

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**



**“DISEÑO DE VIGAS DE GRAN PERALTE CON ALTO NIVEL DE  
ASIMETRÍA USANDO LA TÉCNICA DEL PUNTAL TIRANTE”**

**TESIS**

**Presentado por:**

Br. Glenda Milagros, LINAJA GARCÍA

**Asesor:**

Mag. Ing. Dina Marlene Cotrado Flores

**Para obtener el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

**TACNA – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien es el que siempre guía mi camino,  
el que me da fuerzas y saca lo mejor de mí.

A mis padres Tomás y Rosa  
por el sacrificio que han realizado  
a lo largo de toda mi vida en darme educación  
y apoyarme incondicionalmente,  
son mi motivación  
y ejemplo a seguir.

A mis profesores y compañeros  
por darme alegría y compañía,  
por sus apoyos motivacionales diarios.

Glenda Milagros Linaja García.

## **AGRADECIMIENTO**

**A DIOS**, donde vaya siempre contare con su protección y con su ayuda, aunque no lo pida, te amo Señor y siempre estarás en mi vida.

**A MIS PADRES**, por ser ejemplo para mí, gracias a ellos estoy alcanzando una meta más con mucho orgullo. Le debo un eterno agradecimiento por su inmenso amor.

**AL ASESOR**, Ing<sup>o</sup> Dina Marlene Cotrado Flores, por su apoyo constante brindado en la realización de esta tesis.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. INTERROGANTE PRINCIPAL: .....	3
1.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIOS:.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	4
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL.....	6
2.1.2. A NIVEL NACIONAL .....	7
2.2. BASES TEÓRICAS .....	8
2.3. VIGAS DE GRAN PERALTE.....	8
2.4. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO SEGÚN LA TÉCNICA PUNTAL- TIRANTE.....	10
2.4.1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA .....	10
2.5. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	30
3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	31
3.1. HIPÓTESIS.....	31
3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	31
3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	31
3.2. VARIABLES.....	32
3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.....	32

3.2.1.1.	INDICADORES .....	32
3.2.1.2.	DIMENSIONES .....	32
3.2.1.3.	PROCEDIMIENTOS.....	32
3.2.1.4.	ESCALA DE MEDICIÓN.....	32
3.2.2.	IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	33
3.2.2.1.	INDICADORES .....	33
3.2.2.2.	DIMENSIONES .....	33
3.2.2.3.	PROCEDIMIENTOS.....	33
3.2.2.4.	ESCALA DE MEDICIÓN.....	33
3.3.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.5.	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
3.6.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	34
3.6.1.	POBLACIÓN.....	34
3.6.2.	MUESTRA .....	35
3.7.	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....	35
3.7.1.	PROCEDIMIENTO .....	35
3.7.3.	TÉCNICAS.....	67
3.7.4.	INSTRUMENTOS.....	68
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS .....	73
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	73
4.2.	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	74
4.3.	RESULTADOS .....	89
5.	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1.	CONCLUSIONES.....	92
5.2.	RECOMENDACIONES O PROPUESTA .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Diagrama de esfuerzos de una viga con una $h=1/2$ .....	9
<b>Figura 2:</b> Diagrama de esfuerzos de una viga con $h=1$ .....	9
<b>Figura 3:</b> Diagrama de esfuerzos de una viga con $h>1$ .....	10
<b>Figura 4:</b> Esquema de la técnica puntal –tirante. Fuente: (America Concrete Institute, 2002) .....	13
<b>Figura 5:</b> Procedimiento de la Técnica puntal tirante.....	14
<b>Figura 6:</b> Identificación de regiones B y D.....	15
<b>Figura 7:</b> Discontinuidades geométricas. Fuente: (America Concrete Institute, 2002). .....	16
<b>Figura 8:</b> Estructura con discontinuidades estáticas. Fuente: (García G. A., 2009)..	17
<b>Figura 9:</b> Discontinuidad combinada. Fuente: (García G. A., 2009). .....	17
<b>Figura 10:</b> Distribución de esfuerzos. Fuente: (America Concrete Institute, 2002)..	21
<b>Figura 11:</b> Trayectoria de esfuerzos de una viga de peralte normal. Fuente: (García G. A., 2009).....	21
<b>Figura 12:</b> Propuesta de armadura según la dirección de esfuerzos. Fuente: (García G. A., 2009).....	22
<b>Figura 13:</b> Ubicación de nodos, puntales y tirantes. Fuente: (García G. A., 2009)..	22
<b>Figura 14:</b> Calculo de esfuerzos de puntales, tirantes y reacciones. ....	23
<b>Figura 15:</b> Dimensionamiento de los elementos. Fuente: (García G. A., 2009).....	27
<b>Figura 16:</b> Zona nodal extendida que muestra los efectos de la distribución de la fuerza. Fuente: (America Concrete Institute, 2002). ....	27
<b>Figura 17:</b> Armado del refuerzo de acero calculado según el diseño de la técnica puntal-tirante. Fuente: (García G. A., 2009). ....	29
<b>Figura 18:</b> Muestra estudiada en la presente investigación. ....	35
<b>Figura 19:</b> Muestra estudiada en la presente investigación. ....	36

<b>Figura 20:</b> Determinación de las fuerzas actuantes en las zonas.....	37
<b>Figura 21:</b> Trayectoria de esfuerzos de viga de gran peralte con alto nivel de asimetría. .....	38
<b>Figura 22:</b> Propuestas de armadura para una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría. ....	39
<b>Figura 23:</b> Elección de mejor propuesta. ....	39
<b>Figura 24:</b> Geometría general de la propuesta de armadura. ....	40
<b>Figura 25:</b> Zona nodal A1. ....	47
<b>Figura 26:</b> Zona nodal A1. ....	48
<b>Figura 27:</b> Zona nodal B. ....	49
<b>Figura 28:</b> Zona nodal C. ....	50
<b>Figura 29:</b> Tirante 4 y 5. ....	54
<b>Figura 30:</b> Tirante 6. ....	55
<b>Figura 31:</b> Armado de acero de refuerzo de acero de la muestra. ....	57
<b>Figura 32:</b> Corte A, B y C de la viga de gran peralte. ....	57
<b>Figura 33:</b> Refuerzo de acero según los cortes.....	58
<b>Figura 34:</b> Geometría general de la estructura. Fuente: Elaboración de AStrutTie. .	59
<b>Figura 35:</b> Datos de la geometría de puntales y tirantes. Fuente: Elaboración de AStrutTie. ....	60
<b>Figura 36:</b> Datos de geometría de nodos. Fuente: Elaboración de AStrutTie.....	61
<b>Figura 37:</b> Datos de dimensiones, propiedades de puntales y tirantes: Fuente: Elaboración de AStrutTie.....	62
<b>Figura 38:</b> Datos de propiedades de nodos. Fuente: Elaboración de AStrutTie. ....	62
<b>Figura 39:</b> Fuerzas en elementos y reacciones. Fuente: Elaboración de AStrutTie. .	63
<b>Figura 40:</b> Anchos efectivos de puntales y tirantes. Fuente: Elaboración de AStrutTie. .....	63
<b>Figura 41:</b> Fuerzas en los elementos y relación de esfuerzos. Fuente: Elaboración de AStrutTie. ....	64

<b>Figura 42:</b> Esfuerzos y relación de esfuerzos en puntales y tirantes. Fuente: Elaboración de AStrutTie.....	65
<b>Figura 43:</b> Esfuerzos y relación de esfuerzos en zonas nodales. Fuente: Elaboración de AStrutTie. ....	66
<b>Figura 44:</b> Arreglo de la armadura y sección de acero provisto.....	67
<b>Figura 45:</b> Esquema representativo para el procedimiento de la técnica puntal-tirante. ....	68
<b>Figura 46:</b> Modelado de acero y concreto en el software Abaqus Cae. Fuente: (García G. L., 2019) .....	69
<b>Figura 47:</b> Consideraciones de borde para el software. Fuente: (García G. L., 2019). ....	69
<b>Figura 48:</b> Propiedades del software Abaqus Cae.....	70
<b>Figura 49:</b> Discretización del modelo. Fuente: (García G. L., 2019).....	71
<b>Figura 50:</b> Resultados del armado de acero de refuerzo.....	73
<b>Figura 51:</b> Diagrama de esfuerzos de Von Mises, para un mesh de 25cm. ....	74
<b>Figura 52:</b> Diagrama de esfuerzos de Tresca, para un mesh de 25cm.....	75
<b>Figura 53:</b> Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión.....	76
<b>Figura 54:</b> Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción. ....	77
<b>Figura 55:</b> Desplazamiento de la viga de gran peralte, para un mesh de 25cm. ....	78
<b>Figura 56:</b> Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero, para un mesh de 20cm. ....	79
<b>Figura 57:</b> Diagrama de esfuerzos de Tresca para el concreto, para un mesh de 20cm. ....	80
<b>Figura 58:</b> Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para un mesh de 20cm. ....	81
<b>Figura 59:</b> Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción para un mesh de 20cm.....	82
<b>Figura 60:</b> Desplazamiento de viga de gran peralte para un mesh de 20cm.....	83

<b>Figura 61:</b> Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero para un mesh de 15cm. ....	84
<b>Figura 62:</b> Diagrama de esfuerzos de Tresca del concreto reforzado para un mesh de 15cm.....	85
<b>Figura 63:</b> Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para un mesh de 15cm. ....	86
<b>Figura 64:</b> Porcentaje de parámetros de daño del concreto a traccion para un mesh de 15cm.....	87
<b>Figura 65:</b> Desplazamiento de una viga de gran peralte para un mesh de 15cm. ....	88
<b>Figura 66:</b> Armadura de viga de gran peralte con alto nivel de asimetría. ....	99
<b>Figura 67:</b> Software Abaqus Cae.....	99
<b>Figura 68:</b> Software Abaqus Cae.....	100
<b>Figura 69:</b> Software Abaqus Cae.....	100
<b>Figura 70:</b> Software Abaqus Cae.....	101
<b>Figura 71:</b> Software Abaqus Cae.....	102
<b>Figura 72:</b> Software Abaqus Cae.....	102
<b>Figura 73:</b> Software Abaqus Cae.....	103
<b>Figura 74:</b> Software Abaqus Cae.....	104
<b>Figura 75:</b> Software Abaqus Cae.....	104
<b>Figura 76:</b> Software Abaqus Cae.....	105
<b>Figura 77:</b> Software Abaqus Cae.....	105
<b>Figura 78:</b> Software Abaqus Cae.....	106
<b>Figura 79:</b> Software Abaqus Cae.....	107
<b>Figura 80:</b> Software Abaqus Cae.....	107
<b>Figura 81:</b> Software Abaqus Cae.....	108
<b>Figura 82:</b> Software Abaqus Cae.....	108
<b>Figura 83:</b> Software Abaqus Cae.....	109
<b>Figura 84:</b> Software Abaqus Cae.....	109
<b>Figura 85:</b> Software Abaqus Cae.....	110

<b>Figura 86:</b> Software Abaqus Cae.....	111
<b>Figura 87:</b> Software Abaqus Cae.....	111
<b>Figura 88:</b> Software Abaqus Cae.....	112
<b>Figura 89:</b> Software Abaqus Cae.....	112
<b>Figura 90:</b> Software Abaqus Cae.....	113
<b>Figura 91:</b> Software Abaqus Cae.....	113
<b>Figura 92:</b> Software Abaqus Cae.....	114
<b>Figura 93:</b> Software Abaqus Cae.....	114
<b>Figura 94:</b> Software Abaqus Cae.....	115
<b>Figura 95:</b> Software Abaqus Cae.....	116
<b>Figura 96:</b> Software Abaqus Cae.....	117
<b>Figura 97:</b> Software Abaqus Cae.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Factor de resistencia.....	24
<b>Tabla 2:</b> Valores de Factor de resistencia Fce.....	25
<b>Tabla 3:</b> Tiempo de investigación.....	34
<b>Tabla 4:</b> Propiedades de los materiales. Fuente: Elaboración propia. ....	36
<b>Tabla 5:</b> Dimensiones de las placas de apoyo.....	36
<b>Tabla 6:</b> Ángulos según la técnica propuesta de strut and tie. ....	44
<b>Tabla 7:</b> Fuerzas calculadas.....	44
<b>Tabla 8:</b> Valores del Software Abaqus Cae. ....	70
<b>Tabla 9:</b> Carga en la viga de gran peralte con alto nivel de asimetría. ....	71

## RESUMEN

La presente investigación se denomina “Diseño de vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría usando la técnica puntal tirante”. En ella se estudia las vigas de gran peralte, que son usadas para soportar grandes cargas o por condiciones arquitectónicas. Esta investigación consiste en la determinación del diseño de una viga discontinua en totalidad, tanto en carga como en geometría, usando la técnica puntal - tirante, por lo cual, usando información bibliográfica de trabajos de investigación similares se procedió a la realización del diseño estructural de esta viga, la técnica es recomendada por la norma peruana E.060. Posteriormente, se realizó el modelado en el software AbaqusCAE para poder determinar esfuerzos del refuerzo de acero, porcentaje de parámetros de daño, esfuerzos de Von Mises y Tresca, porcentaje de fisuras y porcentaje de aplastamiento, obteniendo como resultado un buen diseño para este tipos de estructuras, que fue verificado en el software donde tiene un buen comportamiento, concluyendo que, para la muestras con discontinuidades considerables se recomienda usar la técnica del Strut and Tie.

**Palabras clave:** desplazamiento, distribución de esfuerzos de von mises, distribución de esfuerzos de tresca, fisuras, parámetros de daño, porcentaje de aplastamiento

## ABSTRACT

The present investigation is called "Design of large beam beams with high level of asymmetry using the strut brace technique". It studies the beams of great cant, which are used to withstand large loads or for architectural conditions. This investigation consists in the determination of the design of a discontinuous beam in totality, both in load and in geometry, using the strut-pull technique, therefore, using bibliographic information of similar research works, the structural design of this beam, the technique is recommended by the Peruvian standard E.060. Subsequently, modeling was carried out in the AbaqusCAE software to determine steel reinforcement efforts, percentage of damage parameters, Von Mises and Tresca efforts, percentage of cracks and crushing percentage, resulting in a good design for this type of structures, which was verified in the software where it has a good behavior, concluding that, for samples with considerable discontinuities it is recommended to use the Strut and Tie technique.

**Keywords:** displacement, von mises stress distribution, tresca stress distribution, fissures, damage parameters, crush percentage

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como tema “Diseño de vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría usando la técnica puntal tirante”.

Se procedió a estudiar las vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría, que son usadas para soportar grandes cargas o por condiciones arquitectónicas. Esta investigación consiste en la determinación del diseño de una viga discontinua en totalidad, usando la técnica puntal – tirante también conocida Strut and Tie, por lo cual, se realizó el diseño estructural de una viga con asimetría tanto geométrica como en carga, la técnica ya mencionada es recomendada por la norma peruana E.060. Por último, se realizó el modelado en el software AbaqusCAE para poder determinar esfuerzos del refuerzo de acero, porcentaje de parámetros de daño, esfuerzos de Von Mises y Tresca, porcentaje de fisuras y porcentaje de aplastamiento, obteniendo como resultado un buen diseño para este caso de estructuras, fue verificado en el software, donde obtuvo un buen comportamiento, concluyendo que, para muestras con discontinuidades considerables se recomienda usar la técnica Puntal-Tirante.

## **1. CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La tendencia de las grandes ciudades a crecer de manera vertical responde a varios factores. El principal es el vertiginoso aumento de la población, teniendo este principio claro se estudia nuevas estructuras que aportarán un buen desempeño para construcciones con una gran cantidad de niveles. (RNE, 2009).

En Tacna, no hay casos estudiados de análisis y diseño de vigas de gran peralte, ya que en nuestra ciudad la mayoría de edificaciones son viviendas unifamiliares y multifamiliares, en su mayoría de carácter informal, sin embargo en las edificaciones como son colegios, centro de salud, considerados como edificaciones esenciales, según la norma E.030, en la mayoría los diseños no se ha comprobado elementos que trabajen a flexión de gran peralte, por ello es necesario estudiar la influencia que tendrán las vigas de gran peralte en este tipo de edificaciones, pues contribuye a acopiar criterios de diseño de este elemento estructural y proyectarse a una colaboración a instituciones educativas para que continúen en este proceso de investigación, pues existen aún preguntas en el tema.

Las vigas de gran peralte son estructuras esbeltas, su utilización es poco común, es por ello que son objeto de estudio, por su comportamiento, donde la interrogante es los métodos de diseño para estas. La mayoría de las edificaciones son diseñadas en rango lineal elástico cumpliendo así la

hipótesis de Navier-Bernoulli, “Las secciones planas permanecen planas tras una deformación” (Bernoulli, 1782), por lo cual es tema de estudio.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. INTERROGANTE PRINCIPAL:**

- ¿Cómo se determina el diseño de una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría?

### **1.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIOS:**

- ¿Cómo se aplica la técnica de puntal tirante en una viga de gran peralte?
- ¿Cómo se determina las regiones B que cumplan el teorema de Navier y las regiones D que no cumplen este teorema?
- ¿Cómo se aplica la técnica de puntal tirante en una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría?
- ¿Cómo se verifica los resultados a través del software de elementos finitos Abaqus Cae?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Perú es un país que es considerado una zona sísmica y esto demanda diseños que garanticen la seguridad de las estructuras, en este caso aplicados al elemento concreto armado, por esta razón las vigas altas o también

conocidas como vigas de gran peralte son recomendables usarlas en estructuras que soporten grandes cargas y grandes luces, en nuestro país no se usan con frecuencia por muchos diseñadores, ya que la norma E.060 no brinda mucha información con respecto a un buen diseño de estas, entonces es relevante este tema de investigación, pues contribuye a juntar criterios de diseño en estos elementos y proyectarse a una colaboración con distintas instituciones educativas nacionales e internacionales que continúan en este proceso de investigación, pues existen aún preguntas en el tema.

En la actualidad se ha hecho un análisis comparativo de los diferentes métodos que propone el Reglamento Nacional de Edificaciones E-0.60 para el análisis y diseño de vigas de gran peralte, donde el estudio va dirigido a estructuras simétricas, por lo cual esta investigación va dirigida a elementos estructurales con asimetría tanto en carga como en geometría aplicando la técnica de puntal – tirante.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el diseño de una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría usando la técnica de puntal tirante.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Aplicar el procedimiento de la técnica puntal tirante en una viga de gran peralte simétrica.
- Determinar las regiones B que cumplen el teorema de Navier y las regiones D que no la cumplan.

- Aplicar la técnica de puntal tirante en una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría e identificar la zona donde ocurre el aplastamiento y las fisuras.
- Verificar los resultados en el software de elementos finitos Abaqus Cae.

## 2. CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

(S.R.Chowdhury, 2014), desarrolló la investigación “Numerical Modelling of Reinforced Concrete Beams with Opening”, donde se estudió el comportamiento de una viga con dos agujeros, los cuales fueron utilizados para el paso de las tuberías de servicios públicos y conductos de servicio. Normalmente la apertura se coloca en profundidad para evitar reducir el área de cizallamiento cerca de los soportes. En este estudio se utilizó un método de elementos finitos numéricos no lineales tridimensionales utilizando ANSYS 10,0, un software de elementos finitos para simular las vigas de concreto armado simplemente soportadas.

(García G. A., 2009) , en esta memoria denominada “Modelamiento puntal – tensor para muros cortos”, encontró una base en el modelo de Hwang et al. (2001). A pesar de que el modelo propuesto se basa en los conceptos de estos autores, éste es completamente diferente en la manera en que determina el esfuerzo último de corte de los muros cortos de concreto armado, ya que éste basó su búsqueda del esfuerzo de corte en las deformaciones promedio que los muros tienen tanto horizontal como verticalmente, las que dependen del desplazamiento entre pisos (“drift”) que presenta el muro, en vez de basarse en una distribución de fuerzas. Estos parámetros fueron calibrados a través de un modelo de elementos finitos, para caracterizar las condiciones de los muros que se pretendían modelar en esta memoria. Esta modificación definiría el mecanismo vertical u horizontal cuando éstos no presenten armadura distribuida

en su configuración. De esta manera queda definida la deformación unitaria cuando los tensores (vertical u horizontal) alcancen su capacidad.

(Young, 2009), desarrolló la investigación “Deep Beam Design using Strut-tie-model”, donde desarrolló nomogramas y demostró su aplicabilidad para lo simple diseño de haz profundo admitido para simplificar una serie de pasos de cálculo. Para este propósito, se aplicaron modificaciones básicas de la formulación del modelo Strut-Tie para la viga de diseño de gran luz, brevemente descrito Para la demostración de la aplicabilidad de las nomografías desarrolladas, una viga simple profunda sometida a una carga distribuida uniformemente se analizó en la que la flexión.

### **2.1.2. A NIVEL NACIONAL**

(García G. L., 2019), en el presente documento se describió el comportamiento de una viga de gran peralte empleando técnicas modernas frente a las exigencias de la norma peruana de concreto armado, a través del diseño por dos técnicas, la técnica de Strut and Tie y la técnica de la norma peruana E.060, la muestra estudiada, presenta el estudio de una viga simétrica.

(Loayza, 2015), realizo el estudio denominado “Resistencia probable a flexo compresión de muros estructurales de concreto armado” donde propuso expresiones para obtener la resistencia probable a flexo compresión de muros de concreto armado con base en un trabajo estadísticamente calibrado con resultados experimentales, los cuales fueron seleccionados luego de revisar de manera crítica la literatura existente, con el fin de definir una base de datos de ensayos ante cargas laterales cíclicas en muros de concreto armado.

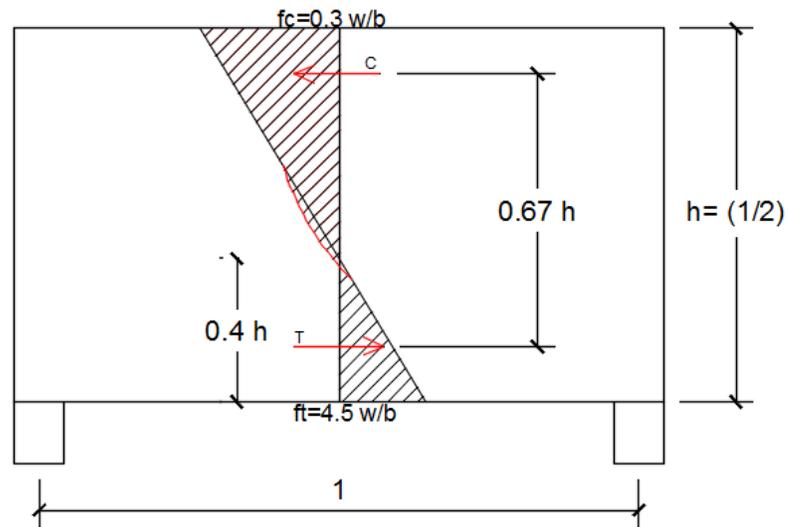
## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.3. VIGAS DE GRAN PERALTE**

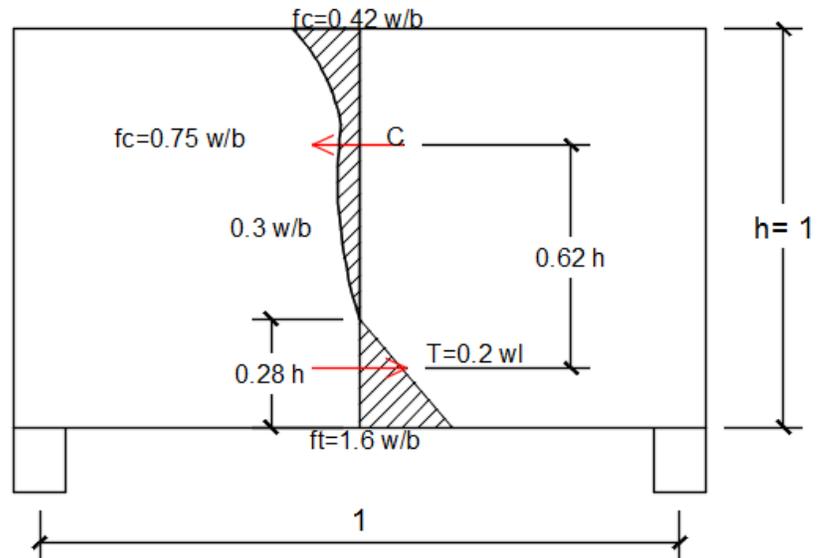
Se denomina a vigas de gran peralte a aquellas estructuras que la relación de luz/profundidad entre vigas simplemente apoyadas sean menor a 2, o en vigas continuas 2.5. La norma E.060 menciona que las disposiciones deben ser aplicadas a elementos con una luz que no exceda cuatro veces la altura total del elemento y que estén cargados en una cara y apoyados en su cara opuesta, de manera tal que puedan desarrollarse puntales de compresión entre las caras y los apoyos. (RNE, 2009).

Para estos casos los principios tradicionales de análisis de deformaciones y tensiones no son válidos para determinar la resistencia de vigas de concreto armado de gran altura, ménsulas, caso de piletas, silos, bunkers, ya que no cumple la teoría de Bernoulli. La norma menciona que estos elementos se deben diseñar considerando la distribución no lineal de deformaciones y optar por el método puntal-tirante.

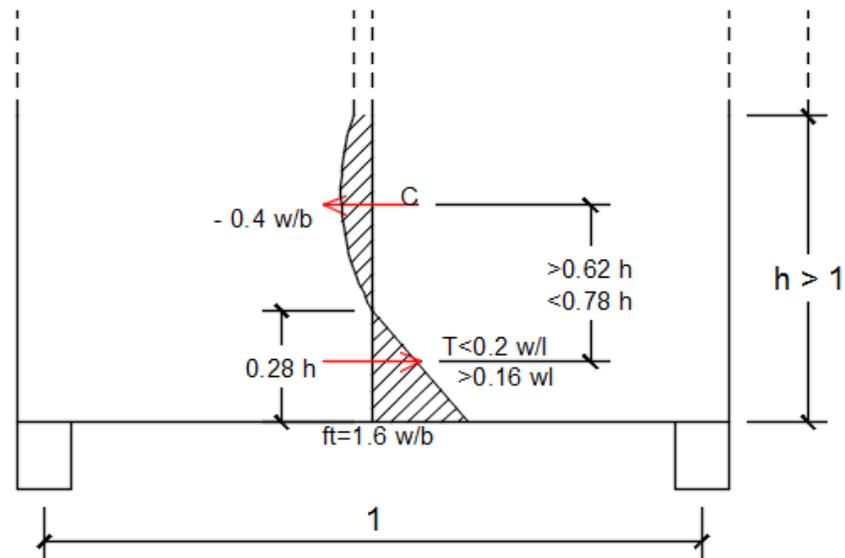
En la siguiente imagen se puede observar claramente el cambio de las deformaciones lineales a no lineales de una viga dependiendo de la relación de luz/profundidad.



**Figura 1:** Diagrama de esfuerzos de una viga con una  $h=1/2$ .



**Figura 2:** Diagrama de esfuerzos de una viga con  $h=1$ .



**Figura 3:** Diagrama de esfuerzos de una viga con  $h > 1$ .

## 2.4. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO SEGÚN LA TÉCNICA PUNTAL-TIRANTE

### 2.4.1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA

El inicio de la técnica puntal-tirante es aproximadamente a principios del año 1900, en los trabajos de Ritter y Morsch, los que plantearon independientemente la analogía de la armadura para el diseño al corte.

Ritter propuso un primer modelo enrejado de barras para representar vigas agrietadas con el fin de explicar el mecanismo de resistencia al corte de vigas con armadura longitudinal y estribos, formulando la primera ecuación para su diseño.

Posteriormente Mörsch, a través de evidencia experimental, reafirma las ideas de Ritter, y plantea el modelo clásico de armadura en  $45^\circ$  para vigas, en el cual se considera la interacción entre puntales de hormigón en compresión y el refuerzo longitudinal y transversal a tracción. (S.R.Chowdhury, 2014).

Esta técnica solo es aplicable en concreto, mas no en estructuras metálicas. Este es el caso del concreto armado, el cual se define a todas las aplicaciones en que el concreto actúa en forma conjunta con el refuerzo de acero para obtener un comportamiento resistente superior al del concreto sin refuerzo.

El concreto es una combinación de material pétreo, cemento y agua; este es de alta resistencia a esfuerzos de compresión, pero con una baja resistencia a la tracción. Sin embargo, al agregándole acero de refuerzo embebidas al concreto permite mejorar la resistencia, ya que las barras de acero toman el esfuerzo de las zonas de tracción, proporcionando ductilidad al elemento estructural. Además, se comporta de manera eficiente ante cargas de impacto, exigencias de clima y fuego.

#### **2.4.2. TÉCNICA PUNTAL – TIRANTE**

La técnica Puntal – Tirante o técnica de Strut & Tie, tiene como principio, el no cumplir la hipótesis de Bernoulli, la cual señala que las secciones que era originalmente planas permanecen planas después de la carga; las zonas que cumplen con estos requisitos se denominan regiones B, por ende las que no lo cumplan se denominan regiones D.

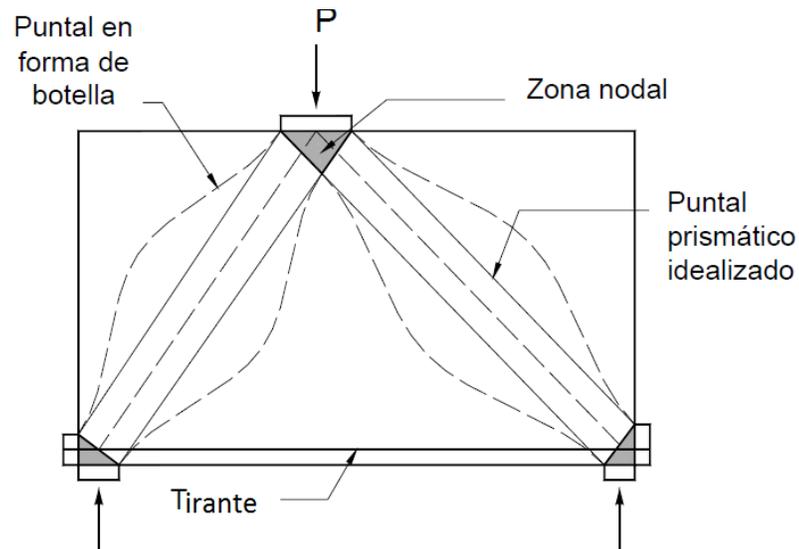
Hoy en día, existen estudios para el diseño de regiones B, que cumplen con la hipótesis Bernoulli, ya antes mencionada, como la teoría tradicional de la norma peruana de concreto armado, la E.060 y el código ACI.

Diseñar estos elementos basado en reglas empíricas y la experiencia del diseñador, no garantiza un diseño apropiado, ya que están desarrolladas para geometrías y cargas muy específicas que no pueden generalizar su uso, como lo hace la norma E.060, que tiene como principio la hipótesis de Bernoulli. La solución para este tipo de casos es utilizar la técnica puntal-tirante, que da una aproximación racional para el diseño de concreto con refuerzo de acero, ya que entrega un resultado más preciso, cumple con las condiciones de equilibrio e idealiza los campos de esfuerzos internos.

La técnica puntal-tirante o strut and tie (STM), consiste en la idealización de esfuerzos internos mediante una armadura, en el cual los campos de esfuerzo de compresión son representados por puntales de concreto (Strut) y los esfuerzos de tracción son representados por tirantes (Tie), los cuales son unidos por conexiones llamadas nodos (Node). (García G. L., 2019).

Su aplicabilidad no sólo comprende estructuras planas, sino que se extiende a estructuras tridimensionales como por ejemplo en cabezales de pilotes, puntos de carga, esquinas de marco, vigas de gran peralte, aberturas de muros, ménsulas y cualquier elemento con alto nivel de asimetría.

A continuación, se puede observar, las partes de la armadura idealizada, basándonos de la técnica puntal tirante, la cual consta de puntales, tirantes y zonas nodales.



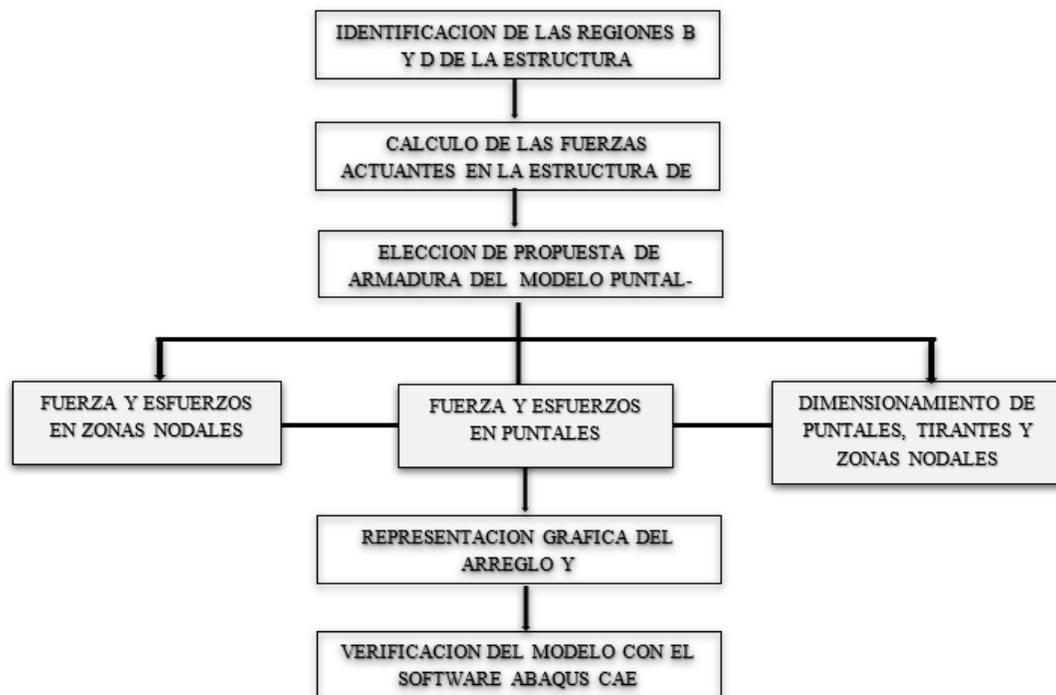
**Figura 4:** Esquema de la técnica puntal –tirante. Fuente: *(America Concrete Institute, 2002)*

#### 2.4.3. PROCEDIMIENTO DE LA TÉCNICA

El procedimiento a seguir para el cálculo de acero de refuerzo de esta técnica consta de los siguientes pasos:

1. Primero, gracias a experiencia y/o conocimientos de otros autores, es recomendable identificar las regiones B y D, de tal modo que sabes en donde centrar tu atención en el armado de la armadura ya que en la región B puede aplicarse tranquilamente el método de diseño convencional.
2. Cálculo de las fuerzas de la estructura de concreto por equilibrio.
3. Proponer la armadura que sugiera un buen trabajo respecto a las regiones antes confirmadas.

