

**ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE
UNA CONEXIÓN DE UN PERFIL DE ALMA LLENA EMBEBIDO EN UN ELEMENTO
DE CONCRETO**

**JOSE ESTEBAN PRIETO RUIZ
CRISTIAN FELIPE GARZÓN VARGAS**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018**

**ANÁLISIS NUMERICO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE UNA
CONEXIÓN DE UN PERFIL DE ALMA LLENA EMBEBIDO EN UN ELEMENTO DE
CONCRETO**

**JOSE ESTEBAN PRIETO RUIZ
CRISTIAN FELIÉ GARZÓN VARGAS**

**Trabajo De Grado Para Optar al Título De
Ingenieros Civiles**

**Director
Ing. Juan Sebastián Agudelo
Magister en Estructuras**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Ing. JUAN SEBASTIAN AGUDELO
Director de Proyecto

Ing. Asesor de Proyecto

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Fecha: 04 de Mayo de 2018

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Resumen | 9 |
| introducción | 10 |
| 1. Generalidades | 11 |
| 1.1. Antecedentes | 11 |
| 1.2. Planteamiento y formulación del problema | 19 |
| 1.3. Objetivos | |
| 1.3.1. Objetivo general | 21 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 21 |
| 1.4. Justificación | 22 |
| 1.5. Delimitación | 23 |
| 1.5.1. Espacio..... | 23 |
| 1.5.2. Tiempo..... | 23 |
| 1.5.3. Contenido | 23 |
| 1.5.4. Alcance..... | 23 |
| 1.6. Marco de referencia | 24 |
| 1.6.1. Marco teórico..... | 24 |
| 1.6.1.1. Uniones viga columna..... | 24 |
| 1.6.1.2. Vigas de acople en concreto reforzado..... | 26 |
| 1.6.1.3. Conexiones y consideraciones generales de diseño | 31 |
| 1.6.1.4. Vigas de acople de acero | 32 |
| 1.6.1.5. Modelos matemáticos | 37 |
| 1.6.1.6. Simulaciones numéricas | 37 |
| 1.6.1.7. El método de elementos finitos. | 38 |
| 1.6.2. Marco conceptual | 41 |
| 1.6.4. Marco legal | 48 |
| 1.7. Metodología..... | 49 |
| 1.7.1. Tipo de estudio..... | 51 |
| 1.7.2. Fuentes de información..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 2. Levantamiento de información..... | 52 |
| 2.1. Implementación y análisis de la conexión del ing. Soto (2012) | 52 |
| 2.1.1. Descripción de la conexión | 52 |
| 2.1.2. Características de los materiales | 53 |
| 2.1.3. Descripción del ejercicio práctico para obtener la longitud de empotramiento..... | 54 |
| 2.1.4. Modelación y montaje al software “ansys” | 56 |
| 2.1.5. Resultados | 56 |
| 2.2. Análisis de la implementación de los conectores tipo fleje para la conexión de soto..... | 59 |
| 2.2.1. Descripción de la propuesta..... | 59 |
| 2.2.2. Características de los materiales, cálculo de carga y de longitud de empotramiento, modelado y montaje al software..... | 59 |
| 2.2.3. Resultados | 60 |
| 2.3. Análisis y comparación de resultados..... | 63 |
| 2.3.1. Análisis de resultados para la longitud efectiva de empotramiento del ejercicio práctico de la tesis de Juan Pablo Soto Arocha (2012). | 63 |
| 2.3.2. Análisis de resultados de la implementación de los conectores tipo fleje para la conexión de soto..... | 66 |
| 2.3.3. Resumen y comparación de resultados..... | 69 |
| 3. Conclusiones | 70 |
| 4. Recomendaciones | 71 |
| Bibliografía..... | 72 |
| Anexo 1. Modelación y montaje al software “ansys” | 76 |
| Anexo 2. Obtención de reacciones y deflexiones por el método de la viga conjugada | 88 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ancho efectivo | 12 |
| Figura 2. Longitud de empotramiento (l_e) de una viga embebida | 12 |
| Figura 3. Ilustración de la propuesta..... | 20 |
| Figura 4. Uniones típicas viga-columna..... | 25 |
| Figura 5. Vigas de acople con refuerzo en diagonal. Solo se muestra el refuerzo del elemento de borde en un lado por claridad..... | 30 |
| Figura 6. Aproximación de una función | 39 |
| Figura 7. Representación de un dominio bidimensional por una colección de triángulos y cuadriláteros | 40 |
| Figura 8. Ilustración de esfuerzo cortante..... | 43 |
| Figura 9. Ilustración de fuerza axial | 43 |
| Figura 10. Modelo en el software ansys | 45 |
| Figura 11. Viga de alma llena | 47 |
| Figura 12. Diagrama de flujo para la metodología..... | 50 |
| Figura 13. Caso de aplicación viga de acople - tesis del ingeniero juan pablo soto.... | 52 |
| Figura 14. Dimensiones de perfil ipn-450 | 53 |
| Figura 15. Total deformación (conexión ing. Soto) | 56 |
| Figura 16. Reacciones (conexión ing. Soto) | 56 |
| Figura 17. Esfuerzos máximos (conexión ing. Soto)..... | 57 |
| Figura 18. Factor de seguridad “von-mises” (conexión ing. Soto)..... | 57 |
| Figura 19. Total deformación (conexión propuesta)..... | 60 |
| Figura 20. Reacciones (conexión propuesta) | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 21. Esfuerzos máximos (conexión propuesta) | 61 |
| Figura 22. Esfuerzos producidos en los conectores tipo fleje | 61 |
| Figura 23. Modelo sap2000 (deflexiones) y figura 24. Modelo ansys (deflexiones) .. | 63 |
| Figura 25. Factor de seguridad..... | 64 |
| Figura 26. Estrés equivalente (von-mises)..... | 64 |
| Figura 27. Esfuerzos a compresión (patín inferior del perfil ipn-450 y muro) | 65 |
| Figura 28. Comparación de deflexiones (modelo propuesto y modelo de soto) | 66 |
| Figura 29. Comparación de esfuerzos a compresión (mod. Propuesto y mod. De soto) | 67 |
| Figura 30. Esfuerzos producidos en los conectores tipo fleje | 68 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Resumen de resultados | 58 |
| Tabla 2. Resumen de resultados (conexión propuesta)..... | 62 |
| Tabla 3. Resultados ejercicio teórico. | 63 |
| Tabla 4. Comparación de deflexiones con base al modelo teórico | 69 |
| Tabla 5. Comparación entre modelo ing. Soto y modelo propuesto | 69 |

RESUMEN

Al considerarse importantes las uniones o conexiones en el ámbito estructural, por tratarse de elementos que aportan resistencia y estabilidad; que contribuyen a la transmisión de esfuerzos generados por diversas cargas actuantes sobre otros elementos que componen una infraestructura, se ha buscado la manera de mitigar el daño severo que sufren las mismas, en razón al mal diseño y técnicas durante la construcción. Por la cual, se ha establecido que en proyectos de estructuras mixtas, las conexiones juegan un papel importante y es por ésta razón, que en complemento de estudios realizador por expertos en diseño de conexiones de vigas de acero a muros, se propone el desarrollo de una conexión que incorpore flejes como enlace entre el perfil y el concreto, de modo que impidan la extracción del mismo, y con esto elaborar un modelo matemático a través del método de elementos finitos, que permita evaluar la longitud efectiva de empotramiento de una viga de alma llena embebida en un muro de concreto reforzado y así, verificar si la misma cumple con los estándares establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

INTRODUCCIÓN

El uso de conexiones rígidas en edificios de acero se ha restringido, dado a que en su mayoría presentan limitaciones al ser implementados en el diseño de una edificación y en algunos otros casos la configuración de la misma obliga a la búsqueda de otro tipo de uniones no calificadas. Siendo uno de los casos la conexión al eje débil (Andrade, 2015), la cual no está contemplada en el American Institute of Steel Construction (AISC), o en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Dado este caso, se propone desarrollar el modelo matemático de una conexión caracterizada por un perfil de alma llena embebido en un elemento de hormigón, mediante el método de elementos finitos, para así observar la adherencia entre el perfil y el hormigón, a partir de los resultados de los esfuerzos generados por los flejes al evitar la extracción del perfil y con ello, en caso de que resultase favorable el estudio, sugerir su implementación a futuro.

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

A continuación se mencionan estudios realizados por varios autores, donde se presenta un breve resumen enfocado al proyecto:

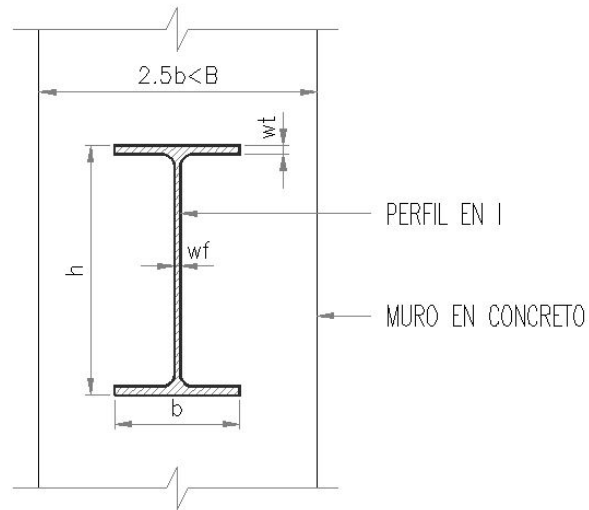
I. Dynamic characteristics of infilled frames (Mallick & Severn, 1968)

Fueron los primeros en indagar la importancia entre elementos de acero embebidos en concreto, lo cual los llevó a hacer pruebas de cargas dinámicas de medio ciclo, en sistemas estructurales de este tipo, a pequeña escala, que servían para determinar la adecuada transferencia de tensiones entre los miembros.

II. Precast Concrete Connections with Embedded Steel Members (Marcakis & Mitchell, 1980)

Los autores presentan un modelo analítico racional y un método de diseño para concreto prefabricado incorporando miembros de acero embebido, donde dedujeron el ancho efectivo de la conexión. De acuerdo a lo anterior, los experimentos indicaron que el ancho efectivo de la conexión (B) debe ser inferior a 2.5 veces el ancho del patin del perfil de alma llena (b). (Ver Figura 1)

Figura 1. Ancho efectivo

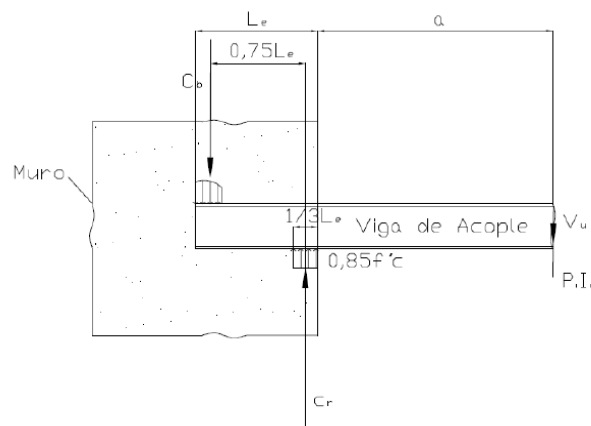


Fuente: Los autores

III. Strength of embedded steel sections as brackets (Mattock & Gaafar, 1981)

Ellos fueron los primeros en introducir el modelo de acero embebido en columnas de concreto prefabricadas, donde lograron formular la primera longitud de empotramiento. (Ver Figura 2)

Figura 2. Longitud de empotramiento (L_e) de una viga embebida



Fuente: "Proyecto de conexiones de vigas de acero a muro de concreto en estructuras mixtas" (SOTO, 2012)

IV. Concrete Walls Couple by ductile steel link beams (Harries, Cook, Redwood, & Mitchell, 1992)

Los autores hicieron unos modelos a escala, donde demostraron que las vigas embebidas en muros de concreto tienen mayor disipación de energía que las vigas compuestas de concreto armado.

V. Seismic desing and performace of composite coupled walls (Shahrooz & otros, 1992)

Los autores demostraron que el modelo introducido por (Mattock & Gaafar, 1981) era el adecuado para determinar la longitud de empotramiento (Le), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Vu = 12,88\sqrt{f'c} \left(\frac{tmuro}{bf}\right)^{0,66} \beta 1 * bf * Le * \left(\frac{0,58 - 0,22\beta 1}{0,88 + (\alpha/Le)}\right)$$

Dónde:

$f'c$ = Resistencia del concreto kgf/cm²

tmuro = espesor del muro en centímetros

bf = ancho del ala del perfil en centímetros

$\beta 1$ = Factor definido en el artículo 10.2.7 del American Concrete Institute (ACI 318-05) y cuyos valores son los siguientes:

- 0.85 para $f'c \leq 280$ kgf/cm²
- $1.05 \cdot f'c / 1400 \geq 0,65$ Para $f'c > 280$ kgf/cm²

Le = Longitud de empotramiento (cm)

A = Distancia del punto de inflexión a la cara del muro de corte.

V_u = esta ecuación debe ser seleccionada para asegurar que la conexión no falle antes de desarrollar la capacidad total de la viga de acople. V_u se toma como la capacidad de corte plástica de la vida de acero, determinada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Vp = 0,65 fy (h - 2tf) tw$$

Para tomar en cuenta el endurecimiento por deformación, se recomienda que el valor f_y se tome como 1.25 veces su valor nominal.

VI. Calificación de una conexión rígida de una viga en I y una columna tubular rellena de concreto bajo acción de cargas dinámicas (Uribe & Clement, 2009)

Los autores hicieron un estudio del comportamiento de una conexión rígida de una viga I y una columna tubular rellena de concreto, materializada en seis modelos físicos con variación en la relación ancho-espesor (b/t) de las columnas. De acuerdo a lo anterior, dedujeron que la conexión ensayada se puede considerar como rígida o totalmente restringida, teniendo en cuenta el criterio definido en la sección B3.1 de las especificaciones de la American Institute of Steel Construction (AISC, 2005).

Por último, con base a la principal variable en el diseño, ancho-espesor (b/t) de las columnas, en primera instancia se puede concluir que la influencia de este parámetro en los resultados experimentales de la conexión en estudio no fue relevante en cuanto a la resistencia, pero sí con respecto a las deformaciones.

VII. Calificación de conexiones de perfiles en I en acero-viga conectada al eje débil de la columna (Andrade, 2015)

En la investigación se analiza el comportamiento de una conexión al eje débil ante cargas cíclicas, a partir de la experimentación y del análisis por elementos finitos, para tal efecto, se analizaron dos configuraciones de conexión al eje débil (una empernada y una soldada) y de cada configuración se ensayaron tres uniones cuya diferencia se basó en el peralte de la viga; dando como resultado que los seis especímenes cumplieron con los requisitos de rotación exigidos en el (NSR-10) y en el (AISC) de 0.04 radianes, como también con los requisitos de resistencia necesarios para una conexión rígida de un edificio sismo resistente.

VIII. Simulación por elemento finito del proceso deformado de conexiones “T” sin costura en caliente (Lázaro Naranjo, 2004)

El autor muestra la aplicación al proceso de forjado en caliente de conexiones “T” de acero sin soldadura, donde se determinó la distribución de esfuerzos y deformaciones que se presenta en la pieza durante el proceso de formado, dando como resultado que el elemento finito permite resolver sistemáticamente cualquier tipo de problema; materiales complejos, tales como materiales no homogéneos.

IX. Precalificación de una conexión soldada a momento viga-columna para aplicaciones en edificios metálicos (Acero & Guerrero, 2006)

Los autores hicieron un ensayo de precalificación y se evaluó matemáticamente mediante un modelo de elementos finitos. En este modelo, se consideró el comportamiento elasto-plástico del acero con endurecimiento cinemático, donde el comportamiento de la conexión fue el esperado y logró una máxima rotación plástica en la viga de 0.05 radianes para el ensayo cíclico experimental, y de 0.04 radianes en la simulación de la prueba, sin contribución de la zona del panel de la columna a la rotación.

Por último, concluyen que el uso de elementos finitos fue útil para predecir el comportamiento de la conexión, con resultados cercanos a las mediciones experimentales y se recomienda promover el uso de esta herramienta para precalificar conexiones y así reducir los costos en materiales y laboratorio.

X. Proyecto de conexiones de vigas de acero a muro de concreto en estructuras mixtas (SOTO, 2012)

El autor hizo una investigación sobre el cálculo y construcción de estructuras mixtas, lo cual lo llevó desarrollar una metodología de diseño para las conexiones comúnmente utilizadas de vigas de acero y muros de concreto.

XI. Simulación numérica de vigas en concreto reforzado con barras longitudinales, transversales y fibras cortas de acero mediante el método de los elementos finitos (Lopez, 2012)

Este trabajo muestra la realización de la modelación numérica de vigas en concreto reforzado con barras de refuerzo longitudinal, transversal y fibras cortas a través de cuatro tipos de vigas, en las cuales se analiza el efecto de la fisuración, el esfuerzo de fluencia, el volumen de fibras y refuerzo superior utilizado en la respuesta estructural de vigas bajo un régimen de cargas por flexión.

De acuerdo a lo anterior, se encuentra que el proceso de degradación en el material influye en la respuesta estructural de las vigas bajo un régimen de cargas que producen flexión. Una de las limitaciones de este modelo numérico consiste en no incluir el proceso de cohesión entre las caras de la fisura.

XII. Modelación de un sistema estructural prefabricado de bajo peso sometido a cargas sísmicas para la construcción de viviendas (Robles & Castillo, 2005)

Los autores hicieron un análisis del comportamiento sísmico, obtenido mediante la modelación por elementos finitos del sistema constructivo de una vivienda, para esto evaluaron un sistema estructural alternativo prefabricado de bajo peso, para la construcción de viviendas sismo resistentes.

Como resultado de lo anterior, concluyeron que el sistema podría llegar a resultar técnicamente viable a la luz de las normas sismo resistentes especificadas debido a que, según estos resultados, la estructura de la vivienda no presentaría esfuerzos actuantes por encima de los admisibles para ningún caso. Por lo tanto, el sistema no presentó problemas sísmicos por su característica primordial de ser muy liviano.

XIII. (Estudio del Comportamiento de Vigas Compuestas de Hormigón y Acero Mediante Simulación Numérica, 2014)

Los autores realizaron el trabajo mediante un estudio preliminar del comportamiento de vigas compuestas de hormigón y acero unidos por conectadores tipo pernos. En él emplearon un programa computacional ABAQUS, el cual está basado en el Método de Elementos Finitos (MEF). Para modelar el comportamiento del acero utilizaron un modelo bilineal con criterio de rotura de Von Mises, y para el concreto utilizaron un modelo plástico. Los resultados obtenidos arrojaron similitud con los datos finales de la experimentación, validando la utilización del método de elementos finitos (MEF) en el estudio de este tipo de estructuras.

XIV. Estudios analíticos sobre la pérdida de adherencia en conexiones viga columna de concreto reforzado (Esteve, 1989)

El autor propone un modelo que representa el comportamiento de una barra de acero de refuerzo de una viga anclada en una conexión viga-columa exterior sujeta a una carga monotoná. Los resultados obtenidos indicaron que la longitud de penetración de la fluencia del acero llega a ser de aproximadamente una tercera parte de la longitud de desarrollo. También se llegó a la conclusión que tener una longitud de desarrollo adecuada para el diámetro de la varilla asegura un comportamiento dúctil sin concentración de deformaciones en el acero y con longitudes de adherencia con poco daño, con lo cual se logra una redistribución de esfuerzos que evita el desprendimiento de la barra.

XV. Estudio del contacto entre perfil metálico y hormigón en vigas metálicas parcialmente embebidas (Ramos, Pilito, & Mesquita, 2007)

Este estudio quiso validar un modelo que simula el comportamiento mecánico del contacto entre el perfil IPE y el refuerzo lateral de hormigón, tanto en el caso de adherencia natural, como en el caso de aumentar ésta con elementos de conexión: cercos soldados al alma del perfil, para realizar dicho estudio se generó un modelo numérico tridimensional empleando los elementos SOLID65, LINK8, SHELL181 Y COMBIN39 de ANSYS.

XVI. Propuesta de unión viga-pilar mediante pernos conectores: Análisis por método de elementos finitos y ensayos experimentales (Antonio, Jesús, & Jaime, 2017)

En este estudio se quiso proponer una alternativa más económica y viable para uniones entre forjados de concreto y pilares metálicos, la cual consistió en utilizar un grupo de pernos conectores destinados a transmitir las solicitaciones desde los forjados de concreto hasta los pilares metálicos. Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales permitieron confirmar los modos de rotura previstos por los modelos numéricos y así validar este tipo de conexiones y generar una posibilidad de industrialización.

XVII. Guía Colombiana de diseño sísmico de estructuras en acero (Ortiz & Castellanos, 2016)

Los autores presentan una guía de diseño sísmico de estructuras en acero, utilizando como base el contenido del manual de diseño sísmico del Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC – American Institute of Steel Construction) y lo relaciona directamente con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), a través del desarrollo de un caso de estudio en el contexto local.

