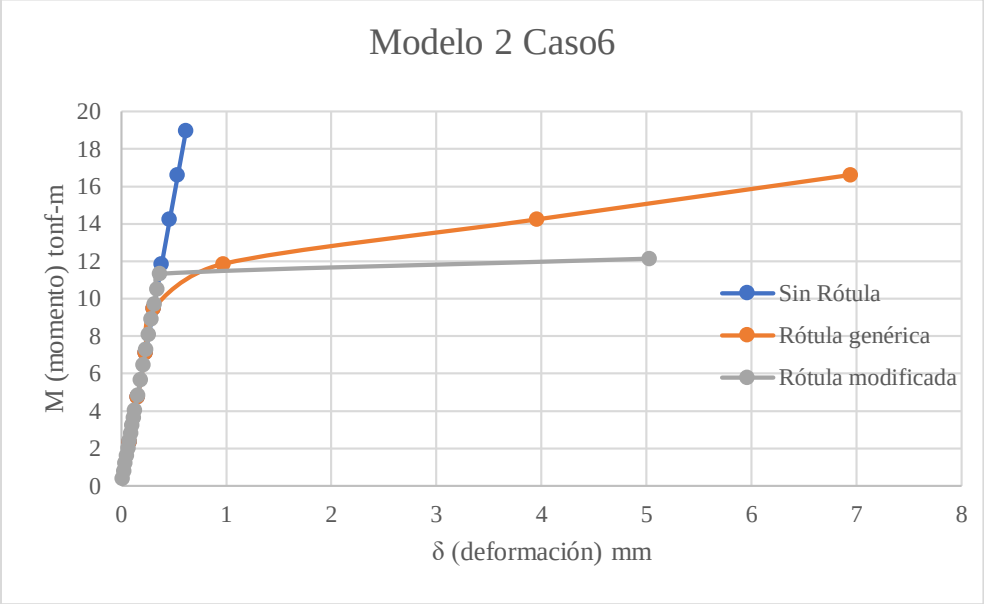
Modelo 2 Caso5



En el caso 5 del modelo 2 podemos observar que la rótula genérica es la de mayor capacidad a flexión con respecto a la rótula modificada. Las tres formas de nuestro análisis muestran similitudes en el rango elástico porque no se ha alcanzado el momento cedente. Sin embargo, en el caso de la viga sin rótula o lineal, el momento sigue creciendo con la deflexión, mientras que, en el caso de la viga con rótula genérica, el programa impone valores que en algunos casos pueden superar por decenas los valores del momento cedente o último, y en el caso de la rótula modificada se tienen un control de los valores máximos a momento, así como los valores de deformación.

Figura 36

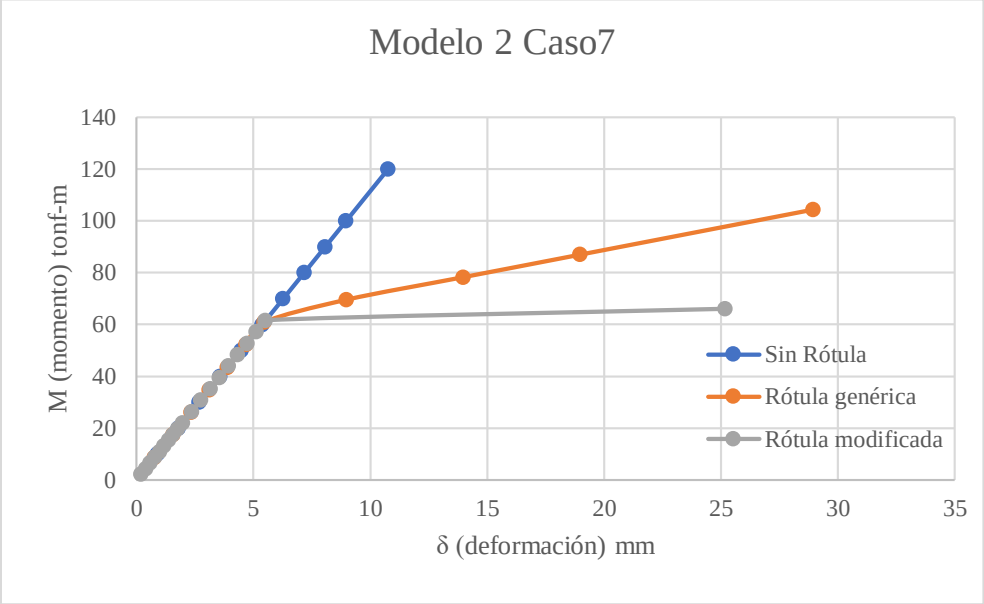
Modelo 2 Caso6



En el caso 6 del modelo 2 podemos observar que la rótula modificada tiene deformaciones grandes y tiende a comportarse de manera horizontal lo cual implica que el momento variará de manera muy leve, la variación de la deformación se debe a que se le aplicó una mayor cantidad de carga para que supere el momento de cedencia a comparación de los otros casos. La rótula genérica no respeta el valor máximo de momento como es el momento de cadencia y el momento último.

Figura 37

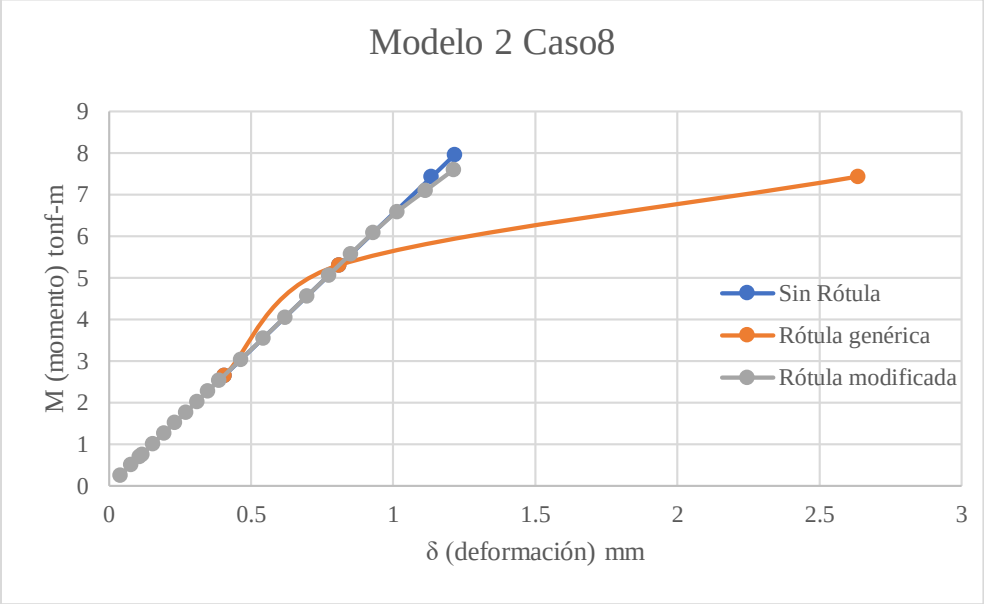
Modelo 2 Caso7



En el caso 7 del modelo 2 podemos observar que en el modelo sin rótula existe una relación lineal entre momento aplicado y la deflexión, esto nos indica que no hay limitación para el valor del momento y su deflexión. En el caso del modelo con rótula genérica, se observa que el valor de momento no se respeta, ya que actúa diferente a los límites previamente calculados como es el momento de cedencia y el momento último, esto hace que supere el doble de su valor a altas deformaciones. En el caso del modelo con rótula modificada, en este caso el momento máximo no es superado y se corresponde con el comportamiento que se espera que ocurra en una rótula cuando se incursiona en el rango plástico.

Figura 38

Modelo 2 Caso8



En el caso 8 del modelo 2, las tres formas de análisis de nuestra viga se comportan de una maneras similar en el rango elástico debido a que no se ha alcanzado el momento cedente, pero cuando se supera este momento cedente, en el caso sin rótula el momento sigue creciendo con la deflexión, en el caso de rótula genérica, los momentos superan por decenas los valores de momento cedente o último, y en el caso de rótula modificada se tiene control de los valores máximos a momento que pueden ser desarrollados, así como los valores de deformación.

5.2 Comparación del desempeño de las vigas bajo las diferentes condiciones de la tabla 10.7.

Se comparará la ductilidad de los distintos tipos de casos y sus condiciones de la tabla 10.7. Para encontrar similitudes y diferencia de las vigas que son conformes y no conformes en los refuerzos transversales.

Para eso explicaremos en que consiste la condición 1 y la condición 3 las cuales se colocarán en el eje X de las figuras. La condición 1 consiste en calcular un parámetro el cual está dado por una fórmula establecida en el capítulo 3.1 en donde la cuantía de acero en la fibra a tracción conocida como ρ es restada con la cuantía de acero a compresión conocida como ρ', ese resultado se lo divide con la cuantía de acero balanceado conocido como ρbal y ese resultado se le compara con dos condiciones las cuales son: si es menor a 0 o si es mayor a 0.5.

Para la condición 3 se calcula otro parámetro que se encuentra en el capítulo 3.1 en donde el corte actuante de diseño (identificado con las siglas Vd.) se divide al ancho de la viga por el peralte efectivo del acero a tracción, multiplicado por la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto (todo eso identificado con las siglas $bw * d * \sqrt{f'_{ce}}$). Igualmente se imponen dos valores límites, menor a 0.25 y mayor a 0.5.

Para la condición 2 como se clasifica en que si la viga es conforme o no conforme se lo identificará mediante figuras en los puntos o marcadores del gráfico, por lo que cuando sea un círculo se estará hablando de un caso el cual es conforme en cambio si la figura del punto es cuadrada se estará hablando de un caso no conforme.

La ductilidad de estos casos estará presente en el eje Y de las gráficas las cuales se determinarán mediante la teoría que relaciona el momento-curvatura, la cual se consigue con la curvatura

última dividida con la curvatura de fluencia. También se determinó la ductilidad que presenta la tabla 10.7 de la norma ASCE 41-17 mediante el principio del gráfico de la figura 3 literal a, en donde se aplicó el mismo principio de la teoría momento-curvatura que consiste en que la curvatura última se divide con la curvatura de fluencia, cambiando solo los valores que presenta la tabla 10.7, dependiendo de qué caso se encuentra la viga. A continuación, mostraremos imágenes y cuadros con información de dichas condiciones.

5.2.1 Modelo 1 y 2 con la ductilidad calculada mediante el diagrama momento-curvatura.

Tabla 8

Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 1 al caso 4

Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M1Caso1	6.93	0	0.21611202
M1Caso2	3.85	-0.03774629	0.52417123
M1Caso3	2.94	0.515456266	0.217347671
M1Caso4	2.49	0.561449619	0.517733227

Tabla 9

Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 5 al caso 8

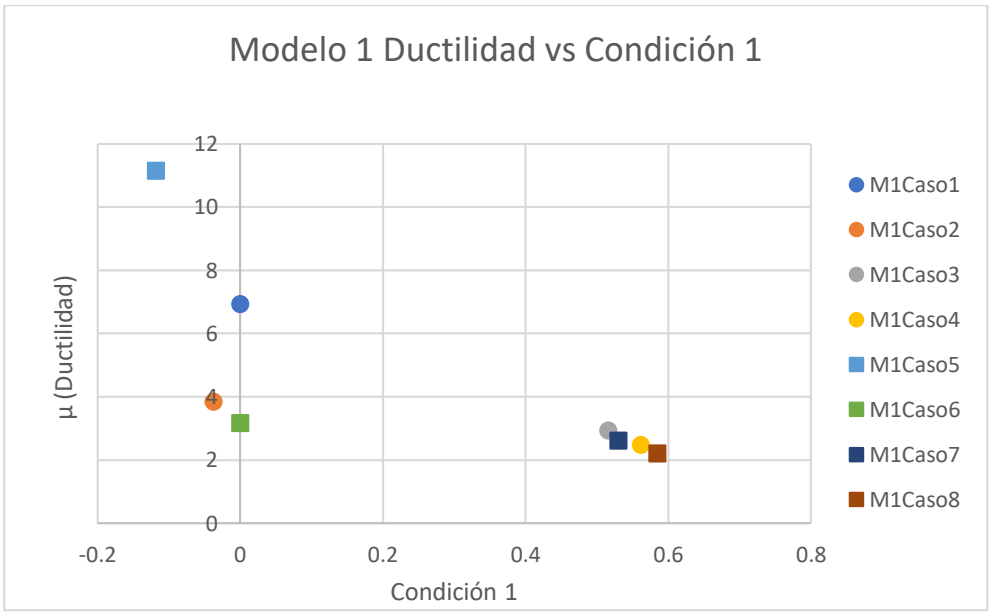
Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
No Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M1Caso5	11.15	-0.118124068	0.15175961
M1Caso6	3.18	0	0.500244639
M1Caso7	2.62	0.530079139	0.238946049
M1Caso8	2.22	0.584057893	0.500244639

En los elementos conformes en los casos 1 y 2 del modelo 1 se muestra una ductilidad mayor a los casos 3 y 4, lo que significa que el caso 1 y 2 tienen una capacidad mayor a deformarse. Con esto podemos ver que el caso 1 y 2 puede disipar y absorber energía de mejor manera que el caso 3 y 4.

En elementos que no son conformes, hay un caso que tiene una mayor ductilidad hasta que los casos que son conformes, el cual es el caso 5, este presenta una mayor capacidad de deformarse y esto se debe a sus dimensiones y armado.