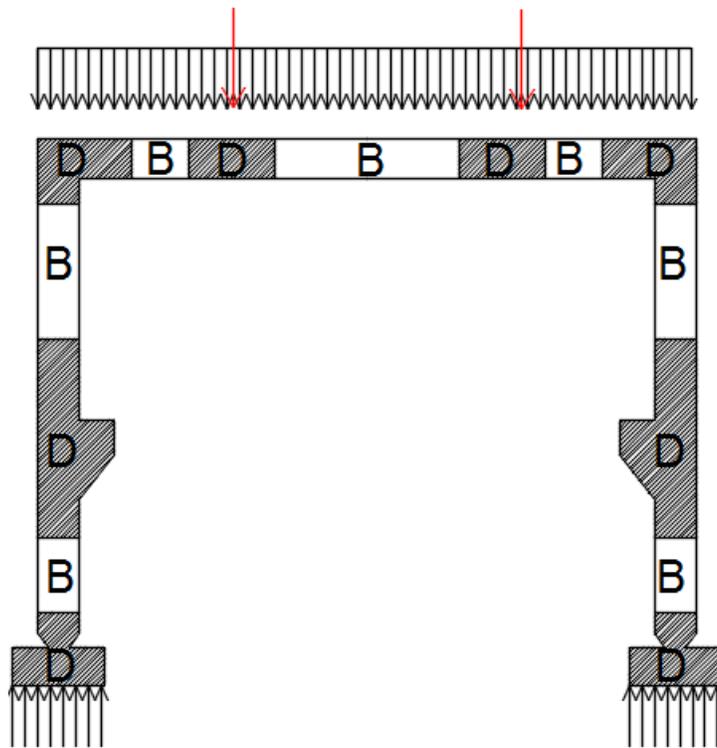
4. Aplicar las cargas últimas según el diseño que se proponga, resolver la armadura y determinar los esfuerzos en las zonas nodales, puntales y tirantes.
5. Dimensionamiento de puntales, tirantes y zonas nodales.
6. Resolver la armadura, calcular todas las fuerzas de tensión y compresión de los elementos y de los nudos.
7. Modelar el acero en función de las fuerzas resultantes de compresión y tensión calculando el área que se necesita para cumplir con la exigencia, del mismo modo verificar la compresión y las fuerzas nodales. (García G. L., 2019).



**Figura 5:** Procedimiento de la Técnica puntal tirante.

### 2.4.3.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS REGIONES “B Y D”

Las estructuras de concreto armado se pueden dividir en regiones B (tipo viga) donde son aplicables las hipótesis de distribución lineal de las deformaciones de Bernoulli, y regiones D (discontinuas, perturbadas), adyacentes a los cambios abruptos de carga correspondientes a cargas concentradas y reacciones, o adyacentes a cambios abruptos de geometría tales como huecos o cambios de sección transversal. En estas secciones perturbadas las distribuciones de deformaciones no son lineales.



**Figura 6:** Identificación de regiones B y D.

## DISCONTINUIDAD GEOMÉTRICA

Esta discontinuidad se presenta en aquellos elementos que poseen un alto nivel de asimetría, en otras palabras, podríamos decir que sería todo elemento que se aleja de la forma de un prisma. En la siguiente imagen se visualiza ejemplos de esta discontinuidad, donde se aprecia claramente de que no se podría aplicar la hipótesis de Bernoulli.

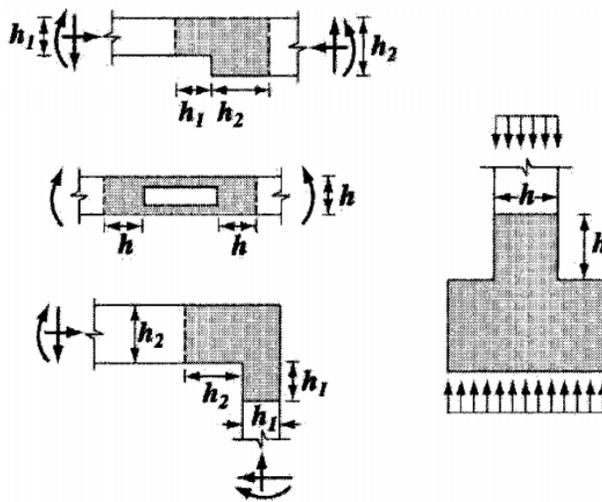
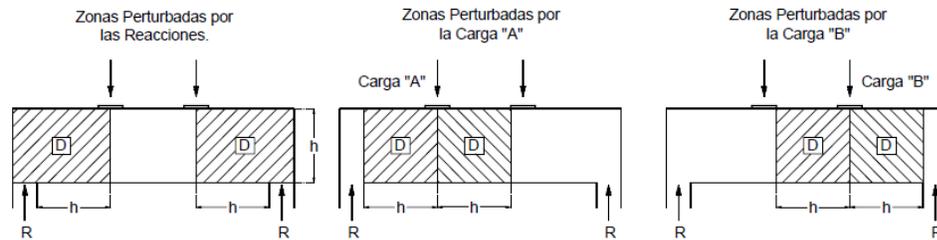


Figura 7: Discontinuidades geométricas. Fuente: (*America Concrete Institute, 2002*).

## DISCONTINUIDAD ESTÁTICA

Esta también se conoce como discontinuidades mecánicas, la discontinuidad estática, se localiza en las cargas puntuales y distribuidas, ya que el flujo de tensiones por la carga, haría que no sea lineal, y se deforme internamente, incumpliendo la hipótesis ya mencionada. En la siguiente imagen vemos ejemplos de elementos isostáticos.

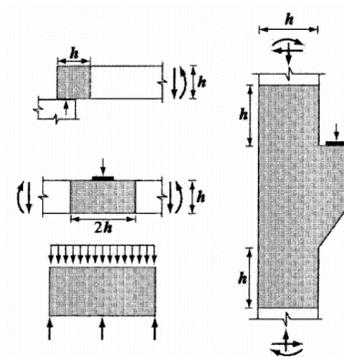


**Figura 8:** Estructura con discontinuidades estáticas. Fuente: (García G. A., 2009)

En la figura anterior representa las zonas perturbadas por las cargas exteriores aplicadas y por las reacciones. Como se observa, al superponer las tres figuras se llega a manifestar, que la viga se encuentra perturbada por lo que la hipótesis de Navier-Bernoulli, no es aplicable en ninguna de las secciones.

### DISCONTINUIDAD GENERALIZADA O COMBINADA

Esta discontinuidad es la mezcla de ambas discontinuidades ya mencionadas, unos ejemplos de estos casos serían zapatas, vigas de gran peralte, entre otras.



**Figura 9:** Discontinuidad combinada. Fuente: (García G. A., 2009).

Una vez que se identifican las causas que generan la aparición de las regiones D (ya sea discontinuidades de carga o geométricas) se propondría la armadura interna para la estructura.

#### **2.4.3.2. CÁLCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES EN LA ESTRUCTURA DE CONCRETO**

Sobre los bordes o fronteras de una región D pueden actuar tres tipos de esfuerzos “externos”.

##### **a. Acciones exteriores**

Es el caso de las cargas concentradas. Una carga concentrada externa se considera una acción exterior.

##### **b. Esfuerzos provenientes de las regiones B adyacentes.**

Son los esfuerzos de corte, momento flector y axial que provienen de la región B colindante y que garantizan el equilibrio de la región D.

##### **c. Reacciones exteriores.**

Esta son las reacciones que se obtiene por un cálculo simple de la estructura, donde se omite la existencia de las regiones.

#### **2.4.3.3. ELECCIÓN DE PROPUESTA DE ARMADURA DEL MODELO PUNTAL - TIRANTE**

##### **A. CONSIDERACIONES**

Para proponer una armadura interna, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones.

1. La propuesta de armadura del elemento estructural, debe estar en equilibrio con las cargas vivas y muertas, estáticamente. (A.2.2 ACI – 318).
2. Las fuerzas resistentes de los elementos del puntal - tirante (Puntales, Tirantes y zonas nodales) deben ser igual o mayor en estos miembros. Si es así, se considera que la estructura es segura.
3. Según el código ACI, para determinar la geometría interna, se considerará las dimensiones de los puntales, tirantes y zonas nodales. (A.2.3 ACI – 318).
4. Los puntales no deben cruzarse, en caso contrario se considerarán sobre esforzados.
5. Los tirantes pueden cruzar con puntales y otros tirantes según el código ACI.
6. El ángulo entre los ejes de cualquier puntal y tirante entrando en un solo nodo no debe de ser menor a  $25^\circ$  según el código ACI.

## **B. TEORÍAS PARA PROPUESTA DE ARMADURA**

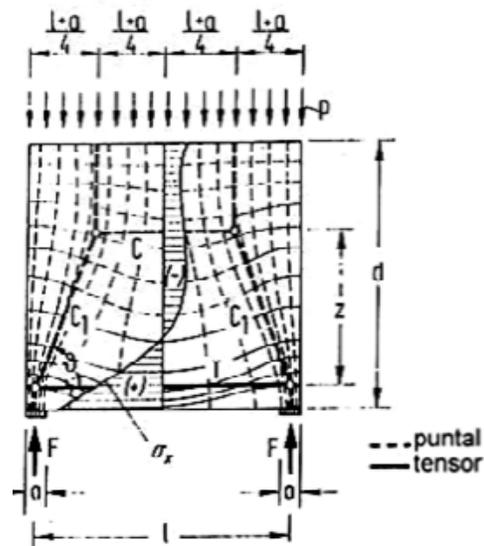
El método más utilizado está basado en la trayectoria de esfuerzos, es analizar numéricamente la región D (discontinua), a medida de que visualmente tengamos una idea de la trayectoria de esfuerzos podremos proponer una armadura interna para la técnica del puntal - tirante, a través de un análisis elástico por LEM. Teniendo este concepto los puntales y

tirantes serían líneas rectas resultantes intersectados por nodos que condensaran los esfuerzos reales del elemento estructural.

En regiones normal o bajamente esforzadas, la dirección de los puntales y tensores en el modelo puede desviarse considerablemente del modelo elástico sin exceder la ductilidad de la estructura. Los tensores y también el refuerzo pueden colocarse según consideraciones prácticas. La estructura se adapta por sí misma al sistema estructural interior supuesto.

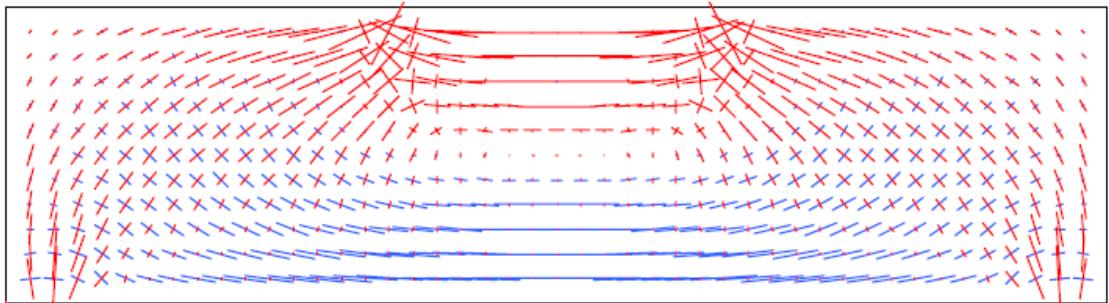
En cada caso, el chequeo debe hacerse usando el modelo finalmente escogido. Desarrollar un modelo es comparable a escoger un sistema estático, ambos procedimientos requieren un poco de experiencia de diseño y son de relevancia similar para la estructura.

La dirección de los tirantes puede tomarse entonces de acuerdo con la dirección principal de esfuerzos y pueden localizarse los puntales y tirantes más importantes en el centro de gravedad de los diagramas de esfuerzo correspondientes. Orientar la geometría del modelo a la distribución de tirantes también es una forma de asegurar, ya que el concreto resiste esfuerzos a compresión más no tanto a tracción.



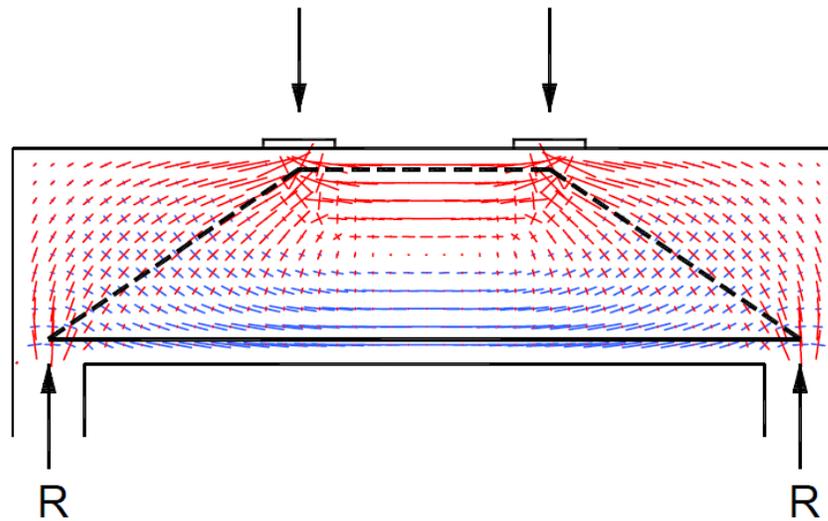
**Figura 10:** Distribución de esfuerzos. Fuente: (*America Concrete Institute, 2002*).

Para la elección del modelo del puntal – tirante se debe proyectar un análisis lineal mediante el método de elementos finitos.



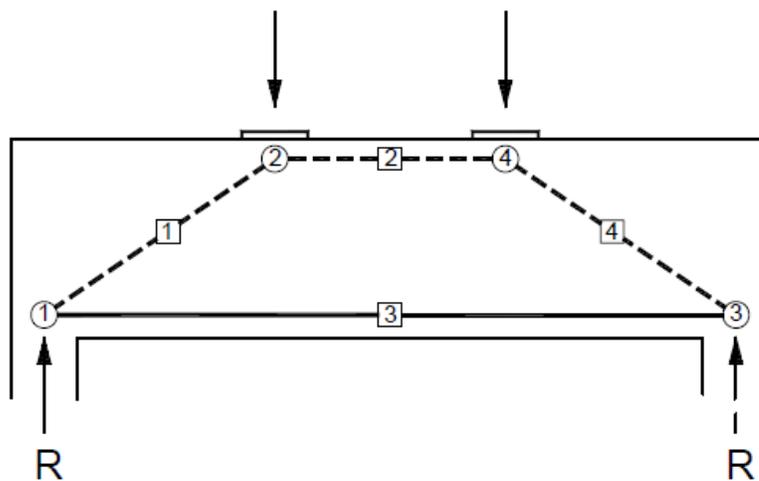
**Figura 11:** Trayectoria de esfuerzos de una viga de peralte normal. Fuente: (*García G. A., 2009*).

Se grafican con estos resultados de los esfuerzos principales en los nudos y así se obtiene una propuesta de armadura en base de la trayectoria de esfuerzos.



**Figura 12:** Propuesta de armadura según la dirección de esfuerzos. Fuente: (García G. A., 2009).

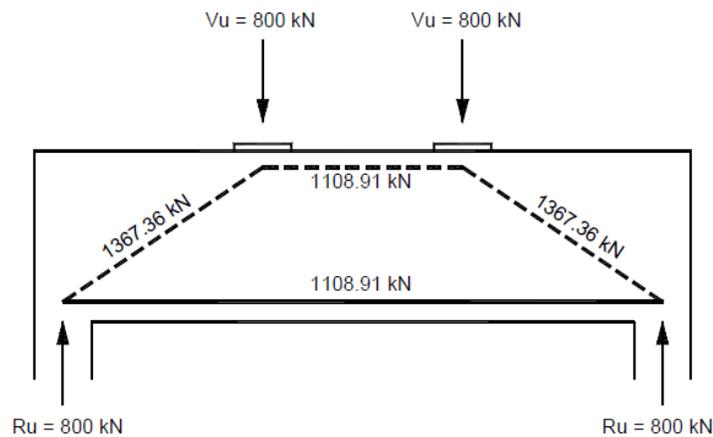
Posteriormente se procede a enumerar los nodos y las barras que se utilizarán en la resolución según la técnica puntal - tirante.



**Figura 13:** Ubicación de nodos, puntales y tirantes. Fuente: (García G. A., 2009).

#### 2.4.3.4. ESFUERZOS EN ZONAS NODALES, PUNTALES Y TIRANTES

Para el cálculo de las fuerzas tanto en las zonas nodales, puntales y tirantes, se requiere de aplicar estática, hay diferentes formas de resolver una armadura, como es, el método de corte, método de los nodos, etc., cualquiera es válida.



**Figura 14:** Cálculo de esfuerzos de puntales, tirantes y reacciones.

#### 2.4.3.5. DIMENSIONAMIENTO DE PUNTALES, TIRANTES Y ZONAS NODALES

El diseño de puntales, Tirantes y Zonas nodales se basará en:

$$\phi F_n \geq F_u$$

Donde:

$F_u$  = Fuerza que actúa en el elemento

$F_n$  = Resistencia nominal

$\Phi$  = 0.75

Fuerza de los puntales:

$$F_{ns} = f_{ce} A_{cs}$$

Donde:

$A_{cs}$  = área de sección transversal en un extremo del tirante

$F_{ce}$  = es el menor de (a) y (b)

- La resistencia a la compresión efectiva del concreto en el puntal
- La resistencia a la compresión efectiva del concreto en la zona nodal

Para el caso A:

La resistencia a la compresión efectiva del concreto,  $F_{ce}$ , en un puntal se tomará como

$$F_{ce} = 0.85 \beta_s f'_c \quad (2.17)$$

Donde:

$f'_c$  = Resistencia a la compresión específica del concreto.

**Tabla 1:** Factor de resistencia.

Factor de resistencia a $F_{ce}$	$\beta_s$	
Puntal de área de sección transversal uniforme en toda su longitud.	1.0	
Puntal de tal modo que la sección media de la biela es mayor que la anchura en los nodos.	Con refuerzo transversal	0.75
	Sin refuerzo transversal	0.60
Puntal en miembros de tensión.	0.40	
En todos los demás casos.	0.60	

Para el caso B:

A menos que se proporciona con refuerzo dentro de la zona nodal y su efecto es apoyado por las pruebas y análisis, el esfuerzo de compresión efectiva calculada,  $F_{ce}$ , en una cara de una zona nodal debido al puntal y corbata fuerzas no deberán exceder el valor dado por:

$$F_{ce} = 0.85 \beta_n f'_c$$

**Tabla 2:** Valores de Factor de resistencia  $F_{ce}$ .

Factor de resistencia a $F_{ce}$	$\beta_n$
En zonas nodales delimitadas por puntales o áreas que llevan, o ambos.	1.0
En las zonas nodales anclaje un empate.	0.80
En zonas nodales de anclaje de dos o más lazos.	0.60

Fuerza del tirante

La resistencia nominal del tirante,  $F_{nt}$  se tomará como:

$$F_{nt} = A_{ts} \cdot f'_y + A_{tp} (f_{se} + \Delta F_p)$$

Donde:

$A_{ts}$  = Área total de refuerzo de acero no preesforzado.

$A_{tp}$  = Área total de refuerzo de acero de pretensado.

$f'_y$  = Límite elástico de refuerzo.

$f_{se}$  = Tensión efectiva en el pretensado de acero.

$\Delta F_p$  = Aumento de la tensión en el acero pretensado debido a las cargas factorizadas.

Si la carga de pretensado se considera, se aplica externamente en el análisis, Fse se desprecia como una contribución a la fuerza, en base a la ecuación (1.5) se puede expresar como:

$$F_{nt} = A_{ts} f_y + A_{tp} \Delta f_p$$

Donde

$$A_{tp} = 0 \text{ (para los miembros preesforzados).}$$

$$(f_{se} + \Delta f_p) \leq f_{py}$$

Donde:

$$f_{py} = \text{Límite elástico de acero de pretensado.}$$

Resistencia de las zonas nodales:

La fuerza de compresión nominal de una zona nodal, en la cual  $F_{nn}$ , será:

$$F_{nn} = f_{ce} A_{nz}$$

Donde:

$F_{ce}$  = Resistencia a la compresión efectiva del hormigón en la zona nodal, que se obtiene de la ecuación

$A_{nz}$  = Es el menor de (A) y (B)

(A) El área de la cara de la zona nodal en la que  $F_u$  actúa, tomadas perpendiculares a la línea de acción de  $F_u$

(B) El área de una sección a través de la zona nodal, tomada perpendicular a la línea de la acción de la fuerza resultante sobre la sección.

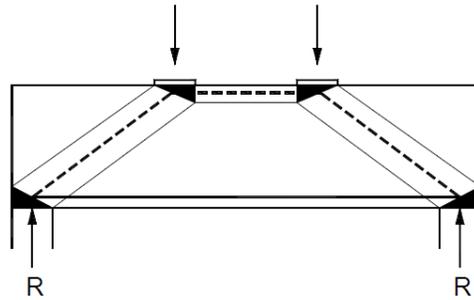


Figura 15: Dimensionamiento de los elementos. Fuente: (García G. A., 2009).

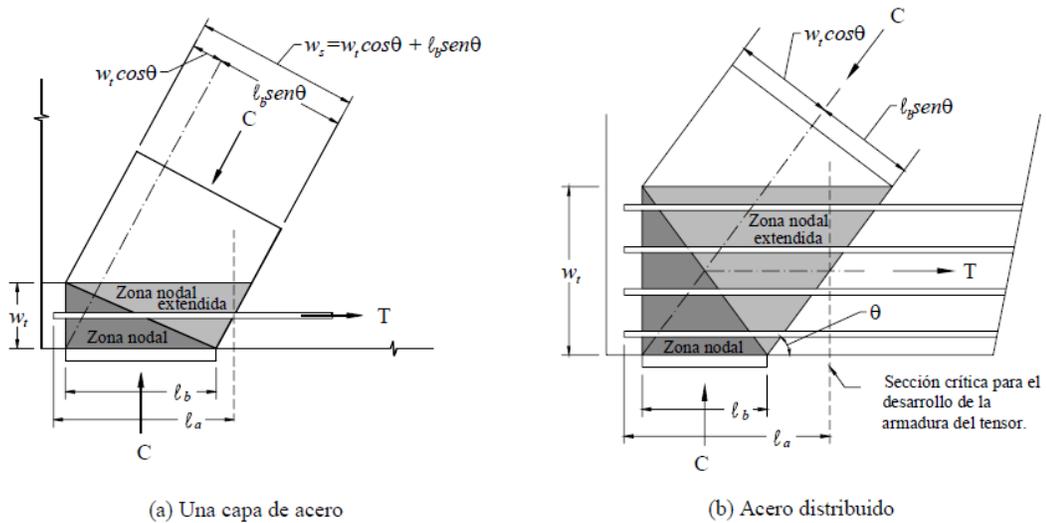


Figura 16: Zona nodal extendida que muestra los efectos de la distribución de la fuerza. Fuente: (America Concrete Institute, 2002).

**Relaciones entre las dimensiones de una zona nodal extendida.** Pueden derivarse las ecuaciones relacionando las anchuras de los puntales, tensores, y áreas de apoyo si es supuesto que las tensiones son iguales en todos los tres miembros que se encuentran en una zona nodal CCT. (American Concrete Institute, 2002).

$$w_s = lb \sin \phi + wt \cos \phi$$

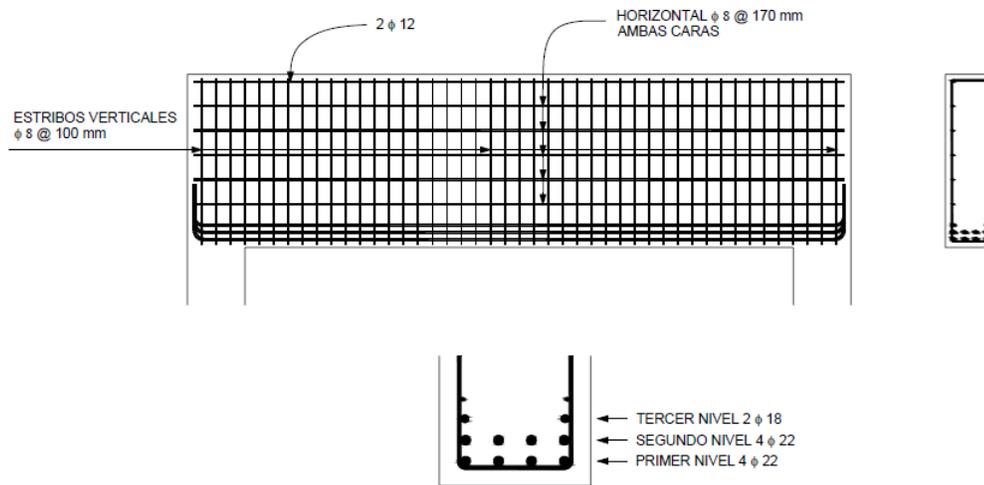
Donde  $w_s$  es la anchura del puntal,  $w_t$  es la anchura efectiva del tirante,  $l_b$  es la longitud de la placa de apoyo, y  $\theta$  es el ángulo entre el eje del puntal y el eje horizontal del miembro. Esta relación es útil para ajustar el tamaño de zonas nodales en un modelo del puntal-tensor. La anchura del puntal puede ajustarse cambiando  $w_t$  o  $l_b$ , uno a la vez. Una vez que esto se ha hecho, es necesario inspeccionar las tensiones todas las caras de la zona nodal. La exactitud de esta ecuación disminuye mientras las tensiones en las caras se hacen más y más desiguales. Esta fue incluida en figura CA.1.6 del comentario Apéndice A del Código ACI, pero no en el propio código. Los comités del código futuros deben considerar la adición de tales ecuaciones al Comentario del Apéndice A del Código ACI. (American Concrete Institute, 2002).

#### **2.4.3.6. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ARREGLO Y DISPOSICIÓN DE LAS ARMADURAS**

La disposición de las armaduras es directamente proporcional a la fuerza que calculamos en el tirante y puntales e indirectamente proporcional al esfuerzo de fluencia.

$$A_s = \frac{F}{0.75 * f_y}$$

El área de refuerzo de acero será, longitudinal y transversal, cumpliendo la cuantía según el código ACI para el refuerzo longitudinal y transversal es 0.003.



**Figura 17:** Armado del refuerzo de acero calculado según el diseño de la técnica puntal-tirante.  
Fuente: (García G. A., 2009).

#### 2.4.3.7. VERIFICACIÓN DEL MODELO CON EL SOFTWARE ABAQUS CAE

A través de este software de elementos finitos, se podrá corroborar el desempeño de la técnica puntal – tirante, donde se verá los desplazamientos, el porcentaje de parámetro de daño tanto en compresión como en tracción, el porcentaje de aplastamiento y las fisuras.

## 2.5. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Refuerzos: El acero de refuerzo, es un importante material para la industria de la construcción utilizado para el refuerzo de estructura por su importancia en las edificaciones, debe estar comprobada y estudiada su calidad. (Wikipedia, 2018).

Deformación: La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo. (Wikipedia, 2018).

Criterios de Falla: Se conocen como teorías de fallo (o falla) a los criterios usados para determinar los esfuerzos estáticos permisibles en la estructuras. (Wikipedia, 2018).

Esfuerzos de Von Mises: La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. (Wikipedia, 2017).

Parámetros de daño: Los parámetros de daño son funciones que relacionan variables físicamente significativas, como el esfuerzo o la tensión, con el daño por fatiga.

Falla Frágil: Esta falla tiene lugar sin una apreciable deformación, debido a una rápida propagación de una grieta.

Falla Dúctil: Esta fractura ocurre bajo una intensa deformación plástica, comienza con la formación de un cuello y la formación.

### **3. CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. HIPÓTESIS**

##### **3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- La técnica del puntal tirante es eficiente para la determinación de parámetros de diseño en elementos asimétricos de concreto armado.

##### **3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La técnica de puntal tirante representa de manera adecuada las propiedades de las armaduras de acero de refuerzo.
- Las regiones B que cumplen el teorema de Navier y las regiones D que no cumplen este teorema, modelan adecuadamente la concentración de esfuerzos.
- La técnica puntal tirante es la técnica más adecuada para diseño de vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría donde el aplastamiento ocurrirá en las zonas donde se estén aplicando las cargas, y las fisuras en la zona donde se presente la asimetría.
- El software de elementos finitos Abaqus Cae demuestra que la técnica puntal tirante tiene un buen comportamiento.

## **3.2. VARIABLES**

### **3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE**

La variable Independiente serán las Vigas de gran Peralte con alto nivel de asimetría de concreto armado.

#### **3.2.1.1. INDICADORES**

- Largo, ancho y espesor.
- $F'_c$  y  $f'_y$ .

#### **3.2.1.2. DIMENSIONES**

- Geometría del elemento estructural.
- Resistencia de compresión del concreto y esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

#### **3.2.1.3. PROCEDIMIENTOS**

- Aplicación de la norma peruana para la determinación de la geometría basada en las cargas actuantes.

#### **3.2.1.4. ESCALA DE MEDICIÓN**

- La escala es cuantitativa, se medirá a través de los resultados del Software Abaqus Cae, con el modelo constitutivo del concreto y acero.

## **3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE**

### **3.2.2.1. INDICADORES**

- Área de Refuerzo de acero.
- Compresión y tracción.
- Fisuras y aplastamiento.

### **3.2.2.2. DIMENSIONES**

- Propuesta de armadura.
- Distribución de esfuerzos.
- Porcentaje de parámetros de daño.

### **3.2.2.3. PROCEDIMIENTOS**

- Reconocimiento de las regiones B y D.
- Propuesta de armadura.
- Aplicación de cargas de servicio.
- Cálculo de fuerzas en nodos, puntales y tirantes.
- Cálculo de acero de refuerzo.

### **3.2.2.4. ESCALA DE MEDICIÓN**

- La escala es cuantitativa, se medirá a través de los resultados del Software Abaqus Cae, con el porcentaje de parámetro de daños, porcentaje de fisuras, aplastamiento y resistencia a la compresión.

### 3.3. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio que se evaluara en este trabajo de investigación es descriptiva - explicativa.

### 3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación al que se llegará según Hurtado (2006) es comprensivo. Debido a que el análisis y diseño de vigas de gran peralte, es un campo poco estudiado en la región de Tacna, cuyos objetivos son analizar y comparar corresponde a un nivel de investigación prehensivo.

### 3.5. ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

**Tabla 3:** Tiempo de investigación.

CAPÍTULO	TIEMPO DE EMPLEO
El Problema	<b>1 mes</b>
Marco Teórico	<b>1 mes</b>
Marco Metodológico	<b>1 mes</b>
Conclusiones y Recomendaciones	<b>1 mes</b>

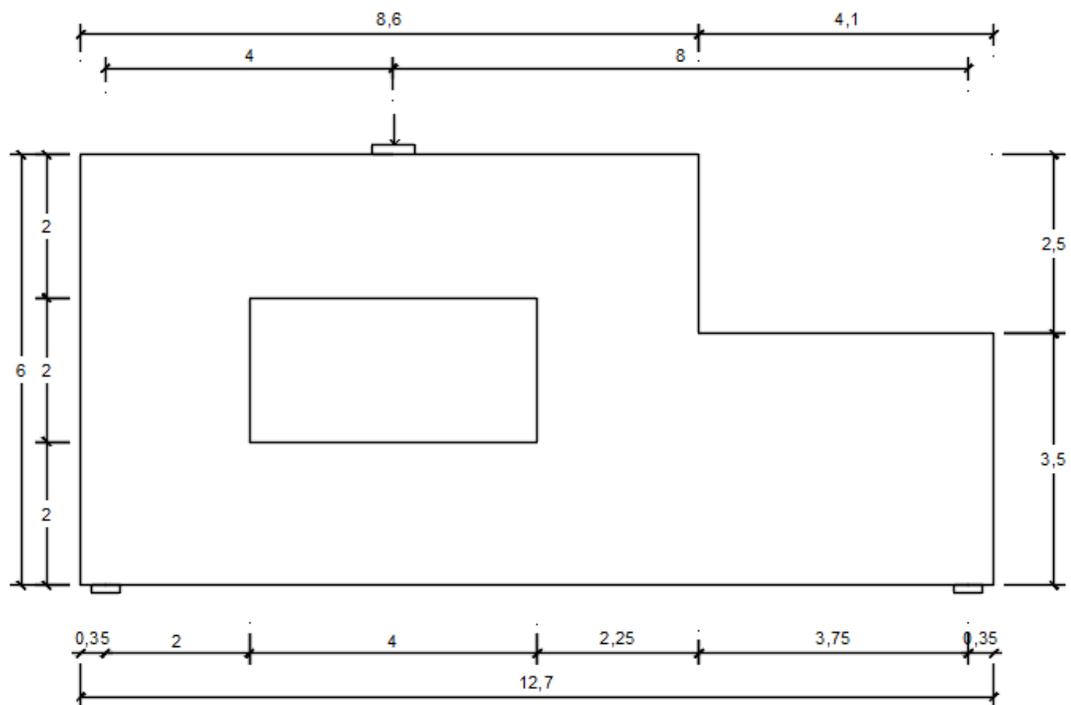
### 3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.6.1. POBLACIÓN

Las vigas asimétricas de gran peralte.

### 3.6.2. MUESTRA

La viga asimétrica de gran peralte a estudiar se muestra en la siguiente imagen, las medidas mostradas son en metros.