XVIII. Utilización de vigas de acoplamiento de acero para la mejorar la respuesta sísmica de edificios altos de acero (Martínez & Valles, 2015)

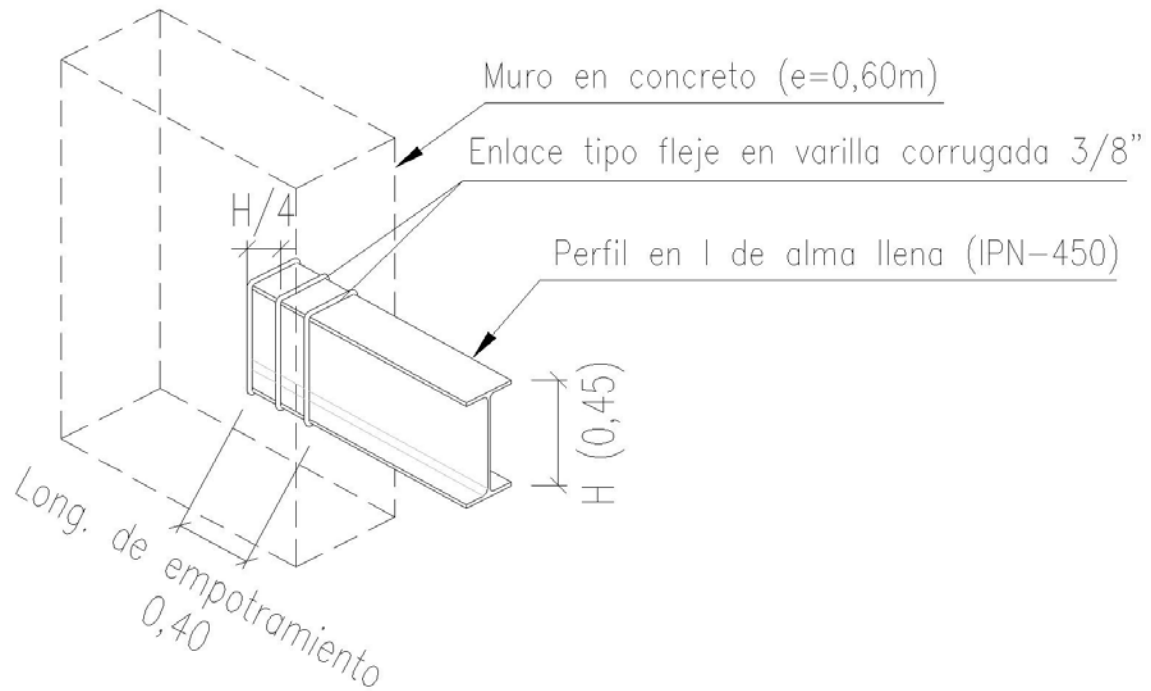
Este trabajo describe la aplicación de la construcción compuesta a un esbelto edificio de apartamentos de 28 niveles. Con el objetivo de limitar las deformaciones laterales ante cargas sísmicas, se utilizaron muros de concreto en la dirección corta del edificio, acoplado por medio de vigas de acero que actúan como un “eslabón dúctil” de alta disipación de energía. De acuerdo a lo anterior, se comprobó que las vigas de acoplamiento son eficientes para lograr una máxima disipación de energía, resistir las fuerzas sísmicas reglamentarias y cumplir con los requisitos límite de deformaciones laterales.

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Durante una eventualidad sísmica se ha evidenciado que los elementos estructurales más afectados son las conexiones, probablemente en razón a un mal diseño y malas técnicas durante la construcción (Harries, Cook, Redwood, & Mitchell, 1992); acontecimiento que posteriormente incide de manera negativa sobre la integridad de la estructura y del personal que la ocupa.

A partir de lo anterior, se establece que en proyectos de estructuras mixtas, la solución estructural juega un papel importante, toda vez que se requiere transmitir grandes esfuerzos entre los elementos que la componen, siendo las conexiones una forma adecuada de mitigar o solventar dicha problemática. Con base en lo ya descrito anteriormente y a las recomendaciones dadas por el ingeniero (SOTO, 2012) en su tesis para el diseño de conexiones de vigas de acero a muros de concreto en estructuras mixtas, surge como interrogante el ¿cómo se podrá verificar la longitud de empotramiento efectiva para vigas de acople en muros de concreto reforzado?, con lo cual y de manera resolutiva a la problemática en contexto, se pretende la incorporación de flejes como enlace entre el perfil y el concreto, de modo que impidan la extracción del perfil. (Ver figura 3)

Figura 3. Ilustración de la propuesta



Fuente: Los autores

Donde:

B= Ancho efectivo de la conexión

b= Ancho del patín del perfil de alma llena

Le= Longitud de empotramiento

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Elaborar un modelo matemático a través del método de elementos finitos, para determinar y comparar la longitud efectiva de empotramiento de una viga de alma llena embebida en un muro de concreto reforzado, en relación a las recomendaciones dadas por el ingeniero (Soto, 2012) en su tesis para el diseño de conexiones de vigas de acero a muros de concreto en estructuras mixtas.

1.3.2. Objetivos Específicos

o

- Consultar y agrupar los estudios realizados en el diseño de vigas de acople, tanto en estructuras de concreto y estructuras mixtas.
- Evaluar el aporte estructural que pueden brindar algunos conectores tipo fleje, ubicados en la longitud efectiva de empotramiento de la viga. Los cuales, se caracterizarán por ser varillas corrugadas de diámetro 3/8" y $f_y=240$ Mpa; separados entre sí a 1/4 de altura efectiva del perfil comparado.
- Comparar los resultados obtenidos de la verificación de la longitud efectiva de empotramiento dada por Soto (2012), y verificar si cumple con los estándares dados por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

1.4. JUSTIFICACIÓN

Fundamentados en el argumento técnico, que el perfil de acero y su recubrimiento de hormigón, constituyen una sección mixta que garantiza la acción conjunta de estos materiales, permitiendo la transferencia de esfuerzos, como también, que se pueden emplear elementos tales como conectores tipo Nelson o flejes que aumentarán la conexión entre ambos materiales, siendo éstos capaces de soportar esfuerzos adicionales, y su vez, en razón que se requiere en términos generales, un medio para la obtención de una aproximación a la solución del problema de afección de conexiones, se plantea el uso del método de elementos finitos para determinar una mejor transferencia de esfuerzos en éstas conexiones y así proporcionar información relevante en contraste a la resistencia de esfuerzos obtenida en una conexión convencional (longitud de empotramiento, ejemplo práctico (Soto, Proyecto de conexiones de vigas de acero a muros de concreto en estructuras mixtas, 2012)) ; toda vez que ofrece ventajas reales como la optimización de dinero y la garantía de una mejor adherencia entre el concreto y el perfil.

1.5. DELIMITACIÓN

1.5.1. ESPACIO

El presente proyecto de tesis, tendrá como limitación espacial el territorio colombiano. El estudio está enfocado al diseño de conexiones de vigas de encaje, teniendo como base la norma (ACI-318, 2014) y su similar en Colombia que es Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

1.5.2. TIEMPO

La ejecución del proyecto tuvo un tiempo aproximado de 120 días, los cuales corresponden al periodo académico 2018-I; en este lapso se hizo la depuración de la información, adicional se inició con el modelado y análisis de resultados.

1.5.3. CONTENIDO

El presente documento contiene las características básicas de nodos y evalúa el comportamiento de vigas de acople en acero conectadas a muros de concreto, así como los posibles efectos o soluciones al implementar elementos de enlace entre estos.

1.5.4. ALCANCE

Este estudio llegará hasta la fase de análisis y comparación de los resultados producto de la verificación de longitud utilizada para el empotramiento de la viga de acople de un perfil en I de alma llena; (Soto, Proyecto de conexiones de vigas de acero a muros de concreto en estructuras mixtas, 2012), como también, del contraste realizado entre éste modelo y el correspondiente a la incorporación de flejes que servirán como enlace entre el perfil y el concreto. Con lo cual, aquellas variables relacionadas con el tipo de perfil y ancho efectivo, no serán evaluadas.

1.6. MARCO DE REFERENCIA

1.6.1. MARCO TEÓRICO

Las conexiones y/o uniones en las estructuras son consideradas un ítem importante, toda vez que aportan a la misma resistencia y estabilidad, es por esto, que se han venido desarrollado varios tipos de conexiones que contribuyen a transmitir los esfuerzos generados por diversas cargas, que actúan sobre otros elementos que componen la estructura y que a su vez resultan útiles para la optimización de procesos constructivos, acabados arquitectónicos y recursos económicos.

A continuación se presentan algunas teorías que son importantes para el resultado del avalúo y diseño de dichas conexiones:

1.6.1.1. UNIONES VIGA COLUMNA

Según el ingeniero Roberto Rochel, en su libro de Análisis y Diseño Sísmico de Edificios (2012), indica que: “Un nudo se define como la parte de la columna que está dentro de la altura de la viga o vigas que se unen a ella. El nudo, al igual que las vigas, las columnas y la cimentación, conforman el sistema de resistencia sísmica de una estructura.

Los nudos son secciones muy críticas en un sistema estructural, pues a través de ellos se asegura la continuidad de la estructura al transmitir las fuerzas de un elemento a otro. La eficiencia en la transferencia de las fuerzas depende del detallado de los nudos.

El diseño de los nudos no ha recibido la debida atención, y es común que en los planos de construcción no se detallen las uniones y se deje en manos del constructor la definición de detalles críticos que influyen en el buen comportamiento de la estructura.

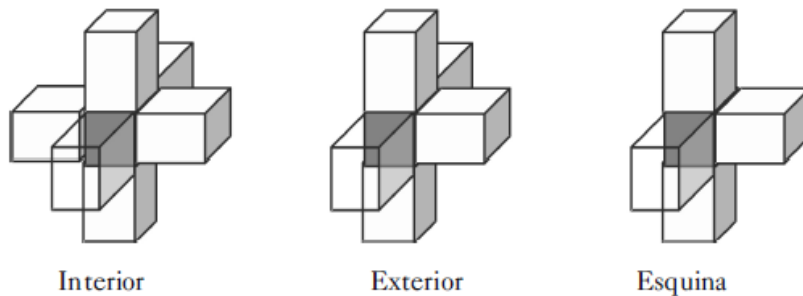
En el pasado, el diseño de los nudos de las estructuras porticadas se limitaba a satisfacer las condiciones de anclaje del refuerzo, no se le daba mucha importancia porque los colapsos de las estructuras porticadas de hormigón reforzado se presentaban por diseños mal concebidos en vigas y por un detallado inadecuado de las columnas. Sin embargo, los sismos recientes, como el de México en 1985, el de San Salvador en 1986, el de Loma Prieta en 1989, el de Los Ángeles en 1994, el de Kobe en 1995, el de Armenia

(Colombia) en 1999 y el de Haití en el 2010 han evidenciado fallas por corte y por anclaje en las uniones viga-columna.

El empleo de materiales de alta resistencia, el uso de secciones cada vez de menores dimensiones y la utilización de barras de refuerzo de diámetros altos, hacen que sea necesario prestar mayor atención al diseño y detallado de las uniones.

El diseño y detallado de un nudo depende de su ubicación dentro de la estructura y de la demanda de ductilidad del sistema. A un nudo ubicado en el interior de una estructura le llegan vigas por sus cuatro caras; estas vigas pueden confinar el nudo y mejorar sustancialmente el comportamiento del hormigón. Pero si el nudo se encuentra en una de las caras externas de la estructura, le llegan vigas solo por tres de sus caras laterales y queda desconfiada una de las caras del nudo, lo que disminuye la capacidad del hormigón para resistir tensiones diagonales. El caso más crítico es el de los nudos de esquina, los cuales solo tienen vigas por dos caras adyacentes.”

Figura 4. Uniones típicas viga-columna



Fuente: (Rochel, 2012)

1.6.1.2. VIGAS DE ACOPLE EN CONCRETO REFORZADO

Generalidades de diseño y reforzamiento para vigas de acople según el Capítulo 18 del reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) y comentario (ACI 318SR-14)

“R18.10.7 Vigas de acople - Las vigas de acople que conectan muros estructurales pueden proporcionar rigidez y disipación de energía. En muchos casos las limitaciones geométricas generan vigas de acople altas con relación a su luz libre. Las vigas altas de acople pueden estar controladas por cortante y pueden ser susceptibles a degradación de resistencia y rigidez bajo las cargas sísmicas. Los resultados de los ensayos (Paulay and Binney 1974; Barney et al. 1980) han demostrado que un refuerzo diagonal confinado proporciona resistencia adecuada en las vigas altas de acople.

Los experimentos demuestran que el refuerzo orientado diagonalmente únicamente es efectivo si las barras están colocadas con una gran inclinación. Por lo tanto, las vigas de acople con refuerzo diagonal están restringidas a vigas que tengan una relación de aspecto $\left(\frac{L_n}{h}\right) < 4$. La edición de 2008 de este Reglamento se cambió para aclarar que las vigas de acople con una relación de aspecto intermedio pueden reforzarse de acuerdo con el numeral 18.6.3 hasta 18.6.5.

Las barras diagonales deben colocarse en forma más o menos simétrica en la sección transversal de la viga, en dos o más capas. Las barras colocadas diagonalmente intentan proporcionar toda la resistencia a cortante de la viga y la resistencia a momento de la combinación de barras longitudinales y diagonales.

Se describen dos opciones de confinamiento. De acuerdo con la figura 19(c), cada elemento diagonal consiste en una jaula de refuerzo longitudinal y transversal como el que se muestra en la figura 19(a). Cada jaula contiene a lo menos cuatro barras longitudinales y confina el núcleo de concreto. Los requisitos para las dimensiones laterales de la jaula y de su núcleo tienen por objeto proporcionar una estabilidad adecuada a la sección transversal cuando las barras se encuentren sometidas a cargas que exceden la fluencia. Las dimensiones mínimas y el espaciamiento libre

requerido para el refuerzo pueden controlar el ancho del muro. Se revisó el Reglamento del 2008, para relajar el espaciamiento del refuerzo transversal que confina las barras diagonales, así aclarar que se requiere confinamiento en la intersección de las diagonales y simplificar el diseño del refuerzo longitudinal y transversal alrededor del perímetro de la viga. Se espera que las vigas con estos nuevos detalles se comporten aceptablemente. La expresión para el refuerzo transversal **Ash** se basan en garantizar una capacidad a la compresión de una sección de columna equivalente se mantiene después de que el recubrimiento de concreto se descascara.

La sección 18.10.7.4 (d) describe una segunda opción para el confinamiento de las diagonales, que fue introducida en el Reglamento del 2008 (véase la Fig. R18.10.7 (b)). Esta segunda opción es para confinar toda la sección transversal de la viga en lugar de confinar las diagonales individualmente. Esta opción puede simplificar considerablemente la colocación de los estribos cerrados de confinamiento en la obra, que de otro modo, podría ser muy difícil donde se intersectan las barras diagonales o donde entran al borde del muro.

Cuando las vigas de acople no se usan como parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas, se puede obviar los requisitos para el refuerzo en diagonal.

Los resultados de ensayos (Barney et al. 1980) demostraron que las vigas reforzadas como se describe en 18.10.7 poseen ductilidad adecuada para fuerzas cortantes que exceden $0.83 \sqrt{f'_c} bw.d$. En consecuencia, el uso de un límite $0.83 \sqrt{f'_c} bw.d$ Proporciona un límite superior aceptable.

18.10.7.1. Las vigas de acople con $\left(\frac{l_n}{h}\right) \geq 4$ deben cumplir con los requisitos indicados en 18.6, con el borde del muro interpretado como una columna. No se requiere cumplir los requisitos establecidos en 18.6.2.1 (b) y (c) si se puede demostrar mediante análisis que la viga tiene una estabilidad lateral adecuada.

18.10.7.2 Las vigas de acople con $\left(\frac{l_n}{h}\right) < 2$ y con $V_u \geq 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} A_{cw}$ deben reforzarse con dos grupos de barras dispuestas diagonalmente que se intersectan, colocadas en forma simétrica respecto al centro de la luz, a menos que se pueda

demostrar que la pérdida de rigidez y resistencia de las vigas de acople no debilita la capacidad de la estructura para soportar carga vertical, o la evacuación de la estructura, o la integridad de los miembros no estructurales y sus conexiones con la estructura.

18.10.7.3 Se permite que las vigas de acople que no estén controladas por los requisitos de 18.10.7.1 ó 18.10.7.2 se refuercen ya sea con dos grupos de barras que se intersectan diagonalmente colocadas en forma simétrica respecto al centro de la luz o de acuerdo con 18.6.3 hasta 18.6.5, con el borde del muro interpretado como una columna.

18.10.7.4 Las vigas de acople reforzadas con dos grupos de barras que se intersectan diagonalmente colocadas en forma simétrica respecto al centro de la luz deben cumplir con (a), (b) y ya sea con (c) o con (d). No se necesita cumplir con los requisitos de 9.9:

V_n se debe determinar por medio de

$$V_n = 2A_{vd}f_y \text{sen}\alpha \leq 0.83\sqrt{f'_c}A_{cw}$$

Ecuación 18.10.7.4 (ACI318S-14)

Donde α es el ángulo entre las barras diagonales y el eje longitudinal de la viga de acople.

(b) Cada grupo de barras diagonales consiste en un mínimo de cuatro barras colocadas en dos o más capas. Las barras diagonales deben estar embebidas en el muro no menos de 1.25 veces la longitud de desarrollo para **f_y** en tracción.

(c) Cada grupo de barras diagonales debe estar rodeado por refuerzo transversal rectilíneo teniendo dimensiones exteriores de al menos **bw/2** en la dirección paralela a **bw** y **bw/5** a lo largo de los otros lados, donde **bw** es el ancho del alma de la viga de acople. El refuerzo transversal debe cumplir con 18.7.5.2 (a) hasta (c), con **A_{sh}** no menor que el mayor de (i) e (ii):

$$(i) 0.09sb_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$(ii) 0.3sb_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

Ecuación 18.10.7.5 (ACI318S-14)

Para efectos de calcular A_g , el recubrimiento de 20.6.1 debe suponerse en todos los cuatro lados de cada grupo de barras diagonales. El refuerzo transversal debe tener un espaciamiento medido paralelo a la barra diagonal que cumpla 18.7.5.3 (c) y no exceda $6db$ de la barra diagonal de menor diámetro, y debe tener un espaciamiento de los ganchos suplementarios y ramas de estribos cerrados de confinamiento, medido perpendicularmente a las barras diagonales, que no exceda 350mm. El refuerzo transversal debe continuar a lo largo de la intersección de las barras diagonales. En la intersección, se puede modificar la disposición del refuerzo transversal dado que los requisitos de espaciamiento y relación volumétrica se cumplan. El refuerzo longitudinal y transversal adicional debe distribuirse alrededor del perímetro de la viga y debe tener un área total en cada dirección de al menos $0.002bw_s$ y un espaciamiento que no exceda 300mm.

(d) Debe colocarse refuerzo transversal en toda la sección de la viga de acuerdo con 18.5.2 (a) hasta (c), y A_{sh} no puede ser menor que el mayor de (i) e (ii):

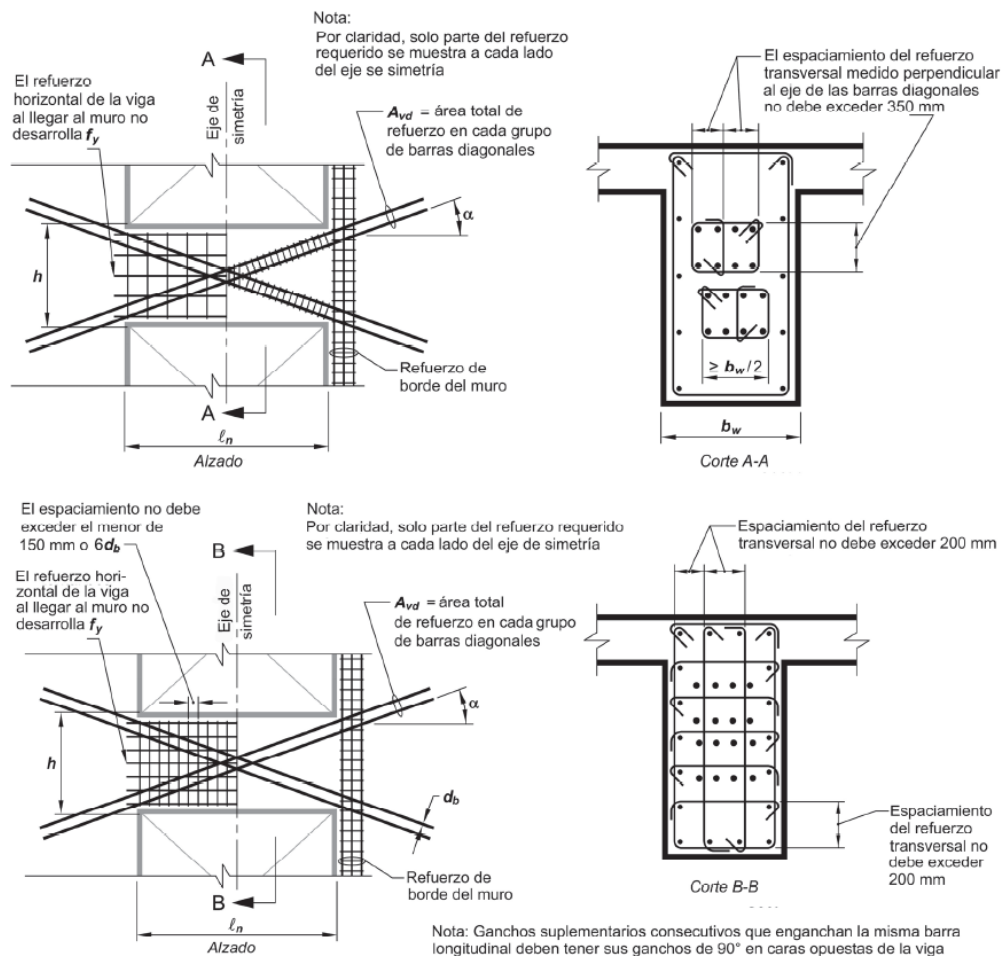
$$(i) 0.09sb_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$(ii) 0.3sb_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

Ecuación 18.10.7.6 (ACI318S-14)

El espaciamiento longitudinal del refuerzo transversal no debe exceder el menor de 150 mm y $6d_b$ de la barra diagonal más pequeña. El espaciamiento de los ganchos suplementarios y ramas de estribos cerrados de confinamiento tanto horizontal como verticalmente en el plano de la viga no debe exceder 200mm. Todo gancho suplementario y cada rama de estribo cerrado de confinamiento deben abrazar una barra longitudinal de igual o mayor diámetro. Se puede configurar los estribos cerrados de confinamiento como se especifica en el numeral 18.6.4.3.”

Figura 5. Vigas de acople con refuerzo en diagonal. Solo se muestra el refuerzo del elemento de borde en un lado por claridad.