Figura 39

Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 1

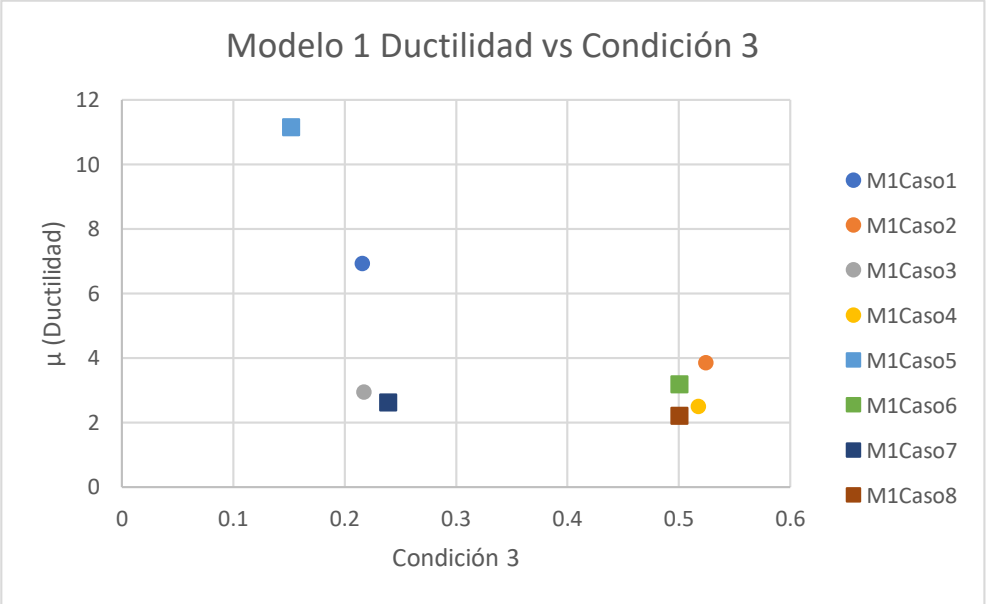


Los casos 1, 2, 5 y 6 se acercan o son menores a cero en la condición 1, debido a que la cantidad de acero a compresión supera al acero a tracción, obteniendo con ello mayores ductilidades que las alcanzadas cuando el acero a tracción supera al acero a compresión. En cambio, los casos 3, 4, 7 y 8 se alegan de cero porque tienen más

acero a tracción que a compresión, estos presentan menor ductilidad que los casos en donde el acero a compresión supera al de tracción y de estos últimos el caso 1 y 5 son los más dúctiles donde la exigencia a cortante es menor al presentar valores en la condición 3 menores a 0.25, el mismo comportamiento se observa en la figura 40. También tenemos el caso 2 donde existe mayor acero a compresión que ha tracción y el esfuerzo de corte es alto y un valor mayor a 0.5 en la condición 3, lo cual hace que la ductilidad se reduzca.

Figura 40

Modelo 1 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 3



En la condición 3 los casos 2, 4, 6 y 8 muestran que el corte actuante de diseño es mayor a los casos 1, 3, 5 y 7, por lo que estos casos tienen una mayor resistencia al corte, esto depende de las dimensiones que tiene la viga, resistencia a la compresión del concreto y el refuerzo del acero. La ductilidad en los casos 2, 4, 6 y 8 son bajos a comparación del caso 5 y 1, ya que estos tienen menos exigencia al cortante, donde

predomina el acero a compresión sobre el de tracción y el peralte efectivo del acero a tracción es mayor en el caso 5 y1 a diferencia de los otros casos.

Tabla 10

Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 1 al caso 4

Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M2Caso1	8.44	-0.112335947	0.23408757
M2Caso2	8.61	-0.102701647	0.521266927
M2Caso3	2.82	0.530300153	0.212322484
M2Caso4	2.78	0.511147741	0.526853397

Tabla 11

Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura desde el caso 5 al caso 8

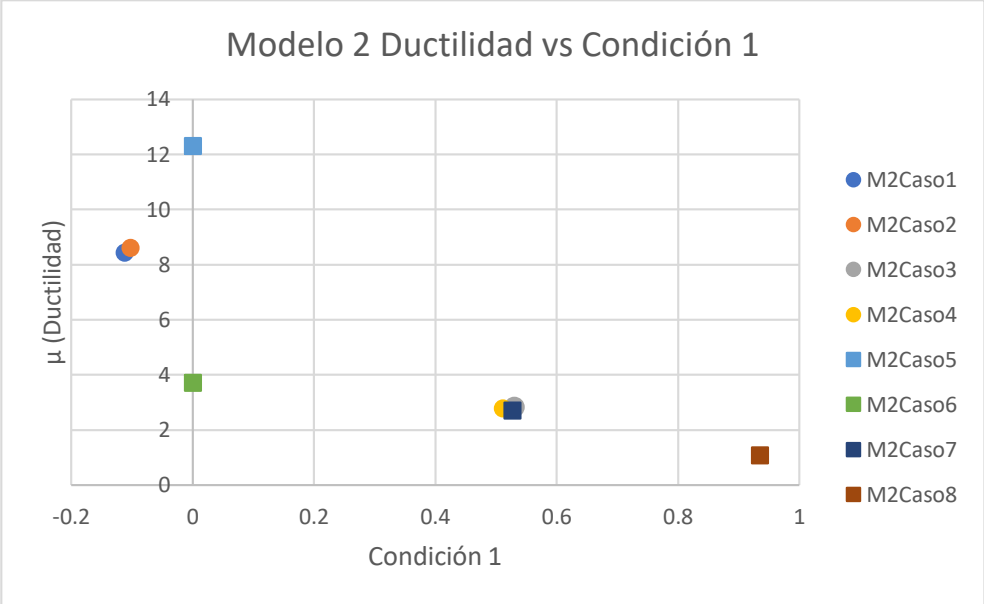
Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
No Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M2Caso5	12.32	0	0.248418489
M2Caso6	3.72	0	0.500244639
M2Caso7	2.7	0.526784975	0.232872504
M2Caso8	1.09	0.935171767	0.527699926

En los elementos conformes en los casos 1 y 2 del modelo 2 se muestra una ductilidad mayor a los casos 3 y 4, lo que significa que el caso 1 y 2 tienen una capacidad mayor a deformarse. Con esto podemos ver que el caso 1 y 2 puede disipar y absorber energía de mejor manera que el caso 3 y 4.

En elementos que no son conformes, hay un caso que tiene una mayor ductilidad hasta que los casos que son conformes, el cual es el caso 5, este presenta una mayor capacidad de deformarse y esto se debe a sus dimensiones y armado.

Figura 41

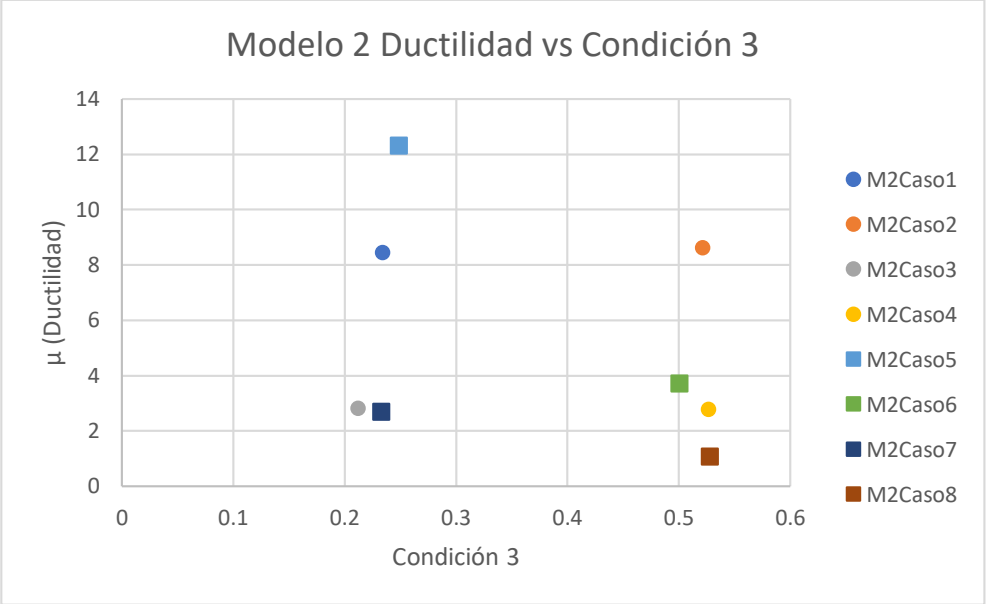
Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 1



Los casos 1 ,2 ,5 y 6 se encuentran en cero o son menores que cero en la condición 1, debido a que el armado de sus vigas son diferentes, ya que en la zona de compresión se encuentra mayor acero que en la zona a tracción lo que en muchos casos puede variar su ductilidad, esto demuestra que la cuantía de acero a tracción es menor que la cuantía de acero a compresión. En cambio, los casos 3, 4, 7 y 8 se alegan de cero porque en la zona a tracción tiene mayor cantidad de acero que la zona a compresión, estos presentan menor ductilidad que los casos en donde el acero a compresión supera al de tracción.

Figura 42

Modelo 2 Ductilidad del diagrama momento-curvatura vs Condición 3



En la condición 3 los casos 2, 4, 6 y 8 muestran que el corte actuante de diseño es mayor a los casos 1, 3, 5 y 7, por lo que este caso tiene una mayor resistencia al corte, esto depende de las dimensiones que tiene la viga, resistencia a la compresión del concreto y el refuerzo del acero. La ductilidad en los casos 3, 4, 6, 7 y 8 son bajos a comparación de los casos 1, 2 y 5, ya que estos presentan un mejor balance en su geometría como es la base y altura de la viga, teniendo la altura el doble de la base. También la configuración del armado en la zona de tracción se considera cercano a lo óptimo, ya que no tiene un exceso de acero ni un déficit.

5.2.2 Modelo 1 y 2 con la ductilidad calculada mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17

Tabla 12

Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 1 al 4

Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M1Caso1	4.782	0	0.21611202
M1Caso2	2.550	-0.03774629	0.52417123
M1Caso3	4.145	0.515456266	0.217347671
M1Caso4	2.415	0.561449619	0.517733227

Tabla 13

Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 5 al 8

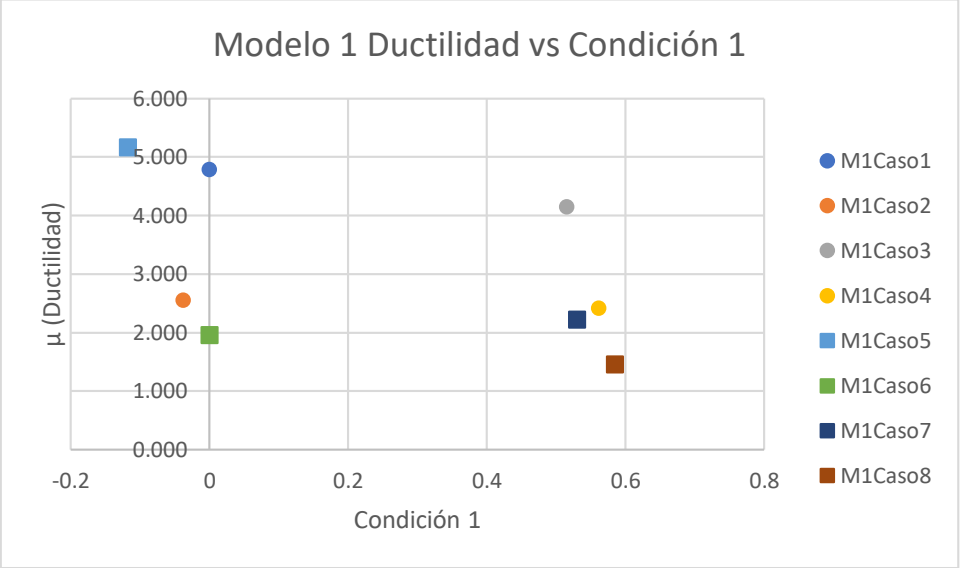
Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
No Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M1Caso5	5.167	-0.118124068	0.15175961
M1Caso6	1.962	0	0.500244639
M1Caso7	2.221	0.530079139	0.238946049
M1Caso8	1.459	0.584057893	0.500244639

A diferencia de la ductilidad calculada con la teoría del método diagrama momento curvatura podemos comparar con la ductilidad calculada con los datos propuestos por la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17. En donde los casos 1, 3 y 5 del modelo 1 son los que tienen mayor ductilidad a comparación del caso 2, 4, 6, 7 y 8. Esto nos hace entender que el caso 1, 3 y 5 tienen una mayor capacidad de deformarse, logrando disipar y absorber energía de mejor manera que los casos 2, 4, 6, 7 y 8.

La diferencia en comparar ductilidades según el diagrama momento curvatura y el calculado mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 es que la ductilidad se reduce en todos los casos cuando se aplica la de la tabla 10.7 de la Norma ASCE41-17 con la diferencia del caso 3 que aumentan debido a los valores de a, b y c indicados en la Tabla ASCE 41-17.