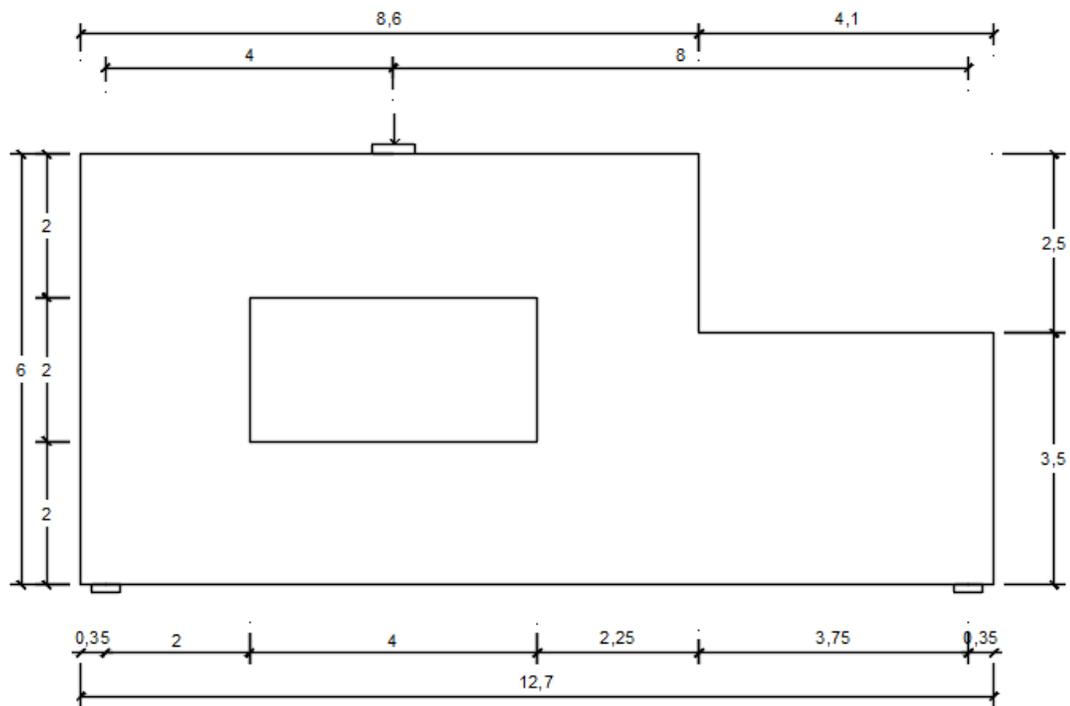


**Figura 18:** Muestra estudiada en la presente investigación.

## 3.7. PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

### 3.7.1. PROCEDIMIENTO

A continuación, se muestra el procedimiento de la técnica puntal tirante de la muestra estudiada.



**Figura 19:** Muestra estudiada en la presente investigación.

Propiedades de los materiales:

**Tabla 4:** Propiedades de los materiales. Fuente: *Elaboración propia*.

MATERIALES		
<b>Concreto</b>	300	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Acero</b>	4200	kg/cm <sup>2</sup>

Dimensiones de las placas de apoyo:

**Tabla 5:** Dimensiones de las placas de apoyo.

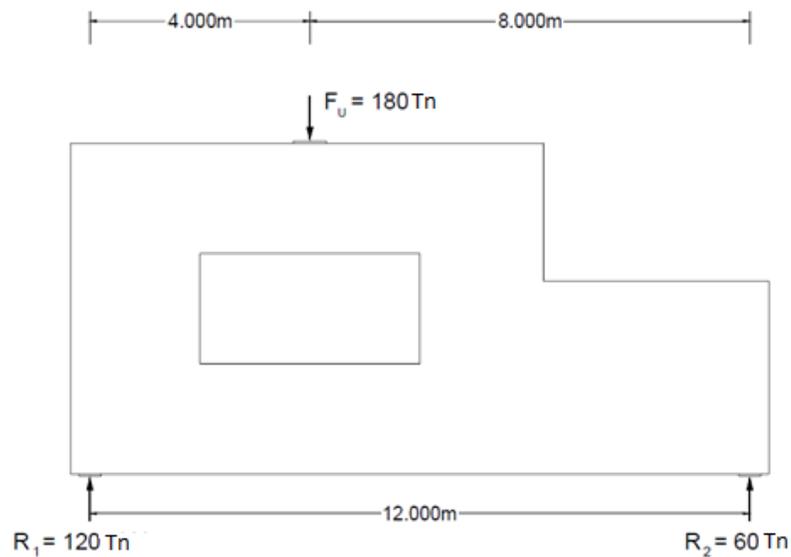
DIMENSIONES		
Placas	Base	Ancho
De apoyo	0.4	0.35
De carga	0.6	0.35
Viga	-	0.35

a. Identificación de Regiones

Toda la estructura corresponde a una región discontinua, ya que presenta asimetría en geometría y en cargas que es notable a simple vista.

b. Cálculo de las fuerzas Actuantes en las zonas discontinuas

Las fuerzas actuantes en este caso son las reacciones de los apoyos, la reacción 1 y 2 como muestra la siguiente imagen. Se calcularán por condiciones de equilibrio.



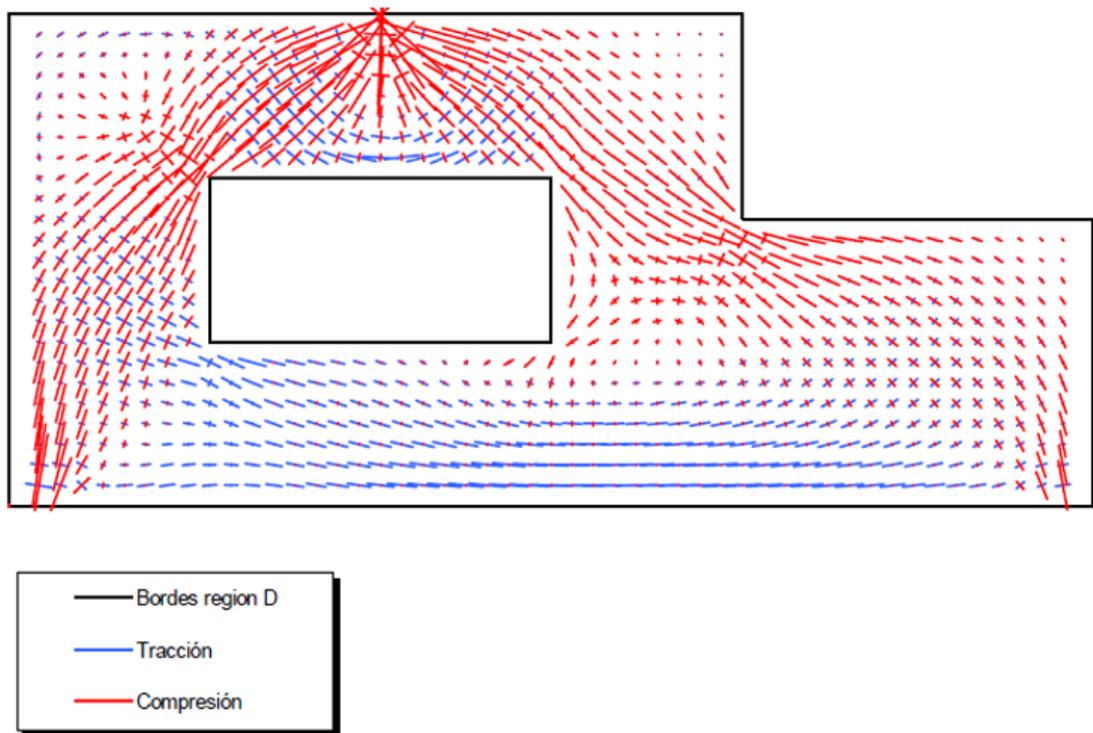
**Figura 20:** Determinación de las fuerzas actuantes en las zonas.

$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ 4(180) &= 12(R_2) \\ 60 &= R_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_Y &= 0 \\ 180 &= R_1 + R_2 \\ 180 &= R_1 + 60 \\ 120 &= R_1 \end{aligned}$$

c. Elección de la armadura

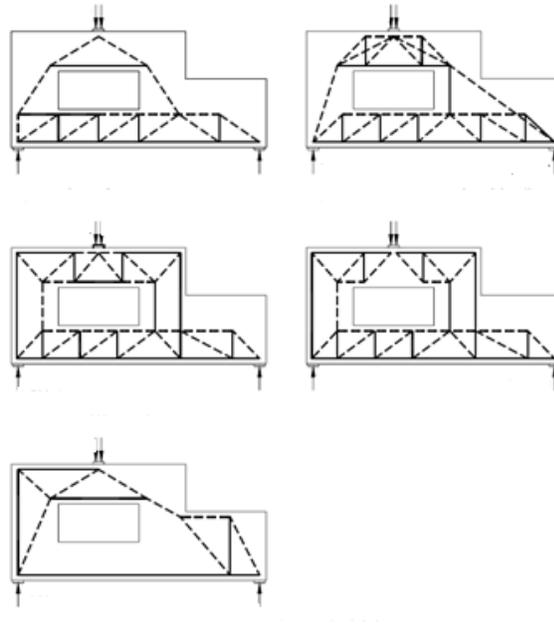
En el presente caso para la propuesta de la armadura se tendrá en cuenta el análisis lineal de trayectorias de esfuerzos para a partir de este podremos plantear una buena propuesta de armadura.



**Figura 21:** Trayectoria de esfuerzos de viga de gran peralte con alto nivel de asimetría.

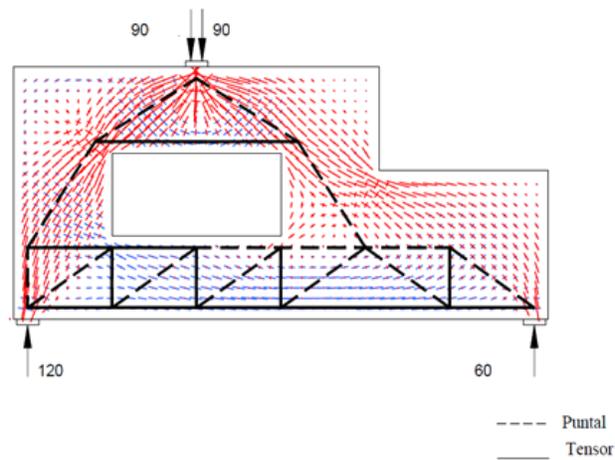
Al desarrollar el análisis lineal de trayectorias de esfuerzos, se puede observar el camino de cargas. De esta manera podríamos deducir muchas propuestas, como se muestra en la siguiente figura, pero lo que determinara la elección de una de ellas, será la menor complejidad de la propuesta, y la que más se parezca a la

trayectoria de esfuerzos. Además de que el ángulo entre puntal y tirante no tiene que ser menor de  $25^\circ$  y mayor a  $40^\circ$ .



**Figura 22:** Propuestas de armadura para una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría.

En la figura, la que finalmente es la escogida para el desarrollo de este ejemplo, soluciona el problema de la viga inferior con la incorporación de tensores en la porción superior de esta.



**Figura 23:** Elección de mejor propuesta.

d. Geometría general

Una vez elegido la propuesta de armadura, se procede a hallar cada una de las fuerzas actuantes en esta, considerando las mismas condiciones que se tiene para una armadura normal. Para ello se optó por ponerles un nombre a cada barra de esta armadura.

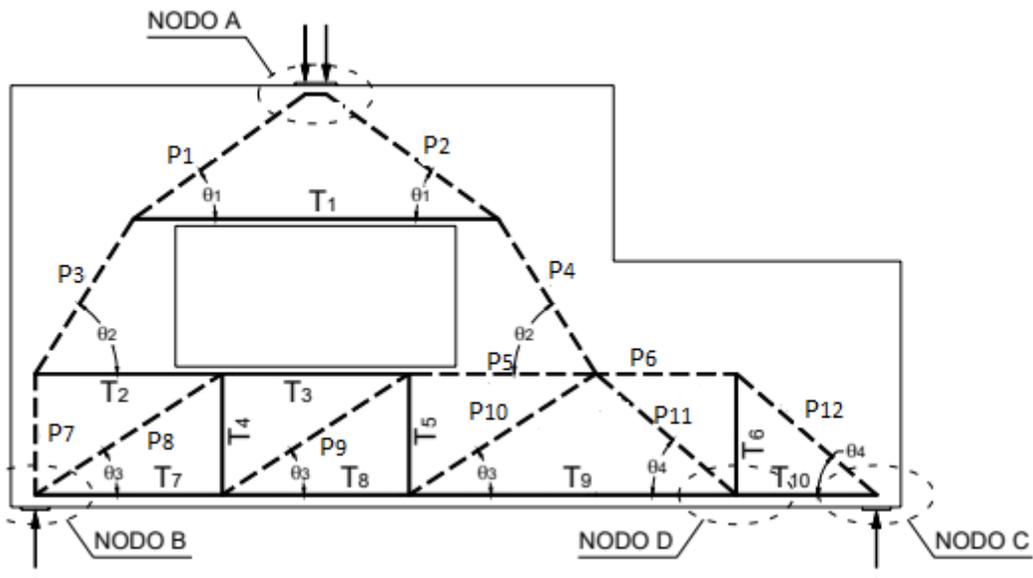


Figura 24: Geometría general de la propuesta de armadura.

e. Esfuerzo en puntales y tirantes

Para ello primero se determina los ángulos.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{1.775}{2.6 - 0.15}\right) = 35.923^\circ$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{2.20}{1.40}\right) = 57.529^\circ$$

$$\theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{1.725}{2.667}\right) = 32.895^\circ$$

$$\theta_4 = \tan^{-1}\left(\frac{1.725}{2.00}\right) = 40.778^\circ$$

Se procedió a realizar el equilibrio en cada nodo, uno por uno, teniendo un criterio propio para poder calcular todas las fuerzas.

Nodo 1.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ C_1 \cos \theta_1 &= P_0 \\ 124.2251 &= P\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ 90 + P_1 \operatorname{sen} \theta_1 &= P_0 \\ 153.4010 &= P_1 = P_2\end{aligned}$$

Nodo 2.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ P_1 \cos \theta_1 &= T_1 + P_3 \cos \theta_2 \\ 66.952 &= T_1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ P_1 \operatorname{sen} \theta_1 &= P_3 \operatorname{sen} \theta_2 \\ 106.678 &= P_3 = P_4\end{aligned}$$

Nodo 3.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ P_{12} \cos \theta_4 &= T_{10} \\ 69.564 &= T_{10}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ P_{12} \operatorname{sen} \theta_4 &= 600 \\ 91.865 &= P_{12}\end{aligned}$$

Nodo 4.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ P_{12} \cos \theta_4 &= P_6 \\ 69.564 &= P_6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ P_{12} \operatorname{sen} \theta_4 &= T_6 \\ 60 &= T_6\end{aligned}$$

Nodo 5.

$$\sum F_x = 0$$

$$T_9 = T_{10} + P_{11} \cos \theta 4$$

$$139.129 = T_9$$

$$\sum F_y = 0$$

$$P_{11} \operatorname{sen} \theta 4 = T_6$$

$$\frac{60}{\operatorname{sen} \theta 4} = P_{11}$$

$$91.865 = P_{11}$$

Nodo 6.

$$\sum F_x = 0$$

$$P_4 \cos \theta 2 + P_{10} \cos \theta 3 + P_5 = P_6 + P_{11} \cos \theta 4$$

$$35.475 = P_5$$

$$\sum F_y = 0$$

$$P_4 \operatorname{sen} \theta 2 = P_{11} \operatorname{sen} \theta 4 + P_{10} \operatorname{sen} \theta 3$$

$$55.238 = P_{10}$$

Nodo 7.

$$\sum F_x = 0$$

$$T_8 + P_{10} \cos \theta 3 = T_9$$

$$T_8 = T_9 - P_{10} \cos \theta 3$$

$$T_8 = 92.748$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T_5 = P_{10} \operatorname{sen} \theta 3$$

$$T_5 = 30$$

Nodo 8.

$$\sum F_x = 0$$

$$P_9 \operatorname{sen} \theta 3 = T_5$$

$$55.238 = P_9$$

$$\sum F_y = 0$$

$$T_3 + P_5 = P_9 \cos \theta 3$$

$$T_3 = 10.906$$

Nodo 9.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ P_9 \operatorname{sen} \theta_3 &= T_4 \\ 30 &= T_4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ T_7 + P_9 \cos \theta_3 &= T_8 \\ T_7 &= 46.366\end{aligned}$$

Nodo 10.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ P_9 \operatorname{sen} \theta_3 &= T_5 \\ 30 &= T_5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ T_3 + P_5 &= P_9 \cos \theta_3 \\ T_3 &= 10.906\end{aligned}$$

Nodo 11.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ T_2 &= T_3 + P_8 \cos \theta_3 \\ 57.288 &= T_2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ T_4 &= P_8 \operatorname{sen} \theta_3 \\ C_8 &= 55.238\end{aligned}$$

Nodo 12.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ T_7 &= P_8 \cos \theta_3 \\ 46.382 &= T_7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ P_7 &= P_8 \operatorname{sen} \theta_3 + 1200 \\ P_7 &= 90\end{aligned}$$

Los resultados se mostrarán en los siguientes cuadros.

**Tabla 6:** Ángulos según la técnica propuesta de Puntal-tirante.

<b>ANGULOS</b>		
$\varphi 1$	35.923	°
$\varphi 2$	57.529	°
$\varphi 3$	32.898	°
$\varphi 4$	40.778	°

**Tabla 7:** Fuerzas calculadas.

<b>FUERZAS</b>		
<b><i>Fu</i></b>	180	Tn
<b><i>F1</i></b>	90	Tn
<b><i>F2</i></b>	90	Tn
<b><i>R1</i></b>	120	Tn
<b><i>R2</i></b>	60	Tn

<b>PUNTALES</b>		
<b>P0</b>	124.225	Tn
<b>P1</b>	153.401	Tn
<b>P2</b>	153.401	Tn
<b>P3</b>	106.678	Tn
<b>P4</b>	106.678	Tn
<b>P5</b>	35.481	Tn
<b>P6</b>	69.565	Tn
<b>P7</b>	900	Tn
<b>P8</b>	55.234	Tn
<b>P9</b>	55.234	Tn
<b>P10</b>	55.234	Tn
<b>P11</b>	91.866	Tn
<b>P12</b>	91.866	Tn
<b>P7- 8</b>	128.65	Tn

<b>TIRANTES</b>		
<b>T1</b>	66.953	Tn
<b>T2</b>	57.273	Tn
<b>T3</b>	10.896	Tn

<b>T4</b>	30	Tn
<b>T5</b>	30	Tn
<b>T6</b>	60	Tn
<b>T7</b>	46.377	Tn
<b>T8</b>	92.754	Tn
<b>T9</b>	139.13	Tn
<b>T10</b>	69.565	Tn

f. Dimensionamiento de Puntales, Tirantes y zonas nodales

i. Verificación de apoyos

#### Placa de Carga Nodo A

El área de la placa es  $A_c = 60\text{cm} * 35\text{cm} = 2100\text{ cm}^2$

El esfuerzo portante en el punto de carga es:

$$\frac{V_n}{A_c} = \frac{180\text{ Tn}}{2100\text{ cm}^2} = 85.7\text{kg/cm}^2$$

Las placas de los apoyos tienen un comportamiento de CCC (compresión- compresión- compresión), entonces la resistencia efectiva a compresión es:

$$f_{cu} = 0.85 * \beta_n * f'c = 0.85 * 1.00 * 300 = 255\text{ kg/cm}^2$$

Una vez calculado el esfuerzo portante y la resistencia efectiva, tienen que cumplir la siguiente condición:

$$\emptyset * f_{cu} = 0.75 * 255 = 191.25\text{ kg/cm}^2$$

$$\emptyset * f_{cu} > \text{esfuerzo cortante}$$

$$191.25 \text{ kg/cm}^2 > 85.7 \text{ kg/cm}^2$$

**¡OK! La condición cumple.**

Con esta condición se puede afirmar que la placa en el nodo A, soporta la carga solicitada.

### **Placa de Apoyo Nodos B y C**

El área de la placa es  $A_c = 40 \text{ cm} * 35 \text{ cm} = 1400 \text{ cm}^2$

El esfuerzo portante en el punto de carga es:

$$\frac{V_n}{A_c} = \frac{120 \text{ Tn}}{1400 \text{ cm}^2} = 85.7 \text{ kg/cm}^2$$

Las placas de los apoyos tienen un comportamiento de CCT (compresión- compresión- tracción), entonces la resistencia efectiva a compresión es:

$$f_{cu} = 0.85 * \beta_n * f'c = 0.85 * 0.80 * 300 = 204 \text{ kg/cm}^2$$

Una vez calculado el esfuerzo portante y la resistencia efectiva, tienen que cumplir la siguiente condición:

$$\emptyset * f_{cu} = 0.75 * 204 = 153 \text{ kg/cm}^2$$

$$\emptyset * f_{cu} > \text{esfuerzo cortante}$$

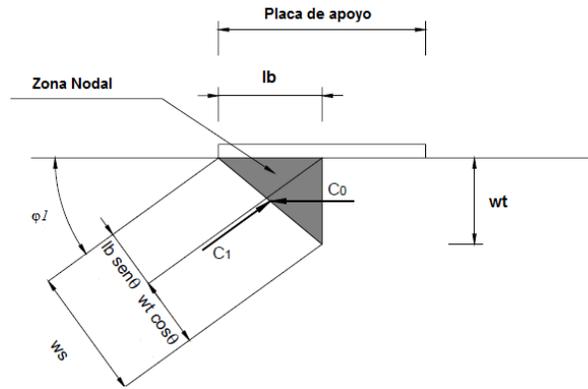
$$153 \text{ kg/cm}^2 > 85.7 \text{ kg/cm}^2$$

**¡OK! La condición cumple.**

Con esta condición se puede afirmar que la placa en el nodo B y C, soporta la carga solicitada.

## ii. Verificación de zona nodales

La zona nodal A1.



**Figura 25:** Zona nodal A1.

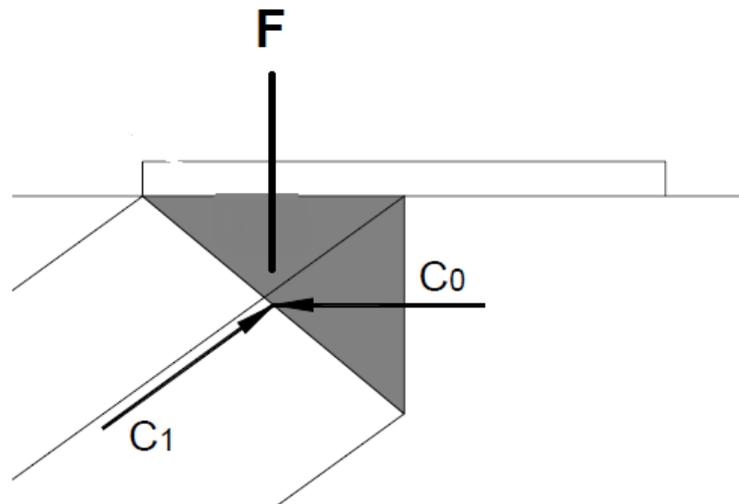
Para poder calcular los anchos de cada fuerza aplicada en ese nodo, se procede a ver la **tabla 6**, que son los ángulos calculados de toda la propuesta de armadura. Donde  $lb$ , es la mitad del ancho de la placa, 0.30m,  $wt$  es el ancho efectivo del tirante, y  $w_s$  es el ancho efectivo del puntal. Recordar que esta zona nodal tiene un comportamiento CCC.

$$w_s = lb \sin \phi + wt \cos \phi$$

$$w_s = 0.3 \sin 35.92 + 0.25 \cos 35.92$$

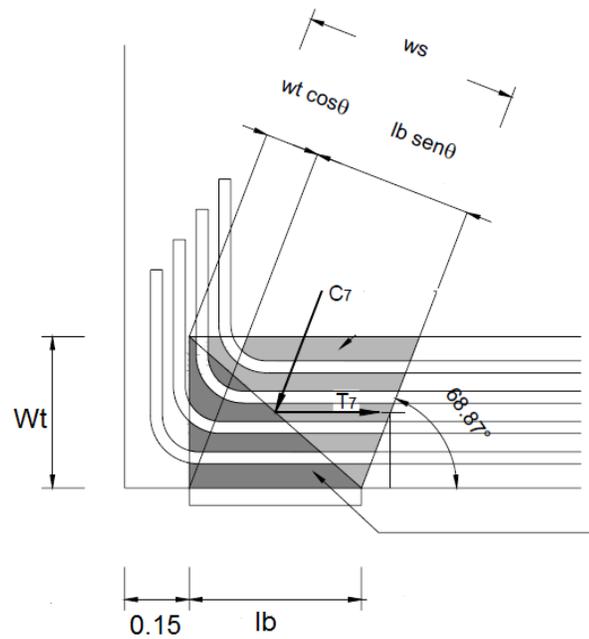
$$w_s = 0.378m$$

Entonces con esto se concluye que el ancho de la fuerza  $C_1$ , es 0.378 m, el ancho de  $C_0$  es 0.25m y el ancho de la carga es 0.30m.



**Figura 26:** Zona nodal A1.

De la misma forma se hace para la zona nodal B. Para poder calcular los anchos de cada fuerza aplicada en ese nodo, se procede a ver la **tabla 6**, que son los ángulos calculados de toda la propuesta de armadura. Donde  $l_b$ , es la mitad del ancho de la placa, 0.40m,  $w_t$  es el ancho efectivo del tirante, 0.35m, y  $w_s$  es el ancho efectivo del puntal. Recordar que esta zona nodal tiene un comportamiento CCT.



**Figura 27:** Zona nodal B.

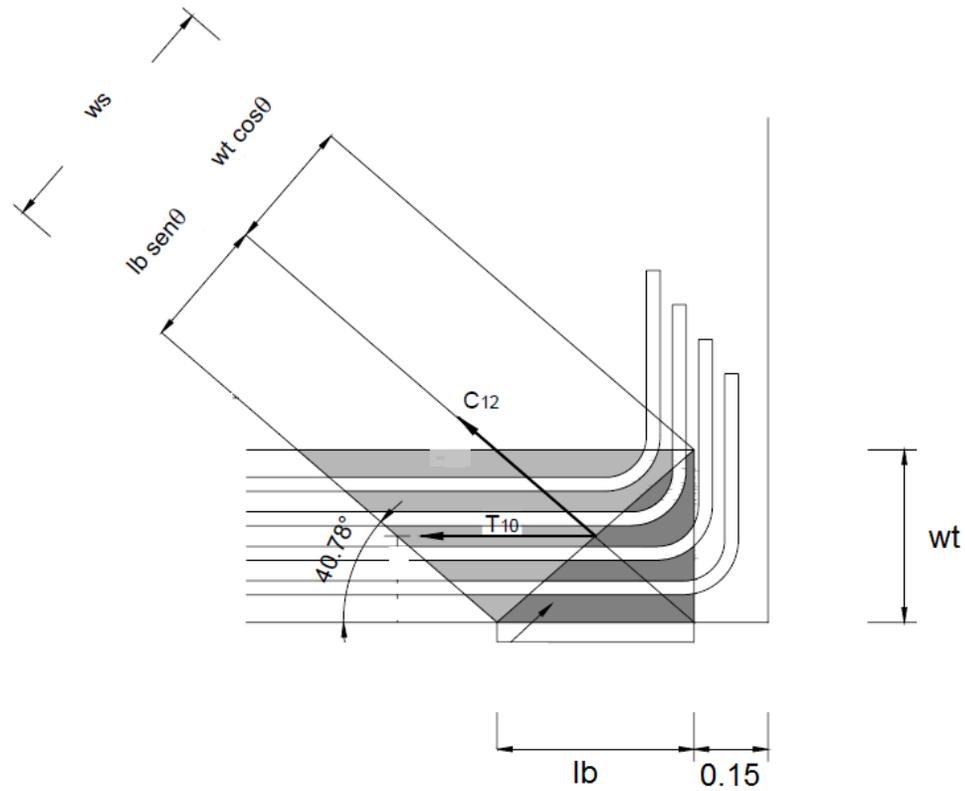
$$w_s = lb \sin \phi + wt \cos \phi$$

$$w_s = 0.4 \sin 68.87 + 0.35 \cos 68.87$$

$$w_s = 0.499m$$

Entonces con esto se concluye que el ancho de la fuerza C7, es 0.499 m, el ancho de T7 es 0.35m y el ancho de la carga es 0.40m.

Por último, la zona nodal C. Para poder calcular los anchos de cada fuerza aplicada en ese nodo, se procede a ver la **tabla 6**, que son los ángulos calculados de toda la propuesta de armadura. Donde lb, es la mitad del ancho de la placa, 0.40m, wt es el ancho efectivo del tirante, 0.35m, y ws es el ancho efectivo del puntal. Recordar que esta zona nodal tiene un comportamiento CCT.



**Figura 28:** Zona nodal C.

$$w_s = lb \sin \phi + wt \cos \phi$$

$$w_s = 0.40 \sin 40.78 + 0.35 \cos 40.78$$

$$w_s = 0.526m$$

Entonces con esto se concluye que el ancho de la fuerza C12, es 0.526 m, el ancho de T10 es 0.35m y el ancho de la carga es 0.40m.

En este cuadro se muestra de forma resumida la verificación de las zonas nodales mencionadas.

$$F_u \leq F_{nn}$$

$$F_{nn} = W_{s,t} * b * \beta_n * 0.85 * f'_c$$

$F_u$	:	Fuerza ultima
$F_{nn}$	:	Fuerza nominal
$W_{s,t}$	:	Ancho de la zona nodal
$b$	:	Espesor (0.35)
$f_{cu}$	:	Resistencia efectiva
$f_c$	:	Resistencia a la compresión
$\beta_n$	:	Factor de resistencia efectiva
$\phi$	:	Factor de reducción (0.75)

Nodo #Tipo	f <sub>cu</sub>	Accion		Fu TN	Ancho m	F <sub>nn</sub> TN	φF <sub>nn</sub> TN	¿VERIFICA?	Fu/(φ.F <sub>nn</sub> )
		Tipo	#						
A1 CCC	25.5	Carga	F1	90	0.300	267.750	200.813	SI	0.4482
		C	Po	124.225	0.250	223.125	167.344	SI	0.7423
		C	P1	153.401	0.378	337.365	253.024	SI	0.6063
A2 CCC	25.5	Carga	F2	90	0.300	267.750	200.813	SI	0.4482
		C	Po	124.225	0.250	223.125	167.344	SI	0.7423
		C	P2	153.401	0.378	337.365	253.024	SI	0.6063
B CCT	20.4	C	R1	120	0.400	285.600	214.200	SI	0.5602
		C	P7-8	128.65	0.499	356.286	267.215	SI	0.4814
		T	T7	46.377	0.350	249.900	187.425	SI	0.2474
C CCT	20.4	C	R2	60	0.400	285.600	214.200	SI	0.2801
		C	P12	91.866	0.526	375.564	281.673	SI	0.3261
		T	T10	69.565	0.350	249.900	187.425	SI	0.3712
D CTT	15.3	C	P11	91.866	0.363	194.387	145.790	SI	0.6301
		T	T6	60	0.150	80.325	60.244	SI	0.9960
		T	T9	139.13	0.350	187.425	140.569	SI	0.9898
		T	T10	69.565	0.350	187.425	140.569	SI	0.4949

**Figura 29:** Verificación de Nodos.

### iii. Verificación de los puntales

Los puntales inclinados se consideran con forma de botella, según el código ACI, entonces por ello cabe resaltar de que los puntales horizontales y verticales se consideran de forma prismática, y los inclinados de botella.

$$F_u \leq F_{ns}$$

$$F_{ns} = W_s * b * \beta_s * 0.85 * f'_c$$

$F_u$	:	Fuerza ultima
$F_{ns}$	:	Fuera nominal de un puntal
$W_s$	:	Ancho del puntal
$b$	:	Espesor (0.35m)
$f_{cu}$	:	Resistencia efectiva
$f_c$	:	Resistencia a la compresión
$\beta_s$	:	Factor de resistencia efectiva en un puntal
$\emptyset$	:	Factor de reducción (0.75)

Puntal	forma	$\beta_s$	Fu	Ancho	Fns	$\phi Fns$	¿VERIFICA?	Fu/( $\phi \cdot Fnn$ )
			TN	m	TN	TN		
P0	Prismatico	1.00	124.225	0.250	223.125	167.344	SI	0.7423
P1	Botella	0.75	153.401	0.378	253.024	189.768	SI	0.8084
P2	Botella	0.75	153.401	0.378	253.024	189.768	SI	0.8084
P3	Botella	0.75	106.678	0.220	147.263	110.447	SI	0.9659
P4	Botella	0.75	106.678	0.220	147.263	110.447	SI	0.9659
P5	Prismatico	1.00	35.481	0.200	178.500	133.875	SI	0.2650
P6	Prismatico	1.00	69.565	0.200	178.500	133.875	SI	0.5196
P7	Prismatico	1.00	90.000	0.349	311.483	233.612	SI	0.3853
P7-8	Botella	0.75	128.650	0.499	334.018	250.514	SI	0.5135
P8	Botella	0.75	55.234	0.214	143.246	107.435	SI	0.5141
P9	Botella	0.75	55.234	0.214	143.246	107.435	SI	0.5141
P10	Botella	0.75	55.234	0.214	143.246	107.435	SI	0.5141
P11	Botella	0.75	91.866	0.363	242.983	182.237	SI	0.5041
P12	Botella	0.75	91.866	0.526	352.091	264.068	SI	0.3479

**Figura 30:** Verificación de Puntales.

g. Cálculo del área de acero

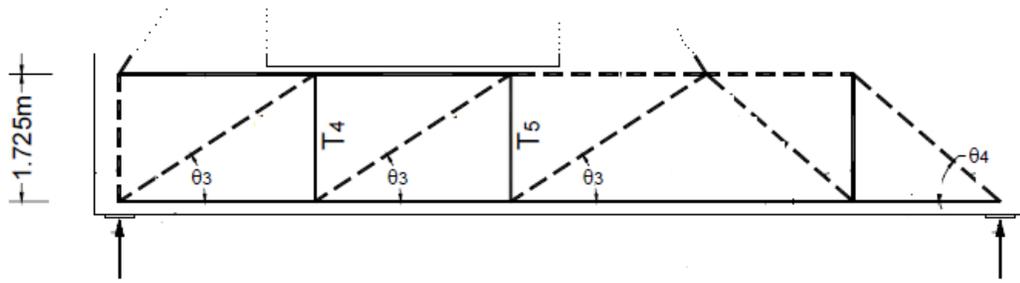
Las áreas necesarias se verán en el siguiente cuadro resumen.

$$F_u \leq \emptyset * F_{nt}$$

$$F_u \leq 0.75 * A_{st} * f_y$$

$F_u$	:	Fuerza última del tirante
$F_{ns}$	:	Fuera nominal de un tirante





**Figura 32:** Tirante 4 y 5.

En la muestra se tiene:  $z = 1.725 \text{ m}$  y  $\theta = 32.898^\circ$ , visto en la **tabla 6** por lo que resulta una longitud igual a  $2.667 \text{ m}$ .

$$L = z \cdot \cotg \theta.$$

$$L = 1.725 \cdot \cotg 32.898^\circ$$

$$L = 2.667 \text{ m}$$

La armadura necesaria será entonces igual a:

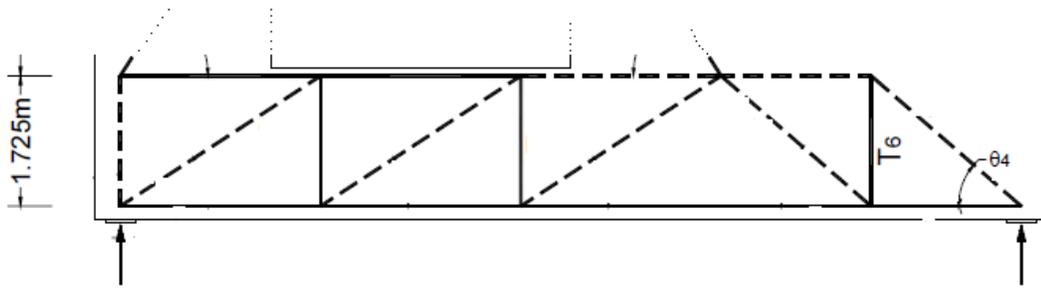
$$9.52 \text{ cm}^2 / 2.667 \text{ m} = 3.57 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Utilizar armadura vertical  $\phi 1/2 @ 25 \text{ cm}$  en ambas caras.**

Tirante 6:

Se podría pensar en distribuir esta armadura en una zona de longitud igual a:

$$L = z \cdot \cotg \theta.$$



**Figura 33:** Tirante 6.

En la muestra se tiene:  $z = 1.725 \text{ m}$  y  $\theta = 40.778^\circ$ , visto en la **tabla 6** por lo que resulta una longitud igual a  $2.000\text{m}$ .

$$L = z \cdot \cotg \theta.$$

$$L = 1.725 \cdot \cotg 40.778^\circ$$

$$L = 2.000\text{m}$$

La armadura necesaria será entonces igual a:

$$19.05 \text{ cm}^2 / 2.000 \text{ m} = 9.525 \text{ cm}^2/\text{m}$$

**Utilizar armadura vertical  $\phi 1/2 @ 25 \text{ cm}$  en ambas caras.**

Tirante 7, 8, 9 y 10:

1era capa : 2 barras de 1:  $2 \cdot 5.1 = 10.2\text{cm}^2$

2da capa : 2 barras de 1:  $2 \cdot 5.1 = 10.2\text{cm}^2$

3era capa : 2 barras de 1:  $2 \cdot 5.1 = 10.2\text{cm}^2$

4ta capa : 2 barras de 1:  $2 \cdot 5.1 = \underline{10.2\text{cm}^2}$

$$40.8\text{cm}^2$$

Área de refuerzo vertical y horizontal

Área de refuerzo vertical

$$s_v = \frac{A_{sv}}{bw * C_{sv}}$$

$$s_v = \frac{2.29cm^2}{35cm * 0.0025} = 25cm$$

Esto corresponde a barras de **1/2"** cada **25cm**, cumple ya que la cuantía para el refuerzo vertical es 0.003, según el código ACI.