Fuente: (ACI-318, 2014)

1.6.1.3. CONEXIONES Y CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Según el ingeniero Juan Pablo Soto Arocha (2012), define que: “Una estructura se forma del ensamblaje de los miembros estructurales que constituyen su armazón. Se requiere de conexiones en los lugares donde los diversos miembros se deben unir en sus extremos a otros miembros de manera que permitan que la carga siga su flujo ordenado y continuo hasta llegar a las fundaciones.”

De acuerdo a lo anterior, y con las diferentes consideraciones y manuales de diseño, las clasifica en tres categorías:

- **Conexiones Simples:** Son las que presentan rotaciones relativamente grandes.
- **Conexiones Rígidas:** Son las que presentan rotaciones insignificantes.
- **Conexiones Semi-rígidas:** Son las que presentan rotaciones cuya magnitud está comprendida entre límites anteriores.

El diseño de conexiones, en general, se requiere consideraciones de rigidez, resistencia, estabilidad, condiciones de servicio, y comportamiento cíclico. A continuación se implican cada uno de estos puntos:

- **Resistencia y Rigidez:** el ingeniero Juan Pablo Soto Arocha (2012), indica que: “Cuando las conexiones están solicitadas a grandes momentos, ellas provocan rotaciones al extremo del miembro estructural al que están conectadas.”
- **Estabilidad:** el ingeniero Juan Pablo Soto Arocha (2012), indica que: “Una conexión puede fallar por pandeo (elástico o inelástico) de los elementos que la componen. Sin embargo, este modo de falla no se contempla en el diseño de la conexión.”
- **Condiciones de servicio:** el ingeniero Juan Pablo Soto Arocha (2012), indica que: “Las conexiones, al igual que los miembros de la estructura, deben comportarse satisfactoriamente en diferentes estados límites.”

- **Comportamiento Cíclico:** Las conexiones pueden fallar bajo un gran número de ciclos de carga o bajo pequeños números de ciclos, en el primer caso se habla de una fatiga de alto ciclo y en el segundo de una fatiga de bajo ciclo. Por otro lado, el nivel de tensiones aplicado en los casos de fatiga de bajo ciclo es relativamente alto y podría aproximarse al valor donde los miembros y elementos conectados alcanzan su comportamiento plástico. (Soto, 2012)

1.6.1.4. VIGAS DE ACOUPLE DE ACERO

GENERALIDADES DE DISEÑO PARA VIGAS DE ACOUPLE DE ACERO Y COMPUESTAS SEGÚN EL TÍTULO F DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10)

En su numeral **F.3.8.4 – Muros de cortante compuestos de concreto reforzado y perfiles de acero con capacidad mínima de disipación de energía (MCC-DMI)**, define que:

“F.3.8.4.5.2 – Vigas de acople

I. Vigas de acople en acero

Las vigas de acople de acero que se usen entre muros de concreto reforzado deben satisfacer los requisitos de F.2 y los que están a continuación que son la sección F.3.8.4.5.2. Los siguientes requisitos aplican para vigas en sección en I.

- Las vigas de acople de acero deben cumplir con los requisitos de la sección F.3.4.1.1.
- La resistencia a cortante esperada, V_n , Para vigas de acople de acero debe calcularse con la siguiente ecuación:

$$V_n = \frac{2R_y \cdot M_p}{g} \leq R_y \cdot V_p$$

Ecuación F.3.8.4-1 (NSR-10)

Dónde:

R_y = Ver tabla F.3.1.4-1 (Valores de R_y y R_t para aceros y concreto)

A_{tw} = área del alma de la viga de acero, mm^2

M_p = $F_y Z$, N-mm. (Momento plástico)

V_n = resistencia esperada a cortante de una viga de acople de acero, N.

$V_p = 0,6 F_y A_{tw}$, N.

g = distancia libre de la viga de acople, mm.

(c) La longitud de empotramiento, L_e , debe calcularse con la ecuación. La longitud de empotramiento debe considerarse que empieza por dentro de la primera capa de refuerzo de confinamiento del miembro de borde del muro.

$$V_n = 0,004 \sqrt{f'c} \left(\frac{b_w}{b_f} \right) \beta_1 b_f L_e \left(\frac{0,58 - 0,22\beta_1}{0,88 + \left(\frac{g}{2L_e} \right)} \right)$$

Ecuación F.3.8.4-2 (NSR-10)

Dónde:

L_e = Longitud de empotramiento, mm

B_w = espesor del muro de concreto, mm

B_f = ancho de la aleta de la viga, mm

$f'c$ = resistencia a la compresión del concreto, Mpa

β_1 = factor que relaciona la profundidad del bloque rectangular de esfuerzos de compresión equivalente y la profundidad del eje neutro como se define en el Título C.

(d) Debe colocarse un refuerzo vertical en el muro cuya resistencia axial nominal sea igual a la resistencia a cortante esperada de la viga de acople, sobre la longitud de empotramiento de la viga con dos terceras partes del acero del refuerzo localizado sobre la primera mitad de la longitud de empotramiento. Este refuerzo de muro debe extenderse una distancia por lo menos igual a la longitud de desarrollo a la tensión, tanto arriba como debajo de las aletas de la viga de acople. Se puede suministrar refuerzo vertical para otros propósitos, tales como miembros de borde verticales, como parte del refuerzo vertical requerido.

II. Vigas de acople compuestas

Las vigas de acople compuestas embebidas en concreto deben satisfacer requisitos de la sección F.3.8.4.5.2 (1) como se modifica en esta sección:

(a) Las vigas de acople deben tener una longitud de empotramiento dentro del muro de concreto reforzado que sea suficiente para desarrollar las resistencias a cortante esperada V_n , comp, calculada con la siguiente ecuación:

$$V_{n, comp} = \frac{2M_{p, esp}}{g} \leq V_{comp}$$

Ecuación F.3.8.4-3 (NSR-10)

Dónde:

$M_{p, esp}$ = resistencia a la flexión esperada de la viga de acople compuesta. Para vigas embebidas o compuestas debe calcularse usando la distribución plástica de refuerzos o el método de compatibilidad de deformaciones. Deben usarse factores R_y apropiados para los diferentes elementos de la sección transversal, estableciendo el equilibrio de fuerzas de la sección y calculando la resistencia a la flexión.

V_{comp} = resistencia a cortante límite esperada de la viga de acople compuesta embebida calculada con la ecuación F.3.8.4-4, N.

$$V_{comp} = R_y V_p + (0,166\sqrt{f'_c} \cdot b_w c \cdot d_c + \frac{A_s F_{yt} d_c}{s})$$

Ecuación F.3.8.4-4 (NSR-10)

Dónde:

A_s = área del refuerzo transversal, mm.

F_{yt} = esfuerzo de fluencia del refuerzo transversal, Mpa.

$b_w c$ = ancho del concreto, mm.

d_c = peralte efectivo del concreto, mm.

s = espaciamiento del refuerzo transversal, mm

(b) La longitud de empotramiento requerido debe calcularse con la ecuación F.3.8.4-2 usando $V_{n, comp}$ en lugar V_n .

F.3.8.4.6 – Conexiones – No se especifican requisitos adicionales a los de la sección F.3.8.4.5.”

Nota: para mayor detalle, ver los numerales del **F.3.8.4.1.** al **F.3.8.4.5.1** en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)

La (NSR-10), en su numeral **F.3.8.5 – Muros de cortante compuestos de concreto reforzado y perfiles de acero con capacidad especial de disipación de energía (MCC-DES)**, define que:

“F.3.8.5.5.3 – Vigas de acople de acero – Además de los parámetros de los parámetros F.3.8.4.5.2, las vigas de acople estructural deben cumplir con lo establecido en F.3.6.3.5.2. Cuando en el capítulo F.3.6.3.5.2 (4), se requiera, la rotación de la viga de acople se supondrá como 0.08 radianes, a menos que un valor mejor se justifique por análisis racionales de deformaciones inelásticas esperadas bajo la deriva de piso de diseño. Se deben colocar por ambos sentidos de la viga de acople atiesadores de cara contra el muro de concreto reforzado. Estos rigidizadores deben cumplir con los requisitos de la sección F.3.6.3.5.2 (4).

Las vigas de acople de acero deben cumplir con los requisitos de la sección F.3.4.1.1 para miembros de ductibilidad alta.

La resistencia de acero debe cumplir con los requisitos de la sección F.3.4.1.1 para miembros de ductibilidad alta.

La resistencia a cortante esperada para la cual se calcula la longitud de empotramiento con la ecuación F.3.8.4-1 debe incrementarse por un factor de 1.1 para reflejar los efectos del endurecimiento por deformación (**1.1Ry.Vn**).

El refuerzo vertical del muro como se define en F.3.8.4.5.2 (1)(e) debe ser confinado por un refuerzo transversal que cumpla lo establecido para miembros de borde en C.21.9.6.

Los miembros de acero embebidos deben contar con dos regiones de refuerzo de transferencia vertical anclado a la aleta superior e inferior del miembro embebido. La primera región debe estar localizada de manera que coincida con la ubicación de las barras de refuerzo longitudinales del muro cercano a la cara del muro. La segunda debe localizarse a una distancia no menor que $d/2$ desde donde se termina la longitud de empotramiento. Todas las barras de refuerzo transversal deben tener su longitud de desarrollo completa cuando envuelvan las aletas de la viga de acople. Se puede usar anclajes rectos, con gancho o mecánicos para suministrar dicho desarrollo. Se puede usar acoples metálicos soldados a las aletas para anclar las barras de transferencia verticales. El área de refuerzo de transferencia vertical requerida se calcula con la ecuación F.3.8.5-1:

$$A_{tb} \geq (0.03 f'c . L_e . b_f / F_y * t_f)$$

Ecuación F.3.8.5-1 (NSR-10)

Dónde:

A_{tb} = área de refuerzo de transición requerido en la primera y la segunda región, anclado tanto a la aleta superior como inferior, mm².

$F_y t_f$ = Refuerzo de fluencia del refuerzo de transferencia, Mpa.

Le = Longitud de empotramiento, mm.

bf = Ancho de aleta de la viga, mm.

$f'c$ = Resistencia a compresión del concreto, Mpa

El área del refuerzo de transferencia vertical no debe exceder el calculado por la ecuación F.3.8.5-2:

$$\sum Atb < 0.08 Le . bw - As$$

Ecuación F.3.8.5-2 (NSR-10)

Dónde:

$\sum Atb$ = área total del refuerzo de transferencia suministrado para la primera y la segunda región, ancladas a la aleta superior e inferior, mm.

As = Área de refuerzo longitudinal del muro en toda la longitud de empotramiento Le , mm².

bw = Ancho del muro, mm.

F.3.8.5.5.4 – Vigas de acople compuestas – Las secciones compuestas embebidas que sirven como vigas de acople deben cumplir con los requisitos de la sección F.3.8.5.5.3, excepto los requisitos de F.3.6.3.5.2 (4), y deben usarse la ecuación F.3.8.5-3 en lugar de la ecuación F.3.8.4-4. Para todas las vigas de acople compuestas embebidas, la resistencia a cortante esperada, **Vcomp**, es:

$$Vcomp = 1.1Ry.Vp + 1.56 (0.166\sqrt{f'c} . bw . dc + \frac{As.fyr.dc}{s})$$

Ecuación F.3.8.5-3 (NSR-10)

F.3.8.5.6 – Conexiones

F.3.8.5.6.1 – Soldaduras de demanda crítica – Las siguientes soldaduras son de demanda críticas deben satisfacer los requisitos de la sección F.3.1.3.4.2:

- I. Las soldaduras acanaladas en empalmes de columnas. Excepto cuando pueda demostrarse que puede impedirse la formación de la rótula en la columna o cerca de la placa base mediante restricciones, y en ausencia de tensiones netas bajo las combinaciones de carga que incluyen la carga sísmica amplificada.
- II. Las soldaduras de la conexión columna-placa de base.

F.3.8.5.6.2 – Empalmes de columna – Deben diseñarse de acuerdo a los requisitos de F.2.7.6.6.”

Nota: para mayor detalle, ver los numerales del **F.3.8.5.1.** al **F.3.8.5.5.2** en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)

1.6.1.5. MODELOS MATEMÁTICOS

Según el profesor J. N. Readdy en su libro (An introduction to the finite element method, 2005), indica que: “Un modelo matemático se puede definir ampliamente como un conjunto de ecuaciones que expresa las características esenciales de un sistema físico en términos de variables que describen el sistema. Los modelos matemáticos de los fenómenos físicos a menudo se basan en leyes científicas fundamentales de la física, como el principio de la conservación de la masa, la conservación del impulso lineal y la conservación de la energía. A continuación, consideramos tres ejemplos simples de gramática de dinámica, transferencia de calor y mecánica sólida para ilustrar cómo se formula el modelo matemático de problemas físicos.”

1.6.1.6. SIMULACIONES NUMÉRICAS

El profesor J. N. Readdy en su libro (An introduction to the finite element method, 2005), indica que: “Si bien la derivación de las ecuaciones que rigen para la mayoría de los problemas no es excesivamente difícil, su solución mediante métodos exactos de análisis a menudo es difícil, debido a las complejidades geométricas y materiales. En tales casos, los métodos numéricos de análisis proporcionan medios alternativos para encontrar soluciones. Por simulación numérica de un proceso, nos referimos a la solución de las ecuaciones gobernantes (o modelo matemático) del proceso utilizando un método numérico y una computadora. Los métodos numéricos típicamente transforman ecuaciones diferenciales que gobiernan un continuo para establecer ecuaciones algebraicas de un modelo discreto del continuo que se van a resolver usando computadoras.

Existe una serie de métodos numéricos, muchos de los cuales se desarrollan para resolver ecuaciones diferenciales. En la aproximación por diferencia finita de una ecuación diferencial, las derivadas en este último se reemplazan por cocientes de diferencia (o la función se expande en una serie de Taylor) que involucran los valores de la solución en puntos de dominio de malla discretos. Las ecuaciones algebraicas

resultantes se resuelven para los valores de la solución en los puntos de malla después de imponer las condiciones de contorno. Estas ideas se ilustran con la ayuda de dos ejemplos, uno para un problema de valor inicial y otro para un problema de valor límite.

En la solución de una ecuación diferencial por un método de variación clásico, la ecuación se coloca en una forma integral ponderada equivalente y luego se supone que la solución aproximada sobre el dominio es una combinación lineal de funciones aproximadas “ Φ_j ” y se determinan coeficientes indeterminados c_j tal que se cumple la declaración integral equivalente a la ecuación diferencial original. Varios métodos variacionales, por ejemplo, los métodos Ritz, Galerkin, de colocación y de mínimos cuadrados, difieren entre sí en la elección de la forma integral, las funciones de ponderación y las funciones de aproximación.”

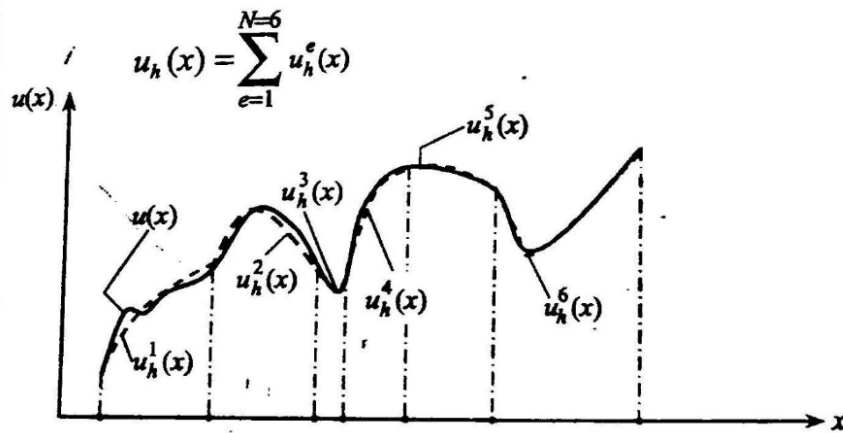
1.6.1.7. EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

Según el profesor J. N. Readdy en su libro (An introduction to the finite element method, 2005), define que el método de elementos finitos se divide de la siguiente manera:

“(1) La idea básica

El método de elementos finitos es un método numérico como el método de diferencias finitas, pero es más general y poderoso en su aplicación a problemas del mundo real que involucran complicadas condiciones físicas, de geometría y de contorno. En el método de elementos finitos, un dominio dado se ve como una colección de subdominios, y sobre cada subdominio la ecuación que rige se aproxima por cualquiera de los métodos variacionales tradicionales. La razón principal detrás de buscar una solución aproximada en una colección de polinomios simples, como se puede ver en la figura 20, por supuesto, cada segmento individual de la solución debe encajar con sus vecinos en el sentido de que la función posiblemente deriva hasta un orden elegido son continuos en los puntos de conexión. Estas ideas serán más claras en la continuación.

Figura 6. Aproximación de una función



Fuente: (Readdy, 2005)

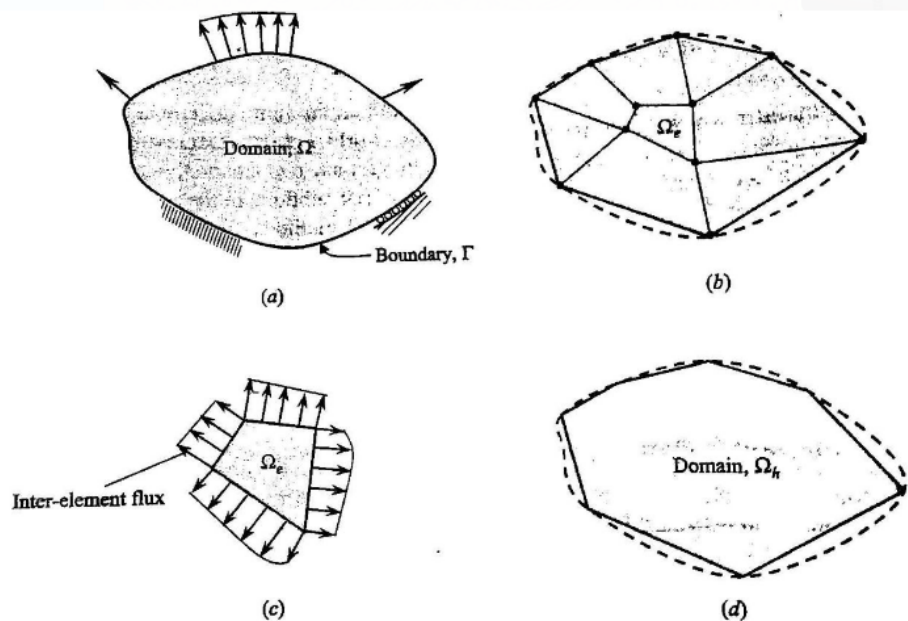
(2) Las características básicas

El método está dotado de tres características distintas que explican su superioridad con respecto a otros métodos de la competencia. En primer lugar, un dominio geoméricamente complejo Ω del problema, como el de la Figura 7 (a), se representa como una colección de subdominios geoméricamente simples, llamados elementos finitos (ver Figura 7 (b)). Cada elemento finito Ω_e (Figura 7 (c)) se considera como un dominio independiente por sí mismo. Aquí la palabra "dominio" se refiere a la región geométrica sobre la que se resuelven las ecuaciones. Segundo, sobre cada elemento finito, las ecuaciones algebraicas entre las cantidades de interés se desarrollan usando las ecuaciones gobernantes del problema. En tercer lugar, las relaciones de todos los elementos se ensamblan (es decir, los elementos se vuelven a colocar en sus posiciones originales del dominio total) como se indica en la Figura 7 (d), usando ciertas relaciones entre elementos.

Las aproximaciones entran en análisis de ingeniería en varias etapas. La división de todo el dominio en elementos finitos puede no ser exacta (es decir, el conjunto de elementos, Ω_h , no coincide con el dominio original Ω), introduciendo un error en el dominio que se está modelando. La segunda etapa es cuando se derivan

ecuaciones de elementos. Típicamente, las incógnitas dependientes (u) del problema se aproximan usando la idea básica de que cualquier función continua puede representarse mediante una combinación lineal de funciones conocidas Φ_i y coeficientes indeterminados c_i ($u = u_h = \sum c_i \Phi_i$). Las relaciones algebraicas entre los coeficientes indeterminados c_j se obtienen satisfaciendo las ecuaciones gobernantes, en un sentido ponderado-integral, sobre cada elemento. Las funciones de aproximación Φ_i a menudo se toman como polinomios, y se derivan usando conceptos de la teoría de interpolación. Por lo tanto, se denominan funciones de interpolación. Por lo tanto, el error de aproximación en la segunda etapa se introduce tanto en la representación de la solución u como en la evaluación de las integrales. Finalmente, se introducen errores al resolver el sistema ensamblado de ecuaciones. Obviamente, algunos de los errores discutidos anteriormente pueden ser cero. Cuando todos los errores son cero, obtenemos la solución exacta del problema (que no es el caso en la mayoría de los problemas).”

Figura 7. Representación de un dominio bidimensional por una colección de triángulos y cuadriláteros



Fuente: (Readdy, 2005)

1.6.2. MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo del proyecto se presentarán aquellos términos fundamentales para el entendimiento del objeto central de la investigación. Además de la normatividad pertinente.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Determinación de los efectos de las cargas sobre los miembros y las conexiones, con base en los principios de la mecánica estructural. (Título F, NSR-10)

VIGA EN CONCRETO

Elemento estructural, horizontal o aproximadamente horizontal, cuya dimensión longitudinal es mayor que las otras dos y su sollicitación principal es el momento flector, acompañado o no de cargas axiales, fuerzas cortantes y torsiones. (NSR-10)

VIGA DE ACERO

Elemento estructural sollicitado básicamente por momentos flectores. (Título F, NSR-10)

VIGA-COLUMNNA

Elemento estructural sollicitado simultáneamente por fuerzas axiales y momentos flectores. (Título F, NSR-10)

VIGA DE ACOUPLE

Son elementos estructurales que tienen la función de conectar 2 estructuras diferentes sin modificar su funcionamiento propio y suelen ser articulaciones que solo aportan esfuerzos cortantes de unas a otra de las estructuras.