Figura 43

Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 1

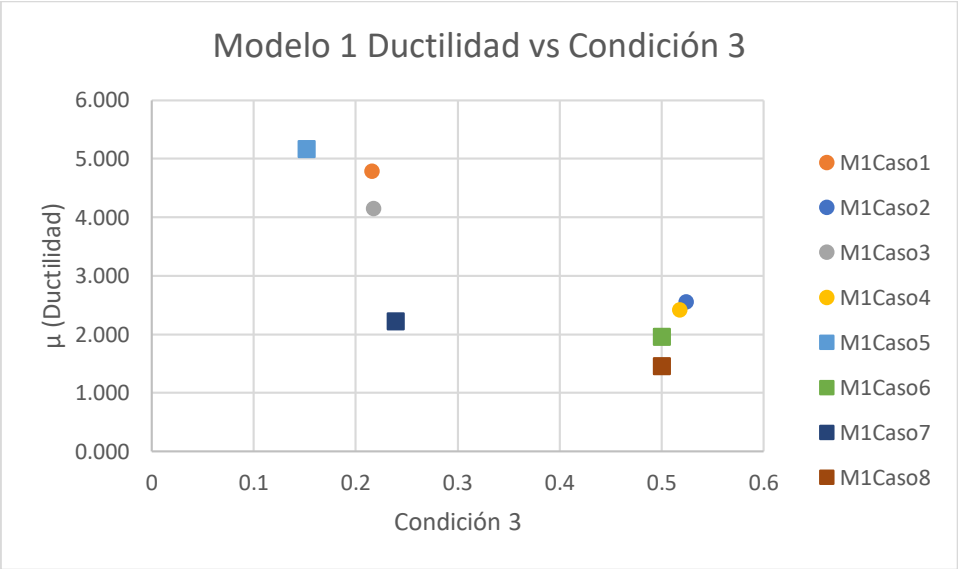


Los casos 1, 2, 5 y 6 se acercan a cero en la condición 1, debido a que el armado de sus vigas son diferentes, ya que en la zona de compresión se encuentra con mayor acero que en la zona a tracción lo que en muchos casos puede variar su ductilidad, esto demuestra que la cuantía de acero a tracción es menor que la cuantía de acero a compresión. En cambio, los casos 3, 4, 7 y 8 se alegan de cero porque en la zona a tracción tiene mayor cantidad de acero que la zona a compresión. El tener mayor cantidad de acero en la zona de compresión que en la zona a tracción representa

algunos problemas en el elemento por el hecho de que el concreto es débil en tracción y bueno en compresión por lo cual no se optimiza al funcionamiento del elemento estructural. Los casos 1, 3 y 5 son los elementos con mayor ductilidad debido a sus características como su geometría, características del material y la configuración de su armado.

Figura 44

Modelo 1 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 3



En la condición 3 los casos 2, 4, 6 y 8 muestran que el corte actuante de diseño es mayor a los casos 1, 3, 5 y 7 por lo que este caso tiene una mayor resistencia al corte, esto depende de las dimensiones que tiene la viga, resistencia a la compresión del concreto y el refuerzo del acero. La ductilidad en los casos 2, 4, 6 y 8 son bajos a comparación del caso 5.

En la figura 44 se observa que el caso 3 comienza a figurar entre los elementos con ductilidad alta al tener porcentaje de acero a tracción más alto que ha compresión, pero con una exigencia a corte (condición 3) menor a 0.25.

Tabla 14

Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 1 al 4

Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho-\rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw*d*\sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M2Caso1	5.789	-0.112335947	0.23408757
M2Caso2	5.202	-0.102701647	0.521266927
M2Caso3	4.683	0.530300153	0.212322484
M2Caso4	2.875	0.511147741	0.526853397

Tabla 15

Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 desde el caso 5 al 8

Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 y parámetros de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
No Conforme	μ (Ductilidad)	$\frac{\rho-\rho'}{\rho bal}$ Condición 1	$\frac{Vd}{bw*d*\sqrt{f'_{ce}}}$ Condición 3
M2Caso5	6.540	0	0.248418489
M2Caso6	2.009	0	0.500244639
M2Caso7	2.517	0.526784975	0.232872504
M2Caso8	1.205	0.935171767	0.527699926

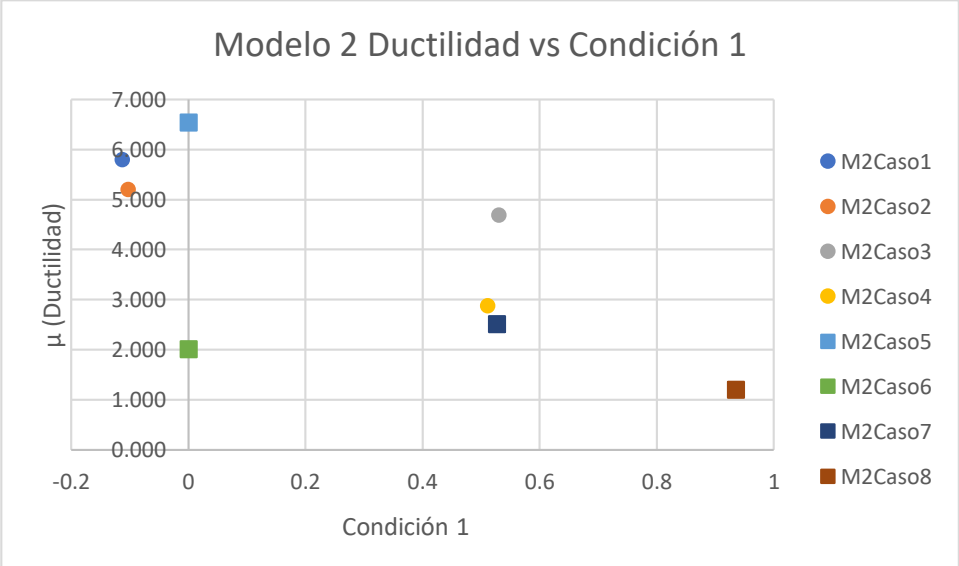
La ductilidad calculada con la teoría del método diagrama momento curvatura y la ductilidad calculada con los datos propuesto por la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 se puede comparar como actúan. En donde los casos 1 y 2 del modelo 2 son los

que tienen mayor ductilidad a comparación del caso 3 y 4. Esto nos hace entender que el caso 1 y 2 tienen una mayor capacidad de deformarse, logrando disipar y absorber energía de mejor manera que los casos 3 y 4.

La diferencia en comparar ductilidades según el diagrama momento curvatura y el calculado mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 es que la ductilidad se reduce en todos los casos cuando se aplica la de la tabla 10.7 de la Norma ASCE41-17 con la diferencia del caso 3 y 4 que aumentan debido a los valores de a, b y c indicados en la Tabla ASCE 41-17.

Figura 45

Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 1



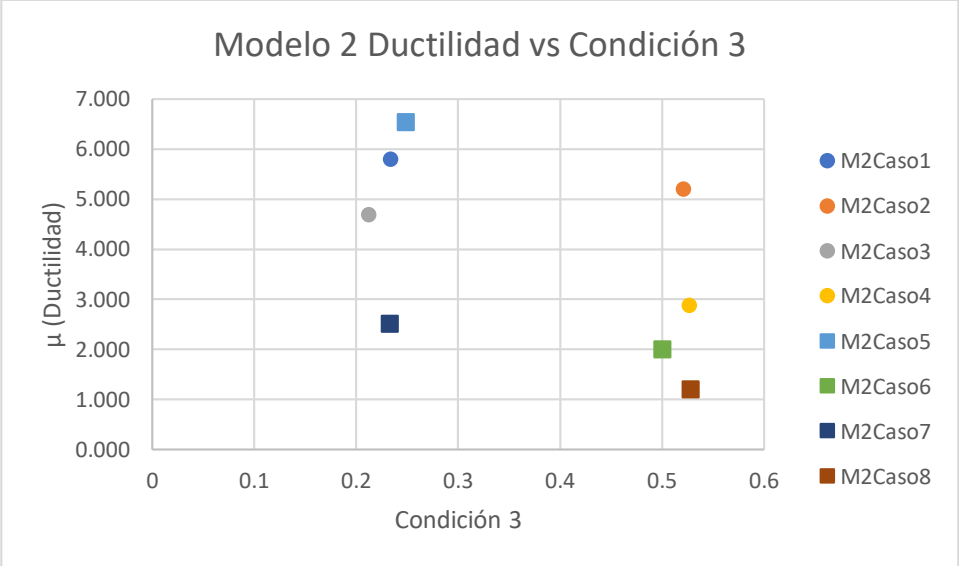
Los casos 1, 2, 5 y 6 se acercan a cero en la condición 1, debido a que el armado de sus vigas son diferentes, ya que en la zona de compresión se encuentra con mayor acero que en la zona a tracción lo que en muchos casos puede variar su ductilidad, esto demuestra que la cuantía de acero a tracción es menor que la cuantía de acero a

compresión. En cambio, los casos 3, 4, 7 y 8 se alegan de cero porque en la zona a tracción tiene mayor cantidad de acero que la zona a compresión.

Los casos 1, 2 y 5 son los elementos con mayor ductilidad debido a sus características como su geometría, características del material y la configuración de su armado.

Figura 46

Modelo 2 Ductilidad mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 vs la condición 3



En la condición 3 los casos 2, 4, 6 y 8 muestran que el corte actuante de diseño es mayor a los casos 1, 3, 5 y 7, por lo que estos casos tienen una mayor resistencia al corte, esto depende de las dimensiones que tiene la viga, resistencia a la compresión del concreto y el refuerzo del acero. La ductilidad en los casos 2, 4, 6 y 8 son bajos a comparación del caso 5.

En la figura 46 se observa que el caso 1, 2, 3 y 5, son los casos con mayor ductilidad a diferencia del resto de casos, esto se debe a la geometría de estos casos como también a las propiedades de su material, la exigencia al corte (condición 3) es menor

a 0.25 en los casos 1, 3 y 5, en cambio en el caso 2 la exigencia al corte es mayor a 0.5.

5.3 Interpretación de los hallazgos y discusión de su relevancia.

- Los resultados obtenidos nos ayudan a tener en cuenta el nivel de desempeño que tendrá las distintas vigas con los diferentes casos que presenta la tabla 10.7. logrando saber que caso tendrá un mejor desempeño.
- En el caso de cómo se comportó la viga sin tomar en cuenta una rótula, fue de lo más esperado ya que actuó de forma lineal en donde las variaciones entre los momentos y deformaciones no eran bruscas y se mantenía estables y lineales. Esto ocurrió en todos los casos que se modelaron.
- La viga que se generó con una rótula automática actuó como si no tuviera rótula en el rango elástico manteniendo los valores de momentos y deformaciones iguales al caso sin rotula, después de pasar el punto de fluencia o cedencia comenzó a variar sus deformaciones y momentos.
- En la rótula modificada se tiene control del momento máximo que se puede desarrollar en la rótula, haciendo que el modelo se comporte más apegado a la realidad, con valores de ductilidad impuestos de acuerdo con la tabla ASCE 41-17, ya que la rótula permite el giro logrando disipar la energía. También a medida que se aplicaba la carga nos dimos cuenta que tiene mayor tolerancia a la deformación que los otros casos.

5.4 Análisis de resultados.

- El caso 5 del modelo 1 se presentó una mayor ductilidad según el diagrama momento-curvatura, a diferencia de los otros casos, la ductilidad es de 11.15, esto se debe a la geometría de la viga, las propiedades del material y la

configuración de armado, para la ductilidad realizada mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 se tubo 5.167 la cual es considerado una ductilidad alta a comparación de los otros casos, esto se debe a los valores de a, b y c indicados en la Tabla ASCE 41-17.

- En el modelo 2 tenemos el caso 5 con la mayor ductilidad, ya que su valor es de 12.32 y en la ductilidad realizada mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, se obtuvo un valor de 6.540, este caso tiene ductilidades altas debido a la geometría de la viga, la configuración de armado y las propiedades del material.
- El caso 7 del modelo 1 presenta una deformación de 4.021 (mm) en el punto de momento cedente y esto se debe a las dimensiones que presenta este caso. También presenta una ductilidad de 2.62 sacada mediante el diagrama momento-curvatura y una ductilidad de 2.221 sacada mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, siendo el caso con mayor deformación en su punto de cedencia.
- El caso 7 del modelo 2, la deformación es mayor a diferencia de los otros casos del modelo 2, esta deformación es de 5.38 (mm) en el punto de momento cedente y esto se debe a la configuración de su armado y a las dimensiones que presenta este caso. La ductilidad es de 2.7 sacada mediante el diagrama momento-curvatura y una ductilidad de 2.517 sacada mediante la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, por lo que se le considera que tendrá una ductilidad buena, ya que es el caso con mayor deformación en su punto de cedencia.

6. Conclusiones y recomendaciones.

6.1 Conclusiones.

- Mediante el estudio paramétrico se logra observar el comportamiento de las vigas en voladizo en tres formas, cuando no está con rótula, con rótula generado mediante el programa ETABS y la rótula modificada con datos calculados mediante la tabal 10.7 de la Norma ASCE 41-17, por lo que las simulaciones que se realizaron en ETABS han demostrado que aplicando la rótula modificada, nuestro elemento estructural como la viga aumenta su ductilidad ya que disipan la energía como se espera en un caso real.
- Las condiciones ideales para cada caso de reforzamiento se las identificó gracias al estudio paramétrico y la utilización de la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 en donde es fundamental para comprender cómo cambian las respuestas según la carga aplicada.
- La principal diferencia entre crear rótulas automáticas y modificadas en ETABS es el grado en que el ingeniero puede ajustar y controlar las características y el comportamiento de las rótulas. El software simplifica y acelera el proceso de modelado mediante la creación de datos automáticos utilizando criterios preestablecidos basados en estándares o reglas internas del programa. Sin embargo, esta automatización no siempre es capaz de percibir las características específicas de determinados elementos estructurales o condiciones de carga.