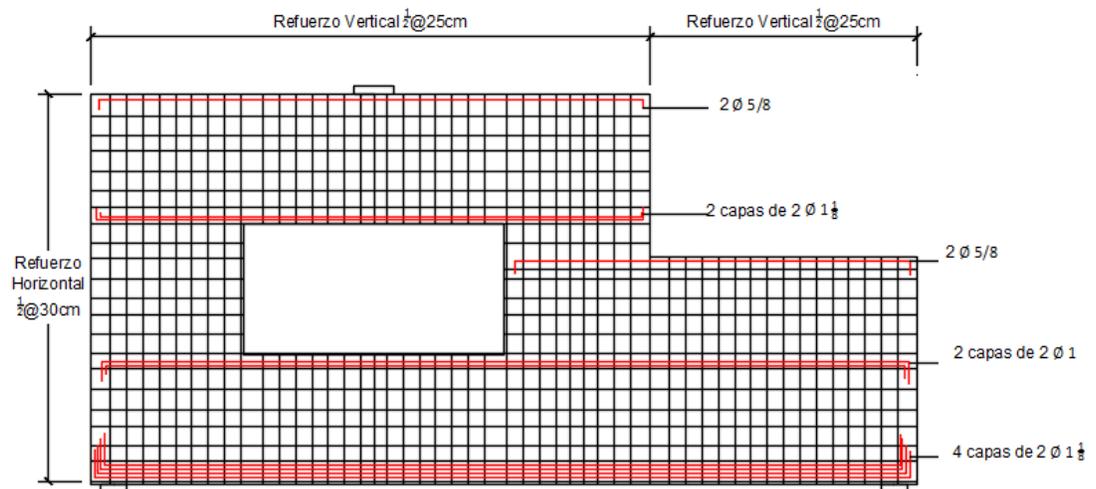
Área de refuerzo horizontal

$$s_h = \frac{A_{sh}}{bw * C_{sh}}$$

$$s_h = \frac{2.29cm^2}{35cm * 0.0015} = 44cm$$

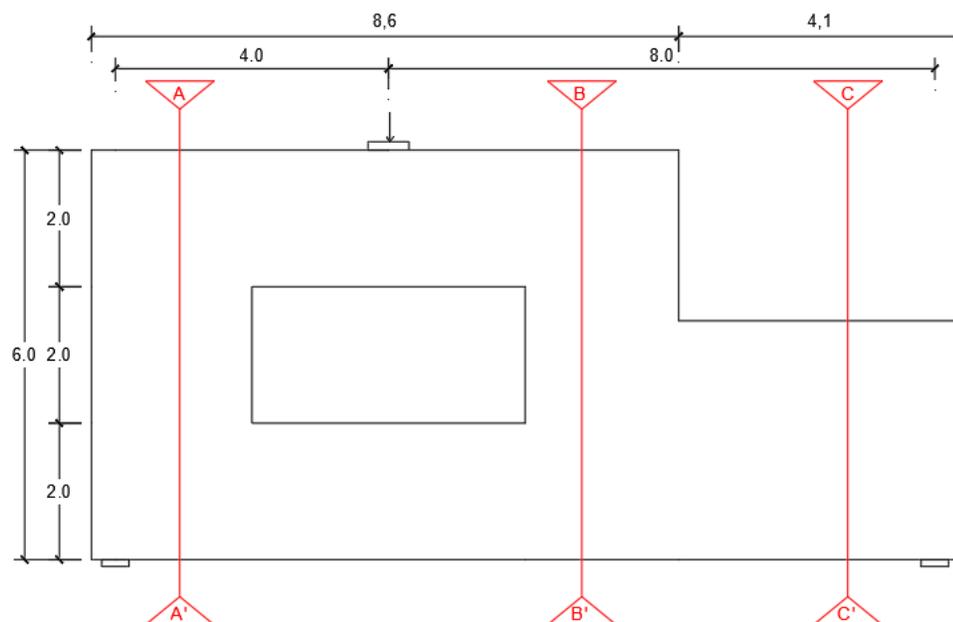
En ambos casos espaciamiento máximo no debe exceder entre  $d/5$  y 30 cm. Esto corresponde a barras de **1/2"** cada **30cm**, cumple ya que la cuantía para el refuerzo horizontal es 0.003, según el código ACI.

- h. Resultado final de Armadura de la viga de gran peralte según la técnica puntal-tirante.



**Figura 34:** Armado de acero de refuerzo de acero de la muestra.

A través de la siguiente imagen se hizo tres cortes en la estructura para poder visualizar a con mas detalle la distribución de acero en la misma.



**Figura 35:** Corte A, B y C de la viga de gran peralte.

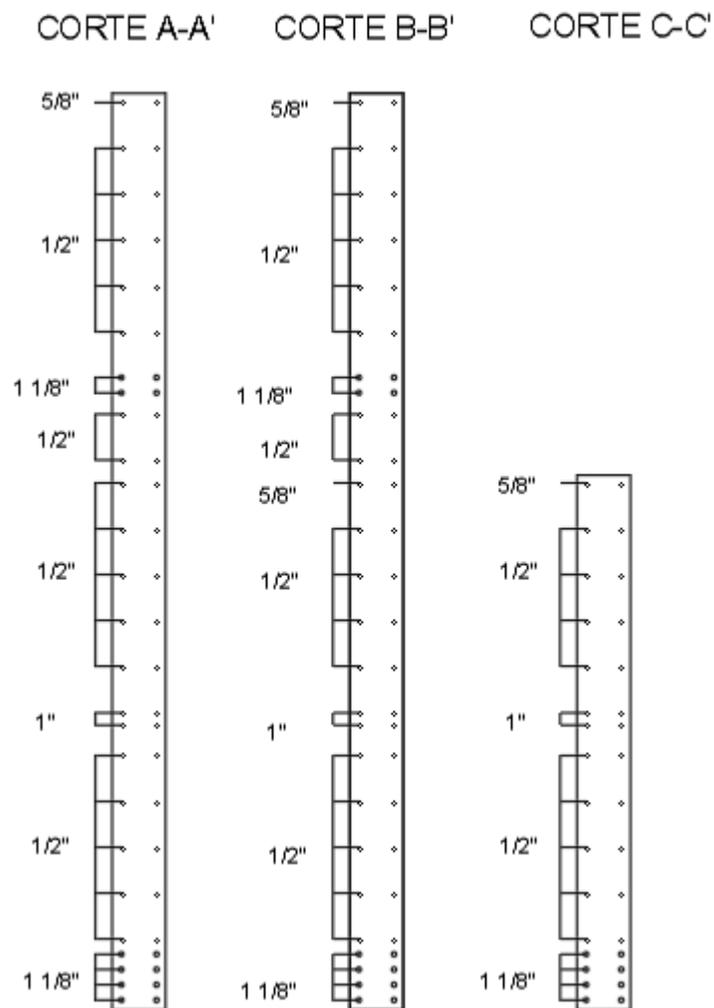


Figura 36: Refuerzo de acero según los cortes.

### 3.7.2. VERIFICACION DE LA TECNICA CON LA HERRAMIENTA DE DISEÑO AStrutTIE

Con esta herramienta se corrobora las fuerzas obtenidas manualmente, que se ve en la **tabla 7** de resumen de fuerzas.



Row #	Element ID	Function	End I ID	End J ID	Length (mm)	Direction (deg.)
1	C0	Strut-and-Tie	A1	A2	300.0	0.00
2	C1	Strut-and-Tie	A1	1	3025.4	215.92
3	C2	Strut-and-Tie	A2	2	3025.4	324.08
4	C3	Strut-and-Tie	1	3	2607.7	237.53
5	C4	Strut-and-Tie	2	6	2607.7	302.47
6	C5	Strut-and-Tie	6	5	2666.7	180.00
7	C6	Strut-and-Tie	6	7	2000.0	0.00
8	C7	Strut-and-Tie	B	3	1725.0	90.00
9	C8	Strut-and-Tie	B	4	3176.0	32.90
10	C9	Strut-and-Tie	8	5	3176.0	32.90
11	C10	Strut-and-Tie	9	6	3176.0	32.90
12	C11	Strut-and-Tie	6	D	2641.1	319.22
13	C12	Strut-and-Tie	7	C	2641.1	319.22
14	T1	Strut-and-Tie	1	2	5200.0	0.00
15	T2	Strut-and-Tie	3	4	2666.7	0.00
16	T3	Strut-and-Tie	4	5	2666.7	0.00
17	T4	Strut-and-Tie	8	4	1725.0	90.00
18	T5	Strut-and-Tie	9	5	1725.0	90.00
19	T6	Strut-and-Tie	D	7	1725.0	90.00
20	T7	Strut-and-Tie	B	8	2666.7	0.00
21	T8	Strut-and-Tie	8	9	2666.7	0.00
22	T9	Strut-and-Tie	9	D	4666.7	0.00
23	T10	Strut-and-Tie	D	C	2000.0	0.00
24	1	Strut-and-Tie	A1	15	125.0	90.00
25	2	Strut-and-Tie	A2	16	125.0	90.00
26	3	Strut-and-Tie	12	B	175.0	90.00
27	4	Stabilizer	13	B	350.0	0.00
28	5	Strut-and-Tie	14	C	175.0	90.00
29	6	Stabilizer	A1	2	3273.1	327.16
30	7	Stabilizer	1	6	6957.0	341.57

**Figura 38:** Datos de la geometría de puntales y tirantes. Fuente: *Elaboración de AStrutTie*.

Row #	Element ID	Rel. Stiffness	Width (mm)	Property Type	Property Type Name	Stress-Strain Curve Type
1	C0	1	250	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
2	C1	1	378	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
3	C2	1	378	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
4	C3	1	220	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
5	C4	1	220	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
6	C5	1	200	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
7	C6	1	200	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
8	C7	1	349	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
9	C8	1	214	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
10	C9	1	214	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
11	C10	1	214	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
12	C11	1	363	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
13	C12	1	526	Concrete Strut	(1) Puntal botella con refuerzo ACI	Curve1
14	T1	1	200	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel2	Curve2
15	T2	1	200	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel3	Curve2
16	T3	1	200	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel3	Curve2
17	T4	1	150	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel4	Curve2
18	T5	1	150	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel4	Curve2
19	T6	1	150	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel5	Curve2
20	T7	1	350	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel1	Curve2
21	T8	1	350	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel1	Curve2
22	T9	1	350	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel1	Curve2
23	T10	1	350	Non-Prestressed Reinforcement Tie	Steel1	Curve2
24	1	1	300	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
25	2	1	300	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
26	3	1	400	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
27	4	1	0	Undefined	Undefined	NA
28	5	1	400	Concrete Strut	(0) Puntal prismático ACI	Curve1
29	6	1	0	Undefined	Undefined	NA
30	7	1	0	Undefined	Undefined	NA

Figura 39: Datos de geometría de nodos. Fuente: *Elaboración de AStrutTie*.

Row #	Node ID	Function	X (mm)	Y (mm)	Direction (deg.)
1	A1	Strut-and-Tie	4200.0	5875	0.0
2	A2	Strut-and-Tie	4500.0	5875	0.0
3	1	Strut-and-Tie	1750.0	4100	0.0
4	2	Strut-and-Tie	6950.0	4100	0.0
5	3	Strut-and-Tie	350.0	1900	0.0
6	4	Strut-and-Tie	3016.7	1900	0.0
7	5	Strut-and-Tie	5683.3	1900	0.0
8	6	Strut-and-Tie	8350.0	1900	0.0
9	7	Strut-and-Tie	10350.0	1900	0.0
10	B	Strut-and-Tie	350.0	175	0.0
11	8	Strut-and-Tie	3016.7	175	0.0
12	9	Strut-and-Tie	5683.3	175	0.0
13	D	Strut-and-Tie	10350.0	175	0.0
14	C	Strut-and-Tie	12350.0	175	0.0
15	12	Load/Support	350.0	0	180.0
16	13	Load/Support	0.0	175	90.0
17	14	Load/Support	12350.0	0	180.0
18	15	Load/Support	4200.0	6000	0.0
19	16	Load/Support	4500.0	6000	0.0

**Figura 40:** Datos de dimensiones, propiedades de puntales y tirantes: Fuente: *Elaboración de AStrutTie.*

Row #	Node ID	Property Type
1	A1	(0) Nodo CCC ACI
2	A2	(0) Nodo CCC ACI
3	1	(1) Nodo CCT ACI
4	2	(1) Nodo CCT ACI
5	3	(1) Nodo CCT ACI
6	4	(2) Nodo CTT ACI
7	5	(2) Nodo CTT ACI
8	6	(0) Nodo CCC ACI
9	7	(1) Nodo CCT ACI
10	B	(1) Nodo CCT ACI
11	8	(2) Nodo CTT ACI
12	9	(2) Nodo CTT ACI
13	D	(2) Nodo CTT ACI
14	C	(1) Nodo CCT ACI
15	12	NA
16	13	NA
17	14	NA
18	15	NA
19	16	NA

**Figura 41:** Datos de propiedades de nodos. Fuente: *Elaboración de AStrutTie.*





Row #	Element ID	Force (kN)	Stress (MPa)	Stress Ratio	Fc Ratio	Beta Ratio
1	C0	-1242.30	14.20	0.742	0.473	0.742
2	C1	-1534.00	11.59	0.808	0.386	0.606
3	C2	-1534.00	11.59	0.808	0.386	0.606
4	C3	-1066.80	13.85	0.966	0.462	0.724
5	C4	-1066.80	13.85	0.966	0.462	0.724
6	C5	-354.80	5.07	0.265	0.169	0.265
7	C6	-695.70	9.94	0.693	0.331	0.520
8	C7	-900.00	7.37	0.385	0.246	0.385
9	C8	-552.30	7.37	0.514	0.246	0.386
10	C9	-552.30	7.37	0.514	0.246	0.386
11	C10	-552.30	7.37	0.514	0.246	0.386
12	C11	-918.70	7.23	0.504	0.241	0.378
13	C12	-918.70	4.99	0.348	0.166	0.261
14	T1	669.50	271.72	0.863	NA	NA
15	T2	572.70	291.61	0.926	NA	NA
16	T3	109.00	55.48	0.176	NA	NA
17	T4	300.00	120.68	0.383	NA	NA
18	T5	300.00	120.68	0.383	NA	NA
19	T6	600.00	312.34	0.992	NA	NA
20	T7	463.80	94.11	0.299	NA	NA
21	T8	927.50	188.22	0.598	NA	NA
22	T9	1391.30	282.33	0.896	NA	NA
23	T10	695.70	141.16	0.448	NA	NA
24	1	-900.00	8.57	0.448	0.286	0.448
25	2	-900.00	8.57	0.448	0.286	0.448
26	3	-1200.00	8.57	0.448	0.286	0.448
27	4	0.00	NA	NA	NA	NA
28	5	-600.00	4.29	0.224	0.143	0.224
29	6	0.00	NA	NA	NA	NA
30	7	0.00	NA	NA	NA	NA

Figura 45: Esfuerzos y relación de esfuerzos en puntales y tirantes. Fuente: *Elaboración de AStrutTie*.

Row #	Node ID	Node Side	Force (kN)	Stress (MPa)	Stress Ratio	f <sub>c</sub> Ratio	Beta Ratio
1	A1	C0	-1242.3	14.20	0.742	0.473	0.742
2		C1	-1534.0	11.59	0.606	0.386	0.606
3		1	-900.0	8.57	0.448	0.286	0.448
4		6	0.0	NA	NA	NA	NA
5	A2	C0	-1242.3	14.20	0.742	0.473	0.742
6		C2	-1534.0	11.59	0.606	0.386	0.606
7		2	-900.0	8.57	0.448	0.286	0.448
8	1	C1	-1534.0	11.59	0.758	0.386	0.606
9		C3	-1066.8	13.85	0.906	0.462	0.724
10		T1	669.5	9.56	0.625	0.319	0.500
11		7	0.0	NA	NA	NA	NA
12	2	C2	-1534.0	11.59	0.758	0.386	0.606
13		C4	-1066.8	13.85	0.906	0.462	0.724
14		T1	669.5	9.56	0.625	0.319	0.500
15		6	0.0	NA	NA	NA	NA
16	3	C3	-1066.8	13.85	0.906	0.462	0.724
17		C7	-900.0	7.37	0.482	0.246	0.385
18		T2	572.7	8.18	0.535	0.273	0.428
19	4	C8	-552.3	7.37	0.643	0.246	0.386
20		T2	572.7	8.18	0.713	0.273	0.428
21		T3	109.0	1.56	0.136	0.052	0.081
22		T4	300.0	5.71	0.498	0.190	0.299
23	5	C5	-354.8	5.07	0.442	0.169	0.265
24		C9	-552.3	7.37	0.643	0.246	0.386
25		T3	109.0	1.56	0.136	0.052	0.081
26		T5	300.0	5.71	0.498	0.190	0.299
27	6	C4	-1066.8	13.85	0.724	0.462	0.724
28		C5	-354.8	5.07	0.265	0.169	0.265
29		C6	-695.7	9.94	0.520	0.331	0.520
30		C10	-552.3	7.37	0.386	0.246	0.386
31		C11	-918.7	7.23	0.378	0.241	0.378
32		7	0.0	NA	NA	NA	NA
33	7	C6	-695.7	9.94	0.650	0.331	0.520
34		C12	-918.7	4.99	0.326	0.166	0.261
35		T6	600.0	11.43	0.747	0.381	0.598
36	B	C7	-900.0	7.37	0.482	0.246	0.385
37		C8	-552.3	7.37	0.482	0.246	0.386
38		T7	463.8	3.79	0.247	0.126	0.198
39	3	3	-1200.0	8.57	0.560	0.286	0.448
40	4	4	0.0	NA	NA	NA	NA
41	8	C9	-552.3	7.37	0.643	0.246	0.386
42		T4	300.0	5.71	0.498	0.190	0.299
43		T7	463.8	3.79	0.330	0.126	0.198
44		T8	927.5	7.57	0.660	0.252	0.396
45	9	C10	-552.3	7.37	0.643	0.246	0.386
46		T5	300.0	5.71	0.498	0.190	0.299
47		T8	927.5	7.57	0.660	0.252	0.396
48		T9	1391.3	11.36	0.990	0.379	0.594
49	D	C11	-918.7	7.23	0.630	0.241	0.378
50		T6	600.0	11.43	0.996	0.381	0.598
51		T9	1391.3	11.36	0.990	0.379	0.594
52		T10	695.7	5.68	0.495	0.189	0.297
53	C	C12	-918.7	4.99	0.326	0.166	0.261
54		T10	695.7	5.68	0.371	0.189	0.297
55		5	-600.0	4.29	0.280	0.143	0.224
56	12	3	-1200.0	NA	NA	NA	NA
57	13	4	0.0	NA	NA	NA	NA
58	14	5	-600.0	NA	NA	NA	NA
59	15	1	-900.0	NA	NA	NA	NA
60	16	2	-900.0	NA	NA	NA	NA

Figura 46: Esfuerzos y relación de esfuerzos en zonas nodales. Fuente: *Elaboración de AStrutTie*.

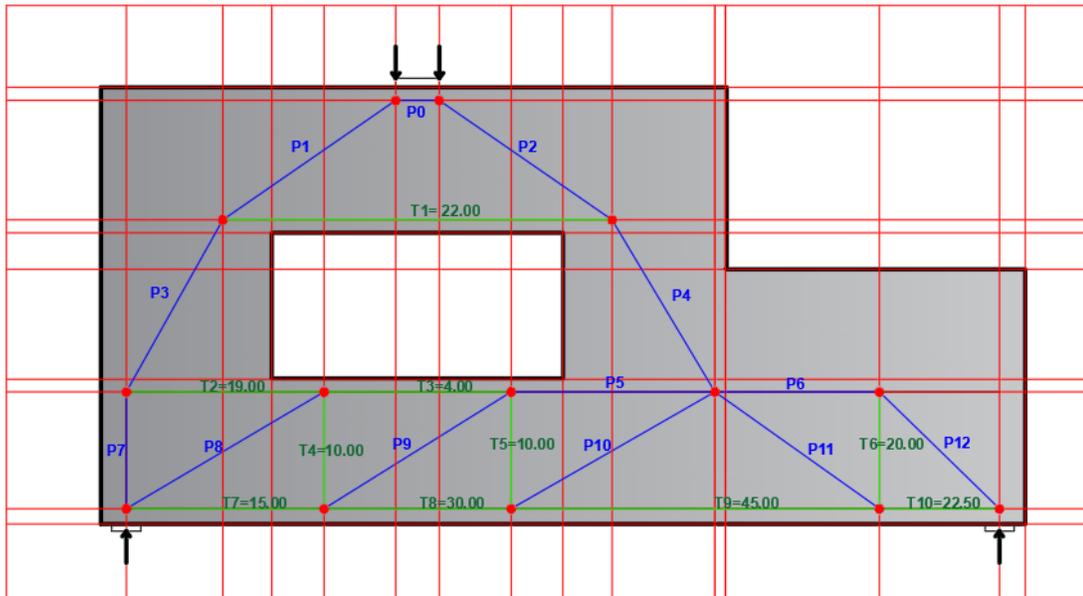
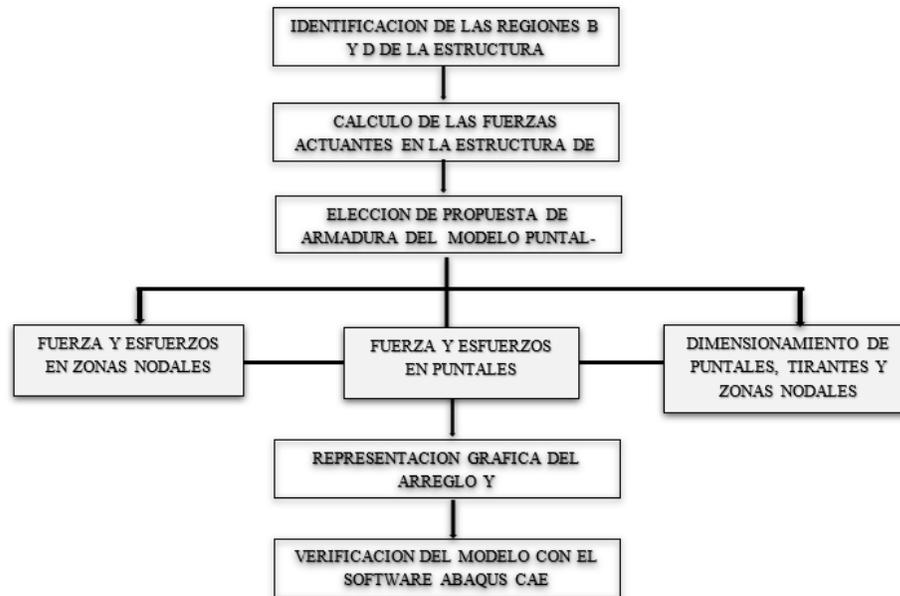


Figura 47: Arreglo de la armadura y sección de acero provisto.

### 3.7.3. TÉCNICAS

La técnica usada es la del puntal tirante, la cual en esta investigación se ha regido con estos pasos que se muestran a detalle en el capítulo II, en el marco teórico. En este esquema se muestran los 6 pasos de la técnica ya mencionada.



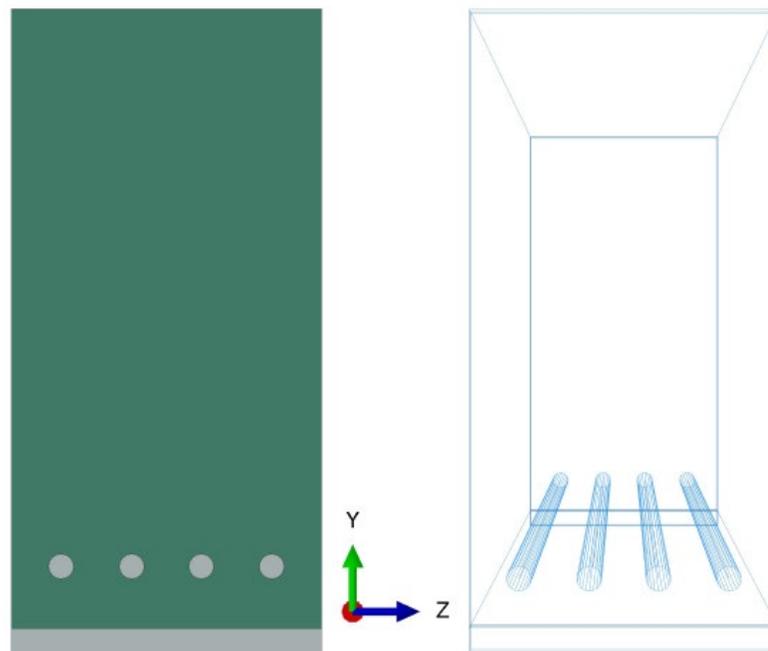
**Figura 48:** Esquema representativo para el procedimiento de la técnica puntal-tirante.

### 3.7.4. INSTRUMENTOS

El instrumento que se usó en la investigación es el software de elementos finitos Abaqus Cae, para ello se pondrá las consideraciones que se tuvo en el modelado.

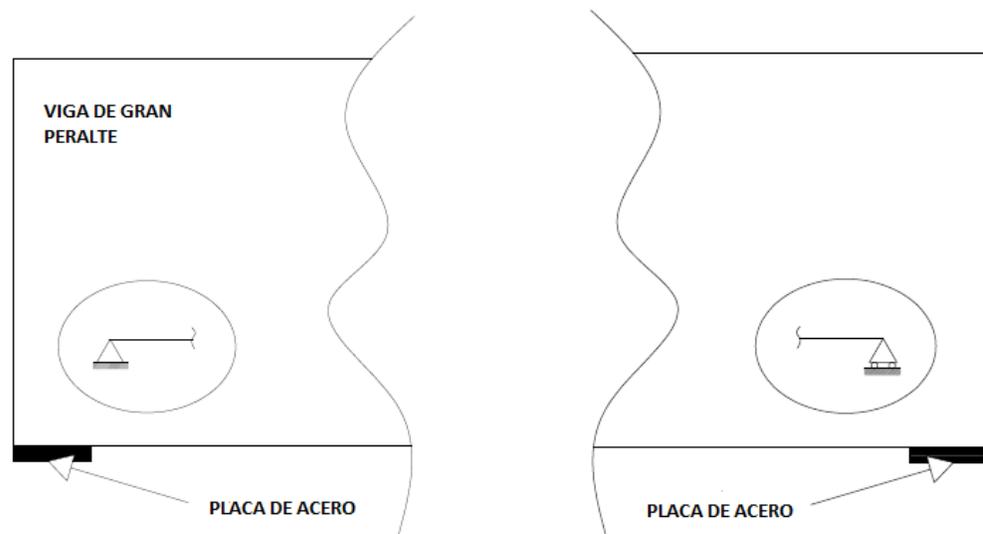
#### 1. Parte

El concreto se modela como un sólido deformable 3D, para el comportamiento del concreto se utiliza un modelo constitutivo, a elección del diseñador, para esta investigación se usó el modelo de Hognestad, para el comportamiento a compresión y el Euro Código para el comportamiento a tracción del concreto.



**Figura 49:** Modelado de acero y concreto en el software Abaqus Cae. Fuente: (García G. L., 2019)

En las consideraciones de borde o apoyos, se optó por poner placas que simulen el comportamiento de los apoyos reales.



**Figura 50:** Consideraciones de borde para el software. Fuente: (García G. L., 2019).

## 2. Propiedades

En las propiedades se inserta el comportamiento elástico y plástico del concreto y del acero refuerzo, además de sus características, como el módulo de elasticidad y el módulo de poisson.

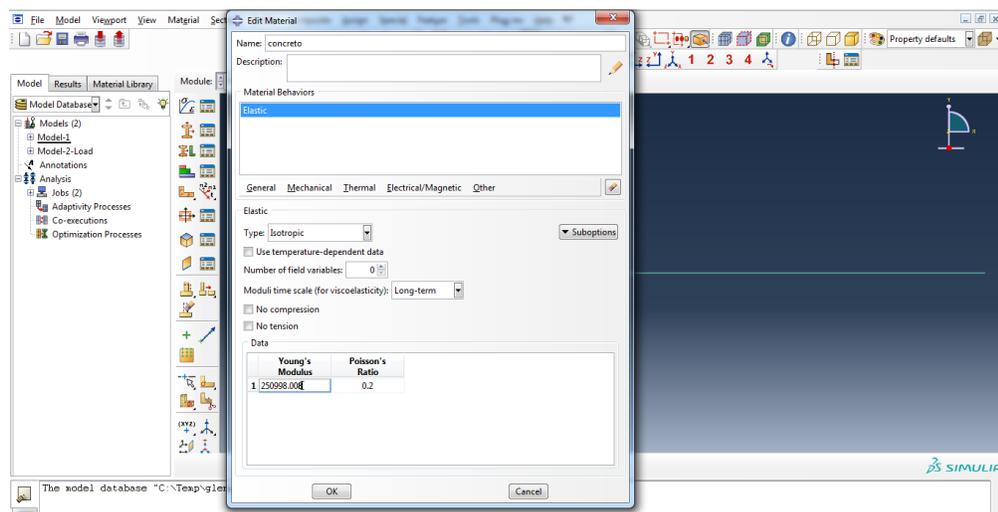


Figura 51: Propiedades del software Abaqus Cae.

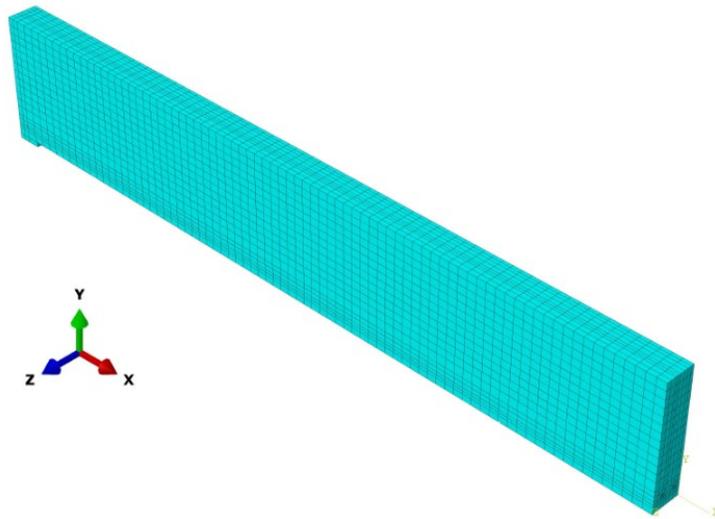
Tabla 8: Valores del Software Abaqus Cae.