ESTRIBO

Refuerzo empleado para resistir esfuerzos de cortante y de torsión en un elemento estructural, por lo general consiste en barras, alambres o refuerzo electro soldado de alambre ya sea sin dobleces o doblados en forma de L, de U o en formas rectangulares. (Título C, NSR-10)

ESTRUCTURAS MIXTAS

Según los autores Martínez & Herrera (Martínez & Herrera, 1978): “Una construcción mixta se caracteriza esencialmente por la presentación en su estructura resistente de piezas que posean “secciones mixtas”; es decir, secciones resistentes en las cuales el acero estructural y el hormigón trabajan solidariamente; conjuntamente con estos elementos básicos pueden colaborar distintos tipos de materiales: armaduras pasivas, armaduras de pretensar, etc.”

CONEXIÓN

Combinación de elementos de conexión, conectores y partes de los miembros conectados que intervienen en la transmisión de fuerzas entre dos o más miembros. (Título F, NSR-10)

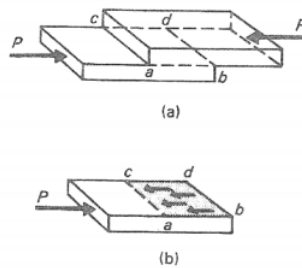
ESFUERZO

La fuerza por unidad de área, o intensidad de la fuerza distribuida sobre una sección dada, se conoce como el esfuerzo de dicha sección, y se utiliza la letra griega “sigma” (σ) para designarla. (Arrieta, Bautista, Cruz, & Ortiz, 2010)

ESFUERZO CORTANTE

Los esfuerzos cortantes se producen en un cuerpo cuando las fuerzas aplicadas tienden a hacer que una parte de un cuerpo se corte o deslice con respecto a la otra. En la siguiente figura se ilustra un método de cómo se pueden producir los esfuerzos cortantes. En este caso, la porción superior del bloque tiende a cortarse o deslizarse con respecto al otro. (Arrieta, Bautista, Cruz, & Ortiz, 2010)

Figura 8. Ilustración de Esfuerzo cortante



Fuente: (Arrieta, Bautista, Cruz, & Ortiz, 2010)

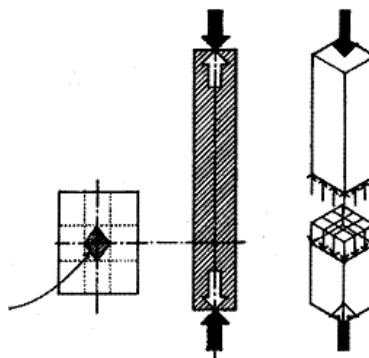
DEFORMACIÓN UNITARIA POR CORTANTE (DEFORMACIÓN ANGULAR)

Los esfuerzos cortantes que actúan sobre un elemento de material se acompañan de deformaciones unitarias por cortante (angular). Los esfuerzos cortantes no tienden a alargar o a cortar al elemento en las direcciones, y ; en otras palabras, las longitudes de los lados no cambia. (Arrieta, Bautista, Cruz, & Ortiz, 2010)

ESFUERZO NORMAL

Cuando los elementos están sometidos a cargas axiales (cargas que pasan por el eje de simetría). Un signo positivo indicará un esfuerzo de tensión y un signo negativo señalará un esfuerzo de compresión. (Arrieta, Bautista, Cruz, & Ortiz, 2010)

Figura 9. Ilustración de fuerza axial



Fuente: (Arrieta, Bautista, Cruz, & Ortiz, 2010)

MURO ESTRUCTURAL

Muro diseñado para resistir combinaciones de cortantes, momentos y fuerzas axiales. Un muro de cortante es un muro estructural. Un muro estructural diseñado como parte del sistema resistente ante fuerzas sísmicas se clasifica de la siguiente forma. (Título C, NSR-10)

- Muro estructural especial.
- Muro estructural intermedio.

NUDO

Parte de una estructura que es común a los elementos que se intersectan.

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El método de elementos finitos recurre a la hipótesis de discretización, que se basa en lo siguiente:

El continuo se divide por medio de líneas o superficies imaginarias en una serie de regiones contiguas y disjuntas entre sí, de forma geométrica sencilla y normalizada, llamadas elementos finitos. Los elementos finitos se unen entre sí en un número finito de puntos, llamados nudos. (Celigüeta, 2011)

REFUERZO DEL ANCLAJE

Refuerzo usado para transferir toda la fuerza de diseño desde los anclajes hacia el elemento estructural. (Título C, NSR-10)

REFUERZO SUPLEMENTARIO

El refuerzo suplementario tiene una configuración y ubicación similar a la del refuerzo del anclaje, pero no está diseñado específicamente para transferir las cargas desde los anclajes. Los estribos usados como refuerzo a cortante, pueden caer dentro de esta categoría. (Título C, NSR-10)

RESISTENCIA REQUERIDA

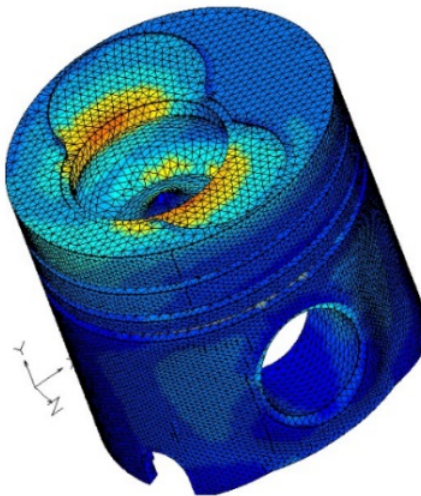
Resistencia que un elemento o una sección transversal del mismo, debe tener para resistir las cargas mayoradas o los momentos y fuerzas internas correspondientes. (Título C, NSR-10)

ANSYS

Es un programa que utiliza el método de los elementos finitos, siendo una herramienta potentísima en el campo de cualquier ingeniería.

El programa ANSYS destaca por una interfaz gráfica sencilla, por la amplitud de los problemas capaz de resolver tanto lineales como no lineales (estructurales, térmicos, magnéticos, fluidos, problemas acopados, etc.) y por la posibilidad de realizar una discretización manual del problema, en función de las características y condiciones del mismo, a diferencia de otros programas. (Ingnova, 2017)

Figura 10. Modelo en el Software ANSYS



Fuente: (ANSYS, 2017)

ACERO

El acero es un material dúctil que presenta un excelente comportamiento cuando se somete a esfuerzos axiales. Las propiedades mecánicas observadas de los ensayos sobre barras de diámetro estándar a tensión son el esfuerzo de fluencia f_y , la resistencia última a tensión F_u , el módulo de Elasticidad E_s y de endurecimiento por deformación E_{ed} , el módulo de cortante G y la relación de Poisson " ν ". (Clement, 2010)

LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO

El concepto de longitud de desarrollo se basa en el esfuerzo de adherencia obtenible sobre la longitud embebida del refuerzo. (NSR-10)

ANCLAJE

Un dispositivo de acero ya sea preinstalado antes de colocar el concreto o postinstalado en un elemento de concreto endurecido y usado para transmitir fuerzas aplicadas. (NSR-10)

CONECTOR

Denominación general para referirse a pernos, remaches y otros dispositivos de conexión. (NSR-10)

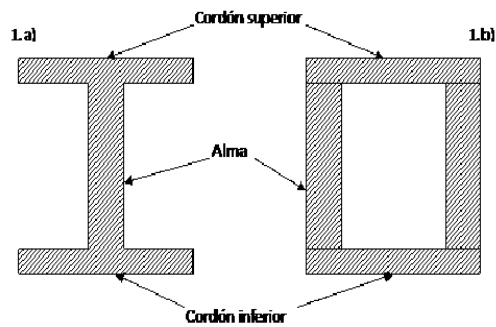
MALLA ELECTROSOLDADA DE ALAMBRÓN

El refuerzo con alambrones soldados consta de un conjunto de alambrones de acero extruidos en frío, longitudinales y transversales a ángulos rectos el uno del otro, y soldados entre sí en todos los puntos de intersección. (Nilson, Darwin, & Yamín, 1999)

VIGA DE ALMA LLENA

Viga de acero compuesta por elementos estructurales sólidos o cuasisólidos, esto es, aquellos que no están conformados por barras individuales unidas entre sí en sus extremos, como ocurre en la celosía. (Clement, 2010)

Figura 11. Viga de alma llena



Fuente: <http://www.arquitectura21.com>

ADHERENCIA DIRECTA

En una sección compuesta, mecanismo de transmisión de la carga entre el acero y el concreto por adherencia. (Título F, NSR-10)

1.6.4. MARCO LEGAL

En el actual estudio no se pretende una precalificación de la conexión con los conectores tipo fleje, pero dada la importancia que se le han venido dando a las construcciones mixtas en el país, se adjunta la información necesaria y los requisitos necesarios para una posterior precalificación:

En el caso de Colombia, esto se hace de acuerdo con la sección F.3.11. del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). De igual forma, en la NSR-10 se recomienda trabajar con las indicaciones de la norma ANSI/AISC 358, que es la que se utiliza en USA.

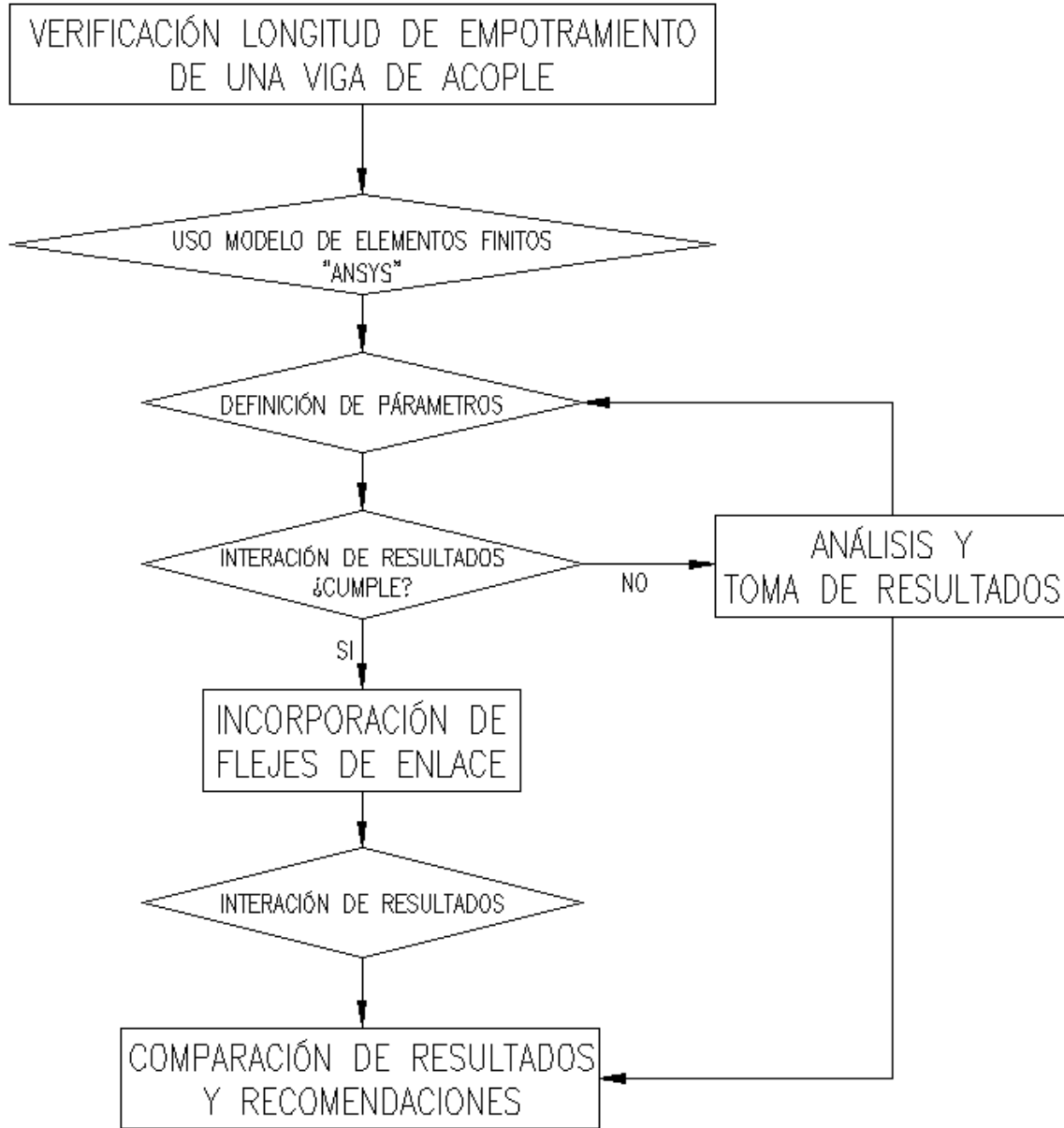
En el caso de Estados Unidos, como se indicó anteriormente, se utiliza la norma del American institute of Steel construction (ANSI/AISC 358) para la precalificación de conexiones, y también se hace referencia a la norma de Federal Emergency Management Agency (FEMA 350), donde se explican los procedimientos a seguir para precalificar conexiones para estructuras metálicas.

1.7. METODOLOGÍA

Para el proyecto de investigación expuesto, se llevará a cabo el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar se definirá el tipo de perfil, el acero de refuerzo (Estribos de enlace) y la resistencia del concreto a utilizar.
2. Se definirá las respectivas dimensiones del perfil en I, mediante un modelo geométrico elaborado en autoCAD (3D).
3. Se exportará el modelo realizado al programa de elementos finitos "ANSYS" y se asignarán las propiedades de cada uno de los materiales, a su vez las condiciones de ambiente que se utilizarán en la conexión.
4. Luego de tener el modelo base, se induce el esfuerzo que experimentará la conexión, para conocer la efectividad de la longitud de empotramiento dada por (SOTO, 2012).
5. Posteriormente se hará un modelo, el cual tendrá implementado los enlaces tipo fleje y se hará un cuadro comparativo que evaluará los resultados dados por ambas interacciones.
6. Por último, y con base a los resultados obtenidos, se harán las recomendaciones y conclusiones necesarias de los esfuerzos generados por la superficie de contacto de los materiales utilizados.

Figura 12. Diagrama de flujo para la Metodología



Fuente: Los autores

1.7.1. TIPO DE ESTUDIO

Este estudio obedece a un tipo investigativo, debido a que se hace una recopilación de información y material para poder hacer un análisis acerca del problema a tratar, y de esta forma poder analizar, comparar y finalmente proponer la vía más adecuada.

La estructura de este trabajo es de manera analítica, ya que se analizan las diferentes situaciones a comparar con un valor calculado mediante un método teórico, y de esta manera encontrar el margen de error que se genera entre estos tres tipos de situaciones a evaluar.

1.7.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Durante el desarrollo de la tesis fue necesario la búsqueda de información en diversos lugares, tales como: páginas web con información calificada (tesis de grado y artículos científicos), libros con temática de estructuras de concreto, acero o mixtas. La investigación de normas como ACI-318-14 y el reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).

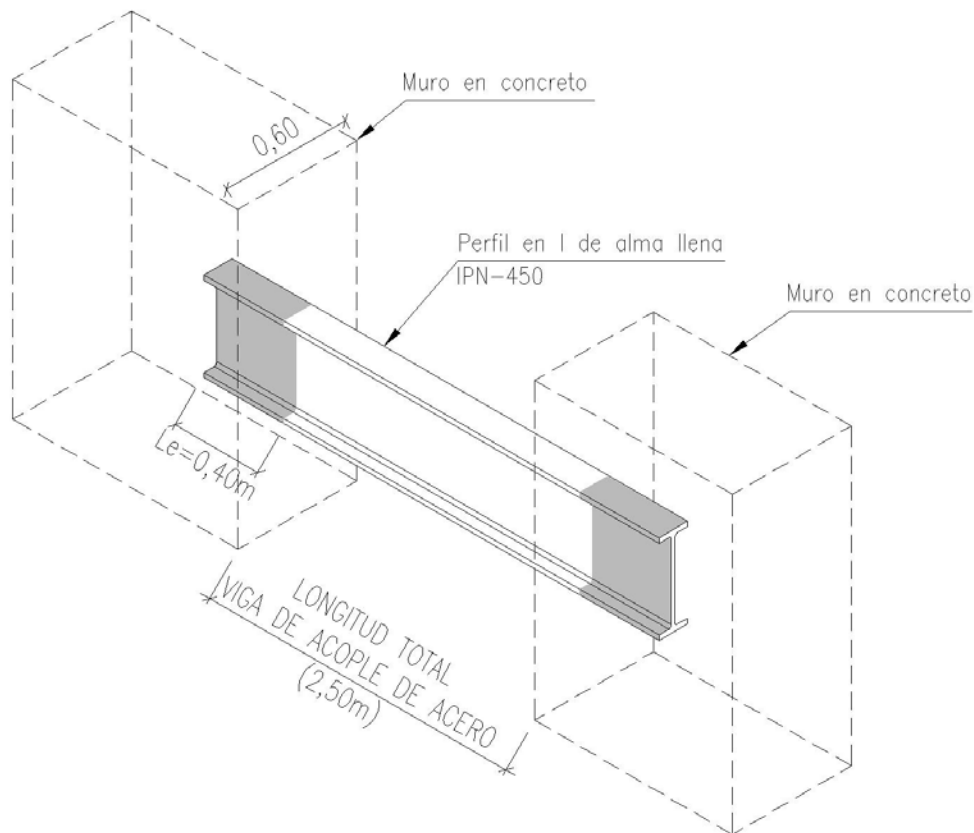
2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

2.1. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CONEXIÓN DEL ING. SOTO (2012)

2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CONEXIÓN

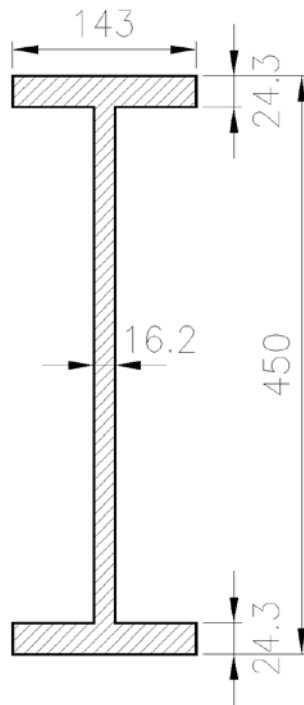
Según lo indicado en la tesis del ingeniero Juan Pablo Soto Arocha (2012), y su ejercicio práctico entre una viga de acople en perfil **IPN-450**, que se empotra con una longitud efectiva (L_e) de 0.40 metros, a un muro en concreto de 0.60 metros de espesor. La longitud de la viga de acople es de 2.50 metros, que a su vez es la distancia entre muros. (Ver Figura 27)

Figura 13. Caso de aplicación viga de acople - tesis del ingeniero Juan Pablo Soto



Fuente: propia basada en la descripción de (SOTO, 2012)

Figura 14. Dimensiones de perfil IPN-450



Fuente: Propia basado a las dimensiones del catálogo de corpacero

2.1.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

CONCRETO:

- $f'c$: 28 Mpa (28000 Kn/m²)
- Densidad: 2400 kg/m³
- Módulo de elasticidad: 24870.06 Mpa

ACERO DEL PERFIL

- f_y : 250 Mpa (250000 Kn/m²)
- Densidad: 7850 kg/m³
- Módulo de elasticidad: 200000 Mpa

ACERO DE REFUERZO

- f_y : 420 Mpa (420000 Kn/m²)
- Densidad: 7850 kg/m³
- Módulo de elasticidad: 200000 Mpa

2.1.3. DESCRIPCIÓN DEL EJERCICIO PRÁCTICO PARA OBTENER LA LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO

A continuación, se hace el ejercicio práctico elaborado por el ingeniero Juan Pablo Soto Arocha, para determinar la longitud efectiva de empotramiento de una viga de acople, con los materiales descritos anteriormente:

- 1- Aplicando la siguiente ecuación se encuentra el cortante último del acero (**Vacero**).

$$V_{acero} = 0.6 (1.25f_y) t_w (h - 2t_f)$$

Dónde:

F_y = Resistencia de la viga de acero

T_w = Espesor del alma de la viga en metros

h = Altura de la sección de la viga metálica en metros

t_f = Espesor de las alas de la viga metálica en metros

f'_c = Resistencia nominal del concreto

Con base a la anterior ecuación y de acuerdo a las recomendaciones (Shahrooz & otros, 1992), se multiplica el valor del f_y del acero por 1.25 veces para tomar en cuenta el endurezamiento por deformación.

$$V_{acero} = 0.6 * \left(\frac{250\,000\,kN}{m^2} * 1.25 \right) * 0.0162m (0.45m - 2 * 0.0243m)$$

$$V_{acero} = 1219.25\,kN$$

2- Ahora se debe despejar la longitud de empotramiento de la siguiente ecuación:

$$Vu = 12,88\sqrt{f'c} \left(\frac{tmuro}{bf}\right)^{0,66} \beta_1 * bf * Le * \left(\frac{0,58 - 0,22\beta_1}{0,88 + (\alpha/Le)}\right)$$

$$Vu = 12,88\sqrt{28000kN/m^2} \left(\frac{0,60m}{0,17m}\right)^{0,66} 0,85 * 0,17 * Le * \left(\frac{0,58 - 0,22 * 0,85}{0,88 + (1,25/Le)}\right)$$

Obteniendo un valor de $Le = 0,3951m$, aproximadamente **0,40m**.