  En cambio, la rótula modificada permite que el calculista pueda ajustar manualmente las propiedades y parámetros de la rótula, basándose en el análisis y el conocimiento específicos del proyecto para reflejar con mayor

precisión las condiciones estructurales reales. Esto proporciona un modelo más preciso y, por lo tanto, resultados de análisis más confiables, pero requiere más tiempo y esfuerzo para configurar el modelo.

- Es importante elaborar el diagrama de momento curvatura para crear la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, que nos ayudará a considerar cuándo la viga alcanza su momento de fisuración, momento de fluencia y momento flector último. También es necesario estos valores para la construcción de la rótula modificada que nos solicita el programa ETABs.
- Las vigas más dúctiles que tenemos en nuestros modelos es el caso 5 en los dos modelos estudiados. El caso 5 del modelo 1 presenta una ductilidad de 11.15 mediante el diagrama momento curvatura y mediante la tabla 10.7 presenta una ductilidad de 5.16, en cambio el caso 5 del modelo 2, tiene una ductilidad de 12.32 mediante el diagrama momento curvatura y mediante la tabla 10.7 presenta una ductilidad de 6.54, esto se debe a que en vigas con mayor refuerzo de acero a compresión que a tracción, la distancia de la fibra comprimida al eje neutro (c) se reduce notablemente, haciendo que la relación entre la deformación del concreto (0.003) y la distancia c se incremente generado mayo rotación en el caso de falla última y en consecuencia un aumento en la ductilidad.
- Las vigas menos dúctiles que tenemos en nuestros modelos es el caso 8 en los dos modelos. El caso 8 del modelo 1 presenta una ductilidad de 2.49 mediante el diagrama momento curvatura y mediante la tabla 10.7 presenta una ductilidad de 1.459, en cambio el caso 8 del modelo 2 tiene una ductilidad de 1.09 mediante el diagrama momento curvatura y mediante la tabla 10.7 presenta una ductilidad de 1.205. Este caso se caracteriza por tener

vigas donde existe mucha cantidad de acero a tracción con respecto al de compresión, haciendo que la distancia de la fibra más comprimida al eje neutro (c) se vea aumentada, además de presentar la viga una alta exigencia a cortante, lo cual hace que la relación de la deformación de la fibra más comprimida del concreto al eje neutro se reduzca al igual que la ductilidad. de la viga.

- En nuestros casos tenemos vigas que tienen una buena ductilidad y la configuración del armado muestra que tiene mayor cuantía de acero en la zona de compresión que en la zona a tención por lo que pensaríamos que estos casos deben ser menos dúctiles pero tenemos que tener en cuenta también la geometría de la viga y las propiedades del material, por esa razón tenemos vigas que cumplen con una buena geometría como es el caso 5 y en otros casos tenemos una pésima geometría como es el caso 8 en donde se tiene una base y altura igual, esto no quiere decir que el armado del acero no sea importante para la ductilidad.
- De acuerdo con la Norma ASCE 41-17 el nivel de desempeño que alcanzan los 8 casos estudiados se corresponden con seguridad de vidas, donde la deformación o rotación de la viga al alcanzar el momento último coincide con los niveles de rotación donde se considera se alcanza la seguridad de vida. (LS). Igualmente, al implementar los modelos en ETABS utilizando la Tabla ASCE 41-17 se estaría imponiendo un nivel de desempeño igual al de seguridad de vidas.

6.2 Recomendaciones.

- Es recomendable utilizar una rótula de manera personalizada con los parámetros establecidos por la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17, ya que los resultados obtenidos son más reales y confiables a diferencia de los otros métodos aplicados como son la rótula generada por el programa y la que no considera rótula.
- Después de aplicar técnicas de reforzamiento, se recomienda un monitoreo continuo de las vigas para evaluar su desempeño y evitar errores, como colocar elementos que no reflejan las dimensiones o características reales del elemento.
- Cuando las condiciones que muestra la tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 no son acordes a nuestra viga, se debe interpolar entre los valores de los distintos casos y así lograr construir la tabla que se utilizará en el programa ETABS.

Bibliografía

Abad, S., & Maza, F. (2021). Análisis del método para encontrar el punto de desempeño en una estructura propuesto en la ASCE 41-17 NSP. *Universidad del Azuay*.

ATC-40. (1996). Seismic Evaluation and retrofit of concrete buildings volume 1. *Seismic safety commission*.

Bose S., N. A. (2017). Nonlinear modeling of the seismic performance of a building at sankhu during the 2015 nepal earthquke, .

Decanini, L., & Mollaioli, F. (2001). *An energy-based methodology for the assessment of seismic demand.* Obtenido de Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 113-137.: https://doi.org/10.1016/S0267-7261(00)00102-0.

Engineers, A. S. (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures,. *7th ed. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017.*

Enriquez, E. (2018). Diagrama momento-curvatura aproximado. *Ingenieros ingenieria Sismorresistente*. Obtenido de https://es.slideshare.net/slideshow/diagrama-momento-curvatura-aproximado/87660021

Farinango, L. H. (23 de Junio de 2022). *Cienci, Ingenierías y Aplicaciones.* Obtenido de Evaluación sísmica y rehabilitación de una edificación universitaria construida hace más de 40 años. Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones, 5(1), 7–37.: https://doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i1.pp7-37

Gordillo, N. (2016). Desarrollo de un software para cálculo de deflexiones en vigas según la norma ecuatoriana de la construcción (NEC). *Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23407

Jiang, H., Jin, C., Yan, L., Li, Q., & Lu, W. (2021). *Design method for the relocation of plastic hinges in prefabricated steel beams with corrugated webs.* Obtenido de PLoS ONE: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246439.

Jiménez, C., & Moreno, N. (2021). *Seismic source characteristics of the 2016 Pedernales-Ecuador earthquake (Mw 7.8).* Obtenido de Seismic source characteristics of the 2016 Pedernales-Ecuador earthquake (Mw 7.8).: 106670. https://doi.org/10.1016/J.PEPI.2021.106670.

Lejay, A., & Pigato, P. (2018). *Maximum likelihood drift estimation for a threshold diffusion.* Obtenido de Scandinavian Journal of Statistics,47, 609 - 637.: https://doi.org/10.1111/sjos.12417.

Meroni, F., & Zonno, G. (2000). *Seismic Risk Evaluation.* Obtenido de Surveys in Geophysics, 21, 257-267.: https://doi.org/10.1023/A:1006746211591.

NEC-SE-DS, N. (2015). Peligro sísmico. Diseño Sismo Resistente.

NEC-SE-HM. (2024). Estructuras de Hormigón Armado. *Norma Ecuatoriana de la construcción* .

Norma-ASCE41-17. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. *ASCE STANDARD*.

Ortiz, R., & Ledesma, A. (2020). DIagramas momento-curvatura. *Vortize*. Obtenido de https://www.vortize.com/blog/diagramas-momento-curvatura/

Torres, J., & Vásquez, D. (2021). Análisis de vulnerabilidad sísmica de una estructura especial de hormigón armado de 4 pisos ubicada en la ciudad de cuenca-ecuador. *Universidad del Azuay*.

Wei, J., Li, J., Wu, C., Liu, Z., & Fang, J. (2021). *Impact resistance of ultra-high performance concrete strengthened reinforced concrete beams.* Obtenido de International Journal of Impact: Engineering. https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2021.104023.

Yepéz, F. ((2001)). Últimos avances en la evaluación del riesgo sismico de Quito y. *Memorias del Seminario: Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres*, 16-24.

Brufau R. (1989). Análisis crítico y propuesta de un método de estudio de vigas de hormigón armado, con especial atención a su comportamiento ante solicitaciones de corte, para cualquier configuración de su armadura, forma y condiciones de enlace. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=191645.

García S. (2019). DISEÑO Y ENSAYO DE UN MODELO FÍSICO PARA VERIFICAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA VIGA EN VOLADIZO DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADA CON PLACAS Y VIGA DE ACERO. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. https://bibdigital.epn.edu.ec.

Bermeo C. (2017). Comportamiento de conexión losa-columna en pórticos con vigas banda en nudos interiores. Escuela Politécnica Nacional.

Logreira L. (2012). Evaluación delcomportamiento de vigas en voladizo de concreto reforzado con fibras metálicas ante cargas dinámicas. Pontificia Universidad Javeriana. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21436/LogreiraGonzalezLauraMichell2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Villafuerte J. (2021). Estudio y diseño de sistemas de reforzamiento estructural en concreto armado. Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20106/VILLAFUERTE%20OLAZABAL_ARELLANO%20HERRERA.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Ruiz. D., Ramírez. C., Logreira. L., León. M. (2015). Evaluación del comportamiento de vigas en voladizo de concreto reforzado con fibras ante la aplicación de cargas cíclicas. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732015000100002

Anexos:

Tablas de los datos obtenidos en las simulaciones:

Tabla 16

Resultados del Modelo 1 Caso1 (momento cedente 12.53 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	2.5434	0.055	2.5057	0.055	1.4919	0.032
10	5.0491	0.11	5.0114	0.109	2.9837	0.065
15	7.5548	0.164	7.5171	0.164	4.4756	0.097
20	10.0605	0.219	10.0228	0.218	5.9674	0.13
25	12.5662	0.273	12.5285	0.273	7.4593	0.162
30	15.0719	0.328	15.0341	0.625	8.9512	0.195
35	17.5776	0.383	17.5398	2.282	10.443	0.227
40	20.0832	0.437	20.0455	3.939	11.9349	0.26
45	22.5889	0.492	22.5512	5.596	13.4268	0.292
50	25.0946	0.546	25.0569	7.253	14.9186	8.732

Tabla 17

Resultados del Modelo 1 Caso2 (momento cedente 4.06 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	1.054	0.031	1.05	0.031	0.4768	0.014
10	2.104	0.062	2.1	0.062	0.9535	0.028
15	3.154	0.093	3.15	0.094	1.4303	0.042
19	3.994	0.117	3.99	0.118	1.8117	0.054
20	4.204	0.124	4.2	0.125	1.907	0.057
25	5.254	0.154	5.25	0.886	2.3838	0.071
30	6.304	0.185	6.3	2.078	2.8605	0.085
35	7.354	0.216	7.35	3.288	3.3373	0.099
40	8.404	0.247	8.4	5588.174	3.814	0.113
45	9.454	0.278	9.45	6372.341	4.2908	0.127
50	10.504	0.309	10.5	7156.509	4.6921	0.14

Tabla 18

Resultados del Modelo 1 Caso3 (momento cedente 48.35 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	6.9078	0.316	6.9078	0.316	4.4664	0.204
10	13.8156	0.632	13.8156	0.632	8.9327	0.408
15	20.7235	0.948	20.7235	0.948	13.3991	0.613
20	27.6313	1.263	27.6313	1.263	17.8654	0.817
25	34.5391	1.579	34.5391	1.579	22.3318	1.021
30	41.4469	1.895	41.4469	1.895	26.7981	1.225
35	48.3547	2.211	48.3547	2.211	31.2645	1.43
40	55.2626	2.527	55.2626	2.686	35.7309	1.634
45	62.1704	2.843	62.1704	3.658	40.1972	1.838
50	69.0782	3.159	69.0782	4.631	44.6636	2.042

Tabla 19

Resultados del Modelo 1 Caso4 (momento cedente 18.44 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	2.5615	0.079	2.5615	0.079	0.7226	0.022
10	5.123	0.157	5.123	0.157	1.4452	0.044
15	7.6845	0.236	7.6845	0.236	2.1678	0.067
20	10.2461	0.315	10.2461	0.315	2.8904	0.089
25	12.8076	0.393	12.8076	0.393	3.613	0.111
30	15.3691	0.472	15.3691	0.472	4.3356	0.133
35	17.9306	0.551	17.9306	0.551	5.0582	0.155
36	18.4429	0.567	18.4429	0.567	5.2027	0.16
40	20.4921	0.63	20.4921	0.648	5.7808	0.178
45	23.0536	0.708	23.0536	1.072	6.5034	0.2
50	25.6151	0.787	25.6151	1.495	7.226	0.222
60	30.7382	0.944	30.7382	2.343	8.6712	0.266
70	35.8612	1.102	35.8612	3.19	10.1164	0.311
80	40.9842	1.259	40.9842	4.038	11.5616	0.355
90	46.1073	1.417	46.1073	4.885	13.0068	0.4
100	51.2303	1.574	51.2303	5.733	14.452	0.444
110	56.3533	1.731	56.3533	6.58	15.8972	0.488
120	61.4764	1.889	61.4764	7.428	17.3424	0.533
130	66.5994	2.046	66.5994	8.275	18.7876	0.577
140	71.7224	2.204	71.7224	9.123	20.2328	0.622
150	76.8454	2.361	76.8454	9.97	21.678	1.159