PLASTICITY	
Dilation angle	30
Eccentricity	0.1
Fb0/fc0	1.16
k	0.6667
Viscosity Parameter	0.0001

## 3. Mesh

Una malla o también conocida como mesh, es una red de líneas que se conectan entre sí con una cierta cantidad de nodos utilizados para resolver numéricamente el problema en juego bajo cargas externas. Es la base de cada

producto numérico de elementos finitos es la discretización del modelo considerado en una serie de elementos.



**Figura 52:** Discretización del modelo. Fuente: (García G. L., 2019).

En esta investigación se usó tres casos de mesh, uno de 25, 20 y de 15, donde se optó por usar el de 15 ya que sus resultados son más precisos.

#### 4. Carga

La viga de concreto reforzado se estudian bajo dos tipos de carga, la capacidad de carga límite de servicio, que se usa para el control de la desviación y la carga de falla final, que se usa para el diseño, además de esto se dispuso 2 cargas amplificadas para ver como falla la estructura.

**Tabla 9:** Carga en la viga de gran peralte con alto nivel de asimetría.

Carga de diseño	Carga 1	Carga 2
180 Ton	360 Ton	720 Ton

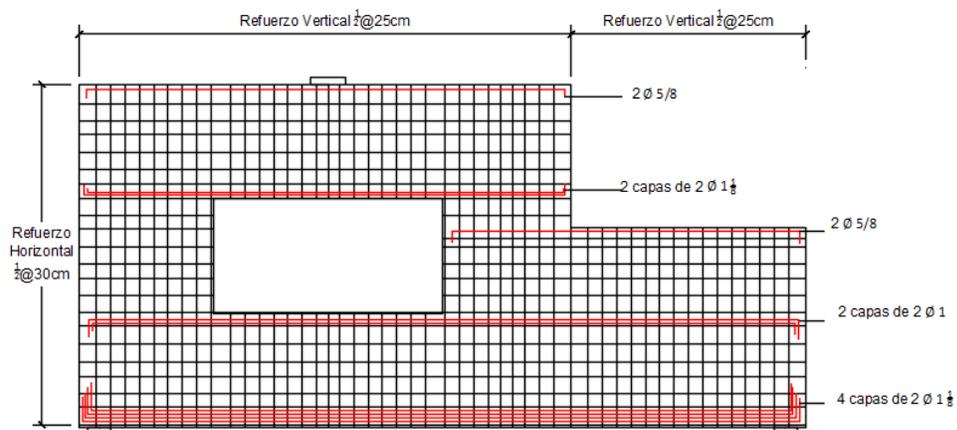
## 5. -Análisis

Se va a considerar la geometría no lineal. Para grandes desplazamientos, necesitamos actualizar nuestra matriz de rigidez después de cada incremento de carga; por lo tanto, se utiliza la tensión y las tensiones verdaderas en lugar de las tensiones y tensiones nominales.

## 4. CAPITULO IV RESULTADOS

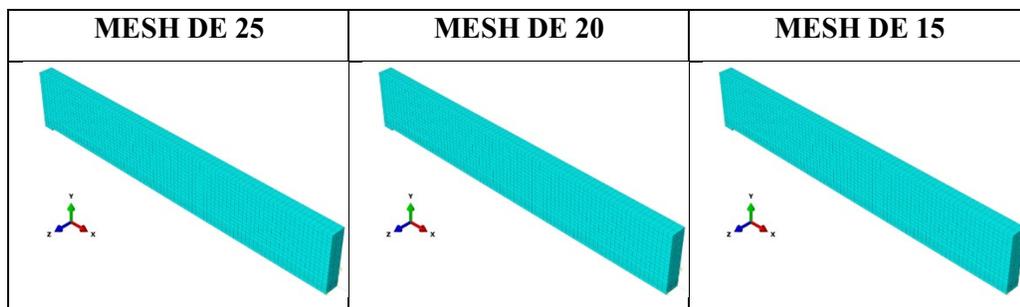
### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

El armado final de refuerzo de acero de la viga de gran peralte con alto nivel de asimetría, se puede apreciar en la siguiente imagen.



**Figura 53:** Resultados del armado de acero de refuerzo.

A partir del resultado del diseño, se procedió al modelado donde se determinó los siguientes resultados para distintos casos de mesh.



**Figura 54:** Mesh ocupados para el Software Abaqus Cae.

## 4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1. RESULTADOS PARA UN MESH DE 25CM

Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero utilizando la carga de diseño P.

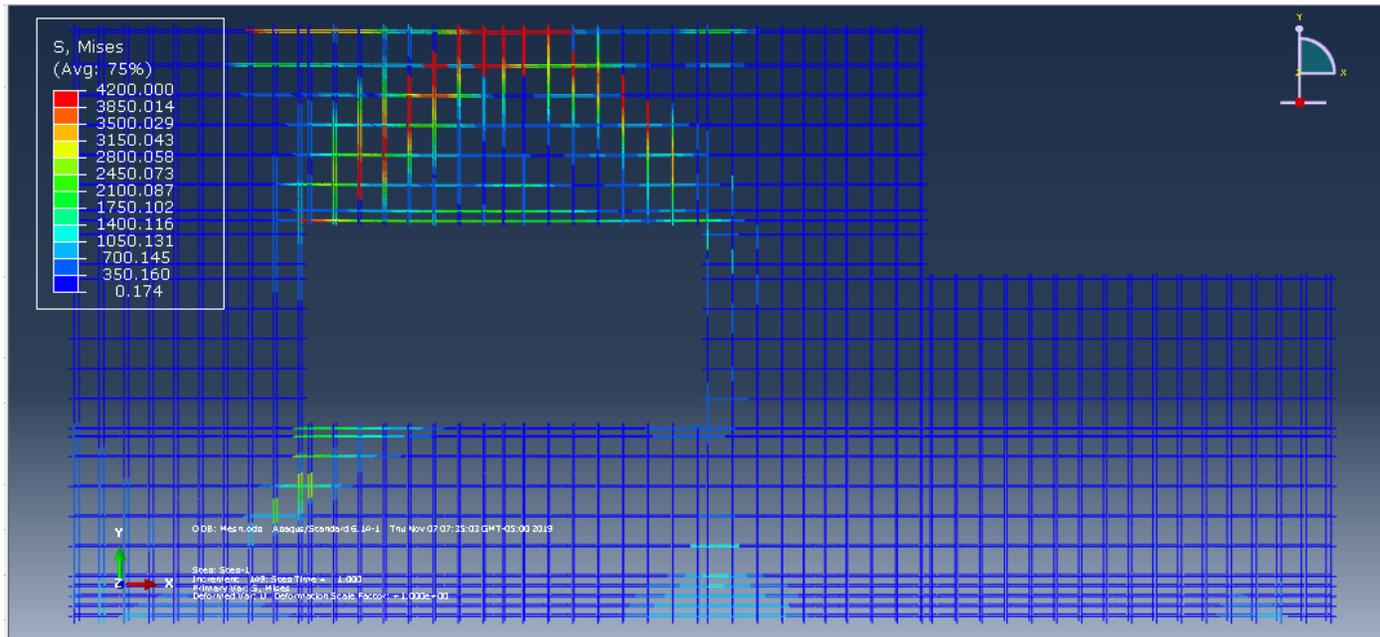
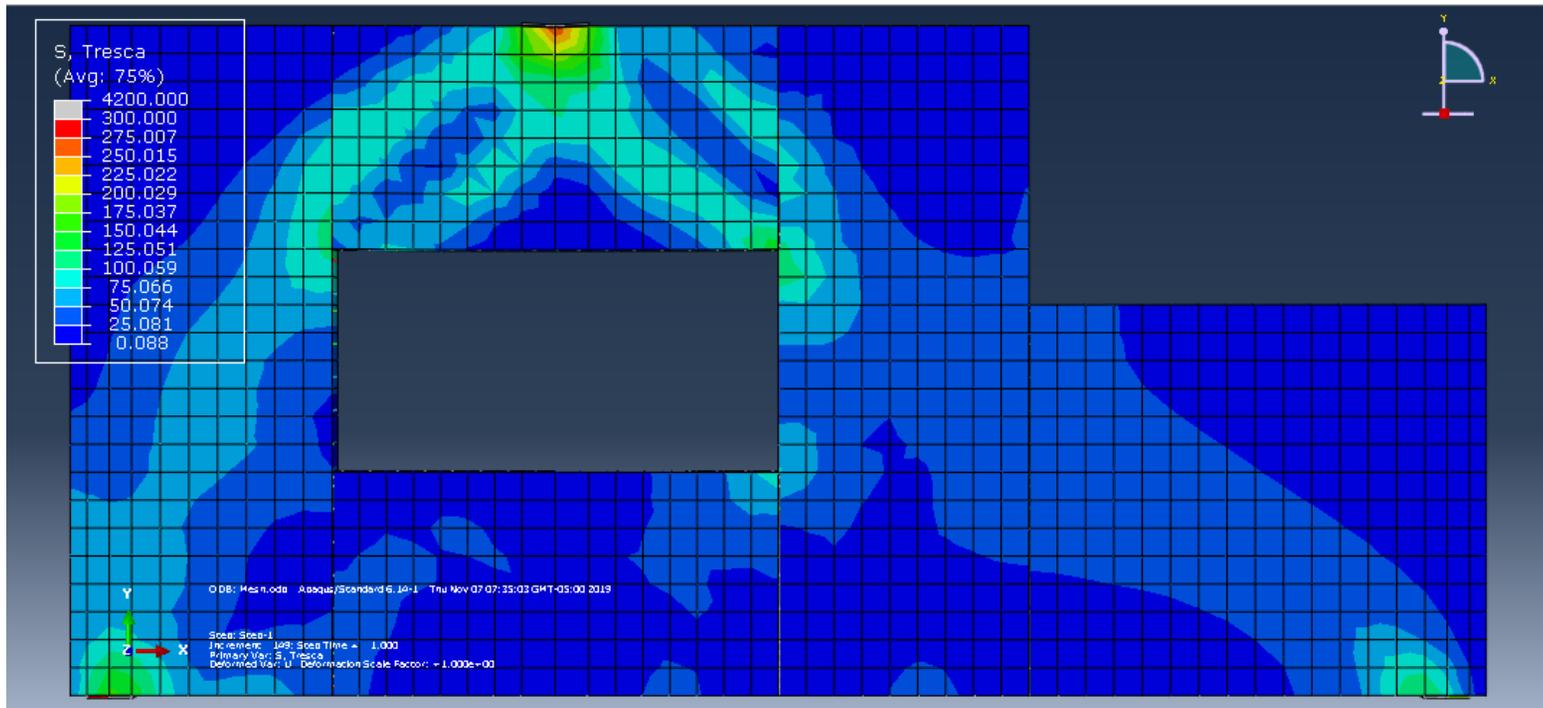


Figura 55: Diagrama de esfuerzos de Von Mises, para un mesh de 25cm.

En la siguiente figura se puede observar que en el nodo donde se aplica la carga P, la estructura ha alcanzado el máximo esfuerzo de Von Mises con un valor entre el rango de 1750 a 4200kg/cm<sup>2</sup>, en las zonas de los apoyos no tuvieron esfuerzos considerables.

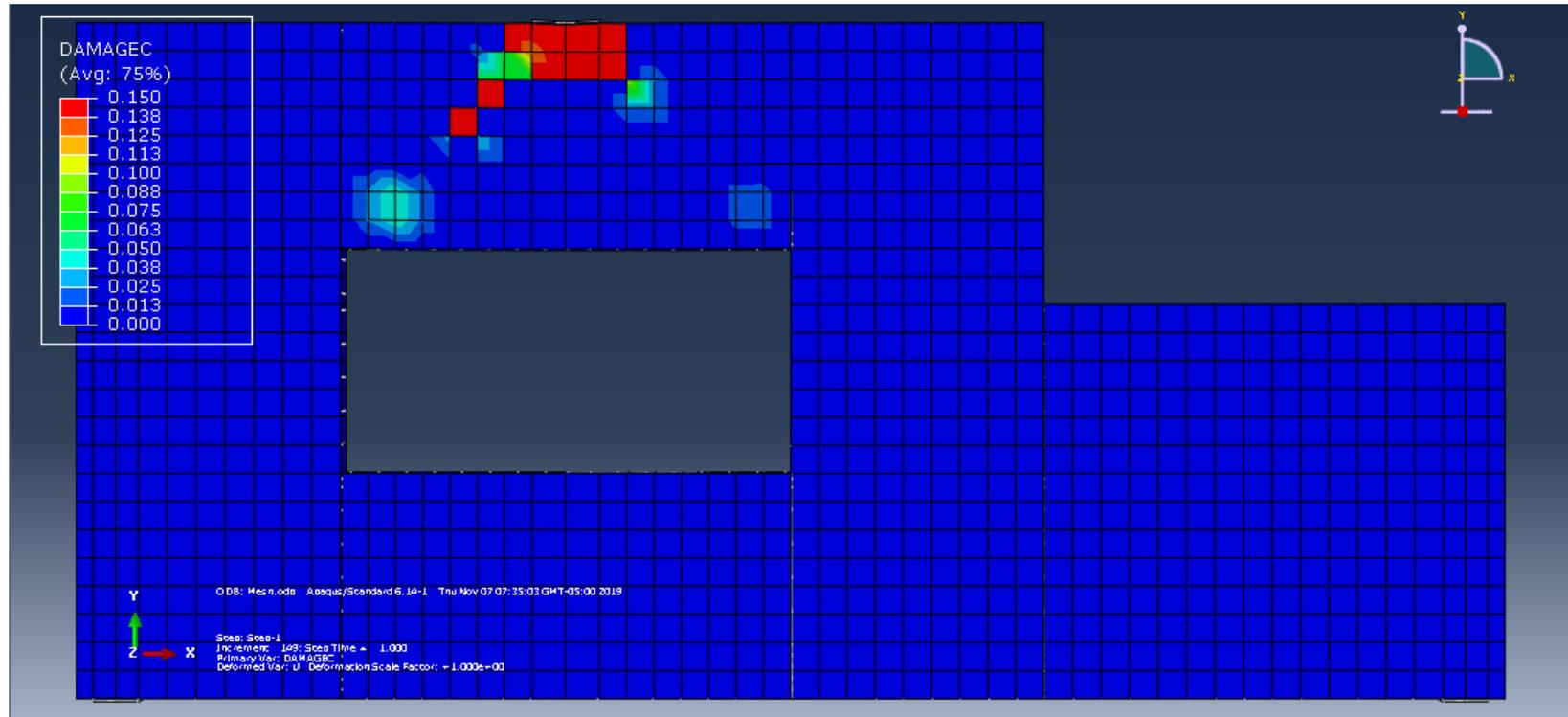
Diagrama de esfuerzos de Tresca del concreto reforzado para una carga de P.



**Figura 56:** Diagrama de esfuerzos de Tresca, para un mesh de 25cm.

En la figura se muestra que donde se aplica la carga, el concreto alcanza un esfuerzo de 300 kg/cm<sup>2</sup> para una carga de P, de la misma forma en los apoyos presenta esfuerzos de 175 kg/cm<sup>2</sup>.

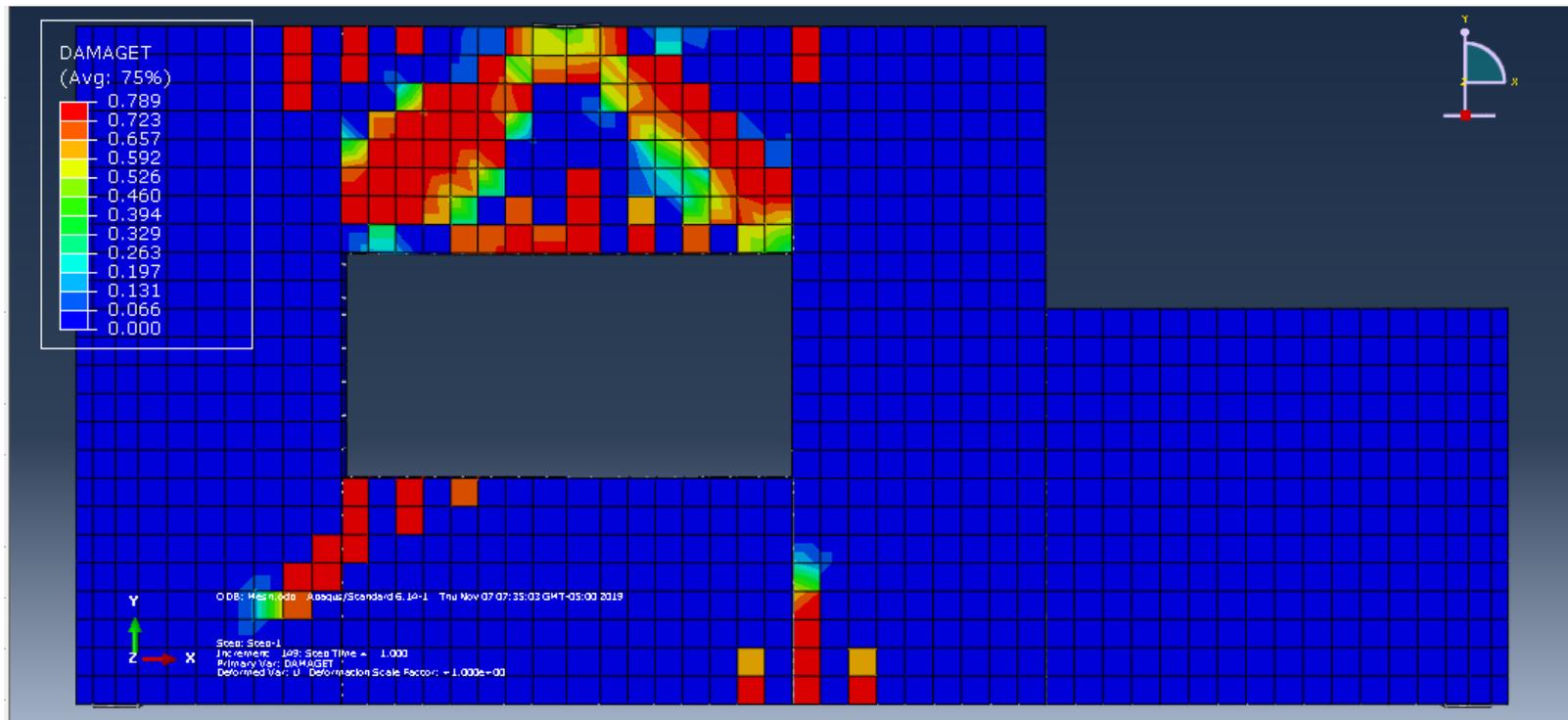
Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para una carga de P.



**Figura 57:** Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión.

El parámetro de daño para el elemento estructural en compresión para una carga P, se ve afectado solo donde se aplica la carga, con un porcentaje de aplastamiento en el rango de 0.1 a 0.15, además de que se puede observar ligeramente un porcentaje de aplastamiento con la misma forma de los puntales.

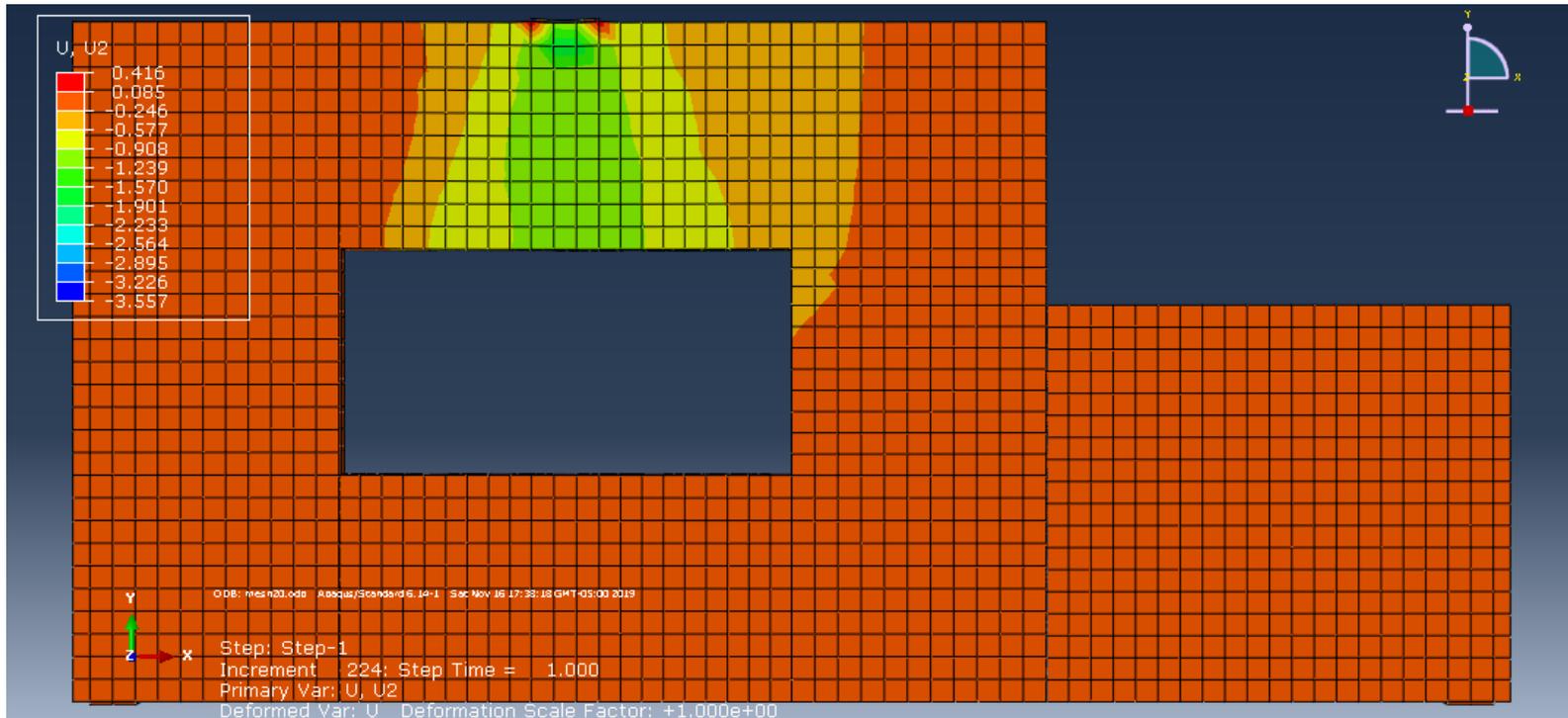
Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción para una carga de P.



**Figura 58:** Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción.

El elemento estructural sometido a la carga P, tiene un porcentaje de fisuras en el rango 0.526 a 0.789 solo en la zona del nodo donde se aplica la carga, esto se debe a que en la parte baja de este elemento hay un orificio.

Desplazamiento para una carga de P.

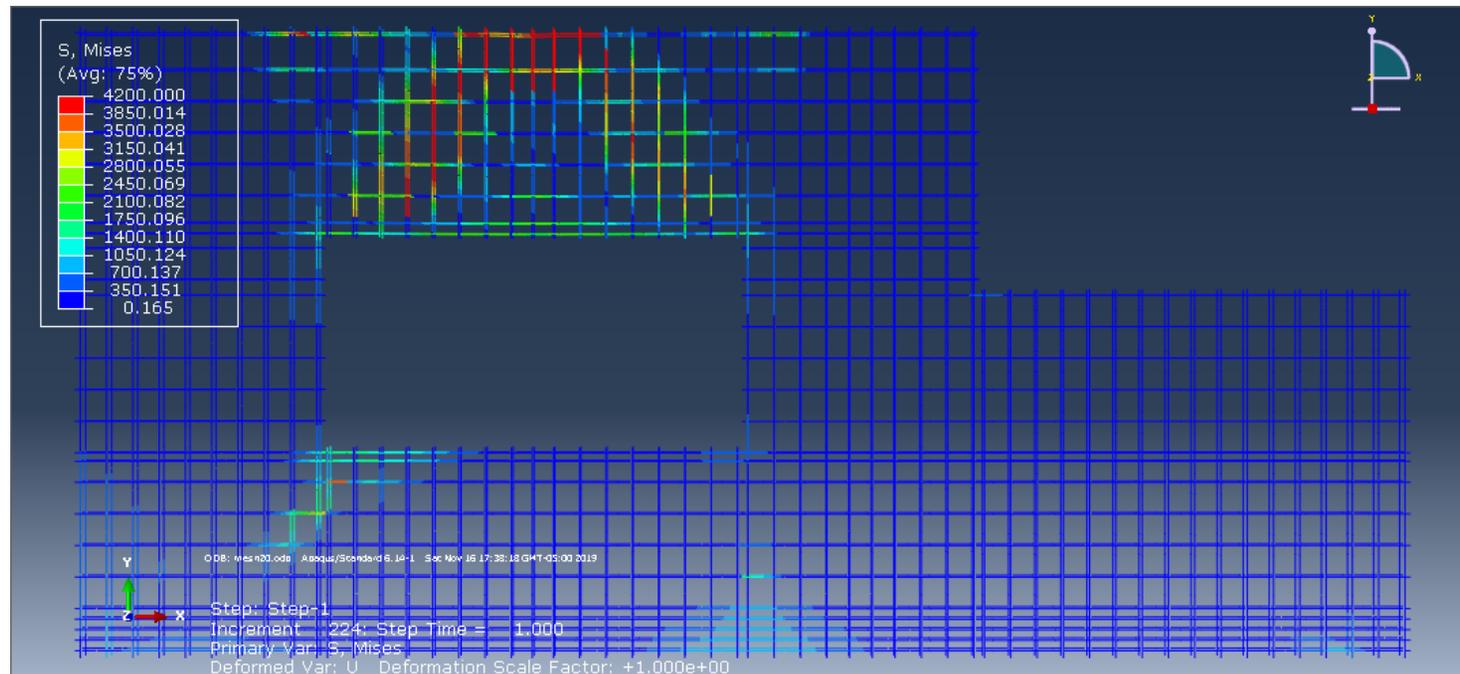


**Figura 59:** Desplazamiento de la viga de gran peralte, para un mesh de 25cm.

En esta imagen se puede apreciar que el máximo desplazamiento vertical se encuentra ubicado en la zona de la carga con -0.246cm y en el medio con -0.157cm.

#### 4.2.2. RESULTADOS PARA UN MESH DE 20CM

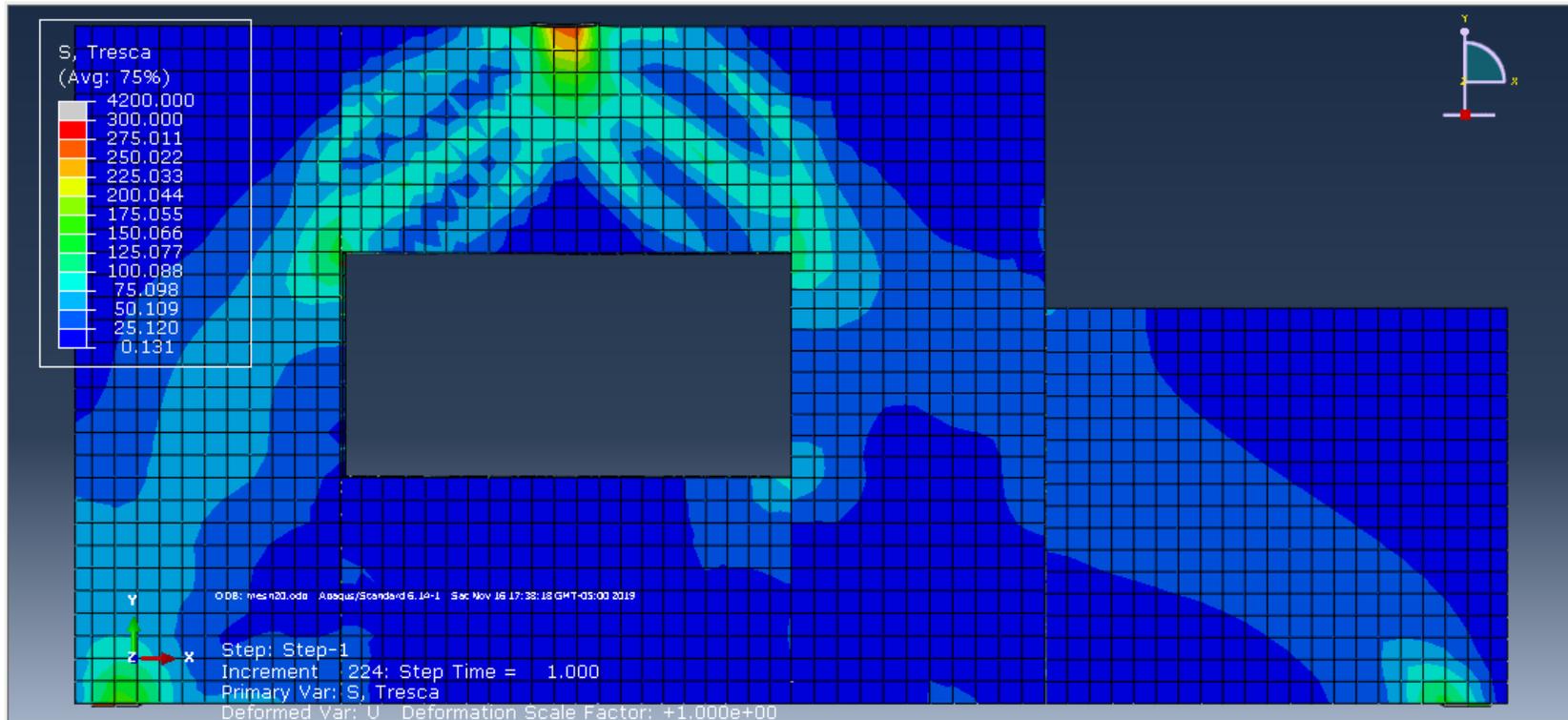
Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero utilizando la carga de diseño P.



**Figura 60:** Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero, para un mesh de 20cm.

En la siguiente figura se puede observar que en el nodo donde se aplica la carga P, la estructura ha alcanzado el máximo esfuerzo de Von Mises con un valor entre el rango de 1750 a 4200kg/cm, pero es notable que en el borde del orificio se presentan esfuerzos pequeños.

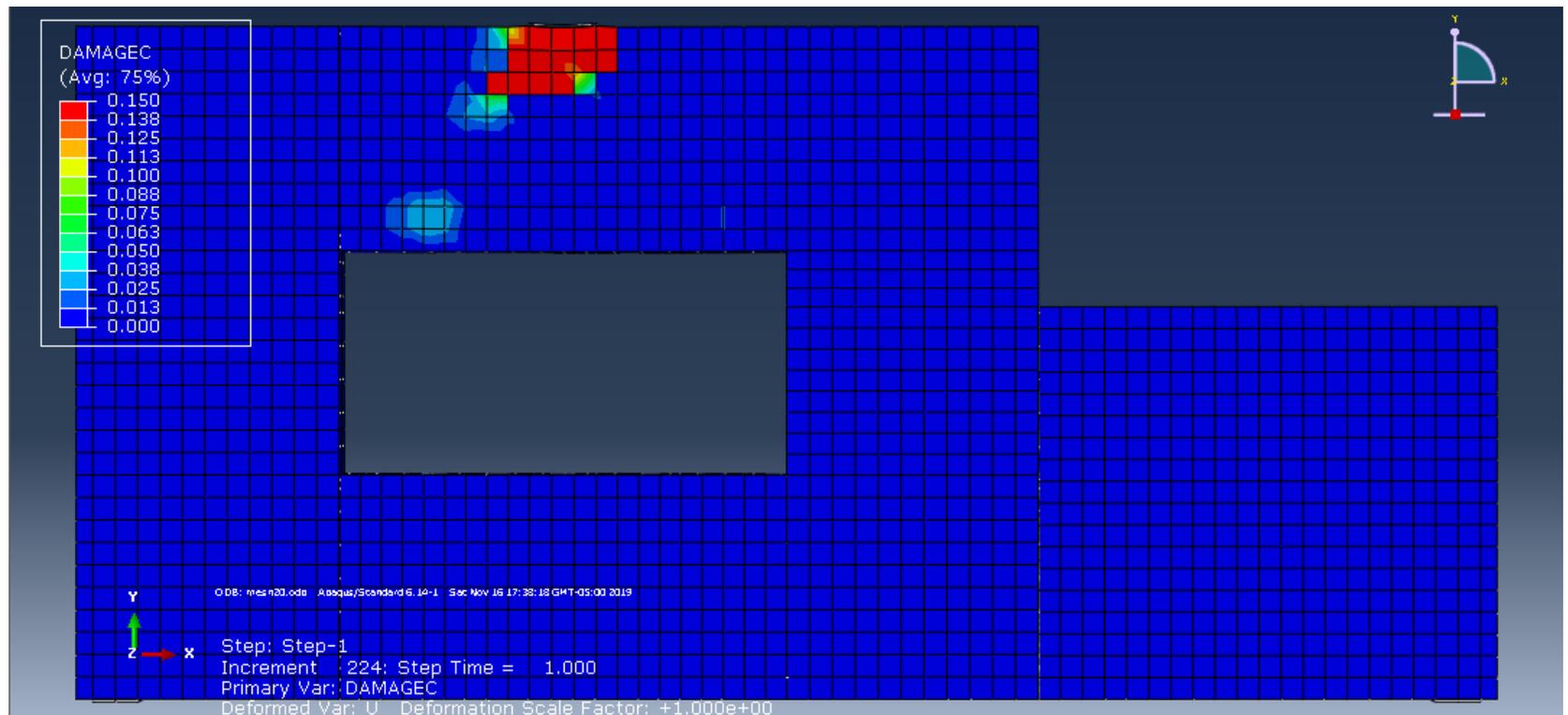
Diagrama de esfuerzos de Tresca del concreto reforzado para una carga de P.



**Figura 61:** Diagrama de esfuerzos de Tresca para el concreto, para un mesh de 20cm.

En la figura se muestra que donde se aplica la carga, el concreto alcanza un esfuerzo de 300 kg/cm<sup>2</sup> para una carga de P, de la misma forma en los apoyos presenta esfuerzos de 200 kg/cm<sup>2</sup> y al borde del orificio empezó a presentar algunos esfuerzos.