Dónde:

$f'c$ = Resistencia nominal del concreto

$tmuro$ = Espesor del muro en metros

bf = Ancho de ala del perfil en metros

β_1 = Factor definido en el artículo 10.2.7 de la norma ACI 318-05 y cuyos valores son los siguientes:

0,85 para $f'c \leq 28 \text{ Mpa}$ (28000 Kn / m²)

0,65 para $f'c > 28 \text{ Mpa}$ (28000 Kn / m²)

Le = Longitud de empotramiento (metros)

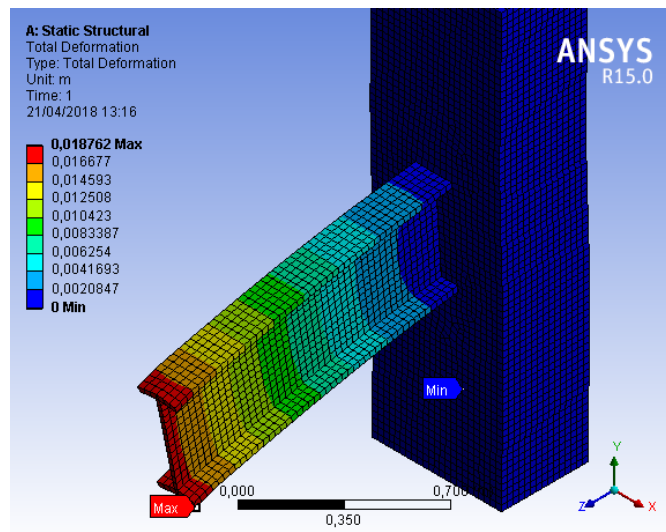
α = Distancia del punto de inflexión a la cara del muro de corte.(Ver figura 2)

2.1.4. MODELACIÓN Y MONDAJE AL SOTFWARE “ANSYS”

Se explica cómo adicional el desarrollo del mismo en el ANEXO 1.

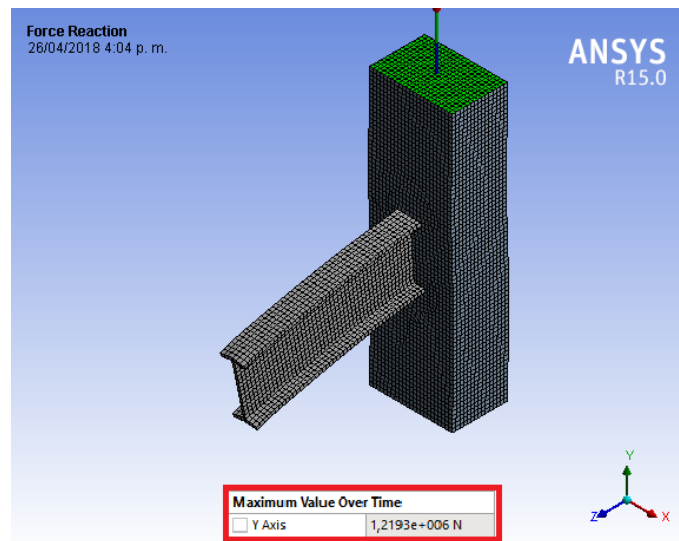
2.1.5. RESULTADOS

FIGURA 15. Total deformación (Conexión Ing. Soto)



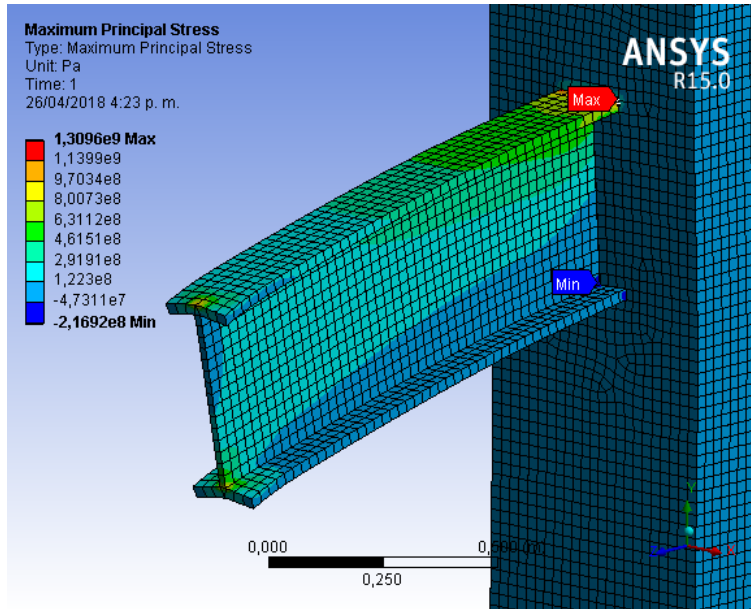
Fuente: ANSYS R15.0 (Model)

FIGURA 16. Reacciones (Conexión Ing. Soto)



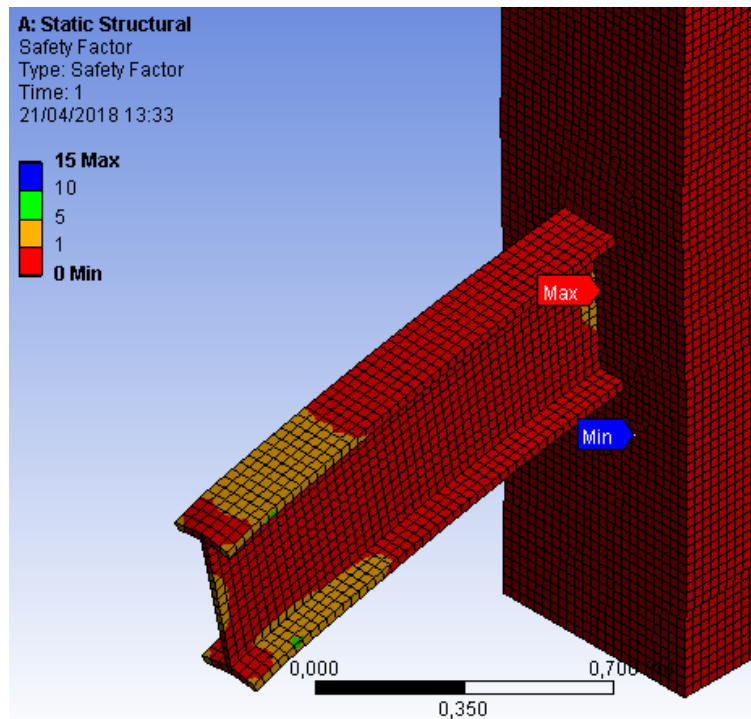
Fuente: ANSYS R15.0 (Model)

Figura 17. Esfuerzos Máximos (Conexión Ing. Soto)



Fuente: ANSYS R15.0 (Model)

Figura 18. Factor de seguridad "Von-Mises" (Conexión Ing. Soto)



Fuente: ANSYS R15.0 (Model)

Tabla 1. Resumen de resultados

| FUERZAS Y MOMENTOS | | |
|--------------------------------------|--------------|------------|
| DESCRIPCIÓN | | |
| DEFLEXIÓN | 18,76 mm | |
| CORTANTE | 1219,30 KN | |
| MOMENTO | 1524,13 KN.m | |
| ESFUERZOS PRINCIPALES IPN-450 | | |
| DESCRIPCIÓN | Pa | Mpa |
| NORMAL - EJE X | 1,E+09 | 1198,00 |
| NORMAL - EJE Y | 6,E+08 | 595,38 |
| NORMAL - EJE Z | 1,E+09 | 1260,00 |
| CORTANTE - XY | 4,E+08 | 381,68 |
| CORTANTE - YZ | 2,E+08 | 156,51 |
| CORTANTE - XZ | 3,E+08 | 275,41 |
| Equivalente (Von-Mises) | 1,E+09 | 1230,00 |
| Máximo Principal | 1,E+09 | 1309,00 |
| Medio Principal | 6,E+08 | 577,24 |
| Mínimo Principla | 2,E+08 | 216,91 |
| Intensidad | 1,E+09 | 1313,40 |

Fuente: Propia basada en las memorias de cálculo ANSYS R15.0

2.2. ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CONECTORES TIPO FLEJE PARA LA CONEXIÓN DE SOTO.

2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Según lo indicado en la tesis del ingeniero Juan Pablo Soto Arocha (2012), y su ejercicio práctico entre una viga de acople en perfil **IPN-450**, que se empotra con una longitud efectiva (L_e) de 0.40 metros, a un muro en concreto de 0.60 metros de espesor. La longitud de la viga de acople es de 2.50 metros, que a su vez es la distancia entre muros. De manera anexa al contexto, se va incorporar conectores tipo fleje, ubicados en la longitud efectiva de empotramiento de la viga. Los cuales, se caracterizarán por ser varillas corrugadas de diámetro 3/8" y $f_y=240$ Mpa; separados entre sí a 1/4 de altura efectiva del perfil comparado. (Ver figura 3)

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES, CÁLCULO DE CARGA Y DE LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO, MODELADO Y MONTAJE AL SOFTWARE.

De manera resolutiva a la problemática en contexto, se debe tomar la misma información de los siguientes numerales:

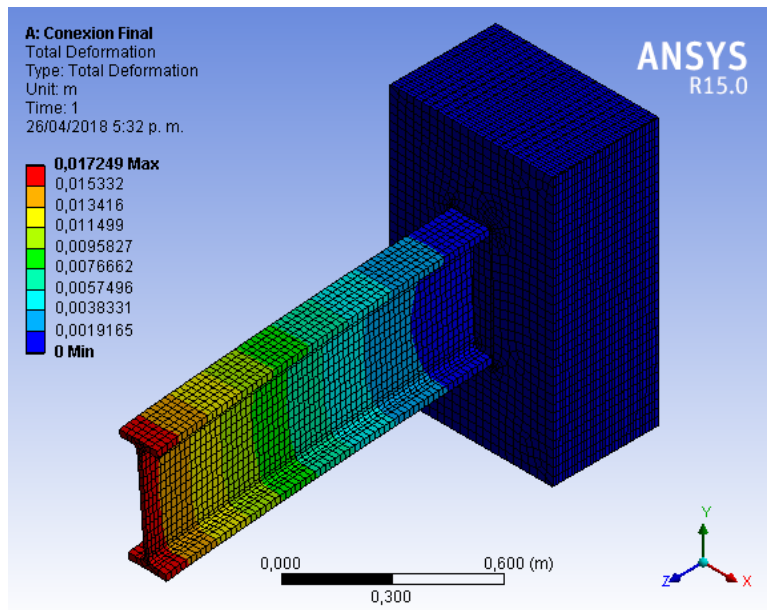
2.1.2. Características de los materiales.

2.1.3. Descripción del ejercicio práctico para obtener la longitud de empotramiento.

2.1.4. Modelación y montaje al software "ANSYS"

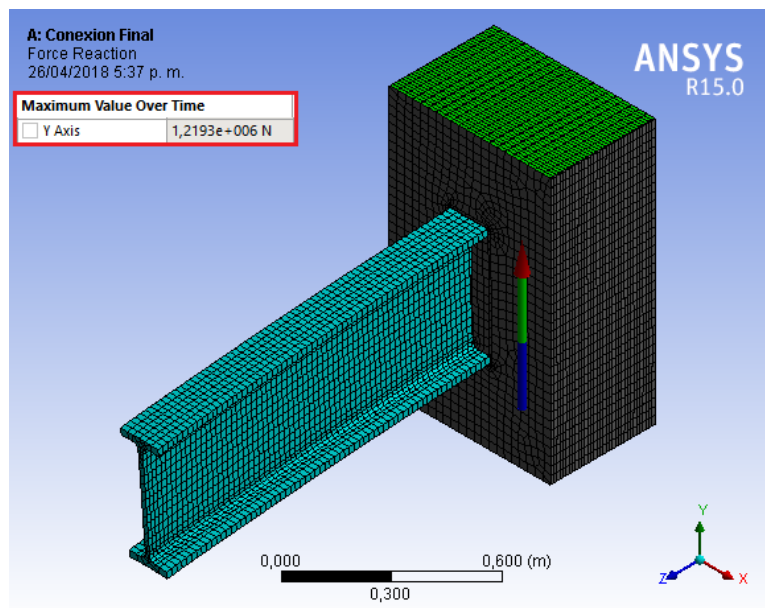
2.2.3. RESULTADOS

Figura 19. Total deformación (Conexión propuesta)



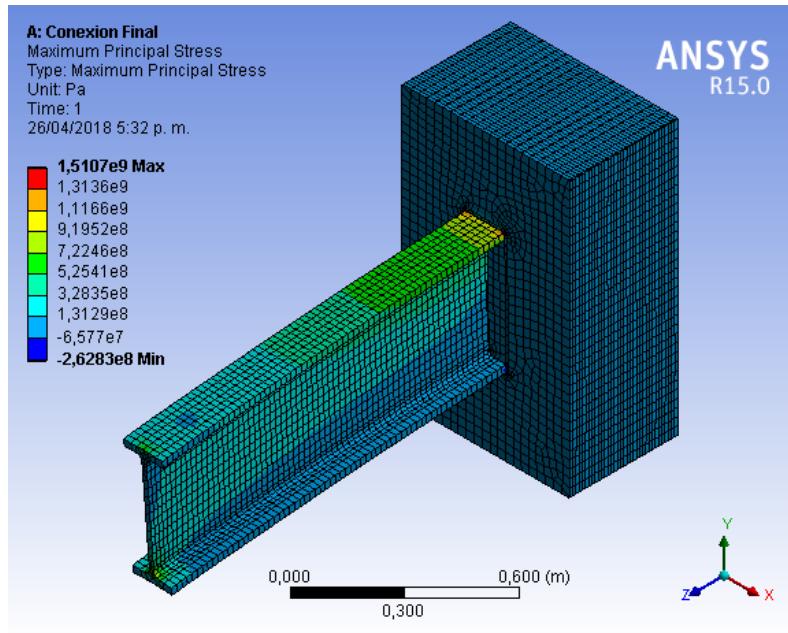
Fuente: ansys r15.0 (model)

Figura 20. Reacciones (conexión propuesta)



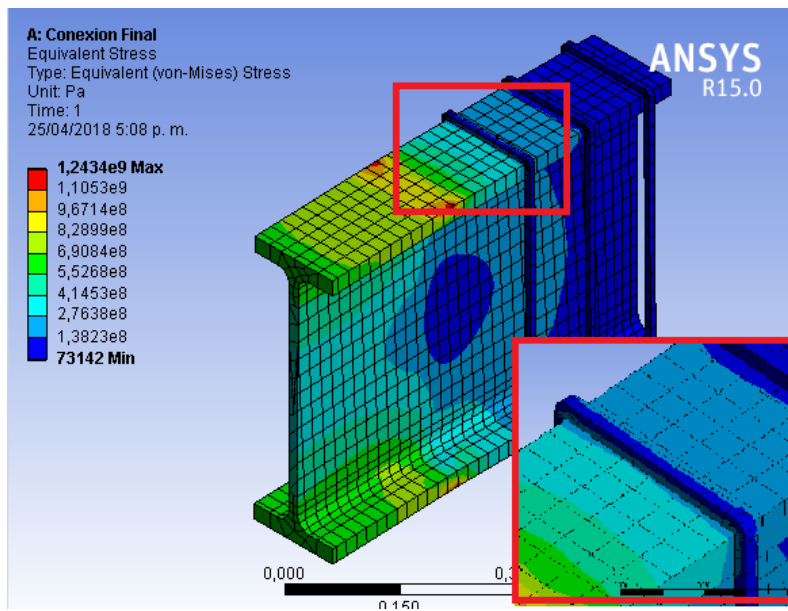
Fuente: ansys r15.0 (model)

Figura 21. Esfuerzos máximos (conexión propuesta)



Fuente: ANSYS R15.0

Figura 22. Esfuerzos producidos en los conectores tipo fleje



Fuente: ANSYS R15.0

Tabla 2. Resumen de resultados (Conexión propuesta)

| FUERZAS Y MOMENTOS | | |
|--------------------------------------|--------------|------------|
| DESCRIPCIÓN | | |
| DEFLEXIÓN | 17,79 mm | |
| CORTANTE | 1219,30 KN | |
| MOMENTO | 1524,13 KN.m | |
| ESFUERZOS PRINCIPALES IPN-450 | | |
| DESCRIPCIÓN | Pa | Mpa |
| NORMAL - EJE X | 7,E+08 | 700,00 |
| NORMAL - EJE Y | 7,E+08 | 715,31 |
| NORMAL - EJE Z | 1,E+09 | 1446,70 |
| CORTANTE - XY | 4,E+08 | 387,30 |
| CORTANTE - YZ | 2,E+08 | 161,49 |
| CORTANTE - XZ | 3,E+08 | 257,30 |
| Equivalente (Von-Mises) | 1,E+09 | 1248,80 |
| Máximo Principal | 2,E+09 | 1501,00 |
| Medio Principal | 3,E+08 | 331,64 |
| Mínimo Principla | 2,E+08 | 228,71 |
| Intensidad | 1,E+09 | 1314,80 |

Fuente: Propia basada en las memorias de cálculo ANSYS R15.0 .

2.3. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

2.3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA LONGITUD EFECTIVA DE EMPOTRAMIENTO DEL EJERCICIO PRÁCTICO DE LA TESIS DE JUAN PABLO SOTO AROCHA (2012).

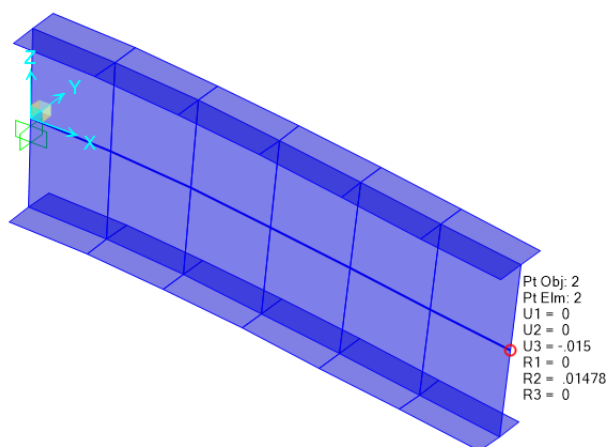
1. Inicialmente se debe verificar el modelo elaborado en **ANSYS**, para ello se hace una comparación teórica por el método de **viga conjugada** (Ver anexo 2), y una comparación analítica mediante un modelo elaborado en **SAP-2000**. Estos modelos de comparación tienen las mismas características implementadas en el numeral 2.1. (Ver tabla 12)

Tabla 3. Resultados ejercicio teórico.

| RESULTADOS VIGA CONJUGADA | |
|---------------------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | RESULTADOS |
| DEFLEXIÓN | 23,00 mm |
| CORTANTE | 1219,25 KN |
| MOMENTO | 1524,06 KN.m |

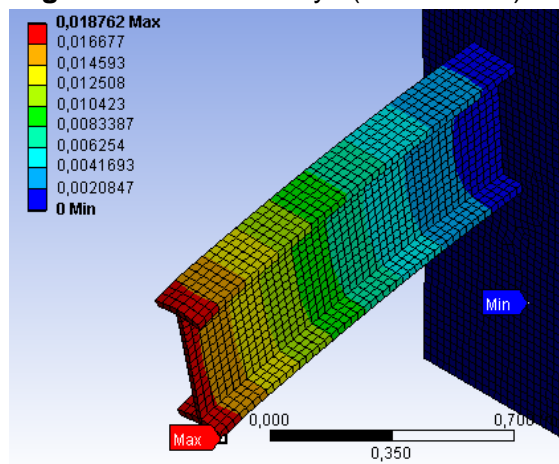
Fuente: Propia basada en las memorias de cálculo ANSYS R15.0

Figura 23. Modelo SAP2000 (Deflexiones)



Fuente: SAP-2000

Figura 24. Modelo ansys (Deflexiones)



Fuente: ANSYS R15.0

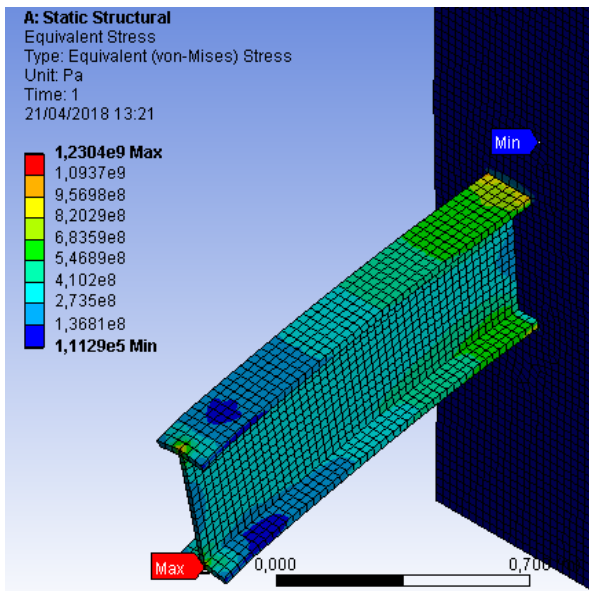
De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente, se certifica que la modelación no obtuvo errores significativos y es adecuada para la comprobación de longitud de empotramiento.