Tabla 20

Resultados del Modelo 1 Caso5 (momento cedente 8.40 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	2.8008	0.045	2.8008	0.045	0.3517	0.006
10	5.6016	0.09	5.6016	0.09	0.7033	0.011
15	8.4024	0.135	8.4024	0.135	1.055	0.017
20	11.2033	0.181	11.2033	1.482	1.4067	0.023
25	14.0041	0.226	14.0041	4.186	1.7583	0.028
30	16.8049	0.271	16.8049	6.89	2.11	0.034
35	19.6057	0.316	19.6057	9.595	2.4616	0.04
40	22.4065	0.361	22.4065	20097.688	2.8133	0.045
45	25.2073	0.406	25.2073	22850.071	3.165	0.051
50	28.0081	0.451	28.0081	25727.713	3.5166	0.057
60	33.6098	0.542	33.6098	31107.22	4.22	0.068
70	39.2114	0.632	39.2114	36611.986	4.9233	0.079
80	44.813	0.722	44.813	42116.752	5.6266	0.091
90	50.4146	0.812	50.4146	47621.518	6.3299	0.102
100	56.0163	0.903	56.0163	53126.284	7.0333	0.113
110	61.6179	0.993	61.6179	58631.05	7.7366	0.125
120	67.2195	1.083	67.2595	64135.816	8.4399	0.136
130	72.8211	1.173	72.8211	69927.552	9.1432	0.147
140	78.4228	1.264	78.4228	75145.348	9.8466	0.159
150	84.0244	1.354	84.0244	80650.114	10.5499	0.311

Tabla 21

Resultados del Modelo 1 Caso6 (momento cedente 18.72 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	3.1195	0.149	3.1195	0.149	0.723	0.035
10	6.239	0.299	6.239	0.299	1.4461	0.069
15	9.3585	0.448	9.3585	0.448	2.1691	0.104
20	12.478	0.597	12.478	0.597	2.8922	0.138
25	15.5974	0.747	15.5974	0.747	3.6152	0.173
30	18.7169	0.896	18.7169	0.896	4.3383	0.208
35	21.8364	1.045	21.8364	2.644	5.0613	0.242
40	24.9559	1.195	24.9559	6.276	5.7844	0.277
45	28.0754	1.344	28.0754	9.908	6.5074	0.312
50	31.1949	1.494	31.1949	13.539	7.2305	0.346
60	37.4339	1.792	37.4339	71019.54	8.6766	0.415
70	43.6729	2.091	43.6729	84302.004	10.1227	0.485
80	49.9118	2.39	49.9118	97584.467	11.5688	0.554
90	56.1508	2.688	56.1508	110866.931	13.0149	0.623
100	62.3898	2.987	62.3898	124149.395	14.461	0.692
110	68.6288	3.286	68.6288	137431.859	15.9071	0.762
120	74.8677	3.585	74.8677	150714.322	17.3532	0.831
130	81.1067	3.883	81.1067	163996.786	18.7993	0.9
140	87.3457	4.182	87.3457	177279.25	20.2454	0.969
150	93.5847	4.481	93.5847	190561.714	21.6915	7.107

Tabla 22

Resultados del Modelo 1 Caso7 (momento cedente 31.36 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	7.84	1.005	7.84	1.005	1.202	0.154
10	15.6801	2.011	15.6801	2.011	2.4039	0.308
15	23.5201	3.016	23.5201	3.016	3.6059	0.462
20	31.3601	4.021	31.3601	4.021	4.8078	0.616
25	39.2001	5.026	39.2001	7.675	6.0098	0.771
30	47.0402	6.032	47.0402	12.92	7.2117	0.925
35	54.8802	7.037	54.8802	18.164	8.4137	1.079
40	62.7202	8.042	62.7202	23.409	9.6156	1.233
45	70.5603	9.048	70.5603	438591.77	10.8176	1.387
50	78.4003	10.053	78.4003	492570.107	12.0195	1.541
60	94.0804	12.064	94.0804	601845.495	14.4235	1.849
70	109.7604	14.074	109.7604	708483.454	16.8274	2.158
80	125.4405	16.085	125.4405	816440.128	19.2313	2.466
90	141.1205	18.095	141.1205	924396.801	21.6352	2.774
100	156.8006	20.106	156.8006	1032353.47	24.0391	3.082
110	172.4807	22.116	172.4807	1140310.15	26.443	3.391
120	188.1607	24.127	188.1607	1248266.82	28.8469	3.699
130	203.8408	26.138	203.8408	1356223.5	31.2508	4.007
140	219.5208	28.148	219.5208	1464180.17	33.6547	4.315
150	235.2009	30.159	235.2009	1572136.84	36.0586	19.749

Tabla 23

Resultados del Modelo 1 Caso8 (momento cedente 18.80 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	3.13342	0.151	3.1342	0.151	0.6829	0.033
10	6.2683	0.302	6.2683	0.302	1.3658	0.066
15	9.4025	0.453	9.4025	0.453	2.0487	0.099
20	12.5366	0.605	12.5366	0.605	2.7316	0.132
25	15.6708	0.756	15.6708	0.756	3.4144	0.165
30	18.8049	0.907	18.8049	0.907	4.0973	0.198
35	21.9391	1.058	21.9391	1.667	4.7802	0.231
40	25.0733	1.209	25.0733	2.871	5.4631	0.263
45	28.2074	1.36	28.2074	4.075	6.146	0.296
50	31.3416	1.512	31.3416	5.279	6.8289	0.329
60	37.6099	1.814	37.6099	7.688	8.1947	0.395
70	43.8782	2.116	43.8782	85651.93	9.5604	0.461
80	50.1465	2.418	50.1465	99122.635	10.9262	0.527
90	56.4148	2.721	56.4148	112593.34	12.292	0.593
100	62.6831	3.023	62.6831	126064.044	13.6578	0.659
110	68.9515	3.325	68.9515	139534.749	15.0235	0.725
120	75.2198	3.628	75.2198	153005.454	16.3893	0.79
130	81.4881	3.93	81.4881	166476.159	17.7551	0.856
140	87.7564	4.232	87.7564	179946.864	19.1209	0.922
150	94.0247	4.535	94.0247	193417.568	20.4867	1.392

Tabla 24

Resultados del Modelo 2 Caso1 (momento cedente 20.71 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	2.5893	0.033	2.5893	0.033	0.7988	0.01
10	5.1785	0.067	5.1785	0.067	1.5977	0.021
15	7.7678	0.1	7.7678	0.1	2.3965	0.031
20	10.3571	0.133	10.3571	0.133	3.1953	0.041
25	12.9463	0.166	12.9463	0.166	3.9941	0.051
30	15.5356	0.2	15.5356	0.2	4.793	0.062
35	18.1249	0.233	18.1249	0.233	5.5918	0.072
40	20.7141	0.266	20.7141	0.266	6.3906	0.082
45	23.3034	0.299	23.3034	0.299	7.1894	0.092
50	25.8927	0.333	25.8927	1.394	7.9883	0.103
60	31.0712	0.399	31.0712	4.523	9.5859	0.123
70	36.2497	0.466	36.2497	7.651	11.1836	0.144
80	41.4283	0.532	41.4283	10.78	12.7812	0.164
90	46.6068	0.599	46.6068	22823.418	14.3789	0.185
100	51.7853	0.665	51.7853	25650.22	15.9765	0.205
110	56.9639	0.732	56.9639	28477.022	17.5742	0.226
120	62.1424	0.798	62.1424	31303.824	19.1718	0.246
130	67.3209	0.865	67.3209	34130.626	20.7695	0.267
140	72.4995	0.931	72.4995	36957.428	22.3672	0.287
150	77.678	0.998	77.678	39784.23	23.9648	0.308

Tabla 25

Resultados del Modelo 2 Caso2 (momento cedente 28.40 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	1.8934	0.014	1.8934	0.014	1.1324	0.009
10	3.7868	0.028	3.7868	0.029	2.2649	0.017
15	5.6801	0.042	5.6801	0.043	3.3973	0.026
20	7.5735	0.056	7.5735	0.057	4.5298	0.034
25	9.4669	0.07	9.4669	0.071	5.6622	0.043
30	11.3603	0.084	11.3603	0.086	6.7946	0.051
35	13.2536	0.098	13.2536	0.1	7.9271	0.06
40	15.147	0.112	15.147	0.114	9.0595	0.068
45	17.0404	0.127	17.0404	0.129	10.192	0.077
50	18.9338	0.141	18.9338	0.143	11.3244	0.085
60	22.7205	0.169	22.7205	0.171	13.5893	0.103
70	26.5073	0.197	26.5073	0.2	15.8542	0.12
75	28.4006	0.211	28.4006	0.214	16.9866	0.128
80	30.294	0.225	30.294	0.229	18.119	0.137
90	34.0808	0.253	34.0808	0.812	20.3839	0.154
100	37.8675	0.281	37.8675	2.282	22.6488	0.171
110	41.6543	0.309	41.6543	3.751	24.9137	0.188
120	45.441	0.337	45.441	5.221	27.1786	0.205
130	49.2278	0.366	49.2278	6.691	29.4434	0.222
140	53.0145	0.394	53.0145	8658.17	31.7083	0.239
150	56.8013	0.422	56.8013	9362.792	33.9732	7.674

Tabla 26

Resultados del Modelo 2 Caso3 (momento cedente 86.20 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	7.8362	0.26	7.8362	0.26	3.2678	0.108
10	15.6724	0.52	15.6724	0.52	6.5355	0.217
15	23.5086	0.78	23.5086	0.78	9.8033	0.325
20	31.3448	1.04	31.3448	1.04	13.071	0.433
25	39.181	1.299	39.181	1.299	16.3388	0.542
30	47.0171	1.559	47.0171	1.559	19.6065	0.65
35	54.8533	1.819	54.8533	1.819	22.8743	0.759
40	62.6895	2.079	62.6895	2.079	26.142	0.867
45	70.5257	2.339	70.5257	2.339	29.4098	0.975
50	78.3619	2.599	78.3619	2.599	32.6775	1.084
55	86.1981	2.859	86.1981	2.859	35.9453	1.192
60	94.0343	3.119	94.0343	3.202	39.2131	1.3
70	109.7067	3.638	109.7067	5.719	45.7486	1.517
80	125.3791	4.158	125.3791	8.236	52.2841	1.734
90	141.0514	4.678	141.0514	10.753	58.8196	1.951
100	156.7238	5.198	156.7238	13.27	65.3551	2.167
110	172.3962	5.717	172.3962	15.787	71.8906	2.384
120	188.0686	6.237	188.0686	18.303	78.4261	2.601
130	203.741	6.757	203.741	20.82	84.9616	2.818
140	219.4133	7.277	219.4133	23.337	91.4971	3.034
150	235.0857	7.797	235.0857	25.854	98.0326	33.81

Tabla 27

Resultados del Modelo 2 Caso4 (momento cedente 35.48 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	3.2255	0.07	3.2255	0.07	1.3596	0.03
10	6.4511	0.14	6.4511	0.14	2.7191	0.059
15	9.6766	0.21	9.6766	0.21	4.0787	0.089
20	12.9022	0.28	12.9022	0.28	5.4382	0.118
25	16.1277	0.35	16.1277	0.35	6.7978	0.148
30	19.3533	0.421	19.3533	0.421	8.1573	0.177
35	22.5788	0.491	22.5788	0.491	9.5169	0.207
40	25.8044	0.561	25.8044	0.561	10.8764	0.236
45	29.0299	0.631	29.0299	0.631	12.236	0.266
50	32.2555	0.701	32.2555	0.701	13.5955	0.295
55	35.481	0.771	35.481	0.771	14.9551	0.325
60	38.7066	0.841	38.7066	0.841	16.3146	0.354
70	45.1577	0.981	45.1577	1.787	19.0337	0.414
80	51.6088	1.121	51.6088	2.756	21.7528	0.473
90	58.0599	1.262	58.0599	3.725	24.4719	0.532
100	64.5109	1.402	64.5109	4.694	27.191	0.591
110	70.962	1.542	70.962	5.662	29.9101	0.65
120	77.4131	1.682	77.4131	6.631	32.6292	0.709
130	83.8642	1.822	83.8642	7.6	35.3483	0.768
140	90.3153	1.962	90.3153	8.569	38.0674	0.827
150	96.7664	2.103	96.7664	9.537	40.7865	10.335

Tabla 28

Resultados del Modelo 2 Caso5 (momento cedente 28.76 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	3.1959	0.025	3.1959	0.025	1.1085	0.009
10	6.3918	0.049	6.3918	0.049	2.2169	0.017
15	9.5877	0.074	9.5877	0.074	3.3254	0.026
20	12.7837	0.099	12.7837	0.099	4.4339	0.034
25	15.9796	0.124	15.9796	0.124	5.5423	0.043
30	19.1755	0.148	19.1755	0.148	6.6508	0.051
35	22.3714	0.173	22.3714	0.173	7.7593	0.06
40	25.5673	0.198	25.5673	0.198	8.8677	0.069
45	28.7632	0.223	28.7632	0.223	9.9762	0.077
50	31.9592	0.247	31.9592	0.247	11.0846	0.086
60	38.351	0.297	38.351	1.566	13.3016	0.103
70	44.7428	0.346	44.7428	3.246	15.5185	0.12
80	51.1346	0.396	51.1346	4.926	17.7354	0.137
90	57.5265	0.445	57.5265	6.606	19.9524	0.154
100	63.9183	0.494	63.9183	8.286	22.1693	0.171
110	70.3101	0.544	70.3101	9.966	24.3862	0.189
120	76.702	0.593	76.702	11.645	26.6031	0.206
130	83.0938	0.643	83.0938	16021.846	28.8201	0.223
140	89.4856	0.692	89.4856	17360.88	31.037	0.24
150	95.8775	0.742	95.8775	18699.913	33.2539	0.257