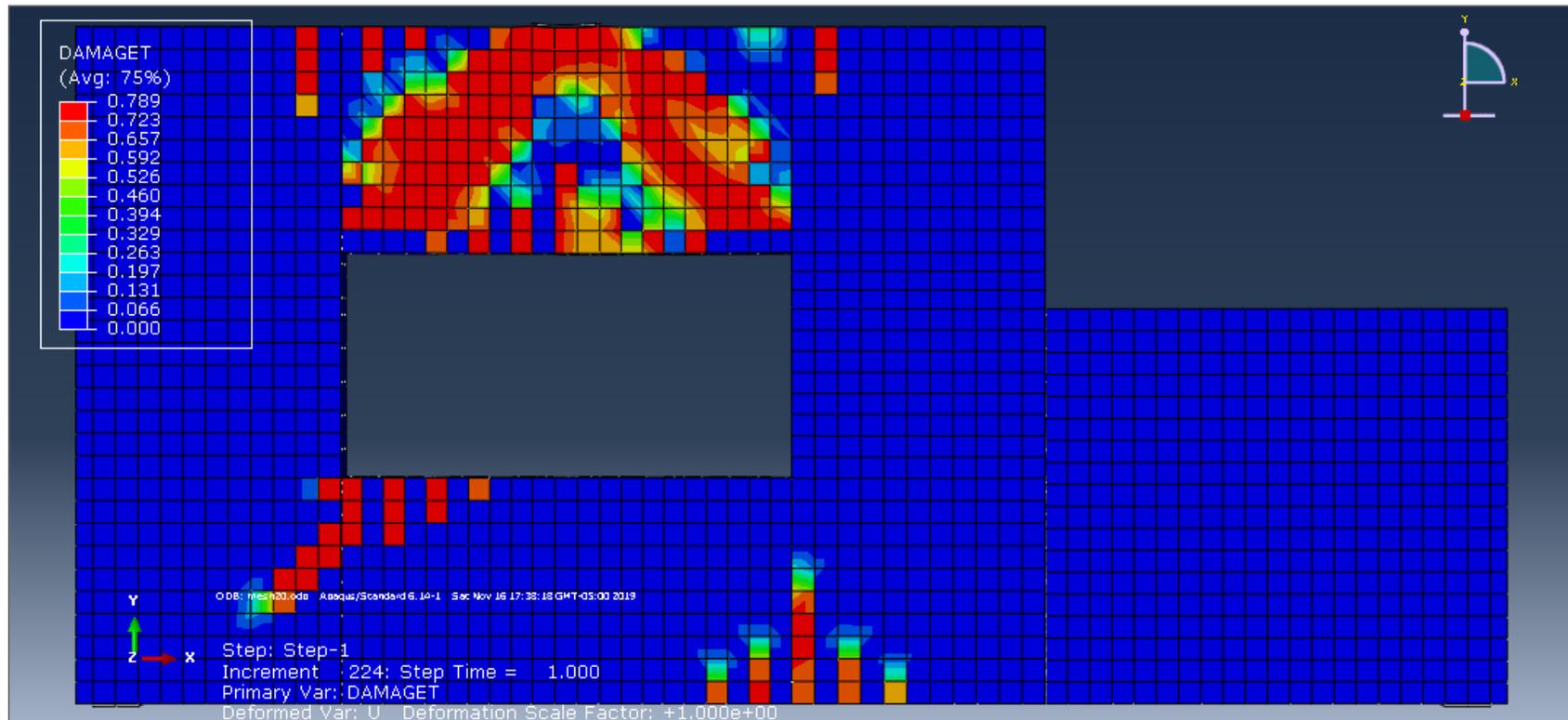
Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para una carga de P.



**Figura 62:** Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para un mesh de 20cm.

El parámetro de daño para el elemento estructural en compresión para una carga P, se ve afectado solo donde se aplica la carga, con un porcentaje de aplastamiento en el rango de 0.1 a 0.15, además de que se puede observar ligeramente un porcentaje de aplastamiento con la misma forma de los puntales hacia el orificio.

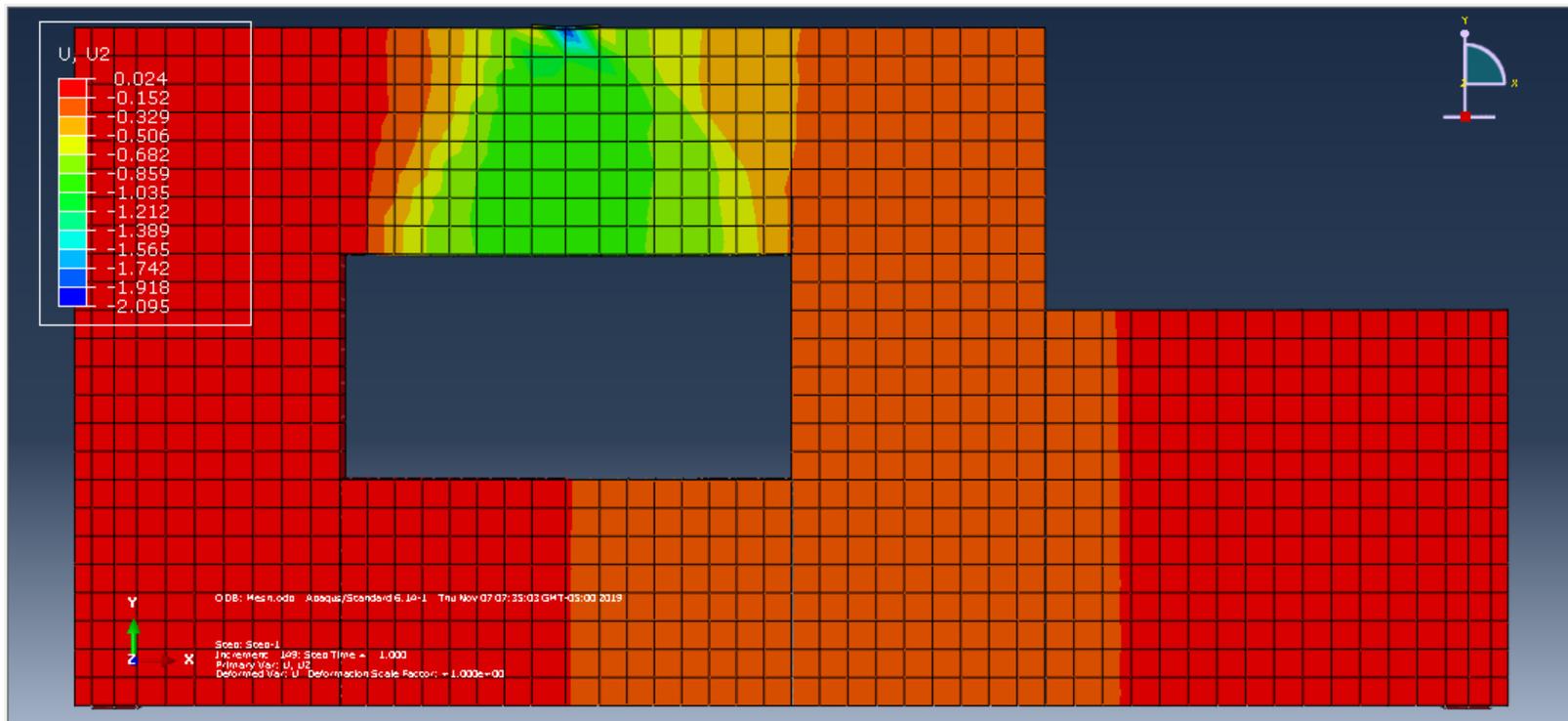
Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción para una carga de P.



**Figura 63:** Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción para un mesh de 20cm.

El elemento estructural sometido a la carga P, tiene un porcentaje de fisuras en el rango 0.526 a 0.789 solo en la zona del nodo donde se aplica la carga, esto se debe a que en la parte baja de este elemento hay un orificio aproximándose a la parte de la derecha.

Desplazamiento para una carga de P.

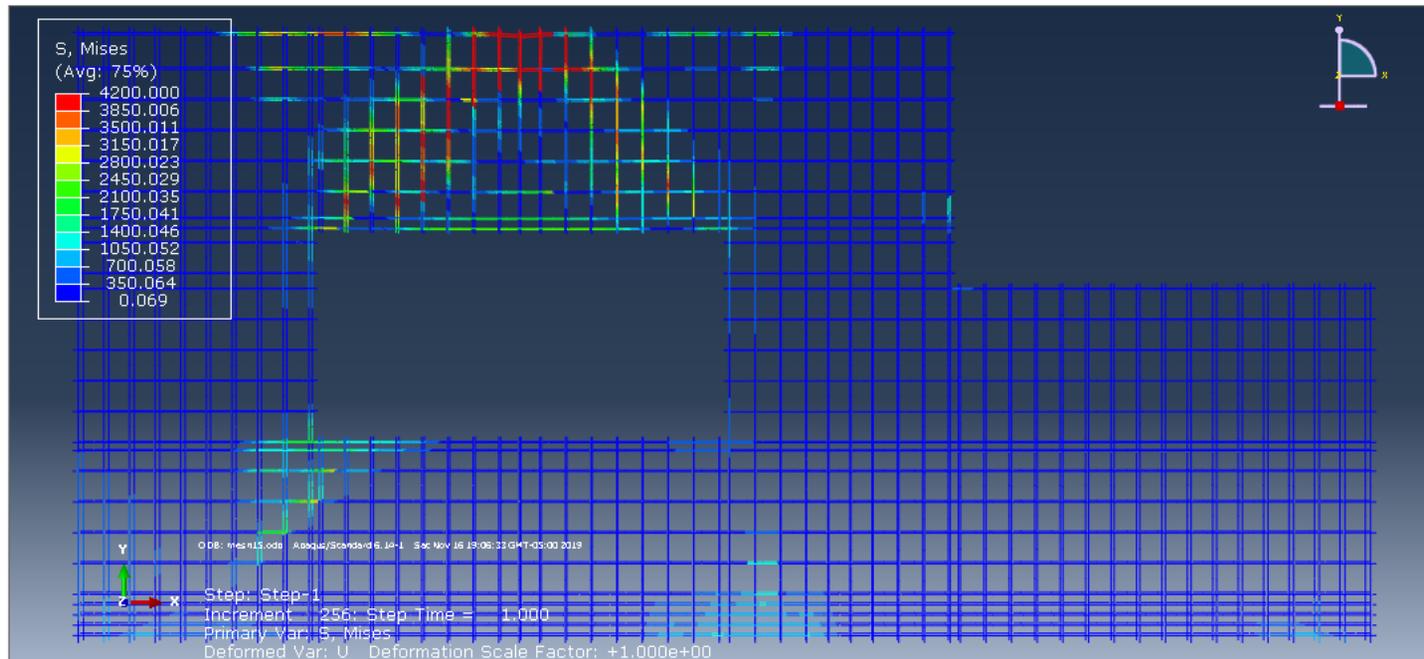


**Figura 64:** Desplazamiento de viga de gran peralte para un mesh de 20cm.

En esta imagen se puede apreciar que el máximo desplazamiento vertical se encuentra ubicado en la zona de la carga con -0.682cm y en el medio con -0.329cm.

### 4.2.3. RESULTADOS PARA UN MESH DE 15CM

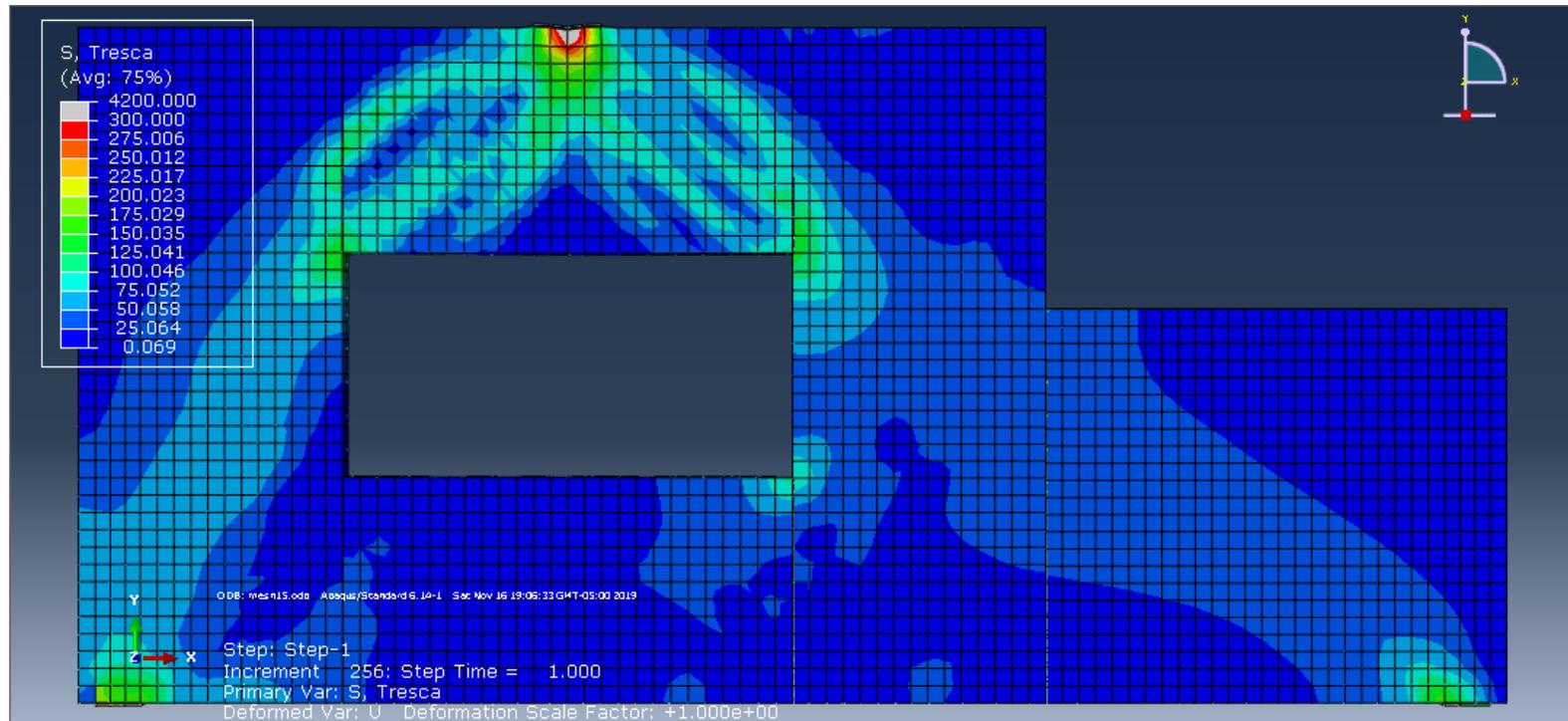
Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero utilizando la carga de diseño P.



**Figura 65:** Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero para un mesh de 15cm.

En la siguiente figura se puede observar que en el nodo donde se aplica la carga P, la estructura ha alcanzado el máximo esfuerzo de Von Mises con un valor entre el rango de 2100 a 4200kg/cm<sup>2</sup>, además de los bordes del orificio.

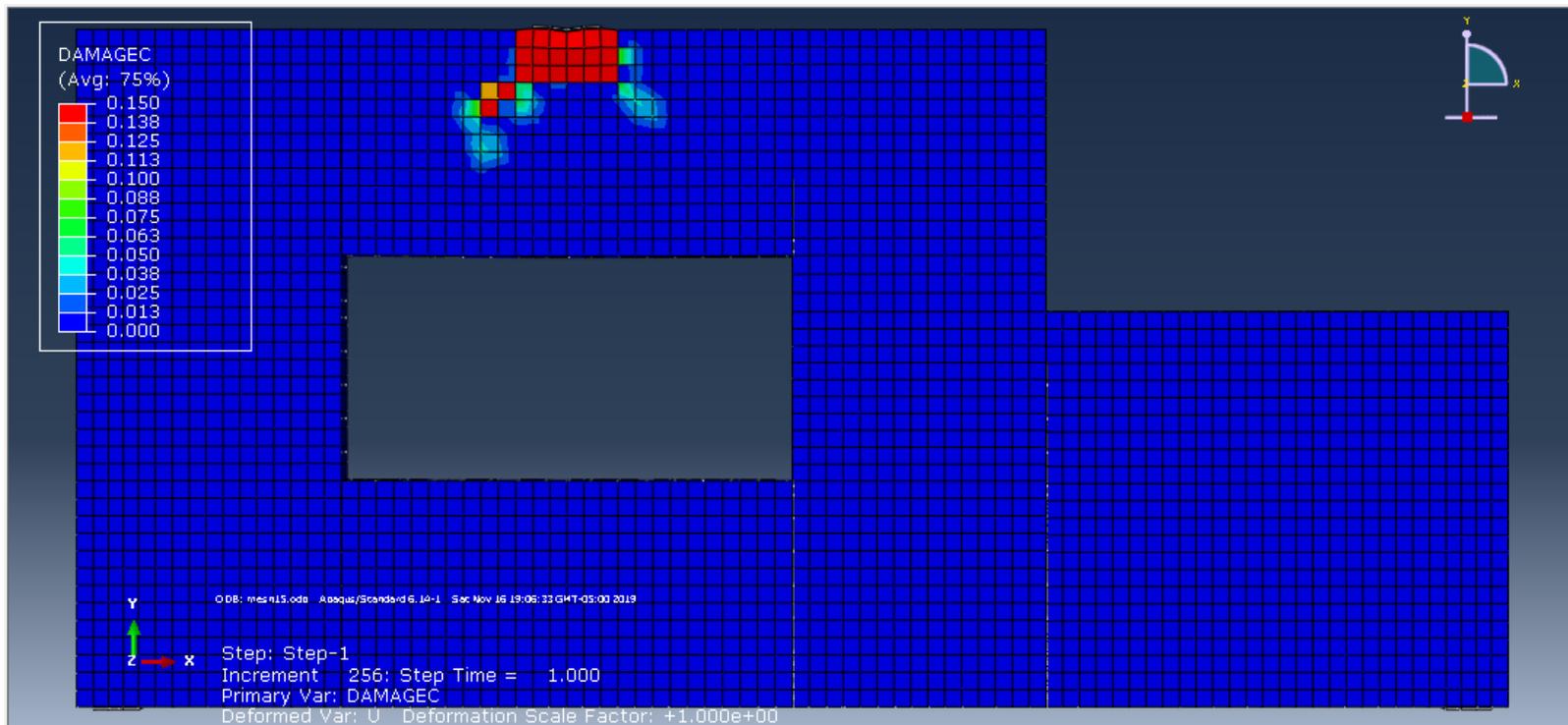
Diagrama de esfuerzos de Tresca del concreto reforzado para una carga de P.



**Figura 66:** Diagrama de esfuerzos de Tresca del concreto reforzado para un mesh de 15cm.

En la figura se muestra que donde se aplica la carga, el concreto alcanzó un esfuerzo de 300 kg/cm<sup>2</sup> para una carga de P, de la misma forma en los apoyos presenta esfuerzos de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

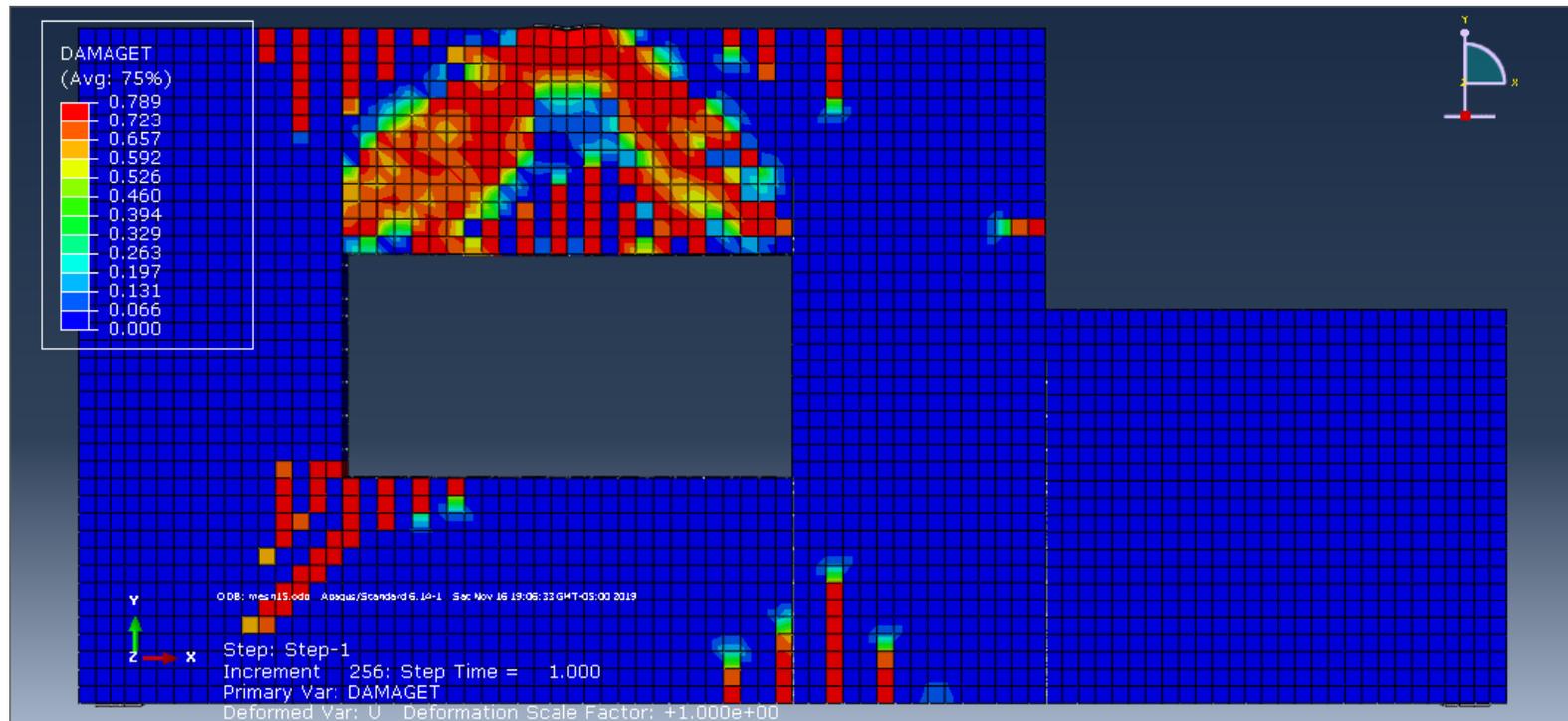
Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para una carga de P.



**Figura 67:** Porcentaje de parámetros de daño del concreto a compresión para un mesh de 15cm.

El parámetro de daño para el elemento estructural en compresión para una carga P, se ve afectado solo donde se aplica la carga, con un porcentaje de aplastamiento de 0.15.

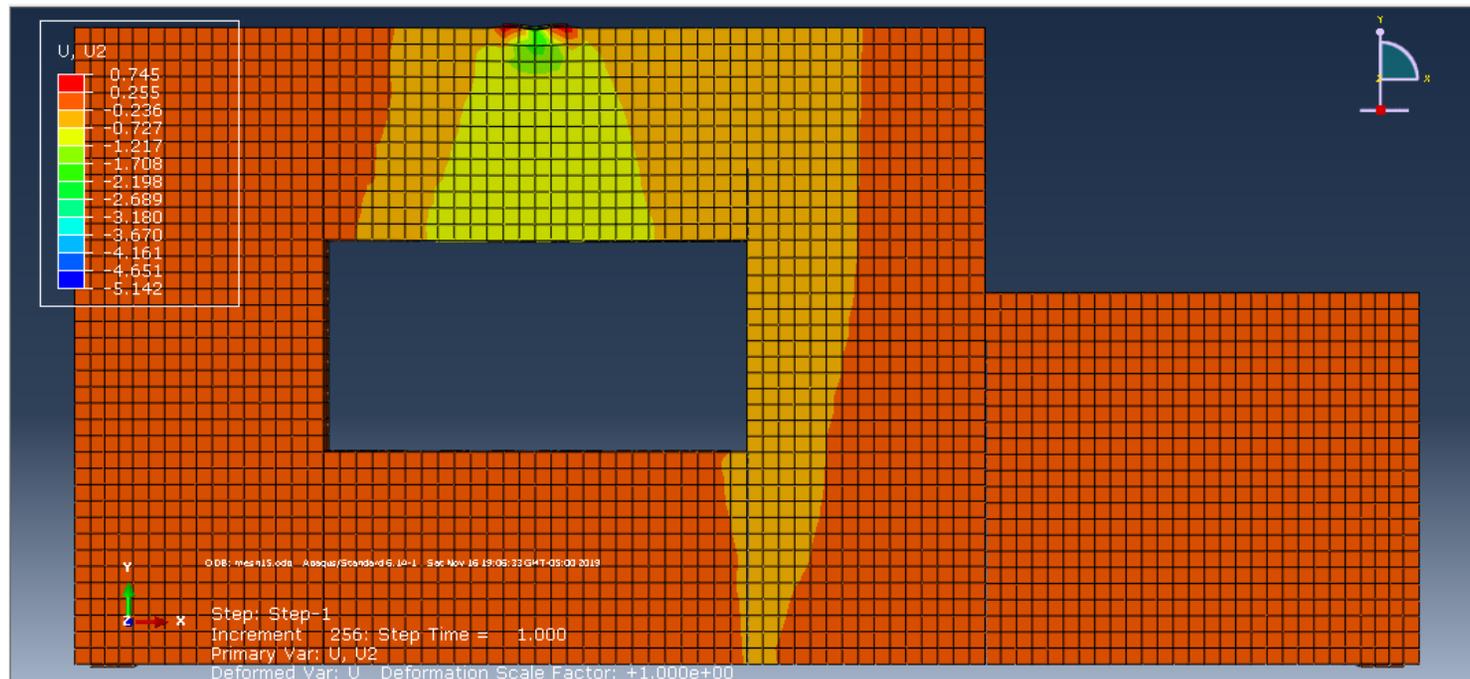
Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción para una carga de P.



**Figura 68:** Porcentaje de parámetros de daño del concreto a tracción para un mesh de 15cm.

El elemento estructural sometido a la carga P, tiene un porcentaje de fisuras en el rango 0.526 a 0.789 en toda la zona del nodo donde se aplica la carga, esto se debe a que en la parte baja de este elemento hay un orificio.

Desplazamiento para una carga de P.



**Figura 69:** Desplazamiento de una viga de gran peralte para un mesh de 15cm.

En esta imagen se puede apreciar que el máximo desplazamiento vertical se encuentra ubicado en la zona de la carga con -2.198 cm y en el medio con -0.727.

### 4.3. RESULTADOS

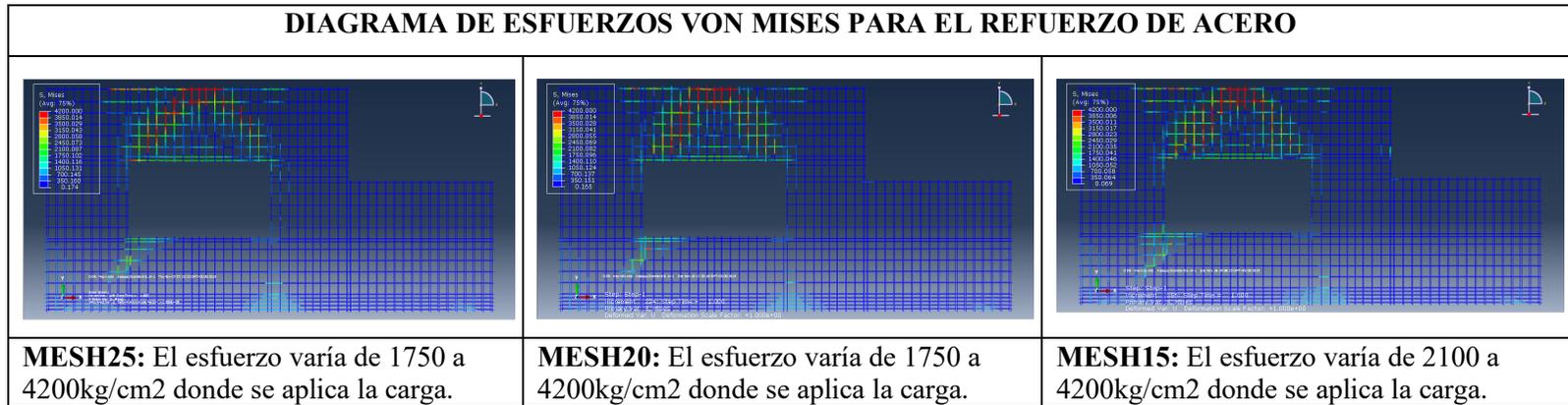


Figura 70: Diagrama de esfuerzos Von Mises para el refuerzo de acero.

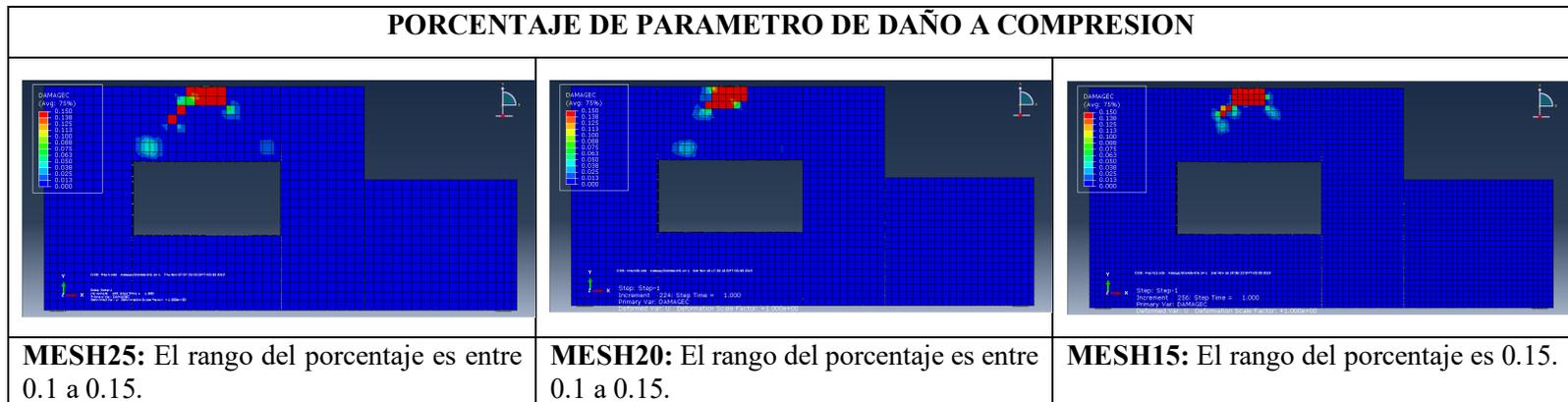


Figura 71: Porcentaje de parámetro de daño a compresión.

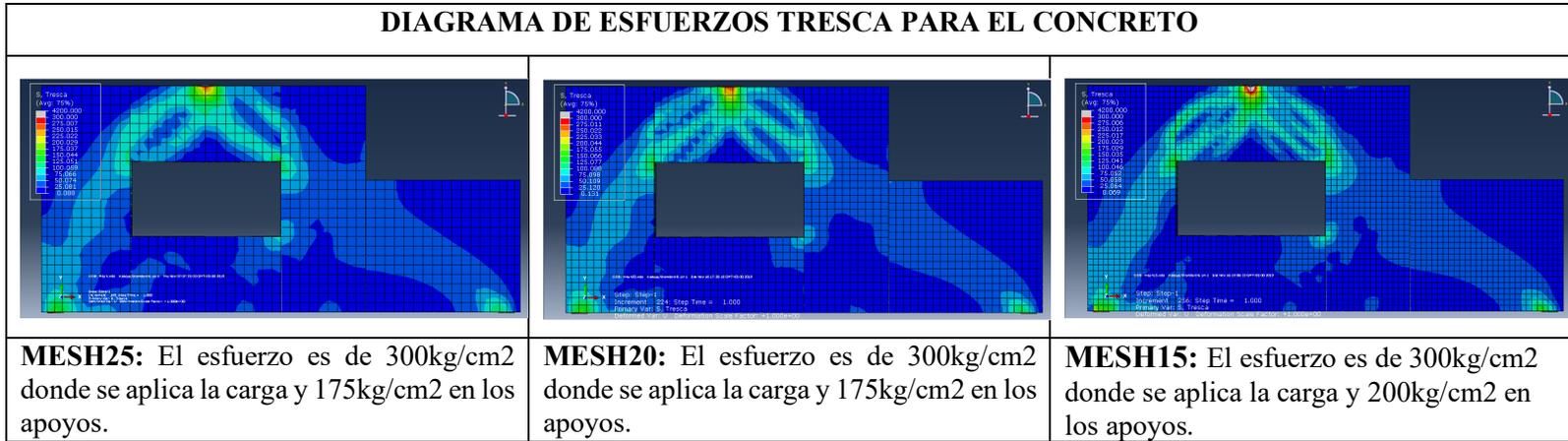


Figura 72: Diagrama de esfuerzos Tresca para el concreto.

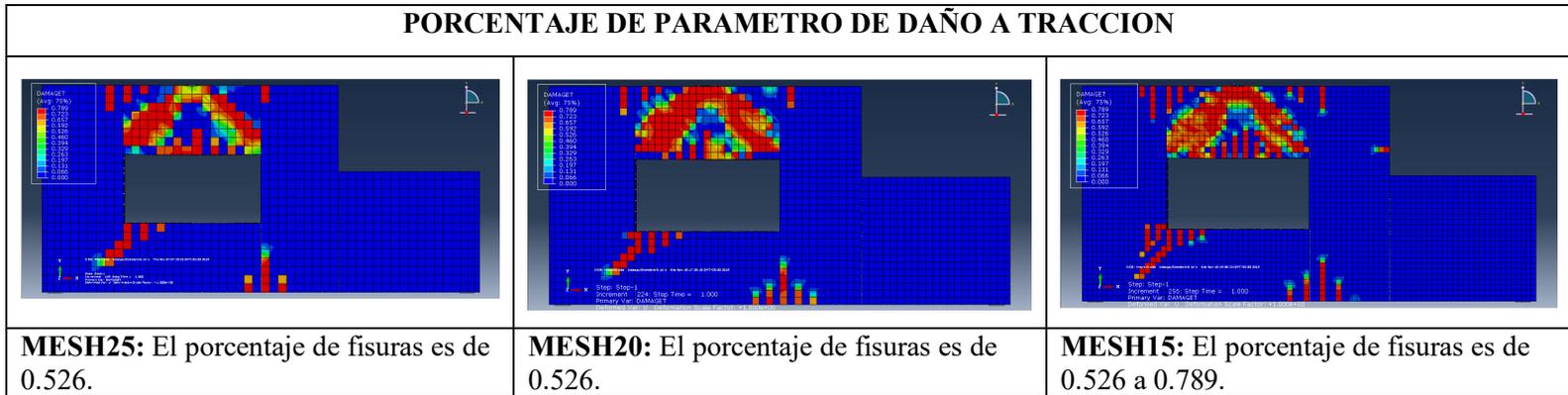


Figura 73: Porcentaje de parámetro de daño a tracción.