2. Por otra parte, el análisis debe tener en cuenta que el ejercicio practicado tiene una carga obtenida mediante la ecuación de cortante último, es decir, el perfil evaluado está llegando a su estado límite de servicio. En efecto a lo descrito anteriormente y aplicando el criterio de la energía de distorsión obtenemos el siguiente factor de seguridad:

$$ns = \frac{\text{Resistencia de fluencia}}{\text{Esfuerzo "von - mises"}}$$

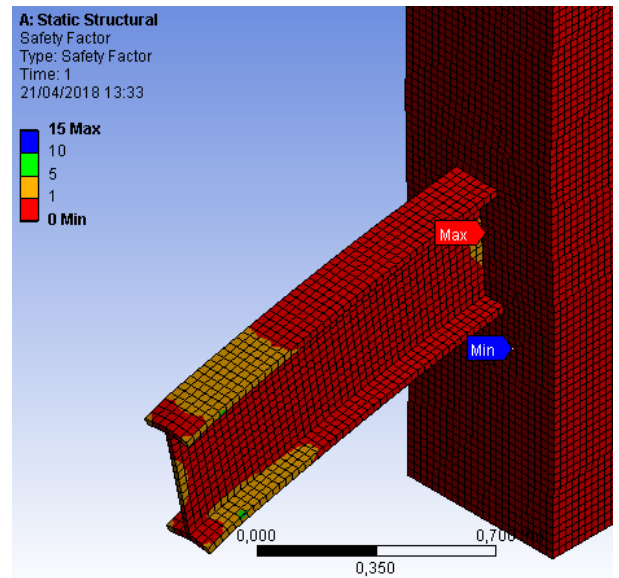
$$ns = \frac{250 \text{ MPa}}{957 \text{ MPa}}; ns = 0.26$$

Figura 26. Estrés equivalente (VON-MISES)



Fuente: ANSYS R15.0

Figura 25. Factor de seguridad

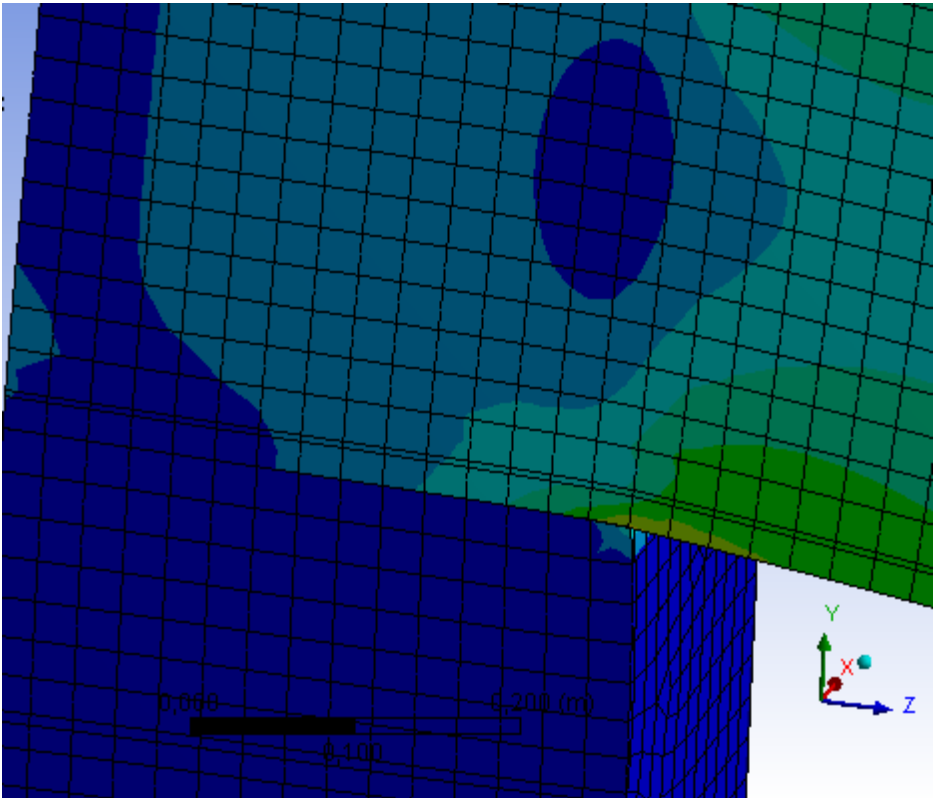


Fuente: ANSYS R15.0

El factor de seguridad obtenido es de 0.26 y están por debajo del factor de seguridad brindado por el software ANSYS (Ver figura 58).

3. Adicionalmente se deben observar los esfuerzos máximos producidos en la superficie de contacto entre el perfil y el muro de concreto. En resumen, en la perpendicularidad entre el muro y el patín inferior, dado que estos esfuerzos están a compresión y brindan una óptima interpretación y análisis del comportamiento del muro.

Figura 27. Esfuerzos a compresión (Patín inferior del perfil IPN-450 y muro)



Concrete 28 Mpa > Compressive Ultimate Strength

| Compressive Ultimate Strength Pa |
|----------------------------------|
| 4,1e+007 |

Fuente: ANSYS R15.0

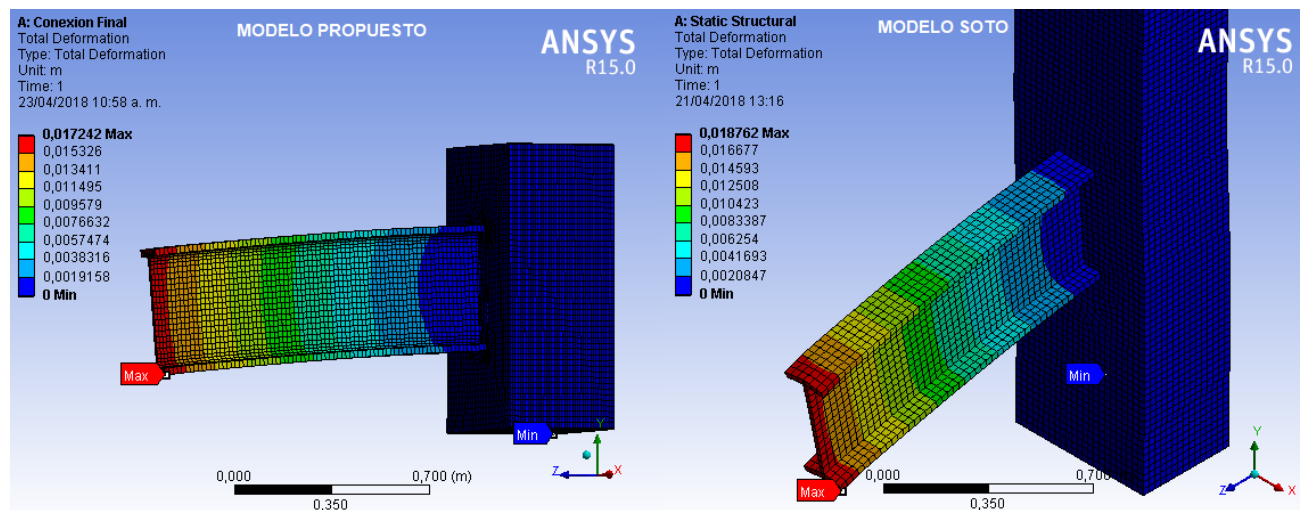
Según lo mostrado (Ver figura 41), el esfuerzo máximo a compresión es de 41 MPa (Zona cyan). En conclusión, se observa que se puede producir fisuras al momento de que el perfil supere la carga máxima de servicio, pero el resto del desarrollo de la longitud de empotramiento tiene esfuerzos inferiores a los 28 MPa, es decir, se puede indicar que la sección mixta trabaja a la perfección y no se presenta extracción o fisura de la misma.

2.3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CONECTORES TIPO FLEJE PARA LA CONEXIÓN DE SOTO.

Considerando lo descrito anteriormente, se hace el análisis y comparación de resultados con el modelo propuesto.

1. Deflexiones

Figura 28. Comparación de deflexiones (modelo propuesto y modelo de soto)



Fuente: ANSYS R15.0

Aun cuando en estos casos las deflexiones son similares, se puede observar una leve mejoría en el modelo propuesto, dado que se aproxima más a lo mostrado en la deflexión teórica por medio del método de la viga conjugada (Ver anexo 2).

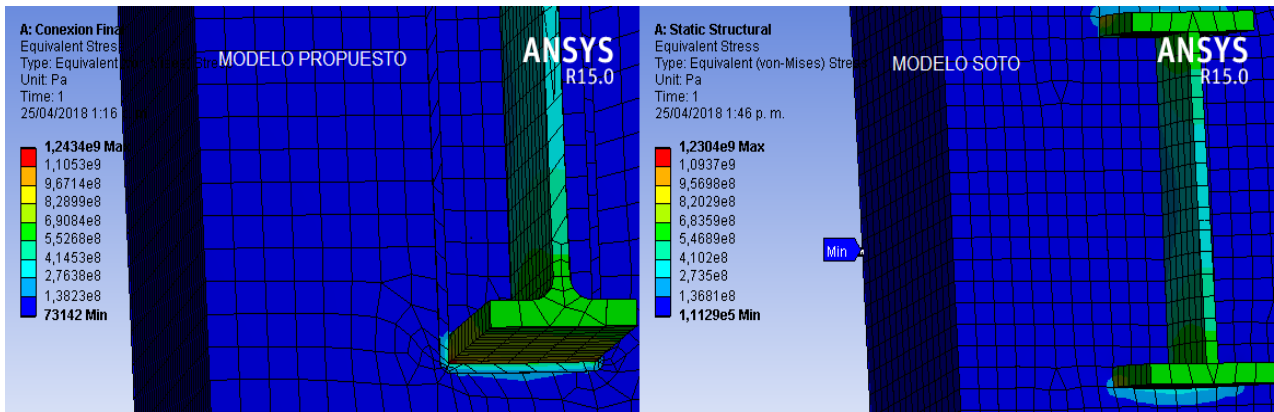
2. Resistencia de Fluencia del perfil IPN-450.

De acuerdo a lo descrito en el numera 2.3.1., Los esfuerzo del perfil son evaluados al máximo de su resistencia, en efecto, el perfil está fallando y no se evidencia mejoría en la implementación de los conectores tipo fleje.

3. Resistencia del concreto

Al igual que el modelo del ingeniero Juan Pablo Soto Arocha, se puede indicar que en la perpendicularidad entre el muro y el patín inferior del perfil IPN-450 se producen fisuras al momento de superar la carga máxima de servicio, debido que se producen esfuerzos mayores al f'_c del concreto (28 Mpa). Pero en el resto de la longitud de empotramiento se encuentran esfuerzos menores y esto garantiza que la sección mixta trabaje a la perfección y no se tengan fisuras o extracción del mismo.

Figura 29. Comparación de esfuerzos a compresión (mod. propuesto y mod. de soto)



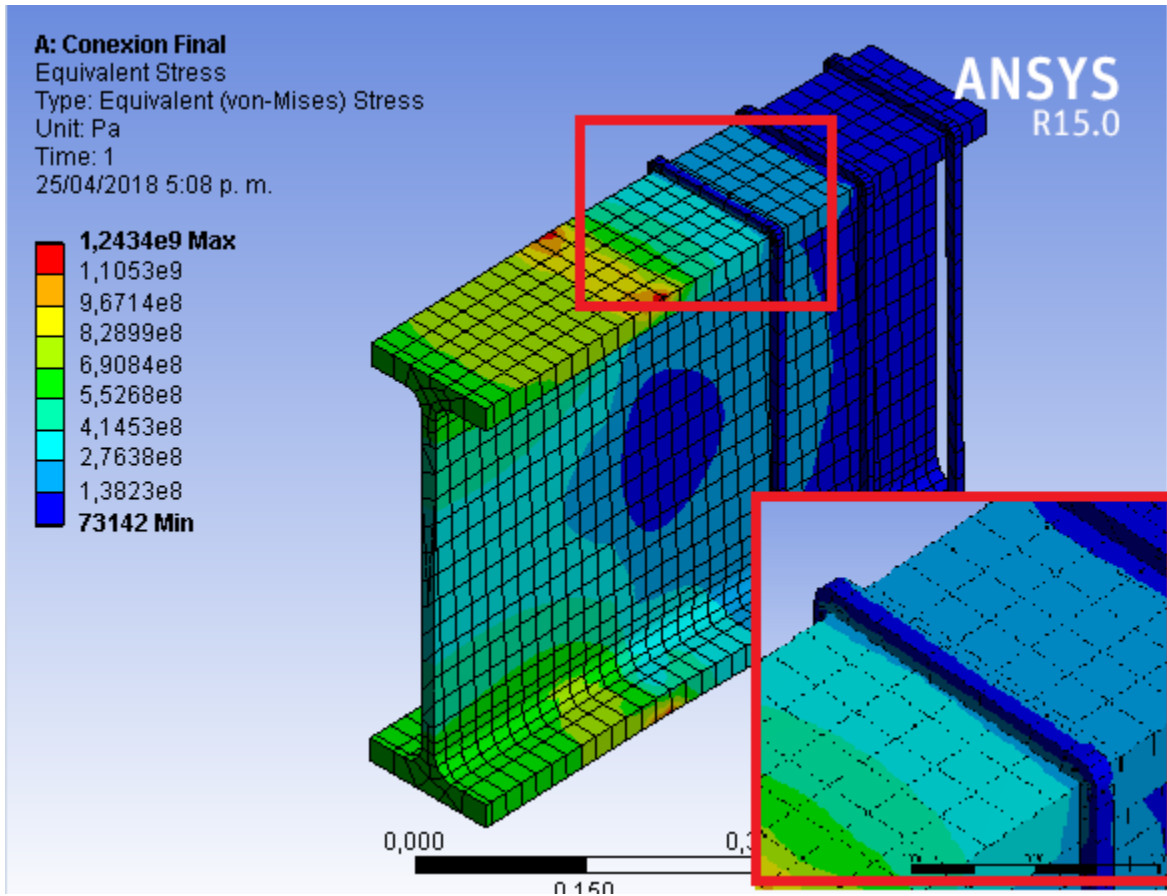
Fuente: ANSYS R15.0

4. Resistencia de los conectores tipo fleje (Barra 3/8")

Podemos identificar que los dos flejes ubicados en la parte final de la longitud de empotramiento no son exigidos, en pocas palabras, se presenta poco aporte estructural. Por otra parte, el primer estribo está teniendo esfuerzos aproximados a los 414 MPa (Ver figura 44) y está muy por debajo de su límite de fluencia que es de 420 Mpa.

En resumen, el aporte brindado por los estribos de enlace es mínimo, dado que los resultados comparados anteriormente no presentan cambios significativos.

Figura 30. Esfuerzos producidos en los conectores tipo fleje



Fuente: ANSYS R15.0

2.3.3. RESUMEN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 4. Comparación de deflexiones con base al modelo teórico

| Descripción | TEORICO | | MODELO ANÁLITICO SAP 2000 | | MODELO SOTO (ANSYS) | | | |
|------------------|------------|------|---------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------|--------|
| | Resultados | | Resultados | Coe. De variación | Resultados | Coe. De variación | | |
| Deflexión | 23,00 | mm | 15,00 | mm | 34,78% | 18,76 | Mm | 18,43% |
| Cortante | 1219,25 | kN | 1220,55 | kN | -0,11% | 1219,30 | kN | 0,00% |
| Momento | 1524,06 | kN.m | 1525,69 | kN.m | -0,11% | 1524,13 | kN.m | 0,00% |

Fuente: Propia basada en las memorias de cálculo ANSYS R15.0

Tabla 5. Comparación entre Modelo Ing. Soto y Modelo Propuesto

| Fuerzas y momentos | Modelo soto | | Modelo propuesto | | |
|--------------------------------|-------------|---------|------------------|-------------------|---------|
| Descripción | Resultados | | Resultados | Coe. De variación | |
| Deflexión | 18,76 | mm | 17,79 | mm | 5,19% |
| Cortante | 1219,30 | kN | 1219,30 | kN | 0,00% |
| Momento | 1524,13 | kN.m | 1524,13 | kN.m | 0,00% |
| Esfuerzos principales | Modelo soto | | Modelo propuesto | | |
| Descripción | Pa | MPa | Pa | MPa | % |
| Normal - EJE X | 1,e+09 | 1198,00 | 7,e+08 | 700,00 | 41,57% |
| Normal - EJE Y | 6,e+08 | 595,38 | 7,e+08 | 715,31 | -20,14% |
| Normal - EJE Z | 1,e+09 | 1260,00 | 1,e+09 | 1446,70 | -14,82% |
| Cortante - XY | 4,e+08 | 381,68 | 4,e+08 | 387,30 | -1,47% |
| Cortante - YZ | 2,e+08 | 156,51 | 2,e+08 | 161,49 | -3,18% |
| Cortante - XZ | 3,e+08 | 275,41 | 3,e+08 | 257,30 | 6,58% |
| Equivalente (von-mises) | 1,e+09 | 1230,00 | 1,e+09 | 1248,80 | -1,53% |
| Máximo principal | 1,e+09 | 1309,00 | 2,e+09 | 1501,00 | -14,67% |
| Medio principal | 6,e+08 | 577,24 | 3,e+08 | 331,64 | 42,55% |
| Mínimo principal | 2,e+08 | 216,91 | 2,e+08 | 228,71 | -5,44% |
| Intensidad | 1,E+09 | 1313,40 | 1,E+09 | 1314,80 | -0,11% |

Fuente: Propia basada en las memorias de cálculo ANSYS R15.0

3. CONCLUSIONES

- La longitud de empotramiento desarrollada por el Ingeniero Juan Pablo Soto Arocha ha sido verificada de manera exitosa, los esfuerzos desarrollados en el tramo de empotramiento tienden a reducirse en el transcurso de la longitud. Por consiguiente, la longitud de 0.40m es capaz de resistir estos esfuerzos máximos producidos por el estado límite del perfil IPN-450, evitando así la extracción del mismo y generando una buena disipación de energía.
- Una vez analizados los resultados de la conexión, se observó que el aporte estructural de los conectores tipo fleje es mínimo, ya que los resultados obtenidos entre modelos son bastantes parecidos. En definitiva, se identifica que sólo el primer fleje tiene exigencia, y su esfuerzo máximo está en el orden de 414Mpa, siendo este menor al fy utilizado en las barras corrugadas (420Mpa).
- Por otra parte la implementación de los conectores tipo fleje generan un mejor confinamiento en la zona de empotramiento, además tienen como funcionalidad aportar resistencia a fuerzas horizontales como lo puede ser en caso de un sismo.
- Se consultó y se agrupo satisfactoriamente los estudios realizados en el diseño de vigas de acople, tanto en estructuras de concreto y estructuras mixtas (véase antecedentes y marco teórico).
- En cuanto a la normatividad de construcción en Colombia, se evidencia la poca atención que se le presta al análisis de las condiciones de borde de una conexión, pasando por alto un análisis más detallado. En conclusión, el desarrollo de elementos finitos para un elemento estructural es bastante confortable, ya que con este se puede desarrollar el diseño más adecuado y obtener un factor de seguridad más alto.

4. RECOMENDACIONES

- En general, el desarrollo de modelos estructurales en Colombia se elaboran mediante los softwares de diseño Sap2000 y Etabs, los cuales están muy limitados en cuanto al diseño de conexiones, aún más, en conexiones de estructuras mixtas. Por esta razón, se recomienda el software de Elementos finitos **Ansys**, dado que este genera condiciones de borde reales y, a su vez, se asemeja a un modelo a real.
- Dada a la información obtenida, se recomienda el uso de perfiles de acero para vigas de enlace, dado que su construcción y mantenimiento es más fácil a sus equivalentes de concreto.
- Se recomienda la implementación de conectores tipo fleje para el debido afianzamiento de elementos de acero al concreto, ya que estos se fijan mejor a las armaduras de acero y así evitan desplazamientos a la hora del vaciado de concreto.

BIBLIOGRAFÍA

- ACERO, H. M., & Guerrero, P. (2006). Precalificación de una conexión soldada a momento viga-columna para aplicaciones en edificios metálicos. *8(2)*, 64-79. Cali: Universidad del Valle.
- ACI. (2002). *ACI 318-02*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.
- ACI-318. (2014). Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14). U.S.A.: American Concrete Institute.
- ACI-318, A. C. (2014). Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14). U.S.A.: American Concrete Institute.
- ANDRADE, C. (2015). *Calificación de conexiones de perfiles I de acero-viga conectada al eje débil de la columna*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- ANTONIO, L. A., Jesús, H. G., & Jaime, C. B. (2017). Propuesta de unión viga-pilar mediante pernos conectores: Análisis por método de elementos finitos y ensayos experimentales. *Vol. 67(278-279)*.
- ARRIETA, S., Bautista, C., Cruz, A. H., & Ortiz, C. (2010). *MECÁNICA DE MATERIALES*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- CELIGÜETA, J. T. (2011). *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*. España: UNICOPOA C.B.
- CLEMENT, G. V. (2010). *Diseño básico de estructuras de acero de acuerdo con NSR-10*. Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingenieros.
- ESTEVA, J. A. (1989). Estudios analíticos sobre la pérdida de adherencia en conexiones viga columna de concreto reforzado. *Tesis de Licenciatura*. Mexico: U.N.A.M.

- FRANCIS, M. A., & Gutiérrez, A. (2012). *Adecuación de las conexiones sismorresistentes precalificadas del American institute of steel (AISC) a la práctica de las estructuras de acero en venezuela*. Caracas: Revista de Ingeniería.
- HARRIES, K., Cook, W., Redwood, R., & Mitchell, D. (1992). *Concrete walls coupled by ductile steel links*. Tenth World Conference: Earthquake Engineering.
- HERNÁNDEZ, H., Bonilla, J., & Rodríguez, G. (2014). Estudio del Comportamiento de Vigas Compuestas de Hormigón y Acero Mediante Simulación Numérica. 29(N°1).
- INGNOVA, A. (12 de 09 de 2017). <https://academia.ingnova.es/>. Recuperado el 12 de 09 de 2017
- LÁZARO Naranjo, C. (2004). Simulación por elemento finito del proceso de formado de conexiones T sin costura caliente. *Tesis Doctoral*. San Nicolás de los Garza: Universidad Autonoma de Nuevo León.
- LOPEZ, P. A. (2012). Simulación numérica de vigas en concreto reforzado con barras longitudinales, transversales y fibras cortas de acero mediante el método de los elementos finitos. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- MALLICK, D., & Severn, R. (1968). *DYNAMIC CHARACTERISTICS OF INFILLED FRAMES*. Bristol, UK.
- MALLICK, D., & SEVERN, R. (1968). *DYNAMIC CHARACTERISTICS OF INFILLED FRAMES*. Bristol, UK.
- MARCAKIS, K., & Mitchell, D. (1980). *Precast Concrete Connections With Embedded Steel Members*. Prestressed Concrete Institute.
- MARTÍNEZ, E., & Valles, R. (2015). *Utilización de vigas de acoplamiento de acero para la mejorar la respuesta sísmica de edificios altos de acero*. Mexico, D.F.: Universidad Autonoma de México.