Tabla 29

Resultados del Modelo 2 Caso6 (momento cedente 14.24 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	2.3737	0.077	2.3737	0.077	0.405	0.013
10	4.7475	0.153	4.7475	0.154	0.8099	0.026
15	7.1212	0.23	7.1212	0.231	1.2149	0.039
20	9.4949	0.307	9.4949	0.307	1.6199	0.052
25	11.8687	0.384	11.8687	0.972	2.0249	0.066
30	14.2424	0.46	14.2424	3.958	2.4298	0.079
35	16.6161	0.537	16.6161	6.944	2.8348	0.092
40	18.9899	0.614	18.9899	9.92	3.2398	0.105
45	21.3636	0.691	21.3636	33245.903	3.6447	0.118
50	23.7373	0.767	23.7373	37379.547	4.0497	0.131
60	28.4848	0.921	28.4848	45646.837	4.8597	0.157
70	33.2323	1.074	33.2323	53914.126	5.6696	0.184
80	37.9797	1.228	37.9797	62181.416	6.4795	0.21
90	42.7272	1.381	42.7272	70448.705	7.2895	0.236
100	47.4747	1.535	47.4747	78718.175	8.0994	0.262
110	52.2221	1.688	52.2221	86983.284	8.9094	0.288
120	56.9696	1.842	56.9696	95250.574	9.7193	0.315
130	61.7171	1.995	61.7171	103517.863	10.5293	0.341
140	66.4645	2.149	66.4645	111785.153	11.3392	0.367
150	71.212	2.302	71.212	120056.934	12.1491	5.031

Tabla 30

Resultados del Modelo 2 Caso7 (momento cedente 59.96 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	9.9937	0.897	8.6979	0.78	2.1984	0.197
10	19.9874	1.793	17.3957	1.561	4.3968	0.395
15	29.9811	2.69	26.0936	2.341	6.5953	0.592
20	39.9748	3.587	34.7914	3.122	8.7937	0.789
25	49.9686	4.484	43.4893	3.902	10.9921	0.986
30	59.9623	5.38	52.1872	4.683	13.1905	1.184
35	69.956	6.277	60.885	5.463	15.389	1.381
40	79.9497	7.174	69.5829	8.973	17.5874	1.578
45	89.9434	8.07	78.2808	13.973	19.7858	1.775
50	99.9371	8.967	86.9786	18.973	21.9842	1.973
60	119.9245	10.761	104.3743	28.953	26.3811	2.367
70	139.912	12.554	121.7701	529173.735	30.7779	2.762
80	159.8994	14.347	139.1658	613639.162	35.1747	3.156
90	179.8868	16.141	156.5615	698104.59	39.5716	3.551
100	199.8742	17.934	173.9572	782570.017	43.9664	3.945
110	219.8616	19.728	191.353	867035.444	48.3653	4.34
120	239.8491	21.521	208.7487	951500.871	52.7621	4.734
130	259.8365	23.315	226.1444	1039438.48	57.159	5.129
140	279.8239	25.108	243.5401	1120431.73	61.5558	5.523
150	299.811	26.901	260.9359	1204897.15	65.9527	25.187

Tabla 31

Resultados del Modelo 2 Caso8 (momento cedente 7.44 tonf-m)

Análisis de rotula						
Carga	**Sin Rótula**		**Rótula genérica**		**Rótula modificada**	
P	**Msr**	**δsr**	**Mrg**	**δrg**	**Mrm**	**δrm**
5	2.6557	0.405	2.6557	0.405	0.2536	0.039
10	5.3113	0.81	5.3113	0.81	0.5072	0.077
14	7.4359	1.135	7.4359	2.636	0.7101	0.108
15	7.967	1.216	7.967	3.506	0.7608	0.116
20	10.6226	1.621	10.6226	70819.047	1.0144	0.155
25	13.2783	2.026	13.2783	90958.903	1.268	0.193
30	15.934	2.431	15.934	111098.76	1.5216	0.232
35	18.5896	2.837	18.5896	131238.616	1.7752	0.271
40	21.2453	3.242	21.2453	151378.472	2.0288	0.31
45	23.901	3.647	23.901	172415.769	2.2824	0.348
50	26.5566	4.052	26.5566	191658.185	2.536	0.387
60	31.8679	4.863	31.8679	231937.898	3.0431	0.464
70	37.1793	5.673	37.1793	272217.611	3.5503	0.542
80	42.4906	6.484	42.4906	312497.324	4.0575	0.619
90	47.8019	7.294	47.8019	355148.405	4.5647	0.697
100	53.1132	8.105	53.1132	393056.749	5.0719	0.774
110	58.4246	8.915	58.4246	433336.462	5.5791	0.851
120	63.7359	9.726	63.7359	473616.175	6.0863	0.929
130	69.0472	10.536	69.0472	513895.888	6.5935	1.014
140	74.3585	11.347	74.3585	554175.601	7.1007	1.114
150	79.6698	12.157	79.6698	594455.313	7.6079	1.214

Variables:

P: Carga aplicada a la viga (tonf) para alcanzar por flexión la cedencia del acero.

Msr: Momento calculado sin rotula (tonf-m)

δsr: Deformación calculado sin rotula (mm)

Mrg: Momento calculado con rotula genérica (tonf-m)

δrg: Deformación calculado con rotula genérica (mm)

Mrm: Momento calculado con rotula modificada (tonf-m)

δrm: Deformación calculado con rotula modificada (mm)

Información sobre los distintos casos:

Modelo 1

Caso 1

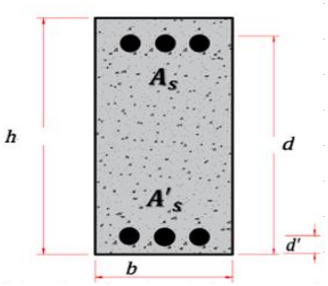


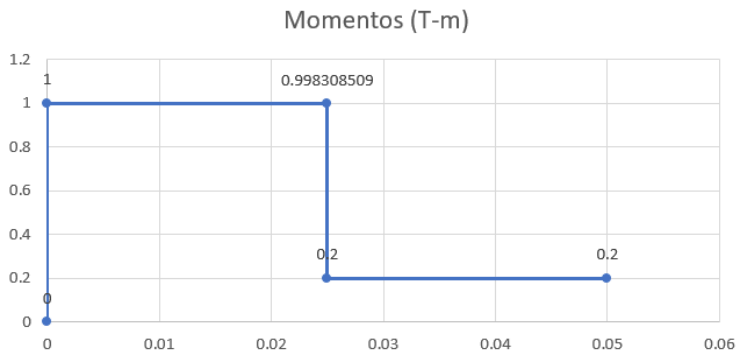
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	3.96	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	5.30E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	12.53	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	6.61E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	12.51	tonf-m	Momento último
Øu	4.58E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
M	6.93		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	18.75	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	25	Corte último o de falla
Vc (tonf)	9.60	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	15.40	Resistencia al corte del acero
S (cm)	11.87	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.50113833	Longitud de la viga
P (tnf)	25	Fuerza aplicada

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	≤	0
		≥	0.5
0		≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	11.87199	≤	14.4333333
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	12.6859	≥	11.8125
Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
0.21611202		≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≤0	C	≤0.25	0.025	0.05	0.2	0.01		0.025		0.05

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.025	0.998308509
Estado residual	0.025	0.2
Estado residual	0.05	0.2



Caso 2

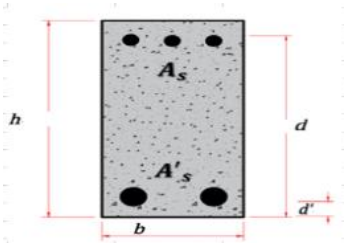


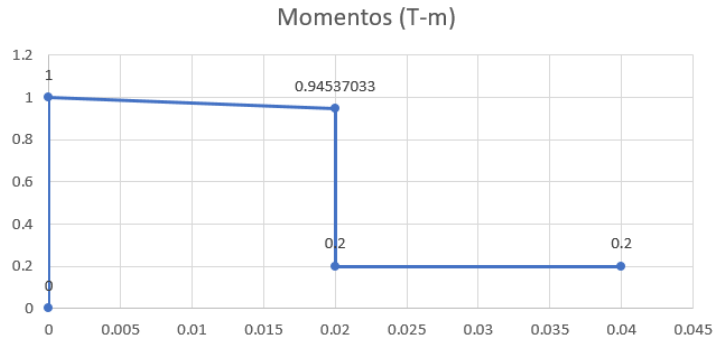
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	1.19	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	8.81E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	4.06	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	1.29E-02	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	3.84	tonf-m	Momento último
Øu	4.98E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
M	3.85		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	14.25	Corte actuante mayorado ó de Diseño
Vn (tonf)	19	Corte último o de falla
Vc (tonf)	4.51	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	14.49	Resistencia al corte del acero
S (cm)	6.85	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.21363893	Longitud de la viga
P (tnf)	19	Fuerza aplicada
L (m)	0.21	Longitud de la viga

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	-0.03774629	≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	6.84882601	≤	7.83333333
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	14.4877476	≥	10.6875
Conforme			
Condición 3	$\left\lvert \frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \right\rvert$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.52417123	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes											
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño					
			a	b	c	IO		LS		CP	
≤0	C	≥0.5	0.02	0.04	0.2	0.005		0.02		0.04	

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.02	0.94537033
Estado residual	0.02	0.2
Estado residual	0.04	0.2



Caso 3

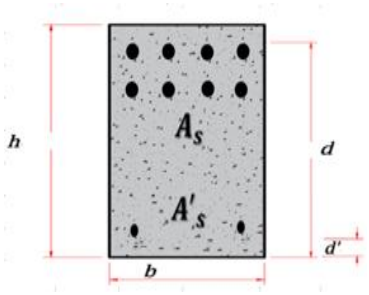


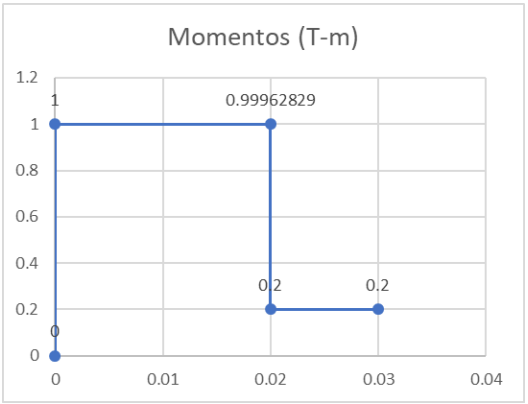
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	8.41	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	4.66E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	48.35	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	6.36E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	48.34	tonf-m	Momento último
Øu	1.87E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.94		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	26.25	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	35	Corte último o de falla
Vc (tonf)	16.04	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	18.96	Resistencia al corte del acero
S (cm)	11.62	Espaciamiento entre estribos
L (m)	1.38156391	Longitud de la viga
P (tnf)	35	Fuerza aplicada

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	0.515456266	≥	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	11.622688	≤	17.4
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	18.96326284	≥	15.75
Conforme			
Condición 3	$\left\lvert \frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \right\rvert$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.217347671	≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≥0.5	C	≤0.25	0.02	0.03	0.2	0.005		0.02		0.03

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.02	0.99962829
Estado residual	0.02	0.2
Estado residual	0.03	0.2



Caso 4

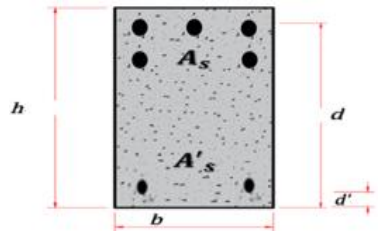


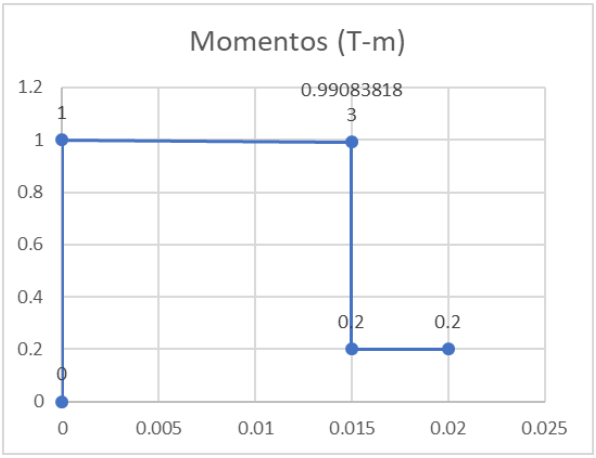
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	3.15	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	6.92E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	18.44	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	1.06E-02	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	18.27	tonf-m	Momento último
Øu	2.65E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.49		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	27	Corte actuante mayorado ó de Diseño
Vn (tonf)	36	Corte último ó de falla
Vc (tonf)	8.66	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	27.34	Resistencia al corte del acero
S (cm)	4.97	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.51230297	Longitud de la viga
P (tnf)	36	Fuerza aplicada

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	≤	0
		≥	0.5
	0.561449619	≥	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	4.972107318	≤	10.7333333
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	27.34415576	≥	20.25
Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.517733227	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≥0.5	C	≥0.5	0.015	0.02	0.2	0.005		0.015		0.02

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.015	0.990838183
Estado residual	0.015	0.2
Estado residual	0.02	0.2