#### **4.4. COMPROBACION DE HIPOTESIS**

##### **4.4.1. DE LA HIPOTESIS GENERAL**

- Con estos resultados se puede comprobar que la técnica puntal-tirante es eficiente para la determinación del diseño de elementos estructurales con alto nivel de asimetría, como se pudo demostrar en la presente investigación.

##### **4.4.2. DE LAS HIPOTESIS ESPECÍFICAS**

- Con los resultados de los diagramas de Von Mises del acero de refuerzo se pudo verificar que la técnica puntal-tirante o strut and tie se comporta de manera adecuada con respecto a la distribución acero de refuerzo a través de la técnica ya mencionada.
- Se pudo demostrar de que las regiones B (teorema de Navier) y las regiones D que no cumplen este teorema, modelan adecuadamente la concentración de esfuerzos, a través de esta técnica ya que esta, identifica a cada una de estas para el diseño estructural.
- La técnica puntal tirante es la técnica más adecuada para diseño de vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría de concreto, ya que su diseño se basa en las regiones discontinuas tanto geométricas y estáticas.
- El software de elementos finitos Abaqus Cae demostró que con el diseño de la técnica puntal tirante la viga de gran peralte asimétrica tiene un buen comportamiento estructural, resistiendo la carga idealizada.

## 5. CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La aplicación de la técnica puntal tirante en una viga de gran peralte a través de esta investigación, puede afirmar que la técnica puntal-tirante es un método para el diseño de estructuras discontinuas de concreto armado, alternativo a los métodos empíricos (Norma Peruana de Concreto Armado E.060) o mediante elementos finitos que se utilizan en su resolución. El resultado de la utilización de esta técnica es la determinación de la cantidad de refuerzo de acero de la estructura de concreto armado, de tal manera que resista las cargas a la cual es sometido.
- La determinación de las Regiones D (Discontinuas), aplica a cualquier discontinuidad, tanto en geometría o tipo de carga que posea la estructura; en contraposición a métodos netamente empíricos (Norma Peruana de Concreto Armado E.060), que son válidos para magnitudes específicas. Por ello se concluye que, identificar estas regiones es vital para cualquier tipo de diseño. En el caso de esta investigación la técnica puntal-tirante se aplica a una viga de gran peralte con dos discontinuidades que se presentan frecuentemente en estructuras de concreto armado, la geométrica y la de tipo de carga, que ilustran de manera simple esta técnica para su resolución.
- La aplicación de técnica puntal tirante a una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría demanda una gran cantidad de acero de refuerzo, exactamente son 12 varillas de acero de 1 1/8", 4 varillas de 1", 4 varillas de 5/8", además de refuerzo horizontal de 1/2 @ 30cm y un refuerzo vertical de 1/2 @25cm, esto

se debe a que esta técnica considera las discontinuidades de la estructura, y la muestra estudiada es 100% discontinua, el aplastamiento ocurre en la zona donde se aplica la carga, y las fisuras se presentan en la misma dirección de los puntales.

- La verificación a través del software Abaqus Cae nos precisó el esfuerzo de Von Mises de 2100 a 4200kg/cm<sup>2</sup>, un esfuerzo de Tresca de 300kg/cm<sup>2</sup> en la zona de la carga aplicada y 200kg/cm<sup>2</sup> en los apoyos, un porcentaje de parámetro de daño a compresión o aplastamiento de 0.15, un porcentaje de parámetro de daño a tracción o fisuras en un rango de 0.526 a 0.789, y un desplazamiento de -2.198 en la zona de la carga y de -0.727 en la parte media de la viga.

## 5.2. RECOMENDACIONES O PROPUESTA

- Se recomienda a los futuros tesisistas de la escuela de Post grado de la UPT a estudiar criterios para la idealización de propuestas de armadura de la estructura de concreto armado que vayan a diseñar.
- Se recomienda al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento que incorpore más información de la técnica puntal tirante, en la norma de concreto armado E.060, además de revalidar la influencia del Teorema de Navier, en sus criterios para formular procedimientos de diseño en estructuras con discontinuidades tanto en geometría como en carga.
- Al ser la técnica puntal tirante un método cinemático, por lo mismo de que se obtienen modelos diferentes para cada caso, se recomienda estudiar a futuros tesisistas y/o investigadores, la superposición de estos casos para obtener la cantidad de refuerzo de acero para que resistan la carga solicitada, eso aplicado en estructuras simétricas y asimétricas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- America Concrete Institute. (Enero de 2002). Reglamento Estructural para edificaciones. *Codigo ACI 318*. America.
- America Concrete Institute. (Enero de 2002). Reglamento Estructural para Edificaciones. *Codigo ACI 318*. America.
- American Concrete Institute. (Enero de 2002). Reglamento Estructural para Edificaciones. *Codigo ACI 318*. America.
- Bernoulli, N. (1782).
- Expok. (s.f.). *expoknews*. Obtenido de <https://www.expoknews.com/las-ciudades-verticales-son-la-respuesta-sustentable-al-crecimiento-urbano/>
- García, G. A. (2009 de ABRIL de 2009). Modelamiento puntal tensor para muros cortos. *Modelamiento puntal tensor para muros cortos*. Chile.
- García, G. L. (17 de Julio de 2019). Comportamiento de vigas de gran peralte empleando tecnicas modernas exigiendo la norma peruana de concreto armado. *Comportamiento de vigas de gran peralte empleando tecnicas modernas exigiendo la norma peruana de concreto armado*. Tacna, Perú.
- Loayza, D. R. (2015). Resistencia probable a flexocompresion de muros estructurales de concreto armado. *Resistencia probable a flexocompresion de muros estructurales de concreto armado*.
- RNE. (2009). Reglamento Nacional de Edificaciones. Ley 27792.
- S.R.Chowdhury. (26 de Diciembre de 2014). Numerical Modelling of Reinforced Concrete Beams with Opening. *Numerical Modelling of Reinforced Concrete Beams with Opening*. C, Chittagong.
- Wikipedia. (20 de Mayo de 2017). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n\\_de\\_Von\\_Mises](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_Von_Mises)
- Wikipedia. (9 de Diciembre de 2018). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Deformaci%C3%B3n>
- Young, N. S. (Febrero de 2009). *Deep Beam Design Using Strut-Tie Model*. Korea.

**ANEXO 1**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**“DISEÑO DE VIGAS DE GRAN PERALTE CON ALTO NIVEL DE ASIMETRÍA USANDO LA TÉCNICA DEL PUNTALEO TIRANTE**

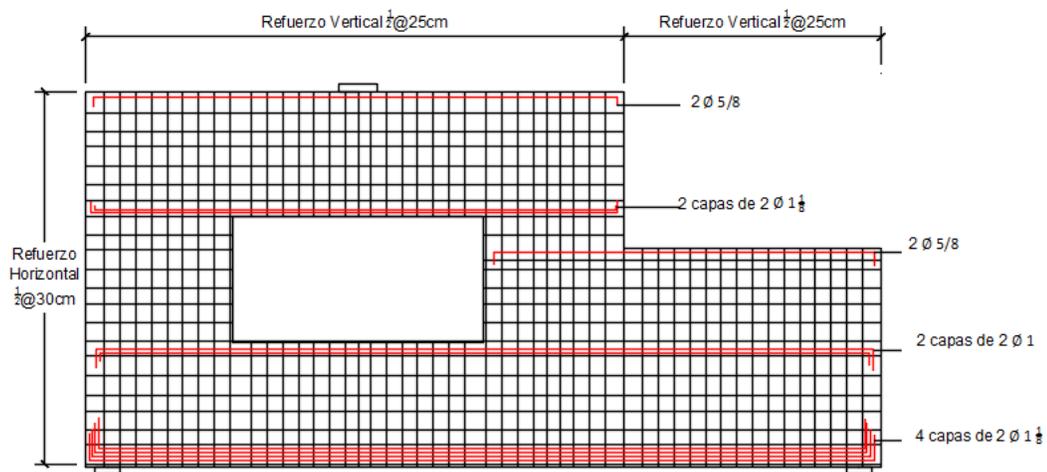
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	PROCEDIMIENTOS	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL:</b></p> <p>¿Cómo se puede determinar el diseño de una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECIFICOS:</b></p> <p>a) ¿Cómo se puede aplicar la técnica de puntal tirante en una viga de gran peralte?</p> <p>b) ¿Cómo se puede determinar las regiones B que cumplen el teorema de Navier y las regiones D que no cumplen este teorema?</p> <p>c) ¿Cómo se puede aplicar la técnica de puntal tirante en una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría?</p> <p>d) ¿Cómo se puede verificar los resultados a través del software de elementos finitos Abaqus cae?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b></p> <p>Determinar el diseño de una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría usando la técnica del puntal tirante.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS:</b></p> <p>Aplicar el procedimiento de la técnica puntal tirante en una viga de gran peralte simétrica.</p> <p>Determinar las regiones B que cumplen el teorema de Navier y las regiones D que no la cumplen.</p> <p>Aplicar la técnica de puntal tirante en una viga de gran peralte con alto nivel de asimetría e identificar la zona donde ocurre el aplastamiento y las fisuras.</p> <p>Verificar los resultados en el software de elementos finitos Abaqus Cae.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL:</b></p> <p>La técnica del puntal tirante es eficiente para la determinación de parámetros de diseño en elementos asimétricos de concreto armado.</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECÍFICO:</b></p> <p>La técnica de puntal tirante representa de manera adecuada las propiedades de las armaduras de acero de refuerzo.</p> <p>Las regiones B que cumplen el teorema de Navier y D que no la cumplen este teorema, modelan adecuadamente la concentración de esfuerzos.</p> <p>La técnica de puntal tirante es el más adecuado para diseño de vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría donde el aplastamiento ocurrirá en las zonas donde se estén aplicando las cargas, y las fisuras en la zona donde se presente la asimetría.</p> <p>El software de elementos finitos Abaqus Cae demuestra que la técnica de puntal tirante tiene un buen comportamiento.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Vigas de gran Peralte con alto nivel de asimetría de concreto armado.</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Técnica de Puntal tirante.</p>	<p>– Geometría del elemento estructural.</p> <p>– Resistencia de compresión del concreto y esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.</p> <p>– Propuesta de armadura.</p> <p>– Distribución de esfuerzos.</p> <p>– Porcentaje de parámetros de daño.</p>	<p>– Largo, ancho</p> <p>– F’c y f’<sub>y</sub>.</p> <p>–Área de acero de refuerzo.</p> <p>–Compresión y tracción.</p> <p>–Fisuras y aplastamiento.</p>	<p>-Aplicación de la norma peruana para la determinación de la geometría basada en las cargas actuantes.</p> <p>-Reconocimiento de las regiones B y D.</p> <p>-Propuesta de armadura.</p> <p>-Aplicación de cargas de servicio.</p> <p>-Cálculo de fuerzas en nodos, puntales y tirantes.</p> <p>-Cálculo de acero de refuerzo.</p>	<p><b>TIPO:</b></p> <p>Descriptiva- explicativa</p> <p><b>NIVEL:</b></p> <p>Comprensivo</p> <p><b>DISEÑO:</b></p> <p>No experimental.</p> <p><b>MÉTODO:</b></p> <p>Puntal tirante.</p> <p><b>POBLACIÓN:</b></p> <p>Vigas de gran peralte.</p> <p><b>MUESTRA:</b></p> <p>Viga de gran peralte con alto nivel de asimetría.</p> <p><b>TECNICAS:</b></p> <p>Estudios básicos</p> <p>Modelamiento en el software Abaqus Cae</p> <p>Diseño estructural.</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <p>- Software de elementos finitos Abaqus Cae.</p> <p>- Programa computacional MathCad.</p> <p><b>PROCEDIMIENTOS:</b></p> <p>Modelamiento</p> <p>Cálculos</p>

## **ANEXO 2**

### **MANUAL PARA EL EMPLEO DEL SOFTWARE ABAQUS CAE**

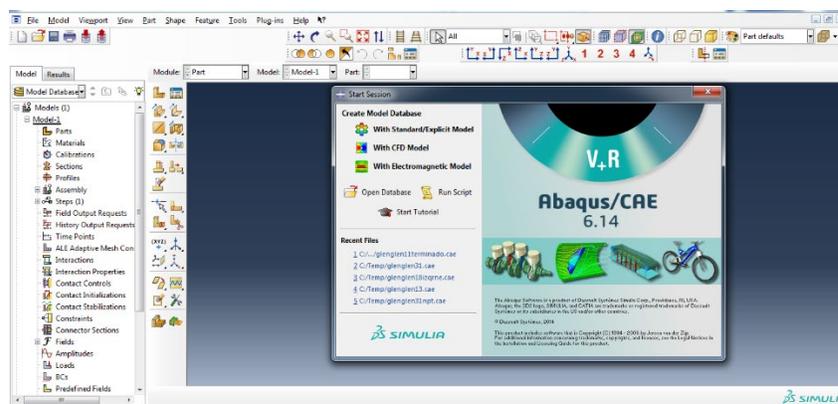
## MANUAL PARA EL EMPLEO DEL SOFTWARE

EL primer paso para obtener los resultados de nuestro modelo radica en dibujar la estructura, entonces para ello empezaremos teniendo el resultado final de nuestro diseño según la técnica puntal tirante como se muestra en la figura.



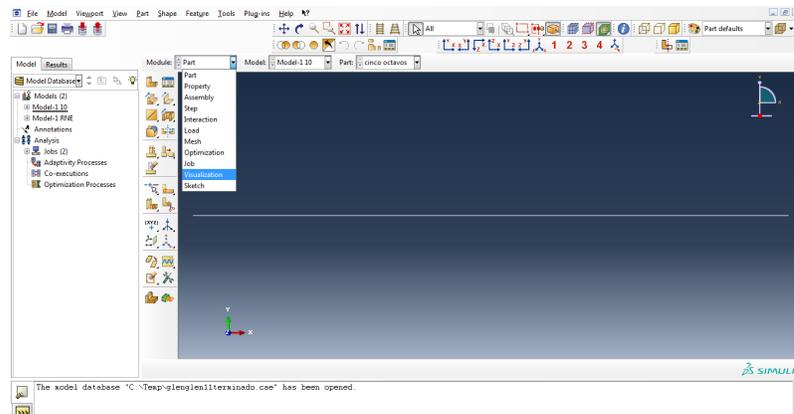
**Figura 74:** Armadura de viga de gran peralte con alto nivel de asimetría.

Al ingresar al software de elementos finitos ABAQUS CAE, se elegirá la opción “With Standard / Explicit Model”. Para empezar un nuevo documento.



**Figura 75:** Software Abaqus Cae.

En “Módulo” se tiene la opción para elegir el ingreso de datos, como lo son: Part-Property – Assembly – StepInteraction – Load – Mesh - Optimization- Job – Visualization - Sketch. Siguiendo estos módulos/items se podrá construir un modelo paso a paso.

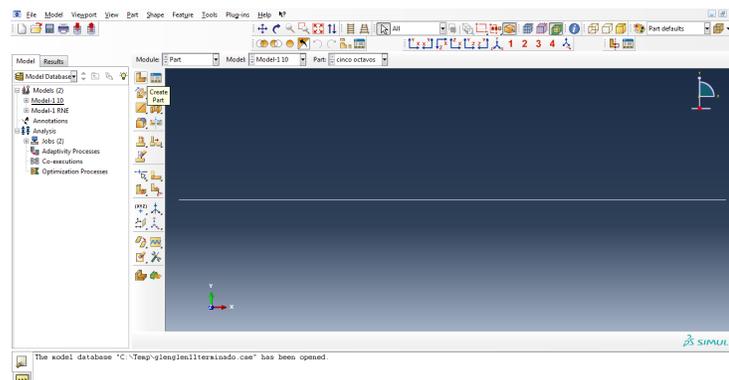


**Figura 76:** Software Abaqus Cae.

## MODELADO ELÁSTICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

### PASO 1 “PART”

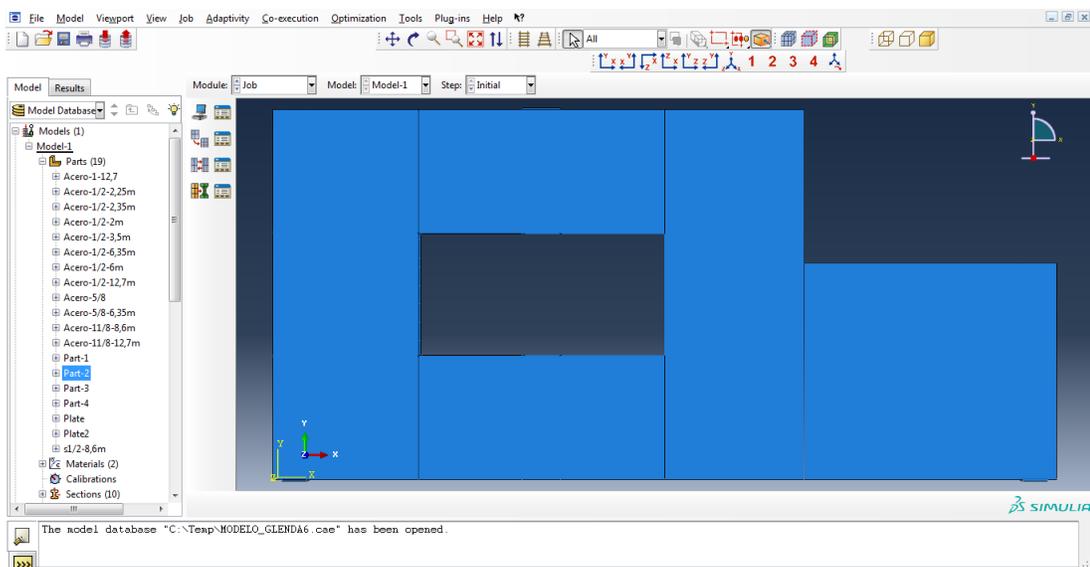
En este paso se define la geometría del modelo. Para el Concreto, hacer clic en "Create part" en la barra de herramientas. De esta forma crearemos nuestra sección.



**Figura 77:** Software Abaqus Cae.

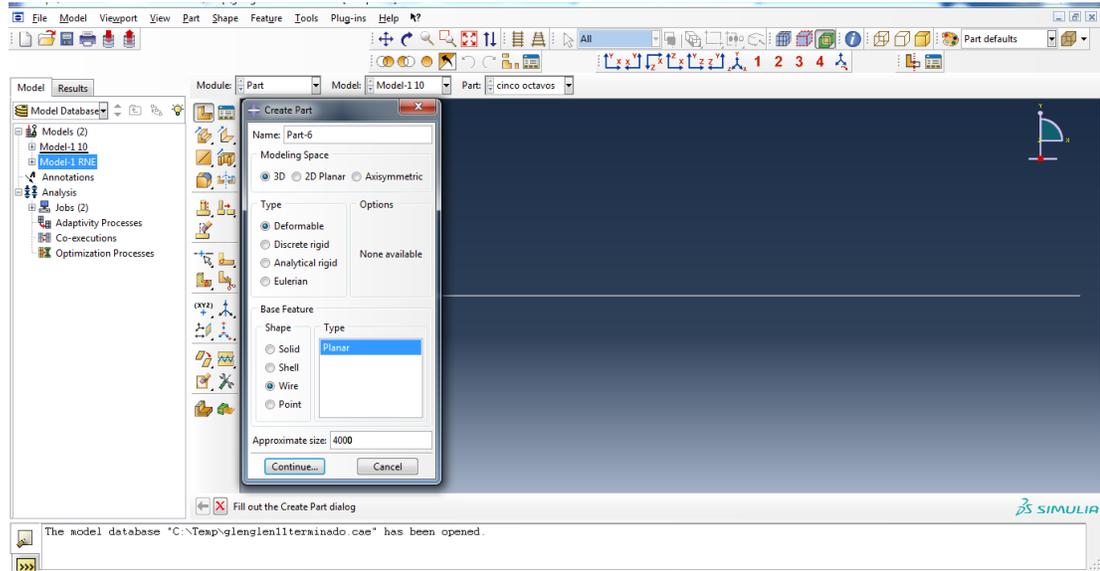
Para poder dibujar la geometría del modelo a estudiar, hacer clic en “CREATE RECTANGLE” de la barra de herramientas e ingresar las coordenadas del punto de

inicio en el indicador, luego el de las coordenadas de la esquina opuesta. A continuación, hacer clic en escapar. La unidad que utilizamos para la geometría en las unidades de cm. Es bueno aclarar de que en este software no hay una sección o una barra de herramientas para ingresar las unidades, en este se procede a ingresar todos los datos en una misma unidad. Se deberá tener en cuenta que depende mucho de la geometría de la estructura a modelar para tener las consideraciones al dibujar, en este caso se dividió la estructura en 5 partes como se puede ver en la siguiente imagen.



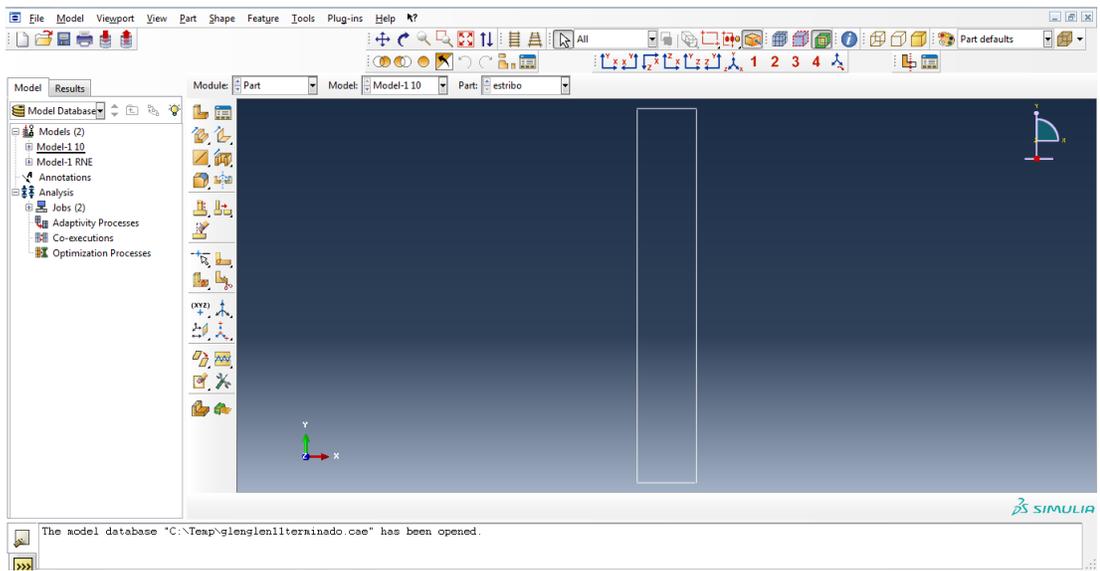
**Figura 78:** Software Abaqus Cae.

Definir la geometría para las barras de acero, para ello hacer clic en "Create part", nombrando la pieza como el grosor del acero de refuerzo, verificando la adecuada parámetros (3D WIRE STRUCTURE-PLANAR), y luego presionando "Continuar". Hacer clic en 'Crear Línea 'en la barra de herramientas e ingrese las coordenadas del punto de inicio en la región de solicitud. Repita el mismo proceso para definir las demás barras.



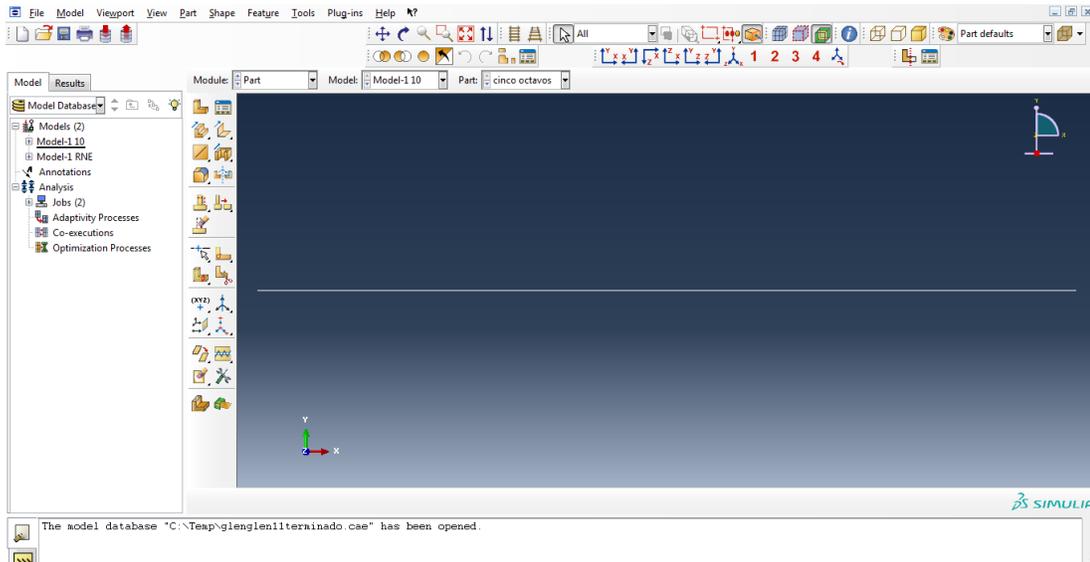
**Figura 79:** Software Abaqus Cae.

Para Graficar el estribo, en este se detalla las dimensiones respectivas que salieron en el diseño de cada técnica puntal tirante.



**Figura 80:** Software Abaqus Cae.

De la misma forma se creará para la barra demás, con la longitud indicada anteriormente en el diseño.



**Figura 81:** Software Abaqus Cae.

La placa que servirá para la representación de los apoyos, para que su representación sea real.

## **PASO 2 “PROPERTY”**

En este paso se define la propiedad del material y la sección. Hacer clic en “CREATE MATERIAL”, para crear un formulario y proceder a asignarle un nombre. (concreto-elástico). Luego hacer clic en MECHANICAL-ELASTICITY-ELASTIC para ingresar el módulo de Young y el módulo de Poisson del concreto.

PARA EL CONCRETO

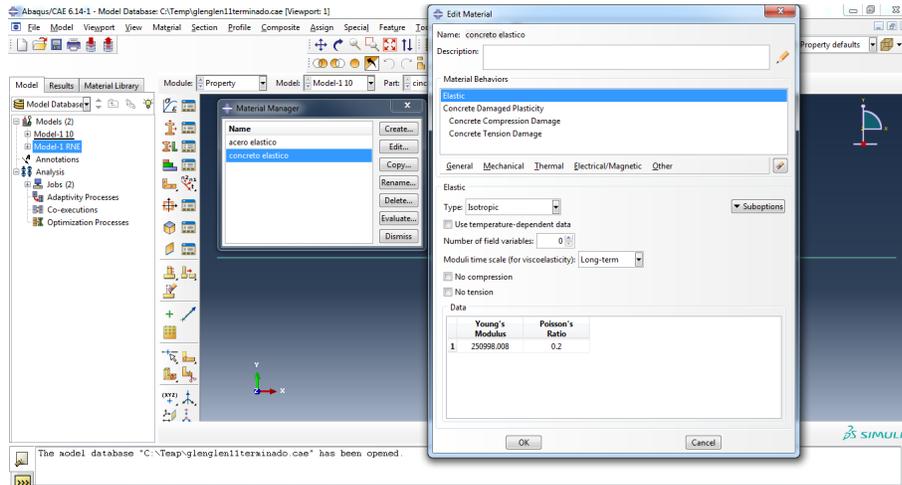


Figura 82: Software Abaqus Cae.

PARA EL ACERO

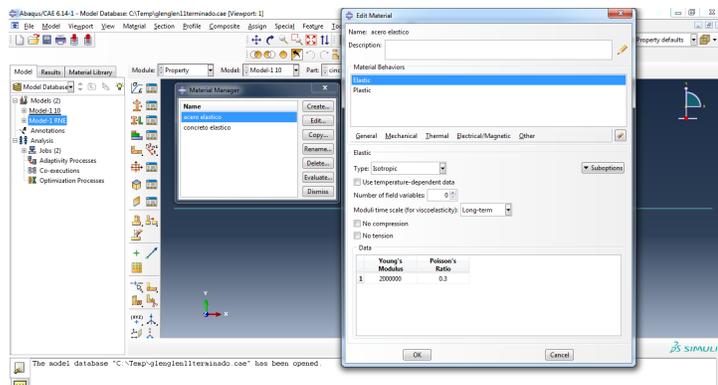


Figura 83: Software Abaqus Cae.

Luego hacer clic en "ASSIGN SECTION", seleccionar (resalte) la parte y presione "Listo", luego asigne la sección específica de cada parte.

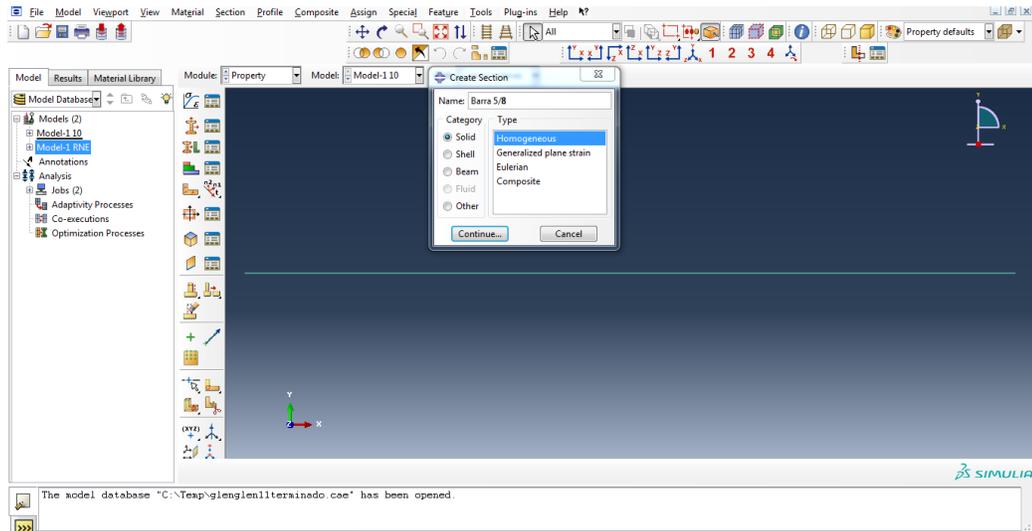


Figura 84: Software Abaqus Cae.

Luego definir sección para barra de concreto y acero. Hacer clic en "Create section", puede dar un nombre como "CONCRETO" y luego elegir "SOLID HOMOGENEOUS", presionar "continuar" y seleccionar el material como "concreto-elástico" y presionando "OK".

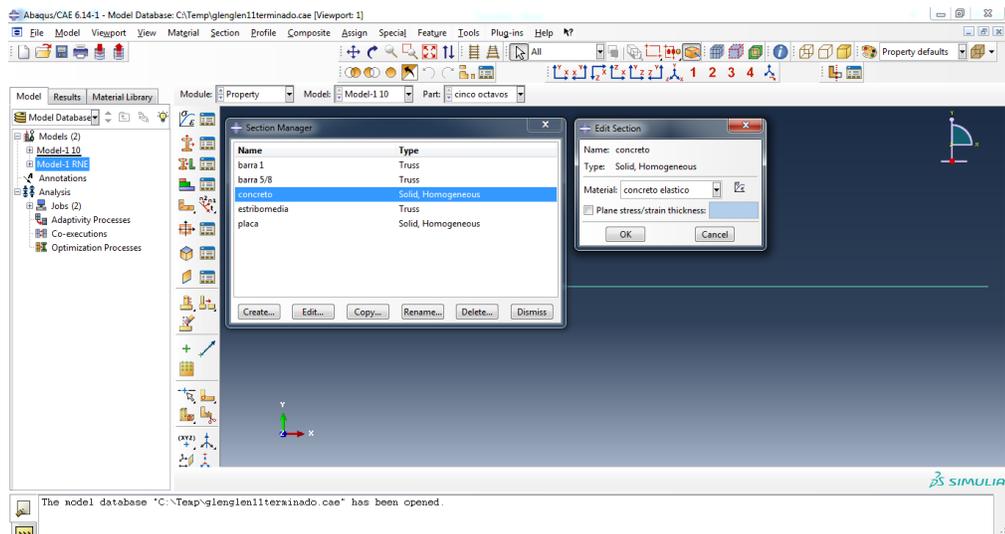
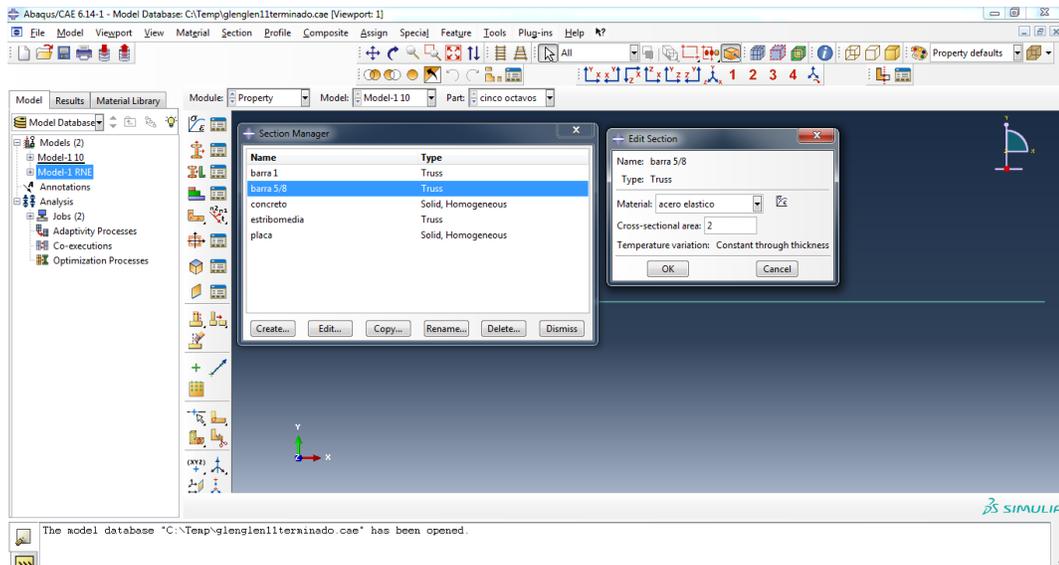


Figura 85: Software Abaqus Cae.