- MARTINEZ, J., & Herrera, J. O. (1978). *Construcción mixta de hormigón-Acero*. Madrid: Editorial Rueda.
- Mattock, A. H., & Gaafar, G. H. (1981). *Strength of embedded steel sections as brackets*. Washington: Department of civil Engineering, University Washington.
- McCORMAC, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Estructuras de acero* (Quinta ed.). Mexico: Alfaomega.
- MORALES, J. R. (2008). Estudio analítico de soluciones alternativas a las disposiciones de armadura diagonal en dinteles cortos. *Titulo de Ingeniero Civil*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
- NILSON, A., Darwin, D., & Yamín, L. (1999). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. Bogotá D.C.: Mc Graw Hill Interamericana, S.A.
- NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá D.C., Colombia.
- ORTIZ, N. F., & Castellanos, J. P. (2016). Guía Colombiana de diseño sísmico de estructuras en acero. *Proyecto de Grado*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes - Facultad de Ingeniería.
- RAMOS, A., Pilito, P., & Mesquita, L. (2007). Estudio del contacto entre perfil metálico y hormigón en vigas metálicas parcialmente embebidas. *Investigación*. Portugal: Universidad de Salamanca.
- READDY, J. N. (2005). *An introduction to the finite element method*. U.S.A.: McGraw-Hill Education.
- ROBLES, A., & Castillo, D. (2005). *Modelación de un Sistema Estructural Prefabricado de Bajo Peso Sometido a Cargas Sísmicas Para la Construcción de Viviendas*. Bogotá D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

- ROCHEL, R. A. (2012). *Análisis y Diseño Sísmico de Edificios*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- SHAHROOZ, B., & otros. (1992). Seismic desing and performace of composite coupled walls. *vol.119(11)*.
- SHAHROOZ, B., Remmtter, M., & Otros. (1993). *Seismic desing and performace of composite coupled walls* . Journal of the Structural Division. ASCE.
- SOTO, J. P. (2012). *Proyecto de conexiones de vigas de acero a muros de concreto en estructuras mixtas*. Caracas: Universidad Catolica Andres Bello.
- URIBE, M., & Clement, V. (2009). *Calificador de una Conexión Rígida de una Viga l una Columna Tubular Rellena de Concreto Bajo la Acción de Cargas Dinámicas*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

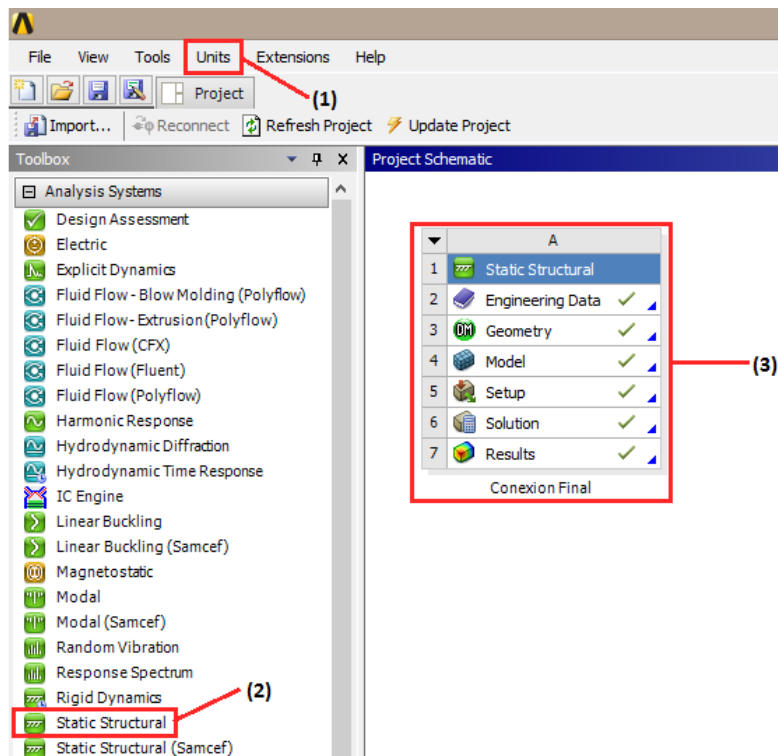
ANEXO 1. MODELACIÓN Y MONDAJE AL SOTFWARE “ANSYS”

(1) Para empezar a desarrollar el modelo es necesario tener definidas las unidades en las cuales se va a elaborar, ya sea sistema internacional o sistema inglés, entre otros. (Ver figura 29 [1])

(2) En la parte izquierda de la pantalla se despliega el “Toolbox” y reconoce el tipo de análisis que el programa brinda. Para este caso se utilizara “Static Structural”. (Ver Ilustración 1 [2])

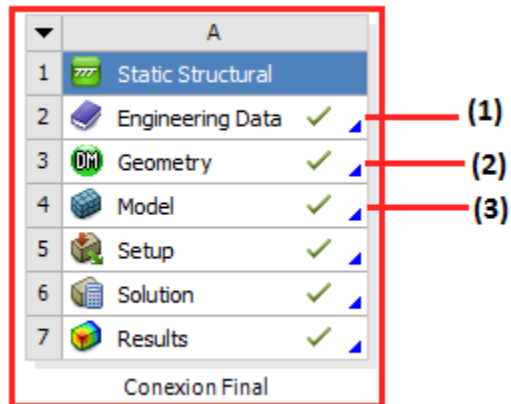
(3) Una vez seleccionado el análisis a utilizar, se genera una tabla de características del modelo con sus respectivos indicadores, los cuales se tendrán que ejecutar de forma jerárquica (Ver Ilustración 1 [3] e Ilustración 2).

Ilustración 1. Interface ansys



Fuente: ANSYS R15.0

Ilustración 2. Características del modelo

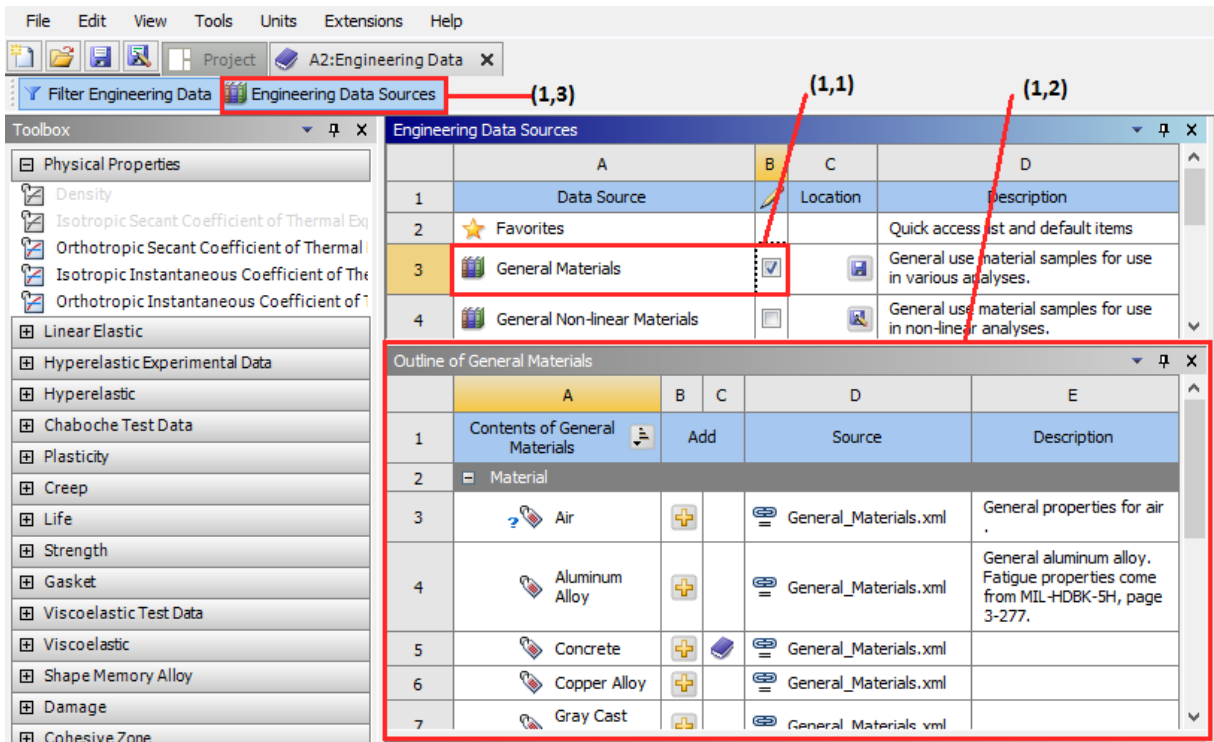


Fuente: Ansys r15.0

2.1.4.1. Creación o definición de materiales

Luego de conocer el cuadro de las características básicas del modelo (Ver Ilustración 2), se debe abrir la pestaña “**Engineering data**” (Ver Ilustración 1 [3]). Posteriormente se deben buscar y agregar los materiales que van implementar en la conexión en “**Engineering data sources**” (Ver Ilustración 3 [1,3]). Allí se debe ingresar a la pestaña “**General Materials**” (Ver Ilustración 3 [1,1]), y luego al frente del material indicado, se le debe dar un “+” (Ver Ilustración 3 [1,2]). Finalizando la anterior explicación, el material queda ingresado por defecto con unas características base.

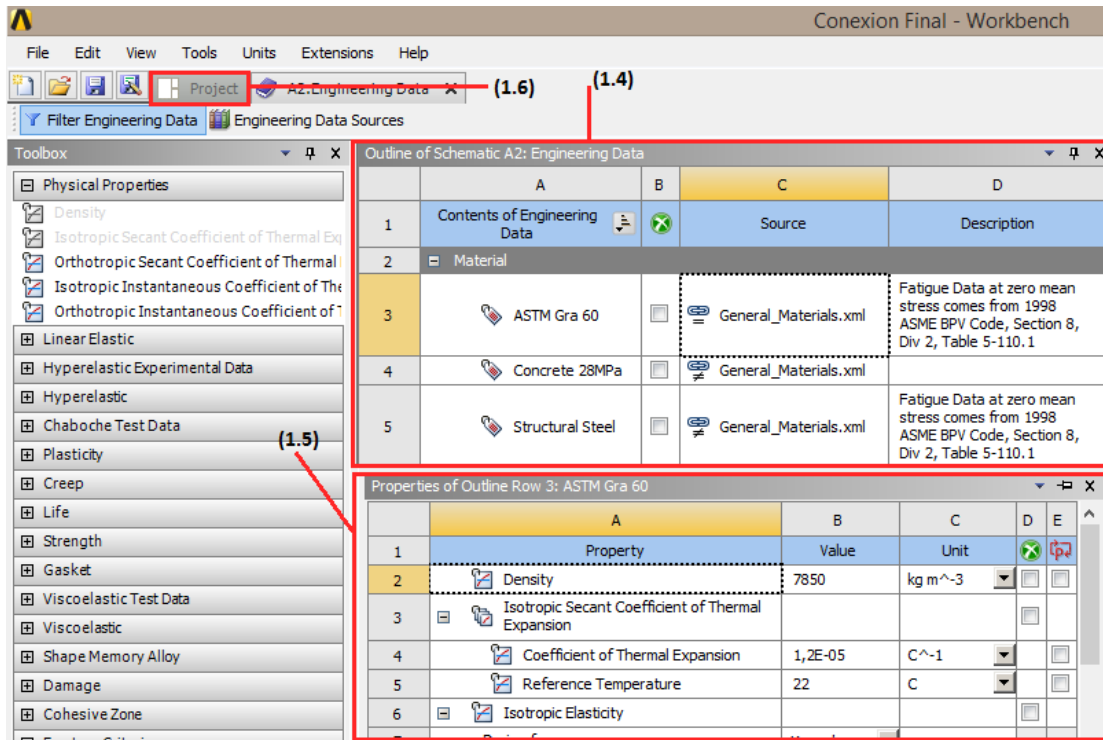
Ilustración 3. Engineering data sources



Fuente: ansys r15.0

Para poder cambiar las características básicas del material, se debe ingresar a “**Properties of outline row**” (Ver Ilustración 4 [1,5]), y modificar los parámetros descritos en el numeral 5.2 (características de los materiales).

Ilustración 4. Properties of outline row



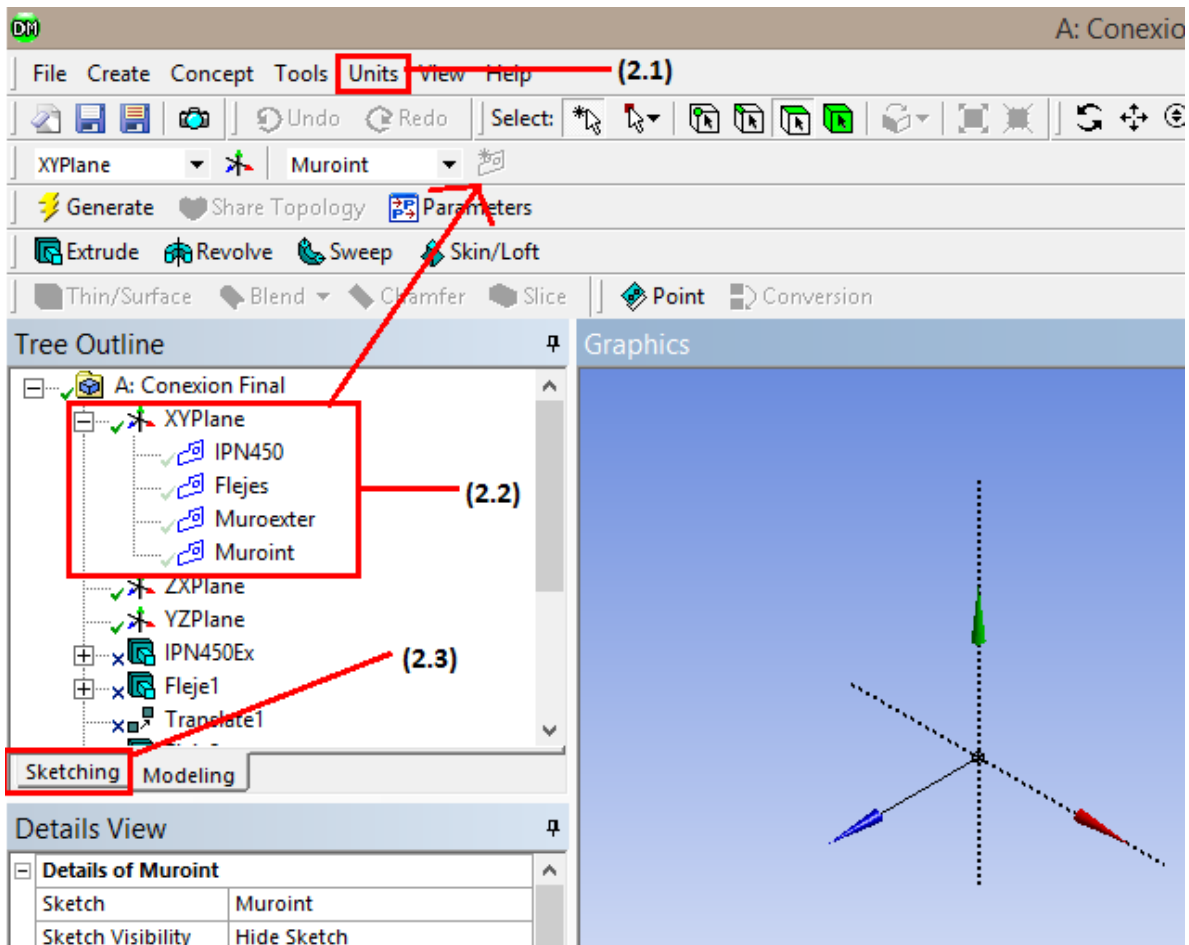
Fuente: ansys r15.0

Por último, y antes de salir del editor de materiales (Ver Ilustración 4 [1,6]), se puede ver un resumen detallado de los materiales escogidos en “**outline of schematic**” (Ver Ilustración 4 [1,4]).

2.2.4.2. Modelado de elementos

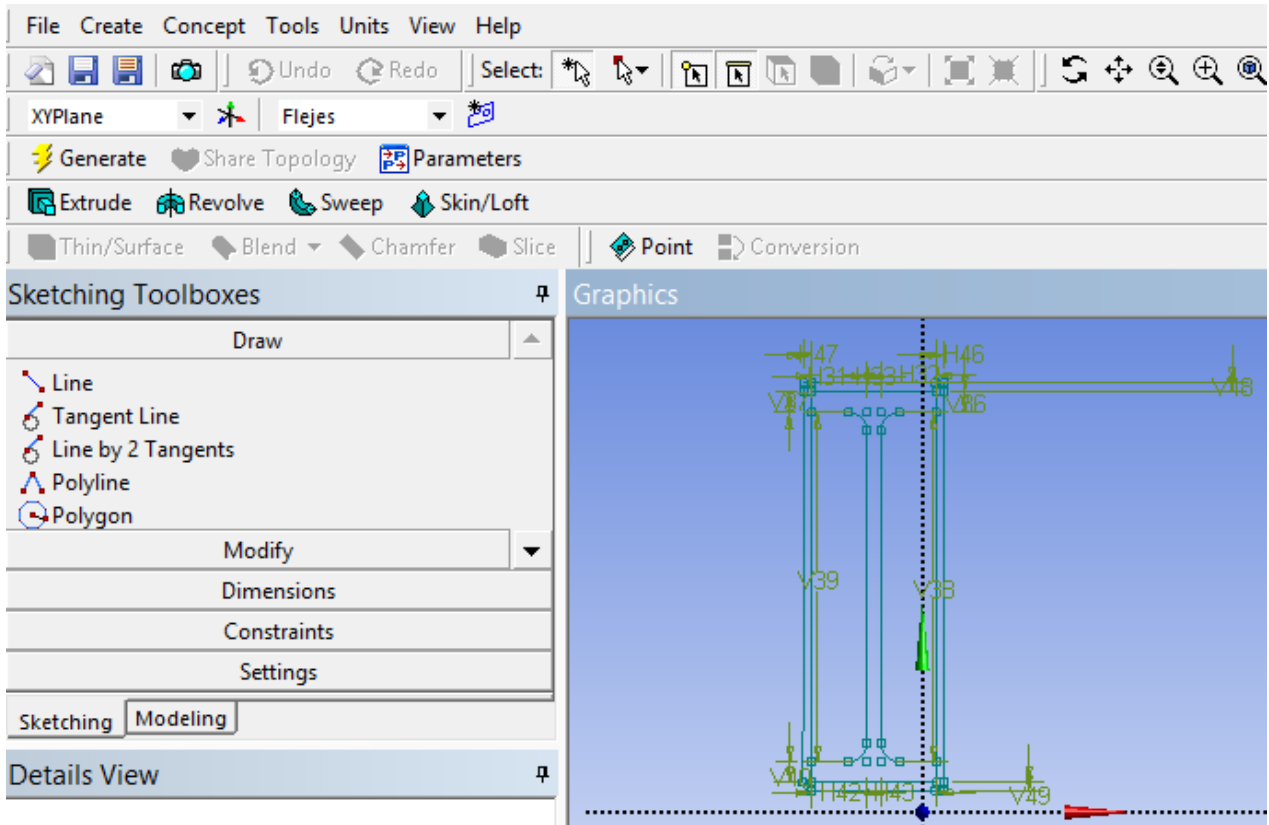
Antes de empezar a realizar cualquier tipo de geometría, es indispensable verificar las unidades (Ver Ilustración 5 [2,1]). Posteriormente se debe elegir el plano de coordenadas que se va trabajar, ya sea XY, XZ, YZ. Una vez escogido este, se crean los **Sketch** necesarios para poder llegar a la geometría deseada (Ver Ilustración 5 [2,2]). En la herramienta “**Sketching**” se podrá encontrar todo tipo de herramientas para dimensionar, modificar, entre otros. (Ver Ilustración 6).