Caso 5

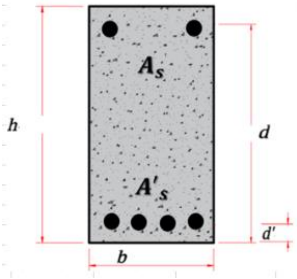


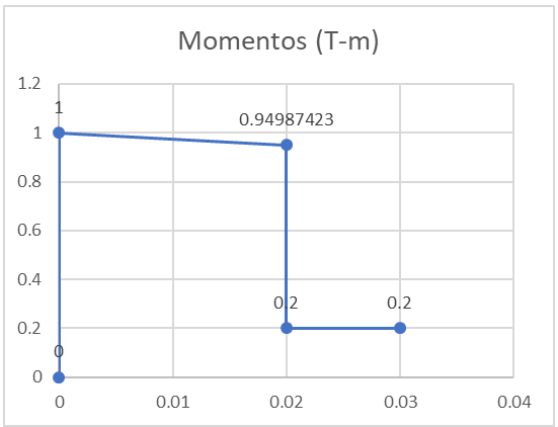
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	5.66	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	4.36E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	8.40	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	4.80E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	7.98	tonf-m	Momento último
Øu	5.36E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	11.15		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	11.25	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	15	Corte último o de falla
Vc (tonf)	12.30	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	2.70	Resistencia al corte del acero
S (cm)	83.63	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.56016267	Longitud de la viga
P (tnf)	15	Fuerza aplicada

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	≤	0
		≥	0.5
	-0.118124068	≥	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	83.63311979	≤	17.8
NC	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	2.69595166	≥	8.4375
No Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.15175961	≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes									
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño			
			a	b	c	IO		LS	CP
≤0	NC	≤0.25	0.02	0.03	0.2	0.005		0.02	0.03

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.02	0.94987423
Estado residual	0.02	0.2
Estado residual	0.03	0.2



Caso 6

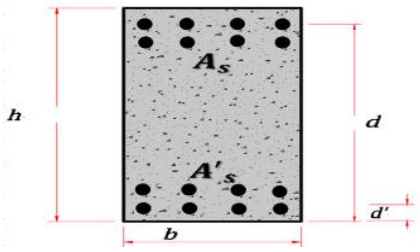


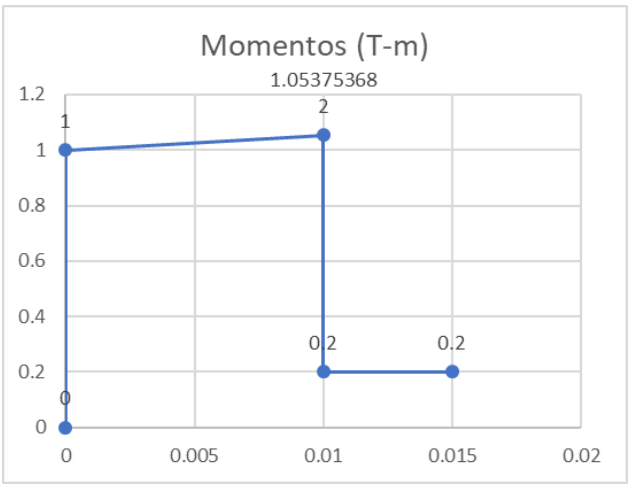
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	2.94	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	6.59E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	18.72	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	1.04E-02	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	19.72	tonf-m	Momento último
Øu	3.31E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	3.18		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	22.5	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	30	Corte último o de falla
Vc (tonf)	7.47	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	22.53	Resistencia al corte del acero
S (cm)	12.14	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.62389788	Longitud de la viga
P (tnf)	30	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	≤	0
		≥	0.5
	0	≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	12.14154246	≤	10.8
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	22.53462236	≥	16.875
No Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.500244639	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≤0	NC	≥0.5	0.01	0.015	0.2	0.0015		0.01		0.015

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.01	1.053753682
Estado residual	0.01	0.2
Estado residual	0.015	0.2



Caso 7

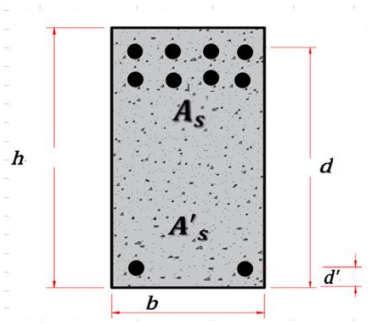


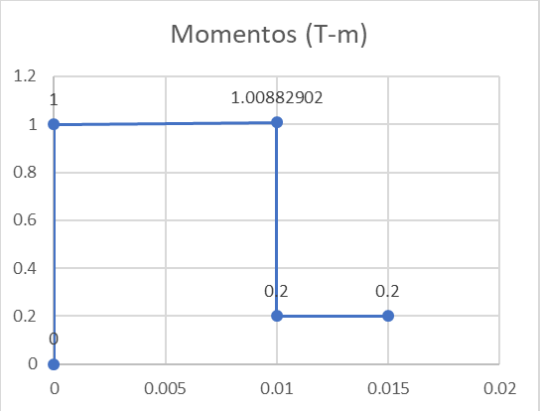
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	4.78	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	5.58E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	31.36	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	8.19E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	31.64	tonf-m	Momento último
Øu	2.14E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.62		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	15	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	20	Corte último o de falla
Vc (tonf)	10.42	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	9.58	Resistencia al corte del acero
S (cm)	18.64	Espaciamiento entre estribos
L (m)	1.56800593	Longitud de la viga
P (tnf)	20	Fuerza aplicada
Av (cm2)	1.00530965	Area de estribos
Numero de estribos	2	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	0.530079139	≥	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	18.64220319	≤	14.1
NC	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	9.580590363	≥	11.25
No Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.238946049	≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≥0.5	NC	≤0.25	0.01	0.015	0.2	0.005		0.01		0.015

Valores de Momento – Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.01	1.00882902
Estado residual	0.01	0.2
Estado residual	0.015	0.2



Caso 8

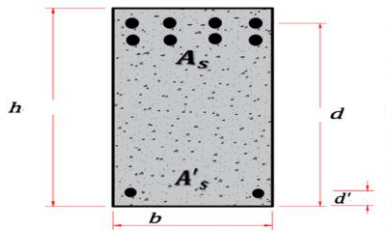


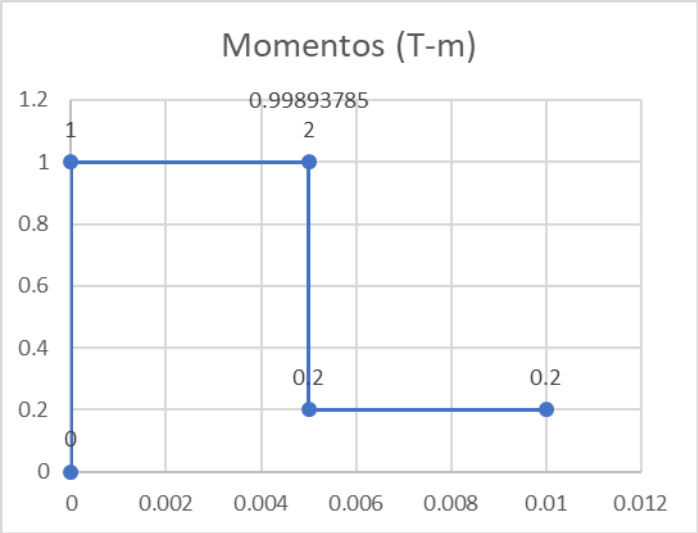
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	2.80	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	6.92E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	18.80	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	1.09E-02	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	18.78	tonf-m	Momento último
Øu	2.43E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.22		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	22.5	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	30	Corte último o de falla
Vc (tonf)	7.47	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	22.53	Resistencia al corte del acero
S (cm)	12.14	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.6268314	Longitud de la viga
P (tnf)	30	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	0.584057893	≥	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	12.14154246	≤	10.8
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	22.53462236	≥	16.875
No Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.500244639	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≥0.5	NC	≥0.5	0.005	0.01	0.2	0.0015		0.005		0.01

Valores de Momento – Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.005	0.998937852
Estado residual	0.005	0.2
Estado residual	0.01	0.2



Modelo 2

Caso 1

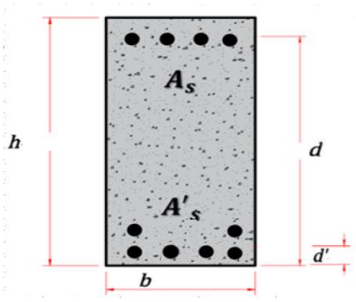


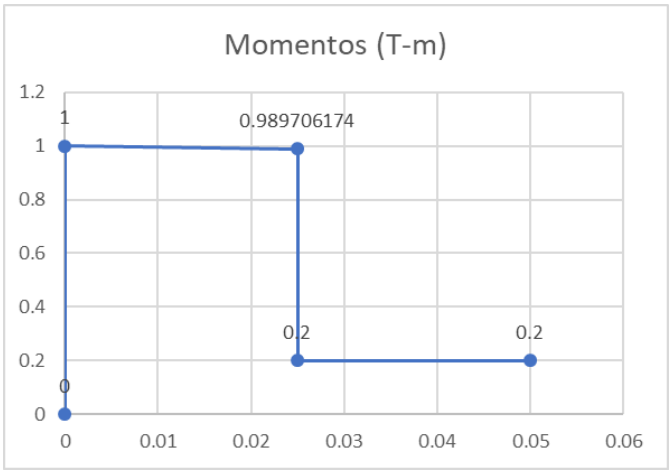
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	6.99	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	4.35E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	20.71	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	5.22E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	20.50	tonf-m	Momento último
Øu	4.41E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	8.44		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	30	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	40	Corte último o de falla
Vc (tonf)	14.18	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	25.82	Resistencia al corte del acero
S (cm)	17.43	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.51785337	Longitud de la viga
P (tnf)	40	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Área de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	≤	0
		≥	0.5
	-0.112335947	≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	17.43271386	≤	17.7666667
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	25.81911455	≥	15
Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.23408757	≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
≤0	C	≤0.25	0.025	0.05	0.2	0.01	0.025	0.05

Valores de Momento – Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.025	0.989706174
Estado residual	0.025	0.2
Estado residual	0.05	0.2



Caso 2

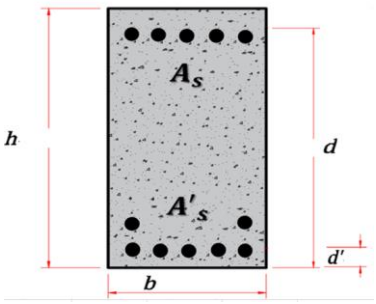


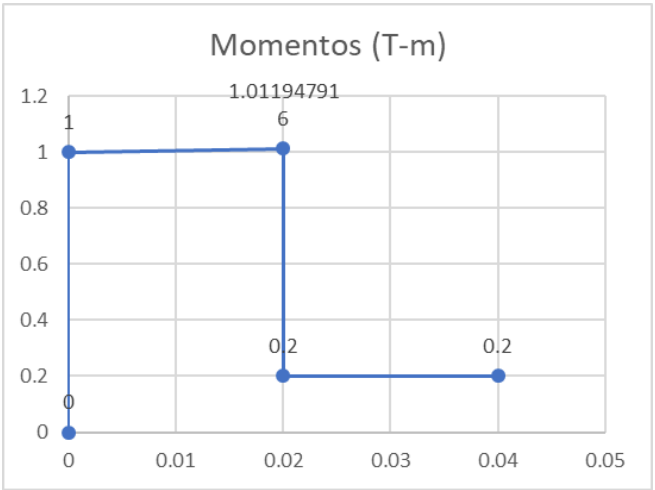
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	9.53	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	4.03E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	28.40	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	4.76E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	28.74	tonf-m	Momento último
Øu	4.10E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	8.61		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	56.25	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	75	Corte último o de falla
Vc (tonf)	17.91	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	57.09	Resistencia al corte del acero
S (cm)	8.62	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.37867518	Longitud de la viga
P (tnf)	75	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert\frac{\rho-\rho'}{\rho bal}\right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	-0.102701647	≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	8.623696141	≤	19.4333333
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	57.089238	≥	42.1875
Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw*d*\sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.521266927	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes										
$\frac{\rho-\rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw*d*\sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño				
			a	b	c	IO		LS		CP
≤0	C	≥0.5	0.02	0.04	0.2	0.005		0.02		0.04

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.02	1.011947916
Estado residual	0.02	0.2
Estado residual	0.04	0.2