Para definir la sección de la barra, haga clic en “CREATE SECTION”, en él se puede dar un nombre como “BARRA XX” y luego elija “HAZ-TRUSS”, presionando “continuar” y seleccionando material como "acero elástico" e ingresar el área de sección de la barra de acero de refuerzo.



**Figura 86:** Software Abaqus Cae.

Ingrese el área de sección de la barra, este paso se repite para cada barra que se ocupara en la estructura.

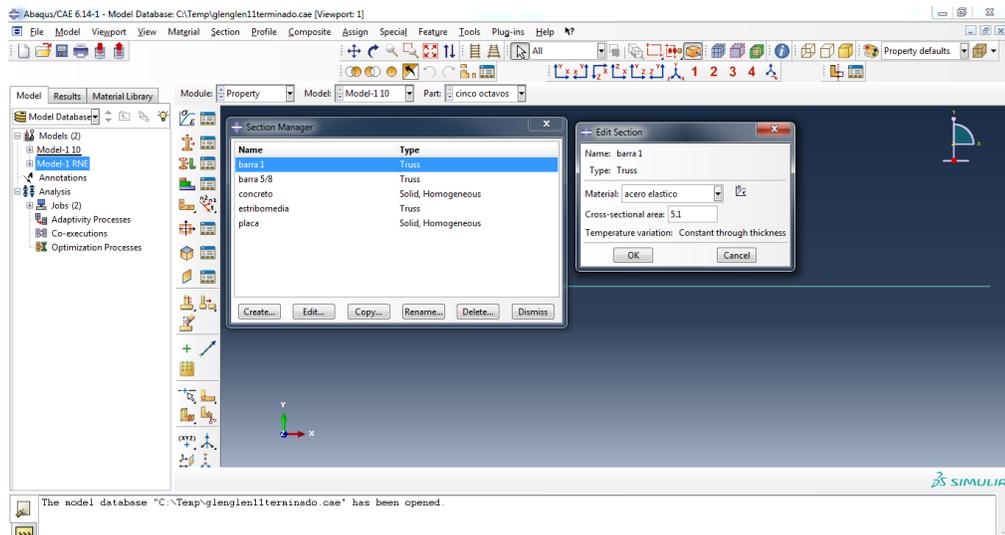


Figura 87: Software Abaqus Cae.

Ingresar la placa como material de acero.

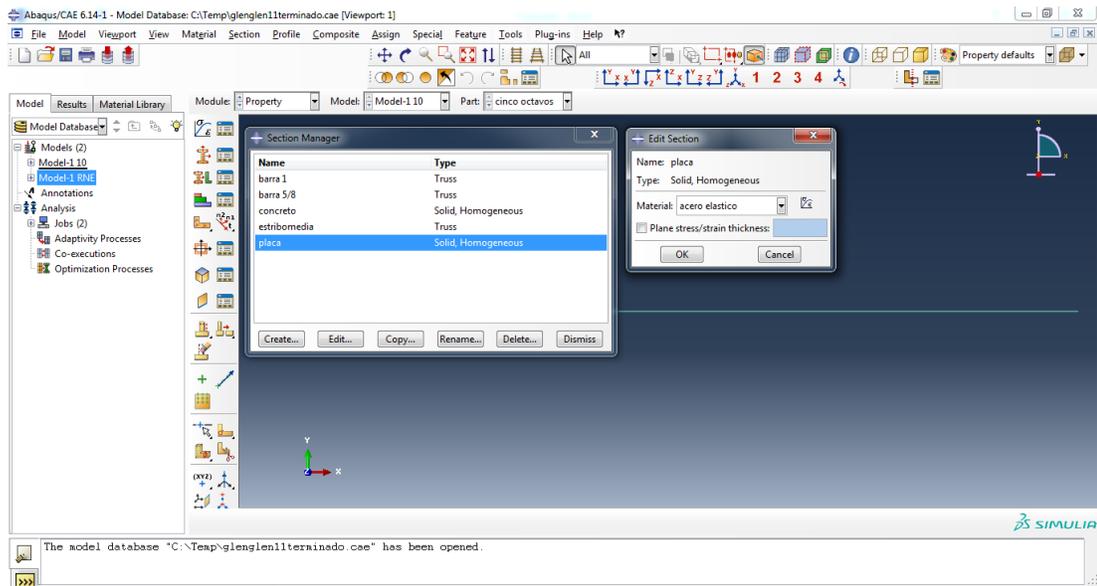


Figura 88: Software Abaqus Cae.

### PASO 3 “ASSEMBLY”

En este paso se arma diferentes partes de la instancia. Haga clic en "CREATE INSTANCE", posteriormente "INSTANCE PART", seleccionar "concreto" y presionar "OK". Al terminar el montaje de la pieza de concreto. Hacer clic en "INSTANCE PART" y seleccione "barra", presionar "OK".

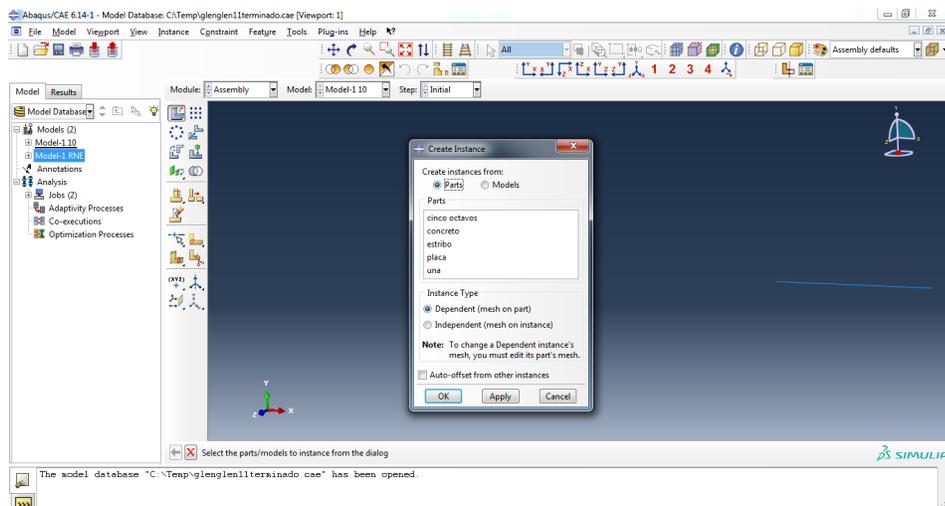


Figura 89: Software Abaqus Cae.

Se aprecia la sección de concreto de la viga asimétrica de gran peralte, cuyas dimensiones son 30 cm de espesor.

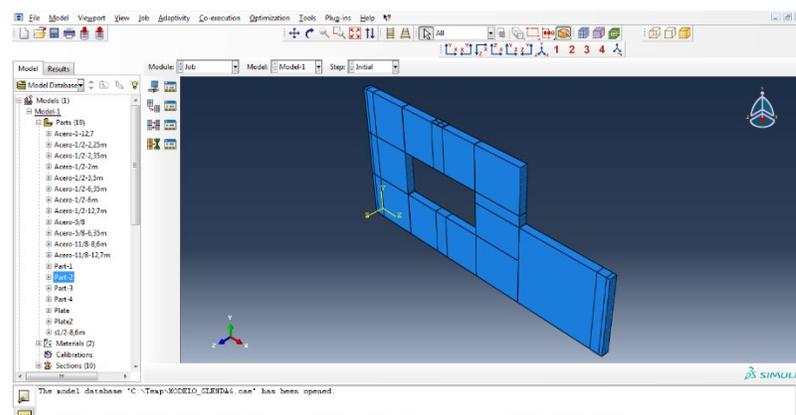


Figura 90: Software Abaqus Cae.

De esta forma se ensambla la viga, insertando el acero correspondiente a cada diseño.

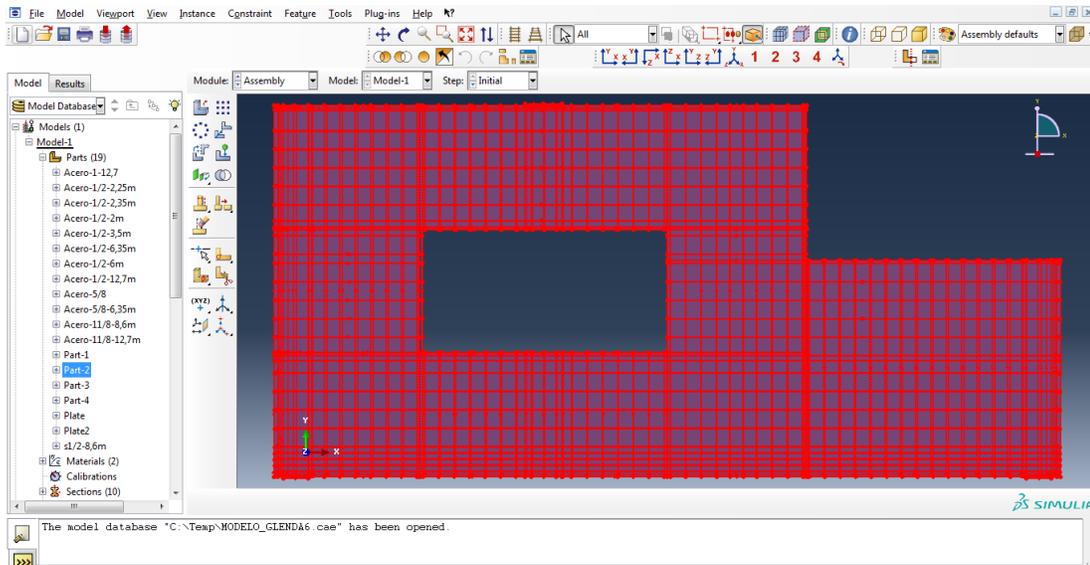


Figura 91: Software Abaqus Cae.

#### PASO 4 “STEP”

En este paso se crea un nuevo paso de análisis. Hacer clic en “CREATE STEP - ESTATIC, GENERAL” y presione “continuar”, en “Editar Paso Forma-Básico”.

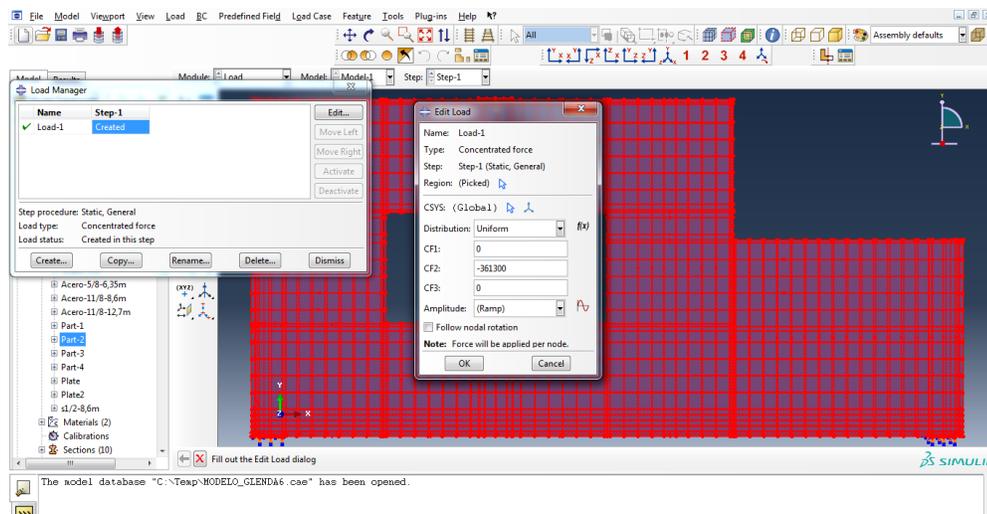


Figura 92: Software Abaqus Cae.

Activar “NIGEOM” para considerar lo geométrico no lineal. Luego haga clic en “Incrementación” y cambie “número máximo de incrementos” como 10000, tamaño Increment “inicial” como 0.01, "Mínimo" como  $1e-015$ , y "máximo" como 0.1, para que el programa no se detendrá debido al problema de tamaño incremental. Presiona “OK” para terminar el paso.

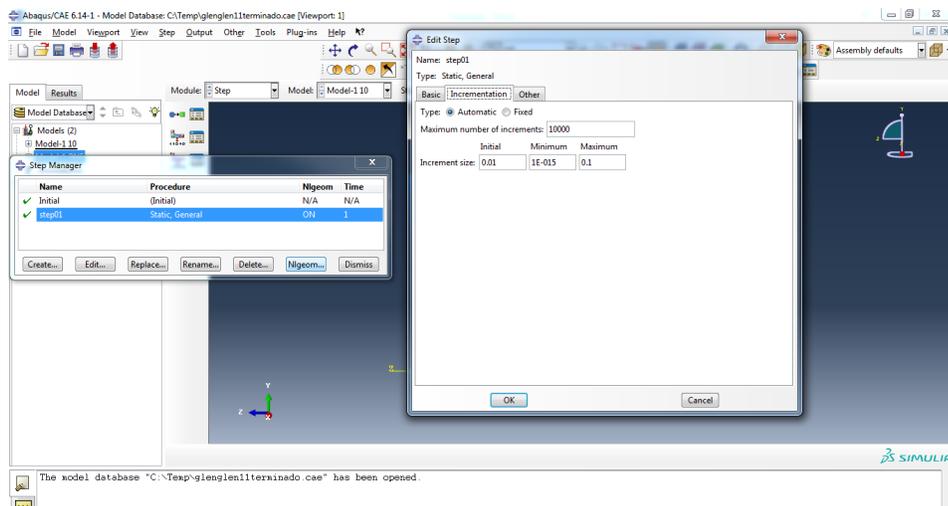


Figura 93: Software Abaqus Cae.

## PASO 5 “INTERACTION”

En este paso definiremos la interacción entre barras de acero y el concreto. Las barras de acero se incrustan en el concreto para permitir que estas dos partes trabajen juntas (Assembly – instances - concrete-1 – suppress). Hacer clic “CREATE CONSTRAINT” y seleccione “EMBEDDED REGIÓN” y presione “Continuar” vera seleccione la región incrustada en la región.

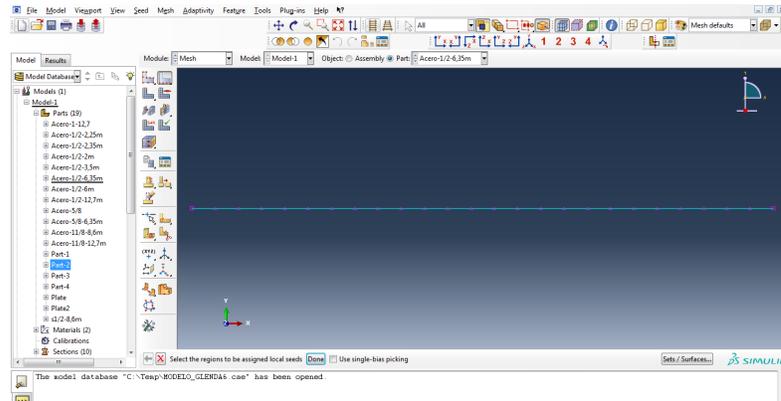


Figura 94: Software Abaqus Cae.

## PASO 6 “BOUNDARY CONDITION AND LOAD”

En este paso definimos las condiciones de contorno y la carga. Primero definiremos la condición de límite "simplemente apoyada". Hacer clic en “Crear condición” de contorno, y elija “paso inicial” y “Mecánica de desplazamiento / rotación”. Luego seleccione el borde del extremo izquierdo del concreto como el límite región de condición y restricción U1, U2, U3 para modelar una condición de bisagra. Repita el mismo proceso para definir la condición del rodillo en el extremo derecho. Solo moderación U2, U3 y dejar U1 y Rotaciones.

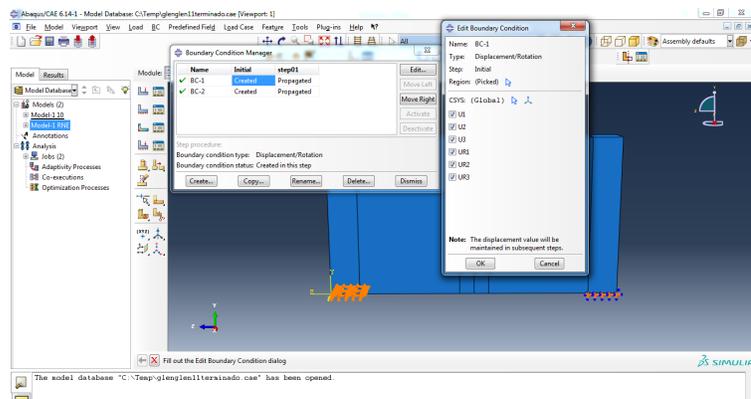


Figura 95: Software Abaqus Cae.

De ambos apoyos se hizo lo mismo.

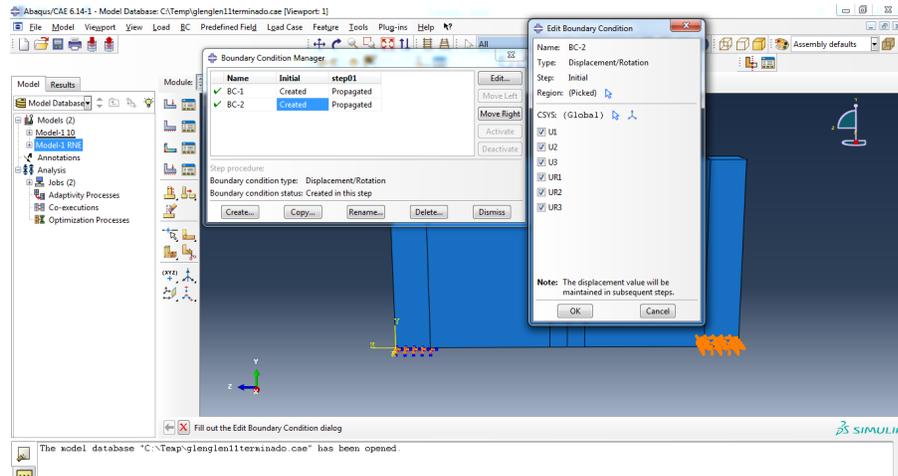


Figura 96: Software Abaqus Cae.

En este software se inserta la carga última, ya que se cuenta con una opción de ver su comportamiento en cualquier rango de carga insertada, como la de servicio, para ver los desplazamientos y demás rangos.

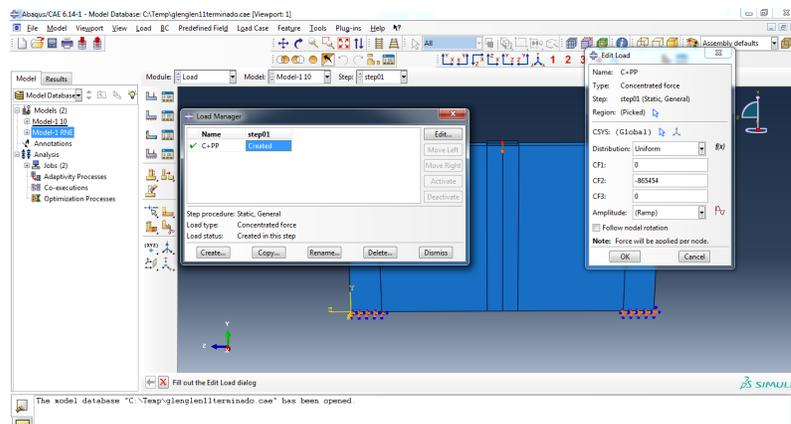


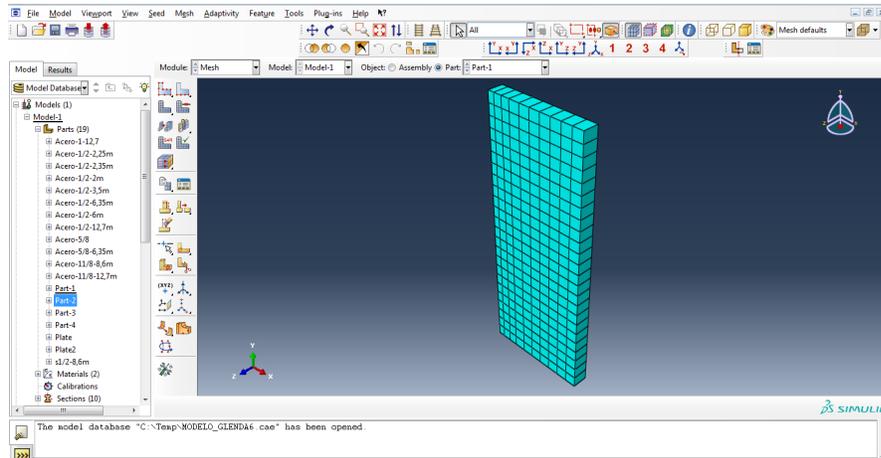
Figura 97: Software Abaqus Cae.

## PASO 7 “MESH”

En este paso, unimos el modelo, se divide cada miembro en elementos y definimos tipos de elementos, primero sembraremos parte diferente. Seleccione “Parte” y haga clic en “SEED-EDGE” en el menú superior. Luego seleccione la región para asignar

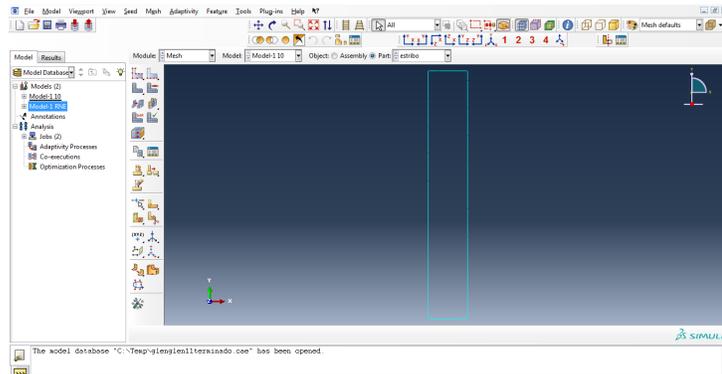
las secciones locales y presione “Hecho” e ingrese el tamaño aproximado del elemento como 10. Eso significa que el tamaño del elemento será aproximadamente 10 cm para la parte de concreto. Utilizar De la misma manera para sembrar barras de acero.

## CONCRETO



**Figura 98:** Software Abaqus Cae.

Aplicamos el Mesh en cada parte creada, como el acero, todas las partes tienen un Mesh de 10cm, se optó por este tamaño ya que al ser más pequeños, los resultados son más exactos. El Mesh fue aplicado en el estribo con un tamaño de 10cm de igual forma que las demás partes.



**Figura 99:** Software Abaqus Cae.

De la misma forma con la placa.

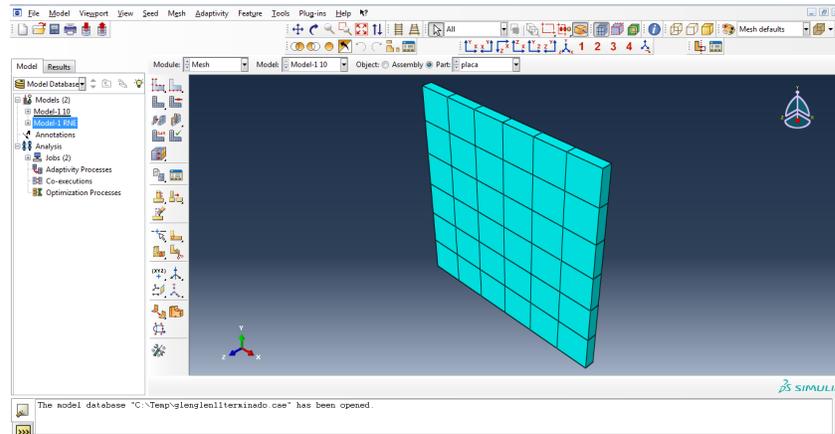


Figura 100: Software Abaqus Cae.

## PASO 8 “JOB”

En este paso crearemos un nuevo trabajo de análisis y lo enviaremos. Haga clic en "Crear nuevo trabajo" en la barra de herramientas, asígnele el nombre como "**RC BEAM**", presione "continuar" y "**OK**". Ahora haga clic en “Administrador de trabajos” y verá el trabajo en la lista, luego haga clic en “enviar” para enviar el trabajo de análisis. Cuando el "Estado" muestra "completado" que significa que el análisis ha sido terminado. Luego haga clic en “Resultados” que irá automáticamente a la sección “Visualizaciones”, donde puede consultar los resultados.

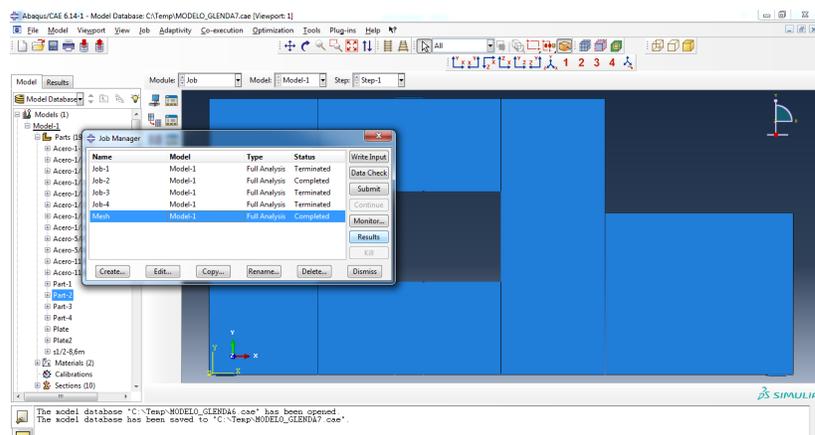


Figura 101: Software Abaqus Cae.

## PASO 9 “VISUALIZATION”

En esta visualización se comprueban los resultados del análisis. Por ejemplo, clic en “Plotear forma deformada” en la barra de herramientas para ver la deformación, haga clic en trazar contornos en forma deformada en la barra de herramientas para ver la tensión contornos, donde la tensión positiva significa tensión y la tensión negativa significa compresión.

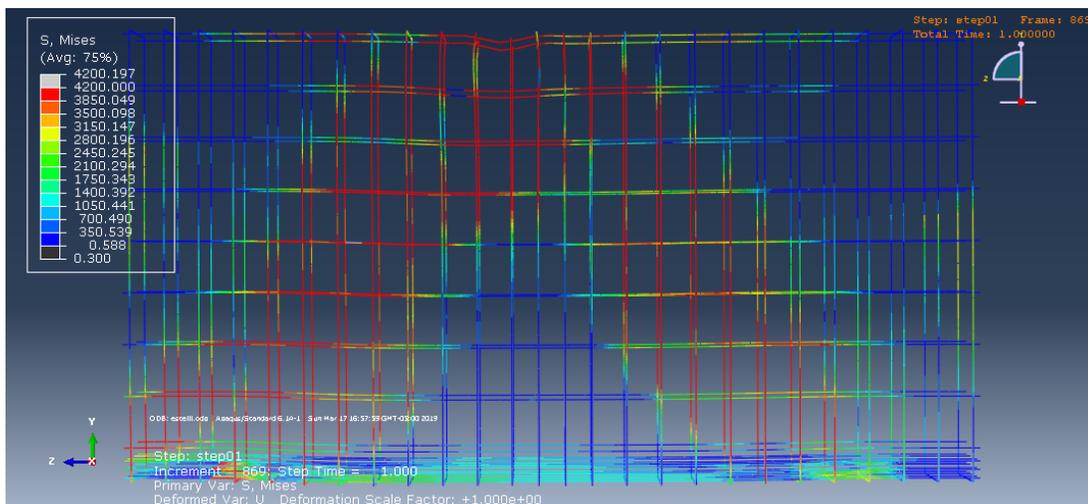


Figura 102: Software Abaqus Cae.

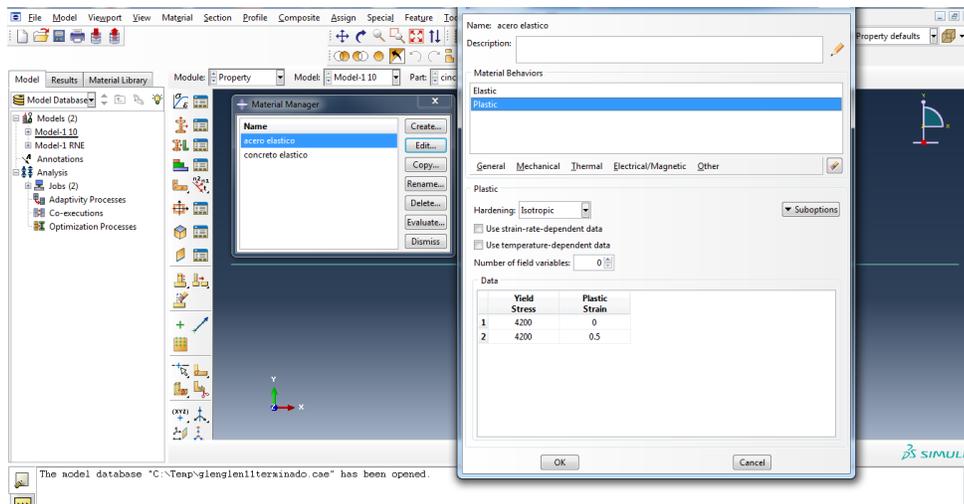
## MODELADO PLÁSTICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

La única diferencia entre el modelado plástico y el modelado elástico es la propiedad del material, el primero de los cuales utilizará el modelo de material plástico para concreto y acero.

### (1) Acero

En la sección "Propiedad", haga clic en "Crear material-Mecánica-elasticidad-elástica" y ingresa el módulo de Young y la relación de la pasión. Luego haga clic en “PLASTIC-PLASTICITY-PLASTIC” e ingrese la tensión de rendimiento y la tensión plástica. El

primer estrés de rendimiento es la resistencia del rendimiento del acero y la primera tensión plástica es 0. Si utiliza el elástico perfectamente modelo de acero plástico (Eurocódigo 2), la segunda tensión de rendimiento es la misma que la primera.



**Figura 103:** Software Abaqus Cae.

## (2) Concreto

Ahora definiremos el comportamiento plástico del concreto que es mucho más complejo que acero. Haga clic en "Crear material-elasticidad-elasticidad-mecánica" e ingrese Young módulo y relación de pasión del hormigón. Luego haga clic en 'Mecánica-plasticidad-Concreto Plasticidad dañada 'verá tres módulos: plasticidad, comportamiento de compresión y comportamiento a la tracción. En 'Plasticidad' ingresará diferentes parámetros para la Plasticidad.

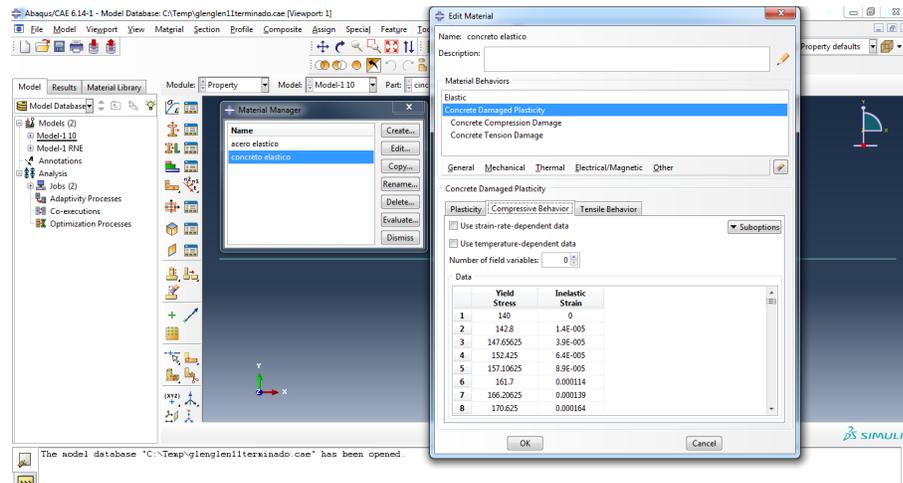


Figura 104: Software Abaqus Cae.

Luego, en "Comportamiento a compresión", ingresará la tensión de rendimiento y la tensión plástica del concreto bajo compresión. En este caso se usó el modelo de Hognestad y el Eurocódigo. Entonces ingrese Los datos de tensión y deformación a la tabla. Finalmente, procedemos a "JOB" para correr de nuevo el software.

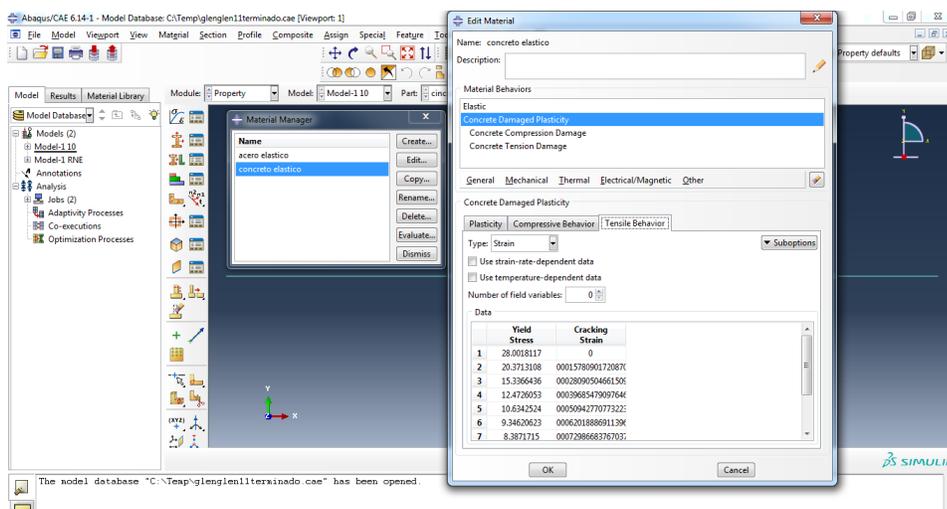


Figura 105: Software Abaqus Cae.