Ilustración 5. Interface geometría ansys (creación sketch)



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0

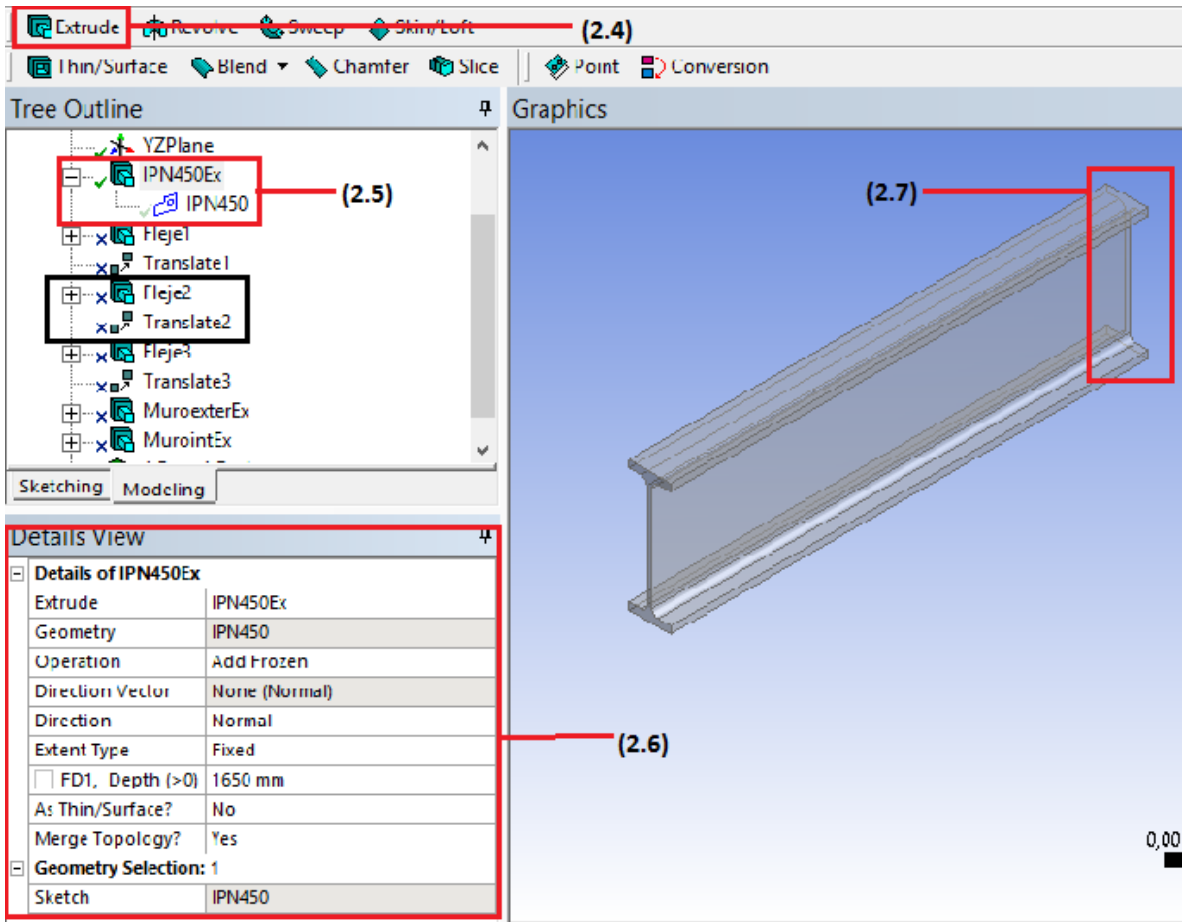
Ilustración 6. Sketching



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

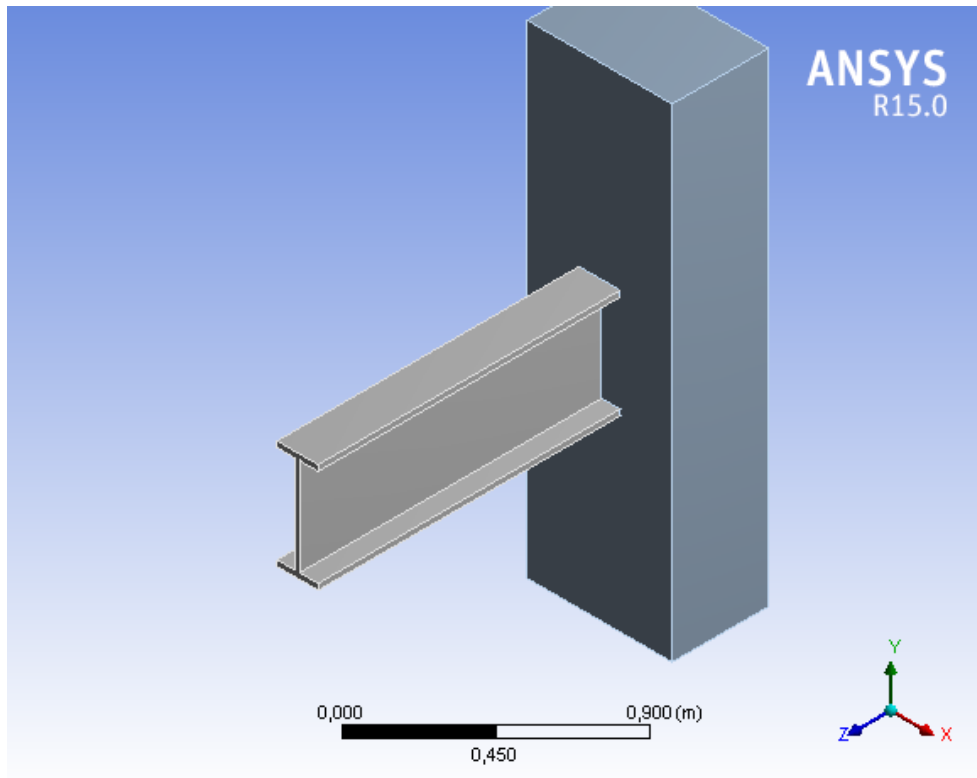
Luego de tener definidas las dimensiones básicas del “**sketch**”, por medio del icono “**Extrude**” (Ver Ilustración 7 [2,4]) se puede realizar el modelado de los elementos elaborados anteriormente en el esquema (Ver Ilustración 7 [2,5]). Una vez generado el sólido, también puede hacer ajustes básicos que pueden comprender nuevas longitudes, ubicación y desplazamiento del mismo (Ver Ilustración 7 [2,6]).

Ilustración 7. Extrude



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

Ilustración 8. Geometría final

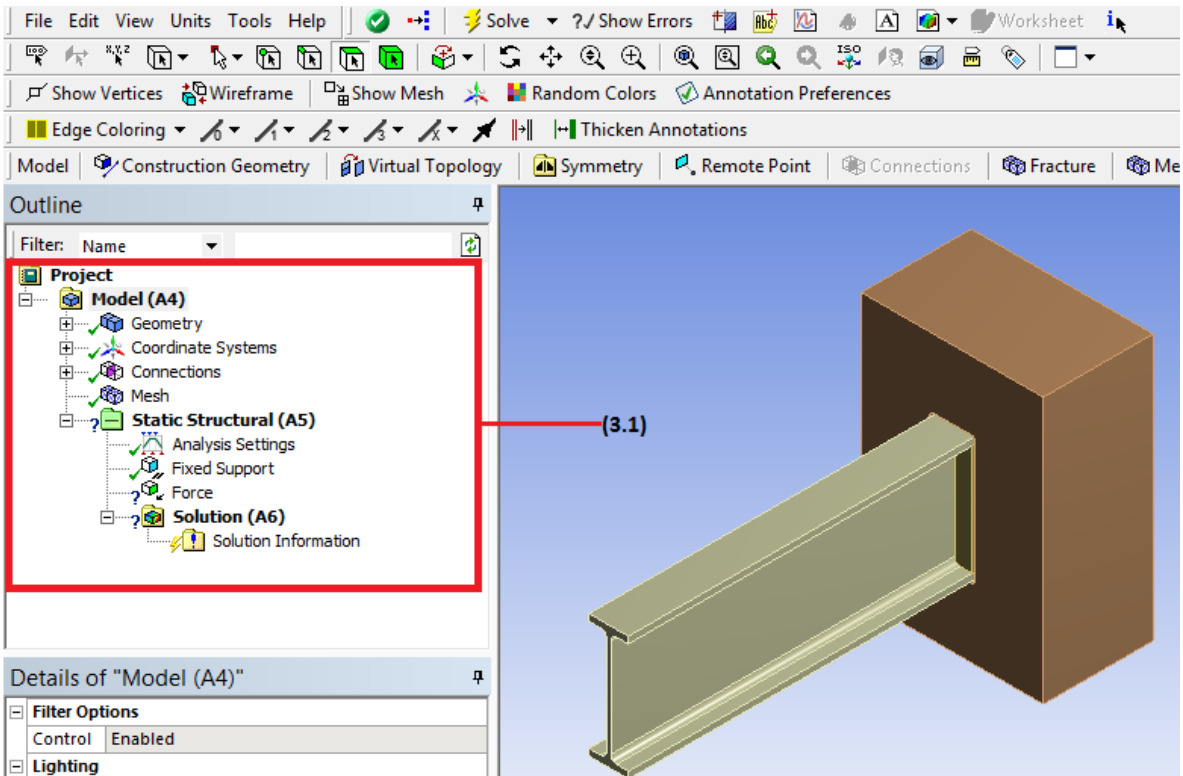


Fuente: ANSYS R15.0 (Geometry)

2.2.4.3. Aplicación de la carga y mallado

Una vez terminada la geometría, se debe guardar y salir del modo “**Geometry**”. Luego se debe ingresar a la opción Modelo (Ver Ilustración 9) y acto seguido, ya dentro del “**Model**” se definirán los patrones que predominan en la conexión, tales como los son las cargas, contactos entre elementos, mallado y los soportes fijos (Ver Ilustración 9 [3.1]).

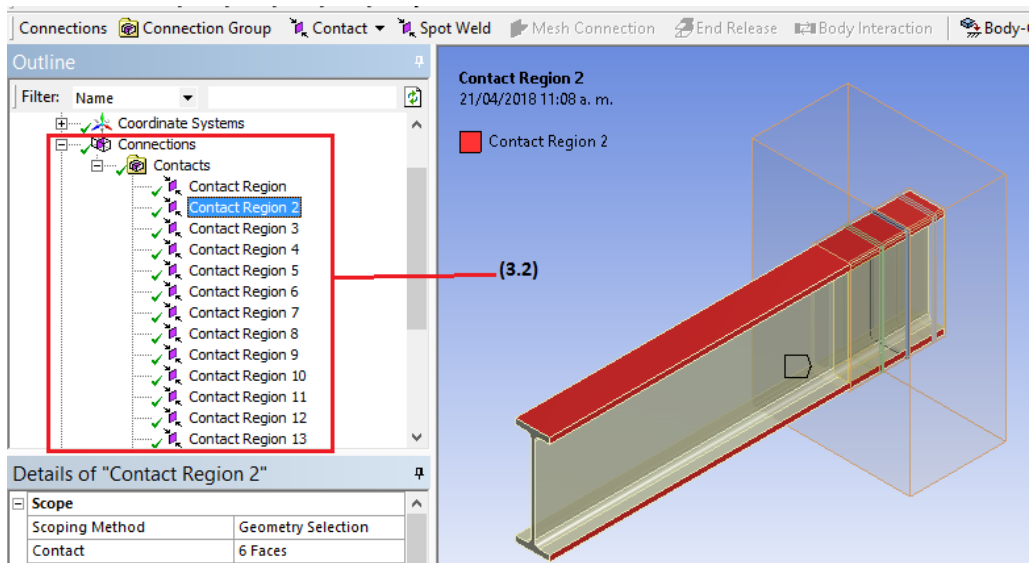
Ilustración 9. Model



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

Ahora bien, es importante ingresar a **“connections”** y verificar las superficies de contacto entre los elementos modelados, debido que si las superficies están montadas, el modelo en su solución tendrá problemas y generara errores. (Ver Ilustración 10 [3,2]).

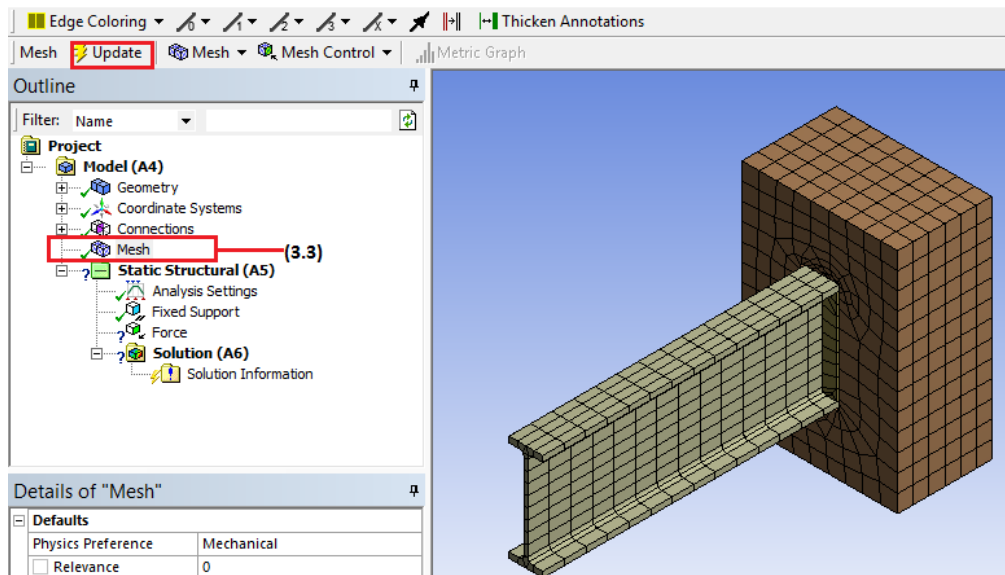
Ilustración 10. Connections (contacts)



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

Luego de verificar las superficies de contacto, se debe ingresar a la pestaña “**Mesh**” y modificar el mallado que tiene por defecto los sólidos. (Ver Ilustración 11).

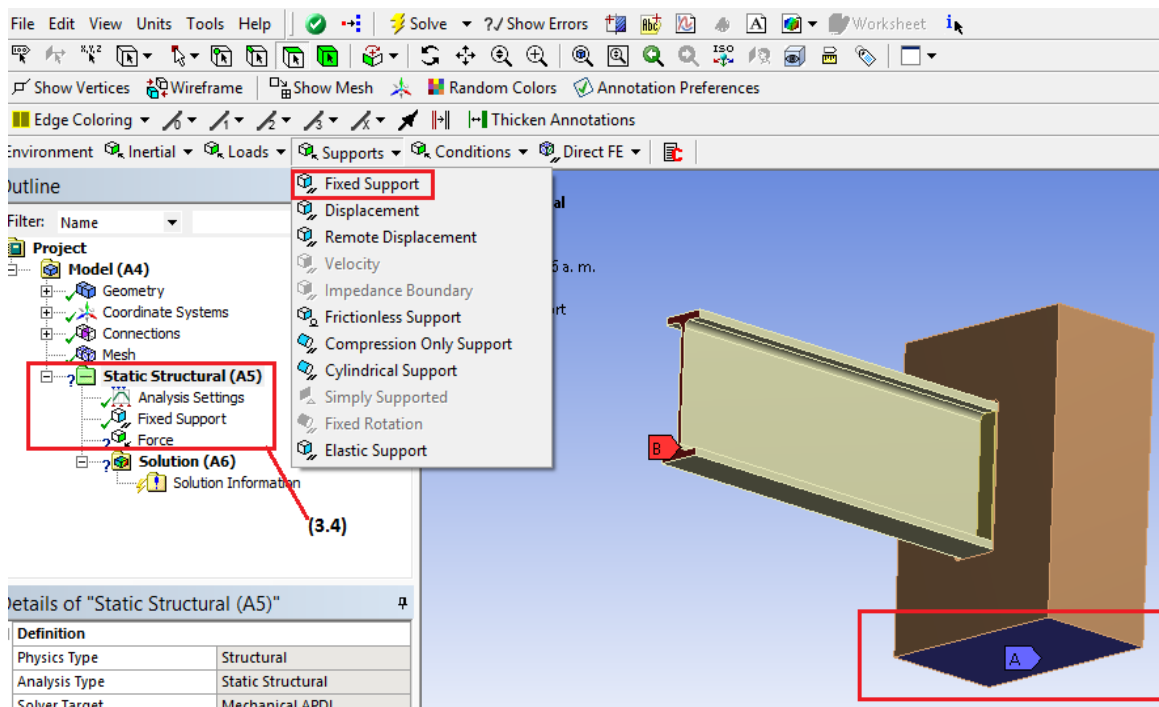
Ilustración 11. Mesh



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

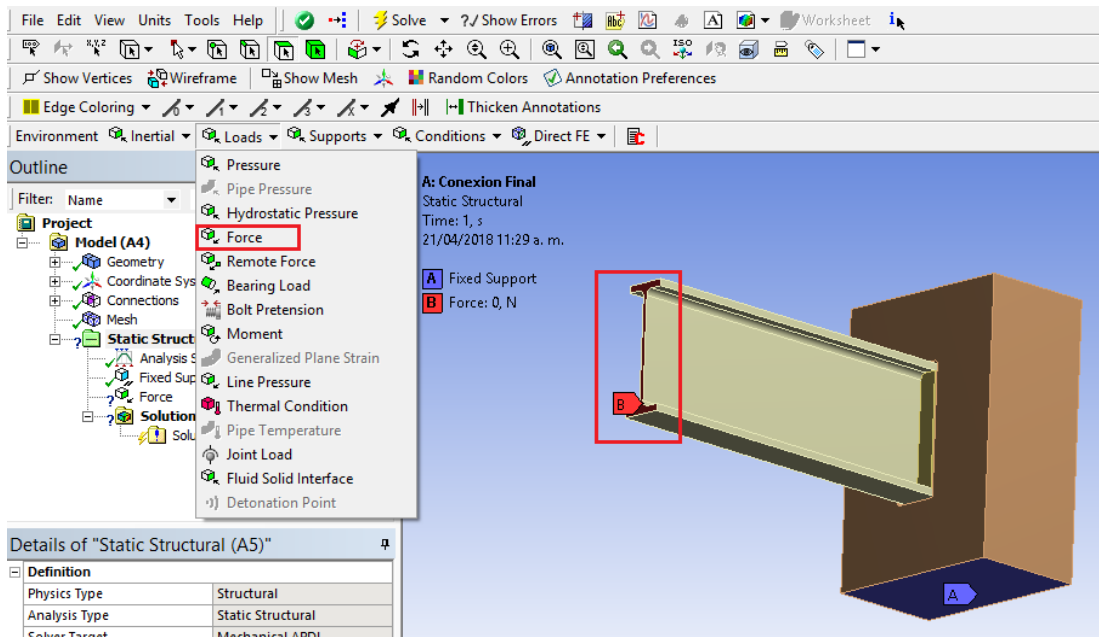
En definitiva, en la pestaña “**Static Structural**” se definen los soportes y cargas necesarias para brindar las condiciones de ambiente del modelo (Ver Ilustración 12). Para generar las restricciones, se debe seleccionar la pestaña “**Supports**”, de allí se despliega una ventana que tiene varias opciones, y para este ejemplo se selecciona “**Fixed Supports**” (Ver Ilustración 12 [3,4]). A continuación se aplica la carga calculada en el ejercicio de práctico (Ver numeral 5.2), seleccionando el comando “**Loads**”. (Ver Ilustración 13).

Ilustración 12. Supports



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

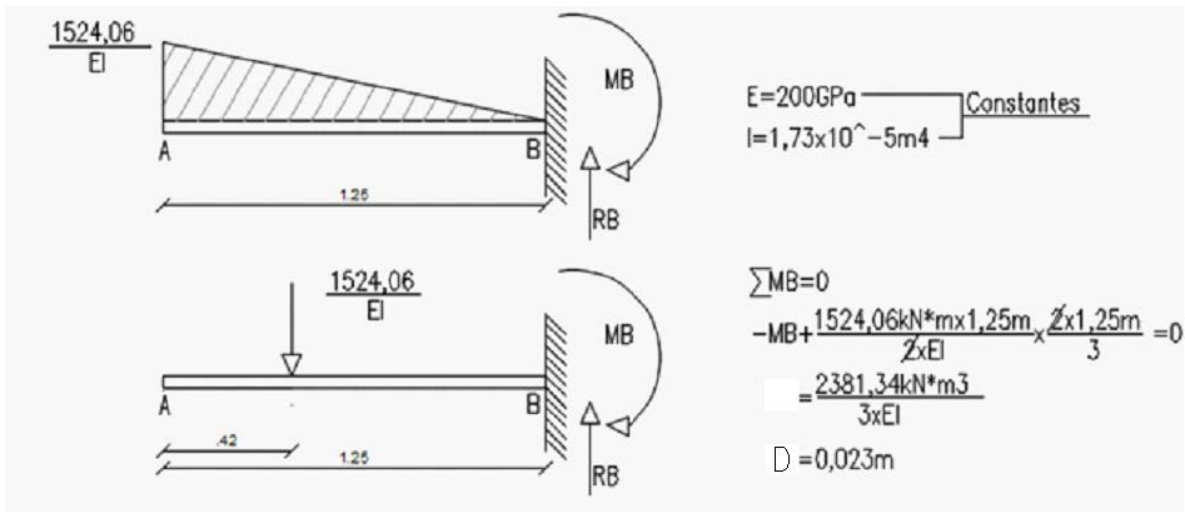
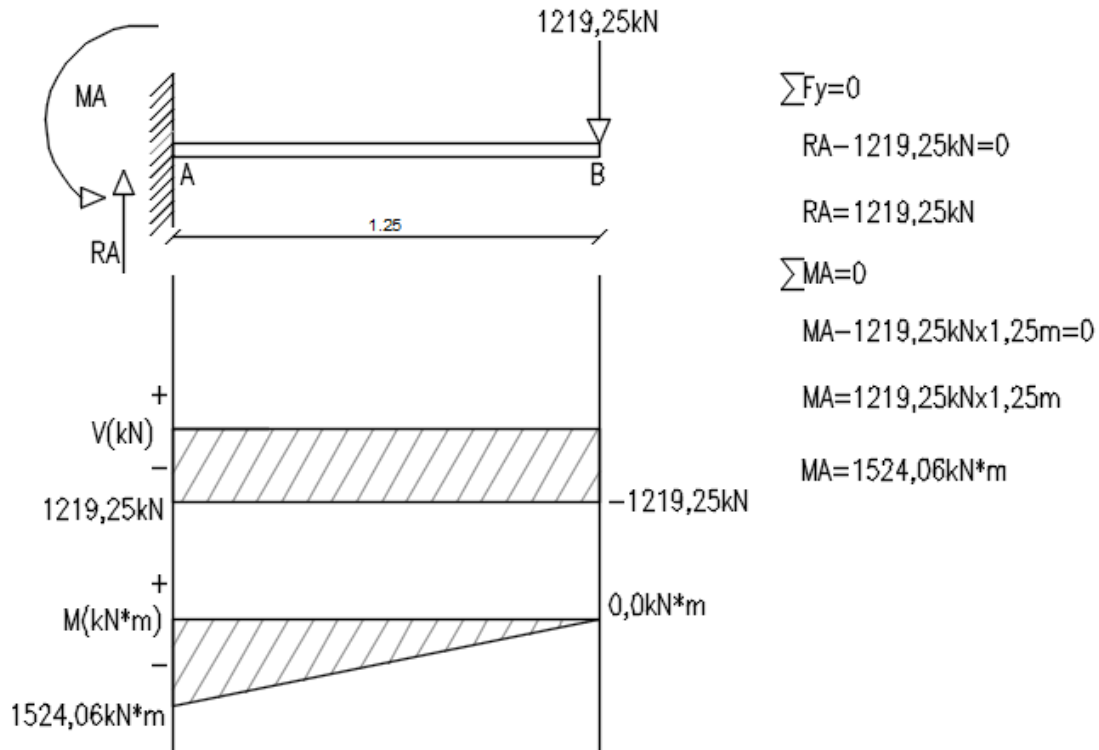
Ilustración 13. Aplicación de carga (loads)



Fuente: Propia tomando como base ANSYS R15.0 (Geometry)

ANEXO 2. OBTENCIÓN DE REACCIONES Y DEFLEXIONES POR EL MÉTODO DE LA VIGA CONJUGADA

Ilustración14. Ejercicio viga conjugada



Fuente: Propia.