Caso 3

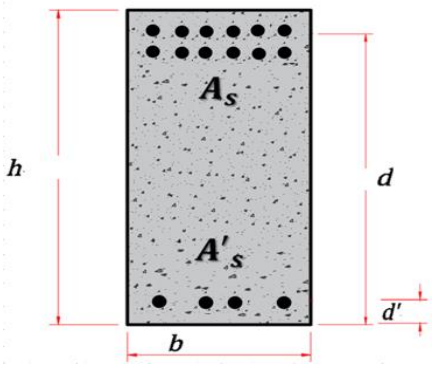


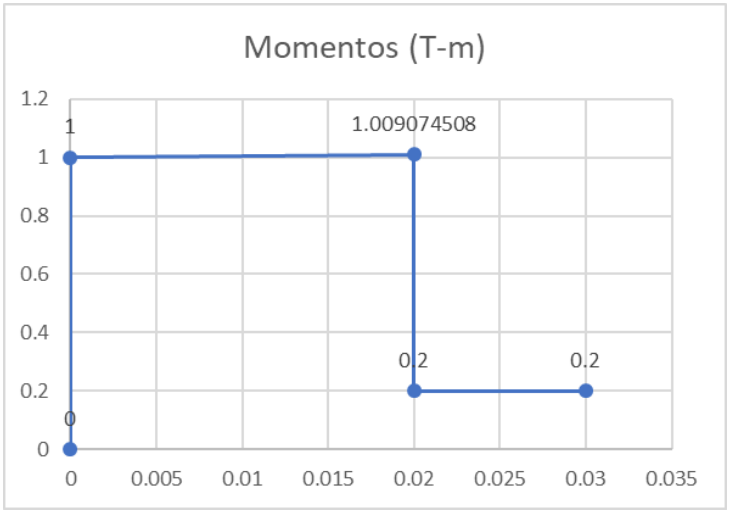
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	13.52	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	4.01E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	86.20	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	5.43E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	86.98	tonf-m	Momento último
Øu	1.53E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.82		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	41.25	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	55	Corte último o de falla
Vc (tonf)	21.50	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	33.50	Resistencia al corte del acero
S (cm)	7.84	Espaciamiento entre estribos
L (m)	1.56723817	Longitud de la viga
P (tnf)	55	Fuerza aplicada
Av (cm2)	1.00530965	Area de estribos
Numero de estribos	2	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	$\leq$	0
		$\geq$	0.5
	0.530300153	$\geq$	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	$\leq$	d/3
	7.839035009	$\leq$	20.7333333
C	*Vs(tn)*	$\geq$	(3/4)*Vd
	33.50247734	$\geq$	20.625
Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	$\leq$	0.25
		$\geq$	0.5
	0.212322484	$\leq$	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
≥0.5	C	≤0.25	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.02	1.009074508
Estado residual	0.02	0.2
Estado residual	0.03	0.2



Caso 4

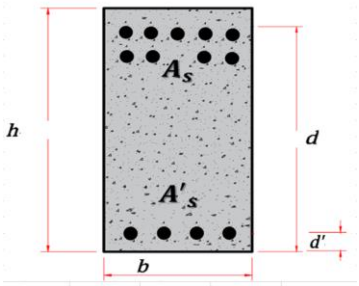


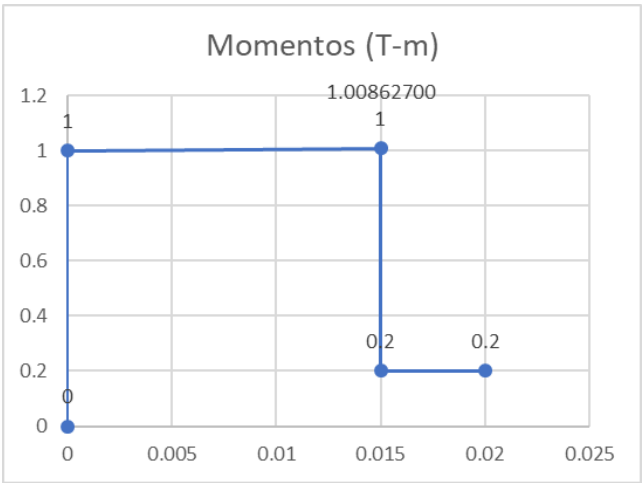
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	5.86	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	5.55E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	35.48	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	8.00E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	35.79	tonf-m	Momento último
Øu	2.22E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.78		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	41.25	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	55	Corte último o de falla
Vc (tonf)	13.00	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	42.00	Resistencia al corte del acero
S (cm)	8.50	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.64510946	Longitud de la viga
P (tnf)	55	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	0.511147741	≥	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
C	*S(cm)*	≤	d/3
	8.503965368	≤	14.1
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	42.00471299	≥	30.9375
Conforme			
Condición 3	$\left\lvert \frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \right\rvert$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.526853397	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
≥0.5	C	≥0.5	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.015	1.008627001
Estado residual	0.015	0.2
Estado residual	0.02	0.2



Caso 5

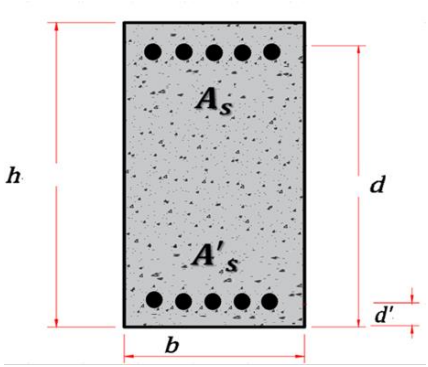


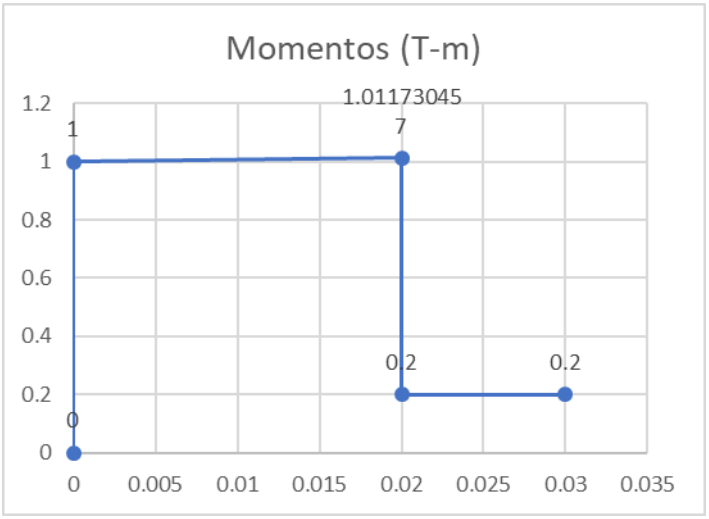
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	13.69	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	3.31E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	28.76	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	3.61E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	29.10	tonf-m	Momento último
Øu	4.45E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	12.32		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	33.75	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	45	Corte último o de falla
Vc (tonf)	22.55	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	22.45	Resistencia al corte del acero
S (cm)	27.61	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.63918306	Longitud de la viga
P (tnf)	45	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	≤	0
		≥	0.5
	0	≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	27.60920183	≤	24.4666667
NC	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	22.45025847	≥	25.3125
No Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.248418489	≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes											
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño					
			a	b	c	IO		LS		CP	
≤0	NC	≤0.25	0.02	0.03	0.2	0.005		0.002		0.03	

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.02	1.011730457
Estado residual	0.02	0.2
Estado residual	0.03	0.2



Caso 6

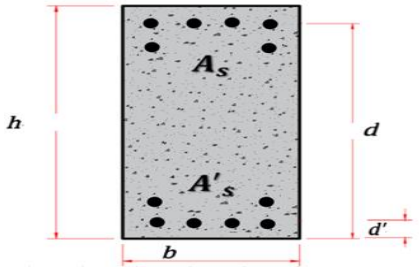


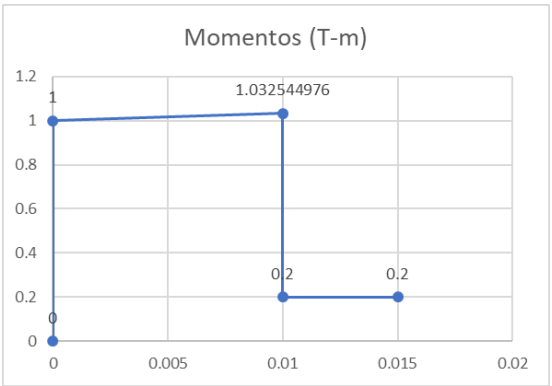
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	2.78	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	6.60E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	14.24	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	9.91E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	14.71	tonf-m	Momento último
Øu	3.69E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	3.72		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	22.5	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	30	Corte último o de falla
Vc (tonf)	7.47	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	22.53	Resistencia al corte del acero
S (cm)	12.14	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.47474664	Longitud de la viga
P (tnf)	30	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	0	≤	0
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	12.14154246	≤	10.8
C	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	22.53462236	≥	16.875
No Conforme			
Condición 3	$\left\lvert \frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \right\rvert$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.500244639	≥	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
≤0	NC	≥0.5	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.01	1.032544976
Estado residual	0.01	0.2
Estado residual	0.015	0.2



Caso 7

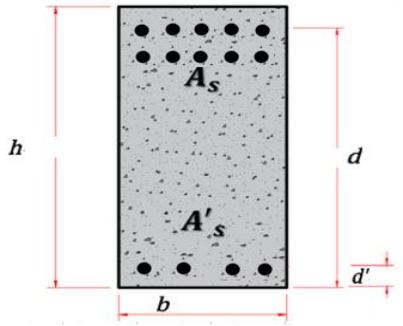


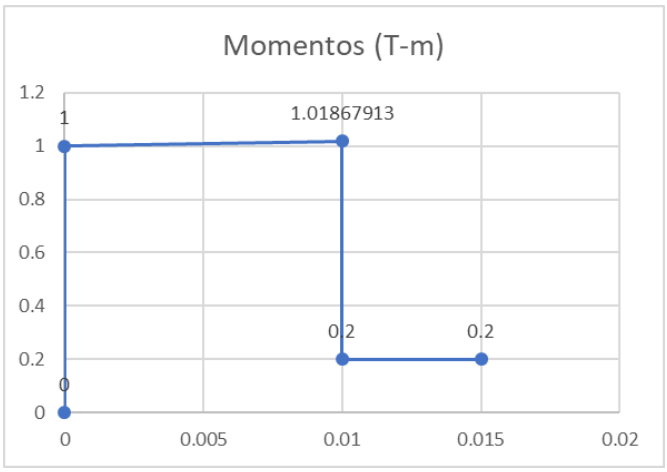
DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	8.91	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	4.65E-04	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	59.96	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	6.59E-03	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	61.08	tonf-m	Momento último
Øu	1.78E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	2.70		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	22.5	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	30	Corte último o de falla
Vc (tonf)	16.04	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	13.96	Resistencia al corte del acero
S (cm)	31.57	Espaciamiento entre estribos
L (m)	1.99874218	Longitud de la viga
P (tnf)	30	Fuerza aplicada
Av (cm2)	2.0106193	Area de estribos
Numero de estribos	4	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\left\lvert \frac{\rho - \rho'}{\rho bal} \right\rvert$	≤	0
		≥	0.5
	0.526784975	≥	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	≤	d/3
	31.56913825	≤	17.4
NC	*Vs(tn)*	≥	(3/4)*Vd
	13.96326284	≥	16.875
No Conforme			
Condición 3	$\left\lvert \frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}} \right\rvert$	≤	0.25
		≥	0.5
	0.232872504	≤	0.25

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
≥0.5	NC	≤0.25	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015

Valores de Momento – Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.01	1.01867913
Estado residual	0.01	0.2
Estado residual	0.015	0.2



Caso 8

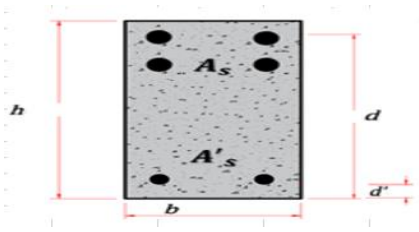


DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA PARA SECCIÓN DOBLEMENTE REFORZADA			
Nomenclatura	**Datos**	**Unidades**	**Descripción**
PUNTO A) INICIO DEL AGRIETAMIENTO			
Mcr	0.86	tonf-m	Momento de agrietamiento
Øcr	1.09E-03	1/m	Curvatura por agrietamiento
PUNTO B) INICIO DE LA FLUENCIA			
My	7.44	tonf-m	Momento de fluencia
Øy	2.44E-02	1/m	Curvatura de fluencia
PUNTO C) RESISTENCIA ÚLTIMA			
Mu	6.94	tonf-m	Momento último
Øu	2.66E-02	1/m	Curvatura última
DUCTILIDAD			
μ	1.09		

Parámetros del Diseño a corte de la viga		
Vu (tonf)	10.5	Corte actuante mayorado o de Diseño
Vn (tonf)	14	Corte último o de falla
Vc (tonf)	3.30	Resistencia al corte del concreto
Vs (tonf)	10.70	Resistencia al corte del acero
S (cm)	6.79	Espaciamiento entre estribos
L (m)	0.53113228	Longitud de la viga
P (tnf)	14	Fuerza aplicada
Av (cm2)	1.00530965	Area de estribos
Numero de estribos	2	Numero de estribos

Condiciones Impuestas en la Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17			
Condición 1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	$\leq$	0
		$\geq$	0.5
	0.935171767	$\geq$	0.5
Condición 2 (Refuerzo Transversal)			
NC	*S(cm)*	$\leq$	d/3
	6.788889412	$\leq$	5.73333333
C	*Vs(tn)*	$\geq$	(3/4)*Vd
	10.69741524	$\geq$	7.875
No Conforme			
Condición 3	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	$\leq$	0.25
		$\geq$	0.5
	0.527699926	$\geq$	0.5

Tabla 10.7 de la Norma ASCE 41-17 y sus valores calculados con sus distintas condiciónes								
$\frac{\rho - \rho'}{\rho bal}$	Refuerzo Transversal	$\frac{Vd}{bw * d * \sqrt{f'_{ce}}}$	Angulo de Rotación plastica		Rotación Plastica	Performance de nivel de Desempeño		
			a	b	c	IO	LS	CP
≥0.5	NC	≥0.5	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01

Valores de Momento - Rotación		
Condición	Ø (Rad/m)	Momentos (T-m)
Inicial	0	0
Estado de fluencia	0	1
Estado ultimo	0.005	0.933092549
Estado residual	0.005	0.2
Estado residual	0.01	0.2

